

KALKSANDSTEIN
PLANUNGSHANDBUCH

Planung, Konstruktion, Ausführung
7. Auflage

www.kalksandstein.de

KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch

Planung, Konstruktion, Ausführung

Ein Nachschlagewerk für Architekten, Ingenieure,
Bauausführende und Studierende.

KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch
Planung, Konstruktion, Ausführung
Hrsg. Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.,
Entenfangweg 15, 30419 Hannover, Telefon 05 11/2 79 54-0
www.kalksandstein.de
www.facebook.com/kalksandstein

Auflage 7 – Stand 05/2018

BV-902-18/01

Redaktion:
Dipl.-Red. B. Büttner, Hannover
Dipl.-Ing. B. Diestelmeier, Dorsten
Dipl.-Ing. W. Grethe, Hannover
Dipl.-Ing. R. Herz, Ludwigshafen
Dipl.-Ing. O. Roschkowski, Haltern am See
Dr.-Ing. M. Schäfers, Hannover
Dipl.-Ing. A. Schlundt, Hannover
Dipl.-Ing. P. Schmid, Röthenbach
Dipl.-Ing. H. Schulze, Buxtehude
Dipl.-Ing. N. Schumann-Jäkel, Duisburg
Dipl.-Ing. D.-C. Worthmann, Durmersheim

Cover: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

Alle Angaben erfolgen nach bestem Wissen und Gewissen, jedoch ohne Gewähr.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung

Gesamtproduktion und
© by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

die Digitalisierung des Lebens im Allgemeinen sowie der Arbeitswelt im Speziellen hat eine Vielfalt der Informationskanäle und eine permanente Verfügbarkeit des Wissens hervorgebracht, wie sie noch vor wenigen Jahrzehnten kaum vorstellbar war.

Gerade diese Fülle der Möglichkeiten erfordert heute aber auch ein hohes Maß an Ordnung und Verlässlichkeit der Inhalte, weshalb die Kalksandsteinindustrie ihr anerkanntes Standardwerk „KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch. Planung, Konstruktion, Ausführung“ in einer komplett überarbeiteten und aktualisierten 7. Auflage herausgibt. Architekten und Ingenieure, aber auch Bauausführende, Studierende und alle anderen am Bau Beteiligten finden darin fachlich abgesicherte Informationen und innovative Lösungsansätze für die Herausforderungen des modernen Bauens.



Dipl.-Kfm. Roland Meißner
Geschäftsführer Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V., Hannover

Für die Neuauflage wurde in allen Kapiteln die kontinuierliche Weiterentwicklung der Normen und Regelwerke eingepflegt, sodass der Nutzer des Planungshandbuchs sicher sein kann, tatsächlich auf dem neuesten Stand der Technik zu arbeiten. Beispielsweise berücksichtigt das Planungshandbuch durchgehend die Ende 2017 veröffentlichte Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VV TB), die die bisher geltenden Bauregellisten und die Liste der Technischen Baubestimmungen ersetzt. Der Abschnitt zur Abdichtung beruht jetzt auf der neuen DIN 18533, grundlegende Veränderungen gab es außerdem beim Schallschutz, der vollständig auf Basis der neuen DIN 4109 beschrieben wird.

Gerade der Schallschutz zeigt, wie die bewährte Bauweise mit Kalksandstein auf steigende Ansprüche und Fortschritte im modernen Bauen reagieren kann. Denn neben der hohen Rohdichte, die auch im differenzierten Schallschutznachweis ein wichtiges Kriterium bleibt, bieten speziell funktionsgetrennte KS-Außenwände verschiedene Möglichkeiten für schallschutzoptimierte Bau- und Anschlussdetails im Sinne der neuen Norm. Andere zukunftweisende Aspekte des Kalksandsteins sind die sehr tragfähigen, aber schlanken und damit flächensparenden Bauteile, der gute Brandschutz des nicht brennbaren Materials oder der zeitgemäße Wärmeschutz durch die funktionsgetrennte Bauweise.

Die wichtigste Bauaufgabe der nächsten Jahre und Jahrzehnte ist aber wohl die Schaffung des dringend benötigten Wohnraums in der gebotenen Schnelligkeit und auf einem bezahlbaren Niveau. Ein Schlüssel dafür kann Kalksandstein durch seine Potenziale für wirtschaftlich zu errichtende, nachhaltige Gebäude sein. Klein- und mittelformatige Kalksandsteine im traditionellen Mauerwerksbau stehen hierfür ebenso zur Verfügung wie großformatige Elemente für die zeitsparende Verarbeitung mit Versetzgeräten. Systembauweisen mit klar definierten Regelformaten oder individuell vorkonfektionierte Wandbausätzen ohne Baustellenzuschnitt weisen den Weg zum seriellen Planen und Bauen, das Kosten minimiert, ohne die gestalterische Freiheit und das architektonische Niveau einzuschränken.

Ein so verstandenes modernes Bauen wird in hohem Maße digital unterstützt sein. Für uns bedeutet dies nicht nur, dass Sie dieses KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch wahlweise als gedrucktes Werk sowie als PDF mobil auf dem Tablet oder stationär an Ihrem Arbeitsplatzcomputer lesen können. Es beinhaltet auch, dass wir unter www.kalksandstein.de weitere Einzelbroschüren zu speziellen Themen, Berechnungstools wie den KS-Schallschutzrechner oder den KS-Wärmebrückenkatalog sowie Videos zu Herstellung und Eigenschaften von Kalksandstein zur Verfügung stellen.

An der Erarbeitung der 7. Auflage des Planungshandbuchs und der weiterführenden Materialien haben sich eine Vielzahl von Experten aus Wissenschaft und Baupraxis als Autoren oder Redaktionsmitglieder beteiligt, denen wir für ihre engagierte Arbeit herzlich danken.

Viel Erfolg mit dem neuen Planungshandbuch wünscht Ihnen

Ihr Roland Meißner

Roland Meißner

Hannover, im Mai 2018

Kapitel 1: Kalksandstein (Stand 01/2018)

Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

1. Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 ... 13
1.1 Verwendung von Kalksandsteinen in Deutschland nach DIN 20000-402 ... 13

2. Herstellung ... 14

3. Kalksandsteinprodukte ... 15
3.1 Bezeichnung ... 15
3.2 Steinarten ... 15
3.3 Physikalische Eigenschaften von Kalksandstein ... 16
3.4 Kalksandsteine für die Verarbeitung mit Normalmauermörtel ... 18
3.5 Kalksandsteine für die Verarbeitung mit Dünnbettmörtel ... 19
3.6 Bauteile zur Systemergänzung ... 21

4. Grundlagen für die Verwendung ... 24

5. Kennzeichnung ... 24

6. Mauerwerks- und systemgerechte Planung ... 25
6.1 Planung ... 25
6.2 Bauweise ohne Stoßfugenvermörtelung ... 27
6.3 Vertikale Wandausbildung, Höhenausgleich ... 28
6.4 Querschnittsabdichtung von Kalksandsteinwänden ... 28
6.5 Fenster und Türöffnungen in Kalksandstein-Mauerwerk ... 28

7. Rationelle Verarbeitung ... 28
7.1 Arbeitsvorbereitung ... 28
7.2 Arbeitstechniken ... 28

8. Wirtschaftliche KS-Wandkonstruktionen ... 33

9. Zusammenfassung ... 34

Literatur ... 35

Kapitel 2: Außenwände (Stand 01/2018)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Ulrich Vogdt, TU Berlin, Dipl.-Ing. Michael Schober, TU Berlin

1. Anforderungen ... 37
1.1 Standsicherheit ... 37
1.2 Brandschutz ... 38
1.3 Wärmeschutz ... 38
1.4 Feuchte- und Witterungsschutz ... 40
1.5 Schallschutz ... 41
1.6 Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit ... 41
1.7 Wirtschaftlichkeit ... 41

2. Konstruktionsübersicht ... 42

3. Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung ... 43
3.1 Konstruktionsprinzip ... 43
3.2 Entwicklung ... 43
3.3 Baurechtliche Regelung ... 43
3.4 Komponenten ... 43
3.5 Eigenschaften ... 47
3.6 Details ... 50

4. Einschaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem ... 55
4.1 Konstruktionsprinzip ... 55
4.2 Entwicklung ... 56
4.3 Baurechtliche Regelung ... 56
4.4 Komponenten ... 57
4.5 Systemeigenschaften ... 60
4.6 Details ... 66

5. Einschaliges KS-Mauerwerk mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung ... 67
5.1 Konstruktionsprinzip ... 67
5.2 Entwicklung ... 67
5.3 Baurechtliche Regelung ... 67
5.4 Komponenten ... 68
5.5 Eigenschaften ... 71

6. KS-Mauerwerk ohne Wärmedämmung ... 74
6.1 Konstruktionsübersicht ... 74
6.2 Eigenschaften ... 74
6.3 Anwendungsbereiche ... 75

7. Frei stehende KS-Wände ... 78
7.1 Standsicherheit ... 78
7.2 Gebrauchstauglichkeit ... 78
7.3 Witterungsschutz ... 78

Literatur ... 80

Kapitel 3: Sichtmauerwerk (Stand 01/2018)

Prof. Dr.-Ing. Manfred Prepens

1. Planung und Ausschreibung ... 83

2. Einflüsse auf die Gestaltung von KS-Sichtmauerwerk ... 85
2.1 Steinart und Steinformat ... 85
2.2 Steinoberfläche ... 87
2.3 Mauerverband ... 87
2.4 Verfugung ... 87
2.5 Oberflächenbehandlung ... 88

3. Anlieferung der Verblender ... 88

4. Mörtel und Verfugung ... 89
4.1 Nachträgliche Verfugung ... 89
4.2 Fugenglattstrich ... 89

5. Abnahme und Beurteilung von KS-Sichtmauerwerk ... 91
5.1 Eindeutige Beschreibung ... 91
5.2 Musterbauteile ... 91
5.3 Abnahme und Beurteilung ... 91
5.4 Betrachtungsabstand ... 91

6. Elektroinstallation bei KS-Innensichtmauerwerk ... 92

7. Beschichtungen und Imprägnierungen von KS-Sichtmauerwerk ... 93
7.1 Optisches Erscheinungsbild ... 93
7.2 Schutz des Verblendmauerwerks ... 93
7.3 Geeignete Beschichtungen und Imprägnierungen ... 94
7.4 Anforderungen ... 94
7.5 Vorbereitung und Schutz des Untergrundes ... 95
7.6 Verarbeitung ... 96

8. Reinigung von KS-Verblendmauerwerk ... 96
8.1 Leichte Verschmutzungen und kleinere Flächen ... 96
8.2 Stärkere Verschmutzungen und größere Flächen ... 97
8.3 Chemische Reinigungsmittel ... 98
8.4 Algen- oder Moosbelag ... 98

9. Erneuerung von Beschichtungen und Imprägnierungen ... 99
9.1 Beschichtungen ... 99
9.2 Imprägnierungen ... 99

Literatur ... 99

Kapitel 4: Nicht tragende Wände (Stand 01/2018)

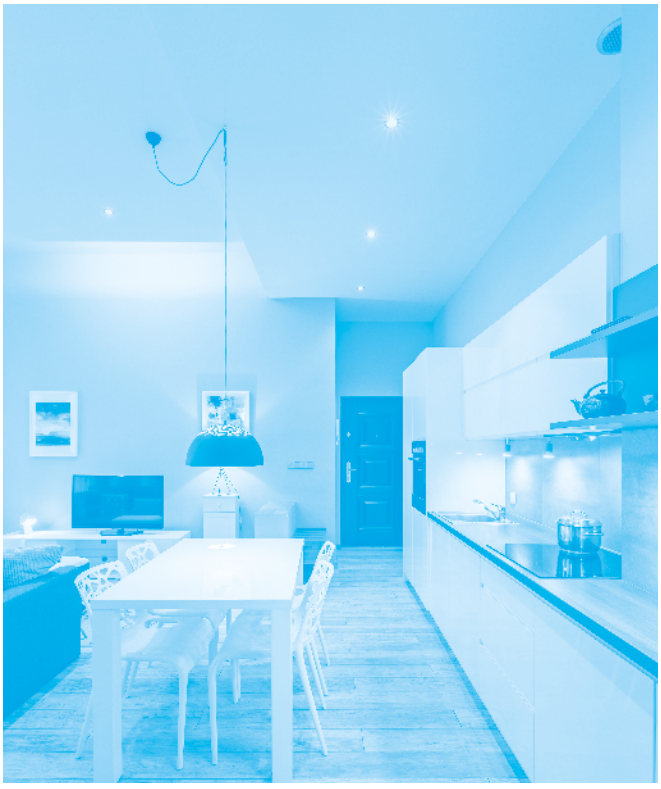
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner, Technische Universität Darmstadt,
Dr.-Ing. Michael Schmitt, bauart Konstruktions GmbH & Co. KG, Lauterbach

1. Einführung und Überblick ... 101
1.1 Vorbemerkungen ... 101
1.2 Nicht tragende Außenwände (Ausfachungsflächen) ... 101
1.3 Nicht tragende Innenwände ... 101

2. Nicht tragende Außenwände (Ausfachungsflächen) ... 102
2.1 Vereinfachter Nachweis nach DIN EN 1996-3/NA ... 102
2.2 Erhöhte Werte der Ausfachungsfläche für Mauerwerk mit Normalmauermörtel ... 102
2.3 Erhöhte Werte der Ausfachungsfläche für Mauerwerk mit Dünnbettmörtel ... 102
2.4 Anschlüsse an angrenzende Bauteile ... 105

3. Nicht tragende innere Trennwände nach DIN 4103-1 ... 106
3.1 Vereinfachter Nachweis nach DIN 4103-1 und DGfM-Merkblatt ... 106
3.2 Nachweis nach DIN EN 1996-3/NA ... 109
3.3 Befestigung an angrenzende Bauteile ... 109
3.4 Beschränkung der Deckendurchbiegung ... 111
3.5 Vorteile massiver nicht tragender innerer Trennwände ... 114
3.6 Schadensfreie Ausführung ... 115
3.7 Nicht tragende Innenwände aus KS-Bauplatten BP7 ... 115

Literatur ... 117



Kapitel 5: Mauermörtel und Putz (Stand 01/2018)

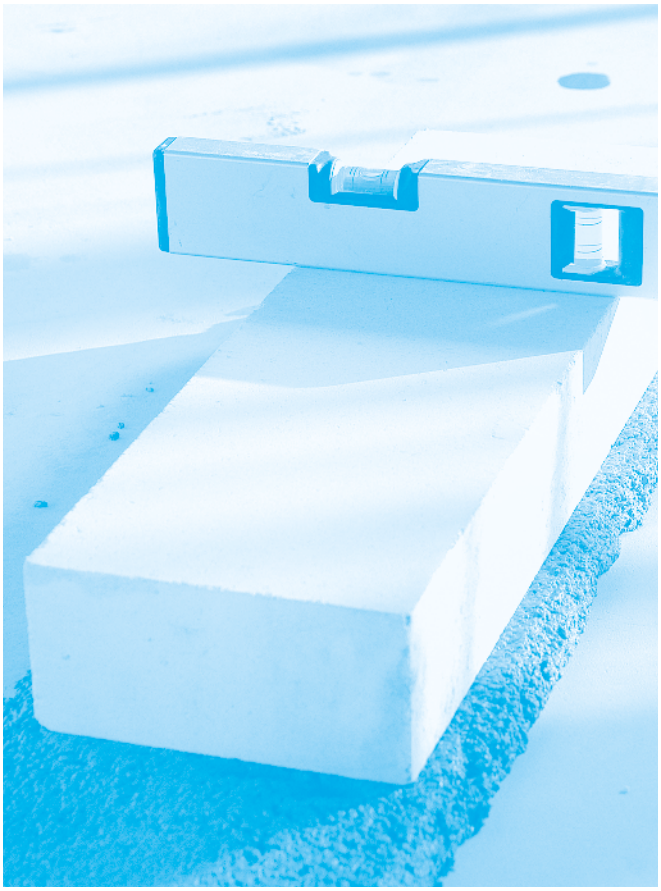
Prof.-Dr. Sylvia Stürmer, Hochschule Konstanz Technik, Wirtschaft und Gestaltung

1. Mauermörtel 119
1.1 Definition, Aufgaben 119
1.2 Technische Regelwerke 119
1.3 Lieferformen 119
1.4 Mörtelarten 120
1.5 Anforderungen 120
1.6 Allgemeine Anwendung 122
1.7 Mörtel für Sichtmauerwerk 122
1.8 Bauseitige Lagerung, Mörtelsilos 124

2. Putz 125
2.1 Definition, Aufgaben 125
2.2 Technische Regelwerke 125
2.3 Lieferformen 126
2.4 Einteilung der Putze 126
2.5 Ausführung von Putz 128

3. Fliesenbekleidungen 132

Literatur 133



Kapitel 6: Befestigung (Stand 01/2018)

Prof. Dr.-Ing. Jan Hofmann, MPA Universität Stuttgart

1. Allgemeines 135

2. Dübelsysteme 135
2.1 Kunststoffdübel 135
2.2 Verbunddübel 136

3. Sicherheitsanforderungen 137

4. Dübel für sicherheitsrelevante Befestigungen 139
4.1 Kunststoffdübel mit deutscher bauaufsichtlicher Zulassung 139
4.2 Kunststoffdübel mit europäischer Bewertung 140
4.3 Injektionsdübel mit deutscher bauaufsichtlicher Zulassung 142
4.4 Injektionsdübel mit europäischer Bewertung 144
4.5 Mörtelankersysteme 145

5. Bemessung von Dübeln in Kalksandsteinen 146
5.1 Zugbelastung 146
5.2 Querbelastung 147

6. Baustellenversuche 148
6.1 Allgemeines 148
6.2 Durchführung 148
6.3 Auswertung 148

Literatur 149

Kapitel 7: Bemessung (Stand 01/2018)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner, Technische Universität Darmstadt,
Dr.-Ing. Michael Schmitt, bauart Konstruktions GmbH & Co. KG, Lauterbach

1. Einführung und Stand der Normung 151
1.1 Geschichtliche Entwicklung von Kalksandstein-Mauerwerk 151
1.2 Stand der Normung 151
1.3 Begriffe 153
1.4 Tragverhalten von Bauteilen aus Kalksandstein-Mauerwerk 157

2. Sicherheitskonzept und Einwirkungen 158
2.1 Grundlagen des semiprobabilistischen Teilsicherheitskonzepts ($E_d \leq R_d$) 158
2.2 Charakteristische Werte der wesentlichen Einwirkungen im Mauerwerksbau 159
2.3 Bemessungswert der Einwirkungen und zugehörige Einwirkungskombinationen 160
2.4 Bemessungswert des Tragwiderstandes von Mauerwerkswänden 161

3. Festigkeits- und Verformungseigenschaften 162
3.1 Allgemeines 162
3.2 Charakteristische Druckfestigkeit 162
3.3 Charakteristische Biegezugfestigkeit 163
3.4 Zentrische Zugfestigkeit parallel zur Lagerfuge 164
3.5 Haftscherfestigkeit und Reibungsbeiwert 164
3.6 Charakteristischer Wert der Schubfestigkeit 164
3.7 Verformungseigenschaften 166

4. Aussteifung von Gebäuden und Schnittgrößenermittlung 166
4.1 Räumliche Steifigkeit 166
4.2 Aussteifung tragender Wände 168

5. Bemessung nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren in DIN EN 1996-3/NA:2012-01 170
5.1 Allgemeines und Anwendungsgrenzen 170
5.2 Erweiterung der Anwendungsgrenzen für größere Wandhöhen 172
5.3 Knicklänge und Schlankheit 172
5.4 Nachweisformat und Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft 174
5.5 Ermittlung des Tragwiderstandes (Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft) 174
5.6 Nachweis der Mindestauflast 177
5.7 Nachweis bei Querkraftbeanspruchung 178
5.8. Einzellasten und Teilflächenpressung 178

6. Bemessung von Aussteifungsscheiben nach dem genaueren Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 179

7. Bemessung von Kellerwänden und weiteren Bauteilen 180
7.1 Kelleraußenwände 180
7.2 Vorgefertigte Stürze 182

8. Bauliche Durchbildung 184
8.1 Vorbemerkungen 184
8.2 Schlitze und Aussparungen 184
8.3 Überbindemaß 185
8.4 Längen- und Höhenausgleich 186
8.5 Verbandsmauerwerk 186
8.6 Deckenauflager 187
8.7 Ringanker und Ringbalken 187
8.8 Wandanschlüsse 189
8.9 Stumpfstoßtechnik 190

Literatur 192

Kapitel 8: Mauerwerksgerechte Konstruktion (Stand 01/2018)

Dr.-Ing. Frank Purtak, Geschäftsführer Trag Werk Ingenieure, Dresden

1. Einleitung 195

2. Entstehen von Zwangsspannungen und Rissen 195

3. Formänderungen 196
3.1 Wärmedehnung 196
3.2 Feuchtedehnung 196
3.3 Elastische und plastische Dehnung 197
3.4 Kriechen 197

4. Rissbildung durch Längenänderung 198
4.1 Rissbildung bei Verwendung unterschiedlicher Wandbaustoffe 198
4.2 Rissbildung im Mauerwerk in Verbindung mit Stahlbetondecken 200
4.3 Rechnerische Beurteilung der Risssicherheit 205

5. Rissbildung infolge Durchbiegung von Stahlbetondecken 206
5.1 Nicht tragende Trennwände ober- und unterhalb von Stahlbetondecken 206
5.2 Verdrehung der Decke am Auflager 208
5.3 Verdrehung der Dachdecke durch Aufschüsseln 209

6. Rissbildung infolge von Baugrundeigenschaften 210

7. Gebäudegliederung durch Fugen 211
7.1 Abstand von Gebäudedehnungsfugen 211

8. Dehnungsfugen in Ausfachungswänden und Verblendschalen 213
8.1 Rissbildung durch Längenänderung in vertikaler und horizontaler Richtung 213

Literatur 215

Kapitel 9: Abdichtung (Stand 01/2018)

Prof. Dipl.-Ing. Matthias Zöller, AIBau, Aachen

1. Einleitung 217

2. Regelwerke 218

3. Einwirkung aus Wasser 219
3.1 Wassereinwirkungsklasse W1-E (Bodenfeuchte) 219
3.2 Wassereinwirkungsklasse W2-E (Druckwasser) 219
3.3 Wassereinwirkungsklasse W3-E 220
3.4 Wassereinwirkungsklasse W4-E 221

4. Einwirkung aus dem Abdichtungsuntergrund (Rissklassen) 222

5. Raumnutzungsklassen 222
5.1 Raumnutzungsklasse RN1-E 222
5.2 Raumnutzungsklasse RN2-E 222
5.3 Raumnutzungsklasse RN3-E 222

6. Planung und Ausführung der Abdichtung 223
6.1 Voruntersuchungen 223
6.2 Wassereinwirkungen 223
6.3 Vermeidung unnötig hoher Wassereinwirkung 225
6.4 Kellerlichtschächte und Außentreppen bei Druckwasser 225
6.5 Außenwandflächen mit kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtungen (PMBC/KMB) 226
6.6 Abdichtung von Außenbauteilen mit Bahnen 227
6.7 Grundleitungen unter Bodenplatten 229
6.8 Detailausbildung 230
6.9 Dränmaßnahmen 235

7. Innenraumabdichtungen 238

Literatur 239

Kapitel 10: Winterlicher Wärmeschutz (Stand 01/2018)

Prof. Dr.-Ing. Martin H. Spitzner, Hochschule Biberach und Ingenieurbüro für Energie Bauphysik Projekte, München,
Dipl.-Ing. Christoph Sprengard, Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München

1. Überblick 241

2. Normen zum baulichen Wärmeschutz 242
2.1 Normenreihe DIN 4108 „Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden“ 242
2.2 Normenreihe DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“ 242
2.3 Grundlegende ISO-Berechnungsnormen für die Gebäudehülle 243
2.4 Beheizter Bereich und thermische Gebäudehülle ... 243

3. Von der Wärmeleitfähigkeit zum U-Wert 243
3.1 Wärmestrom, Widerstand 243
3.2 Wärmedurchgangskoeffizient, U-Wert 244
3.3 Wärmemenge, Abschätzung der Brennstoff-einsparung durch energetische Bauteilsanierung 247
3.4 Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit 247
3.5 Wärmeleitfähigkeit von Kalksandstein-Mauerwerk nach harmonisierten europäischen Normen 249
3.6 Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen nach den harmonisierten europäischen Normen DIN EN 13162 bis DIN EN 13171 249
3.7 Perimeterdämmung 251
3.8 Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten 251
3.9 Wärmeübergangswiderstände 253
3.10 U-Wert von Bauteilen aus homogenen und inhomogenen Schichten 254
3.11 U-Wert-Korrekturen 255

4. Hygienischer Mindestwärmeschutz 256
4.1 Vermeiden von Schimmelpilzwachstum 256
4.2 Mindestwärmeschutz flächiger Bauteile bei normal beheizten Gebäuden 256

5. Wärmeschutz und Schimmelpilzvermeidung bei Wärmebrücken 258
5.1 Energetische Charakterisierung von Wärmebrücken .. 258
5.2 Verminderung des Wärmebrückenverlusts nach DIN 4108 Beiblatt 2 258
5.3 Gleichwertigkeitsnachweis 260
5.4 Hygienische Mindestanforderung an die Oberflächentemperatur bei Wärmebrücken (f_{Rsi}) 262
5.5 Rollladenkästen 263
5.6 Einbaulage von Fenstern 264

6. Wärmebrücken in Kalksandstein-Mauerwerk 265
6.1 Verringerung der Wärmebrückenwirkung durch KS-Wärmedämmsteine 265
6.2 Einfluss von mechanischen Befestigungsmitteln und Mauerwerksankern 266
6.3 Wärmebrückenwirkung von Konsolen und Ankern bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden 267
6.4 Vergleich der Wärmebrückenwirkung der Befestigung bei typischen Wandaufbauten 268

7. Klimabedingter Feuchteschutz 269
7.1 Diffusion von Wasserdampf 269
7.2 Kennwerte für die Wasserdampfdiffusion 270
7.3 Bauteile, für die kein rechnerischer Tauwassernachweis erforderlich ist 271
7.4 Konstruktive Hinweise 272
7.5 Austrocknungsverhalten von Mauerwerkswänden 272

8. Luftdichtheit 273

9. Wärmeübertragung über das Erdreich 275

Anhang 276

Literatur 279

Kapitel 11: Sommerlicher Wärmeschutz (Stand 01/2018)

Prof. Dr.-Ing. Martin H. Spitzner, Hochschule Biberach und Ingenieurbüro für Energie Bauphysik Projekte, München

1. Einleitung 281

2. Sommerlicher Wärmeschutz von Aufenthaltsräumen 281

3. Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes mit dem Sonneneintragskennwertverfahren nach DIN 4108-2 282
3.1 Überblick 282
3.2 Ausnahmen von der Nachweisführung 282
3.3 Ablauf des Verfahrens 283
3.4 Vorhandener Sonneneintragskennwert 283
3.5 Zulässiger Sonneneintragskennwert 283

4. Beispiel: Vergleichsrechnungen zum sommerlichen Wärmeschutz 287
4.1 Beispielräume 287
4.2 Nachweis mit dem vereinfachten Sonneneintragskennwertverfahren 290
4.3 Nachweis mittels thermisch-dynamischer Gebäudesimulation 290
4.4 Vergleich der Ergebnisse 292

5. Beispiel EFH in unterschiedlichen Bauarten und unterschiedlichem energetischen Niveau 294

6. Zusammenfassung 295

Literatur 295



Kapitel 12: Brandschutz (Stand 01/2018)

Dipl.-Ing. Christiane Hahn, ö.b.u.v. Sachverständige für Brandschutz, Braunschweig/Hamburg

1. Einleitung 297
1.1 Bedeutung des Brandschutzes 297
1.2 Sicherheitskonzept 297
1.3 Brandschäden 297
1.4 Haustechnik 298
1.5 Kalksandstein-Mauerwerk 298

2. Bauaufsichtliche Anforderungen 299
2.1 Grundlagen 299
2.2 Musterbauordnung (MBO) 299
2.3 Definition Gebäude 299
2.4 Bauprodukte – Wände 302
2.5 Verwendbarkeitsnachweise 306
2.6 Rauchdichte Bauteile 310
2.7 Brandschutznachweise, Brandschutzkonzepte 310

3. Brandschutznormen 312
3.1 Grundlagen und Verwendbarkeitsnachweise 312
3.2 Nationale Prüfnormen 312
3.3 Europäische Prüfnormen 312
3.4 Bauteil-Klassifizierungen nach DIN EN 13501-2 (Kurzbezeichnungen) 314
3.5 Brandschutzbemessung nach DIN EN 1996-1-2/NA 315

4. Baulicher Brandschutz mit Kalksandstein-Mauerwerk 316
4.1 Grundlagen 316
4.2 Tragende Wände 317
4.3 Nicht tragende Trennwände 318
4.4 Außenwände 321
4.5 Gebäudetrennwände – Gebäudeabschlusswände 324
4.6 Brandwände 326
4.7 Komplextrennwände 333
4.8 Sonstige Anwendungen mit Kalksandstein 333
4.9 Haustechnische Aspekte 334
4.10 Versicherungstechnische Aspekte 335

5. Zusammenfassung des tabellarischen Brandschutznachweises von KS-Konstruktionen 337
5.1 Grundlagen 337
5.2 Nicht tragende Wände 337
5.3 Tragende Wände ohne Nachweis des Ausnutzungsfaktors 337
5.4 Tragende Wände mit Nachweis des Ausnutzungsfaktors $\alpha_{6,fi}$ 338
5.5 Brandwände 339
5.6 Komplextrennwände 339

Normen 340

Literatur 341

Kapitel 13: Schallschutz (Stand 01/2018)

Prof. Dr.-Ing. Heinz-Martin Fischer

1. Einleitung 343

2. Schalltechnische Grundlagen 344
2.1 Grundbegriffe 344
2.2 Schalldämmung und Schallschutz 345
2.3 Spektrum-Anpassungswerte 347
2.4 Schalltechnisches Verhalten massiver Bauteile 347

3. Schallschutz zwischen Wunsch und Wirklichkeit 349
3.1 Die Erwartungen der Bewohner 349
3.2 Der eigene Wohnbereich 349
3.3 Objektive Kriterien für den Schallschutz 349
3.4 Anforderungen und Empfehlungen 351
3.5 Zahlenmäßige Festlegungen des Schallschutzes 352
3.6 Schallschutz und Rechtsprechung 352
3.7 Die Umsetzung von Schallschutz-Anforderungen 354
3.8 Kosten des Schallschutzes 354

4. Anforderungen an den baulichen Schallschutz 355
4.1 Regelwerke 355
4.2 Hinweise zur Festlegung des Schallschutzniveaus 360
4.3 Planungsgrundlagen des Schallschutzes mit den Kenngrößen R'_w und $D_{nT,w}$ 361

5. Bemessung des Schallschutzes und der Schalldämmung 362
5.1 Die Schallschutznorm DIN EN 12354 als Grundlage der Berechnungsverfahren in DIN 4109-2 362
5.2 DIN 4109 363
5.3 KS-Schallschutzrechner 370

6. Hinweise zur Planung und Ausführung 372
6.1 Einschalige Wände 372
6.2 Zweischalige Haustrennwände 385

7. Außenlärm 391
7.1 Anforderungen 391
7.2 Nachweise 392
7.3 Zweischalige massive Außenwände 393
7.4 Einschalige Außenwände mit WDVS 393

8. Schallabsorption 399
8.1 Begriffe 399
8.2 Einsatz von Schallabsorbern 399
8.3 Schallabsorption mit KS-Wänden 400

Literatur 400

Kapitel 14: Umwelt und Gesundheit (Stand 09/2017)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Ulrich Vogdt, Dipl.-Ing. Juliane Nisse, TU Berlin

1. Nachhaltigkeit 403
1.1 Veranlassung 403
1.2 Entwicklung 403
1.3 Dimensionen der Nachhaltigkeit 406
1.4 Schutzziele und Indikatoren 406
1.5 Lebenszyklusbetrachtung 408

2. Planungsphase 409
2.1 Ökonomische Lebenszyklusanalyse 409
2.2 Ökologische Lebenszyklusbewertung 411

3. Errichtungsphase 412
3.1 Rohstoffgewinnung 412
3.2 Herstellung 413
3.3 Transport 413
3.4 Verarbeitung 413

4. Nutzungsphase 414
4.1 Minimierung von Energieaufwendungen und Emissionen 414
4.2 Behaglichkeit 414
4.3 Gesundheit 420
4.4 Minimierung weiterer Aufwendungen in der Nutzungsphase 421

5. Lebenszyklusende 422
5.1 Regelung 422
5.2 Verfahren 422

Literatur 424

Kapitel 15: Spezielle Anwendungsbereiche (Stand 01/2018)

Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

1. Kalksandstein im Erdreich 427

2. Kabelabdeckungen 427

3. Aggressive Medien 428

4. Strahlenschutz in Gebäuden 429
4.1 Das elektromagnetische Spektrum 429
4.2 Elektromagnetische Strahlung 429
4.3 Radioaktive Strahlung 430

5. Beschuss-Sicherheit 431

6. Mauern im Winterhalbjahr und Absäuern des Mauerwerks 432

7. Erdbebensicherheit 433
7.1 Anforderungen an Mauerwerksbaustoffe 433
7.2 Erdbebennachweis 433

8. Einbruchhemmung 434

9. Austrocknungsverhalten von KS-Mauerwerk 435
9.1 Übliche Baufeuchte 435
9.2 Durchfeuchtung infolge von Extrem-Ereignissen wie Hochwasser 436

Literatur 437



Stichwortverzeichnis

Stichwortverzeichnis 439

Bildnachweise

Bild S. 5: Dariusz Jarzabek/AdobeStock; **Bild S. 6:** KS-Quadro GmbH;
Bild S. 9: photographee.eu/AdobeStock;
Bild S. 11: Tiberius Gracchus/AdobeStock



Kapitel 1

KALKSANDSTEIN

Stand: 01/2018

Bundesverband Kalksandsteinindustrie e. V.

1. Kalksandsteine nach DIN EN 771-2

Als am 5. Oktober 1880 ein Patent zur Erzeugung von Kalksandsteinen an Dr. Michaelis in Berlin erteilt wurde, konnte niemand ahnen, welcher Erfolg dieser Entwicklung beschieden sein würde. Die Formgebung durch Pressen und die Hochdruckdampfhärtung ermöglicht bereits seit mehr als 120 Jahren eine industrielle Kalksandstein-Produktion. Im Jahre 1900 wurden rund 300 Mio. Steine und 1905 bereits 1 Mrd. Kalksandsteine produziert. Durch die schnelle Marktverbreitung und das Vertrauen zu diesem Mauerstein erschien bereits 1927 die erste Ausgabe der deutschen Kalksandsteinnorm DIN 106. Im Jahr 2005 löste die europäisch harmonisierte Kalksandsteinnorm DIN EN 771-2 die nationale Produktnorm ab. Auf dieser Grundlage werden Kalksandsteine nunmehr mit einer Leistungserklärung versehen und mit dem CE-Zeichen gekennzeichnet.

Kalksandsteine sind Mauersteine, die aus den natürlichen Rohstoffen Kalk, kieselsäurehaltigen Zuschlägen (Sand) und Wasser hergestellt, nach intensivem Mischen verdichtet, geformt und unter Dampfdruck gehärtet werden (Bild 1). Für die Zuschläge sollen Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 verwendet werden. Die Verwendung von Gesteinskörnungen nach DIN EN 13055-1 ist, mit Ausnahme von Blähglas und Kesselsand, zulässig, soweit hierdurch die Eigenschaften der Kalksandsteine nicht ungünstig beeinflusst werden.

Kalksandsteine werden für tragendes und nicht tragendes Mauerwerk vorwiegend für die Erstellung von Außen- und Innenwänden verwendet. Für tragende und nicht tragende Außenwände sowie für tragende Innenwände gilt in Deutschland DIN EN 1996/NA, für nicht tragende Innenwände DIN 4103-1.

1.1 Verwendung von Kalksandsteinen in Deutschland nach DIN 20000-402

Entsprechend der Bauproduktenverordnung erhalten Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 [1] eine Leistungserklärung und werden CE-gekennzeichnet. Die CE-Kennzeichnung regelt jedoch nur das „Inverkehrbringen“ harmonisierter Bauprodukte. Die Regeln für die Verwendung in Deutschland auf Grundlage der Landesbauordnungen und der Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VV TB) sind für Kalksandsteine in der Norm DIN 20000-402 [2] festgelegt.

Dort sind alle wesentlichen Merkmale (Leistungen) aufgeführt, die für die Verwendung in Deutschland in der Leistungserklärung zu deklarieren sind. Gleichzeitig werden die deklarierten Leistungen für die Anwendung nach DIN EN 1996/NA (Eurocode 6) [3] klassifiziert, so dass Kalksandsteine auch nach DIN 20000-402 die traditionelle Bezeichnung erhalten und in die bekannten Steinarten, Druckfestigkeits- und Rohdichteklassen sowie Formate eingeordnet werden können. Ist eine Eingruppierung nach DIN 20000-402 nicht möglich, muss für die betreffenden Steine eine Bauartgenehmigung (früher Anwendungszulassung) vorliegen.

Kalksandsteine gehören damit zu den wenigen harmonisierten Bauprodukten, für die allein die Angaben in der Leistungserklärung ausreichen, um alle Anforderungen gemäß den Landesbauordnungen zu erfüllen. Die VV TB und DIN 20000-402 fordern keine zusätzlich einzuhaltenden Eigenschaften. Der Verwender kann bei Planung, Bemessung, Ausschreibung und Bestellung allein durch Bezugnahme auf DIN 20000-402 und die dort verwendeten Bezeichnungen sicherstellen, dass Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 in Deutschland auch verwendet werden dürfen. Diese Angaben reichen zudem aus, um Kalksandsteine nach DIN EN 1996/NA bemessen und ausführen zu können. Gleichzeitig erübrigt sich für den Verwender auch die aufwändige Überprüfung von Leistungserklärungen (Bild 2).

INFO

Mit Angabe der Bezeichnung von Kalksandsteinen nach DIN 20000-402 auf dem Lieferschein bestätigt der Hersteller, dass die CE-gekennzeichneten Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 im Sinne der Landesbauordnungen und auf Grundlage der VV TB in Deutschland verwendet werden dürfen.



Bild 1 Die Rohstoffe: Kalk, Sand und Wasser

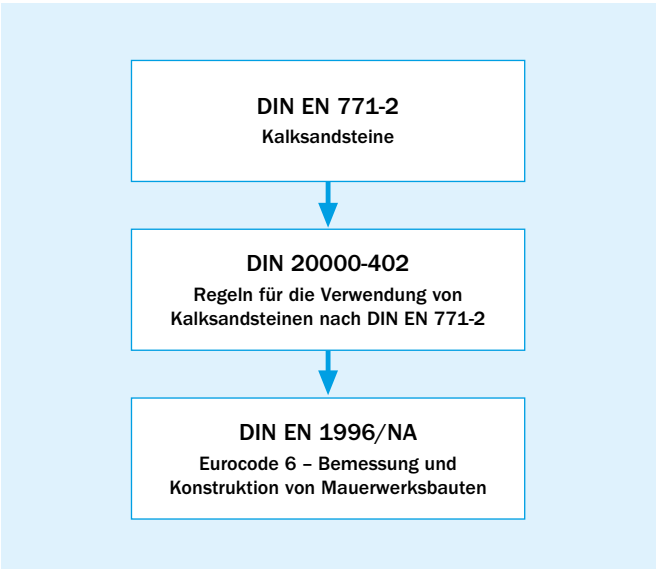


Bild 2 Verwendbarkeit von Kalksandsteinen

2. Herstellung

Die wesentlichen Stationen der Kalksandstein-Produktion sind (Bild 3):

1 Kalk und Sand aus den heimischen Abbaustätten werden im Werk in Silos gelagert. Die Rohstoffe werden im Mischungsverhältnis Kalk : Sand = 1 : 12 nach Gewicht dosiert, intensiv miteinander gemischt und über eine Förderanlage in Reaktoren geleitet.

2 Hier löscht der Branntkalk unter Zugabe von Wasser zu Kalkhydrat ab. Gegebenenfalls wird das Mischgut dann im Nachmischer auf Pressfeuchte gebracht.

3 Mit vollautomatisch arbeitenden Pressen werden die Steinrohlinge geformt und auf Härtewagen gestapelt (Bild 4).

4 Es folgt dann das Härten der Rohlinge unter geringem Energieaufwand bei Temperaturen von ca. 200 °C unter Wasserdampf-Sättigungsdruck, je nach Steinformat etwa vier bis zwölf Stunden. Der Vorgang ist von der Natur abgeschaut. Beim Härtevorgang wird durch die heiße Wasserdampfatmosphäre Kieselsäure von der Oberfläche der Quarzsandkörner angelöst. Die Kieselsäure bildet mit dem Bindemittel Kalkhydrat kristalline Bindemittelphasen – die CSH-Phasen –, die auf die Sandkörner aufwachsen und diese fest miteinander verzahnen. Die beim Herstellungsprozess gebildeten Strukturen aus Kalk, Sand und Wasser sind dafür verantwortlich, dass der Kalksandstein ein festes Gefüge hat. Es entstehen keine Schadstoffe (Bild 5).

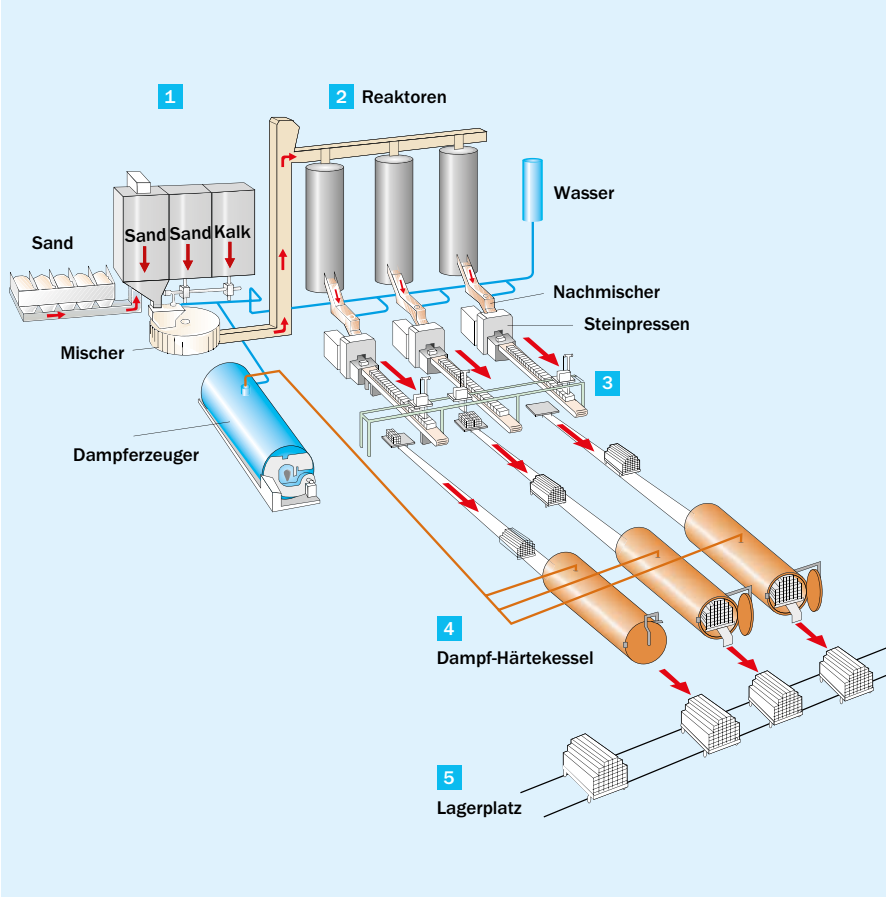


Bild 3 Herstellung von Kalksandstein

5 Nach dem Härten und Abkühlen sind die Kalksandsteine gebrauchsfertig, eine werksseitige Vorlagerung ist nicht erforderlich.



Bild 4 Nach dem Mischen werden die Rohlinge gepresst.



Bild 5 Das Härten der Rohlinge erfolgt in Dampf-Härtekesseln.

3. Kalksandsteinprodukte

Von der Kalksandsteinindustrie wird eine Vielzahl an Formaten für die Handvermauerung und für das Mauern mit Versetzgerät angeboten. Das KS-Bausystem umfasst neben den Steinformaten für die Erstellung von Mauerwerk nach DIN EN 1996/NA auch Bauteile zur Systemergänzung sowie Sonderprodukte.

Die KS-Palette zur Herstellung von tragenden und nicht tragenden Wänden reicht von traditionellen, kleinformatigen Kalksandsteinen zur Handvermauerung über mittelformatige Voll- und Lochsteine bis zu großformatigen Elementen mit Nut-Feder-System zum maschinellen Versetzen.

Mit KS-Bauplatten werden schlanke nicht tragende Wände hergestellt. Besonders wirtschaftlich sind zudem KS-Plansteine und KS-Planelemente, die mit Dünnbettmörtel verarbeitet werden. KS -E-Steine ermöglichen – auch nachträglich – die Verlegung von Elektroinstallation ohne Schlitzen und Fräsen. Steine zur Erstellung von Sichtmauerwerk runden die Palette ab.

Alle Kalksandsteine sind nach DIN EN 771-2 mit dem CE-Kennzeichen versehen. Anhand der in der Leistungserklärung deklarierten wesentlichen Merkmale werden die Steine nach DIN 20000-402 für die Verwendung in Deutschland eingestuft und bezeichnet.

3.1 Bezeichnung

Die Bezeichnung der Kalksandsteine erfolgt nach DIN 20000-402. Sie setzt sich zusammen aus der Steinsorte, der DIN-Hauptnummer, der Steinart, der Steindruckfestigkeitsklasse, der Steinrohdichteklasse und dem Format-Kurzzeichen. Ab dem Format 4 DF ist zusätzlich die Wanddicke anzugeben. Anstelle des Format-Kurzzeichens dürfen auch die Maße in der Reihenfolge Länge/Breite/Höhe angegeben werden. Die Breite entspricht der Wanddicke (Bild 6).

3.2 Steinarten

Kalksandsteine werden in verschiedenen Eigenschaften für unterschiedliche Anwendungsbereiche angeboten. Bei der Unterscheidung der Steinarten sind nach DIN 20000-402 verschiedene in der Leistungserklärung deklarierte Merkmale zu beachten (Tafel 1, Bilder 7 bis 13).

Tafel 1 Wichtige Steinarten und -bezeichnungen nach DIN 20000-402

	Bezeichnung	Kurzzeichen	Schichthöhe [cm]	Eigenschaften und Anwendungsbereiche
a) Kalksandsteine: Lochanteil ≤ 15 % der Lagerfläche				
1	**KS-Vollsteine**	KS	≤ 12,5	Für tragendes und nicht tragendes Mauerwerk in Normalmauermörtel versetzt
2	**KS -R-Blocksteine**	KS -R	> 12,5 ≤ 25	Wie Zeile 1, zusätzlich mit Nut-Feder-System an den Stirnseiten; Stoßfugenvermörtelung kann daher im Regelfall entfallen
3	**KS-Plansteine KS -R-Plansteine**	KS P KS -R P	≤ 25	Wie Zeile 2, aufgrund höherer Anforderungen an die Abmaßklasse (Toleranzen) zum Versetzen in Dünnbettmörtel geeignet
4	**KS-Fasensteine**	KS F	≤ 25	Wie Zeile 3, jedoch mit beidseitig umlaufender Fase an der Sichtseite von ca. 4 bis 7 mm
5	**KS XL-Rasterelemente**[1]	KS XL-RE	≥ 50 ≤ 62,5	Wie Zeile 3; Lieferung von Regelelementen der Länge 498 mm sowie Ergänzungselementen der Längen 373 mm und 248 mm
6	**KS XL-Planelemente**[1]	KS XL-PE	≥ 50 ≤ 65	Wie Zeile 3; Lieferung von werkseitig vorkonfektionierten Wandbausätzen mit Regelelementen der Länge 998 mm
7	**KS XL-E-Planelemente**	KS XL-E	= 50	Wie Zeile 5, jedoch mit durchgehenden Installationskanälen (KS -E-Steine)
b) Kalksandsteine: Lochanteil > 15 % der Lagerfläche				
8	**KS-Lochsteine**	KS L	≤ 12,5	Für tragendes und nicht tragendes Mauerwerk in Normalmauermörtel versetzt
9	**KS -R-Hohlblocksteine**	KS L-R	> 12,5 ≤ 25	Wie Zeile 8, zusätzlich mit Nut-Feder-System an den Stirnseiten; Stoßfugenvermörtelung kann daher im Regelfall entfallen
10	**KS-Plansteine KS -R-Plansteine**	KS L P KS L-R P	≤ 25	Wie Zeile 9, aufgrund höherer Anforderungen an die Abmaßklasse (Toleranzen) zum Versetzen in Dünnbettmörtel
c) Frostwiderstandsfähige Kalksandsteine[2]				
11	**KS-Vormauersteine**	KS Vm	≤ 25	Kalksandsteine mindestens der Druckfestigkeitsklasse 10, die frostwiderstandsfähig sind (mindestens Frostwiderstandklasse F1)
12	**KS-Verblender**[2]	KS Vb	≤ 25	Kalksandsteine mindestens der Druckfestigkeitsklasse 16 mit höheren Anforderungen an die Abmaßklasse (Toleranzen) als Zeile 11 und erhöhter Frostwiderstandsfähigkeit (mindestens Frostwiderstandklasse F2)

[1] Im Markt sind unterschiedliche Marken bekannt.
[2] KS-Verblender werden regional auch als bossierte Steine oder mit bruchrauer Oberfläche angeboten.

Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

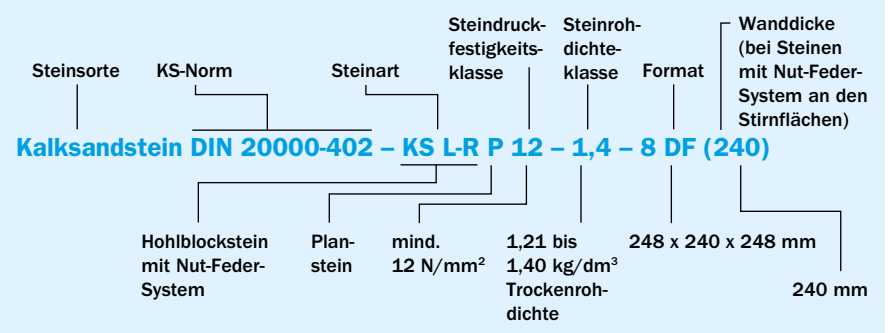


Bild 6 Bedeutung der Kurzzeichen (Beispiel)

3.2.1 Maße

Kalksandsteine halten die in DIN 20000-402 angegebenen Mindest- und Höchstmaße ein. Hierbei wird unterschieden in Sollmaße von Klein- und Mittelformaten (Voll-, Loch-, Block-, Hohlblock-, Plan- und Fasensteine) sowie Sollmaße von großformatigen Planelementen (KS XL). Für KS-Bauplatten gelten gesonderte Abmessungen.

Die Kalksandsteinindustrie bietet für jeden Anwendungsfall das richtige Steinformat an. Alle Steinformate entsprechen den Anforderungen in DIN 20000-402 sowie DIN 4172 „Maßordnung im Hochbau“. Sie werden in der Regel als Vielfaches vom Dünnformat (DF) angegeben (Ausnahme: NF = Normalformat).

INFO

Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.



3.2.2 Grenzabmaße (Toleranzen)

Kalksandsteine sind durch das Herstellverfahren sehr maßgenau. Die in der Leistungserklärung deklarierte Abmaßklasse nach DIN EN 771-2 muss gemäß DIN 20000-402 für die Verwendung mit Dünnbettmörtel mindestens T3 und für die Verwendung mit Normal- oder Leichtmauermörtel mindestens T1 entsprechen (Tafel 2). Für KS-Verblender sind die Grenzabmaße der Klasse Tm in DIN 20000-402 angegeben.

3.2.3 Form und Ausbildung

Ein weiteres wichtiges Kriterium zur Einordnung von Kalksandsteinen in die verschiedenen Steinarten nach DIN 20000-402 ist die Unterscheidung hinsichtlich Form und Ausbildung. Hierzu gehören beispielsweise die folgenden Kriterien:

- Lochanteil bezogen auf die Lagerfläche (Vollsteine/Lochsteine)
- Stegdickensumme (Lochsteine)
- Anordnung und Ausbildung von Grifffhilfen, Grifflöchern und Hantierlöchern
- Anordnung und Ausgestaltung von Lochbildern (Lochreihenanzahl, Stegdicken, Lochdurchmesser)
- Stoßfugenausbildung (Nut-Feder-System)
- Kantenausbildung (Fasensteine)

3.3 Physikalische Eigenschaften von Kalksandstein

Die physikalischen Eigenschaften von Kalksandsteinen werden in DIN 20000-402 anhand der deklarierten wesentlichen Merkmale klassifiziert.

3.3.1 Druckfestigkeitsklasse

Die Steindruckfestigkeit wird in N/mm^2 angegeben. Kalksandsteine sind in den Druckfestigkeitsklassen 4 bis 60 genormt. In der Praxis werden im Wesentlichen die Druckfestigkeitsklassen 12 und 20 hergestellt (Tafel 3).

Tafel 2 Grenzabmaße von Kalksandsteinen

Maße	KS und KS -R	KS -R P und KS XL	KS Vb[1)]
Abmaßklasse	T1	T3	Tm
Steinlänge und -breite **Mittelwerte** **Einzelwerte**	 Soll ±2 mm Mittel ±2 mm	 Soll ±2 mm Soll ±3 mm	 Soll ±1 mm Mittel ±1 mm
Steinhöhe **Mittelwerte** **Einzelwerte**	 Soll ±2 mm Mittel ±2 mm	 Soll – Soll ±1,0 mm	 Soll ±2 mm Mittel ±2 mm
Ebenheit und Planparallelität	–	1,0 mm	–

[1)] KS-Verblender mit strukturierter Oberfläche haben eine oder zwei bossierte bzw. bruchraue Sichtflächen. Die Anforderungen an die Grenzabmaße gelten nicht für die Richtung senkrecht zur strukturierten Oberfläche.

Für die Zuordnung in die Druckfestigkeitsklassen nach DIN 20000-402 muss die nach DIN EN 772-1 geprüfte und in der Leistungserklärung deklarierte mittlere Druckfestigkeit noch auf die in Deutschland maßgebende Druckfestigkeit unter Berücksichtigung des Formfaktors und des Faktors für den lufttrockenen Zustand umgerechnet werden.

Tafel 3 Übliche Druckfestigkeitsklassen von Kalksandstein

Druckfestigkeitsklasse[1]	10[2]	12	16[2]	20	28[2]
Mittlere Mindestdruckfestigkeit f_{st} [N/mm²]	12,5	15,0	20,0	25,0	35,0

[1] Entspricht auch dem kleinsten zulässigen Einzelwert bei einer Prüfung
[2] Nur auf Anfrage regional lieferbar

3.3.2 Rohdichteklasse

Die Steinrohdichte wird in kg/dm³ angegeben. Der in der Leistungserklärung deklarierte Wertebereich der Brutto-Trockenrohdichte wird nach DIN 20000-402 der zugehörigen Rohdichteklasse zugeordnet (Tafel 4).

Tafel 4 Übliche Rohdichteklassen von Kalksandstein

Rohdichteklasse	1,2[1]	1,4	1,6[1]	1,8	2,0	2,2
Klassengrenzen [kg/dm³]	1,01 bis 1,20	1,21 bis 1,40	1,41 bis 1,60	1,61 bis 1,80	1,81 bis 2,00	2,01 bis 2,20

[1] Nur auf Anfrage regional lieferbar

Voll- und Blocksteine sind dabei den Rohdichteklassen ≥ 1,6 zuzuordnen, Loch- und Hohlblocksteinen den Rohdichteklassen ≤ 1,6. Ob Steine der Rohdichteklasse 1,6 zu den Voll- oder Lochsteinen zu zählen sind, ist abhängig vom prozentualen Lochanteil der Steine. In der Praxis werden im Wesentlichen die Rohdichteklassen 1,4 bis 2,2 hergestellt.

3.3.3 Frostwiderstand

Kalksandsteine für ungeschütztes Mauerwerk, die der Witterung ausgesetzt sind (z.B. in der Verblendschale von zweischaligem Mauerwerk), müssen frostwiderstandsfähig sein. Die Einstufung in Vormauersteine und Verblender erfolgt nach DIN 20000-402. Bei KS-Vormauersteinen (Vm) muss mindestens die Frostwiderstandsklasse F1 und bei KS-Verblendern (Vb) mindestens die Frostwiderstandklasse F2 deklariert sein. Dies entspricht einer extremen Beanspruchung von 25 bzw. 50 Frost-Tau-Wechseln, wobei die Temperatur im Verlauf der Prüfung zwischen -15 °C und +20 °C wechselt. Zudem müssen KS-Vm mindestens die Druckfestigkeitsklasse 10 und KS-Vb mindestens die Druckfestigkeitsklasse 16 aufweisen.

INFO

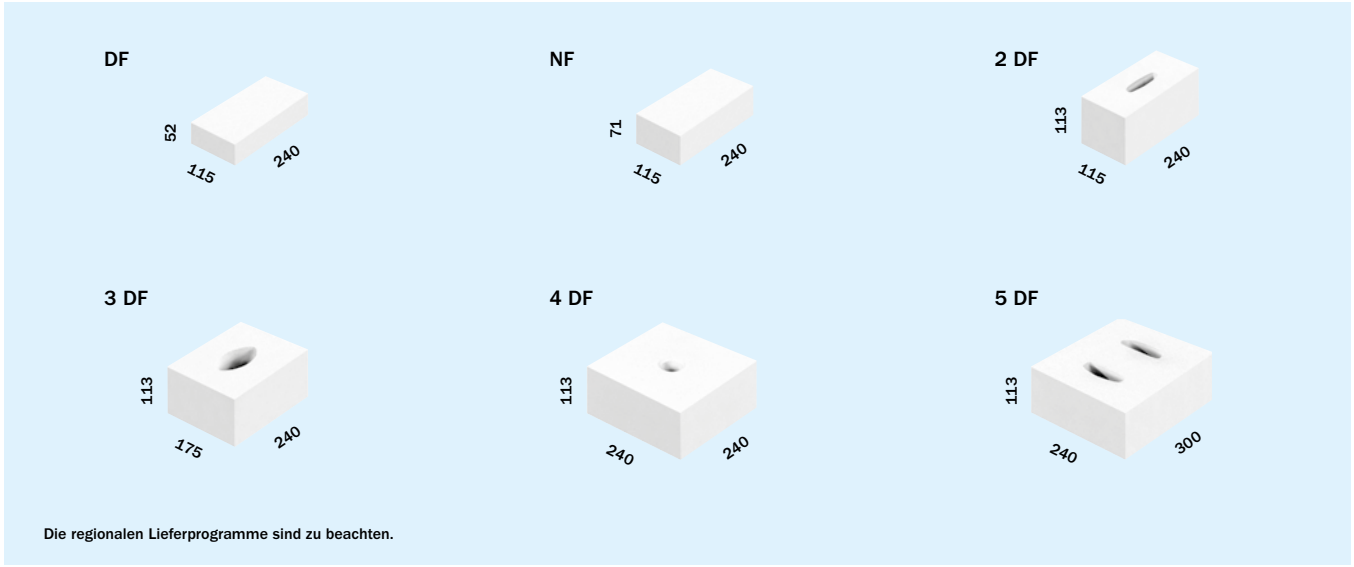
Die Frostwiderstandsklasse wird in der Leistungserklärung gemäß DIN EN 771-2 nur bei Kalksandsteinen für ungeschütztes Mauerwerk deklariert.

3.3.4 Brandverhalten

Kalksandsteine nach DIN 20000-402 entsprechen der Brandverhaltensklasse A1 (nichtbrennbar) und werden entsprechend deklariert.

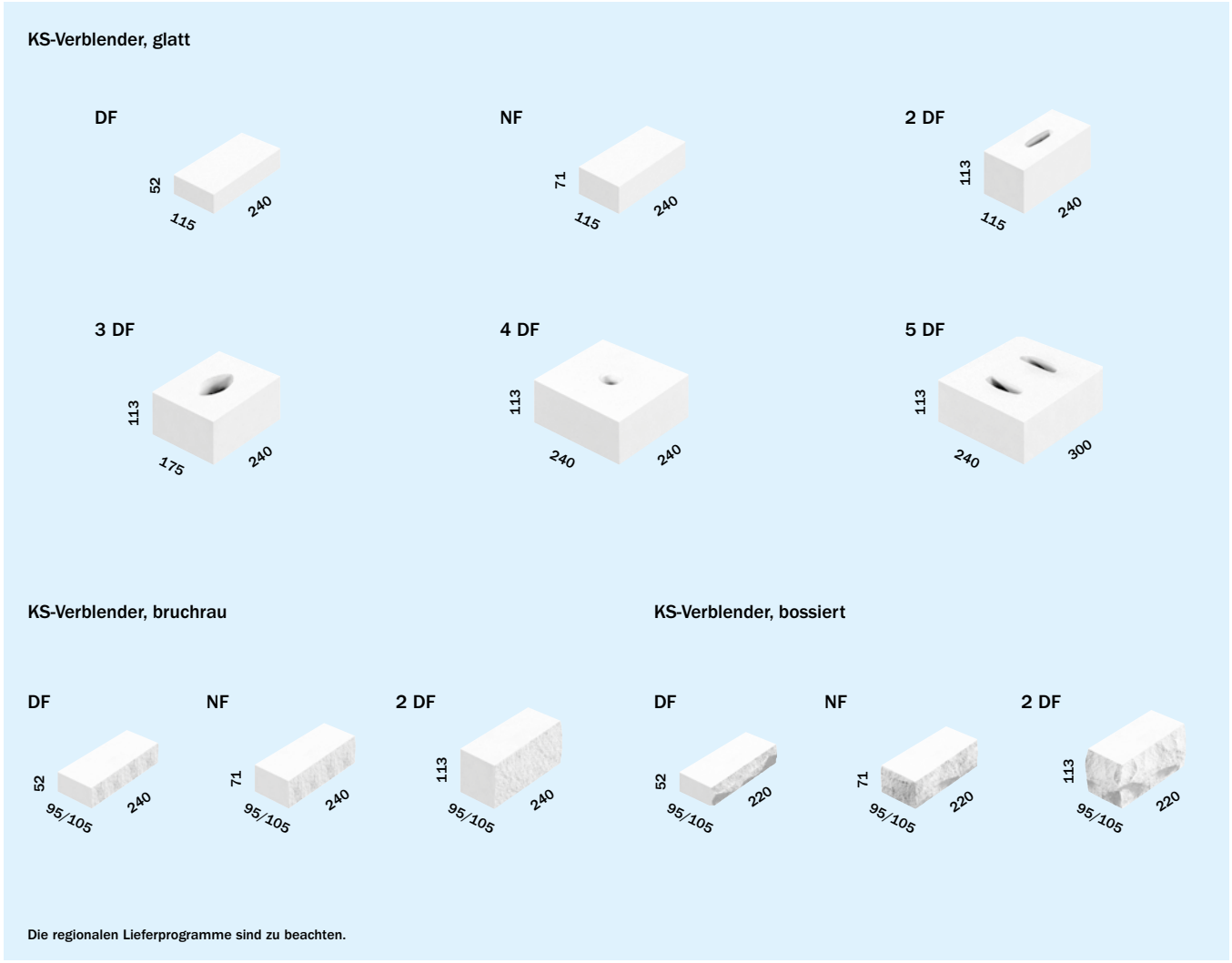


3.4 Kalksandsteine für die Verarbeitung mit Normalmauermörtel



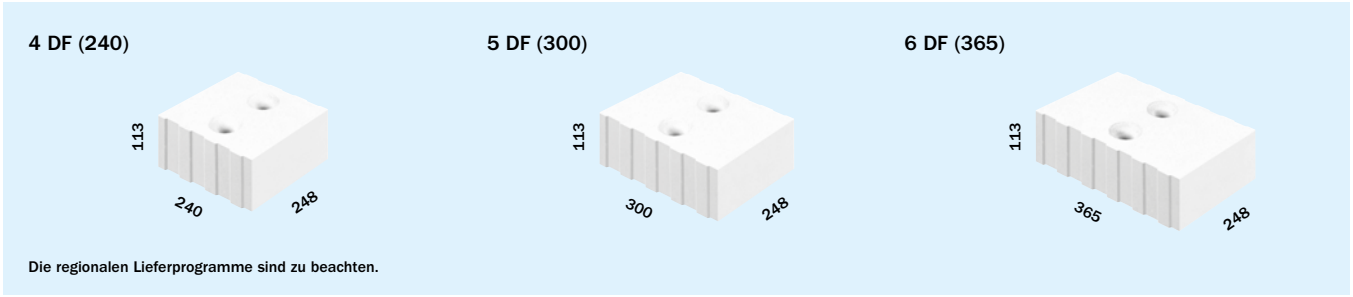
Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

Bild 7 Beispiele von KS-Steinen zur Verarbeitung mit Normalmauermörtel



Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

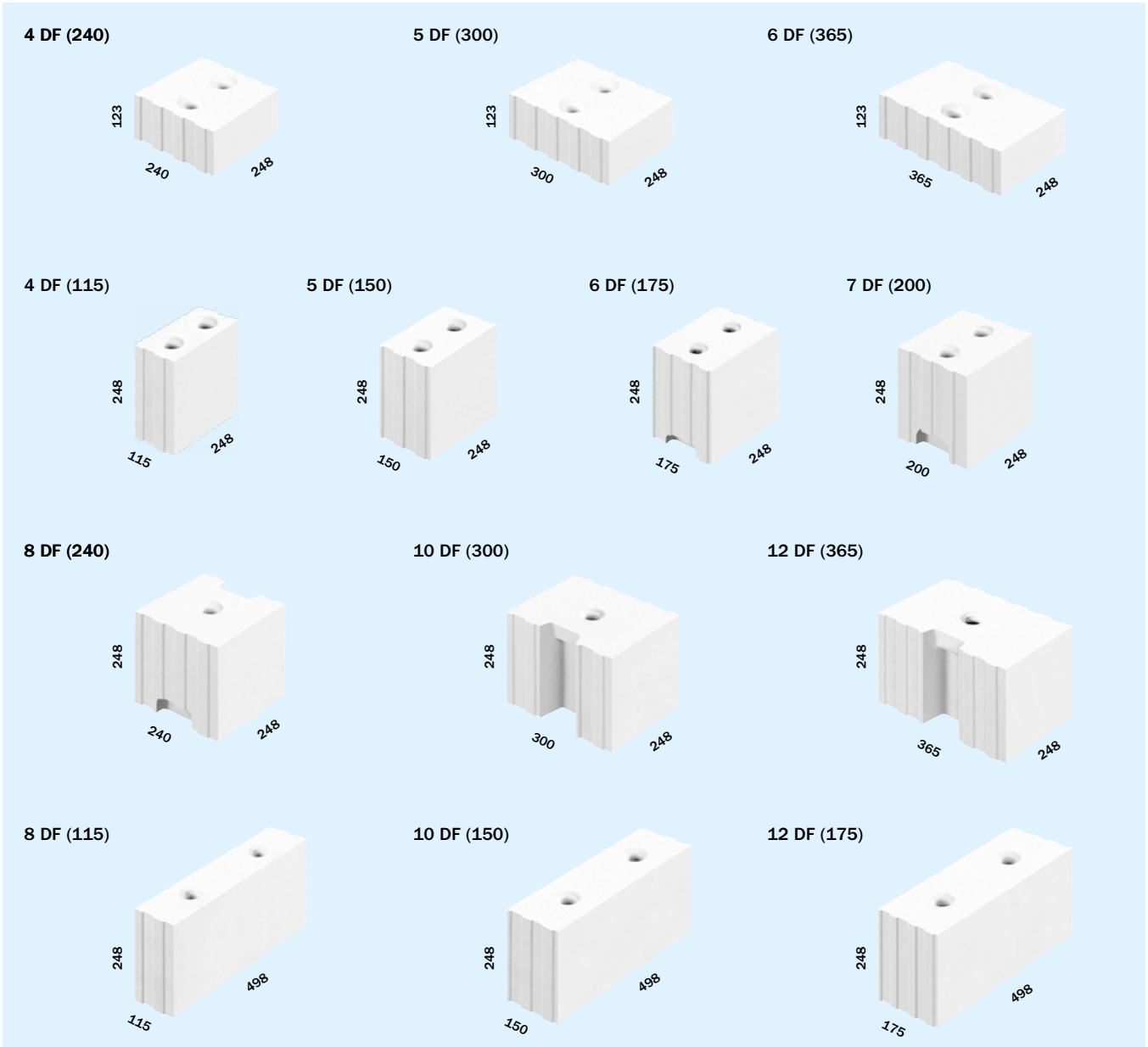
Bild 8 Beispiele von KS-Produkten für Sicht- und Verblendmauerwerk, zur Verarbeitung mit Normalmauermörtel



Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

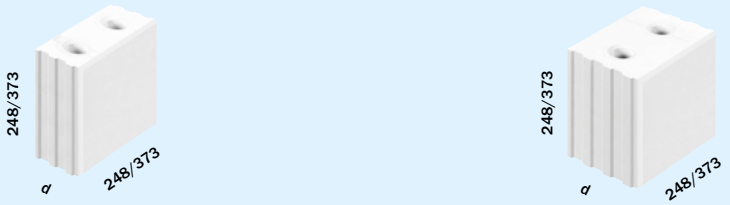
Bild 9 Beispiele von KS -R-Steinen (h = 113 mm), zur Verarbeitung mit Normalmauermörtel

3.5 Kalksandsteine für die Verarbeitung mit Dünnbettmörtel



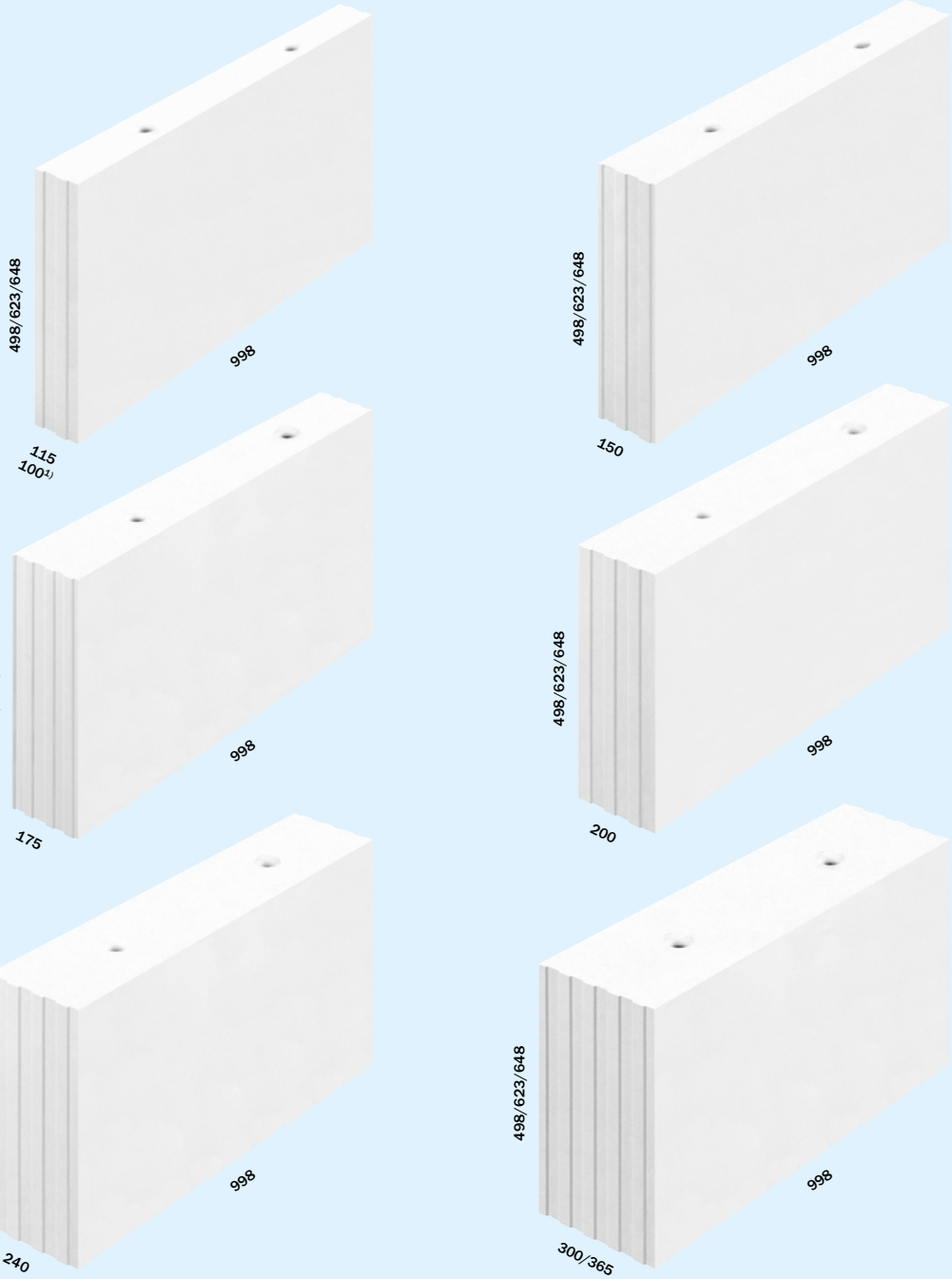
Steine mit einem Gewicht bis zu 25 kg lassen sich von Hand mauern.
Bei größerem Einzelsteingewicht werden Versetzgeräte eingesetzt.
Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

Bild 10 Beispiele von KS -R-Plansteinen (h = 123 mm bzw. 248 mm), zur Verarbeitung mit Dünnbettmörtel



Wanddicke d = 115[1)], 175, 240 mm Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten. [1)] Nur für nicht tragende Wände

Bild 11 Beispiele von KS-Fasensteinen, zur Verarbeitung mit Dünnbettmörtel



Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten. Im Markt sind unterschiedliche Marken bekannt. [1)] Nur für nicht tragende Wände

Bild 12 Beispiele von KS XL-Planelementen, zur Verarbeitung mit Dünnbettmörtel

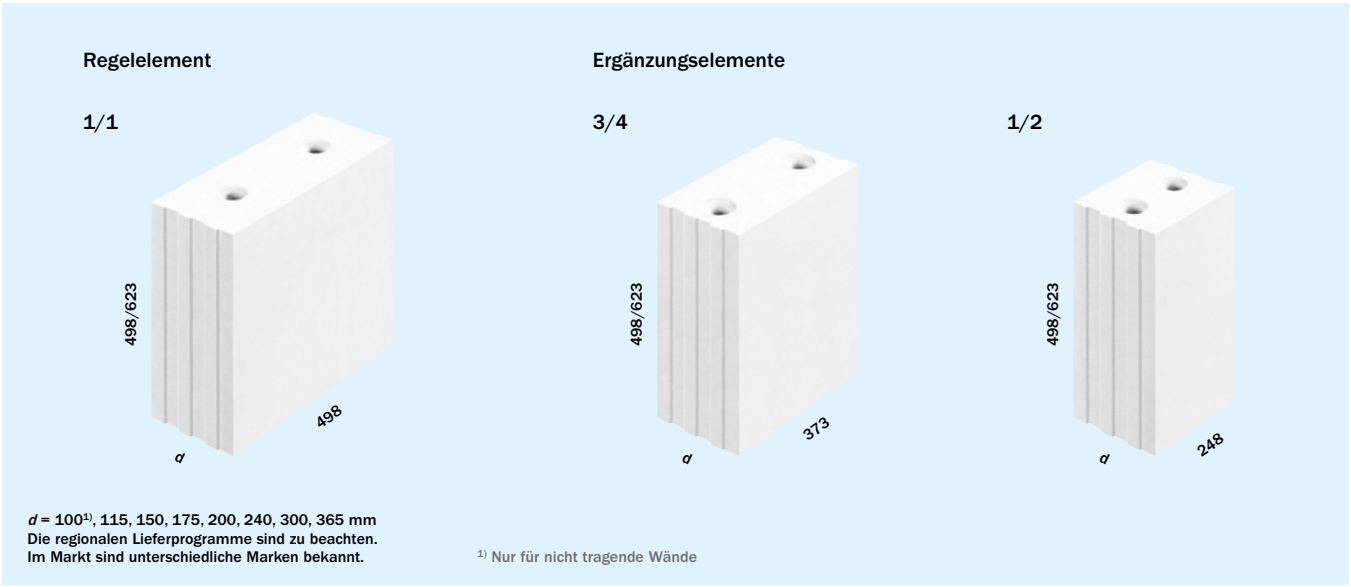


Bild 13 Beispiele von KS XL-Rasterelementen, zur Verarbeitung mit Dünnbettmörtel

3.6 Bauteile zur Systemergänzung

Die Bauteile zur Systemergänzung runden das Lieferprogramm ab und ermöglichen somit die Erstellung von Wänden aus einem Baustoff.

3.6.1 KS-Kimmsteine

KS-Kimmsteine sind Ergänzungssteine nach DIN EN 771-2 und DIN 20000-402, die in unterschiedlichen Höhen zum Höhenausgleich am Wandfuß bzw. am Wandkopf eingesetzt werden (Bild 15).

3.6.2 KS-Wärmedämmsteine

KS-Wärmedämmsteine sind wärmetechnisch optimierte Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 und DIN 20000-402, die unter Verwendung eines natürlichen Leichtzuschlags hergestellt werden. Sie werden in der Regel als Vollstein in der Druckfestigkeitsklasse ≤ 20 und einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda \leq 0{,}33$ W/(m·K) angeboten, regional auch mit anderen Steineigenschaften. Die verbesserten wärmeschutztechnischen Kennwerte werden laufend von unabhängigen Prüfstellen überwacht (Bild 15).

KS-Wärmedämmsteine werden an geometrisch bedingten Wärmebrücken wie z.B. Wandfußpunkten von Außen- und In-

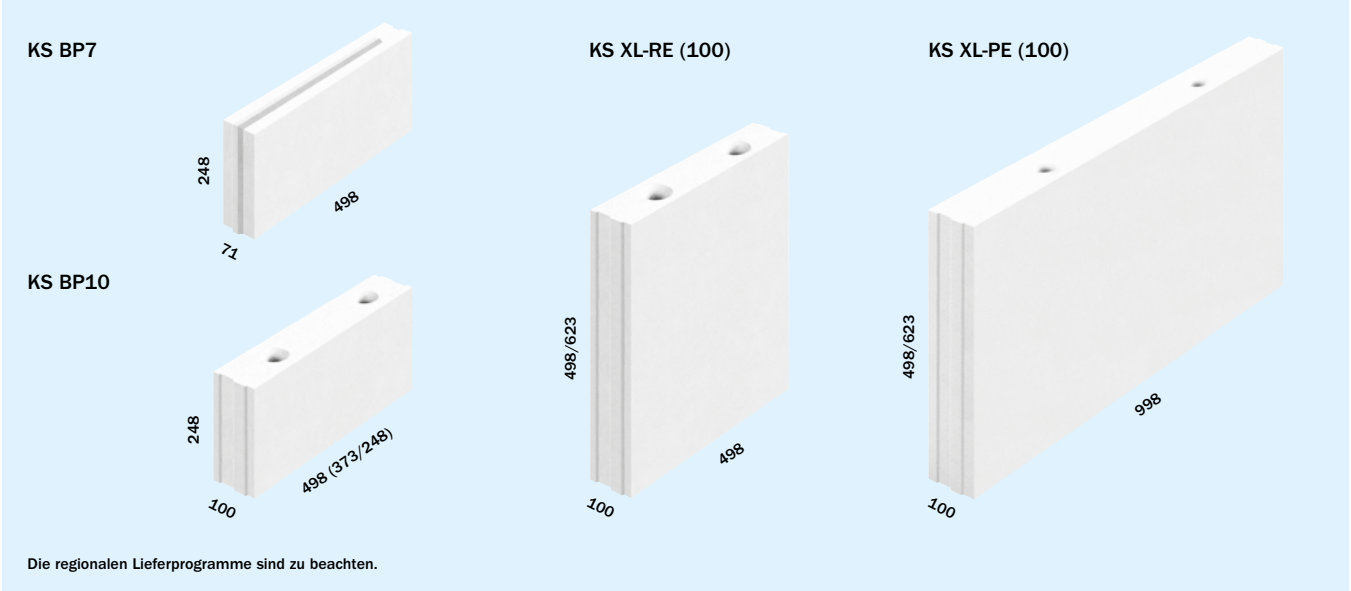


Bild 14 KS-Produkte für nicht tragende Wände nach DIN 4103

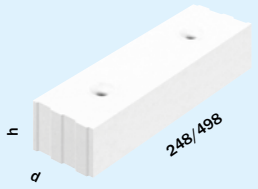
nenwänden über nicht beheizten Kellern, Fundamentplatten oder belüfteten Kriechkellern eingesetzt.

3.6.3 KS-Stürze

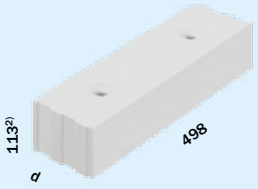
Als vorgefertigte Bauteile zur Öffnungsüberdeckung werden vorgefertigte KS-Stürze nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung angeboten (Bild 16).

Es wird unterschieden zwischen *KS-Flachstürzen* ($h \leq 12{,}5$ cm), deren Druckzone (Übermauerung) auf der Baustelle hergestellt wird, und *KS-Fertigteilstürzen* ($h > 12{,}5$ cm) (Bild 17).

KS-Höhenausgleichs- bzw. KS-Kimmsteine in unterschiedlichen Höhen *h*



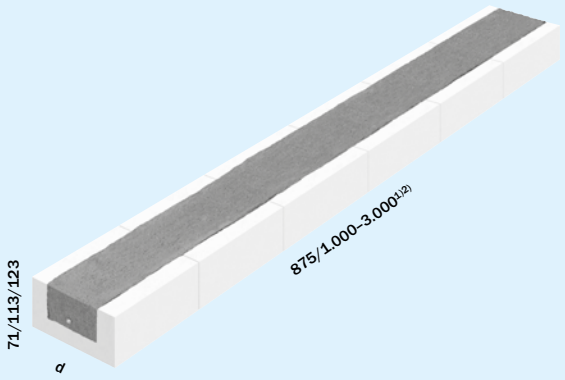
KS-Wärmedämmsteine (wärmetechnisch optimierte Kalksandsteine)[1] mit einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda \leq 0{,}33$ W/(m·K)



Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

[1] Im Markt sind unterschiedliche Marken bekannt.
[2] Andere Höhen auf Anfrage

Bild 15 KS-Kimmsteine und KS-Wärmedämmsteine

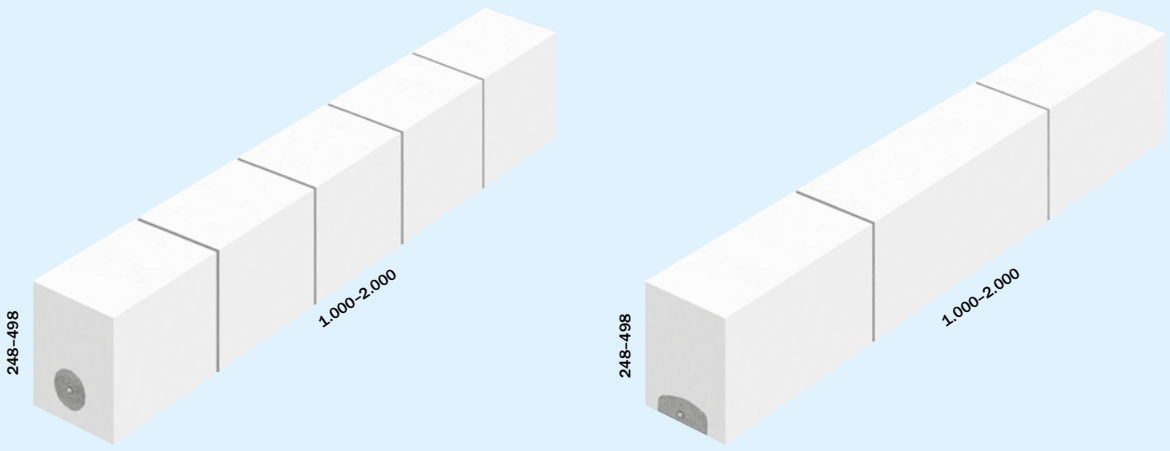


Sturzbreite *d* = [mm]	Sturzhöhe [mm]	Nennlänge [mm]
115 175	71	1.000 bis 3.000[1]
115 150 175 200 240	113	
100[3)*] 115 150 175 200 240	123	875 bis 3.000[2]

Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

[1] Abgestuft in 250 mm-Schritten
[2] Abgestuft in 125 mm-Schritten
[3] Nur für nicht tragende Wände
[*] Auf Anfrage

Bild 16 KS-Flachstürze nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ)



Lieferbar in verschiedenen Wanddicken und Längen.
Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

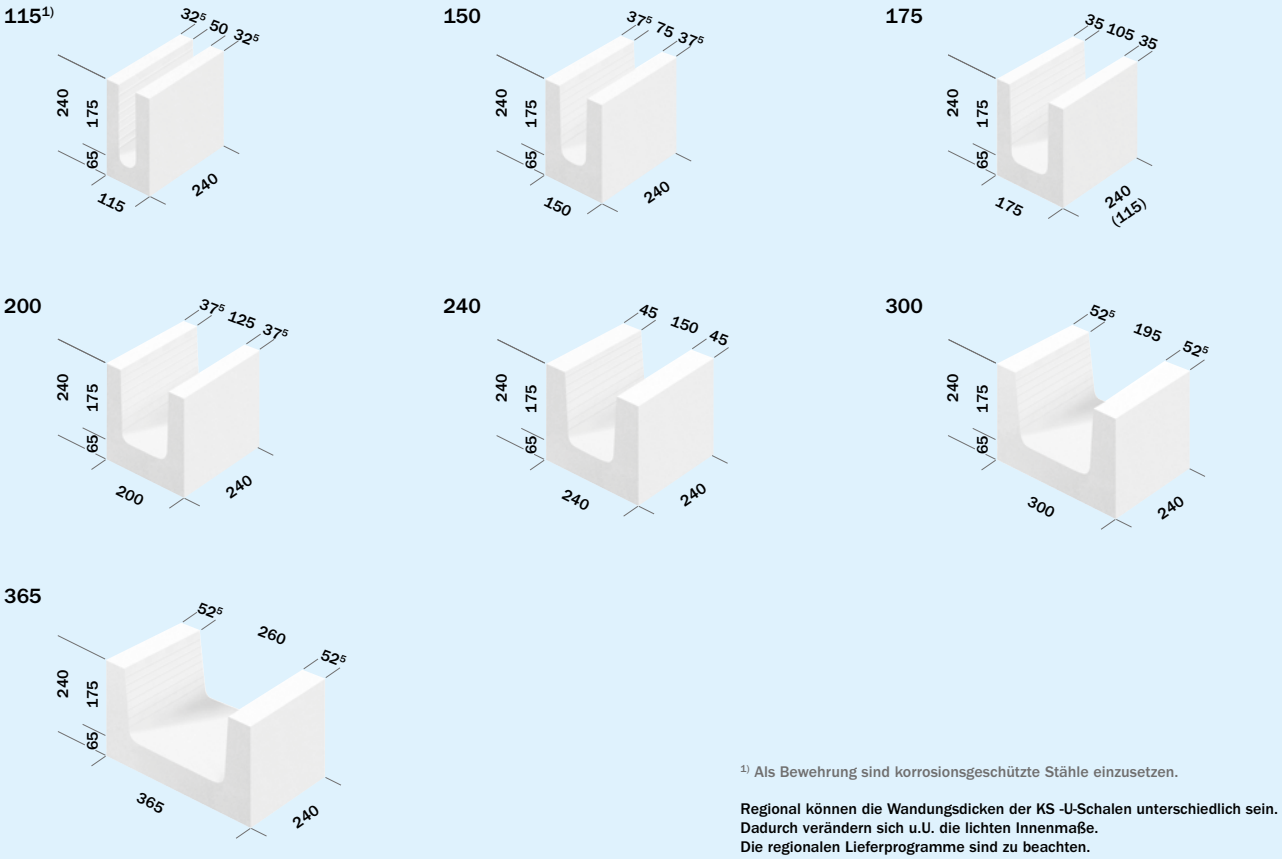
Bild 17 KS-Fertigteilstürze nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ)

3.6.4 KS -U-Schalen

KS -U-Schalen sind Kalksand-Formsteine nach DIN EN 771-2 und DIN 20000-402, die aus anwendungstechnischen Gründen von der Form eines geschlossenen Mauersteins abweichen. Sie werden z.B. für Ringbalken, Stürze, Stützen und Installationsschlitze im Mauerwerk verwendet. KS -U-Schalen werden als Ergänzung für tragendes und nicht tragendes Mauerwerk sowie für Verblendmauerwerk angeboten (Bild 18).

3.6.5 KS -E-Steine

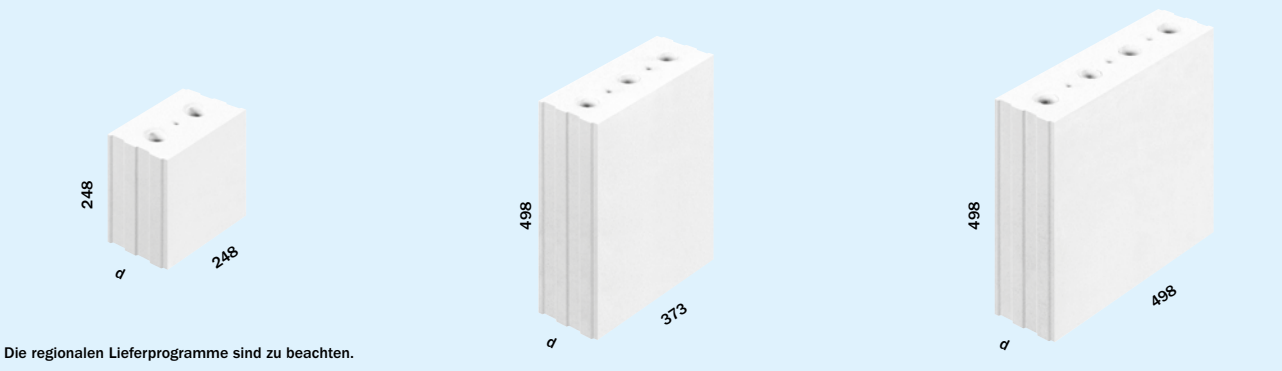
KS-Produkte nach DIN EN 771-2 und DIN 20000-402 mit durchgehenden vertikalen Installationskanälen (∅ ≤ 60 mm) im Abstand von 12,5 bzw. 25 cm werden als KS -E-Steine bezeichnet. Sie sind so im Verband zu mauern, dass über die gesamte Wandhöhe eines Geschosses durchgehende Kanäle entstehen. In diese Kanäle können nach Fertigstellung der Wände von der oberen Decke her Leerrohre für die Installation eingezogen werden. Der Vorteil dieser Bauweise ist, dass Installationsleitungen nicht eingefräst werden müssen, sondern geschützt in der Wand liegen (Bild 19).



[1)] Als Bewehrung sind korrosionsgeschützte Stähle einzusetzen.

Regional können die Wandungsdicken der KS -U-Schalen unterschiedlich sein. Dadurch verändern sich u.U. die lichten Innenmaße.
Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

Bild 18 KS -U-Schalen



Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

Bild 19 Beispiele von KS-Produkten mit durchgehenden Installationskanälen (KS -E-Steine)

4. Grundlagen für die Verwendung

Grundlage für das Inverkehrbringen von Kalksandsteinen ist die Bauproduktenverordnung (BauPVO) [4]. Diese gilt europaweit für alle Bauprodukte mit europäisch harmonisierter Norm. Die für Kalksandsteine geltende Norm DIN EN 771-2 wird in der jeweils aktuellen Fassung im Amtsblatt der Europäischen Kommission bekannt gemacht und gilt dann unmittelbar in allen Mitgliedsländern.

Auf dieser Grundlage erhalten alle Kalksandsteine eine Leistungserklärung und werden mit dem CE-Kennzeichen versehen.

CE-gekennzeichnete Bauprodukte dürfen zwar ohne zusätzliche Anforderungen im Markt bereit gestellt, aber nicht ohne weitere Verwendungsregeln in Bauwerken auch verwendet werden. Die Festlegung der Bauwerksanforderungen obliegt im Gegensatz zum Inverkehrbringen von harmonisierten Bauprodukten den einzelnen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union.

Grundlage der Anforderungen an Bauprodukte zur Verwendung in Bauwerken sind in Deutschland gemäß den Landesbauordnungen die bauaufsichtlich eingeführten Technischen Baubestimmungen. Diese sind in der vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) herausgegebenen Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VV TB) aufgelistet.

Gemäß VV TB ist die im Mauerwerksbau bei Bemessung und Anwendung einzuhaltende Technische Regel der Eurocode 6 (DIN EN 1996/NA) mit den verschiedenen Teilen und Nationalen Anhängen. Gleichzeitig sind nach VV TB die für Mauersteine geltenden Anwendungsnormen – für Kalksandsteine DIN 20000-402 – zu beachten.

Hintergrund ist, dass nicht alle nach DIN EN 771-2 herstellbaren Kalksandsteine auch die in Deutschland geltenden Bauwerksanforderungen erfüllen. Daher legt DIN 20000-402 fest, welche der in DIN EN 771-2 definierten wesentlichen Merkmale in der Leistungserklärung mindestens zu deklarieren sind und welchen Wert die deklarierten Leistungen erfüllen müssen. Für Produkte, die diese Anforderungen nicht erfüllen, muss gemäß den Landesbauordnungen eine Bauartgenehmigung (früher Anwendungszulassung) des Deutschen Instituts für Bautechnik vorliegen.

Kalksandsteine werden in DIN 20000-402 zudem für die Anwendung nach DIN EN 1996/NA klassifiziert. Sind alle Anforderungen an die wesentlichen Merkmale erfüllt und sind die Steine entsprechend klassifiziert, darf für die betreffenden Kalksandsteine die in Deutschland bekannte Bezeichnung verwendet werden (Bild 6).

5. Kennzeichnung

Wegen der umfangreichen Deklarationspflicht in der Leistungserklärung und im CE-Kennzeichen ist die Einordnung von Kalksandsteinen nach DIN 20000-402 aufwändig und für den Verwender ohne detaillierte Kenntnisse nur schwer zu leisten. Die deutsche Kalksandsteinindustrie nimmt die Einstufung ihrer Produkte nach der nationalen Anwendungsnorm daher bereits im Vorfeld selbst vor.

Die zusätzliche Bezeichnung nach DIN 20000-402 auf Lieferschein, Beipackzettel und/oder auf der Verpackung gibt dem Verwender in bekannter Form die notwendigen Hinweise für die Verwendung. Bei Kalksandsteinen, die diese Bezeichnung tragen, braucht der Verwender daher nicht mehr selbst zu überprüfen, ob CE-gekennzeichnete Kalksandsteine nach den Landesbauordnungen in Deutschland auch verwendbar sind. Die prägnante und bewährte Bezeichnung nach DIN 20000-402 vereinfacht zudem ganz wesentlich den Umgang mit Kalksandsteinen in der Baupraxis. Erst durch diese Bezeichnung ist die Planung, Bemessung, Ausschreibung und Bestellung von Produkt und Qualität in der deutschen Baupraxis mit einem überschaubaren Aufwand möglich.

INFO

Die deutsche Kalksandsteinindustrie hält – zusätzlich zur CE-Kennzeichnung – an der bewährten und etablierten Kurzkennzeichnung nach DIN 20000-402 fest.

Neben den bauaufsichtlich relevanten Aspekten ist mit der Klassifizierung von Kalksandsteinen nach DIN 20000-402 durch den Hersteller damit sicher gestellt, dass Kalksandsteine auch in der Praxis einfach und für alle Beteiligten leicht überschaubar im Mauerwerksbau nach DIN EN 1996/NA (Eurocode 6) verwendet werden können.

6. Mauerwerks- und systemgerechte Planung

Die Steinlängen und die Steinhöhen der Kalksandsteine entsprechen der oktametrischen Maßordnung nach DIN 4172. Abweichende Wanddicken, z.B. 15 cm und 20 cm, aber auch die klassischen 30 cm dicken Wände durchbrechen dieses Raster. In DIN 4172 „Maßordnung im Hochbau“ sind Rohbau- Richtmaße festgelegt, die vom „Meter“ (m) und „Achtelmeter“ (am = 1/8 m = 12,5 cm) abgeleitet sind. Es wird deshalb auch vom „oktametrischen Raster“ (12,5er-Raster) gesprochen. Diese Rohbau-Richtmaße gelten für alle Längen-, Breiten- und Höhenmaße im Bauwesen. Sie sind Vielfaches des Achtelmeters (n · 12,5 cm) und als Planungsmaße für den Architekten von Bedeutung. Für Ausführungspläne werden Nennmaße benötigt, die abhängig von der Bauweise (mit oder ohne Fugen) differenziert werden (Bild 25).



Bild 20 KS -R-Blocksteine für Normalmauermörtel



Bild 21 KS -R-Plansteine für Dünnbettmörtel

INFO

Kalksandsteine mit Nut-Feder-System entsprechen ebenso wie Kalksandsteine mit glatten Stirnseiten der Maßordnung der DIN 4172.

6.1 Planung

Neben den Randbedingungen, die sich aus den Rohbau-Richtmaßen ergeben, sollten bei heute üblichem Mauerwerk aus mittel- oder großformatigen Kalksandsteinen, die systembedingten Eigenschaften der jeweiligen KS-Produkte bereits in der Planung berücksichtigt werden, um das hohe Wirtschaftlichkeitspotenzial modernen KS-Mauerwerks auszuschöpfen. Deshalb werden diese Eigenschaften nachfolgend aufgezeigt, bevor allgemeine Empfehlungen zur mauerwerksgerechten Planung gegeben werden.

6.1.1 KS -R-Steine

Wesentliche Kennzeichen der KS -R-Steine für die Verarbeitung mit Normalmauermörtel (Bild 20) sind die Stirnflächenausbildung mit Nut- Feder-System für das Mauern in der Regel ohne Stoßfugenvermörtelung und die ergonomisch gestalteten Grifflöcher für das Mauern der Steine von Hand.

KS -R-Steine mit h = 25 cm Schichthöhe werden als KS-Blocksteine bezeichnet.

6.1.2 KS -R-Plansteine

Die hohe Maßgenauigkeit (Höhentoleranz ± 1,0 mm) von KS -R-Plansteinen (KS -R P) ermöglicht besonders ebenflächiges und sauberes Mauerwerk. Die einfache Verarbeitung und der geringe Mörtelbedarf sind Merkmale für das Versetzen in Dünnbettmörtel (Bild 21). Die charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit nach DIN EN 1996/NA für Mauerwerk mit Dünnbettmörtel ist gegenüber Mauerwerk in Normalmauermörtel erhöht.



Bild 22 Anlegen der Kimmschicht



Bild 23 Vermauern von KS XL-Rasterelementen



Bild 24 Vermauern von KS XL-Planelementen

Beispiel Steindruckfestigkeitsklasse 20:

- f_k = 8,1 N/mm² für Mauerwerk mit Normalmauermörtel MG IIa
- f_k = 10,5 N/mm² für Mauerwerk mit Dünnbettmörtel

6.1.3 KS XL

KS XL sind großformatige Kalksandsteine, die mit Schichthöhen von 50 cm bzw. 62,5 cm geliefert werden. Die Länge der jeweiligen Regelelemente beträgt je nach System 50 cm (KS XL-Rasterelemente = KS XL-RE) oder 100 cm (KS XL-Planelemente = KS XL-PE).

KS XL werden nur mit Dünnbettmörtel verarbeitet. Die charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit für KS XL ist gegenüber Plansteinen nochmals erhöht (Tafel 6). Das Versetzen erfolgt mit einem Minikran.

Die Wände werden aus Regelelementen der Höhen 50 cm und/oder 62,5 cm und der Längen 50 cm (KS XL RE) bzw. 100 cm (KS XL-PE) hergestellt. Zum Längen- und Höhenausgleich kommen Passelemente und/oder Ausgleichselemente zum Einsatz.

Die Anwendung von KS XL ist seit Einführung von DIN EN 1996/NA normativ geregelt. Weitere bauaufsichtliche Nachweise oder Herstellererklärungen sind nicht erforderlich.

Auch bei KS XL mit Schichthöhen von 50 cm bzw. 62,5 cm soll das Überbindemaß von $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot$ Steinhöhe der Regelfall sein. Da dies aber nicht an allen Stellen baupraktisch ausführbar ist, ist in DIN EN 1996/NA auch die Reduzierung des Überbindemaßes bis zu $l_{ol} \geq 0{,}2 \cdot$ Steinhöhe $\geq$ 12,5 cm geregelt (Tafel 5, Bilder 23 und 24).

INFO

Eine Verringerung des Regelüberbindemaßes von KS XL ist in der statischen Bemessung der Wände zu berücksichtigen. Das Überbindemaß ist dann in den Ausführungsplänen anzugeben. Änderungen auf der Baustelle sind mit dem Statiker abzustimmen.

Beim Einsatz der Versetzgeräte ist insbesondere der Bauzustand zu beachten. Gegebenenfalls sind Montagestützen zur Abstützung der Decke nach Anweisung des Statikers zu setzen, da während des Bauzustandes höhere Verkehrslasten auftreten können als im Nutzungszustand (Bild 26). Bei der Lagerung von Steinpaketen auf den Zwischendecken ist ebenfalls zu prüfen, ob hierdurch ungünstige Lastfallkombinationen entstehen.

Die Verfahrbarkeit der Versetzgeräte ist sicherzustellen. Um dies zu gewährleisten, wird von der Bauleitung vor Beginn des Mauerns ein Ablaufplan für die Baustelle erstellt, in dem die Reihenfolge der

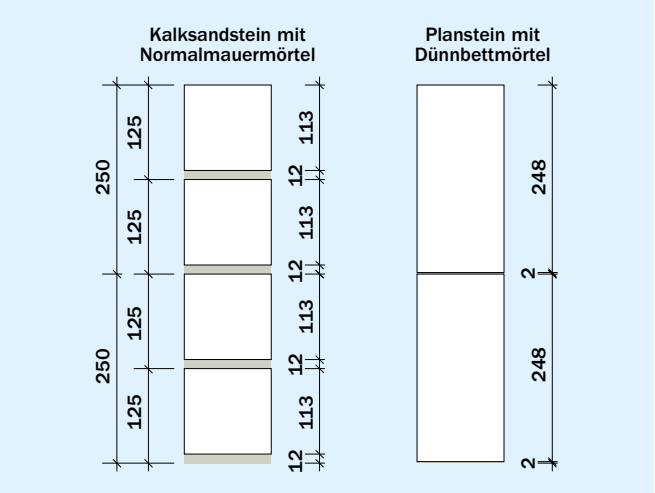
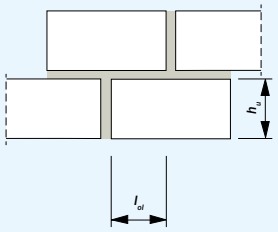


Bild 25 Schichtmaß

Tafel 5 Mindestüberbindemaße

Überbindemaß l_{ol} in Abhängigkeit von der Steinhöhe		
Steinhöhe h_u [cm]	Regelfall l_{ol} = 0,4 · Steinhöhe [cm]	Mindestüberbindemaß l_{ol} [cm]
< 11,3	5	≥ 4,5
11,3 / 12,3	5	≥ 0,4 · Steinhöhe $\hat{=}$ 5
24,8	10	≥ 0,4 · Steinhöhe $\hat{=}$ 10
49,8	20	≥ 0,25 · Steinhöhe $\hat{=}$ 12,5
62,3	25	≥ 0,2 · Steinhöhe $\hat{=}$ 12,5



Tafel 6 Charakteristische Druckfestigkeit f_k [N/mm²] von Einsteinmauerwerk aus Kalksand-Plansteinen und Kalksand-Planelementen mit Dünnbettmörtel

Dünnbettmörtel DM Steindruckfestigkeitsklasse	Planelemente		Plansteine	
	KS XL	KS XL-E KS XL-N	KS P KS -R P	KS L-P KS L-R P
10	–	–	–	5,0
12	9,4	7,0	7,0	5,6
16	11,2	8,8	8,8	6,6
20	12,9	10,5	10,5	–
28	16,0	–	13,8	–

KS XL: KS-Planelement, ohne Lochung
KS XL-E: KS-Planelement mit einem Lochanteil ≤ 15 %
KS P: KS-Planstein mit einem Lochanteil ≤ 15 %
KS L-P: KS-Planstein mit einem Lochanteil > 15 %

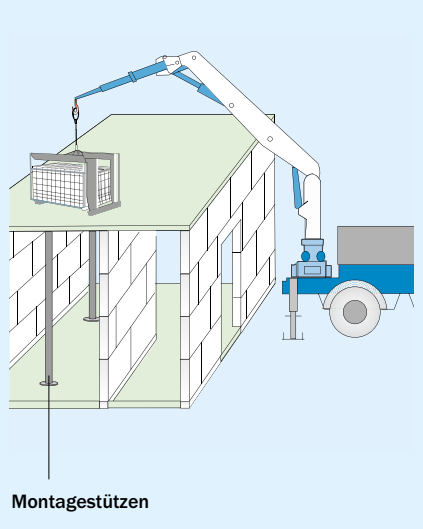


Bild 26 Erforderliche Montagestützen sind in Abstimmung mit dem Statiker zu setzen.



Bild 27 Vorgefertigte KS-Flachstürze zur schnellen und rationellen Öffnungsüberdeckung



Bild 28 KS-Fertigteilstürze für großformatiges Mauerwerk

zu erstellenden Wände festgelegt wird. Zusätzlich ist im Ablaufplan das Umsetzen des Versetzgerätes zu berücksichtigen.

KS XL-Planelemente (KS XL-PE)

Kennzeichnend für KS XL-PE (siehe Bild 24) ist die Anlieferung als kompletter Wandbausatz mit objektbezogenem Versetzplan, der aus dem Grundriss entwickelt ist.

Die optimierten Versetzpläne werden vom Hersteller erstellt, nachdem die Planungsunterlagen vorliegen. Die Pass- und Ausgleichselemente werden bereits werkseitig passgenau zugeschnitten. Ein Sägen auf der Baustelle ist daher nicht erforderlich. Lediglich das Ablängen der Kimmsteine erfolgt bauseits.

Es besteht dadurch keine Bindung an ein bestimmtes Raster. Der gesamte Bausatz – inklusive der erforderlichen Elemente zum Höhen- und Längenausgleich sowie ggf. passgenaue Giebelelemente – wird zusammen mit dem Versetzplan auf die Baustelle geliefert.

KS XL-Rasterelemente (KS XL-RE)

Voraussetzung für eine optimale Anwendung von KS XL-RE (Bild 23) ist die konsequente Planung im oktametrischen (12,5 cm) Raster.

Die üblichen Wandlängen im beliebig Vielfachen von 12,5 cm sind möglich. Die Beschränkung auf Regelelemente (1/1) mit 50 cm Länge und zwei Ergänzungselemente (3/4) mit 37,5 cm Länge und (1/2) mit 25 cm Länge erleichtern Lagerhaltung und Disposition.

Planänderungen können kurzfristig auf der Baustelle umgesetzt werden. Erforderliche Elemente zum Höhen- und Längenausgleich können auf der Baustelle hergestellt werden. Dadurch ergibt sich eine kurze Vorlaufzeit bis zum Baubeginn.

6.1.4 KS-Bauplatten (KS BP)

Für nicht tragende innere Trennwände nach DIN 4103-1 [5] können KS BP eingesetzt werden. KS-Bauplatten sind Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 und DIN 20000-402 mit Regelhöhen von 248 mm und einer Dicke < 115 mm, die bei einer Dicke von 70 mm mit einem umlaufenden Nut-Feder-System ausgebildet sind. Die Stoßfugen der KS-Bauplatten werden in der Regel vermörtelt.

6.2 Bauweise ohne Stoßfugenvermörtelung

In der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts wurde ausschließlich Mauerwerk mit Normalmauermörtel und Stoßfugenvermörtelung ausgeführt. Die standardmäßig angesetzte Fugendicke betrug daher 1 cm. Die Steinlänge glatter Steine entspricht daher dem Baurichtmaß abzüglich der Fugendicke (z.B.: 24 cm) (Bild 29).

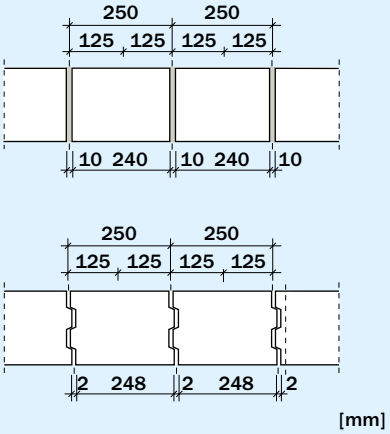


Bild 29 Baurichtmaße von Mauerwerk mit und ohne Stoßfugenvermörtelung

Heute werden im Mauerwerksbau in der Regel Steine mit Nut-Feder-System ohne Stoßfugenvermörtelung angewandt. Die Ausführung des Mauerwerks ohne Stoßfugenvermörtelung ist in DIN EN 1996/NA geregelt. Die Steine werden knirsch aneinander gereiht.

Sinnvollerweise erfolgt daher die Planung für die Wandlängen im Baurichtmaß (12,5 cm-Raster). Hinsichtlich der Höhenmaße ergeben Steinhöhe und Lagerfugendicke das Schichtmaß, das stets ein Vielfaches von 12,5 cm und somit das Rohbau-Richtmaß darstellt.

6.3 Vertikale Wandausbildung, Höhenausgleich

Bei Planstein-Mauerwerk erfolgt der Toleranz- und Höhenausgleich in der Regel am Wandfuß. Das Aufmauern der Wände beginnt mit einer Höhenausgleichsschicht aus Normalmauermörtel der Mörtelgruppe III, Dicke $d = 1$ bis 3 cm, und KS-Kimm- oder KS-Wärmedämmsteinen. Die Mörtelschicht dient neben dem Höhenausgleich der Wand zur Herstellung eines planebenen Niveaus in Längs- und Querrichtung und dem Ausgleich von Unebenheiten in der Betondecke (Bild 22).

6.4 Querschnittsabdichtung von Kalksandsteinwänden

Als Querschnittsabdichtung für Kalksandsteinwände im Keller (Erddruckbeanspruchung) werden die in DIN 18533-3 genormten, mineralischen Dichtungsschlämme (MDS) empfohlen. Die nach DIN EN 1996/NA ebenfalls zulässigen Bitumendachbahnen mit Rohfilzeinlage (R 500) sind für eine Dünnbettfuge nicht geeignet. Bei Verwendung der R 500 ist die Abdichtung nur in der Dickbettfuge unterhalb der Kalksandsteinwand möglich. Andere Mauersperrbahnen benötigen ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis.

6.5 Fenster und Türöffnungen in Kalksandstein-Mauerwerk

Fenster- und Türöffnungen werden rationell durch Stürze (KS-Flachstürze u.a. für Sichtmauerwerk oder KS-Fertigteilstürze) überdeckt. In der Druckzone über Flachstürzen sind die Stoßfugen unabhängig von Mörtelart und Stirnseitenausbildung grundsätzlich zu vermörteln. Fenster- und Türöffnungen lassen sich auch mit deckengleichen Unterzügen überspannen. Geschosshohe Öffnungen können mit entsprechenden, darauf abgestimmten Tür- und Fensterelementen ausgeführt werden (Bilder 27 und 28).

7. Rationelle Verarbeitung

Aus der zuvor beschriebenen, breiten Produktpalette der Kalksandsteinindustrie kann für jeden Anwendungszweck das passende Produkt gewählt werden. Eine gute Arbeitsvorbereitung, moderne Arbeitstechnologien sowie systemgerechte KS-Ergänzungsbauteile ermöglichen eine rationelle Verarbeitung und einen schnellen Baufortschritt (Bild 30).

7.1 Arbeitsvorbereitung

Der Arbeitsplanung und Arbeitsvorbereitung kommt bei der Rationalisierung besondere Bedeutung zu.

Auf den Baustellen, in den Betrieben und in den Planungsbüros geht es darum, die Kontinuität der Arbeitsabläufe zu sichern. Dazu einige Regeln:

- Objektunterteilung in Ausführungsabschnitte
- Materialbedarfslisten, unterteilt nach Ausführungsabschnitten, die Baustoffhändler und Polier erhalten, so dass der Abruf direkt erfolgen kann
- Rechtzeitig die richtigen Mengen abrufen, die Kontinuität und Produktivität sichern durch aktiven Einsatz von Kurbelböcken, Arbeitsbühnen oder Rollgerüsten. Ein Maurer leistet bei der Vermauerung mit Hand mit geringster Anstrengung die größte Menge, wenn die Arbeitshöhe zwischen 60 und 90 cm über Tritthöhe ist.
- Richtiges, überlegtes Abstellen der Mauersteine und Mörtelkübel an der Arbeitsstelle
- Kübel 40 cm hoch über Trittfläche aufbocken, um unnötige Bewegungen und Ermüdung zu vermeiden
- Mauerlehren für das Anlegen von Ecken und Öffnungen einsetzen, um die ständige Unterbrechung des Arbeitsrhythmus durch das Benutzen der Wasserwaage zu vermeiden
- Wahl der jeweiligen Mauertechnik und der Steinformate in Abhängigkeit von Gebäudeart und -größe, Platzangebot für Versetzgeräte und Wandzuschnitt

7.2 Arbeitstechniken

7.2.1 Mauern von Hand

In einem Merkblatt [6] der Bauberufsgenossenschaft über das Handhaben von Mauersteinen sind Gewichtsobergrenzen für Einhand- und Zweihandsteine für das Vermauern von Hand festgelegt.

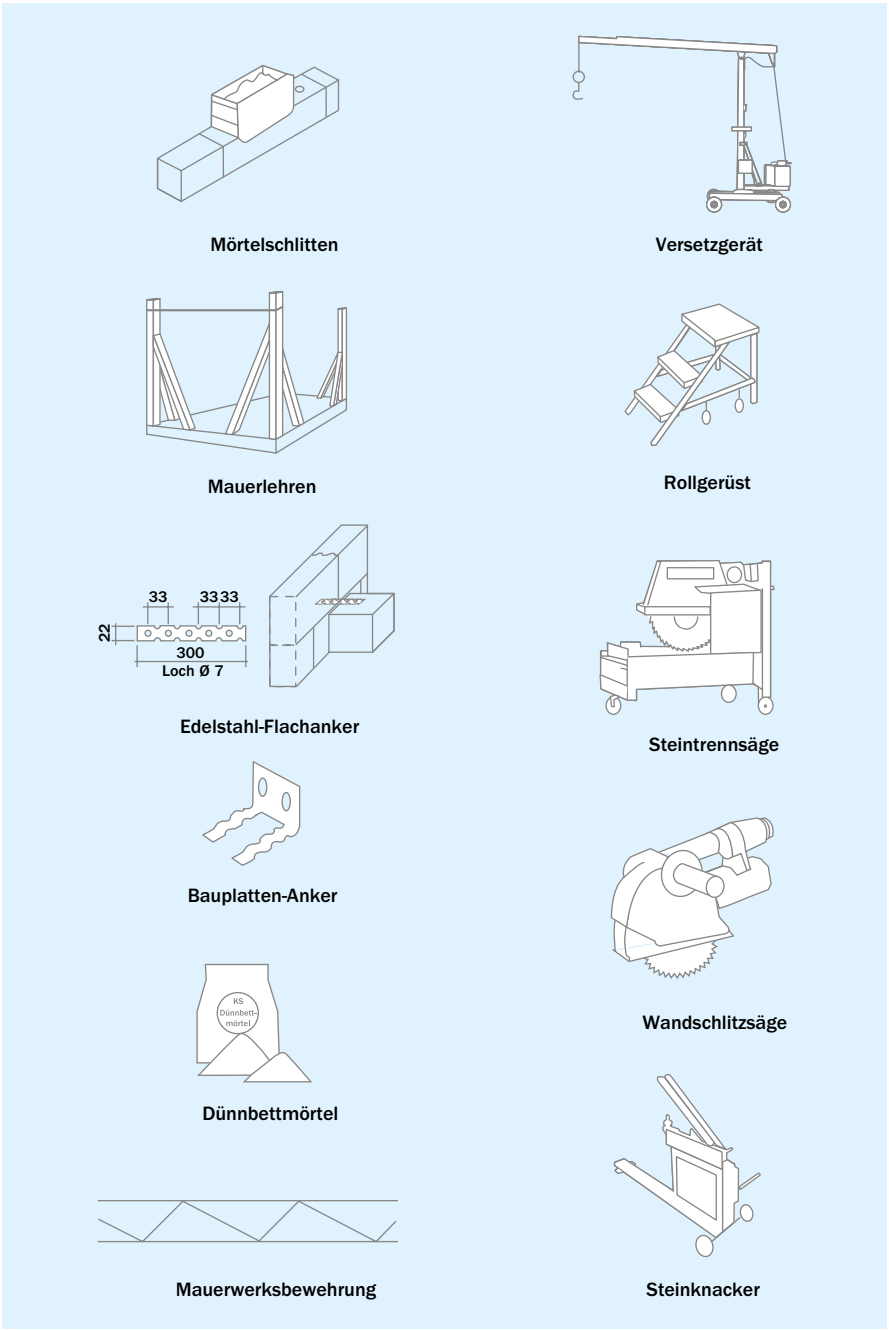


Bild 30 Geräte und Zubehör für die Rationalisierung auf der Baustelle

Die maximal zulässigen Verarbeitungsgewichte von Einhandsteinen, einschließlich der baupraktischen Feuchte, sind in Abhängigkeit von der Greifspanne

- max. 6 kg bei einer Greifspanne von 75 bis 115 mm und
- max. 7,5 kg bei einer Greifspanne von 40 bis 75 mm.

Die maximal zulässigen Verarbeitungsgewichte von Zweihandsteinen sind auf max. 25 kg beschränkt. Die Gewichtsobergrenze von 25 kg hat Konsequenzen auf die Steinformate.

- Die Länge der KS -R-Steine beträgt vorzugsweise 25 cm.
- Bei hohen Rohdichteklassen, z.B. 2,0 für Wände mit hohen Anforderungen an den Schallschutz, werden zum Bausystem passende KS -R-Steine mit Schichthöhe $h = 12{,}5$ cm angeboten.

Steine, die mehr als 25 kg Verarbeitungsgewicht aufweisen, müssen mit Versetzgerät verarbeitet werden.

7.2.2 Mauern mit Versetzgerät

Das Mauern mit einem auf den Geschossdecken verfahrbaren Versetzgerät humanisiert und rationalisiert die Baustelle. Mit dem Versetzgerät werden großformatige KS XL mit einer Greifzange versetzt. Mit zwei Hüben entsteht so eine Wandfläche bis zu 1 m^2 oder 1,25 m^2, je nach System. Bei hoher Leistung ist die körperliche Belastung der Maurer trotzdem gering und die Kontinuität des Arbeitsablaufes sichergestellt (Bild 32).

Zunächst wird der Dünnbettmörtel mit einem geeigneten Mörtelschlitten aufgezogen, dann werden die Steine versetzt und ausgerichtet. Der Materialnachschub für Steine, Pass- und Ergänzungssteine, Mörtel und Anker muss gewährleistet sein.

Wichtig ist in jedem Fall eine gute Arbeitsvorbereitung, da nur optimale Ergebnisse erreicht werden, wenn einige Grundvoraussetzungen erfüllt sind. Dazu gehört die lückenlose Transportkette von der Produktion bis zur Verwendungsstelle.

Die kürzesten Taktzeiten werden erzielt, wenn die Steinpakete zwischen Versetzgerät und Mauer abgestellt werden (Bild 31). Die Steine werden systemgerecht angeliefert. Das Absetzen erfolgt auf vorbereitetem, ebenem Untergrund, das Umsetzen auf der Baustelle mit einem Steinkorb. Gegebenenfalls ist eine zusätzliche Abstützung der Rohbaudecke zur Aufnahme der Lasten aus Versetzgerät und Steinstapel erforderlich.

7.2.3 KS-Mauerwerk ohne Stoßfugenvermörtelung

Beim Mauerwerk ohne Stoßfugenvermörtelung werden KS -R-Steine und KS XL knirsch auf der mit Mörtel vorher aufgezogenen Lagerfuge aneinander gereiht. Das an den Stirnflächen der Steine vorhandene Nut- Feder-System erleichtert es dem Maurer, ebene Wandflächen zu erstellen. Ein Verkanten der Steine wird vermieden und das Mauerwerk ist bereits in der

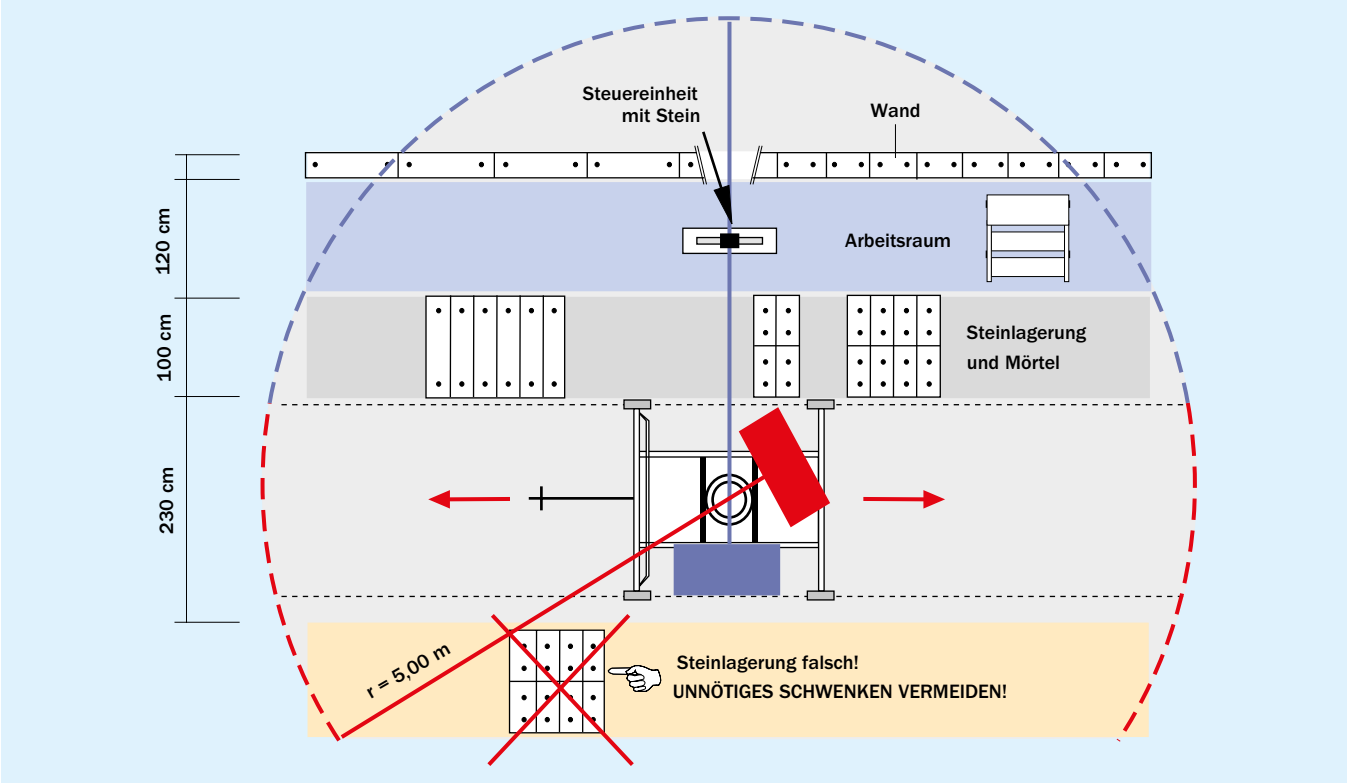


Bild 31 Optimale Baustelleneinrichtung mit kurzen Wegen



Bild 32 Versetzgerät

Rohbauphase optisch dicht. Bei Steinen mit Nut-Feder-System lassen sich so ebene Wandflächen erzielen.

In Ausnahmefällen kann es erforderlich sein, die Stoßfugen zu vermörteln, u.a. bei

- Druckzone von Flachstürzen,
- ggf. bei Kelleraußenwänden, in Abhängigkeit von der Lastabtragung,
- einschaligem Mauerwerk ohne Putz, bei dem Anforderungen an die Wanddichtigkeit oder den Schallschutz bestehen,
- ggf. bei nicht tragenden inneren Trennwänden.

7.2.4 Ausgleichsschicht bzw. Kimmschicht

Das Aufmauern der Wände beginnt mit einer Anlegeschicht aus Normalmauermörtel der NM III, Dicke $d = 1$ bis 3 cm, und KS-Kimm- und/oder KS-Wärmedämmsteinen. Die Mörtelschicht dient neben dem Höhenausgleich der Wand, zur Herstellung eines planebenen Niveaus in Längs- und Querrichtung und zum Ausgleich von Unebenheiten in der Betondecke (Bilder 33 bis 36).

Das genaue Anlegen der Ausgleichsschicht ist insbesondere bei Mauerwerk mit Dünnbettmörtel wichtig. Die Ausgleichsschicht muss vor dem Weitermauern ausreichend erhärtet sein. Im fachgerechten, exakten Anlegen der Ausgleichsschicht liegen erhebliche Rationalisierungspotenziale beim Aufmauern der Wand.



Bild 33 Mörtel auf die Betonsohle auftragen



Bild 34 Kimmsteine ins Mörtelbett verlegen



Bild 35 Kimmsteine in Querrichtung ausrichten



Bild 36 Kimmsteine in Längsrichtung ausrichten



7.2.5 Mörtelauftrag

Der Mörtel wird zweckmäßigerweise mit dem Mörtelschlitten aufgetragen, das Mauerwerk ist ggf. vorzunässen. Mörtelschlitten lassen sich für Normal- und Dünnbettmörtel in der gewünschten Fugendicke genau einstellen und reduzieren Mörtelverluste. Für Dünnbettmörtel ist die vom Mörtelhersteller empfohlene Zahnschiene zu verwenden. Die Breite des Auftragswerkzeugs muss der Wanddicke entsprechen (Bild 39).

Die Lagerfuge wird in Abhängigkeit von der Witterung etwa 2 m vorgezogen und die Steine werden in Reihenverlegetechnik knirsch aneinander gereiht. Gegebenenfalls werden die Steine anschließend mit einem Gummihammer ausgerichtet.

Der gleichmäßige, vollflächige Mörtelauftrag bei Einsatz von Mörtelschlitten ermöglicht ein lückenloses Versetzen der Steine. Bei zweischaligen Haustrennwänden hat das fachgerechte Aufziehen des Dünnbettmörtels den Vorteil, dass kein Mörtel in die Trennfuge fällt und die Schalldämmung somit erhalten bleibt.

7.2.6 Pass- und Ergänzungssteine

Für Mauerwerk werden Pass- und Ergänzungssteine zu Beginn der Mauerarbeiten jeweils für eine Wand aus Standardsteinen hergestellt:

- mit einem Steinspaltgerät, vorzugsweise bei Mauerwerk mit Normalmauermörtel, oder
- mit einer Steinsäge, vorzugsweise bei Mauerwerk mit Dünnbettmörtel (wegen der exakten Schnittkante, z.B. im Bereich der Stoßfuge).

Bei KS XL-PE werden Ausgleichselemente und/oder geschnittene Passelemente systemgerecht vom Hersteller mitgeliefert.

7.2.7 Stumpfstoßtechnik

Die liegende Verzahnung bedeutet in vielen Fällen eine Behinderung beim Aufmauern der Wände, bei der Bereitstellung der Materialien und beim Aufstellen der Gerüste. Stumpf gestoßene Wände vermeiden diese Nachteile.

Bei der Bauausführung ist zu beachten, dass die Stoßfuge zwischen Längswand und stumpf gestoßener Querwand voll



Bild 37 Anreißen der zu erstellenden Wand



Bild 38 Mörtel für Anschlussfuge auftragen



Bild 39 Auftragen des Mörtels für die Lagerfuge



Bild 40 Versetzen eines XL-Elements



Bild 41 Vollfugiger Stumpfstoßanschluss mit Dünnbettmörtel vor dem Abstreichen



Bild 42 Versetzen der folgenden Elemente

mit Normalmauer- oder Dünnbettmörtel vermörtelt wird. Die Vermörtelung ist ggf. auch aus statischen und schalltechnischen Gründen wichtig. Aus baupraktischen Gründen wird empfohlen, den stumpfen Wandanschluss durch Einlegen von Edelstahl-Flachankern in die Mörtelfuge zu sichern. Es wird jedoch empfohlen, die Außenecken von Kelleraußenwänden – auch unter Annahme zweiseitiger Halterung – aus konstruktiven Gründen immmer miteinander zu verzahnen (Bilder 37 und 41).

7.2.8 Mauerlehren

Bei Verwendung von Eck- und Öffnungslehren kann auf das Vorziehen der Ecken und auf Abtreppungen verzichtet werden. Die Schnur lässt sich jederzeit einfach und exakt verstellen. Innerhalb kürzester Zeit ist das Mauerlehrensystem aufgestellt. Der Maurer setzt die Steine gegen die Öffnungslehren, dabei entfällt das zeitaufwändige schichtweise Einloten der Laibungen. Die Öffnungsmaße werden exakt eingehalten und Abweichungen wie beim Arbeiten mit der Wasserwaage werden vermieden.

7.2.9 Arbeitsgerüste

Kurbelböcke, Arbeitsbühnen und Rollgerüste ermöglichen das Arbeiten in der je nach Körpergröße der Maurer günstigen Arbeitshöhe zwischen 60 und 90 cm über Tritthöhe und sind Voraussetzung für hohe Arbeitsleistung bei geringstmöglicher körperlicher Belastung und Ermüdung.

8. Wirtschaftliche KS-Wandkonstruktionen

Der Bedarf an Wohnraum ist in den vergangenen Jahren kontinuierlich angestiegen. Insbesondere in den Ballungsgebieten fehlen hunderttausende neuer Wohnungen vor allem im Bereich des kostengünstigen Bauens. Knappes Bauland und hohe Grundstückspreise verteuern hingegen das Bauen. Die rationelle Nutzung der Grundflächen wird daher immer wichtiger. Schlanke KS-Wände vergrößern bei gleichen Gebäudeaußenmaßen die Wohn- und Nutzfläche gegenüber Gebäuden mit dickeren Wandkonstruktionen um bis zu 7 %. Alternativ kann bei gleich bleibender Wohn- und Nutzfläche das Gebäudevolumen reduziert werden. Dies führt zu einer erheblichen Verbesserung der Wirtschaftlichkeit.

Werden nicht tragende Wände durch hochbelastbare, tragende KS-Wände, $d = 11{,}5$ cm, ersetzt, können ggf. auch die Decken durch die geringeren Stützweiten schlanker dimensioniert werden. Die Deckendurchbiegung wird somit reduziert und die Risssicherheit weiter erhöht. Tragende Wände, die nicht durch Querwände ausgesteift sind, sind als zweiseitig gehaltene Wände zu bemessen. DIN EN 1996/NA bietet dazu die Bemessungsgrundlagen und regelt neben der traditionellen Ausführung auch Mauerwerk mit Stumpfstoßtechnik, ohne Stoßfugenvermörtelung und mit Dünnbettmörtel. Kalksandsteine mit hoher Steindruckfestigkeit und Steinrohdichte sind damit bestens geeignet für schlanke, tragende Wände – auch bei Anforderungen an den Schallschutz. Kalksandstein-Außenwände tragen aufgrund des Konzepts der Funktionstrennung besonders auch bei steigenden Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz zu besonders wirtschaftlichen Gebäuden bei. Beispiele für wirtschaftliche KS-Wandkonstruktionen für verschiedene Anwendungsbereiche sind in den Tafeln 7 und 8 zusammengefasst.

Das bewährte KS-Bausystem rationalisiert und humanisiert den Mauerwerksbau bei hoher Qualität und berücksichtigt ökologische Aspekte.

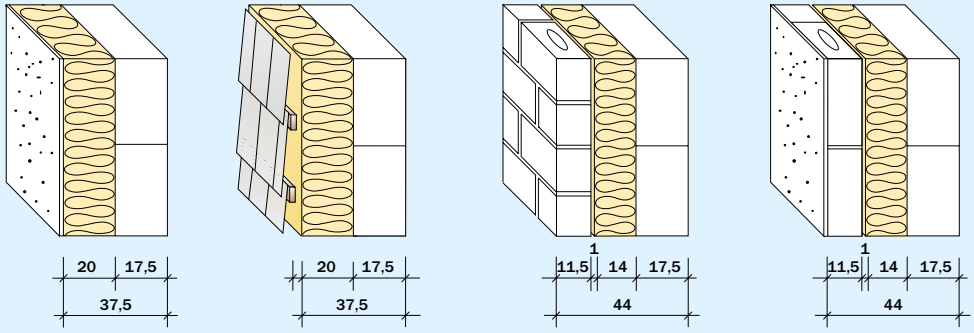
Das KS-Bausystem umfasst wie zuvor beschrieben systemgerechte Mauersteine und Ergänzungsprodukte, berücksichtigt Arbeitsvorbereitung und Arbeitstechniken, ermöglicht die mauerwerksgerechte Planung und Wandoptimierung und die Bemessung von schlanken Wänden. Es bietet damit die Grundlage für die Planung und Errichtung technisch hochwertiger und gleichzeitig kostengünstiger Gebäude. Spezifische KS-Serviceleistungen und komplette Systemlösungen runden das KS-Bausystem ab.



9. Zusammenfassung

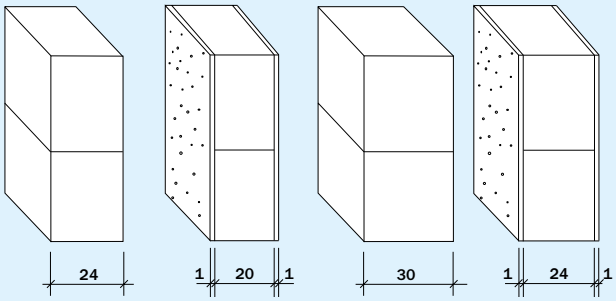
Tafel 7 **Beispiele für KS-Wandkonstruktionen: Schalldämm-Maße R_w bzw. $R_{w,2}$ und Wärmedurchgangskoeffizienten U**

Außenwände



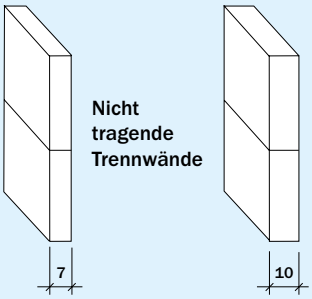
U-Wert [W/(m²·K)]	0,15	0,15	0,15[1)]	0,15[1)]
Rohdichteklasse [–]	2,0	2,0	2,0	2,0
Direktschalldämm-Maß [dB]	$R_{s,w}$ = 56,0	$R_{s,w}$ = 56,0	$R_{s,w}$ = 63,0 (Summe aus Vor- und Hintermauerschale)	
$R_{Dd,w} = R_{s,w} + \Delta R_{Dd,w}$ [dB] gegen Außenlärm	$\Delta R_{Dd,w}$ = ± 4 je Art/Dicke v. Dämmstoff u. Putz	systemabhängig	$\Delta R_{Dd,w}$ = + 5 bis 8 (bei mineralischem Faserdämmstoff) $\Delta R_{Dd,w}$ = -2 (bei Hartschaumdämmstoff)	
Schalllängsleitung [dB] horizontal und vertikal (nur Hintermauerschale)	$R_{w,1}$ = 56,0	$R_{w,1}$ = 56,0	$R_{w,1}$ = 56,0	$R_{w,1}$ = 56,0

Wohnungstrennwände



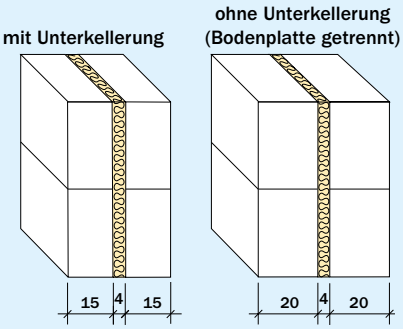
Rohdichteklasse [–]	1,8	2,0	2,0	2,2
Direktschalldämm-Maß[2)] [dB]	R_w = 58,5	R_w = 58,2	R_w = 63,0	R_w = 61,8

Nicht tragende Trennwände

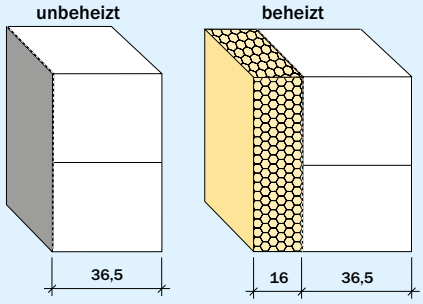


Rohdichteklasse [–]	Direktschalldämm-Maß[2)] [dB]	Direktschalldämm-Maß[2)] [dB]
1,2	–	R_w = 40,9
1,4	–	R_w = 43,1
1,8	R_w = 41,9	R_w = 46,7
2,0	R_w = 43,4	R_w = 48,2

Zweischalige Haustrennwände



Kelleraußenwände



Rohdichteklasse [–]	1,8	2,0
Direktschalldämm-Maß [dB]	$R_{w,2} \geq 67$	$R_{w,2} \geq 67$
Schalllängsleitung [dB] horizontal und vertikal	$R_{w,1}$ = 52,4	$R_{w,1}$ = 57,7

U-Wert [W/(m²·K)]	2,04	0,19[3)]
Rohdichteklasse [–]	1,8	1,4
Direktschalldämm-Maß[2)] [dB]	R_w = 64,1	R_w = 60,5

[1)] 14 cm Dämmstoff λ = 0,024 W/(m·K)

[2)] Direktschalldämm-Maße gelten auch für die horizontale und vertikale Schalllängsleitung.

[3)] Perimeterdämmung λ = 0,036 [W/(m²·K)] mit Zuschlag ΔU nach abZ von 0,04 [W/(m²·K)]

- Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.
- Sofern nicht anders angegeben, wurden bei den Wandkonstruktionen Wärmedämmstoffe mit λ = 0,032 W/(m·K) verwendet.
- Aus Gründen der Winddichtigkeit ist auf der Innenseite der Außenwände ein Putz aufzubringen.
- Sofern die Erhöhung des Wandflächengewichts durch beidseitigen Putz (2 x 10 mm ~ 20 kg/m²) erforderlich ist, ist dies in den Zeichnungen angegeben.
- Die Direktschalldämm-Maße R_w nach DIN 4109-2:2016-07 gelten nur in Verbindung mit beidseitigem Dünnlagenputz (d = ~ 5 mm) oder einseitigem Putz (d = ~ 10 mm) oder mit Stoßfugenvermörtelung.
- Die Direktschalldämm-Maße R_w beschreiben die Leistungsfähigkeit eines Bauteils ohne Berücksichtigung der Flankenübertragung. Für die vertikale und horizontale Schalllängsleitung im Inneren des Gebäudes ist mit $R_{w,1}$ zu rechnen.

Kalksandstein hat sich seit mehr als 120 Jahren als Wandbaustoff für Wohn- und Nichtwohngebäude etabliert. Er wird ausschließlich aus den natürlichen Rohstoffen Sand, Kalk und Wasser hergestellt. Kalksandsteine sind vollständig normativ erfasst. Es bedarf deshalb keiner weiteren Dokumente wie Zulassungen, Herstellererklärungen oder Ähnlichem. Auf der Grundlage der europäisch harmonisierten Produktnorm DIN EN 771-2 und der nationalen Anwendungsnorm DIN 20000-402 sind sowohl die Deklaration als auch die Anwendung von Kalksandstein in Deutschland eindeutig geregelt.

Mit einer breiten Palette von Kalksandsteinen verschiedener Formate und unterschiedlicher Druckfestigkeiten und Rohdichteklassen bietet die Kalksandsteinindustrie für nahezu jede Bauaufgabe das passende Produkt.

Systemgerechte Mauersteine und Ergänzungsprodukte, rationelle Verarbeitungstechnologien sowie schlanke und hochleistungsfähige KS-Wandkonstruktionen bilden die Grundlage für qualitativ hochwertiges und gleichzeitig kostengünstiges Bauen.

Tafel 8 Anwendungsbereiche und Besonderheiten der einzelnen KS-Wanddicken

Mauerwerksdicke [cm]	Anwendungsbereich	Besonderheiten
7	Nicht tragende innere Trennwand nach DIN 4103-1	Wohnflächengewinn und Kostenersparnis Feuerwiderstandsklasse EI 60 (F 60-A)
10	Nicht tragende innere Trennwand nach DIN 4103-1	Feuerwiderstandsklasse EI 90 (F 90-A) (bei RDK ≥ 1,8 unter Verwendung von Dünnbettmörtel oder RDK 1,2 mit 2 x 10 mm Putz), Wohnflächengewinn und Kostenersparnis
11,5	Tragende Innenwand nach DIN EN 1996/NA	Wohnflächengewinn und Kostenersparnis durch schlanke, tragende Innenwand Feuerwiderstandsklasse R 90 (F 90) (Wand beidseitig beflammt)
15	Tragende Innenschale einer zweischaligen Außenwand nach DIN EN 1996/NA	Wohnflächengewinn und Kostenersparnis durch schlanke, tragende Innenschale Die hohe Rohdichte wirkt sich günstig auf den vertikalen und horizontalen Schallschutz aus. Statischer Nachweis nach den vereinfachten Berechnungsmethoden nach DIN EN 1996-3/NA ist möglich.
	Außenwand mit WDVS	
	Zweischalige Haustrennwand (mit Unterkellerung)	2 x 15 cm und beidseitiger Dünnlagenputz bei RDK 1,8: $R'_{w,2}$ = 67 dB (erhöhter Schallschutz nach Beibl. 2 DIN 4109), zweischalige Brandwand (REI-M 90) nach DIN 4102-4 bei RDK 2,0
17,5	Einschalige Brandwand	RDK ≥ 1,8 und Verwendung von Dünnbettmörtel, bei KS XL zusätzlich mit aufliegender REI 90 (F 90)-Geschossdecke als konstruktive obere Halterung
	Außenwand mit WDVS	Standard-Außenwand bei mehrgeschossigen Gebäuden Statischer Nachweis nach den vereinfachten Berechnungsmethoden nach DIN EN 1996-3/NA ist möglich.
	Zweischalige Haustrennwand (mit Unterkellerung)	2 x 17,5 cm und beidseitiger Dünnlagenputz bei RDK 1,8: $R'_{w,2}$ ≥ 67 dB (erhöhter Schallschutz nach Beibl. 2 DIN 4109), zweischalige Brandwand (REI-M 90)
20	Wohnungstrennwand	Mit beidseitig 10 mm Putz bei RDK 2,0: **Direkt**schalldämm-Maß R_w = 58,2 dB
	Einschalige Brandwand	Feuerwiderstandsklasse REI-M 90 RDK 2,0 und Verwendung von Dünnbettmörtel
	Zweischalige Haustrennwand (ohne Unterkellerung)	2 x 20 cm mit RDK 2,0 und mindestens 4 cm dicke Trennfuge mit Dämmschicht, Fundamentplatte getrennt auf gemeinsamen Fundament und beidseitigem Dünnlagenputz: $R'_{w,2}$ = 67 dB
24	Wohnungstrennwand	Mit beidseitig 10 mm Putz bei RDK 2,2 hervorragender Schallschutz möglich: **Direkt**schalldämm-Maß R_w = 61,8 dB
	Kelleraußenwand	Gut geeigneter Untergrund für das Aufbringen von Bitumendickbeschichtung ohne zusätzliche Putzschicht und als sichtbar bleibendes Mauerwerk innen mit verschlämmten Fugen
30/36,5	Kelleraußenwand	Gut geeigneter Untergrund für das Aufbringen von Bitumendickbeschichtung ohne zusätzliche Putzschicht und als sichtbar bleibendes Mauerwerk innen mit verschlämmten Fugen. 30 cm Wanddicke mit RDK 2,0 auch als Wohnungstrennwand bei hohen Schallschutzanforderungen; **Direkt**schalldämm-Maß R_w = 63,0 dB

RDK = Steinrohdichteklasse

Literatur

[1] DIN EN 771-2:2015-11 Festlegungen für Mauersteine – Teil 2: Kalksandsteine; Deutsche Fassung EN 771-2:2011+A1:2015

[2] DIN 20000-402:2017-01 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 402: Regeln für die Verwendung von Kalksandsteinen nach DIN EN 771-2:2015-11

[3] DIN EN 1996/NA (Eurocode 6): Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten

[4] VERORDNUNG (EU) Nr. 305/2011 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates

[5] DIN 4103-1:2015-06: Nichttragende innere Trennwände – Teil 1: Anforderungen und Nachweise

[6] BGI 695 (bisher Z/H 1/610), Merkblatt Handhaben von Mauersteinen, Fachausschuss Bau, Oktober 1992

Bildnachweise

Bild S. 12, Bild 1, Bild 4, Bild 5, Bild S. 16, Bild S. 17, Bild 7, Bild 8, Bild 9, Bild 10, Bild 11, Bild 12, Bild 13, Bild 14, Bild 15, Bild 16, Bild 17, Bild 18, Bild 19, Bild 20, Bild 21, Bild 22, Bild 23, Bild 24, Bild 27, Bild 28, Bild 32, Bild 33, Bild 34, Bild 35, Bild 36, Bild S. 31, Bild 37, Bild 38, Bild 39, Bild 40, Bild 41, Bild 42, Bild S. 33: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.



Kapitel 2

AUSSENWÄNDE

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Ulrich Vogdt, TU Berlin,
Dipl.-Ing. Michael Schober, TU Berlin

Stand: 01/2018

1. Anforderungen

Von der Kalksandsteinindustrie wird bereits seit Jahrzehnten erfolgreich das Konzept der KS-Funktionswand verfolgt. Kennzeichnend ist die konsequente funktionale Trennung zwischen der tragenden Schicht aus KS-Mauerwerk, der Wärmedämmung und dem dauerhaften Witterungsschutz. Die aus diesem Ansatz resultierende individuelle Anpassungsfähigkeit von KS-Außenwänden erweist sich vor allem bei steigenden Anforderungen – z.B. im Bereich des Wärme- oder Schallschutzes – als zukunftsorientiert.

Als baulich prägender Bestandteil der Gebäudehülle sind (tragende) Außenwände den vielfältigsten Einwirkungen und Beanspruchungen ausgesetzt, zu nennen sind:

- Eigenlasten und Nutzlasten
- Winddruck- und Windsoglasten
- Schnee- und Eislasten
- Temperatur- und Feuchtewechsel
- Schlagregen
- Sonnen-/UV-Strahlung
- Außenlärm
- Chemische Beanspruchung durch Schadstoffe oder Reinigungsmittel
- Vandalismus

Aus diesen Einwirkungen leiten sich zunächst Anforderungen in statischer, bauphysikalischer und baukonstruktiver Hinsicht ab, die durch die Außenwandkonstruktion erfüllt werden müssen:

- Standsicherheit
- Brandschutz
- Winterlicher und sommerlicher Wärmeschutz
- Feuchte- und Witterungsschutz
- Schallschutz
- Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit

In Verbindung mit diesem primär bautechnisch orientierten Anforderungsprofil müssen Außenwandkonstruktionen weiteren zentralen Bedingungen und Erfordernissen genügen:

- Hygiene und Gesundheitsschutz
- Ökologie
- Wirtschaftlichkeit
- Ästhetik



Durch die Vielzahl der möglichen Konstruktionsvarianten bieten funktionsgetrennte KS-Außenwände die Möglichkeit, für jeden einzelnen Anwendungsfall individuell optimierte Lösungen auszuführen.

1.1 Standsicherheit

Die Standsicherheit der Außenwandkonstruktion muss dauerhaft gewährleistet sein (Musterbauordnung MBO §12 [1] und Landesbauordnungen LBO). Die Planung und Ausführung von Mauerwerk sind durch Eurocode 6 [2] (DIN EN 1996-1-1 bis DIN EN 1996-3 mit jeweils Nationalem Anhang/NA) geregelt. Der Nachweis der Standsicherheit kann bei Einhaltung konstruktiver Begrenzungen im vereinfachten Verfahren nach DIN EN 1996-3/NA oder im genaueren Verfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA erfolgen. Dabei sind neben den Eigen- und Nutzlasten sowie den Winddruck- bzw. Windsoglasten im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit auch mögliche Zwängungsspannungen aus hygrothermischer Beanspruchung zu berücksichtigen.



1.2 Brandschutz

Der Gegenstand der bauaufsichtlichen Regelungen zum Brandschutz ist in erster Linie der Personenschutz im Brandfall. Die Anforderungen an die erforderlichen Baustoff- und Feuerwiderstandsklassen ergeben sich in Abhängigkeit von der Gebäudeklasse unmittelbar aus den Vorgaben der Landesbauordnungen. Der Nachweis eines ausreichenden Brandschutzes erfolgt unter Berücksichtigung von DIN EN 13501 [3] und der verbleibenden nationalen Normteile von DIN 4102 [4] sowie mit der konkreten Tragwerksbemessung des KS-Mauerwerks im Brandfall nach DIN EN 1996-1-2/NA.

Von besonderer Bedeutung für Außenwände ist darüber hinaus die Vermeidung einer Brandausbreitung über die Fassadenfläche. Die diesbezüglich ergänzenden und auch baukonstruktiv konkretisierenden Vorgaben sind für zweischaliges KS-Mauerwerk der DIN 4102-4 und für Wärmedämm-Verbundsysteme mit Europäischer Technischer Bewertung (ETA) sowie für hinterlüftete Außenwandbekleidungen der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) [5] zu entnehmen. Für Wärmedämm-Verbundsysteme mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) gelten die konkreten Zulassungsbestimmungen zur Ausführung.

1.3 Wärmeschutz

Die Anforderungen an den *winterlichen* und *sommerlichen* Wärmeschutz sind festgelegt in:

- DIN 4108 [6]
- Energieeinsparverordnung (EnEV) [7]

Für die KS-Funktionswand wird durch die klare funktionale Trennung zwischen dem KS-Mauerwerk und der Wärmedämmung die tages- und jahreszeitliche Temperaturamplitude in der tragenden Schicht im Vergleich zu anderen Konstruktionen erheblich reduziert (Bild 1). Dies führt zu geringeren Zwängungs- und Eigenspannungen und damit zu einer höheren Risssicherheit. Des Weiteren ergibt sich in der kalten Jahreszeit eine deutliche Erhöhung der Temperatur an den Bauteilinnenoberflächen. Das erhöht die Behaglichkeit für die Nutzer und verhindert eine Schimmelpilz- oder Tauwasserbildung an den Innenoberflächen. Zentraler Kennwert des baulichen Wärmeschutzes ist in diesem Zusammenhang der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert), typische U-Werte für KS-Außenwände sind Tafel 1 zu entnehmen.

1.3.1 Anforderungen nach DIN 4108

In DIN 4108 sind Mindestanforderungen an den Wärmeschutz definiert, bei deren Einhaltung zunächst nur feuchtebedingte Gefährdungen und unzumutbare Bedingungen für die Nutzer sowie Schädigungen der Baukonstruktion ausgeschlossen werden sollen. Geregelt sind in diesem Zusammenhang der winterliche und der sommerliche Wärmeschutz, der klimabedingte Feuchteschutz sowie die Luftdichtheit:

- Winterlicher Wärmeschutz
  Ziel des winterlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 ist die Gewährleistung einer ausreichenden raumseitigen Oberflächentemperatur der Gebäudehülle, bei der eine Gefährdung durch Tauwasser- oder Schimmelpilzbildung ausgeschlossen werden kann.

- Sommerlicher Wärmeschutz
  Mit den in DIN 4108-2 festgelegten Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz soll eine für die Nutzer unzumutbare Erhöhung der Raumtemperatur durch die Sonneneinstrahlung ausgeschlossen werden. Maßgebend sind u.a. der Fensterflächenanteil, der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung und die Effektivität von Sonnenschutzvorrichtungen sowie insbesondere die Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile und die Möglichkeit einer erhöhten Nachtlüftung. So kann z.B. durch massive Bauteile mit hoher Wärmespeicherfähigkeit (wie bei Wänden aus KS-Mauerwerk) ein großer Teil der am Tag eingetragenen Energie aufgenommen, zeitverzögert in den Nachtstunden wieder abgegeben und damit der Temperaturverlauf in den tageszeitlichen Spitzen deutlich gedämpft werden. Ziel der Anforderungen ist es, durch geeignete bauliche Maßnahmen – hier bereits im Sinne der Energieeinsparverordnung – auf eine aktive Kühlung (Klimatisierung) verzichten zu können.

- Klimabedingter Feuchteschutz
  Durch den klimabedingten Feuchteschutz nach DIN 4108-2 und DIN 4108-3 soll neben der Vermeidung von Tauwasser- und Schimmelpilzbildung der Schutz gegen direkt einwirkenden Schlagregen (einschließlich Spritzwasser) sichergestellt werden. Eine detaillierte Darstellung ist dem Abschnitt 1.4 zu entnehmen.

- Luftdichtheit
  Mit der Luftdichtheit nach DIN 4108-7 soll eine ungewollte Luftströmung durch die Gebäudehülle (Infiltration) als signifikante Beeinträchtigung des Wärmeschutzes verhindert werden. Die Luftdichtheit eines Gebäudes kann mit dem Differenzdruck-Verfahren (Blower-Door-Test) vor Ort geprüft werden. In Bezug zum Wärmeschutz nach Energieeinsparverordnung darf bei einer erfolgreichen Prüfung ein geringerer rechnerischer Lüftungswärmeverlust im Nachweisverfahren angesetzt werden.

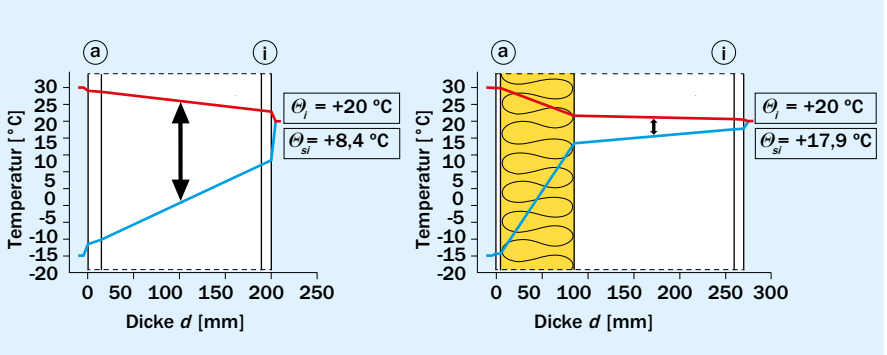
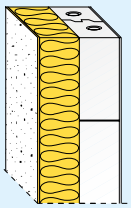
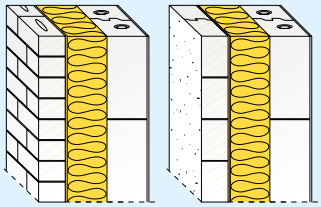
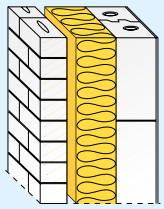
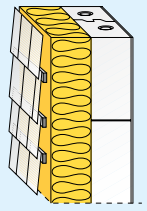
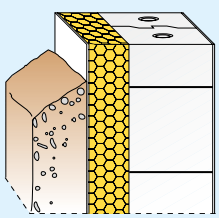


Bild 1 **Minimale Innenoberflächentemperatur Θ_{si} sowie jahreszeitlich bedingte Temperaturänderung des KS-Mauerwerks mit und ohne Wärmedämmung**

Tafel 1 U-Werte von KS-Außenwänden (Beispiele)

	Dicke des Sys-tems [cm]	Dicke der Dämm-schicht [cm]	U [W/(m²·K)] λ [W/(m·K)] 0,022	0,024	0,032	0,035	Wandaufbau
	29,5	10	0,20	0,22	0,29	0,31	**Einschalige KS-Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Wärmedämmstoff Typ WAP 0,01 m Außenputz λ = 0,70 W/(m·K) R_{se} = 0,04 (m²·K)/W
	33,5	14	0,15	0,16	0,21	0,23	
	35,5	16	0,13	0,14	0,19	0,20	
	39,5	20	0,11	0,11	0,15	0,16	
	43,5	24	0,09	0,10	0,13	0,14	
	49,5	30	0,07	0,08	0,10	0,11	
	41,0	10	0,19	0,21	0,27	0,29	**Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Wärmedämmstoff Typ WZ 0,01 m Fingerspalt R = 0,15 (m²·K)/W 0,115 m[2] KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0)[1] oder verputzte KS-Vormauerschale λ = 1,1 W/(m·K) R_{se} = 0,04 (m²·K)/W
	43,0	12	0,16	0,18	0,23	0,25	
	45,0	14	0,14	0,16	0,20	0,22	
	47,0	16	0,13	0,14	0,18	0,19	
	49,0	18	0,11	0,12	0,16	0,17	
	51,0	20	0,10	0,11	0,15	0,16	
	55,0	24	0,09	0,09	0,12	0,13	
	44,0	10	0,20	0,22	0,28	0,30	**Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung und Luftschicht** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Wärmedämmstoff Typ WZ R_{se} = 0,13 (m²·K)/W ≥ 0,04 m Luftschicht 0,115 m[2] KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0)
	46,0	12	0,17	0,18	0,24	0,26	
	48,0	14	0,15	0,16	0,21	0,22	
	50,0	16	0,13	0,14	0,18	0,20	
	52,0	18	0,12	0,13	0,16	0,18	
	54,0	20	0,10	0,11	0,15	0,16	
	31,5	10	–	–	0,28	0,30	**Einschalige KS-Außenwand mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Nichtbrennbarer Wärmedämmstoff WAB R_{se} = 0,13 (m²·K)/W 0,02 m Hinterlüftung 0,01 m Fassadenbekleidung
	33,5	12	–	–	0,24	0,26	
	37,5	16	–	–	0,18	0,20	
	41,5	20	–	–	0,15	0,16	
	45,5	24	–	–	0,13	0,14	
	51,5	30	–	–	0,10	0,11	
	47,5	10	–	–	–	0,34	**Einschaliges KS-Kellermauerwerk mit außen liegender Wärmedämmung (Perimeterdämmung)** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,365 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Perimeterdämmung[3] Typ PW R_{se} = 0 (m²·K)/W
	51,5	14	–	–	–	0,26	
	53,5	16	–	–	–	0,24	
	57,5	20	–	–	–	0,20	
	61,5	24	–	–	–	0,18	
	47,5	10	–	–	–	0,32	**Einschaliges KS-Kellermauerwerk mit außen liegender Wärmedämmung (Perimeterdämmung)** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,365 m Kalksandstein (RDK 1,4)[1] λ = 0,70 W/(m·K) Perimeterdämmung[3] Typ PW R_{se} = 0 (m²·K)/W
	51,5	14	–	–	–	0,25	
	53,5	16	–	–	–	0,23	
	57,5	20	–	–	–	0,20	
	61,5	24	–	–	–	0,17	

Zur Berechnung der U-Werte sind ausschließlich Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ_B anzusetzen.
[1] Bei anderen Dicken oder Steinrohdichteklassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.
[2] 9 cm möglich, nach DIN EN 1996-2/NA
[3] Der Zuschlag ΔU = 0,04 W/(m·K) nach allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen ist bereits berücksichtigt.

1.3.2 Anforderungen nach Energieeinsparverordnung

Mit dem Wärmeschutz nach Energieeinsparverordnung (EnEV) sollen insbesondere die Ziele des Umweltschutzes – und hier konkret der schonende Umgang mit begrenzten Ressourcen sowie die kontinuierliche Reduzierung des Schadstoffausstoßes – im Bauwesen umgesetzt werden, die gleichzeitig auch zur Senkung der Betriebskosten beitragen. Mit diesen Zielen können zwei zentrale Anforderungen der Energieeinsparverordnung benannt werden:

- Begrenzung des Jahres-Primärenergiebedarfs
  Durch die effektive Kombination der wärmeschutztechnischen Gestaltung der Gebäudehülle mit den Möglichkeiten (und Erfordernissen) der technischen Gebäudeausrüstung ist der jährliche Energiebedarf auf einen zielorientierten Höchstwert zu begrenzen.

- Begrenzung des Transmissionswärmeverlustes
  Der auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene spezifische Transmissionswärmeverlust ist – als eigenständige Anforderung an die bauliche Gestaltung – ebenfalls auf einen vorgegebenen Höchstwert zu begrenzen, d.h., dass die Gebäudehülle im Mittel der einzelnen Bauteile (Dach, Außenwände, Fenster, etc.) einen hohen baulichen Wärmeschutz aufweisen muss.

Bei der Ermittlung des für die bauliche Energieeffizienz maßgebenden U-Werts ist der Einfluss etwaiger Beeinträchtigungen durch Wärmebrücken – z.B. infolge von Verankerungen mit Dübeln, Konsolen, Wandhaltern etc. – zu berücksichtigen, sofern sich durch diese Bewertung eine Korrektur um mehr als 3 % ergeben sollte. Weitergehende konstruktive Vorgaben zur Vermeidung von Wärmebrücken können u.a. dem Beiblatt 2 zu DIN 4108 und dem KS-Wärmebrückenkatalog [8] entnommen werden.

1.4 Feuchte- und Witterungsschutz

Der Feuchte- und Witterungsschutz von Außenwandkonstruktionen ist zu verstehen als Schutz vor:

- Tauwasserbildung im Wandinnern (DIN 4108-3)
- Tauwasserbildung und Schimmelpilzgefährdung auf der raumseitigen Wandoberfläche (DIN 4108-2)
- Schlagregen und Spritzwasser (DIN 4108-3)

1.4.1 Begrenzung der Tauwasserbildung im Wandinnern

Es ist nachzuweisen, dass das ggf. in der Tauperiode (Wintermonate) im Innern von Außenbauteilen anfallende Tauwasser in der Verdunstungsperiode (Sommermonate) wieder ausdiffundieren kann. Gleichzeitig ist die anfallende Tauwassermenge auf 1,0 kg/m^2 bei kapillar wasseraufnahmefähigen Bauteilschichten und auf 0,5 kg/m^2 bei kapillar nicht wasseraufnahmefähigen Bauteilschichten zu begrenzen. Dabei dürfen Baustoffe, die mit Tauwasser in Berührung kommen, nicht geschädigt werden. Für Konstruktionen aus Holz oder Holzwerkstoffen muss deshalb die Erhöhung des massebezogenen Feuchtegehaltes begrenzt werden, zulässig ist eine Erhöhung um maximal 5 M.-% bei Holz bzw. um maximal 3 M.-% bei Holzwerkstoffen.

INFO

Schon bei Einhaltung des Mindestwärmeschutzes sind alle KS-Außenwandkonstruktionen (Tafel 1) hinsichtlich der Wasserdampfkondensation unkritisch und bedürfen nach DIN 4108-3 keines Nachweises für den Tauwasserausfall im Wandinnern.

1.4.2 Vermeidung von Tauwasserbildung und Schimmelpilzgefährdung auf der raumseitigen Wandoberfläche

Um Tauwasserbildung auf der raumseitigen Oberfläche von Außenbauteilen zu vermeiden, muss durch eine ausreichende Wärmedämmung sichergestellt sein, dass die Oberflächentemperatur die Taupunkttemperatur nicht unterschreitet. Der Nachweis erfolgt unter Annahme von standardisierten Klimarandbedingungen. Nutzungsbedingte Beeinträchtigungen (wie ein stark behinderter Wärmeübergang durch Möblierung oder Vorhänge) sollten dabei entsprechend berücksichtigt werden.

Umfangreiche Untersuchungen (z.B. [9]) zeigen, dass auch ohne sichtbaren Tauwasseranfall bereits eine oberflächennahe relative Luftfeuchte ab zeitweise 80 % ausreichend ist, um Schimmelpilzbildung zu fördern. Zusätzlich zur Vermeidung von Tauwasserbildung wird deshalb in DIN 4108-2 die folgende Anforderung gestellt:

$$f_{Rsi} = \frac{\Theta_{si} - \Theta_e}{\Theta_i - \Theta_e} \geq 0{,}7\ [-] \qquad (1.1)$$

mit

f_{Rsi} Temperaturfaktor für die Bauteiloberfläche
Θ_{si} Erforderliche raumseitige Oberflächentemperatur [°C]
Θ_i Innenlufttemperatur [°C] (Θ_i = 20 °C bei einer relativen Raumluftfeuchte $\Theta_i \leq$ 50 %)
Θ_e Außenlufttemperatur [°C] (Θ_e = -5 °C)

Grundlage ist unter der Voraussetzung eines sachgerechten Heiz- und Lüftungsverhaltens auch hier die Annahme von standardisierten Klimarandbedingungen. Mit diesem Ansatz wird in DIN 4108-2 explizit formuliert, dass die raumseitige Oberflächentemperatur – auch im Bereich von Wärmebrücken – durchgängig mindestens 12,6 °C betragen muss, damit sich an der raumseitigen Oberfläche eine relative Luftfeuchte von nicht mehr als 80 % einstellt und so die Gefahr von Schimmelpilzbildung ausgeschlossen werden kann. Hinweise zum sachgerechten Nutzerverhalten können z.B. [10] und [11] entnommen werden.

Die notwendige raumseitige Oberflächentemperatur wird durch den normativ geforderten Mindestwärmeschutz im normalen Flächenbereich gewährleistet. Da die Oberflächentemperatur über die gesamte Gebäudehüllfläche eingehalten werden muss, ist jedoch der Einfluss von ggf. vorhandenen geometrisch oder konstruktiv bedingten Wärmebrücken (z.B. durch Verankerungselemente) zu erfassen und durch eine wärmeschutztechnisch optimierte Gesamtgestaltung und Detailausbildung auf ein unkritisches Maß zu minimieren.

1.4.3 Schutz vor Schlagregen und Spritzwasser

Nach DIN 4108-3 werden die Beanspruchungsgruppen I (geringe Schlagregenbeanspruchung) bis III (starke Schlagregenbeanspruchung) definiert in Abhängigkeit von

- regionalen klimatischen Bedingungen (Regenmenge und Windstärke),
- örtlicher Lage (windgeschützt oder windausgesetzt) sowie
- Gebäudeart (Hochhaus oder Flachbau).

In DIN 4108-3 werden Beispiele genormter Wandkonstruktionen angegeben, die den Anforderungen an die jeweiligen Beanspruchungsgruppen genügen, ohne andere Konstruktionen mit entsprechend gesicherter, praktischer Erfahrung auszuschließen. Zu diesen Beispielen gehören u.a.:

- Zweischaliges KS-Mauerwerk
- Einschaliges KS-Mauerwerk mit allgemein bauaufsichtlich zugelassenem Wärmedämm-Verbundsystem
- Einschaliges KS-Mauerwerk mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung nach DIN 18516

Für den Spritzwasserbereich (≤ 30 cm über Geländeoberkante) sind besondere konstruktive Maßnahmen zu ergreifen, wie z.B. eine Ausführung mit durchgängig wasserabweisenden Sockelputzen. Darüber hinaus ist zu empfehlen, an den Gebäudeaußenflächen einen ca. 50 cm breiten und 20 cm tiefen Kiesstreifen anzuordnen, um die Bildung von Spritzwasser bei Niederschlägen und eine damit auch einhergehende Verschmutzung der Oberfläche zu reduzieren.

1.5 Schallschutz

Die bauaufsichtlichen Anforderungen an den Schallschutz gegen Außenlärm beziehen sich auf den Gesundheitsschutz nach jeweiliger Landesbauordnung und sind in DIN 4109 [12] in Abhängigkeit von der Nutzung des Gebäudes und dem maßgeblichen Außenlärmpegel geregelt.

Maßgebend für die Direktschalldämmung von massiven Außenwandkonstruktionen ist das Mauerwerk. Der Einfluss zusätzlicher Bauteilschichten auf das diesbezüglich kennzeichnende bewertete Schalldämm-Maß ist jedoch nachzuweisen (z.B. bei Wärmedämm-Verbundsystemen aufgrund des Resonanzverhaltens). Für die Ermittlung der horizontalen oder vertikalen Schalllängsleitung innerhalb des Gebäudes wird bei funktionaler Trennung dagegen nur die tragende Schicht betrachtet, die Bauteilschichten der Wärmedämmung und des Witterungsschutzes tragen nicht zur Schalllängsleitung bei.

Die KS-Funktionswand bietet die wesentlichen Voraussetzungen für einen guten Schallschutz gegen Außenlärm und zwischen benachbarten Wohnungen, da mit einer hohen flächenbezogenen Masse des KS-Mauerwerks sowohl ein hohes Schalldämm-Maß erreicht als auch die flankierende Schallübertragung minimiert werden kann.

1.6 Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit

Im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit sind insbesondere die Beanspruchungen durch Temperatur- und Feuchtewechsel bezüglich möglicher Eigen- und Zwängungsspannungen zu berücksichtigen. Wie in Bild 1 gezeigt, wird im Vergleich zu anderen Konstruktionen die tages- und jahreszeitliche Temperaturamplitude der tragenden Schicht durch die funktionale Trennung von der außen liegenden Wärmedämmung erheblich reduziert und damit die Risssicherheit deutlich erhöht.

Die Dauerhaftigkeit von KS-Mauerwerk kann als bekannt vorausgesetzt werden und wird auch durch die Beständigkeit gegenüber UV-Beanspruchung und möglichem chemischen Angriff – z.B. durch Luftschadstoffe oder Reinigungsmittel – bestimmt. Für die Wärmedämmung und den Witterungsschutz mit Bauprodukten nach Norm oder nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung liegen ebenfalls umfassende positive Erfahrungen zur Dauerhaftigkeit vor.

1.7 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit ist nicht nur unter dem Aspekt der Minimierung der Erstinvestitionskosten, sondern insbesondere unter Berücksichtigung der Nutzungsphase – unter Einbeziehung u.a. der Heizenergie- und Instandhaltungskosten – im Lebenszyklus zu betrachten.

Das Konzept der KS-Funktionswand bietet vor diesem Hintergrund kostengünstige Möglichkeiten, hochdämmende Konstruktionen zu erzielen, die eine hohe Dauerhaftigkeit aufweisen und durch eine schlanke Konstruktion Nutzflächengewinne ermöglichen.



2. Konstruktionsübersicht

Im Allgemeinen können KS-Außenwandkonstruktionen entsprechend Bild 2 und Bild 3 und gemäß Tafel 2 differenziert werden.

Um dem Anspruch an ein hohes Wärmeschutzniveau gerecht zu werden, sollten bei beheizten Gebäuden nur die folgenden Konstruktionen eingesetzt werden:

- Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung
- Einschaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung
  - KS-Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS)
  - KS-Außenwand mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung
  - KS-Kelleraußenwand mit Perimeterdämmung

Bei Gebäuden mit niedrigen Innentemperaturen oder Bauwerken ohne Anforderungen an den Wärmeschutz – wie z.B. Wirtschafts- und Industriegebäude oder landwirtschaftliche Bauten – können KS-Außenwände ohne Wärmedämmung eingesetzt werden. Dabei kann zwischen folgenden Konstruktionen unterschieden werden:

- Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Luftschicht (ohne Wärmedämmung)
- Einschaliges KS-Mauerwerk mit Außenputz
- Einschaliges KS-Verblendmauerwerk

Tafel 2 Anwendungsbereiche von KS-Außenwandkonstruktionen

KS-Außenwandkonstruktion	Anwendung	
	Beheizte Gebäude	Sonderfälle
Zweischalige KS-Außenwand		
■ mit Wärmedämmung	X	
■ mit Wärmedämmung und Luftschicht	X	
■ mit Luftschicht		X
Einschalige KS-Außenwand		
■ mit Wärmedämm-Verbundsystem	X	
■ mit Wärmedämmung und hinterlüfteter Außenwandbekleidung	X	
■ mit Innendämmung		X
Einschalige KS-Außenwand ohne Wärmedämmung (verputzt oder Verblendmauerwerk)		X

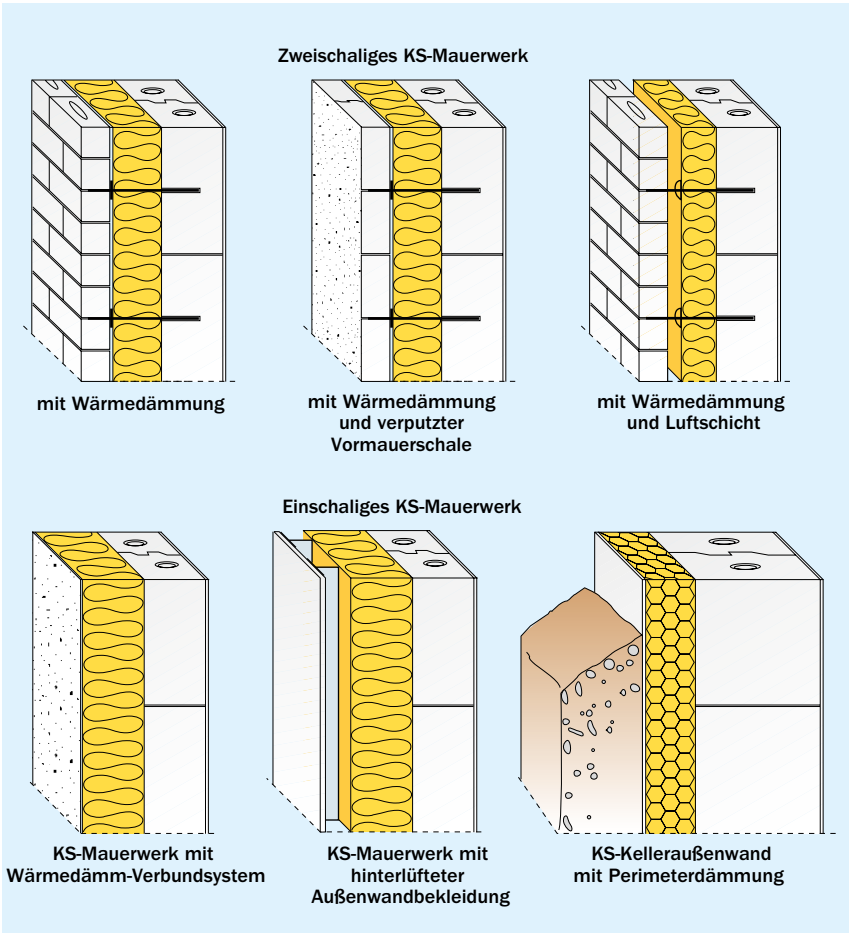


Bild 2 KS-Außenwandkonstruktionen für beheizte Gebäude

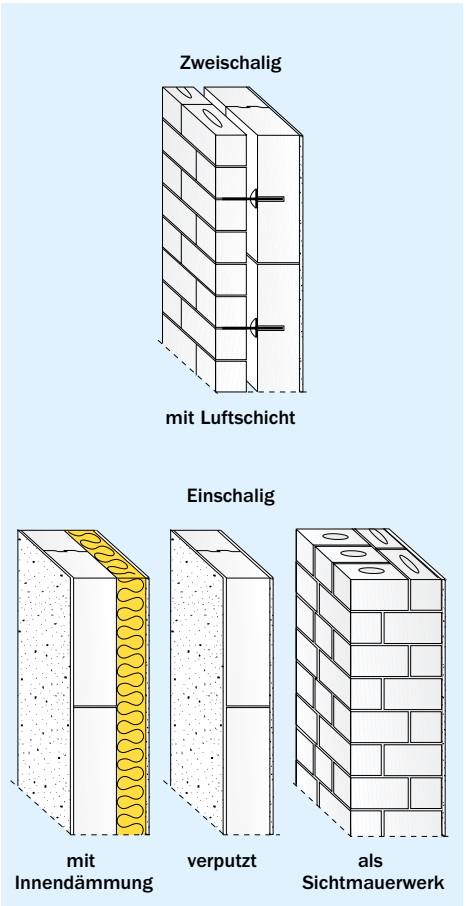


Bild 3 KS-Außenwandkonstruktionen für Sonderfälle

3. Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung

3.1 Konstruktionsprinzip

Zweischalige KS-Außenwände (zweischalige Wände mit Vorsatzschale nach DIN EN 1996-1-1) bestehen aus einer tragenden Innenschale und einer nichttragenden Außenschale, die beide aus KS-Mauerwerk erstellt werden und durch den Schalenzwischenraum getrennt sind (Bild 4). Die Außenschale kann als KS-Verblendschale oder als verputzte Vorsatzschale ausgeführt werden. Die baukonstruktive Unterscheidung erfolgt mit Bezug zum Schalenzwischenraum wie folgt:

- Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung (früher gebräuchliche Bezeichnung: „Kerndämmung“)
- Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung und Luftschicht

Bei dieser Konstruktion besteht eine klare funktionale Trennung der einzelnen Bauteilschichten. Die Innenschale ist Teil des Tragwerks und zugleich Wärmespeicher. Sofern das Mauerwerk der Innenschale ohne Stoßfugenvermörtelung ausgeführt wird, dient der Innenputz der Luftdichtheit. Die Außenschale übernimmt die Aufgaben des Witterungsschutzes. Die Wärmedämmung im Schalenzwischenraum bestimmt im Wesentlichen den Wärmeschutz. Die beiden massiven Schalen zusammen ergeben den besonders guten Schutz gegen Außenlärm.

3.2 Entwicklung

Konstruktionen mit zweischaligem Mauerwerk sind bereits aus dem römischen Reich bekannt (siehe Vitruv: „De Architetura Libri Decem“, 2. Buch).



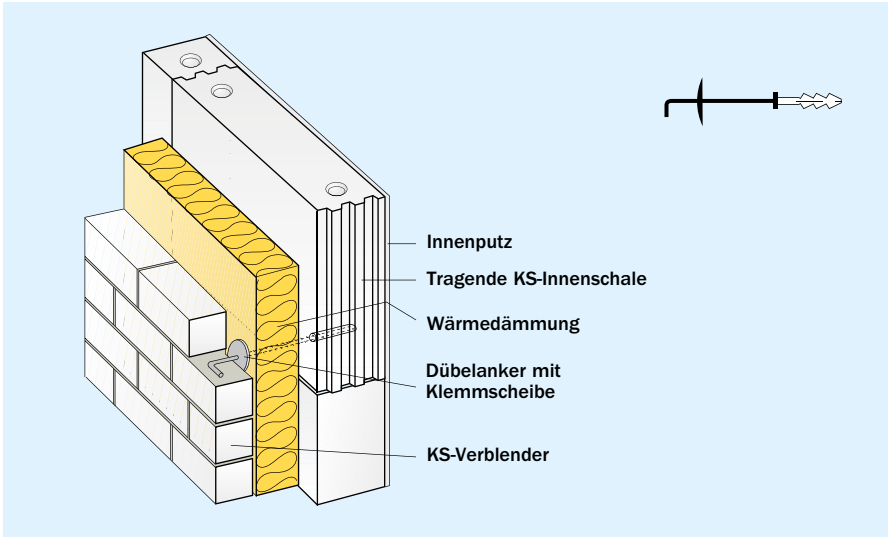


Bild 4 Systemaufbau zweischaliges Mauerwerk mit Wärmedämmung

Zweischaliges KS-Mauerwerk hat sich aufgrund der hohen Dauerhaftigkeit seit vielen Jahrzehnten im Wohnungs- und Verwaltungsbau vor allem in Gegenden mit hoher Schlagregenbeanspruchung hervorragend bewährt.

3.3 Baurechtliche Regelung

Zweischaliges Mauerwerk wird durch DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-2 mit jeweils Nationalem Anhang (NA) geregelt. Hier ist insbesondere auf die detaillierten Festlegungen für die Planung und Ausführung im Anhang NA.D von DIN EN 1996-2/NA zu verweisen.

Für die Dämmstoffe gelten die Regelungen der DIN 4108-10 für den Anwendungsbereich WZ (Dämmung von zweischaligen Wänden, Kerndämmung).

Für einzelne Konstruktionskomponenten können darüber hinaus allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse oder allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (z.B. für Anker oder für Dämmstoffe) erforderlich werden.

3.4 Komponenten

3.4.1 Tragende KS-Innenschale

Die mindestens 115 mm dicke Innenschale ist als Teil des Tragwerks im vereinfachten Verfahren mit gewissen konstruktiven Begrenzungen nach DIN EN 1996-3/NA oder im genaueren Verfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA zu bemessen. Aufgrund der hohen spezifischen Wärmekapazität dient die tragende Innenschale zudem als ausgleichender Wärmespeicher insbesondere für den sommerlichen Wärmeschutz. Darüber hinaus resultiert aus der hohen Rohdichte ein ebenfalls hoher Schallschutz.

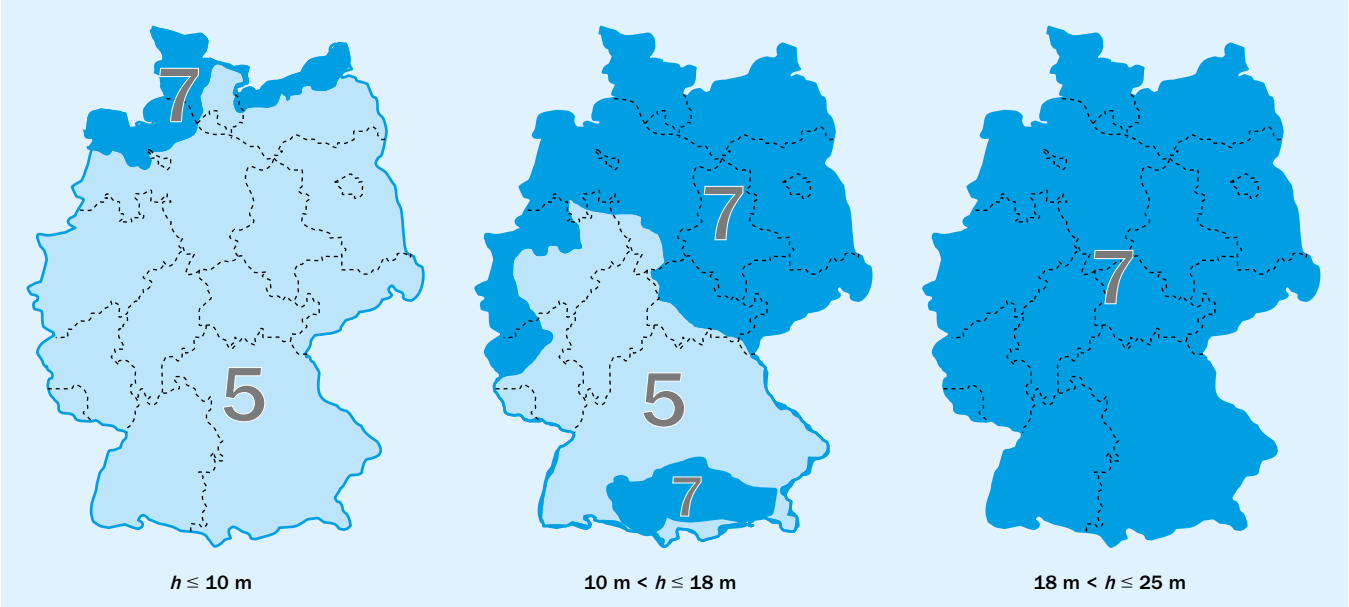


Bild 5 Erforderliche Ankeranzahl im Binnenland in Abhängigkeit von der Gebäudehöhe und Windlastzone

3.4.2 Anker

Die nichttragende Außenschale ist mit der tragenden Innenschale nach DIN EN 1996-2/NA durch Anker aus nicht rostendem Stahl zu verbinden, deren Verwendung durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung ggf. in Verbindung mit DIN EN 845-1 geregelt ist.

Für Drahtanker, die in Form und Maßen DIN EN 1996-2/NA Anhang D, Bild NA.D.1 entsprechen, ist die Mindestanzahl der Drahtanker je Quadratmeter Wandfläche in Abhängigkeit von der Höhe der Wandbereiche über dem Gelände und der Windlastzone in Tabelle NA.D.1 festgelegt (Tafel 3 und Bild 5). Zusätzlich müssen an freien Rändern der Außenschale – wie im Bereich von Dehnungsfugen, an Gebäudekanten, am oberen Ende sowie umlaufend um Wandöffnungen – drei Drahtanker je Meter Randlänge angeordnet werden (Bild 6). Nach Landkreisen sortierte Windlastzonen werden durch das *Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt)* unter http://www.dibt.de/de/Service/Dokumente-Listen-TBB.html („Zuordnung der Windzonen nach Verwaltungsgrenzen“) zur Verfügung gestellt.

Der lichte Abstand der beiden Schalen (d.h. die Dicke des Schalenzwischenraums) darf nach Norm höchstens 150 mm betragen. Der vertikale Abstand der Drahtanker soll höchstens 500 mm, der horizontale Abstand höchstens 750 mm betragen.

Für größere Schalenabstände können Luftschichtanker mit anderer Form (z.B. profilierte Flachstahlanker) nach den Anwendungsregelungen der jeweiligen Zulassung verwendet werden. So sind derzeit Schalenabstände bis zu 250 mm möglich. Für großformatige KS XL-Planelemente ist zudem ein vertikaler Abstand der Anker bis zu 650 mm geregelt.

Luftschichtanker zum Einlegen (Tafel 4) werden beim Aufmauern in die Lagerfugen der Innenschale eingelegt. Für Mauerwerk mit Normalmauermörtel ist dabei mindestens die Mörtelgruppe NM IIa erforderlich. Für Planstein-Mauerwerk mit Dünnbett-

Tafel 3 Mindestanzahl der Anker je m² Wandfläche nach DIN EN 1996-2/NA

Gebäudehöhe	Windzonen 1 bis 3, Windzone 4 Binnenland	Windzone 4 Küste der Nord- und Ostsee und Inseln der Ostsee	Windzone 4 Inseln der Nordsee
$h \leq 10$ m	7 [1)]	7	8
10 m < $h \leq 18$ m	7 [2)]	8	9
18 m < $h \leq 20$ m	7	8 [3)]	

[1)] In Windzone 1 und Windzone 2 Binnenland: 5 Anker/m²
[2)] In Windzone 1: 5 Anker/m²
[3)] Ist eine Gebäudegrundrisslänge < $h/4$: 9 Anker/m²
Windzonen nach DIN EN 1991-1-4/NA
An allen freien Rändern (von Öffnungen, entlang von Dehnungsfugen und an den oberen Enden der Außenschalen) sind zusätzlich zu dieser Tafel drei Drahtanker je m Randlänge anzuordnen.

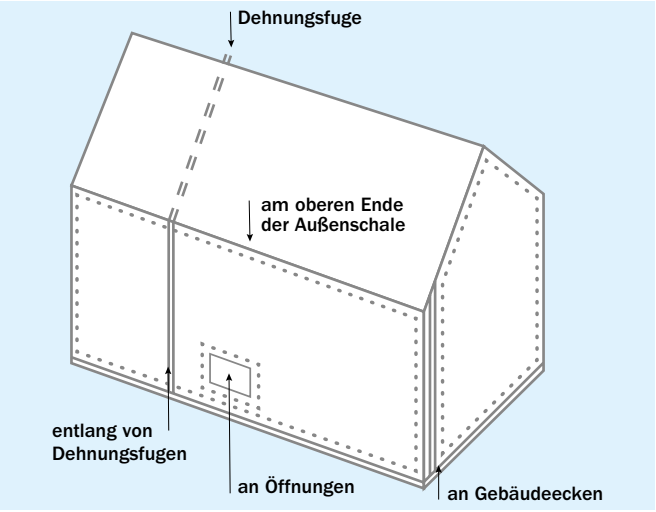


Bild 6 Anordnung zusätzlicher Drahtanker (3 Stück je m) nach DIN EN 1996-2/NA

mörtel werden entsprechend profilierte Flachstahlanker verwendet.

Ist das Einlegen der Anker in den Lagerfugen nicht möglich, können *Luftschichtanker zum Eindübeln* (Tafel 5 und Bild 7) eingesetzt werden. Nach den Zulassungen sind dabei für die Innenschale KS-Vollsteine der Steindruckfestigkeitsklasse ≥ 12 mit Normalmauermörtel ≥ NM II oder Dünnbettmörtel erforderlich. Dübelanker dürfen nicht in die Lager- oder Stoßfuge gesetzt werden. Der Abstand der Dübel zu den Steinrändern muss mindestens 30 mm betragen.

Bei zweischaligen Außenwänden werden in der Regel Klemmscheiben auf die Anker aufgeschoben, die den Dämmstoff in seiner Lage fixieren.

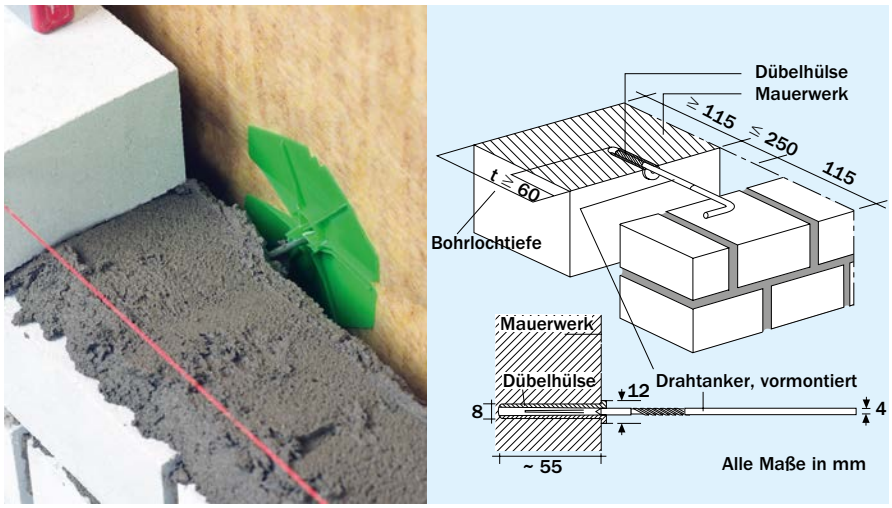


Bild 7 **Dübelanker mit Klemmscheibe im eingebauten Zustand (links) und als Prinzipskizze (rechts)**

Tafel 4 **Luftschichtanker zum Einlegen beim Aufmauern**

Schalenabstand	40 bis 150 mm	100 bis 170 mm	100 bis 200 mm	120 bis 200 mm	≤ 200 mm	> 200 bis 250 mm
Tragschale	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel IIa oder III oder KS-Plansteine/ KS-Planelemente mit Dünnbettmörtel	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel IIa/III oder KS-Plan-/KS-Fasensteine/KS-Planelemente mit Dünnbettmörtel	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel IIa oder III, KS-Plansteine/ KS-Planelemente mit Dünnbettmörtel	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel IIa/III oder KS-Plan-/KS-Fasensteine/KS-Planelemente mit Dünnbettmörtel	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel ≥ NM IIa	Voll-/Lochsteine mit Normalmauermörtel IIa oder III oder KS-Plansteine/ KS-Planelemente mit Dünnbettmörtel
Ankerlänge	103 bis 213 mm	250 bis 320 mm	250 bis 340 mm	280 bis 360 mm	275 bis 350 mm	380 bis 400 mm
Beispiele für Zulassungen	Z-17.1-1062 (Bever GmbH) [1]	Z-17.1-633 (Bever GmbH) [1]	Z-17.1-463 (Gebr. Bodegraven bv)	Z-17.1-888 [2] (Bever GmbH)	Z-17.1-825 [1] (Bever GmbH); Z-17.1-822, Anlage 1 [1] (H & R GmbH)	Z-17.1-1155 [2] (Bever GmbH); Z-17.1-1142 [1], (H & R GmbH)

[1] Vormauerschale nur in Normalmauermörtel NM IIa zulässig
[2] Auch für Vormauerschalen aus Plan- oder Fasensteinen in Dünnbettmörtel zulässig
Bei Anforderungen an den Brandschutz (Gebäudeklasse nach Landesbauordnung) sind ggf. vorhandene Einschränkungen zur Verwendung von Dämmstoffen in den abZ zu beachten.

Tafel 5 **Luftschichtanker zum Eindübeln in die Tragschale**

Max. Schalenabstand	> 150 bis 200 mm	> 200 mm bis 250 mm
Tragschale	Vollsteine, SFK ≥ 12 mit Normalmauermörtel ≥ NM IIa, Dünnbettmörtel oder Leichtmauermörtel der Gruppe LM 36	Vollsteine, SFK ≥ 12 mit Normalmauermörtel ≥ NM IIa, Dünnbettmörtel oder Leichtmauermörtel der Gruppe LM 36
Ankerdurchmesser	4 mm	4 mm
Bohrerdurchmesser	8 mm	8 mm
Bohrlochtiefe	≥ 60 mm	≥ 60 mm
Beispiele für Zulassungen	Z-17.1-825 mit Dübeln nach Z-21.2-1009 (Bever GmbH); Z-17.1-822, Anlage 2 mit Dübeln nach Z-21.2-1732 (H&R GmbH)	Z-17.1-1138 mit Dübeln nach Z-21.2-1009 (Bever); Z-17.1-1142 mit Dübeln nach Z-21.2-1732 (H&R GmbH)

Bei Anforderungen an den Brandschutz (Gebäudeklasse nach Landesbauordnung) sind ggf. vorhandene Einschränkungen zur Verwendung der Dämmstoffe und Dübel in den abZ zu beachten.

3.4.3 Wärmedämmung

Unabhängig von der Konstruktionsart (Wärmedämmung mit oder ohne Luftschicht) sind Dämmstoffe für den Anwendungsbereich WZ nach DIN 4108-10 bzw. mit entsprechender allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung zu verwenden.

Verwendung finden vorwiegend Dämmplatten:

- aus Mineralwolle (auch als Matten)
- aus expandiertem (EPS) oder extrudiertem (XPS) Polystyrol-Hartschaum
- aus Polyurethan-/Polyisocyanurat-Hartschaum (PUR/PIR)
- aus Phenolharz-Hartschaum (PF)

Die Dämmplatten sind ausreichend zu fixieren, so dass eine gleichmäßige Schichtdicke sichergestellt ist. Das heißt auch, dass bei *zweischaligen Außenwänden mit Wärmedämmung und Luftschicht* die Luftschicht nicht durch Unebenheiten der Wärmedämmung eingeengt werden darf. Um Wärmeverluste in den Stoßbereichen dauerhaft zu verhindern, sind Dämmplatten aus Mineralwolle dicht zu stoßen und Dämmplatten aus Hartschaum mit Stufenfalz bzw. Nut und Feder auszubilden oder in versetzten Lagen zu verlegen.

Neben festen Dämmstoffen können auch (nachträglich) lose eingebrachte/eingeblasene Dämmstoffe mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung – wie z. B. Mineralwolle-, EPS- oder Perlite-Granulat – verwendet werden. Der Dämmstoff muss den Schalenzwischenraum vollständig ausfüllen und ausreichend verdichtet werden, um eine nachträgliche Setzung zu verhindern.

3.4.4 Luftschicht

Auf die Anordnung einer Luftschicht zusätzlich zur Wärmedämmung wird mit Ausnahme eines ggf. arbeitstechnisch erforderlichen „Fingerspaltes“ üblicherweise verzichtet. Wird eine Luftschicht angeordnet, muss die Dicke mindestens 60 mm betragen. Die Dicke darf bis auf 40 mm vermindert werden, wenn der Fugenmörtel mindestens an einer Hohlraumseite abgestrichen oder Dünnbettmörtel unter Einsatz eines Mörtelschlittens verwendet wird. Die Luftschicht darf nicht durch Mörtelbrücken unterbrochen werden und ist insofern durch geeignete Maßnahmen (wie dem genannten Einsatz eines Mörtelschlittens) gegen herabfallenden Mörtel zu schützen.

3.4.5 KS-Verblendschale

In der Regel wird die Außenschale in Form von Verblendmauerwerk aus frostwiderstandsfähigen KS-Verblendern bzw. KS-Vormauersteinen ausgeführt und ist Witterungsschutz und Gestaltungselement zugleich. Als Mauerwerksverband ist ein Läuferverband mit halbsteiniger Überdeckung zu empfehlen, da auf diese Weise die Zugfestigkeit der Verblendschale erhöht wird.

Die Verfugung der KS-Verblender soll kantenbündig mit der Steinoberfläche, z.B. als konkav zurückliegender Fugenglattstrich, oder als nachträgliche Verfugung ausgeführt werden (Bild 8), so dass ein sich bei Schlagregen bildender Wasserfilm auf der Oberfläche ungehindert abfließen kann.

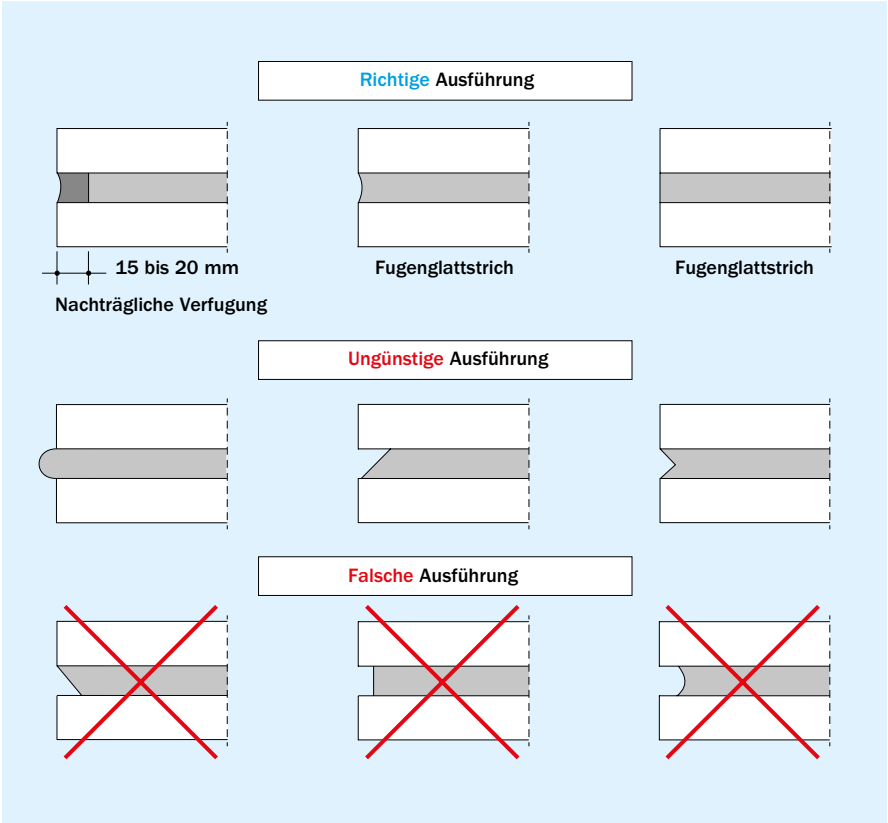


Bild 8 Fugenausbildung bei Sichtmauerwerk

INFO

Gerade für die KS-Verblendschale ist die Lieferform Werktrockenmörtel dem Baustellenmörtel vorzuziehen:

- **Gleich bleibend hohe Qualität und Sicherheit durch Gewährleistung einer genaueren Dosierung der Mörtelausgangsstoffe und damit einfache Handhabung auf der Baustelle**
- **Abstimmung auf das jeweilige Saugverhalten der KS-Verblender und damit höhere Sicherheit gegen „Mörtelverbrennen“**
- **Höhere Mörtel-Haftscherfestigkeit und damit hoher und schneller Haftverbund**
- **Einfachere Logistik durch gleichzeitige Lieferung von Steinen und Mörtel**

Nach [13] bietet der Fugenglattstrich aufgrund der geringeren Anfälligkeit gegenüber Verarbeitungsfehlern im Vergleich zu einer nachträglichen Verfugung eine höhere Schlagregensicherheit. Durch das Glätten wird die Verfugung verdichtet und damit die mögliche Wasseraufnahme im Bereich der Fuge reduziert. Verblendschalen mit Dicken < 105 mm sind daher prinzipiell mit Fugenglattstrich auszuführen.

Da der Fugenglattstrich die „Regelausführung“ nach VOB DIN 18330 darstellt, muss eine abweichende Ausführung mit nachträglicher Verfugung über die Leistungsbeschreibung zudem ausdrücklich vereinbart werden.

3.4.6 Verputzte Vorsatzschale

Alternativ zum Verblendmauerwerk kann die Außenschale des zweischaligen Mauerwerks auch als verputzte Vorsatzschale ausgeführt werden (Bild 9). Da der außen liegende Putz die Wandkonstruktion vor Schlagregen schützt, werden keine Anforderungen an die Frostwiderstandsfähigkeit der Mauersteine gestellt.

Vorsatzschalen sind vertikal nicht, z.B. durch eine Geschossdecke, überdrückt, so dass thermische und hygrische Beanspruchungen zu größeren Verformungen führen können. Der Putzmörtel muss diese Verformungen schadensfrei aufnehmen können. Besonders geeignet sind deshalb Putzmörtel bzw. Putze mit niedrigem Zug-Elastizitätsmodul sowie hoher Zugbruchdehnung und Zug-Relaxation (d.h. hohem Spannungsabbau). Infrage kommen Leichtputzmörtel nach DIN EN 998-1 bzw. DIN EN 13914-1 und DIN 18550-1, auch mit Faserbewehrung. Die erforderlichen Dehnungsfugen in der Vorsatzschale sind dabei im Putz zu übernehmen.

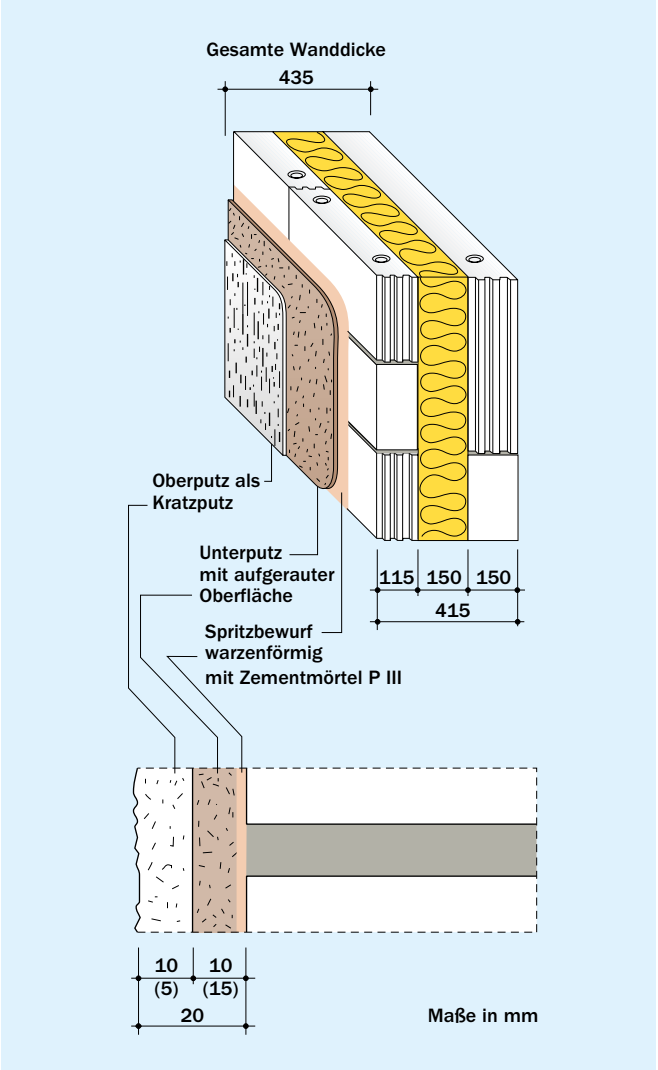


Bild 9 Verputzte Vormauerschale

3.5 Eigenschaften

3.5.1 Standsicherheit

Aufgrund der hohen Druckfestigkeit der Kalksandsteine kann die *tragende Innenschale* sehr schlank ausgeführt werden. Die Mindestdicke beträgt nach DIN EN 1996-1-1 + NA 115 mm.

Die *nichttragende Außenschale* hat nur ihre Eigenlast aufzunehmen und muss eine Dicke von mindestens 90 mm aufweisen. Dünnere Außenschichten sind als Bekleidungen definiert und nach DIN 18515 nachzuweisen und auszuführen.

Sind größere Tür- und Fensteröffnungen zu überbrücken oder befinden sich mehrere Öffnungen mit schmalen verbleibenden Pfeilern in der Außenwand, muss die Auflagerpressung unterhalb der Stürze nachgewiesen werden. Aufgrund der horizontalen Verankerung in der Innenschale durch die Luftschichtanker sind beim statischen Nachweis keine Abminderungen wegen Knickgefährdung zu berücksichtigen. Nur bei schmalen Pfeilern zwischen zwei Öffnungen ist ein Nachweis unter Berücksichtigung der Schlankheit h/d (Öffnungshöhe zu Schalendicke) notwendig.

Die Aufnahme der Windsog- bzw. Winddruckkräfte ist durch die vorgegebene Anordnung der Anker ohne weiteren Nachweis gewährleistet.



Tafel 6 Höhenabstand der Abfangung von Verblendschalen

Dicke der Außenschale	Maximale Höhe über Gelände	Maximaler Überstand über Auflager	Höhenabstand der Abfangung
9,0 cm ≤ *d* < 10,5 cm	≤ 20,0 m	≤ 1,5 cm	≤ ca. 6,0 m
10,5 cm ≤ *d* < 11,5 cm	≤ 25,0 m	≤ 1,5 cm	≤ ca. 6,0 m
d = 11,5 cm	unbegrenzt	≤ 3,8 cm ≈ *d*/3	≤ 2 Geschosse
d = 11,5 cm	unbegrenzt	≤ 2,5 cm	≤ ca. 12,0 m

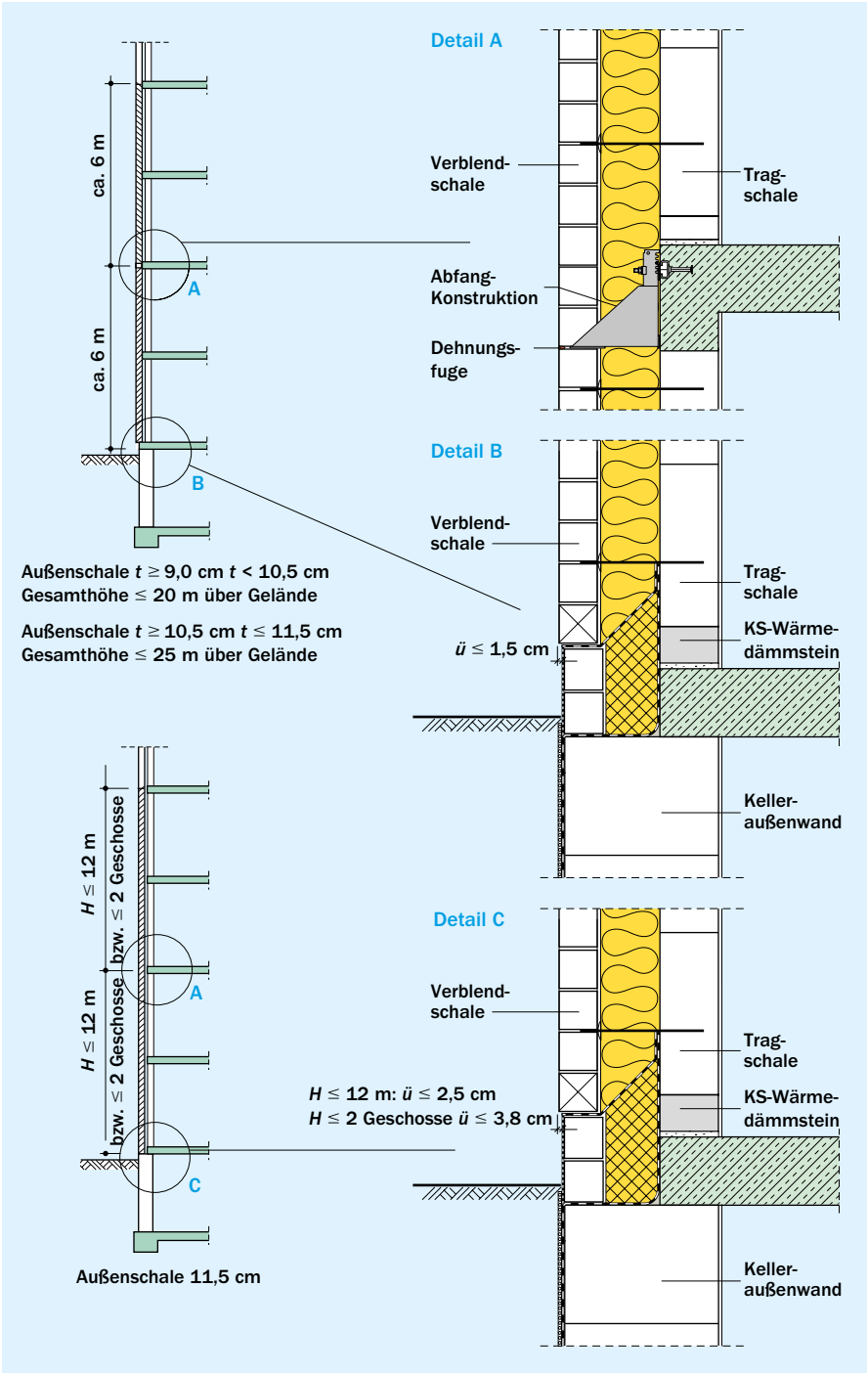


Bild 10 Randbedingungen zur Ausführung von zweischaligen Außenwänden nach DIN EN 1996-2/NA

Zur Begrenzung der Beanspruchungen muss die Höhe der Außenschale begrenzt werden, so dass nach DIN EN 1996-2/NA folgende Abfangungen erforderlich werden (Tafel 6 und Bild 10):

- Außenschalen mit einer Dicke $t = 115$ mm
  Sollten in Höhenabständen von 12 m abgefangen werden. Sie dürfen bis zu 25 mm über ihr Auflager überstehen. Werden sie alle 2 Geschosse abgefangen oder sind sie nicht höher als 2 Geschosse, dürfen sie bis zu 38 mm über ihr Auflager überstehen.

- Außenschalen einer Dicke von $t \geq 105$ mm bis $t < 115$ mm
  Dürfen bis zu einer Höhe von maximal 25 m über Gelände geführt werden und sind in Höhenabständen von ca. 6 m abzufangen. Bei Gebäuden mit bis zu 2 Vollgeschossen darf ein Giebeldreieck bis 4 m Höhe ohne zusätzliche Abfangung ausgeführt werden. Sie dürfen bis zu 15 mm über ihr Auflager überstehen.

- Außenschalen mit einer Dicke von $t \geq 90$ mm bis $t < 105$ mm
  Dürfen bis zu einer Höhe von maximal 20 m über Gelände geführt werden und sind ebenfalls in Höhenabständen von ca. 6 m abzufangen. Bei Gebäuden mit bis zu 2 Vollgeschossen darf auch hier ein Giebeldreieck bis 4 m Höhe ohne zusätzliche Abfangung ausgeführt werden. Sie dürfen bis zu 15 mm über ihr Auflager überstehen. Wie oben erwähnt, müssen die Fugen bei Verblendmauerwerk dieser Dicke mit Fugenglattstrich ausgeführt werden.

Für die erforderliche Abfangung der Außenschale werden vielfältige Standardkonstruktionen – überwiegend mit typengeprüfter statischer Berechnung – angeboten, die in zunehmendem Maße durch spezialisierte Ingenieurabteilungen bei den Herstellerfirmen objektbezogen bemessen und komplett mit dem erforderlichen Montagezubehör angeliefert werden. Die Verankerung erfolgt vorzugsweise im Bereich der Decken oder von Betonstützen und Querwänden.

Zur Reduzierung der Zwängungsspannungen und damit der Rissgefährdung aus hygrothermischen Einwirkungen wird die Anordnung von horizontalen und vertikalen Dehnungsfugen in der Außenschale erforderlich (siehe Abschnitt 3.6.1).

3.5.2 Brandschutz

Aufgrund der Nichtbrennbarkeit von Kalksandsteinen (Baustoffklasse A1 nach DIN 4102-1 bzw. DIN EN 13501-1) können mit Außenwänden aus zweischaligem KS-Mauerwerk bei Verwendung von ebenfalls nichtbrennbaren Dämmstoffen im Schalenzwischenraum unabhängig von der Gebäudeklasse alle geltenden brandschutztechnischen Anforderungen problemlos eingehalten werden. Ohne geplante Luftschicht im Schalenzwischenraum kann dabei auch auf die Anordnung von horizontalen Brandsperren verzichtet werden.

Bei Verwendung von schwerentflammbaren Dämmstoffen bis zur Gebäudeklasse GK 5 oder von normalentflammbaren Dämmstoffen bis zur Gebäudeklasse GK 3 sind zur Verhinderung einer Brandausbreitung ggf. Einschränkungen (wie die Begrenzung der Dämmstoffdicke) oder zusätzliche konstruktive Anforderungen (wie die Anordnung von horizontalen Brandsperren bei geschossübergreifendem Schalenzwischenraum in den Gebäudeklassen GK 4 und GK 5) zu beachten.

Für die Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer sind die baukonstruktiven Gegebenheiten (primär Dicke und Ausnutzungsfaktor) des KS-Mauerwerks der tragenden Innenschale maßgebend, eine ggf. brandschutztechnisch erforderliche Putzschicht wird gleichwertig durch die Außenschale ersetzt. Fugendichtstoffe oder Fugendichtungsbänder der Baustoffklasse B1 (DIN 4102-1) sowie Dämmstoffe der Baustoffklassen B1 oder B2 (DIN 4102-1) im Schalenzwischenraum haben keinen abmindernden Einfluss auf die Einstufung.

3.5.3 Wärmeschutz

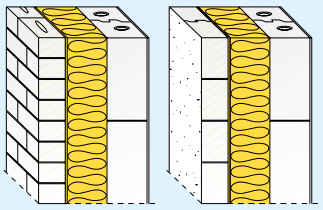
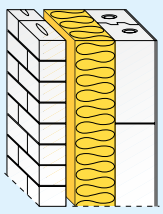
Um besonders hochwärmedämmende Konstruktionen – z.B. für den Passivhausstandard – zu erzielen, wird die Verwendung von Dämmstoffen mit sehr geringer Wärmeleitfähigkeit (z. B. Phenolharz-Hartschaum oder PUR-Hartschaum) und/oder von zugelassenen Ankern empfohlen, die Dämmstoffdicken bis 200 mm (bzw. bis 250 mm für nichtbrennbare Dämmstoffe) ermöglichen (vgl. Tafel 4 und Tafel 5).

Bei zweischaliger Konstruktion und vollständiger Ausfüllung des Schalenzwischenraums mit Dämmstoff ist der äußere Wärmeübergangswiderstand mit 0,04 $m^2 \cdot K/W$ anzusetzen. Bei Ausführung mit Luftschicht ist nach DIN EN ISO 6946 je nach Größe der Lüftungsöffnungen zwischen „schwach belüfteten“ und „stark belüfteten“ Luftschichten zu unterscheiden. Mit den bisher üblichen Größen der Lüftungsöffnungen (d.h. nach DIN 1053-1) ergaben sich meist „stark belüftete“ Luftschichten. In diesen Fällen ist der Wärmedurchlasswiderstand der Außenschale nicht in die Berechnung des U-Werts einzubeziehen. Für den äußeren Wärmeübergangswiderstand darf der gleiche Wert wie für den inneren Wärmeübergangswiderstand (im Allgemeinen 0,13 $m^2 \cdot K/W$) angesetzt werden.

Im Hinblick auf den Wärmeschutz stellen Konsolanker für die Abfangung der Außenschale bei Durchdringung der Dämmstoffschicht Wärmebrücken dar, deren Einfluss anhand des punktförmigen Wärmedurchgangskoeffizienten χ (chi) in Abhängigkeit von den baukonstruktiven Gegebenheiten konkret zu ermitteln ist. Durch umfassende Wärmebrückenberechnungen am Fachgebiet Bauphysik und Baukonstruktionen der TU Berlin [14] konnte nachgewiesen werden, dass sich dieser Einfluss durch die Optimierung der Formgebung der Konsolanker deutlich verringern lässt.

Für den sommerlichen Wärmeschutz wirkt die tragende Innenschale als hohe speicherfähige Masse, da sie über die Wärmedämmung vom Außenklima weitgehend abgekoppelt ist. Durch

Tafel 7 U-Werte von zweischaligen KS-Außenwänden mit Wärmedämmung bzw. mit Wärmedämmung und Luftschicht

	Dicke des Systems [cm]	Dicke der Dämmschicht [cm]	U [W/(m²·K)] λ [W/(m·K)] 0,022	0,024	0,032	0,035	Wandaufbau
	41,0	10	0,19	0,21	0,27	0,29	**Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Wärmedämmstoff Typ WZ 0,01 m Fingerspalt R = 0,15 (m²·K)/W 0,115 m[2] KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0)[1] oder verputzte KS-Vormauerschale λ = 1,1 W/(m·K) R_{se} = 0,04 (m²·K)/W
	43,0	12	0,16	0,18	0,23	0,25	
	45,0	14	0,14	0,16	0,20	0,22	
	47,0	16	0,13	0,14	0,18	0,19	
	49,0	18	0,11	0,12	0,16	0,17	
	51,0	20	0,10	0,11	0,15	0,16	
	55,0	24	0,09	0,09	0,12	0,13	
	44,0	10	0,20	0,22	0,28	0,30	**Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung und Luftschicht** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Wärmedämmstoff Typ WZ R_{se} = 0,13 (m²·K)/W ≥ 0,04 m Luftschicht 0,115 m[2] KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0)
	46,0	12	0,17	0,18	0,24	0,26	
	48,0	14	0,15	0,16	0,21	0,22	
	50,0	16	0,13	0,14	0,18	0,20	
	52,0	18	0,12	0,13	0,16	0,18	
	54,0	20	0,10	0,11	0,15	0,16	

Zur Berechnung der U-Werte sind ausschließlich Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ_B anzusetzen.
[1] Bei anderen Dicken oder Steinrohdichteklassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.
[2] 9 cm möglich, nach DIN EN 1996-2/NA

instationäre Wärmestromberechnungen sowie praktische Messungen wurde nachgewiesen, dass die gelegentlich geäußerte Vermutung nicht zutrifft, dass bei Konstruktionen mit einer vollständigen Ausfüllung des Schalenzwischenraums mit Dämmstoff ein Wärmestau in der Außenschale entstehen würde. Die Temperaturunterschiede zwischen hinterlüfteten und nicht hinterlüfteten Außenschalen sind sowohl im Sommer wie auch im Winter bei ansonsten gleichen Randbedingungen gering. Vielmehr wird die sommerliche Erwärmung durch die Absorption der Sonnenstrahlung und damit durch die Farbe der Fassade bestimmt. Helle Fassaden – wie sie bei KS-Verblendmauerwerk gegeben sind – wirken sich dabei besonders günstig aus, weil sie ein hohes Rückstrahlvermögen (Albedo) aufweisen.

3.5.4 Feuchte- und Witterungsschutz

Nach DIN 4108-3 kann auf einen dampfdiffusionstechnischen Nachweis verzichtet werden, da bei zweischaligen Außenwänden aus KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung unabhängig vom Vorhandensein einer Luftschicht eine Gefährdung durch Tauwasser oder Schimmelpilzbildung ausgeschlossen ist. Voraussetzung ist – wie bei allen Außenkonstruktionen – die Vermeidung von kritischen Wärmebrücken.

Im Hinblick auf den Schlagregenschutz können zweischalige Außenwände aus KS-Mauerwerk in der höchsten Beanspruchungsgruppe III nach DIN 4108-3 verwendet werden. Bei einer Außenschale aus KS-Verblendern wird Feuchtigkeit, die durch Schlagregenbeanspruchung in die äußere Zone der Verblendschale eindringt, durch die Kapillarität des Baustoffes verteilt und nach dem Ende der Regenphase durch Diffusionsvorgänge wieder an die Außenluft abgegeben. Zur Erhöhung der Schlagregensicherheit kann ggf. eine dampfdiffusionsoffene hydrophobierende Beschichtung auf die Verblendschale aufgebracht werden, die gleichzeitig einer örtlich vorhandenen Veralgungsgefahr entgegen wirkt – z.B. bei Standorten mit hohem Baumbestand. Bei einer Vorsatzschale aus KS-Mauerwerk mit Außenputz wird der Schlagregenschutz durch das Putzsystem gewährleistet.

Um ggf. eindringende Feuchtigkeit aus der Konstruktion ableiten zu können, dürfen in der KS-Verblendschale oben und unten Lüftungs- bzw. Entwässerungsöffnungen angeordnet werden. Das gilt auch für Brüstungsbereiche sowie für die Bereiche über Türen oder Fenstern.

3.5.5 Schallschutz

Derzeit ist die nach DIN 4109-2 vorgesehene Berechnung der Schalldämmung zweischaliger Außenwände nach DIN EN 1996/NA nicht möglich, da für die Luftschallverbesserung $\Delta R_{Dd,w}$ von massiven biegesteifen Verblendschalen aus Mauerwerk oder Vorsatzschichten aus Beton mit Luftschicht oder Dämmschicht noch keine abgesicherten Angaben vorliegen. Ersatzweise wird deshalb für zweischalige Außenwände mit Luftschicht für die Ermittlung der Schalldämmung der gesamten Konstruktion in Abschnitt 4.4.4. der DIN 4109-32 folgendes Verfahren vorgeschlagen:

„Bei zweischaligen Konstruktionen mit Luftschicht oder mit Kerndämmung aus mineralischen Faserdämmstoffen darf das bewertete Schalldämm-Maß $R_{Dd,w}$ aus der Summe der flächenbezogenen Massen der beiden Schalen […] ermittelt werden. Das so ermittelte bewertete Schalldämm-Maß R_w darf um 5 dB erhöht werden. Wenn die flächenbezogene Masse der auf die Innenschale der Außenwand anschließenden Trennwände größer als 50 % der flächenbezogenen Masse der inneren Schale der Außenwand beträgt, darf das Schalldämm-Maß R_w um 8 dB erhöht werden.“

Bei Sandwich-Elementen aus Beton oder bei Mauerwerk mit einer Kerndämmung, die unter Verwendung von Hartschaumstoffen hergestellt werden, wird in DIN 4109-32 übergangsweise vorgesehen, dass das bewertete Schalldämm-Maß $R_{Dd,w}$ aus den flächenbezogenen Massen beider Schalen abzüglich 2 dB ermittelt wird.

3.5.6 Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit

Die Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit von zweischaligen Außenwänden aus KS-Mauerwerk ist im Zusammenhang mit den bekannten Eigenschaften im besonderen Maße gegeben durch

- die Dehnungsfugenausbildung in der Außenschale, mit der Zwangsbeanspruchungen aus hygrothermischer Einwirkung minimiert werden,
- die Verwendung von KS-Verblendern, die die Frostwiderstandsfähigkeit der Verblendschale gewährleisten und
- die robuste Konstruktion mit hohem Widerstand gegenüber jeder Form von mechanischer Beanspruchung wie Stoß und Perforation.

Mit den baustofflichen und baukonstruktiven Eigenschaften ergibt sich für zweischalige KS-Außenwände eine sehr hohe Lebensdauer mit nur geringen Wartungs- und Instandhaltungsaufwendungen.

3.5.7 Gestaltung

Die Außenschale wird überwiegend großflächig erstellt und z.B. durch Fugen, Fenster- und Türöffnungen oder Versätze strukturiert. Durch die Ausführung in Sichtmauerwerk kann die Bauart des (traditionell handwerklichen oder ingenieurmäßigen) Mauerwerksbau visuell transportiert werden, für die gewünschte Gestaltung steht eine Vielzahl von frostwiderstandsfähigen Kalksandsteinen zur Verfügung. Bei einer Ausführung mit Außenputz kann wiederum auf die Möglichkeiten der aktuellen Putzmörteltechnik in ihren vielfältigen Varianten von Farbgebung und Oberflächenstruktur zurückgegriffen werden.

3.6 Details

3.6.1 Dehnungsfugen in der Außenschale

Anordnung der Dehnungsfugen

Da die Außenschale den klimabedingten Einwirkungen unmittelbar ausgesetzt ist, wird zur Begrenzung der Zwangsbeanspruchungen auf ein hinsichtlich von Rissbildungen unkritisches Maß eine Unterteilung durch Dehnungsfugen erforderlich. Über die Höhe ist der Abstand der horizontalen Dehnungsfugen durch die Vorgaben der DIN EN 1996-2 + NA zur Abfangung (s.o.) festgelegt.

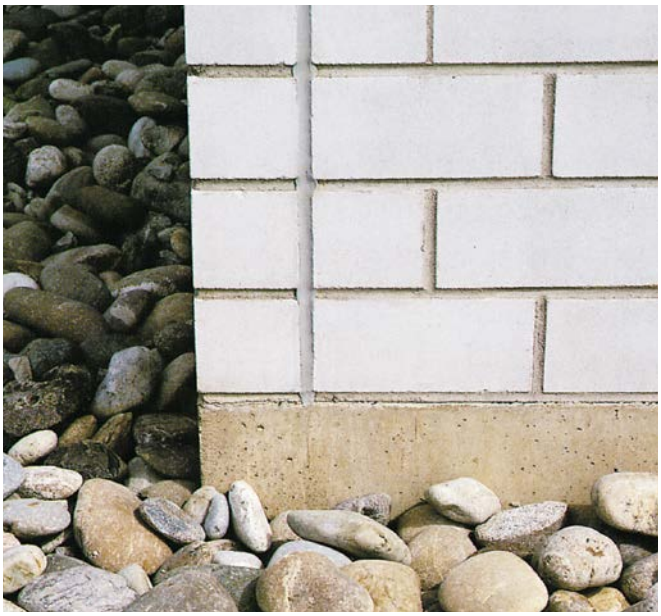


Bild 11 **Ausführung einer Dehnungsfuge an einer Gebäudekante mit spritzbarem Fugendichtstoff**

Über die Länge ist eine Unterteilung durch vertikale Dehnungsfugen erforderlich

- bei langen Mauerwerksscheiben im Abstand von 6 bis 8 m,
- im Bereich von Gebäudeecken oder -kanten (Bild 11) und
- bei großen Fenster- und Türöffnungen in Verlängerung der senkrechten Laibungen.

Umfangreiche Untersuchungen zur Ermittlung der rissfreien Wandlänge wurden von Schubert ([15] bis [19]) durchgeführt, der Nachweis kann explizit mit diesem Ansatz in Abhängigkeit von den folgenden Parametern geführt werden:

- Zugfestigkeit und Zugelastizitätsmodul des Mauerwerks in Wandlängsrichtung
- Schwindmaß und temperaturbedingte Längenänderung
- Wandhöhe der Außenschale
- Behinderungsgrad am Wandfuß der Außenschale

Für die durch Dehnungsfugen strukturierte Außenschale ist auf ungehinderte Verformungsmöglichkeiten in der ganzen Fläche zu achten. So sind z.B. unterhalb von auskragenden Balkonplatten oder im Anschluss an angrenzende Bauteile oder Durchdringungen ausreichend dimensionierte Fugen anzuordnen. Ebenfalls ist darauf zu achten, dass die Außenschale unterhalb von Zwischenabfangungen genügend Ausdehnungsmöglichkeiten nach oben hat, um Verformungsbehinderungen durch die Abfangkonsolen zu vermeiden.

Ausführung der Dehnungsfugen

Für die Ausführung von Dehnungsfugen haben sich folgende Varianten bewährt:

- *Offene Vertikalfugen* können bei Verwendung von Dämmplatten des Anwendungstyps WZ nach DIN 4108-10 oder mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung ausgeführt werden. Die zulässige Fugenbreite ist auf 15 mm begrenzt.
- *Geschlossene Fugen mit Fugendichtstoff* (Bild 12) sind in Planung und Ausführung durch DIN 18540 geregelt. Als Materialien haben sich ein- und zweikomponentige Systeme aus Polysulfid, Silikon-Kautschuk, Polyurethan oder Acryldispersion bewährt. Soweit erforderlich, sind (systemgebunden) Primer oder Sperrgrund zu verwenden. Der Dichtstoff wird in vielen RAL-Farben angeboten und ist in der Regel nicht überstreichfähig. Die maximale Dehnfähigkeit beträgt bezogen auf die Fugenbreite 25 %, die Fugen sind entsprechend zu dimensionieren. Auf die im Vergleich zum KS-Mauerwerk kürzeren Instandhaltungszyklen von Dichtstoffen ist hinzuweisen.
- *Geschlossene Fugen mit vorkomprimierten und imprägnierten Fugendichtungsbändern* (Bild 13) aus Schaumstoffen sind in DIN 18542 geregelt. Je nach Dichtungsband beträgt die maximale Dehnung zwischen 30 und 50 % bezogen auf die Fugenbreite. In der Anwendung haben sich Fugendichtungsbänder als vergleichsweise dauerhaft und wartungsfreundlich erwiesen, sie können ggf. auch leicht ausgetauscht werden.

Zum optischen Verschluss von Fugen sind auch Abdeckprofile geeignet, die in die Fuge eingeklemmt oder eingeklebt werden. Bei eingeklemmten Abdeckprofilen muss die vorgegebene Pressung ausreichen, um ein Herausfallen des Profils bei Vergrößerung der Fuge oder Kontraktion des Profils zu verhindern – z.B. infolge Temperaturabnahme.

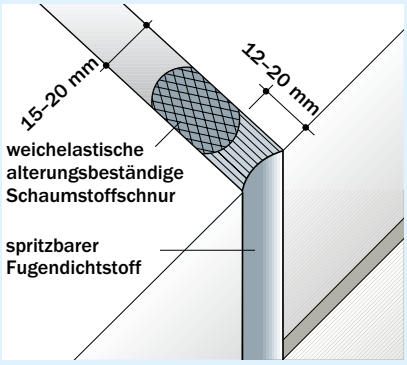


Bild 12 **Dehnungsfuge mit spritzbarem Fugendichtstoff**

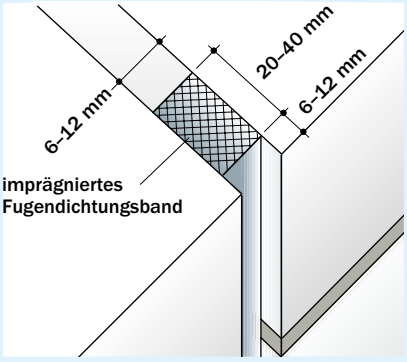


Bild 13 **Dehnungsfuge mit imprägniertem Fugendichtungsband aus Schaumstoff**

3.6.2 Abfangung der Außenschale

Abfangungen (Bild 14) sollen im Allgemeinen nicht sichtbar sein. Für die Überbrückung von Fenstern oder Türen können Stürze verschiedener Ausführungen passend zum Sichtmauerwerk in die Fassade eingegliedert werden. Das ist auch über weiten Öffnungen möglich. Alternativ zu den häufig verwendeten vorgefertigten KS-Stürzen können z.B. für verdeckte Sturzabfangungen mit Roll- und Grenadierschicht spezielle Rollschichthalter mit Längsbewehrung eingesetzt werden, die mit den Konsolankern verbunden werden.

Bei der Ausführung von zweischaligem Mauerwerk mit Luftschicht und planmäßiger Be- und Entlüftung dürfen die erforderlichen Konsolanker die Luftschicht nicht oder nur unwesentlich beeinträchtigen.

Für Abfangungen wird eine Vielzahl von Standardkonstruktionen von verschiedenen Herstellern angeboten (Bilder 15 und 16), die Verankerung erfolgt mit zugelassenen Schwerlastdübeln oder Ankerschienen vorzugsweise im Bereich der Decken oder von Betonstützen und Querwänden.

3.6.3 Belüftung und Entwässerung der Außenschale

Auf eine planmäßige Belüftung oder Entwässerung kann nach DIN EN 1996 prinzipiell verzichtet werden. Bei verputzten Vorsatzschalen sind die diesbezüglich notwendigen Lüftungs- bzw. Entwässerungsöffnungen im Gegenteil sogar schädlich. Bei die-

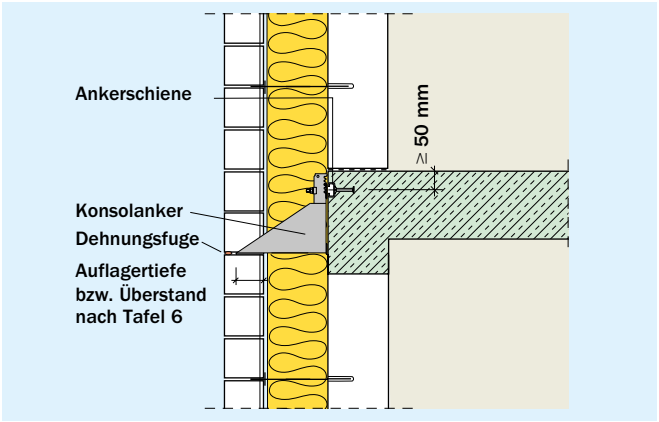


Bild 14 Zwischenabfangung

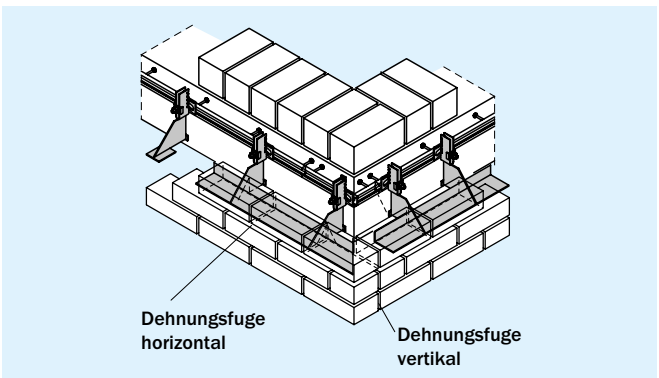


Bild 15 Abfangkonstruktion für Eckbereich mit höhenverstellbaren Konsolankern

Verankerungen für Verblendmauerwerk	Einsatzbereich
Einzelkonsole	Höhenjustierbare Abfangung von geschlossenen Wandflächen
Winkelkonsole	Höhenjustierbare Abfangung über Öffnungen
Einzelkonsolanker mit Höhenversatz	Höhenjustierbare Abfangung über Öffnungen mit Höhenversatz
Auflagerwinkel	Einfache Abfangung über Öffnungen, ohne Verschluss des Schalenraums

Bild 16 Übersicht unterschiedlicher Abfangkonstruktionen

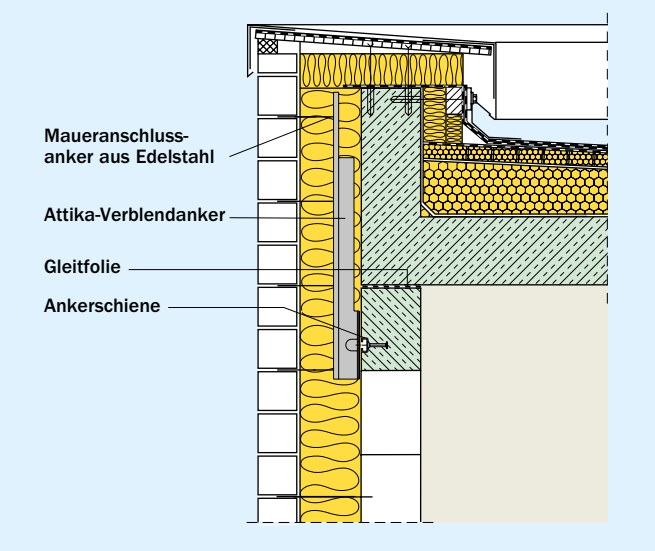


Bild 17 Attikaanschluss

ser Variante dürfen nicht frostwiderstandsfähige Mauersteine verwendet werden, für die jedoch im Bereich der Öffnungen mit einer erhöhten Feuchte- und insofern auch Frostbeanspruchung zu rechnen wäre.

In KS-Verblendschalen dürfen oben und unten Lüftungs- bzw. Entwässerungsöffnungen angeordnet werden. Die konkrete Lage und die Fläche dieser Öffnungen werden nicht in DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-2 oder den Nationalen Anhängen geregelt, jedoch kann DIN 1053-1 entsprechende Hinweise geben. Die Ausführung erfolgt entweder in Form von offenen (unvermörtelten) Stoßfugen oder mit Kunststoff-Formteilen. Falls entsprechende Öffnungen vorgesehen werden, ist in der Praxis festzustellen, dass bei sachgerechter Planung und Ausführung keine Ablaufspuren auftreten Bei einer lose eingebrachten Dämmung (Schüttung) kann durch nicht rostende Lochgitter zudem sichergestellt werden, dass der Dämmstoff nicht ausrieseln kann.

3.6.4 Fußpunktausbildung der KS-Verblendschale

Der Fußpunkt von zweischaligem Mauerwerk ist sorgfältig zu planen und auszuführen. Dabei sollten die folgenden Hinweise und Empfehlungen beachtet werden (Bild 18):

Sockel

Grundsätzlich ist die Ausbildung eines Sockels mit wasserabweisendem Sockelputz oder Dichtungsschlämme zu empfehlen. Der Sockelbereich ist einer erhöhten Spritzwasserbeanspruchung ausgesetzt und mindestens 10 cm über Gelände zu führen. Bei entsprechender Einfärbung (Pigmentierung) des Putzes bzw. der Dichtungsschlämme sind Eindunklungen weniger störend, die sich aufgrund der erhöhten Feuchtebeanspruchung ergeben.

Um die Höhe des Spritzwasserbereichs weitestgehend auf den Sockel beschränken zu können, ist es sinnvoll, einen Kiesstreifen (ca. 50 cm breit und 20 cm tief) vor dem Verblendmauerwerk anzuordnen. In diesen Fällen kann unter Umständen auf einen Sockelputz verzichtet werden (siehe Bild 18 links). Wenn harte Beläge, Erdreich oder Rasen direkt an den Sockelbereich anschließen, ist in jedem Fall die Anordnung eines wasserabweisenden Sockelputzes oder einer Dichtungsschlämme vorzusehen.

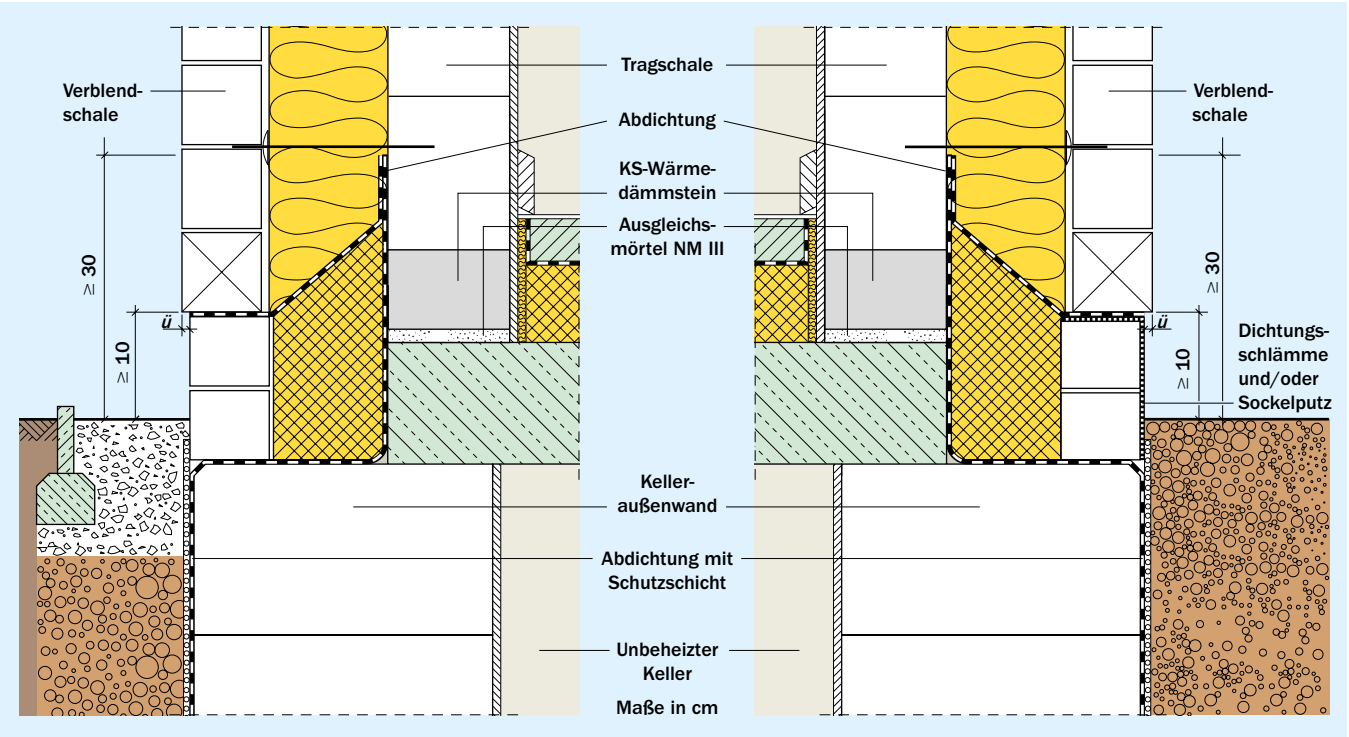


Bild 18 Beispiel für Fußpunktausbildung

Ein Herabführen der Verblendschale bis unter Gelände ist zwar möglich, da aber mit deutlich erhöhter Feuchte- sowie Frostbeanspruchung und auch erhöhter Verschmutzung zu rechnen ist, wird eine besonders sorgfältige Planung und Ausführung notwendig.

Unbedingt zu vermeiden ist der Kontakt des Mauerwerks mit Tausalzen, da hier die Struktur geschädigt wird.

Wärmedämmung

Zur wirksamen Reduzierung von Wärmebrücken wird in DIN 4108, Beiblatt 2 empfohlen, die Wärmedämmung von der Oberkante der Kellerdecke 30 cm (z.B. 18 cm Decke + eine Mauerwerksschicht mit ca. 12,5 cm Höhe) nach unten zu führen. Alternativ zum Herabführen der Wärmedämmung kann oberhalb der Stahlbetondecke ein optimierter KS-Wärmedämmstein mit $\lambda \leq 0{,}33$ W/(m·K) eingesetzt werden, der bis zur Steinfestigkeitsklasse SFK 20 angeboten wird. Die Wärmedämmung ist in jedem Fall bis zur Deckenunterkante, also bis auf die Kelleraußenwand herabzuführen.

Unterhalb der geeigneten Abdichtungsfolie ist im Schalenzwischenraum eine abgeschrägte Hartschaumplatte einzustellen, die als Rücklage für die Abdichtungsfolie dient.

Bei beheizten Kellern ist eine außen liegende Perimeterdämmung so weit wie möglich hochzuführen, zu befestigen (z.B. durch flächige Verklebung) und vor Beschädigungen zu schützen. Es empfiehlt sich, die Perimeter-Dämmplatten am oberen Ende abzuschrägen und ca. 5 bis 10 cm unter Gelände enden zu lassen. Ein Überlappungsbereich von außen liegender Perimeterdämmung und Wärmedämmung im Schalenraum von ca. 10 cm ist zu empfehlen.

Abdichtung

Die Abdichtungsfolie ist im Schalenraum mit Gefälle nach außen zu verlegen, an der Innenschale hoch zu führen und zu befestigen. Die Befestigung (ca. 30 cm über Gelände) erfolgt in der Regel durch Ankleben z.B. mit Montagekleber oder durch punktuelles Andübeln von Klemmleistenstücken. Dies ist völlig ausreichend, da die Abdichtungsfolie nach der Montage der Dämmstoffplatten in der Lage fixiert ist. Ein Einbinden der Abdichtungsfolie in die Lagerfugen der Innenschale ist nicht erforderlich und bei z.B. großformatigem Planstein-Mauerwerk mit Dünnbettmörtel baupraktisch nicht durchführbar. Zudem würde der Verbund des tragenden Mauerwerks durch die Abdichtungsfolie gestört werden.

Die Abdichtung an der Außenseite der Tragschale und entlang der Aufstandsfläche der Vormauerschale ist so auszubilden, dass ein Abrutschen des KS-Mauerwerks sicher auszuschließen ist. Die erste Ankerlage ist so tief wie möglich anzuordnen. Als Abdichtung dürfen nach DIN 18533 [20] (in Verbindung mit DIN (SPEC) 20000-202) folgende Bahnen eingesetzt werden:

- Bitumen-Dachbahnen mit Rohfilzeinlage (R 500) nach DIN EN 14967
- Bitumen-Dachdichtungsbahnen (G200DD/PV200DD) nach DIN EN 14967
- Kunststoff- und Elastomerbahnen nach DIN EN 14909:
  - ECB-Bahnen (bitumenverträglich)
  - PIB-Bahnen (bitumenverträglich)
  - PVC-P-Bahnen (nicht bitumenverträglich)
  - PVC-P-Bahnen (bitumenverträglich)
  - EVA-Bahnen (bitumenverträglich)
  - EPDM-Bahnen (bitumenverträglich)
  - FPO-Bahnen (bitumenverträglich)
- PMBC (kunststoffmodifizierte Dickbeschichtungen)

Die Abdichtungsfolie ist ohne Verklebung bis zur Vorderkante der Verblendschale zu führen. Dies wird in der Praxis meist nicht ausgeführt, da die schwarzen Abdichtungsfolien optisch störend sind. Bewährt hat es sich, die Abdichtungsfolie auf eine rissüberbrückende mineralische Dichtungsschlämme (mit allgemeinem bauaufsichtlichen Prüfzeugnis – abP) aufzulegen

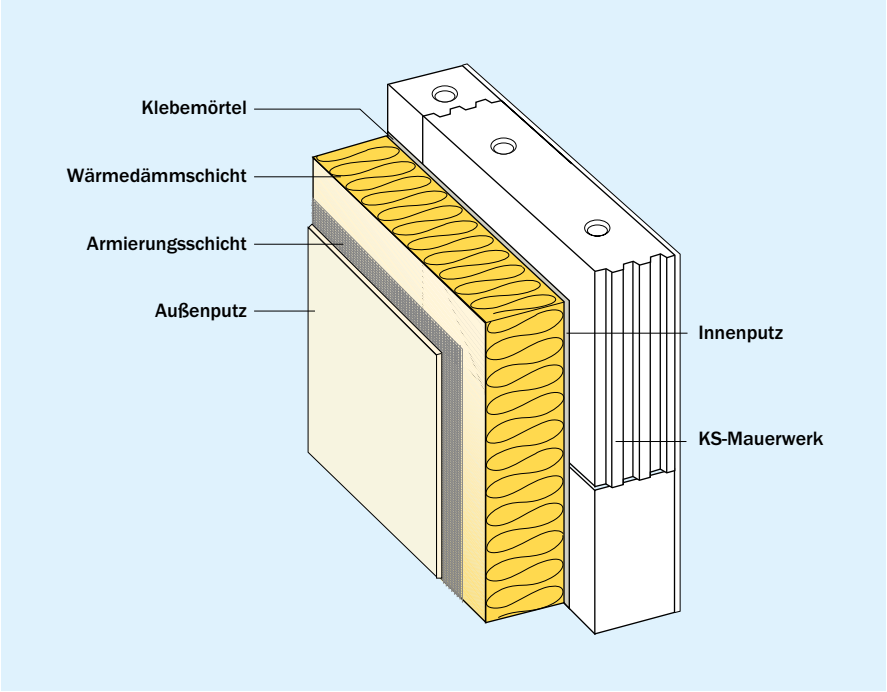


Bild 19 Wandaufbau KS-Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem

und ca. 2 cm vor der Vorderkante der Verblendschale enden zu lassen. Mit der mineralischen Dichtungsschlämme (MDS), die über die komplette Dicke der Verblendschale gezogen wird, wird die Abdichtung des Schalenraums mit der Vertikalabdichtung (nach DIN 18533) verbunden. Dabei ist ein Überlappungsbereich von ca. 10 cm einzuhalten [21]. Zur Haftverbesserung (z.B. im Übergang zu einer kunststoffmodifizierten Dickbeschichtung (PMBC) oder eines Sockelputzes) ist das Abstreuen der Dichtungsschlämme im noch frischen Zustand mit Sand zu empfehlen.

Entwässerung

Auf eine planmäßige Entwässerung kann verzichtet werden und wird in der Regel auch verzichtet. Falls dennoch Entwässerungsöffnungen vorgesehen werden, sollten die folgenden Hinweise berücksichtigt werden:

- Die Entwässerungsöffnungen sind oberhalb der Abdichtung des Schalenraums in der untersten Verblender-Schicht anzuordnen.
- Sofern bei Konstruktionen mit Luftschicht die Entwässerungsöffnungen am Fußpunkt gleichzeitig als Lüftungsöffnungen dienen, sind sie mindestens 10 cm über Gelände anzuordnen.
- Nach DIN 18533 ist die Entwässerung unterhalb Gelände möglich, wenn sie in eine versickerungsfähige Verfüllung erfolgt und die Stöße der Bahnen verklebt sind. Mit einer höheren Durchfeuchtung der unteren Schichten des Verblendmauerwerks ist dabei zu rechnen. Erhöhte Frostbeanspruchung sowie optische Beeinträchtigungen können die Folge sein.

4. Einschaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem

4.1 Konstruktionsprinzip

Die derzeit marktüblichen Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) werden – neben den verwendeten Baustoffen – in der Regel nach dem System der Verankerung unterschieden (Bild 20):

- Ausschließlich teil- bis vollflächig verklebte WDVS (Bild 21)
- Mit Dübeln befestigte und zusätzlich verklebte WDVS (Bild 22)
- Über Schienen befestigte und zusätzlich verklebte WDVS (mit Schienenbefestigung)

Aufgrund der hohen Druckfestigkeit des KS-Mauerwerks können die tragenden Außenwände sehr schlank ausgeführt werden, so dass sich ein deutlicher Nutzflächengewinn ergibt. Bei hoher Rohdichte sind gleichzeitig der Schallschutz sowie der sommerliche Wärmeschutz gewährleistet.

Sofern das Mauerwerk ohne Stoßfugenvermörtelung ausgeführt wird, dient der Innenputz der Luftdichtheit.

Durch die Wärmedämmung kann ein hoher Wärmeschutz bis hin zum Passivhausstandard realisiert werden.

Der Schutz vor direkten Witterungseinwirkungen erfolgt durch den Außenputz oder durch eine angemörtelte Bekleidung (z.B. keramische Fliesen oder Naturwerksteinplatten).

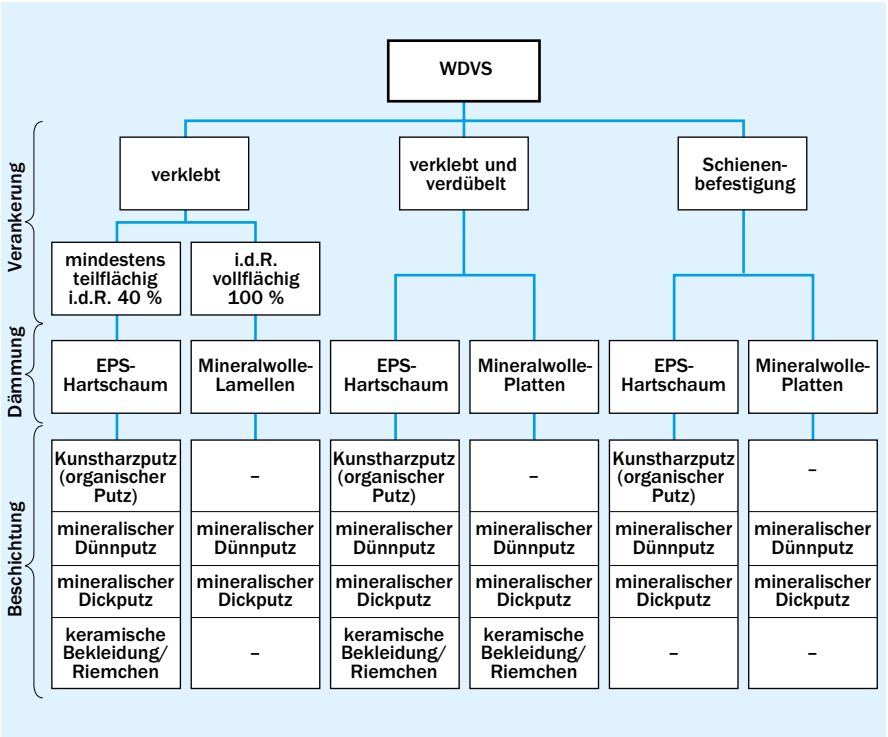


Bild 20 Übersicht der marktüblichen Wärmedämm-Verbundsysteme

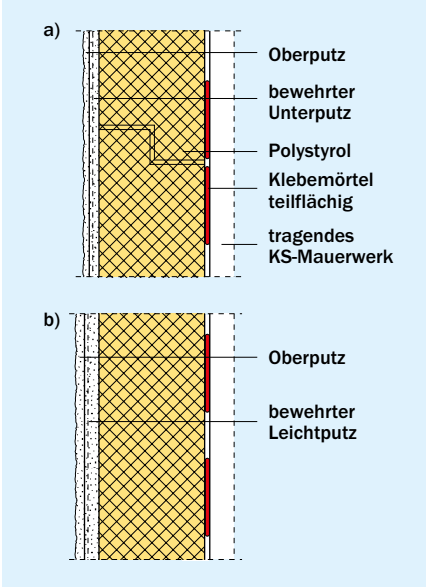


Bild 21 Teilflächig verklebtes WDVS mit EPS-Dämmplatten

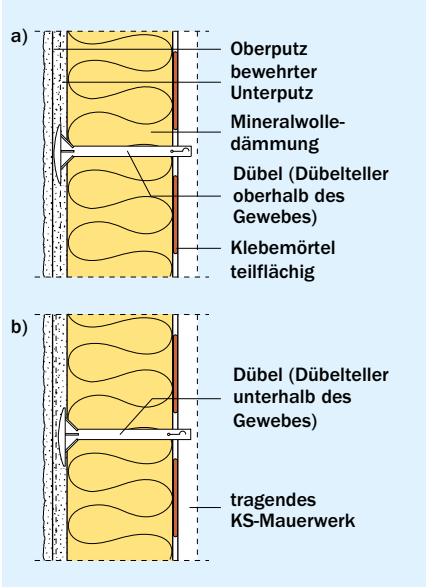


Bild 22 Teilflächig verklebtes und verdübeltes WDVS mit Mineralwolle-Dämmplatten

4.2 Entwicklung

Bereits in den 50er Jahren wurden erste Wärmedämm-Verbundsysteme entwickelt [22]. Seit mehr als 50 Jahren wird die Weiterentwicklung derartiger Systeme auf der Basis von expandiertem Polystyrol-Hartschaum (EPS) in großem Umfang eingesetzt. Seit Mitte der 70er Jahre kommen WDVS mit Dämmplatten aus Mineralwolle und mineralischen Dickputzsystemen zur Anwendung.

Aktuell werden jährlich mehr als 40 Mio. Quadratmeter WDVS ausgeführt [23] und im Wohnungs- und Verwaltungsbau bis in den Hochhausbereich sowohl für den Neubau als auch für die Sanierung und Modernisierung eingesetzt.

Untersuchungen zum Langzeitverhalten [24] von ausgeführten WDVS im Alter zwischen 29 und 45 Jahren zeigten im Vergleich zu Außenwänden mit Putz nach DIN 18550

- eine geringere Schadenshäufigkeit,
- einen vergleichbaren Wartungsaufwand und
- eine entsprechend hohe Dauerhaftigkeit.

4.3 Baurechtliche Regelung

Wärmedämm-Verbundsysteme werden nach der Bauproduktenverordnung (BauPVO) [25] aktuell als „Bausätze aus zusammengefügten Komponenten“ und damit – auch im Sinne der Musterbauordnung (MBO) – als „Bauprodukte“ definiert. Kennzeichnend für die baurechtliche Regelung ist die Unterscheidung zwischen Wärmedämm-Verbundsystemen mit europäischer technischer Bewertung (ETA – European Technical Assessment) nach europäischen Bewertungsdokumenten (EAD – European Assessment Document) und Wärmedämm-Verbundsystemen mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ).

- WDVS mit ETA
  Mit den Bewertungsdokumenten (EAD, formuliert bis 2013 als Leitlinien – ETAG) werden relevante Eigenschaften und die diesbezüglichen Nachweisverfahren für Bauprodukte in Bezug zum Verwendungszweck benannt. Welche Eigenschaften konkret erreicht werden, geht aus der Europäischen Technischen Bewertung (ETA, formuliert bis 2013 als europäische technische Zulassung – ebenfalls ETA) des Bauprodukts hervor. Für „Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme mit Putzschicht“ existiert als Grundlage des Bewertungsverfahrens die ETAG 004 [26]. Mit der europäischen technischen Bewertung ist zunächst nur das Inverkehrbringen und Handeln geregelt. Für die Verwendung von WDVS mit ETA und Dämmstoffen aus expandiertem Polystyrol oder Mineralwolle in Deutschland ist der Anhang 11 der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) zu beachten, der die notwendigen Regelungen mit umfassenden Vorgaben zur Standsicherheit, zum Brandschutz und zur Gebrauchstauglichkeit sowie ergänzenden Hinweisen zum Schall- und Wärmeschutz enthält.

- WDVS mit abZ
  Für WDVS mit wesentlichen Abweichungen von der ETAG 004 erfolgt der Nachweis der Verwendbarkeit durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung. Eine wesentliche Abweichung ist in diesem Zusammenhang z.B. der Einsatz von Dämmstoffen, die nicht den harmonisierten Dämmstoffnormen entsprechen. Im Rahmen der Novellierung der Rechtsvorschriften erfolgt aktuell eine formale Neuorientierung unter der genannten Definition von WDVS als „Bausatz aus zusammengefügten Komponenten“ (und damit als „Bauprodukt“ und nicht mehr als „Bauart“). Zentrale Anforderungen an das WDVS (wie z.B. zur Dauerhaftigkeit) sind dabei auch im deutschen Zulassungsverfahren durch die ETAG 004 geprägt.

Es ist anzumerken, dass der durch das Urteil des Europäischen Gerichtshofs (EuGH) vom 16.10.2014 in der Rechtssache C-100/13 zum freien Warenverkehr für Bauprodukte initiierte Anpassungsprozess derzeit noch nicht gänzlich abgeschlossen ist. Insofern können die Konsequenzen im Rahmen dieses Beitrags noch nicht im vollen Umfang dargestellt werden. Perspektivisch möglich ist z.B. die Einführung von allgemeinen Bauartgenehmigungen anstelle von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für WDVS als „Bauart aus zusammengefügten Bauprodukten“.

In Ergänzung zur bauaufsichtlichen Regelung sind zudem die folgenden Normen, die nicht Teil der eingeführten technischen Baubestimmungen sind, zu nennen:

- Mit DIN 18345 als Teil der VOB – Teil C werden vertragliche Grundlagen zur Ausführung sowie zur Leistungsbeschreibung geregelt.



Bild 23 Mehrfamilienhaus aus KS-Mauerwerk mit WDVS aus dem Jahr 1968

- DIN EN ISO 9229 beinhaltet weder Anforderungen noch Bemessungsgrundlagen, sondern dient vielmehr der Begriffsbestimmung und ist für baupraktische Belange ohne größere Bedeutung.
- DIN 55699 beinhaltet Verarbeitungsvorgaben als Grundlage der europäischen und nationalen Bewertungs- und Zulassungsbestimmungen.
- Mit DIN EN 13499 und DIN EN 13500 werden ebenfalls nur allgemeine Anforderungen mit Bezug zu den Bewertungs- und Zulassungsregelungen formuliert.

Da die Eigenschaften von WDVS wesentlich durch die Abstimmung der Komponenten – wie z.B. in der Kombination von Dämmung und Unterputz oder Unterputz und Gewebeeinlage – definiert werden, dürfen nur systemkonforme Komponenten verwendet werden. Der Austausch einzelner Komponenten außerhalb der eindeutig formulierten Zulassungsbestimmungen ist unzulässig, die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen sind in diesem Sinne als „geschlossene System-Zulassungen“ zu verstehen. Im Hinblick auf die Detailgestaltung wird durch die Systemanbieter In Ergänzung zu Zulassungsbestimmungen eine Vielzahl bewährter Konstruktionsdetails in Form von Verarbeitungsrichtlinien, technischen Merkblättern etc. herausgegeben.

4.4 Komponenten

4.4.1 Tragender Untergrund

Der Untergrund für Wärmedämm-Verbundsysteme muss tragfähig (standsicher), trocken, staub- und fettfrei sowie ausreichend eben sein.

Wände aus KS-Mauerwerk gelten ohne weiteren Nachweis auch für ausschließlich verklebte WDVS als ausreichend tragfähig. Beim Bauen im Bestand ist bei der Verwendung von ausschließlich verklebten Systemen durch stichprobenartige Haftzugversuche nachzuweisen, dass die Wandoberfläche eine Abreißfestigkeit von mindestens 0,08 N/mm^2 (= 80 kN/m^2 = 80 kPa) aufweist.

An die erforderliche Ebenheit *e* des Untergrundes sind – als Stichmaß bezogen auf eine Messlänge von 1 m – folgende Anforderungen zu stellen:

- Verklebte Systeme: $e \leq 10$ mm
- Verdübelte und verklebte Systeme: $e \leq 20$ mm
- Systeme mit Schienenbefestigung: $e \leq 30$ mm

Bei fachgerecht ausgeführtem KS-Mauerwerk werden stets die höchsten Anforderungen an die Ebenheit – nämlich die für die Verwendung von ausschließlich verklebten WDVS – problemlos eingehalten.

4.4.2 Verankerung

Ausschließlich verklebte WDVS mit EPS-Dämmplatten werden teil- oder vollflächig verklebt. Bei der teilflächigen Verklebung erfolgt der Kleberauftrag entweder mit einem Flächenanteil von ca. 40 % nach der Wulst-Punkt-Methode (Bild 24) auf der Dämmplattenrückseite oder mit einem Flächenanteil von ca. 60 % durch ein maschinelles, mäanderförmiges Aufspritzen des Klebemörtels (Bild 25) auf den tragenden Untergrund. Bei ebenen

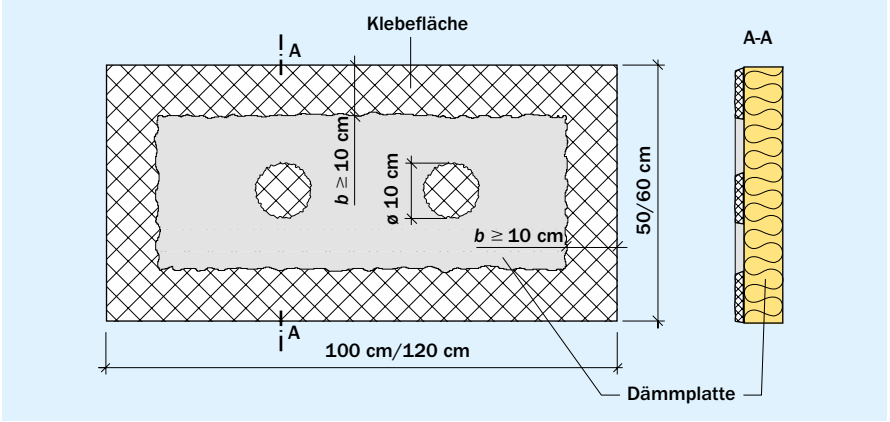


Bild 24 Teilflächige Verklebung nach der Wulst-Punkt-Methode

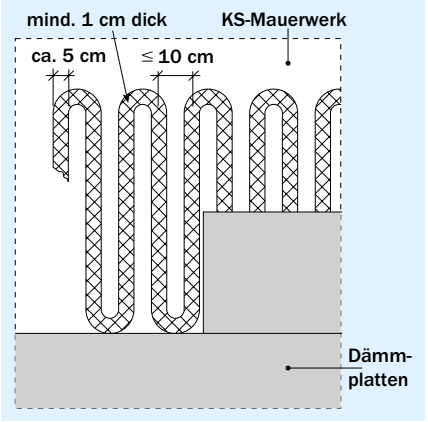


Bild 25 Teilflächiger maschineller Kleberauftrag

Untergründen ist häufig auch eine vollflächige Verklebung im Kammbett zulässig, jedoch zeigen Erfahrungen, dass die Wulst-Punkt-Methode oder der mäanderförmige Auftrag hinsichtlich der erforderlichen Klebefläche eine höhere Ausführungssicherheit aufweisen.

Ausschließlich verklebte WDVS mit Mineralwolle-Lamellen werden in der Regel vollflächig verklebt. Dabei ist der Klebemörtel ausreichend in die Dämmplattenrückseite „einzumassieren", um einen hinreichenden Verbund zum hydrophobierten Dämmstoff zu erzielen. Zunehmend werden vorbeschichtete Lamellen angeboten, die auch für eine teilflächige Verklebung – z.B. mit maschinellem, mäanderförmigem Klebemörtelauftrag auf den tragenden Untergrund mit einem Flächenanteil von mindestens 50 % – zugelassen werden. Bei höherer Windsogbeanspruchung wird nach den jeweiligen Zulassungsbestimmungen eine zusätzliche Verdübelung erforderlich (z.B. im Gebäuderandbereich mit Windsoglasten von in den Zulassungen „alter" Normung definierten -1,6 kN/m^2 bis -2,2 kN/m^2).

Bei verdübelten und verklebten WDVS richtet sich die Anzahl der erforderlichen Dübel u.a. nach der Güte des tragenden Untergrundes. Hier erweist sich KS-Mauerwerk als besonders tragfähiger Untergrund. Im Hinblick auf die Windsogbeanspruchung ist darüber hinaus der Dübelkopfdurchzug durch den Dämmstoff bemessungsrelevant. Maßgebend sind neben der Art und der Dicke des Dämmstoffes der Durchmesser und insbesondere die Lage des Dübeltellers. Umschließt der Dübelteller das Bewehrungsgewebe des Putzes, wird ein höherer Durchzugwiderstand erzielt als bei Anordnung des Dübeltellers unterhalb des Gewebes direkt auf der Dämmstoffoberfläche. Hieraus ergibt sich für den Nachweis der Standsicherheit die WDVS-Versagenslast nach europäischer technischer Bewertung sowie der abgeleitete Bemessungswert des WDVS-Widerstandes oder die WDVS-Lastklasse nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung.

Nur bei tragenden Untergründen mit größeren Unebenheiten werden *WDVS mit Schienenbefestigung* verwendet, für Polystyrol-Dämmplatten mit Schienen aus PVC und für Mineralwolle-Dämmplatten mit Schienen aus Aluminium. Die Dämmplatten werden zusätzlich punktuell verklebt.

Im Vergleich zu rein verklebten Systemen ist die Verarbeitung von zusätzlich verdübelten Systemen arbeits- und damit lohnkostenintensiver. Aufgrund der hohen Tragfähigkeit und Ebenheit von KS-Mauerwerk wird weder eine zusätzliche Verdübelung noch die Ausführung von Schienensystemen erforderlich. Es können somit rein verklebte WDVS mit EPS-Dämmplatten oder Mineralwolle-Lamellen empfohlen werden.

4.4.3 Wärmedämmung

Für Wärmedämm-Verbundsysteme werden weit überwiegend

- EPS-Dämmplatten,
- Mineralwolle-Dämmplatten oder
- Mineralwolle-Lamellen

nach den harmonisierten Dämmstoffnormen (DIN EN 13163 [27] für expandiertes Polystyrol und DIN EN 13162 [28] für Mineralwolle) oder mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung verwendet. Durch die Zulassung kann u.a. eine höhere Querzugfestigkeit oder eine geringere Wärmeleitfähigkeit als nach Norm nachgewiesen werden.

- EPS-Dämmplatten
  Bei verklebten sowie verdübelten und verklebten WDVS werden derzeit Dämmplatten aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum (EPS) bis zu einer maximalen Dicke von 400 mm verwendet. Die Querzugfestigkeit muss mindestens 80 kPa betragen oder bei nach MVV TB eingeschränkter Anwendung alternativ der Stufe TR 100 nach DIN EN 13163 entsprechen. Bei Systemen mit Schienenbefestigung werden Dämmplatten bis zu einer maximalen Dicke von 200 mm verwendet, die eine Querzugfestigkeit von mindestens 150 kPa aufweisen müssen (alternativ: Stufe TR 150 mit eingeschränkter Anwendung).

  Eine Variante sind Dämmplatten aus expandiertem und zusätzlich elastifiziertem Polystyrol-Partikelschaum, die bei WDVS gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung ggf. alternativ eingesetzt werden dürfen. Elastifizierte EPS-Dämmplatten weisen eine geringere Steifigkeit auf, so dass sich eine Verbesserung der schallschutztechnischen Eigenschaften ergeben kann. Im Vergleich zu nicht elastifizierten EPS-Dämmplatten ist jedoch gleichzeitig auch die Querzugfestigkeit reduziert.

  Eine Weiterentwicklung hinsichtlich des Wärmeschutzes sind die seit geraumer Zeit erhältlichen (grauen) Dämmplatten, die durch den Zusatz von Grafit- oder Aluminiumpartikeln eine geringere Wärmestrahlungsübertragung im Zwickelbereich der Polystyrolkügelchen aufweisen. Dadurch wird der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit auf bis zu 0,032 W/(m·K) verringert. Ohne diesen Zusatz erreichen (weiße) Dämmplatten einen Bemessungswert von 0,035 W/(m·K).

- Mineralwolle-Dämmplatten
  Bei verdübelten und verklebten WDVS ist derzeit die Verwendung von Dämmplatten aus Mineralwolle mit liegender Faser bis zu einer maximalen Dicke von 340 mm zugelassen. Die Querzugfestigkeit muss mindestens 14 kPa ($d \leq 340$ mm) bzw. 5 kPa ($d \leq 200$ mm) betragen oder bei nach MVV TB eingeschränkter Anwendung alternativ der Stufe TR 20 bzw. TR 5 nach DIN EN 13162 entsprechen. Bei Systemen mit Schienenbefestigung werden Dämmplatten bis zu einer maximalen Dicke von 200 mm verwendet, die Querzugfestigkeit muss hier mindestens 14 kPa betragen (alternativ: Stufe TR 20 mit eingeschränkter Anwendung). Angeboten werden Dämmplatten mit einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit bis zu 0,035 W/(m·K).

- Mineralwolle-Lamellen
  Bei verklebten WDVS werden derzeit Mineralwolle-Lamellen mit stehender Faser bis zu einer maximalen Dicke von 400 mm verwendet. Die Querzugfestigkeit muss mindestens 80 kPa betragen oder bei nach MVV TB eingeschränkter Anwendung alternativ der Stufe TR 100 nach DIN EN 13162 entsprechen. Bei verdübelten und verklebten WDVS werden Lamellen bis zu einer maximalen Dicke von 200 mm verwendet, die eine Querzugfestigkeit von mindestens 80 kPa aufweisen müssen (alternativ: Stufe TR 80 bei eingeschränkter Anwendung). Aktuell erreichen die Lamellen einen Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von 0,040 W/(m·K).

Die geforderten Werte der Querzugfestigkeit der Dämmstoffe sind nach den deutschen Zulassungsbestimmungen für WDVS als Mindestanforderung an jeden Einzelwert einer Prüfserie definiert und ergänzen die Regelungen der harmonisierten europäischen Dämmstoffnormen, da in diesen mit der TR-Klassifizierung die Angabe nur von Mittelwerten festgelegt ist. Gemäß dem oben genannten EuGH-Urteil ist eine derartige nationale „Nachregelung“ der Normung (hier als Forderung an den Kleinstwert anstelle des Mittelwerts) als unzulässig zu werten. Um das bisherige Sicherheitsniveau von WDVS beizubehalten, muss eine Anpassung der für den Verwendbarkeitsnachweis erforderlichen Teilsicherheitsbeiwerte erfolgen. Bei Ansatz nur der Mittelwerte (d.h. ohne Kenntnis der statistischen Größen zur Streuung der Bauproduktеigenschaften) wird eine Erhöhung der Teilsicherheitsbeiwerte gegenüber dem bislang angewandten Verfahren der Kleinstwertbetrachtung unumgänglich. Diese Anpassung korrespondiert mit der aktuell durch die Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen vorgegebenen signifikanten Einschränkung der Anwendung von WDVS mit ETA und Dämmstoffen nach TR-Klassifizierung, z.B. hinsichtlich der Reduzierung der „zulässigen“ Windlasten für verklebte WDVS.

Weitere allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen liegen aktuell z.B. für WDVS mit Dämmplatten aus Mineralschaum, Phenolharz oder Polyurethan vor:

- Mineralische Dämmplatten mit einer maximalen Dicke von 300 mm bestehen aus einer hochaufgeschäumten Calciumsilikatmischung und sind durchgehend hydrophobiert. Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit beträgt bis zu 0,042 W/(m·K). Die Befestigung erfolgt durch Verdübelung und Verklebung.
- Mit Phenolharz-Dämmplatten in einer maximalen Dicke von 200 mm kann der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit auf bis zu 0,021 W/(m·K) reduziert werden. Die Befestigung erfolgt ebenfalls durch Verdübelung und Verklebung.
- Polyurethan-Dämmplatten mit einer maximalen Dicke von 300 mm erreichen einen Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von 0,024 W/(m·K). Die Befestigung erfolgt durch Verklebung oder durch Verdübelung und Verklebung.

Anders als bei den seit langer Zeit gebräuchlichen Dämmstoffen liegen für WDVS mit diesen Dämmplatten und auch für WDVS mit Mineralwolle-Dämmplatten bzw. Mineralwolle-Lamellen mit einer Dicke von mehr als 200 mm derzeit nur wenige praktische Langzeiterfahrungen vor.

Deshalb wird durch das DIBt für eine notwendige Zulassungsverlängerung ggf. eine Zusammenstellung der jeweils ausgeführten Objekte vom Systemanbieter angefordert. Eine entsprechende Regelung ist zum Teil explizit in den Zulassungsbestimmungen für diese WDVS enthalten. Darüber hinaus ist zu beachten, dass gerade bei vergleichsweise neuen Dämmstoffen zum Teil besondere Anforderungen an die abgestimmte Materialwahl der systemzugehörigen Kleber und Putzsysteme gestellt werden (z.B. bei Mineralschaum-Dämmplatten aufgrund ihrer hohen Steifigkeit oder bei Phenolharz- und Polyurethan-Dämmplatten zur Vermeidung irreversibler feuchtebedingter Verformungen).

Unabhängig vom verwendeten Dämmstoff sind die Dämmplatten dicht gestoßen im Verband zu verlegen (Bild 26). Dies gilt auch für Bauwerkskanten, an denen eine verzahnte Verlegung auszuführen ist. Stoßfugen im Bereich der Ecken von Wandöffnungen sind unzulässig (Bild 27). In Ausnahmefällen nicht dicht gestoßene Fugen sind nachträglich vollständig und materialgleich zu verfüllen.

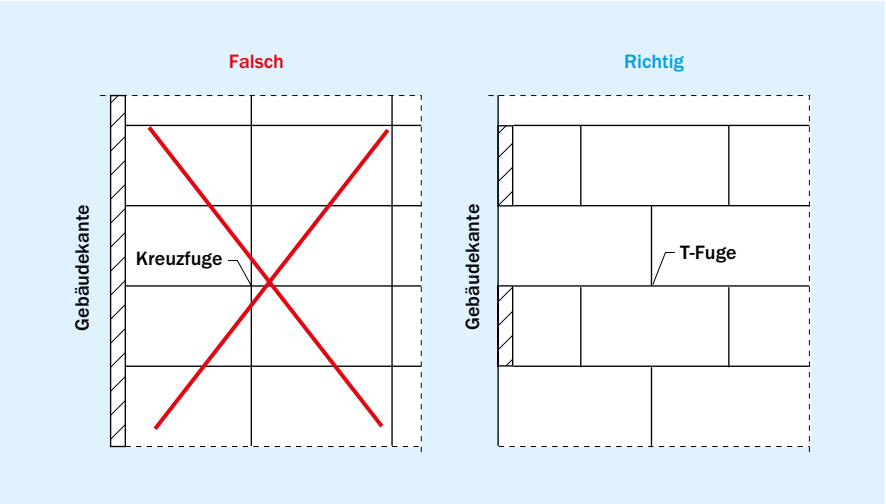


Bild 26 Verlegung von WDVS-Dämmplatten im Verband bzw. mit Verzahnung

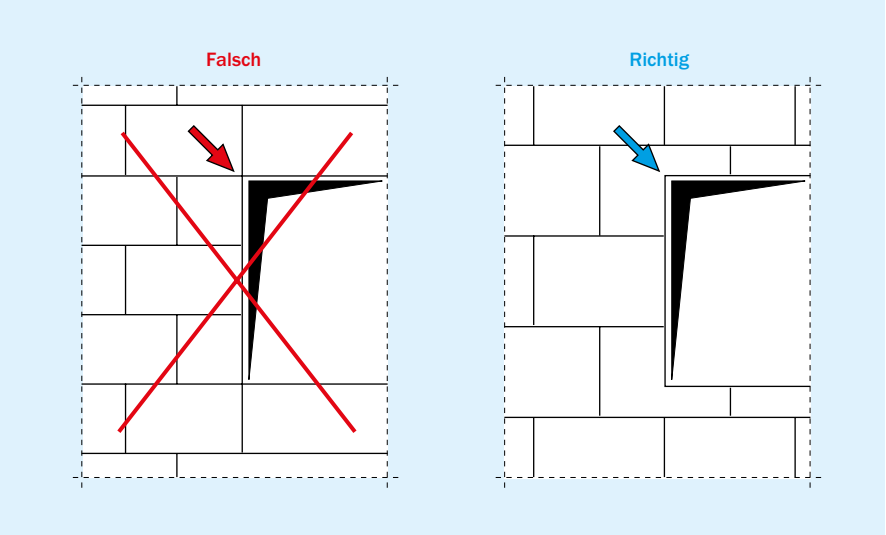


Bild 27 Stoßfugenfreie Verlegung von WDVS-Dämmplatten im Bereich von Wandöffnungsecken

4.4.4 Putzsysteme

In überwiegender Anzahl werden Wärmedämm-Verbundsysteme ausgeführt, bei denen der Witterungsschutz durch einen Außenputz erfolgt. Die diesbezüglichen Putzsysteme bestehen aus einem Unterputz mit Gewebeeinlage und einem Oberputz, ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal ist die Art des Bindemittels:

- Mineralisch gebundene Putze auf Basis von Kalk-Zement oder Zement
- Organisch gebundene Putze als u.a.
  - Kunstharzputz,
  - Dispersionsputz (aus Polymerdispersion),
  - Silikonputz (aus Silikonharzemulsion und Polymerdispersion)
  - Silikatputz (aus Kali-Wasserglas und Polymerdispersion)

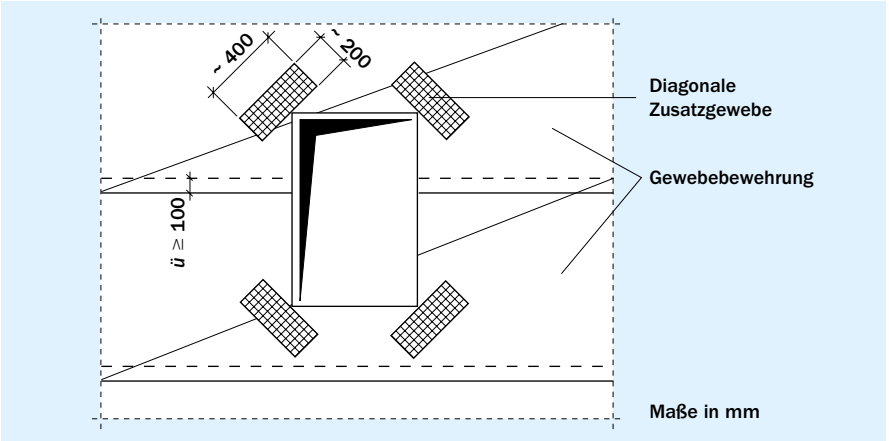


Bild 28 Erforderliche Überlappung der Glasgewebebewehrung sowie diagonale Zusatzbewehrung im Eckbereich von Wandöffnungen

Weitere Unterschiede bestehen hinsichtlich der Dicke der Putzsysteme (Dünn- oder Dickputze mit Einfluss insbesondere auch auf den Schallschutz) und der Art der Ausführung und der resultierenden Oberflächenstruktur (z.B. als Glatt-, Rau- oder Kratzputz).

Kennzeichnend für die Putzsysteme sind u.a. die produktspezifischen Eigenschaften hinsichtlich des notwendigen Feuchte- und Witterungsschutzes. Hier ergeben sich häufig gegenläufige Tendenzen. Ein in dampfdiffusionstechnischer Hinsicht günstiges Putzsystem mit geringer dampfdiffusionsäquivalenter Luftschichtdicke s_d weist in der Regel eine höhere Wasseraufnahme w auf und umgekehrt. Auch aus diesem Grund wird der Außenputz als Systembestandteil im Zusammenhang mit dem Dämmstoff in den Zulassungsbestimmungen exakt festgelegt.

Die Gewebeeinlage aus Textilglass-Gittergewebe hat – vergleichbar mit der Bewehrung im Stahlbeton – in erster Linie die Funktion, vorhandene Zugkräfte aufzunehmen und unvermeidliche Rissbildungen auf ein hinsichtlich der Rissbreite und der Rissverteilung systemverträgliches Maß zu begrenzen. Beim Aufbringen des Unterputzes ist zu beachten, dass die Gewebeeinlage glatt und faltenfrei sowie ohne Hohllagen zu verlegen ist und nicht geknickt werden darf. Das Textilglas-Gittergewebe soll etwa im äußeren Drittelspunkt der Unterputzdicke angeordnet werden. Die Gewebebahnen sind mit einer Überlappungsbreite von mehr als 100 mm auszuführen. Im Bereich von Fenster- bzw. Türöffnungen sind die Öffnungsecken mit diagonal ausgerichteten, ausreichend großen Gewebestreifen (ca. 400 mm · 200 mm) zusätzlich zu bewehren (Bild 28).

Eine Unterteilung der Putz-/WDVS-Fläche durch Dehnungsfugen zur Vermeidung unzulässiger Zwangbeanspruchungen ist in der Regel nicht erforderlich, bei Verwendung von Fliesen oder Platten z.B. aus Keramik oder Naturstein als Bekleidung kann jedoch eine Aufteilung in Einzelfelder notwendig werden. Im Einzelnen sind hier die systemspezifischen Vorgaben der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen zu beachten.

4.5 Systemeigenschaften

4.5.1 Standsicherheit

Der Nachweis der Standsicherheit von Wärmedämm-Verbundsystemen wird für den in den Zulassungsbestimmungen definierten Anwendungsbereich im Rahmen des Zulassungsverfahrens systembezogen erbracht. Unter anderem ergeben sich hieraus die Anforderungen an

- den Untergrund (Beschaffenheit, Abreißfestigkeit, Ebenheit, etc.),
- die Verankerung (Befestigungsart, Klebeflächenanteil, Anzahl der Dübel, etc.),
- die WDVS-Komponenten (Querzugfestigkeit, Abreißfestigkeit, etc.).

Wie bereits erwähnt, kann aufgrund der Qualität des KS-Mauerwerks die Verwendung von rein verklebten WDVS mit EPS-Dämmplatten oder Mineralwolle-Lamellen empfohlen werden.

4.5.2 Brandschutz

Die Anforderungen der Landesbauordnungen an die Baustoffklasse der Wärmedämm-Verbundsysteme richten sich nach der Gebäudeklasse und sind der Tafel 8 zu entnehmen.

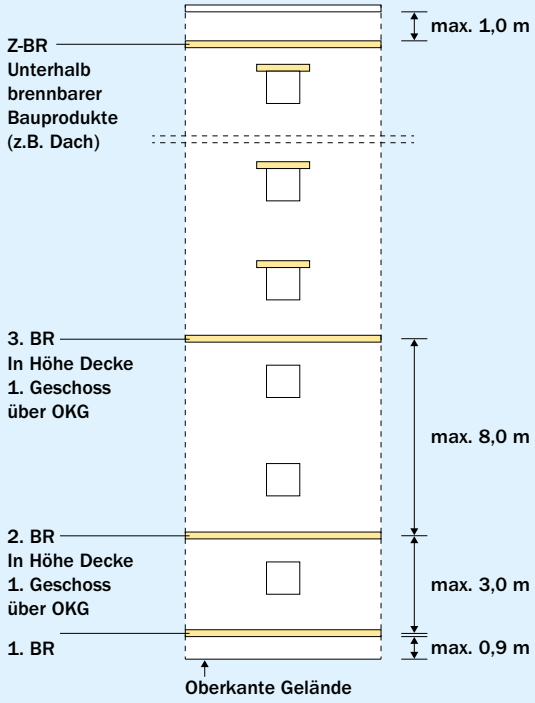
Tafel 8 Brandschutzanforderungen an Wärmedämm-Verbundsysteme

Bauprodukt (Bauart)	Baustoffanforderung		
	Gebäudeklassen		Hochhäuser
	1 bis 3	4 und 5	
WDVS	normalentflammbar	schwerentflammbar	nichtbrennbar

Die überwiegend verwendeten WDVS mit Putz und einer Wärmedämmung aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum oder aus Mineralwolle können exemplarisch anhand der aktuellen Zulassungsbestimmungen brandschutztechnisch wie folgt klassifiziert werden:

- Normalentflammbare WDVS mit mindestens normalentflammbaren EPS-Dämmplatten
- Schwerentflammbare WDVS mit schwerentflammbaren EPS-Dämmplatten und zusätzlichen konstruktiven Brandschutzmaßnahmen (Bilder 29 bis 31):
  - *Brandbeanspruchung von außen:* Als Schutz sind bei Dämmstoffdicken bis zu 300 mm drei umlaufende Brandriegel im Bereich bis zur Decke über dem 2. Obergeschoss und ggf. zusätzlich unterhalb z.B. eines – in wesentlichen Bestandteilen – brennbaren Daches anzuordnen. Diese Brandriegel müssen aus Mineralwolle-Lamellen (nicht brennbar und nicht glimmend mit einer Rohdichte zwischen 60 kg/m^3 und 100 kg/m^3 und einer Querzugfestigkeit von mindestens 80 kPa) oder Mineralwolle-Dämmplatten (nicht brennbar und nicht glimmend mit einer Rohdichte von mindestens 90 kg/m^3 und einer Querzugfestigkeit von mindestens 5 kPa) jeweils aus Steinfasern (Schmelzpunkt mindestens 1.000 °C) bestehen. Bei Dämmstoffdicken von mehr als 300 mm ist (zusätzlich) die Ausführung einer nichtbrennbaren Außenwandbekleidung (z.B. eines nichtbrennbaren WDVS) im Erdgeschoss und im 1. Obergeschoss erforderlich.
  - *Brandbeanspruchung aus den Fensteröffnungen:* Als Schutz sind bei Dämmstoffdicken zwischen 100 und 300 mm ab dem 3. Obergeschoss die Stürze oberhalb aller Fenster aus nichtbrennbaren Mineralwolle-Lamellen oder Mineralwolle-Dämmplatten auszuführen. Vorgesetzt – in der Dämmstoffebene – montierte Fenster sind zusätzlich seitlich in den Laibungen nichtbrennbar einzufassen. Alternativ können umlaufende Brandriegel in mindestens jedem zweiten Geschoss angeordnet werden. Bei Dämmstoffdicken von mehr als 300 mm ist aktuell in einzelnen Zulassungen die nichtbrennbare Ausbildung der Stürze und Laibungen geregelt.
  - Zusätzliche konstruktive Anforderungen beziehen sich auf die EPS-Dämmplatten (z.B. zur Begrenzung der Rohdichte und zur Verwendung von Klebemörteln und Klebeschäumen) und auf die Art und Ausführung der Putzsysteme (z.B. zur Gewebeeinlage und zur Putzdicke).
- Normal-/schwerentflammbare WDVS mit normal-/schwerentflammbaren Mineralwolle-Dämmplatten/Mineralwolle-Lamellen
- Nichtbrennbare WDVS mit nichtbrennbaren Mineralwolle-Dämmplatten/Mineralwolle-Lamellen und zusätzlichen konstruktiven Brandschutzmaßnahmen (Begrenzung der Rohdichte und des PCS-Brenn-Werts der Mineralwolle sowie Einschränkungen in der Kombination der Putzsysteme).

Eine zusammenfassende Darstellung der konstruktiven Brandschutzmaßnahmen ist in [29] enthalten. Detaillierte Vorgaben für WDVS mit abZ sind den jeweiligen Zulassungsbestimmungen zu entnehmen, mit Einschränkungen übereinstimmende Regelungen für WDVS mit ETA enthält Anhang 11 der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen. Im Rahmen der Zulassungsbestimmungen können derzeit auch alternative Brandschutzmaßnahmen geregelt werden. Beispiel ist bei



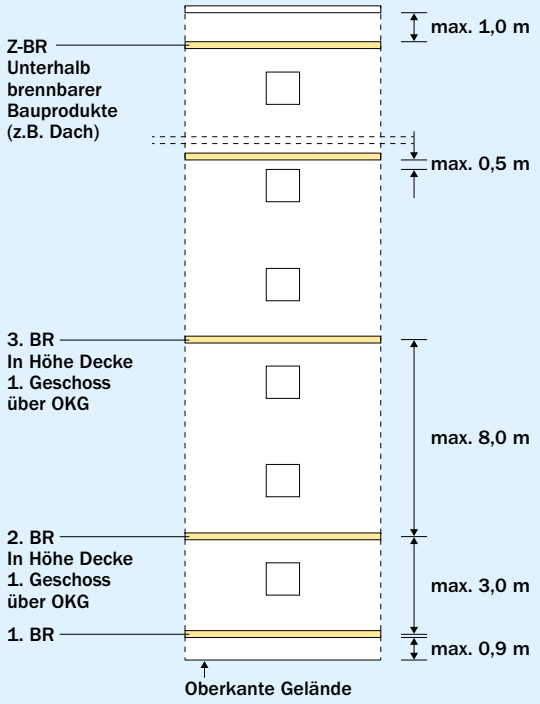
Brandriegel (Höhe mindestens 200 mm) gegen Brandbeanspruchung von außen

- **aus nichtbrennbaren Mineralwolle-Lamellen (oder alternativ: Mineralwolle-Dämmplatten) aus Steinfasern**
- **1. – 3. Brandriegel mit mineralischem Klebemörtel vollflächig angeklebt und zusätzlich mit zugelassenen WDVS-Dübeln verdübelt**
- **Zusatz-Brandriegel unterhalb brennbarer Bauprodukte, nur angeklebt, wenn keine Verdübelung infolge Windsoglasten zusätzlich erforderlich wird**

Sturzschutz (Höhe mindestens 200 mm) gegen Brandbeanspruchung aus Außenwandöffnungen

- **Sturzschutz oberhalb jeder Öffnung im Bereich über dem 3. Brandriegel bei Dämmstoffdicken zwischen 100 und 300 mm**
- **Nichtbrennbare Mineralwolle-Lamellen (oder Mineralwolle-Dämmplatten) aus Steinfasern seitlich jeweils mindestens 300 mm überstehend**
- **Mit mineralischem Klebemörtel vollflächig angeklebt und ggf. zusätzlich mit zugelassenen WDVS-Dübeln verdübelt**
- **Gewebeeinlage des Putzsystems im Kantenbereich mit Gewebeeckwinkeln verstärkt**
- **In der Dämmstoffebene montierte Fenster sind dreiseitig nichtbrennbar (oberhalb/links/rechts) einzufassen**

Bild 29 **Schwerentflammbare WDVS mit EPS ($d \leq 300$ mm) – Ausbildung mit umlaufenden Brandriegeln sowie Schutz der Fensteröffnungen**



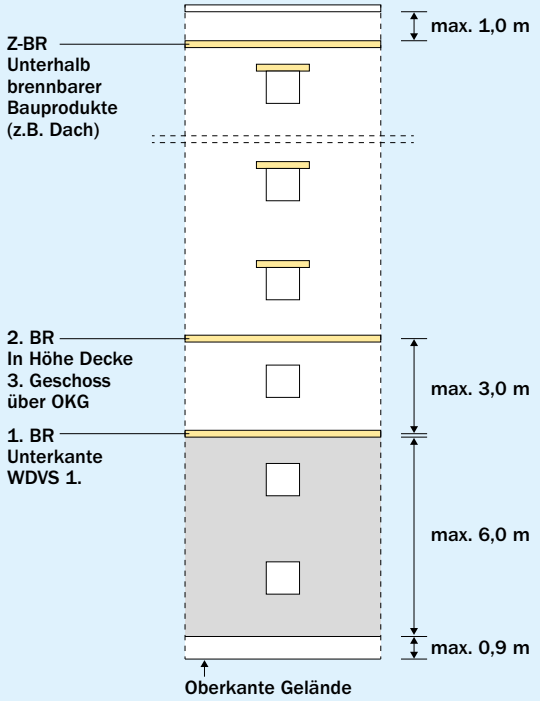
Brandriegel (Höhe mindestens 200 mm) gegen Brandbeanspruchung von außen

- aus nichtbrennbaren Mineralwolle-Lamellen (oder alternativ: Mineralwolle-Dämmplatten) aus Steinfasern
- 1. – 3. Brandriegel mit mineralischem Klebemörtel vollflächig angeklebt und zusätzlich mit zugelassenen WDVS-Dübeln verdübelt
- Zusatz-Brandriegel unterhalb brennbarer Bauprodukte, nur angeklebt, wenn keine Verdübelung infolge Windsoglasten erforderlich wird

Brandriegel (Höhe mindestens 200 mm) gegen Brandbeanspruchung aus Außenwandöffnungen

- Zusätzliche Brandriegel mindestens in jedem 2. Geschoss im Bereich über dem 3. Brandriegel bei Dämmstoffdicken zwischen 100 und 300 mm
- Nichtbrennbare Mineralwolle-Lamellen (oder Mineralwolle-Dämmplatten) aus Steinfasern
- Mit mineralischem Klebemörtel vollflächig angeklebt und ggf. zusätzlich mit zugelassenen WDVS-Dübeln verdübelt
- Gewebeeinlage des Putzsystems im Kantenbereich mit Gewebeckwinkeln verstärkt

Bild 30 Schwerentflammbare WDVS mit EPS ($d \leq 300$ mm) – Ausbildung alternativ nur mit umlaufenden Brandriegeln



Nichtbrennbare Außenwandbekleidung im 1. und 2. Geschoss gegen Brandbeanspruchung von außen

- Ausführung einer nichtbrennbaren Außenwandbekleidung (z.B. eines nichtbrennbaren WDVS) oberhalb des Sockelbereichs bis zur Höhe der Decke über dem 2. Geschoss mindestens auf 6 m

Brandriegel (Höhe mindestens 200 mm) gegen Brandbeanspruchung von außen

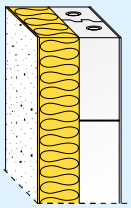
- Ausbildung der Brandriegel mit nichtbrennbaren Mineralwolle-Lamellen (oder Mineralwolle-Dämmplatten) aus Steinfasern wie bei schwerentflammbaren WDVS mit EPS-Dämmplatten und einer Dämmstoffdicke bis 300 mm
- Auf den 1. Brandriegel kann bei Ausführung eines nichtbrennbaren WDVS im 1. und 2. Geschoss mit gleicher Dämmstoffdicke und ohne Versprung durchgehendem Putzsystem verzichtet werden

Sturzschutz (Höhe mindestens 200 mm) gegen Brandbeanspruchung aus Außenwandöffnungen

- Sturzschutz oberhalb jeder Öffnung im Bereich über dem 2. Brandriegel
- Nichtbrennbare Mineralwolle-Lamellen aus Steinfasern seitlich jeweils mindestens 300 mm überstehend
- Mit mineralischem Klebemörtel vollflächig angeklebt
- Gewebeeinlage des Putzsystems im Kantenbereich mit Gewebeeckwinkeln verstärkt
- Fenster bündig mit oder hinter der Rohbaukante montiert (Die Montage der Fenster in der Dämmstoffebene ist mit zusätzlichen konstruktiven Randbedingungen ggf. zulässig.)

Bild 31 Schwerentflammbare WDVS mit EPS ($d > 300$ mm) – Ausbildung mit nichtbrennbarer Außenwandbekleidung unten und umlaufenden Brandriegeln sowie Schutz der Fensteröffnungen

Tafel 9 U-Werte von einschaligen KS-Außenwänden mit Wärmedämm-Verbundsystem

	Dicke des Systems [cm]	Dicke der Dämmschicht [cm]	U [W/(m²·K)] λ [W/(m·K)] 0,022	0,024	0,032	0,035	Wandaufbau
	29,5	10	0,20	0,22	0,29	0,31	**Einschalige KS-Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Wärmedämmstoff Typ WAP 0,01 m Außenputz λ = 0,70 W/(m·K) R_{se} = 0,04 (m²·K)/W
	33,5	14	0,15	0,16	0,21	0,23	
	35,5	16	0,13	0,14	0,19	0,20	
	39,5	20	0,11	0,11	0,15	0,16	
	43,5	24	0,09	0,10	0,13	0,14	
	49,5	30	0,07	0,08	0,10	0,11	

Zur Berechnung der U-Werte sind ausschließlich Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ_B anzusetzen.
[1] Bei anderen Dicken oder Steinrohdichteklassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.

WDVS mit EPS-Dämmplatten der Schutz vor Brandbeanspruchung aus den Fensteröffnungen durch die Ausführung des Putzsystems mit einer zusätzlich vorgelegten Gewebeschlaufe im Sturzbereich bei Verwendung von entsprechend zugelassenen Dämmplatten. Ebenfalls geregelt ist hier ggf. die Ausführung von vertikalen Brandriegeln zur Überbrückung von Brandwänden, die in durchlaufende Außenwände einbinden.

Für eine umfassende Darstellung der brandschutztechnischen Anforderungen an WDVS zur Vermeidung eines Brandüberschlags im Bereich von Gebäudeabschluss- und Gebäudetrennwänden wird auf die Ausführungen im Kapitel Brandschutz dieses Planungshandbuches verwiesen.

Die brandschutztechnisch vergleichbare Klassifizierung von WDVS mit anderen Dämmstoffen ergibt sich jeweils aus den konkreten Zulassungsbestimmungen, so können z.B. Mineralschaum-Dämmplatten ebenfalls für nichtbrennbare WDVS eingesetzt werden.

Die Feuerwiderstandsdauer des tragenden Untergrundes wird durch die baukonstruktiven Gegebenheiten des KS-Mauerwerks definiert, bei Verwendung von nichtbrennbaren Dämmstoffen kann das WDVS als Ersatz für eine ggf. brandschutztechnisch erforderliche Putzschicht angesetzt werden.

4.5.3 Wärmeschutz

Die Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz sind mit Wärmedämm-Verbundsystemen problemlos erfüllbar, da eine Vielzahl von Dämmstoffen mit geringer Wärmeleitfähigkeit und mit Dicken bis zu 400 mm angeboten wird.

Der Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwandkonstruktion ist für WDVS mit Verdübelung und hoher Dübelzahl oder bei Verwendung von thermisch ungünstigen Dübeltypen unter Berücksichtigung eines ggf. punktuell erhöhten Wärmeverlustes zu ermitteln. Thermisch günstige Dübel zeichnen sich durch einen geringen Wärmeverlustkoeffizienten χ (chi) aus, der den Dübel-Zulassungen entnommen werden kann. Der Nachweis muss nach dem in den Zulassungsbestimmungen angegebenen Algorithmus erbracht werden. In Tafel 10 wird – in Abhängigkeit vom Wärmeverlustkoeffizienten der Dübel und von der Dämmstoffdicke – die Dübelanzahl angegeben, ab der ein Nachweis des Wärmebrückeneinflusses erforderlich wird. Bei ausschließlich verklebten WDVS, deren Ausführung gerade bei Außenwänden aus KS-Mauerwerk prinzipiell zu empfehlen ist, erfolgt systembedingt keine Abminderung des Wärmeschutzes.

Bei üblicher Fassadengestaltung ist nach Energieeinsparverordnung EnEV der Nachweis eines ausreichenden sommerlichen Wärmeschutzes erforderlich und mit dem in DIN 4108-2 beschriebenen Verfahren zu führen. Nur bei einem vergleichsweise geringen Fensterflächenanteil kann in Abhängigkeit von der Orientierung der Fenster auf diesen Nachweis verzichtet werden. Ziel der Anforderungen ist es, durch geeignete bauliche Maßnahmen – z.B. durch eine schwere Bauart mit hoher speicherfähiger Masse – unzumutbare Temperaturen zu vermeiden und damit auf eine aktive Kühlung verzichten zu können. Aufgrund der hohen Wärmespeicherfähigkeit von Außenwänden aus KS-Mauerwerk ergeben sich bei Verwendung von WDVS – und ebenso bei hinterlüfteten Außenwandbekleidungen und

Tafel 10 Dübelanzahl n je m², ab der eine rechnerische Berücksichtigung des punktuellen Wärmebrückeneinflusses erforderlich ist (Regelung in WDVS-Zulassung)

χ_P [W/K]	60 ≤ *d* ≤ 100 [mm]	100 < *d* ≤ 150 [mm]	*d* > 150 [mm]
0,008	$n \geq 4$	$n \geq 4$	$n \geq 4$
0,006	$n \geq 5$	$n \geq 4$	$n \geq 4$
0,004	$n \geq 7$	$n \geq 5$	$n \geq 4$
0,003	$n \geq 9$	$n \geq 7$	$n \geq 5$
0,002	$n \geq 13$	$n \geq 9$	$n \geq 7$
0,001	$n \geq 17$[1])	$n \geq 17$[1])	$n \geq 13$

[1] Maximale Dübelanzahl ohne gegenseitige Beeinflussung

zweischaligem KS-Mauerwerk – günstige Voraussetzungen für diesen Nachweis, so dass auch aufwändige Sonnenschutzvorrichtungen häufig entbehrlich werden.

4.5.4 Feuchte- und Witterungsschutz

Die Anforderungen an den klimabedingten Feuchteschutz werden hinsichtlich der Vermeidung von Tauwasser- und Schimmelpilzbildung durch die Verwendung von Wärmedämm-Verbundsystemen auf Außenwänden aus KS-Mauerwerk problemlos erfüllt. Bei Systemen mit Mineralwolle-Dämmplatten kommen in der Regel – auch aus brandschutztechnischen Gründen – mineralisch gebundene und damit dampfdiffusionsoffene Putzsysteme zur Anwendung. Bei Systemen mit EPS-Dämmplatten können dampfdiffusionsdichtere organisch gebundene Putzsysteme eingesetzt werden, da Polystyrol gegenüber Mineralwolle einen ca. 20- bis 50-fach größeren Dampfdiffusionswiderstand aufweist.

Um einem gerade im Zusammenhang mit hochdämmenden WDVS häufig formulierten Missverständnis vorzubeugen: Außenwände „atmen“ nicht. Bei üblichen Gebäude- und Bauteilabmessungen ist die durch Lüftung abgeführte Feuchtigkeitsmenge gegenüber der auf dem Wege der Dampfdiffusion durch die Außenwand transportierten Wassermenge (ob mit oder ohne WDVS) etwa 100-fach größer. Voraussetzung ist bei energetisch angestrebter dichter Gebäudehülle selbstverständlich die Einhaltung eines angemessenen Mindestluftwechsels über die Fenster mittels Stoßlüftung, so dass dank des hohen Wärmeschutzes der Außenwände eine Gefährdung durch Tauwasser- oder Schimmelpilzbildung sicher ausgeschlossen werden kann.

Im Hinblick auf den Schlagregenschutz können WDVS unter allen in DIN 4108-3 formulierten Beanspruchungen eingesetzt werden. Die verwendeten Putzsysteme genügen bei zugelassenen WDVS auch den höchsten Ansprüchen in der Beanspruchungsgruppe III an wasserabweisende Putze:

- Wasseraufnahmekoeffizient: $w \leq 0{,}5$ kg /(m^2 · h$^{0{,}5}$)
- dampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke: $s_d \leq 2{,}0$ m
- Begrenzung des Produkts $w \cdot s_d$: $w \cdot s_d \leq 0{,}2$ kg /(m · h$^{0{,}5}$)

Detaillierte Angaben zu den Unter- und Oberputzen (oder „Schlussbeschichtungen“) können den Zulassungsbestimmungen entnommen werden.

4.5.5 Schallschutz

Bei einer Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem handelt es sich um einen federgekoppelten Zwei-Massen-Schwinger (Masse 1 = Putzsystem; Feder = Wärmedämmung und Verankerung; Masse 2 = tragende Wandkonstruktion) mit einer jeweils konstruktionsabhängigen Resonanzfrequenz. Unter bestimmten Bedingungen (d.h. bei steifer Verankerung, steifer Wärmedämmung oder leichtem Putzsystem) kann die Resonanzfrequenz im bauakustisch relevanten Bereich liegen und damit zu Einbrüchen des Schalldämm-Maßes führen. Durch die Verwendung von Mineralwolle-Dämmplatten oder elastifizierten EPS-Dämmplatten kann bei größerer Dämmstoffdicke demgegenüber auch eine deutliche Verbesserung des Schallschutzes erzielt werden.

Die Veränderung des bewerteten Schalldämm-Maßes ist durch einen Korrekturwert zu berücksichtigen, der nach bauaufsichtlicher Zulassung als vereinfachter „Pauschalwert“ festgelegt oder alternativ mit einem differenzierten Berechnungsverfahren bestimmt werden kann (Tafel 11). In diese Berechnung gehen u.a. die folgenden Faktoren ein:

- Korrektur in Abhängigkeit von der Resonanzfrequenz des WDVS
- Korrektur für den Anteil der Klebefläche
- Korrektur für das bewertete Schalldämm-Maß der Trägerwand
- Bei Mineralwolle-Dämmplatten oder Mineralwolle-Lamellen zusätzliche Korrektur für den längenbezogenen Strömungswiderstand
- Gegebenenfalls Korrektur zur Berücksichtigung der Verdübelung

Bei der Ermittlung der horizontalen oder vertikalen Schalllängsleitung im Gebäude kann der Einfluss eines WDVS vernachlässigt werden, es wird nur die Wandkonstruktion aus KS-Mauerwerk berücksichtigt.

Die Berechnung des Schalldämm-Maßes der gesamten Wandkonstruktion einschließlich WDVS (oder auch z.B. von zweischaligem KS-Mauerwerk) wird durch den KS-Schallschutzrechner [30] ermöglicht.

Tafel 11 **Korrekturwerte ΔR_w für das bewertete Schalldämm-Maß bei Verwendung eines WDVS – Beispiel (WDVS mit elastifizierten EPS-Dämmplatten auf 17,5 cm KS-Außenwand, RDK 1,8)[1)]**

		Korrekturwerte ΔR_w für das bewertete Schalldämm-Maß bei Verwendung eines WDVS[1)]			
		ausschließlich verklebt Klebeflächenanteil		verklebt und verdübelt Klebeflächenanteil	
		40 %	60 %	40 %	60 %
Dynamische Steifigkeit der Dämmstoffplatten s' = 5 MN/m^3	Dünnputz (10 kg/m^2)	+3 dB	+2 dB	0 dB	-1 dB
	Dickputz (20 kg/m^2)	+8 dB	+7 dB	+3 dB	+2 dB
Dynamische Steifigkeit der Dämmstoffplatten s' = 10 MN/m^3	Dünnputz (10 kg/m^2)	0 dB	-1 dB	-2 dB	-3 dB
	Dickputz (20 kg/m^2)	+3 dB	+2 dB	0 dB	-1 dB

[1)] Die konkret anzusetzenden Korrekturwerte sind gemäß der abZ des gewählten WDVS zu bestimmen.



4.5.6 Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit

Für den Nachweis der Dauerhaftigkeit werden im Rahmen des Zulassungsverfahrens Prüfungen sowohl an den Einzelkomponenten als auch am Gesamtsystem zum Einfluss klimatisch bedingter Einwirkungen durchgeführt. Dabei ist insbesondere die Bauteilprüfung nach ETAG 004 zu nennen, bei der eine Prüfwand mit Wärmedämm-Verbundsystem (Fläche ≥ 6 m^2 mit Fensteröffnung) einer definierten hygrothermischen Beanspruchung durch Simulation von Klima-Wechselzyklen (Hitze-Regen- und Wärme-Kälte-Zyklen) ausgesetzt wird. Anschließend wird das WDVS visuell im Hinblick auf Schädigungen untersucht und die Haftzugfestigkeit zwischen dem Unterputz und dem Dämmstoff ermittelt.

In Ergänzung zu den nationalen Zulassungsbestimmungen wird häufig die Stoßfestigkeit und der Schutz vor Perforation nach ISO 7892 überprüft und entsprechend den angegebenen Beanspruchungsgruppen bzw. Nutzungskategorien eingestuft:

- Gruppe I: Leicht zugänglicher Bereich in Erdbodennähe ohne Schutz gegen Stöße mit harten Gegenständen (jedoch ohne anormal hohe Beanspruchung)
- Gruppe II: Bereich mit Stoßeinwirkung aus geworfenen oder gestoßenen Gegenständen, im Regelfall unter 5 m Gebäudehöhe
- Gruppe III: Bereich, in dem eine Stoßeinwirkung unwahrscheinlich ist, im Regelfall über 5 m Gebäudehöhe (jedoch sollte im Bereich von Balkonen die Beanspruchungsgruppe II zugrunde gelegt werden)

Diese Ergebnisse werden in den europäischen technischen Bewertungen angegeben oder sind beim Anbieter gesondert zu erfragen.

Primär wirksame Maßnahme zum Schutz vor Algen (und Flechten) ist die dauerhafte Begrenzung des oberflächennahen Feuchtegehalts im Putzsystem, da bei einem entsprechend geringen Feuchtegehalt die für das Wachstum der Algen notwendigen Voraussetzungen fehlen. Ziel ist dabei insbesondere auch der umweltschonende Verzicht auf den derzeit gebräuchlichen – und wirkungsvollen – Einsatz von den Oberputzen beigefügten Biozioden.

Ursächlich für einen hohen Feuchtegehalt sind die im Bereich des WDVS direkt anfallende Niederschlagsmenge sowie der Ausfall von Oberflächentauwasser. Durch konstruktive Maßnahmen kann zunächst die Beanspruchung durch Regen deutlich verringert werden. Beispiele sind

- ein ausreichender Dachüberstand,
- die Anordnung von Tropfkanten und
- die Verhinderung von stehendem Wasser in Nischen und Rillen.

Zur Vermeidung von Tauwasserbildung auf der Oberfläche durch eine Abkühlung unter die Taupunkttemperatur werden aktuell die folgenden Lösungsansätze verfolgt:

- Einfärbung der Oberflächen mit dunklen Farben zur Erhöhung der Strahlungsenergiegewinne bei gleichzeitiger Erhöhung der Speichermasse (z.B. durch eine dickere Putzschicht) bzw. der spezifischen Wärmespeicherkapazität (ggf. unter Nutzung latent wärmespeichernder Systeme)
- Einsatz von infrarotreflektierenden Beschichtungen, die durch eine geringere langwellige Emission die Strahlungswärmeabgabe in den Nachthimmel reduzieren

Zur weitgehenden Minderung der Aufnahme von oberflächennah anfallender Feuchte im Putzsystem und einer möglichen Verschmutzung werden bereits seit längerem Oberputze bzw.

Beschichtungen mit mikroglatter Oberfläche eingesetzt (z.B. hydrophobierend wirkende und wasserdampfdiffusionsoffene Silikonharz-Beschichtungen mit „Lotus-Effekt“). Neuentwicklungen im Bereich der Beschichtungssysteme mit mikrostrukturierter Oberfläche basieren ebenfalls zum Teil auf bionischen Wirkmechanismen zur beschleunigten Ableitung von Regen und insbesondere Tauwasser. Alternativ wird über die Verwendung von mineralisch gebundenen Dickputzen mit hohem Sorptionsvermögen diskutiert.

4.5.7 Gestaltung

Insbesondere bei Dickputzsystemen wird die gesamte Strukturvielfalt traditioneller Putzsysteme – vom Glattputz bis zum Kratzputz – angeboten. Bei der Verwendung von Glattputzen ist jedoch darauf hinzuweisen, dass bei gleicher Rissbreite Rissbildungen häufiger als optisch störend empfunden werden als bei raueren Putzstrukturen und sich Gerüstlagen eher abzeichnen.

Die angebotene Farbvielfalt wird mit pigmentierten Oberputzen oder durch zusätzliche Farbbeschichtungen erzielt. Um temperaturbedingte Zwängungsspannungen zu begrenzen, sollte der Hellbezugswert der Oberflächen 20 nicht unterschreiten (es sind also möglichst helle Oberflächen anzustreben) und bei in der Fläche unterschiedlich verwendeten Farbtönen nicht zu stark differieren. Durch den Einsatz von neu entwickelten Beschichtungssystemen wird jedoch auch die Nutzung von dunklen Farbtönen unterhalb dieses Grenzwerts möglich. Da der Hellbezugswert jedoch nur das sichtbare Spektrum der Solarstrahlung berücksichtigt, ist in diesem Fall zusätzlich der TSR-Wert zu Bewertung heranzuziehen. Der TSR-Wert beschreibt das Reflexionsverhalten über das gesamte Spektrum (Total Solar Reflectance) und sollte nach derzeitigem Erkenntnisstand nicht weniger als 25 betragen [31].

Abweichend von der „klassischen“ Variante mit Putz ergeben sich mit keramischen Bekleidungen oder Naturwerksteinbekleidungen in unterschiedlichen Formaten weitere vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten.

4.6 Details

Für den Schutz von (Gebäude-) Ecken und Kanten im Bereich der Fenster- bzw. Türlaibungen können Eckschutzgewebe oder Eckschutzprofile (Winkel aus Kunststoff oder korrosionsbeständigem Metall mit/ohne werkseitig applizierten Gewebestreifen) verwendet werden (Bild 32). Durch die Anordnung einer zweiten Gewebeeinlage kann zudem die Stoßfestigkeit in besonders gefährdeten Bereichen (wie z.B. Hofdurchfahrten) weiter erhöht werden.

Gebäudedehnungsfugen in der tragenden Konstruktion sind im Wärmedämm-Verbundsystem durchgehend aufzunehmen (Bilder 33 und 34). Die Ausführung erfolgt mit systemspezifischen Fugenschlaufenprofilen mit angearbeitetem Textilglas-Gittergewebe. Soweit systemkonform, können alternativ imprägnierte und vorkomprimierte Fugendichtungsbänder oder Fugendichtstoffe mit seitlichen Schutzprofilen eingesetzt werden.

Im Bereich von Anschlüssen an angrenzende Bauteile – wie z.B. beim Blendrahmenanschluss – sind ebenfalls Systemlösungen zu verwenden, z.B. mit spezieller Anputzleiste und Fugendichtungsband. Fenstersohlbänke sind mit einer seitlichen Aufkantung sowie Unterschnitt im Laibungsbereich des WDVS anzuschließen. Dabei ist insbesondere bei Aluminium-Sohlblechen auf eine Schiebestoßausbildung zu achten, um eine zwängungsfreie Verformungsmöglichkeit zu gewährleisten.

Bei allen Anschlüssen und Fugen muss der erforderliche Schutz vor einer Hinterläufigkeit oder Hinterströmung des WDVS dauerhaft gewährleistet sein.

In Form von Verarbeitungsrichtlinien, technischen Merkblättern etc. werden durch die Systemanbieter eine Vielzahl bewährter Konstruktionsdetails herausgegeben, die über die Angaben in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen hinausgehen. Im Hinblick auf die Vermeidung von Wärmebrücken ist zudem auf Beiblatt 2 zu DIN 4108 und die wärmeschutztechnisch optimierten KS-Details zu verweisen [32].

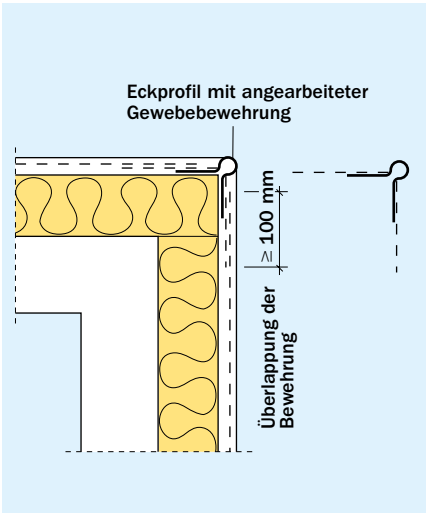


Bild 32 Kantenprofil mit werkseitig angearbeitetem Gewebestreifen

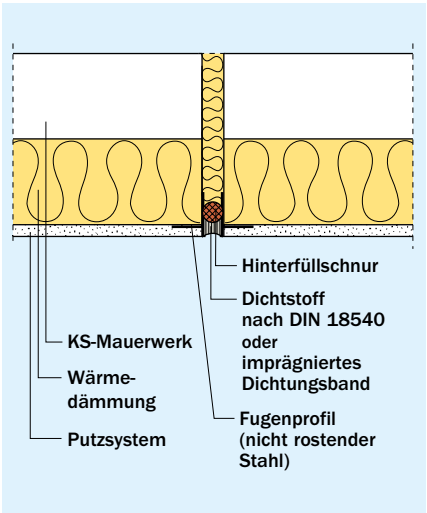


Bild 33 Dehnungsfugenausbildung mit Dichtstoff

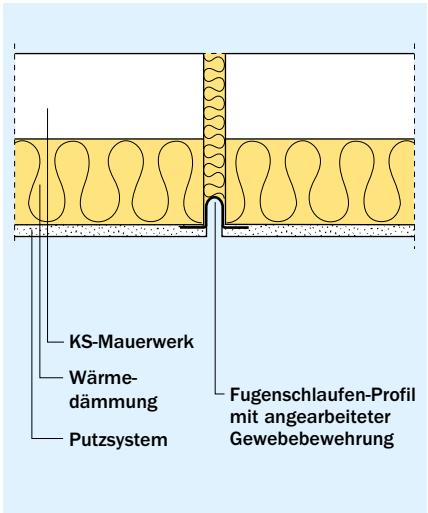


Bild 34 Dehnungsfugenausbildung mit Dehnungsfugenprofil

5. Einschaliges KS-Mauerwerk mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung

5.1 Konstruktionsprinzip

Das baukonstruktive System (Bild 35) besteht aus den aufeinander abgestimmten Komponenten der hinterlüfteten Außenwandbekleidung (oder auch vorgehängten hinterlüfteten Fassade) mit einer Verankerung im tragenden Untergrund aus KS-Mauerwerk:

- Bekleidung mit Befestigung an der Unterkonstruktion
- Unterkonstruktion mit Verankerung im tragenden Untergrund
- Wärmedämmung
- Hinterlüftung zwischen Bekleidung und Wärmedämmung

Kennzeichnend für hinterlüftete Außenwandbekleidungen sind neben dem guten dampfdiffusionstechnischen Verhalten die Gestaltungsvielfalt durch die vielfältigsten Formate und Werkstoffe der Bekleidung sowie die vergleichsweise einfachen Möglichkeiten der Reinigung und der ggf. gewünschten späteren Demontage und Umgestaltung der Bekleidung. Dabei besteht ein wesentliches Konstruktionsprinzip in den zwängungsfreien Verformungsmöglichkeiten sowohl der Unterkonstruktion als auch der Bekleidungselemente durch die Anordnung von Fest- und Gleitpunkten.

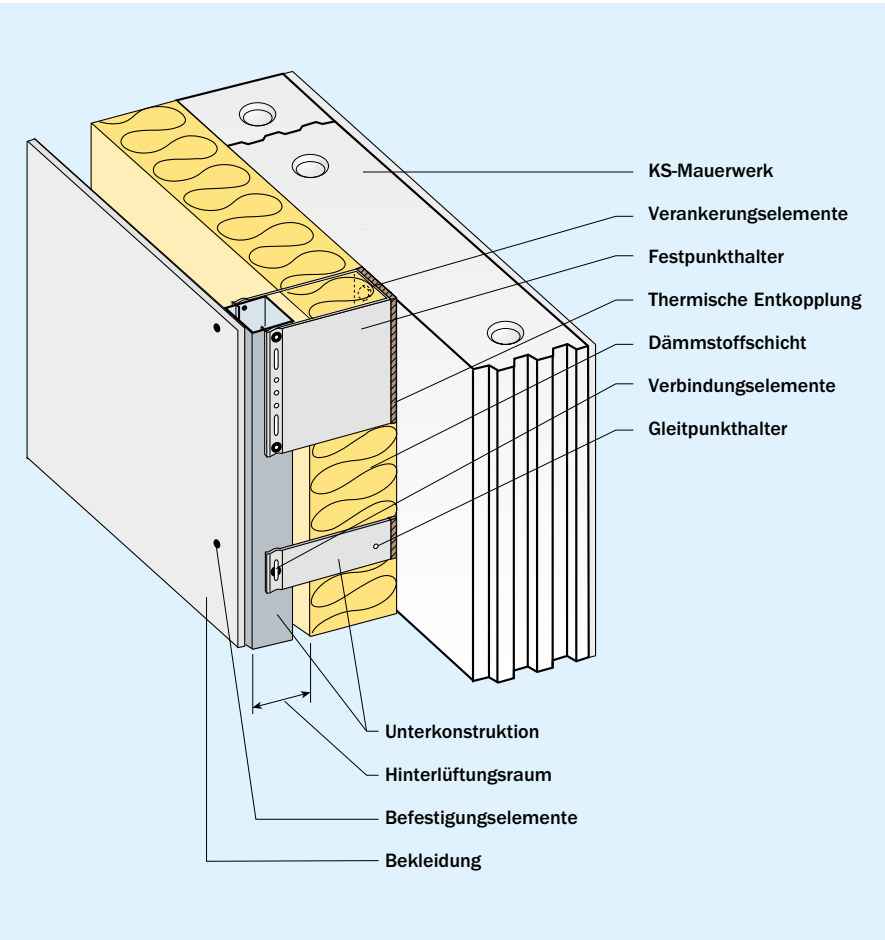


Bild 35 Konstruktionselemente von vorgehängten hinterlüfteten Außenwandbekleidungen

5.2 Entwicklung

Hinterlüftete Außenwandbekleidungen sind in Form von kleinformatigen Schiefer- oder Holzschindel-Bekleidungen bereits seit dem Mittelalter bekannt. Zeugen dieser Bauweise finden sich beispielsweise in der Eifel, im Harz, in Thüringen und in Sachsen. Dabei sind bis heute die Deckungsbilder, wie die „Deutsche Deckung“, die „Wabendeckung“ oder die „Schablonendeckung“, traditionell überliefert. Hinterlüftete Außenwandbekleidungen mit großformatigen Platten aus z.B. Naturwerkstein oder Keramik werden seit dem 20. Jahrhundert verwendet.

Aktuell kann im Hinblick auf die Anwendungsbereiche in erster Linie zwischen den kleinformatigen Bekleidungen in überwiegend handwerklicher Tradition auf Unterkonstruktionen aus Holz für den Ein- und Zweifamilien-Hausbau und den großformatigen Bekleidungen auf Unterkonstruktionen aus vorwiegend Aluminium für den mehrgeschossigen Wohnungs- und insbesondere Verwaltungsbau unterschieden werden.

5.3 Baurechtliche Regelung

Ein wesentliches Kriterium für die baurechtliche Einordnung von hinterlüfteten Außenwandbekleidungen ist das Format der Bekleidungselemente:

- Für *großformatige Bekleidungselemente* gelten die Bestimmungen der DIN 18516 [33]. In der Regel erfolgt der Nachweis der Verwendbarkeit im Zusammenhang mit den Befestigungselementen durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) oder eine europäische technische Bewertung (ETA).
- *Kleinformatige Bekleidungselemente* (bis 0,4 m^2 Fläche und bis 5,0 kg Eigenlast) oder *brettformatige Bekleidungselemente* (bis 0,3 m Breite und mit Unterstützungsabständen bis 0,8 m) sind nicht Gegenstand der DIN 18516. Bei einer Befestigung nach allgemein anerkannten Regeln der Technik benötigen diese Bekleidungselemente nach der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (bzw. der Bauregelliste C) hinsichtlich der Standsicherheit keinen Verwendbarkeitsnachweis.

Grundlagen für den Nachweis der Verwendbarkeit der Unterkonstruktion sind in Verbindung mit der DIN 18516 die Bestimmungen der jeweils baustoffbezogenen Normen, d.h. aktuell vorwiegend der (bauaufsichtlich) eingeführten Eurocodes. Für niet- und schraubenartige Verbindungselemente erfolgt der Nachweis gemäß der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (bzw. der

Bauregelliste A, Teil 2) durch ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP).

Die Verankerung der Unterkonstruktion erfolgt überwiegend mit Dübeln, alternativ mit Ankerbolzen oder Injektionsankern, für die jeweils eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder eine europäische technische Bewertung erforderlich ist. Ausgenommen sind die in DIN 18516-3 geregelten Varianten der „direkten“ Verankerung von Bekleidungen aus Naturwerkstein ohne Unterkonstruktion.

Für die Dämmstoffe gelten die Bestimmungen der DIN 4108-10 für den Anwendungsbereich WAB (Außendämmung der Wand hinter Bekleidung).

5.4 Komponenten

5.4.1 Tragender Untergrund

Der tragende Untergrund dient der Verankerung der Unterkonstruktion, bei Verwendung von Dübeln ist die Tragfähigkeit in den aktuellen Zulassungsbestimmungen in Form von charakteristischen Werten in Abhängigkeit vom Verankerungsgrund angegeben.

INFO

Wände aus KS-Mauerwerk sind als tragender Untergrund sehr gut geeignet und ermöglichen mit geringer Dübelanzahl wirtschaftlich günstige Systemlösungen.

An die Ebenheit des Untergrunds werden bei hinterlüfteten Außenwandbekleidungen deutlich geringere Anforderungen als bei Wärmedämm-Verbundsystemen gestellt, da durch die Verankerungselemente und die Unterkonstruktion auch ein größerer Toleranzausgleich einfach möglich ist. Ein Vorteil, der wegen der handwerklich problemlos zu gewährleistenden Ebenheit von KS-Mauerwerk jedoch nicht ausgenutzt werden muss.

5.4.2 Verankerungselemente

Die für die mechanische Verankerung der Unterkonstruktion überwiegend verwendeten Dübel bestehen aus einer Dübelhülse aus Kunststoff und einer Dübelschraube aus nichtrostendem Stahl oder bei Einhaltung besonderer Korrosionsschutzmaßnahmen aus galvanisch verzinktem Stahl, alternativ können Ankerbolzen oder Injektionsanker eingesetzt werden. Falls keine Unterkonstruktion erforderlich sein sollte (wie bei Bekleidungen aus Naturwerkstein mit eingemörtelten Ankern nach DIN 18516-3), erfolgt die Verankerung der Bekleidungselemente unmittelbar durch die Trag- und Halteanker.

5.4.3 Unterkonstruktion und Verbindungselemente

Die Unterkonstruktion ist das baukonstruktive Bindeglied zwischen der Bekleidung und dem tragenden Untergrund und muss alle Einwirkungen aus den Eigenlasten, dem Windsog und dem Winddruck dauerhaft übertragen. Unterkonstruktionen werden überwiegend aus Metall (Aluminium oder selten nichtrostendem Stahl) hergestellt (Bild 36). Bei geringeren Anforderungen – vorwiegend für kleinformatige Bekleidungselemente – werden Unterkonstruktionen aus Holz verwendet (Bild 37).

Ein wesentliches Konstruktionsprinzip von Metall-Unterkonstruktionen ist die zwängungsfreie Aufnahme der thermisch bedingten Verformungen, die durch die Ausbildung von Fest- und Gleitpunkten gewährleistet wird. Für die Anwendung existieren vielfältige Systemlösungen mit unterschiedlich gestalteten Tragprofilen und Wandhaltern (oder seltener auch Abstandsdübeln), die auf die jeweiligen Bekleidungselemente abgestimmt sind. Als Verbindungsmittel zwischen den Tragprofilen und Wandhaltern werden vorwiegend Nieten verwendet, die sich an den Fest- und Gleitpunkten schnell und nachprüfbar setzen lassen.

Bei Holz-Unterkonstruktionen werden sowohl Zweifach- als auch Dreifachlattungen ausgeführt, als Verbindungsmittel zwischen den Trag- und Konterlatten werden Holzschrauben oder Sondernägel eingesetzt.



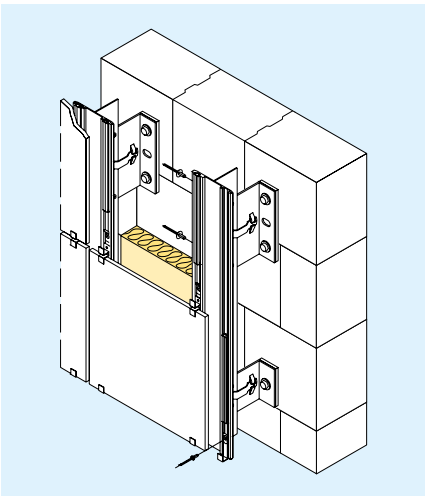


Bild 36 Aluminium-Unterkonstruktion mit Wandhaltern

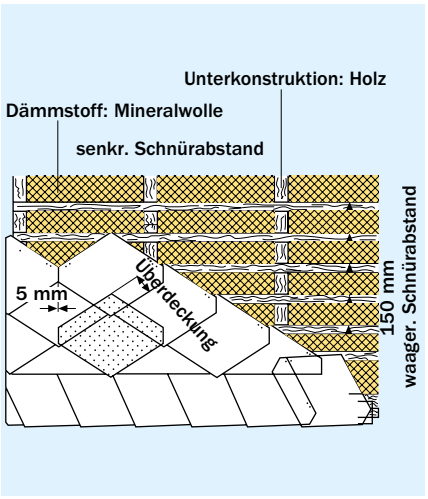


Bild 37 Holz-Unterkonstruktion, hier: Zweifachlattung mit kleinformatiger Bekleidung in Rhombus-Schablonen-Deckung

5.4.4 Wärmedämmung

Die Wärmedämmung muss – bei in der Regel geschossübergreifendem Hinterlüftungsraum – aus nicht brennbaren Dämmstoffen bestehen. Verwendet werden unkaschierte oder vlieskaschierte Dämmplatten aus Mineralwolle mit Wärmeleitfähigkeiten vorwiegend zwischen 0,032 W/(m·K) und 0,040 W/(m·K), die für den Anwendungsbereich WAB nach DIN 4108-10 geregelt sind.

Die Dämmplatten sind durchgehend wasserabweisend, die mögliche werkseitige Kaschierung mit einem dampfdiffusionsoffenen Glasvlies dient als zusätzlicher Witterungsschutz während der Bauphase, zudem wird durch ein schwarzes Glasvlies erreicht, dass bei Bekleidungen mit offenen Fugen der Dämmstoff optisch nicht erkennbar ist.

Die Verlegung der Dämmplatten erfolgt grundsätzlich dicht gestoßen im Verband (Bild 38). Dabei muss die Wärmedämmung auch an angrenzende Bauteile und insbesondere an die Unterkonstruktion dicht angepasst werden, um Wärmebrücken zu vermeiden. Die Dämmplatten sind hohlraumfrei zum Untergrund zu verlegen, um eine Hinterströmung durch die Außenluft zu verhindern.

Die Dämmplatten werden überwiegend mechanisch mit Dämmstoffhaltern aus Kunststoff befestigt. Im Mittel sind fünf Dämmstoffhalter pro m^2 zu setzen, für neu entwickelte Dämmplatten wird jedoch eine Reduzierung der Anzahl angestrebt. Um eine unzulässige Komprimierung der Dämmstoffdicke am Befestigungspunkt zu verhindern, sind vorzugsweise Dämmstoffhalter mit Tiefenanschlag einzusetzen (Bild 39).

Bei ausreichend tragfähigem Untergrund – wie KS-Mauerwerk – können die Dämmplatten auch mit (mineralischen) Bauklebern vorzugsweise im Wulst-Punkt-Verfahren fixiert werden. Die Querzugfestigkeit muss in diesem Fall mindestens 1 kPa betragen.

Bei der Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten der gesamten Außenwandkonstruktion ist der Einfluss der der Verankerung der Unterkonstruktion zu berücksichtigen [34]. Punktuelle Beeinträchtigungen können hier durch die thermische Trennung der Wandhalter vom Untergrund mit einer wärmedämmenden Unterlagscheibe z.B. aus geschlossenzelligem Hart-PVC (Bild 40) minimiert werden. Eine neue Entwicklung sind Wandhalter mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung, die eine thermische Trennung in ihrem tragenden Querschnitt aufweisen.

Bei geringeren Anforderungen an den Brandschutz, d.h. unter der Voraussetzung einer nicht geschossübergreifenden Hinterlüftung, können nach jeweiliger Landesbauordnung in den Gebäudeklassen 1 bis 3 normalentflammbare Dämmstoffe und in den Gebäudeklasse 4 und 5 schwerentflammbare Dämmstoffe verwendet werden. Die geschossweise erforderliche und vollständige Unterbrechung der Hinterlüftung ist jedoch mit erheblichen Problemen hinsichtlich des erforderlichen Feuchte-/Wasserdampftransports verbunden. Insofern ist dieser Ansatz mit Ausnahme von eingeschossigen Gebäuden als Sonderfall zu werten, z.B. für den räumlich bedingten (und detailliert zu planenden) Einsatz von „Vakuum-Isolations-Paneelen (VIP)“ mit äußerst geringer Wärmeleitfähigkeit. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass mit dieser Ausführung von den Vorgaben der VOB – Teil C (hier DIN 18351) zur Verwendung ausschließlich von Mineralwolle-Dämmplatten abgewichen wird.

5.4.5 Hinterlüftung

Nach DIN 18516-1 ist für den Hinterlüftungsraum zwischen der Bekleidung und der Wärmedämmung eine Mindesttiefe von 20 mm ausreichend, die örtlich auf 5 mm reduziert werden darf. Bei der Ausbildung von offenen Fugen zwischen den Bekleidungselementen sollte jedoch im Hinblick auf den Witterungsschutz eine erhöhte Mindesttiefe von 40 mm eingehalten werden. Im Hinblick auf den Brandschutz ist die maximale Tiefe bei geschossübergreifender Hinterlüftung auf 50 mm für Unterkonstruktionen aus Holz und 150 mm für Unterkonstruktionen aus Metall begrenzt.

An den Kopf- und Fußpunkten der hinterlüfteten Außenwandbekleidung sind Be- und Entlüftungsöffnungen von 50 cm^2/(lfd. m Fassadenlänge) anzuordnen, die mit so genannten Insektengittern oder Ähnlichem gesichert werden sollten.

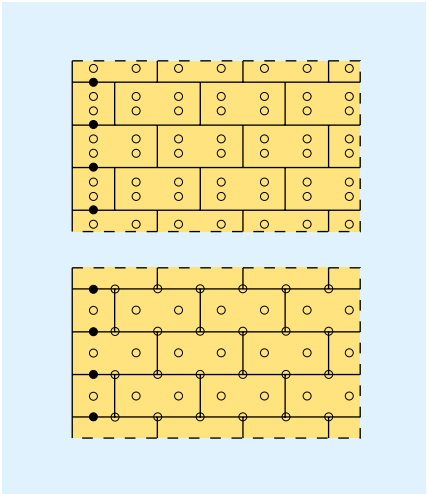


Bild 38 Anordnung von Dämmstoffhaltern

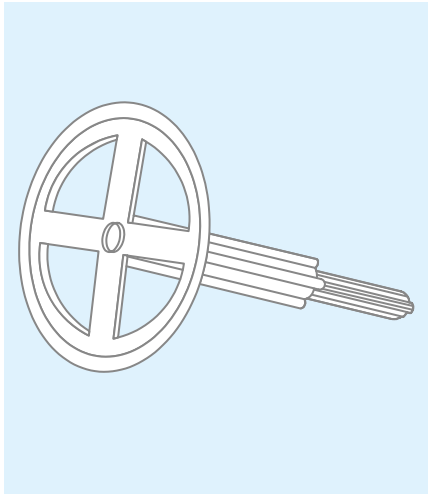


Bild 39 Dämmstoffhalter mit Tiefenanschlag

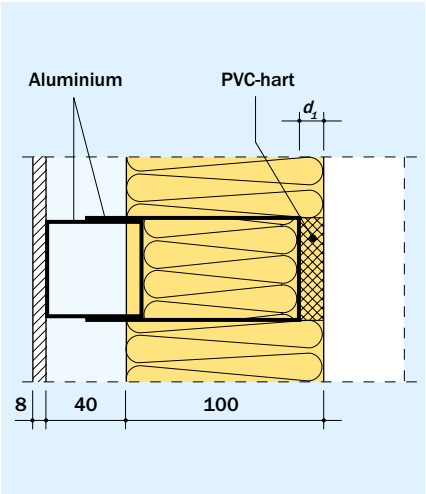


Bild 40 Maßnahmen zur Minimierung des Wärmebrückeneinflusses von Wandhaltern (aus [35])

5.4.6 Bekleidung und Befestigungselemente

Neben den traditionell kleinformatigen Bekleidungselementen (aus z.B. Holz oder Schiefer) wird eine Vielzahl von Werkstoffen angeboten, die in ihren gebräuchlichsten Anwendungen in Tafel 12 zusammengestellt sind.

Die Befestigung erfolgt in Abhängigkeit vom Werkstoff und vom Format der Bekleidungselemente sowie von der Unterkonstruktion:

- Klein- und brettformatige Bekleidungselemente mit traditionellen Deckungsbildern oder in Form von Schalungen werden überwiegend auf Holz-Unterkonstruktionen verwendet, die Befestigung erfolgt mit Schrauben, Schraubnägeln oder Haken.

- Für großformatige Bekleidungselemente werden in der Regel Metall-Unterkonstruktionen eingesetzt. Die Befestigung kann u.a. mit Klammern (wie Bild 36) oder Nieten (Bild 41) oder nicht sichtbar mit rückseitig gesetzten Hinterschnittankern (Bild 42) erfolgen. Zur zwängungsfreien Befestigung von z.B. Faserzementtafeln mit Nieten erfolgen die Bohrungen zunächst in den Faserzementtafeln und anschließend als Stufenbohrung mit einer Bohrlehre in den Tragprofilen der Unterkonstruktion. Durch die Bohrlehre wird ein zentrischer Sitz des Niets im größeren Bohrloch der Faserzementtafel und damit eine zwängungsfreie Aufnahme der hygrothermischen Verformungen der Bekleidung gewährleistet. Bei Verwendung von Hinterschnittankern mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (u.a. für Faserzement, Keramik und HPL) werden die erforderlichen Gleitpunkte durch die Verbindung mit speziellen Agraffen ausgebildet, die justierbar und in Plattenebene zweiachsig zwängungsfrei in die Tragprofile der Unterkonstruktion eingehängt werden.

- Die Befestigung von großformatigen Bekleidungselementen aus Naturwerkstein kann bei Verwendung einer Metall-Unterkonstruktion nach DIN 18516-3 sichtbar mit Schrauben (Bild 43) oder nicht sichtbar mit Nutlagerung (Bild 44) erfolgen. Davon abweichend können mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung wiederum Hinterschnittanker (Bild 45) – bei dann möglichen geringeren Dicken der Naturwerksteinplatten – in Verbindung mit Agraffen verwendet werden. Die eher traditionelle Variante ist die Direktverankerung der Na-

Tafel 12 Gebräuchliche Materialien für Bekleidungselemente

Werkstoff der Bekleidung	Anwendung		
	großformatig	kleinformatig	brettformatig
Metall	x	x	–
Naturwerkstein	x	x	–
Keramik	x	x	–
Tonstrangelemente	x	x	x
Faserzement	x	x	x
Holzzement	x	–	x
Faserverstärktes Harzkomposit	x	x	x
Hochdruck-Schichtpressstoff (HPL)	x	x	x
Verbundwerkstoff	x	x	x

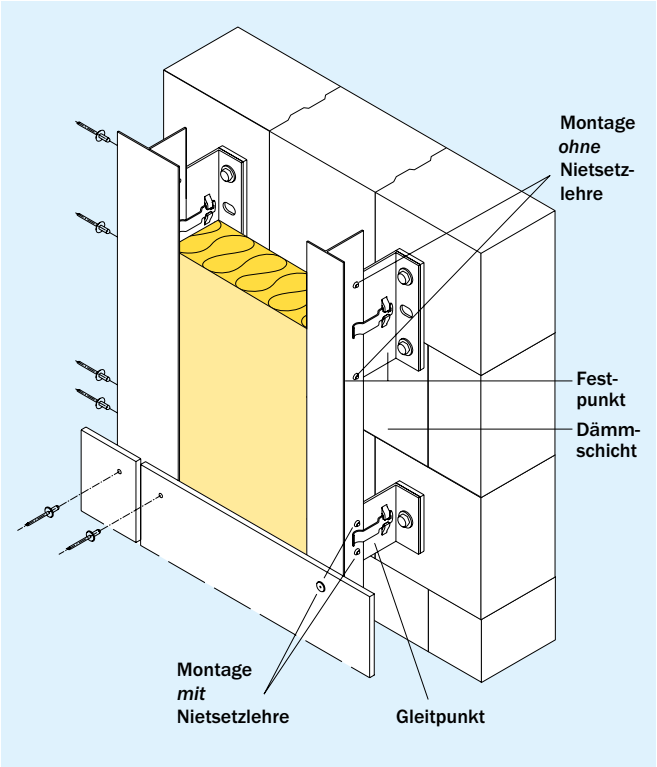


Bild 41 Sichtbare Nietbefestigung von großformatiger Bekleidung

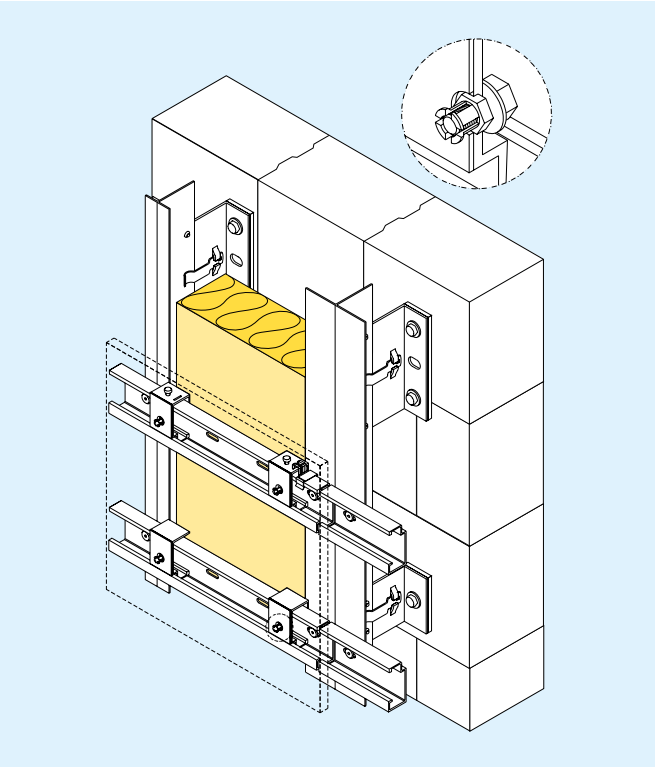


Bild 42 Nicht sichtbare Befestigung von großformatiger Bekleidung mit Hinterschnittdübeln

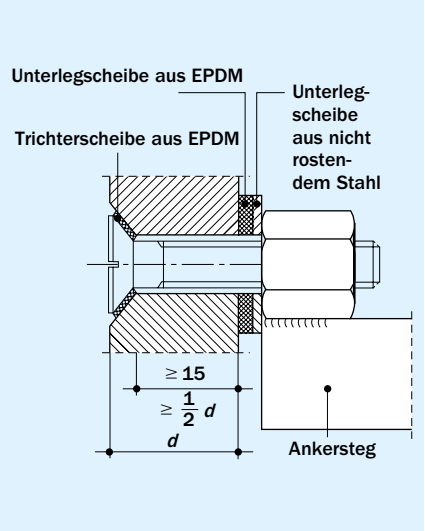


Bild 43 Sichtbare Schraubbefestigung von Naturwerksteinbekleidungen

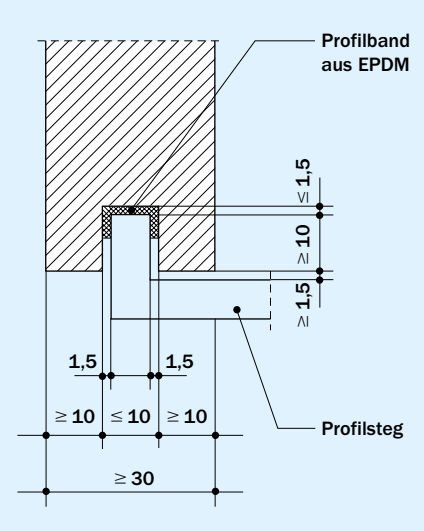


Bild 44 Nicht sichtbare Befestigung mit Profilstegen

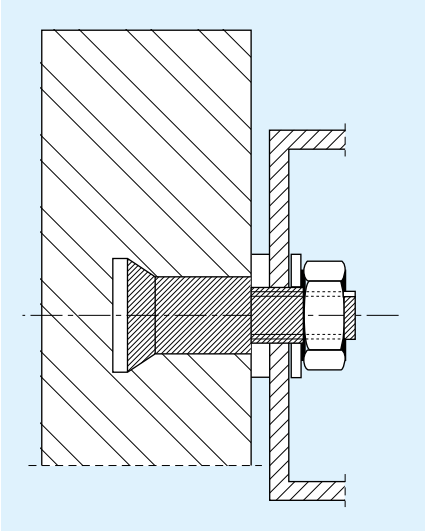


Bild 45 Nicht sichtbare Befestigung in den Bekleidungsplatten mit Hinterschnittdübeln

turwerksteinplatten ohne Unterkonstruktion mit eingemörtelten Trag- und Halteankern.

- Großformatige Bekleidungselemente aus Metall, die meist kassettenförmig profiliert sind, um ihre Biegesteifigkeit zu erhöhen, werden mit Nieten oder häufig auch hängend befestigt. Dabei werden sowohl sichtbare als auch nicht sichtbare Varianten angeboten. Die oberen Befestigungspunkte dienen zur Aufnahme der Eigenlast sowie der Windlasten, die unteren nur zur Aufnahme der Windlasten. Durch die hängende Befestigung ist eine zwängungsfreie Verformungsmöglichkeit gewährleistet. Um störende Geräuschentwicklungen infolge von Reibung bei temperaturbedingter Ausdehnung oder Verkürzung zu vermeiden, werden die Einhängebolzen mit einer Kunststoffbeschichtung/Kunststoffummantelung versehen.

Neben den hier exemplarisch genannten Befestigungsarten wird eine Vielzahl von Varianten angeboten, zum Teil werden die Befestigungsmittel auch als punktuelle Gestaltungselemente für die Fassaden eingesetzt.

5.5 Eigenschaften

5.5.1 Standsicherheit

Der Nachweis der Standsicherheit erfolgt objektbezogen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit unter Ansatz der Vorgaben der DIN 18516. Bei Verwendung von großformatigen Bekleidungselementen sind in der Bemessung die Lagerungsbedingungen in Abhängigkeit vom Steifigkeitsverhältnis zwischen der Bekleidung und der Unterkonstruktion zu berücksichtigen. Zwangsbeanspruchungen aus behinderter hygrothermischer Verformung werden durch das Konstruktionsprinzip der zwängungsfreien Verformungsmöglichkeit mittels Fest- und Gleitpunkten ausgeschlossen. Aufgrund der vielfältig systemabhängigen Parameter wird der Nachweis häufig von den Systemanbietern als Serviceleistung angeboten.

Hinsichtlich der Einwirkungen infolge Windbeanspruchung zeigten Untersuchungen im Windkanal und in situ, dass auf den Ansatz erhöhter Windsoglasten im Gebäuderandbereich verzichtet werden kann, wenn eine dauerhaft wirksame vertikale Windsperre im Bereich der Gebäudekanten (Bild 46) ange-

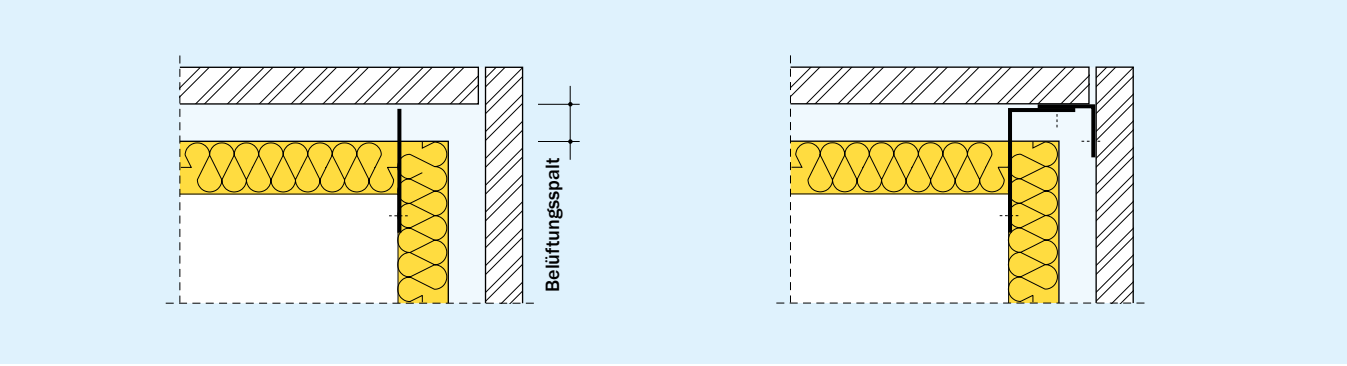


Bild 46 Vertikale Windsperre im Bereich von Gebäudekanten zur Reduzierung der Windsoglasten im Randbereich [35]

ordnet wird und die Außenwandbekleidung eine ausreichende Durchlässigkeit aufweist. Eine diesbezügliche Regelung wurde mit einer Begrenzung der Luftschichtdicke in DIN EN 1991-1-4 und den zugehörigen Nationalen Anhang aufgenommen.

5.5.2 Brandschutz

Die Vorgaben der Landesbauordnungen zur Baustoffklasse der Einzelkomponenten sind unter Einbeziehung der zusätzlichen Anforderungen bei geschossübergreifender Hinterlüftung (d.h. im Regelfall bei mehrgeschossigen Bauten) in der Tafel 13 dargestellt.

Als ergänzende konstruktive Anforderung zur Verhinderung einer Brandausbreitung sind nach den Regelungen im Anhang 6 der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen in jedem zweiten Geschoss *horizontale Brandsperren* im Hinterlüftungsraum zwischen dem tragenden Untergrund und der Bekleidung anzuordnen. Bei üblicherweise außenliegender Wärmedämmung genügt der Einbau zwischen den Dämmplatten und der Bekleidung, wenn der Dämmstoff im Brandfall formstabil ist und einen Schmelzpunkt von mehr als 1.000 °C aufweist.

Die Brandsperren müssen über mindestens 30 Minuten ausreichend formstabil sein (z.B. aus Stahlblech mit einer Dicke von mindestens 1 mm) und im tragenden Untergrund in Abständen von höchstens 60 cm verankert werden. Unterkonstruktionen aus brennbaren Baustoffen sind im Bereich der Brandsperren vollständig zu trennen. Die Größe von Öffnungen in den Brandsperren ist auf 100 cm²/(lfd. m Fassadenlänge) begrenzt. Die Öffnungen können als gleichmäßig verteilte Einzelöffnungen oder als durchgehender Spalt angeordnet werden.

Nicht erforderlich sind diese horizontalen Brandsperren

- bei Außenwänden ohne Öffnungen,
- wenn durch die Fensteranordnung eine Brandausbreitung im Hinterlüftungsraum ausgeschlossen ist (z.B. bei durchgehenden Fensterbändern) oder
- bei Verwendung von ausschließlich nichtbrennbaren Baustoffen für alle Bauteile, wenn der Hinterlüftungsraum im Laibungsbereich von Öffnungen umlaufend im Brandfall über mindestens 30 Minuten formstabil verschlossen ist.

Tafel 13 Brandschutzanforderungen an die Komponenten von hinterlüfteten Außenwandbekleidungen

Bauprodukt (Bauteil)	Baustoffanforderung		
	Gebäudeklassen		
	1 bis 3	4 und 5	Hochhäuser
Bekleidung	normal-entflammbar	schwer-entflammbar	nichtbrennbar
Unter-konstruktion	normal-entflammbar	schwer-entflammbar[1)]	nichtbrennbar
Wärme-dämmung	nicht-brennbar[2) 3)]	nichtbrennbar[2)]	nichtbrennbar[2)]

[1)] Die Verwendung von normalentflammbaren Baustoffen (z.B. stabförmige Unterkonstruktionen aus Holz) ist zulässig, wenn die Brandausbreitung „ausreichend lang begrenzt ist".
[2)] Gilt nicht für die Dämmstoffhalter.
[3)] Nach Empfehlung FVHF e.V.

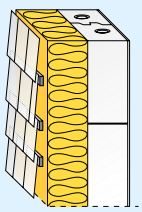
Der Hinterlüftungsraum mit einer maximal zulässigen Tiefe von 50 mm (bei Holz-Unterkonstruktionen) bzw. 150 mm (bei Metall-Unterkonstruktionen) darf zudem nicht über eine Brandwand geführt werden. Als entsprechend erforderliche *vertikale Brandsperre* ist der Hinterlüftungsraum mindestens in Brandwanddicke mit einem im Brandfall formstabilen Dämmstoff mit einem Schmelzpunkt von mindestens 1.000 °C zu schließen.

Die Einstufung der Feuerwiderstandsdauer der Außenwand erfolgt anhand der baukonstruktiven Gegebenheiten des KS-Mauerwerks, die hinterlüftete Außenwandbekleidung ist in ihrem brandschutztechnischen Einfluss wie eine Putzschicht zu berücksichtigen.

5.5.3 Wärmeschutz

Mit hinterlüfteten Außenwandbekleidungen können auch die höchsten Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz er-

Tafel 14 U-Werte von einschaligen KS-Außenwänden mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung

	Dicke des Systems [cm]	Dicke der Dämmschicht [cm]	U [W/(m²·K)] λ [W/(m·K)] 0,022	0,024	0,032	0,035	Wandaufbau
	31,5	10	–	–	0,28	0,30	**Einschalige KS-Außenwand mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung**
	33,5	12	–	–	0,24	0,26	R_{si} = 0,13 (m²·K)/W
	37,5	16	–	–	0,18	0,20	0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K)
	41,5	20	–	–	0,15	0,16	0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1)] λ = 0,99 W/(m·K)
	45,5	24	–	–	0,13	0,14	Nichtbrennbarer Wärmedämmstoff WAB
	51,5	30	–	–	0,10	0,11	R_{se} = 0,13 (m²·K)/W
							0,02 m Hinterlüftung
							0,01 m Fassadenbekleidung

Zur Berechnung der U-Werte sind ausschließlich Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ_B anzusetzen.
[1)] Bei anderen Dicken oder Steinrohdichteklassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.

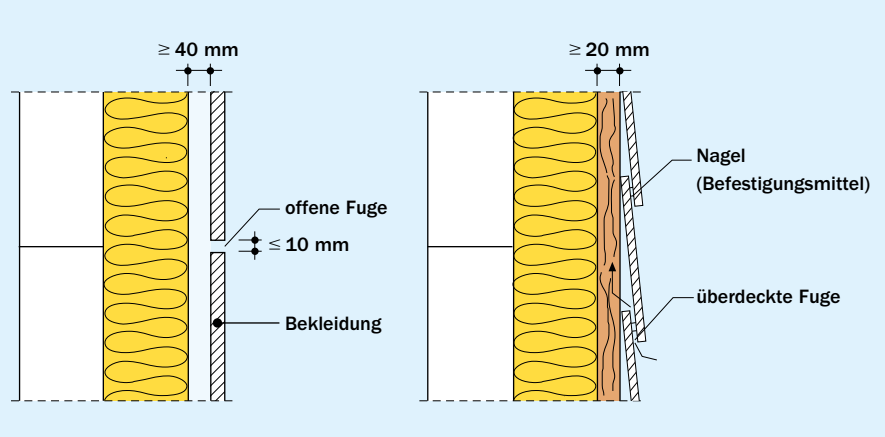


Bild 47 Fugenausbildung bei hinterlüfteten Bekleidungen (aus [35])

füllt werden, da durch die Dimensionierung der Unterkonstruktion und der Verankerung nahezu jede beliebige Dämmstoffdicke eingesetzt werden kann. Wie bereits oben ausgeführt, sind dabei punktuelle Beeinträchtigungen im Bereich der Verankerung, soweit nicht durch konstruktive Maßnahmen zur thermischen Trennung ausgeschlossen, bei der Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten zu berücksichtigen.

Im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz erweisen sich Außenwände aus KS-Mauerwerk mit hinterlüfteten Außenwandbekleidungen aufgrund der Wärmeabfuhr durch die Hinterlüftung der Bekleidung, der außen liegenden Wärmedämmung und der innen liegenden hohen speicherfähigen Masse als besonders günstig. Auf Grundlage der Ergebnisse von aktuellen Untersuchungen erscheint perspektivisch zudem die Nutzung der im Hinterlüftungsraum anfallenden Wärme zur energetischen Gebäudeoptimierung möglich.

Tafel 15 Untersuchungsergebnisse der Schalldämmung vorgehängter hinterlüfteter Fassaden nach DIN 52210 [36] (Grundkonstruktion: 24 cm KS-Mauerwerk, einseitig verputzt mit R_w = 54 dB)

Nr.	Fassadenbekleidung		Fugen		Unterkonstruktion		Mineralwolledämmung		$R_{w,P}$
	Material	Formate [mm]	offen	geschl.	Alu	Holz	6 cm	12 cm	[dB]
1	Faserzement, 4,5 mm	600 x 300	X		X		X		62
2			X		X			X	64
3	Faserzement, 8 mm	2.500 x 1.110	X		X		X		62
4				X	X			X	62
5	Aluminium-Sandwich, 4 mm	2.513 x 1.120	X		X		X		62
6			X		X			X	62
7	Keramik, 8 mm	592 x 592	X		X		X		60
8			X		X			X	63
9	Tonstrangplatten	200 x 390		X	X		X[1)]		64
10	Aluminium, bandbeschichtet, 2 mm	630 x 4.480		X	X			X	66
11		1.228 x 4.480		X	X			X	64

[1)] 8 cm Dämmstoffdicke

5.5.4 Feuchte- und Witterungsschutz

Außenwände aus KS-Mauerwerk mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung erweisen sich hinsichtlich des Schutzes vor Tauwasserbildung als besonders geeignet, da der Dampfdiffusionswiderstand von innen nach außen signifikant abnimmt und der durch Diffusion transportierte Wasserdampf im Hinterlüftungsraum sicher abgeführt werden kann. Mit diesem Mechanismus des Wasserdampftransports ergeben sich auch für die Austrocknung von Baufeuchte günstige Bedingungen. Der Schutz vor Schimmelpilzbildung wird bei Vermeidung von Wärmebrücken durch den hohen Wärmedurchlasswiderstand und die entsprechend hohen raumseitigen Oberflächentemperaturen gewährleistet.

Der Schutz vor Schlagregen und Spritzwasser erfolgt im Zusammenwirken der Bekleidung mit der Hinterlüftung. Durch die Bekleidung wird die Menge der eindringenden Feuchte begrenzt, durch die Hinterlüftung wird diese Feuchte in Form von Wasserdampf in kurzer Zeit nach außen abgeführt.

Bei traditionellen kleinformatigen Bekleidungselementen erfolgt der Witterungsschutz im Bereich der Fugen durch die notwendige Überdeckung (Bild 47). Bei großformatigen Bekleidungselementen sind offene Fugen möglich, wenn die Fugenbreite maximal 10 mm beträgt und der Abstand der Bekleidung zur Wärmedämmung gegenüber den Mindestanforderungen nach DIN 18516-1 auf 40 mm erhöht wird. Unter diesen Voraussetzungen ist die eindringende Feuchte von vernachlässigbarer Größenordnung, da bei Verwendung von hydrophobierten Mineralwolle-Dämmplatten lediglich ein 3 bis 4 cm breiter Streifen im Fugenbereich bis zu einer Tiefe von ca. 1 mm durchfeuchtet und die Feuchte nach Beendigung der Regenphase durch Dampfdiffusion schnell abgeführt wird. Aus diesem Grund können hinterlüftete Außenwandbekleidungen auch mit offenen Fugen in der höchsten Beanspruchungsgruppe III gemäß DIN 4108-3 verwendet werden.

5.5.5 Schallschutz

Umfangreiche Eignungsprüfungen [36] an Außenwänden aus KS-Mauerwerk zeigen, dass mit einer hinterlüfteten Außenwandbekleidung eine nochmals deutliche Verbesserung der Direktschalldämmung gegen Außenlärm erreicht werden kann.

In Tafel 15 sind die Untersuchungsergebnisse für eine Wand aus 24 cm KS-Mauerwerk (einseitig verputzt) angegeben, die ohne zusätzliche Bekleidung ein bewertetes Schalldämm-Maß R_w = 54 dB aufweist. Mit den untersuchten Ausführungsvarianten der hinterlüfteten Außenwandbekleidung wurde eine Verbesserung des Schalldämm-Maßes zwischen 6 und 12 dB erreicht.

Für die Ermittlung der horizontalen oder vertikalen Schalllängsleitung im Gebäude wird nur die tragende Schicht aus KS-Mauerwerk berücksichtigt, der Einfluss einer hinterlüfteten Außenwandbekleidung kann vernachlässigt werden.

5.5.6 Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit

Die Dauerhaftigkeit der traditionell eingesetzten metallischen, mineralischen oder organischen Baustoffe kann als bekannt vorausgesetzt werden, Angaben zum Schutz (vornehmlich bezogen auf Metall und Holz) enthält die DIN 18516.

Für den Nachweis der Verwendbarkeit von „neuen“ Bauprodukten für die Bekleidung und Befestigung werden in den Zulassungsverfahren umfassende Untersuchungen zum Einfluss insbesondere von klimatisch bedingten Einwirkungen durchgeführt, so z.B. für Faserzementtafeln nach harmonisierter europäischer Normung.

Hinterlüftete Außenwandbekleidungen können konkret auf die örtlich gegebenen Beanspruchungen abgestimmt werden, so dass z.B. ein sehr hoher Widerstand gegenüber Stößen mit harten oder weichen Gegenständen oder Perforation gewährleistet werden kann. Vorteilhaft im Hinblick auf die Erhaltung des gewünschten Erscheinungsbildes ist die Möglichkeit, die Bekleidung bei Bedarf wiederholt reinigen zu können. Bezüglich des Schutzes vor Vandalismusschäden, insbesondere in Form von Graffiti, ist in diesem Zusammenhang auf die wirkungsvolle Prophylaxe durch eine gezielte Oberflächenbehandlung und entsprechend auf das diesbezügliche *WTA-Merkblatt* [37] zu verweisen.

Ein weiterer systembedingter Vorteil ist neben der geringen Wartungsintensität die vergleichsweise einfache Demontierbarkeit, sei es zum Austausch von einzelnen Bekleidungselementen oder im Hinblick auf die im Sinne eines angestrebten „Lifecycle“ perspektivisch steigenden Anforderungen an die Baustofftrennung in der Phase eines zukünftigen Rückbaus und die anschließende Wiederverwendung.

5.5.7 Gestaltung

Die großen Gestaltungsmöglichkeiten von hinterlüfteten Außenwandbekleidungen werden durch die Material- und Formvielfalt der Bekleidungselemente und ihrer Befestigung bestimmt. Zunehmend werden auch Kombinationen mit Wärmedämm-Verbundsystemen oder mit zweischaligem Mauerwerk eingesetzt.

Als Systemlösung bieten hinterlüftete Außenwandbekleidungen die Möglichkeit, andere Elemente in der Fassade zu integrieren. So können z.B. Photovoltaik- oder Solarthermie-Module eingefügt werden, wenn die Verwendbarkeit als großformatiges Bekleidungselement durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (oder durch eine Zustimmung im Einzelfall) nachgewiesen wird. Darüber hinaus können auch nicht sichtbare Blitzschutzeinrichtungen (unter Nutzung der vorhandenen Metall-Unterkonstruktion) ausgeführt werden [38].

6. KS-Mauerwerk ohne Wärmedämmung

6.1 Konstruktionsübersicht

Bei Gebäuden mit niedrigen Innentemperaturen oder Bauwerken ohne Anforderungen an den Wärmeschutz können Außenwände aus KS-Mauerwerk ohne Wärmedämmung eingesetzt werden:

- Einschaliges KS-Mauerwerk mit Außenputz
- Einschaliges KS-Verblendmauerwerk
- Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Luftschicht

6.2 Eigenschaften

Für *verputztes einschaliges KS-Mauerwerk* können Kalksandsteine ohne besondere Anforderungen an den Frostwiderstand verwendet werden, da der Witterungsschutz durch den Außenputz erfüllt wird. Der Außenputz ist dabei primär auf die nach DIN 4108-3 definierte Schlagregenbeanspruchung einzustellen.

Bei *einschaligem KS-Verblendmauerwerk* (Bild 48) wird der Witterungsschutz durch die außen liegende Steinreihe aus frostwiderstandsfähigen KS-Verblendern und die Schalenfuge bestimmt. Nach DIN EN 1996-1-1 muss jede Mauerschicht mindestens zwei Steinreihen gleicher Höhe aufweisen, zwischen denen eine durchgehende und schichtweise versetzte Längsfuge (Schalenfuge) verläuft. Die Längsfuge ist ebenso wie die Lager- und Stoßfugen kraftschlüssig und hohlraumfrei zu vermörteln, die Dicke sollte im Hinblick auf den Witterungsschutz entsprechend den vormaligen Bestimmungen der DIN 1053-1 20 mm betragen. Die Mindestwanddicke richtet sich nach der Schlagregenbeanspruchung gemäß DIN 4108-3 und beträgt 310 mm bei geringer Beanspruchung bzw. 375 mm bei mittlerer Beanspruchung. Für eine hohe Beanspruchung wird einschaliges Sichtmauerwerk nicht als Beispiel in der DIN 4108-3 aufgeführt.

Bei einschaligem Verblendmauerwerk gehört die Verblendung zum tragenden Querschnitt. Nach DIN EN 1996-1-1 ergibt sich der Tragwiderstand aus der im Querschnitt verwendeten niedrigsten Steindruckfestigkeitsklasse.

Die Verfugung ist auch hier gemäß Abschnitt 3.4.5 als Fugenglattstrich (oder als nachträgliche Verfugung) kantenbündig mit der Oberfläche der KS-Verblender auszuführen.

Bei hohen Anforderungen insbesondere an den Witterungsschutz kann *zweischaliges KS-Mauerwerk mit Luftschicht* (ohne Wärmedämmung und in der Regel mit KS-Verblendschale) verwendet werden. Im Hinblick auf die Eigenschaften und die



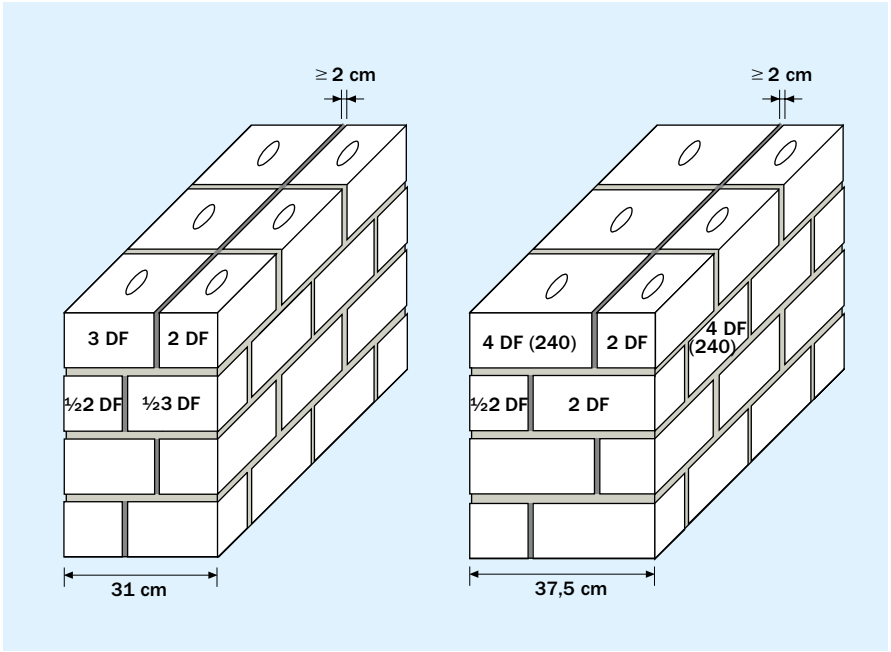


Bild 48 Ausführungsbeispiele für einschaliges Verblendmauerwerk

konstruktive Ausbildung ist mit Ausnahme der Wärmedämmung auf die Ausführungen in Abschnitt 3 zu verweisen.

Da Sichtmauerwerk und sichtbar bleibendes Mauerwerk keine Industrieprodukte sind, liegt der optische Reiz in der handwerksgerechten Verarbeitung. Nicht die Beschaffenheit der einzelnen Steine entscheidet, sondern die ästhetische Gesamtwirkung der Fläche. Die Anforderungen an das Erscheinungsbild sind deshalb vom Planer eindeutig zu definieren.

6.3 Anwendungsbereiche

6.3.1 Wirtschaftsbauten

Für Wirtschaftsbauten wie Industriehallen, Werkstattgebäude usw. eignen sich Kalksandsteine besonders gut (Tafel 16). Kalksandsteine sind

- robust, dauerhaft beständig und mit harter Oberfläche widerstandsfähig auch gegen mechanische Beanspruchungen im Industriebereich,
- wegen ihrer hohen Steindruckfestigkeitsklassen von üblicherweise 12 oder 20 für hochbelastbares Mauerwerk geeignet,
- wegen ihrer hohen Maßgenauigkeit und ihrer planebenen Oberflächen für sichtbar bleibendes Mauerwerk außen und innen anwendbar,
- nicht brennbar – Baustoffklasse A nach DIN 4102 bzw. europäische Klasse A1 oder A2-s_1,d_0 nach DIN EN 13501-1 – und erfüllen damit auch hohe Brandschutzanforderungen in wirtschaftlichen Wanddicken und sind
- hoch schalldämmend bei hohen Steinrohdichteklassen (z.B. RDK 2,0).

6.3.2 Landwirtschaftliche Bauten

Wände von Ställen (und in geringerem Umfang auch von anderen landwirtschaftlichen Bauten) unterliegen erheblichen Anforderungen hinsichtlich ihrer Belastbarkeit und Dauerhaftigkeit.

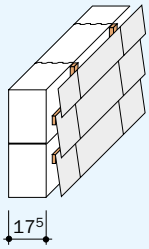
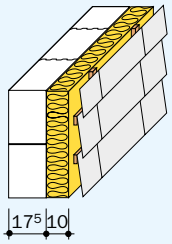
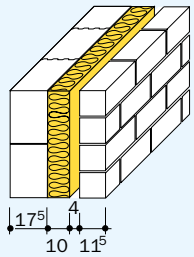
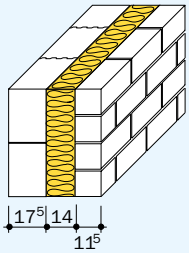
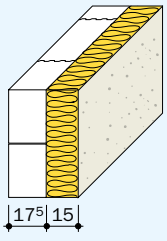
Mechanische Belastbarkeit

Der starke Bewegungsdrang der Tiere setzt mechanisch belastbare Baustoffe voraus, die in der Lage sind, statische und insbesondere dynamische Beanspruchungen aufzunehmen. Das betrifft zum Beispiel Schweineställe oder Pferdeställe, in denen die Wandflächen durch größere harte Stöße, z.B. durch Hufschlag, punktuell hoch beansprucht werden.

Diesen Anforderungen werden Wände aus KS-Mauerwerk durch ihre hohe Festigkeit in hohem Maße gerecht. Aufgrund der glatten Oberflächen der Kalksandsteine sind zudem Verletzungen der Tiere, die bei rauer Oberfläche auftreten können, nicht zu erwarten.

Glatt verputztes KS-Mauerwerk bietet hervorragenden Schutz vor Ankauen bzw. Befressen durch alle Tiere, insbesondere Rinder, Pferde und Schweine.

Tafel 16 KS-Außenwandkonstruktionen für Wirtschaftsbauten, Beispiele

	Konstruktion	Anwendungsbereich
	Einschalige KS-Außenwand mit hinterlüfteter Bekleidung innen: KS-Sichtmauerwerk (RDK 2,0), gestrichen, Fugen raumseitig winddicht verspachtelt außen: hinterlüftete Bekleidung U = 2,39 W/(m²·K)	Unbeheizte Gebäude, z.B. landwirtschaftliche Gebäude mit Außenklimabedingungen, die Fassadenbekleidung aus Holzschindeln, Faserzementplatten, Leichtmetallplatten o.Ä. bietet viele Möglichkeiten einer modernen Fassadengestaltung. ■ Hoher Regenschutz ■ Hoher Schallschutz
	Einschalige KS-Außenwand mit hinterlüfteter Bekleidung und Wärmedämmung innen: KS-Sichtmauerwerk (RDK 2,0), gestrichen, Fugen raumseitig winddicht verspachtelt Dämmschicht λ = 0,035 W/(m·K) außen: hinterlüftete Bekleidung U = 0,31 W/(m²·K)	Niedrig beheizte Gebäude, konstante Temperatur- und Feuchtebedingungen, z.B. Werkstattgebäude, Produktionsstätten, Verkaufsmärkte ■ Wärmeschutz ■ Hoher Regenschutz ■ Hoher Schallschutz
	Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung und Luftschicht innen: KS-Mauerwerk (RDK 2,0), gestrichen, Fugen raumseitig winddicht verspachtelt Dämmschicht λ = 0,035 W/(m·K) Luftschicht ≥ 4 cm (stark belüftet) außen: Sichtmauerwerk aus KS-Verblendern (RDK 2,0), imprägniert U = 0,31 W/(m²·K)	Niedrig beheizte Gebäude, konstante Temperatur- und Feuchtebedingungen, z.B. Werkstattgebäude, Produktionsstätten, Verkaufsmärkte ■ Wärmeschutz ■ Hoher Regenschutz ■ Hoher Schallschutz ■ Robuste Wandoberflächen
	Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung innen: KS-Mauerwerk (RDK 2,0), verputzt Dämmschicht λ = 0,035 W/(m·K) außen: Sichtmauerwerk aus KS-Verblendern (RDK 2,0), imprägniert U = 0,22 W/(m²·K)	Beheizte Gebäude, konstante Temperatur- und Feuchtebedingungen, z.B. Gebäude mit hohen Innentemperaturen, vorzugsweise Büro- und Verwaltungsgebäude, landwirtschaftliche Gebäude mit hohen Innentemperaturen (z.B. Schweineställe) ■ Hoher Wärmeschutz ■ Hoher Regenschutz ■ Hoher Schallschutz ■ Robuste Wandoberflächen
	Einschalige KS-Außenwand mit WDVS innen: KS-Mauerwerk (RDK 2,0), verputzt außen: WDVS mit Putzbeschichtung λ = 0,032 W/(m·K) U = 0,20 W/(m²·K)	Beheizte Gebäude, konstante Temperatur- und Feuchtebedingungen, z.B. Gebäude mit hohen Innentemperaturen, vorzugsweise Büro- und Verwaltungsgebäude, landwirtschaftliche Gebäude mit hohen Innentemperaturen (z.B. Schweineställe) ■ Hoher Wärmeschutz ■ Hoher Regenschutz ■ Hoher Schallschutz

Beständigkeit bei der Reinigung und Verwendbarkeit von Anstrichen und Beschichtungen

Von großer Bedeutung für die Tierhaltung ist die Stallhygiene sowohl durch ein gutes Stallklima als auch durch die erforderliche Reinhaltung. Stetig wiederkehrende Reinigung und Desinfektion sind ausschlaggebend für die Gesundheit der Tiere. Hierfür sind glatte Wandflächen notwendig, die auch einer wiederholten Einwirkung von Wasser und Desinfektionsmitteln ohne Schäden widerstehen und unempfindlich sind gegen die ständige Belastung durch die in der Stallluft enthaltenen Gase (NH_3, H_2S, CO_2) in Verbindung mit Staub oder hoher (Luft-) Feuchte.

Das KS-Mauerwerk ist ein hervorragend geeigneter Untergrund für Anstriche, Beschichtungen oder Fliesen. Die Wände sind so leichter zu reinigen und zu desinfizieren. Bei Anstrichen müssen die Fugenbereiche zwischen den Steinen sauber ausgebildet und glatt gestrichen sein. Zur besseren Reinigung können unverputzte Kalksandsteinwände auch mit einem elastischen Abdichtungssystem versehen werden. Verschiedene Hersteller von bauchemischen Produkten bieten hier erprobte Lösungen an.

In Schweineställen sollten die Wände stets bis zu einer Höhe von ca. 1,25 m durch Anstriche oder Beschichtungen geschützt werden. Die Stoffe müssen toxisch unbedenklich sein. Das ist durch Prüfzeugnisse der Hersteller nachzuweisen. Bei der Reinigung der Wände ist darauf zu achten, dass Anstriche bzw. Beschichtungen nicht in Folge ungeeigneter Düseneinstellung oder eines zu hohen Drucks des Hochdruckreinigers abgelöst werden.

Chemische Beständigkeit

In umfangreichen praxisnahen Untersuchungen der Kalksandsteinindustrie wurde die hohe Beständigkeit von Kalksandsteinen gegenüber Düngemitteln und aggressiven Medien nachgewiesen, wie sie in der Landwirtschaft vorkommen. Die Ergebnisse stimmen mit den Erfahrungen aus dem jahrzehntelangen Praxiseinsatz von KS-Wänden in der Landwirtschaft sehr gut überein. So ist KS-Mauerwerk weitgehend beständig gegen Gülle, z.B. aus der Schweinemast.

Stallklima

Das Klima in geschlossenen Ställen mit steuerbaren raumklimatischen Anlagen – Schweineställe für Mast und Ferkelaufzucht, Geflügelställe für Mast und Eierproduktion – wird durch eine Reihe von Einflussfaktoren bestimmt, u.a. durch:

- Temperatur und relative Feuchte der Außen- und Innenluft
- Wärmeleistung und Wasserdampfabgabe der Tiere
- Regelung der Lüftung
- Wärmeschutz der Außenwände und des Daches

Schwere Wände aus KS-Mauerwerk haben einen stabilisierenden Einfluss auf das Raumklima und dämpfen Wärme- und Feuchteschwankungen. Das ist besonders im Sommer von Bedeutung: Die hohe Wärmespeicherfähigkeit wirkt wie eine natürliche Klimaanlage.

Für Stallgebäude mit hohen relativen Luftfeuchten im Innern sind hochgedämmte KS-Außenwandkonstruktionen (einschaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem oder hinterlüfteter Außenwandbekleidung sowie zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung) besonders geeignet.

Brandschutz von Ställen

Der Brandschutz spielt bei landwirtschaftlichen Bauten eine große Rolle, zumal die Tiere selbst im Brandfall ihre gewohnte Umgebung nicht verlassen. Die Kalksandsteine sind nicht brennbar und sind der Baustoffklasse A1 nach DIN 4102 bzw. der europäischen Klasse A1 oder A2-s_1,d_0 nach DIN EN 13501-1 zuzuordnen. Damit bieten KS-Wände mit hoher Feuerwiderstandsklasse den notwendig hohen Brandschutz.

Anforderungen bei der Lagerung von landwirtschaftlichen Nebenprodukten

Bei der Lagerung und dem Umschlagen von landwirtschaftlichen Nebenprodukten wie Jauche, Gülle und Silagesickersäften sind u.a. die Vorgaben der folgenden Regelungen einzuhalten:

- Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (WHG) [39]
- Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (VAwS) [40] und die diesbezüglichen Verwaltungs- und Ausführungsvorschriften der Bundesländer

Gemäß den Anforderungen des Wasserhaushaltsgesetzes müssen Anlagen zum Lagern und Abfüllen von Jauche, Gülle und Silagesickersäften (JGS-Anlagen) so beschaffen sein, dass der bestmögliche Schutz der Gewässer vor Verunreinigung oder sonstiger nachteiliger Veränderung ihrer Eigenschaften erreicht wird. Dies gilt für den Bau und die Unterhaltung dieser Anlagen gleichermaßen.

Grundsätzlich ist in Bereichen, die im Geltungsbereich des WHG liegen, die Abdichtung von KS-Mauerwerk mit geeigneten bauchemischen Produkten erforderlich.



Bild 49 Rohbau eines Maststalls

7. Frei stehende KS-Wände

Frei stehende Wände werden weder seitlich durch Querwände oder Stützen, noch oben durch anschließende Decken- oder Ringbalken gehalten. Dies trifft z.B. für Einfriedungen und Brüstungen zu.

7.1 Standsicherheit

Die Ermittlung der Eigen- und Horizontallasten erfolgt gemäß DIN EN 1991-1-1/NA [41] und DIN EN 1991-1-4/NA [42]. Für die Windlastannahmen sind die Windlastzone, die Geländekategorie und die Höhenlage der Bauteile über Gelände zu beachten.

Ohne Aussteifung und ohne Auflast ergibt sich nach [43] bei Verwendung von KS-Blocksteinen (Steinrohdichteklasse 2,0) mit einer Schichtmaßhöhe 25 cm exemplarisch für die Windlastzone 2 die folgende zulässige – und in der Regel wenig praktikable – Anzahl von Steinschichten:

- Wanddicke 17,5 cm: 1 Steinschicht
- Wanddicke 24 cm: 2 Steinschichten
- Wanddicke 30 cm: 3 Steinschichten
- Wanddicke 36,5 cm: 5 Steinschichten

Die Angaben gelten für eine Kronenhöhe der Wände bis zu maximal 8 m über Geländeoberkante.

Sollen frei stehende Mauerwerkswände höher gemauert werden, sind diese Wände durch Pfeiler und ggf. zusätzlich durch biegesteife Querriegel auszusteifen. Ohne Riegel gilt die Wand als dreiseitig gehalten. Mit einem zusätzlichen biegesteifen Querriegel als Wandkrone kann von einer vierseitigen Halterung ausgegangen werden. Zur Aussteifung eignen sich Stahlprofile oder Stahlbetonpfeiler. Damit werden die in Tafel 17 angegebenen Wandhöhen ausführbar.



Bild 50 Frei stehende KS-Wand mit Aussteifungen

7.2 Gebrauchstauglichkeit

Zur Minimierung der Rissgefährdung aus hygrothermischer Zwangsbeanspruchung sollten die Einzelwandlängen frei stehender Wände (ohne zusätzliche Aussteifung) 6 bis 8 m nicht überschreiten.

7.3 Witterungsschutz

Für unverputzte frei stehende Wände sind KS-Verblender zu wählen.

Frei stehende Wände müssen an der Mauerkrone gegen Regenwasser geschützt werden. Hierfür eignen sich Natursteinplatten, Mauerabdeckungen aus vorgefertigten Aluminiumprofilen, Betonfertigteile, Dachziegel etc. Dabei ist auf einen ausreichenden Überstand sowie die Ausbildung von Abtropfkanten (Bild 50) zu achten.

Rollschichten aus Mauerwerk haben sich als obere Abdeckung von frei stehenden Wänden nicht bewährt, da insbesondere der Fugenmörtel durch die starke Regenbeanspruchung in der Dauerhaftigkeit gefährdet ist.

Tafel 17 Aussteifung frei stehender Wände aus KS mit bzw. ohne oberen Querriegel bei einer Höhe über Gelände von 0 bis 8 m[1)]

Wanddicke *d* [cm]	Wandhöhe *h* [m]	Empfohlener Abstand *a* [m]	Aussteifungspfeiler: Stahlprofil (statisch erforderlich)[3)]	Aussteifungspfeiler: Stahlbetonquerschnitt *b/d* [4)] [cm/cm]
mit oberem Querriegel				
11,5[2)]	1,50 2,00 2,50 3,00	5,50 4,00 3,50 3,00	I 120 I 120 I 120 I 120	35/12 40/12 45/12 50/12
17,5	2,00 2,50 3,00 3,50	5,50 4,50 3,50 3,00	I 180 I 180 I 180 I 180	30/18 35/18 40/18 45/18
24	2,50 3,00 3,50 4,00	8,00 6,50 5,50 5,00	I 240 I 240 I 240 I 240	30/24 35/24 40/24 45/24
ohne oberen Querriegel				
11,5[2)]	1,00 1,50 2,00	3,50 3,00 2,00	I 120 I 120 I 120	20/12 30/12 40/12
17,5	1,50 2,00 2,50	3,50 2,50 2,00	I 180 I 180 I 180	20/18 30/18 40/18
24	2,00 2,50 3,00	5,00 4,00 3,00	I 240 I 240 I 240	20/24 25/24 30/24

[1)] Die Angaben gelten für ein Mischprofil der Geländekategorien I–II (Regelprofil im Binnenland) der Windlastzone 2.
[2)] Mindestens Steindruckfestigkeitsklasse 12
[3)] Aus konstruktiven Gründen werden größere Stahlquerschnitte empfohlen.
[4)] Bewehrung gemäß statischem Nachweis



Literatur

[1] ARGEBAU (Arbeitsgemeinschaft der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister der Bundesländer): Musterbauordnung (MBO) von November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 30.05.2016

[2] DIN EN 1996: Eurocode 6 – Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten (4 Teile: DIN EN 1996-1-1:2013-02, DIN EN 1996-1-2:2011-04, DIN EN 1996-2:2010-12, DIN EN 1996-3:2010-12 mit jeweils Nationalem Anhang NA)

[3] DIN EN 13501: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten (6 Teile: DIN EN 13501-1:2010-01 bis DIN EN13501-6:2014-07)

[4] DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen (17 Teile: DIN 4102-1:1998-05 bis DIN 4102-5:1977-09, DIN 4102-7:1998-07 bis DIN 4102-9:1990-05, DIN 4102-11:1985-12 bis DIN 4102-18:1991-03, DIN 4102-20:2017-10)

[5] Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), August 2017

[6] DIN 4108: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden (6 Teile und Beiblatt: DIN 4108-2:2013-02 bis DIN 4108-4:2017-03, DIN 4108-7:2011-01, DIN 4108-10:2015-12, DIN 4108-11:2017-10 Entwurf, DIN 4108 Beiblatt 2:2006-03)

[7] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 24.07.2007, zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 24.10.2015

[8] Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.): KS-Wärmebrückenkatalog (kostenfreier Download unter www.ks-waermebruecken.de)

[9] Kück, U.; Nowrousian, M.; Hoff, B.; Engh, I.: Schimmelpilze – Lebensweise, Nutzen, Schaden, Bekämpfung. 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin 2009

[10] Umweltbundesamt (Hrsg.): Schimmel im Haus – Ursachen, Wirkungen, Abhilfe. Berlin 2014

[11] Deutsche Energie Agentur (Hrsg.): Gesund Wohnen. Gut gelüftet. Schlau geheizt. Berlin 2015

[12] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau (9 Teile und 2 Beiblätter: DIN 4109-1:2016-07, DIN 4109-2:2016-07, DIN 4109-4:2016-07, DIN 4109-31:2016-07 bis DIN 4109-36:2016-07, DIN 4109 Beiblatt 2:1989-11, DIN 4109 Beiblatt 3:1996-06)

[13] Klaas, H.; Schulz, E.: Schäden an Außenwänden aus Ziegel- und Kalksandstein-Verblendmauerwerk. 2. Auflage, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2002 (Reihe: Schadenfreies Bauen – Band 13)

[14] Vogdt, F. U.; Bredemeyer, J.; Keßlau, H. (TU Berlin): Punktförmige Wärmebrücken bei Verblendmauerwerk – Einflüsse, Auswirkungen und energetische Optimierung. – In: Mauerwerk, Heft 6/13, Verlag Ernst & Sohn, Berlin

[15] Schubert, P.: Verformung und Rissesicherheit. – In: KALKSANDSTEIN – Planung, Konstruktion, Ausführung, 6. Auflage, 2014

[16] Kasten, D.; Schubert, P.: Verblendschalen aus Kalksandsteinen – Beanspruchung, rissfreie Wandlänge, Hinweise zur Ausführung. – In: Bautechnik 62 (1985), Nr. 3, S. 86–94

[17] Schubert, P.: Zur rissfreien Wandlänge von nichttragenden Mauerwerkwänden. – In: Mauerwerk-Kalender 13, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1988, S. 473–488

[18] Schubert, P.: Formänderungen von Mauersteinen, Mauermörtel und Mauerwerk. – In: Mauerwerk-Kalender 17, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1992, S. 623–637

[19] Schubert, P.: Vermeiden von schädlichen Rissen in Mauerwerksbauten. – In: Mauerwerk-Kalender 21, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1996, S. 621–651

[20] DIN 18533 Abdichtung von erdberührten Bauteilen (3 Teile: DIN 18533-1:2017-07, DIN 18533-2:2017-07 und DIN 18533-3:2017-07)

[21] Deutsche Bauchemie e.V.: Richtlinie für die Planung und Ausführung von Abdichtungen mit kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtungen (KMB) – erdberührte Bauteile – 3. Ausgabe, 2010
[22] Cziesielski, E.; Vogdt, F. U.: Schäden am Wärmedämm-Verbundsystemen. 2. Auflage, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2007 (Reihe: Schadenfreies Bauen – Band 20)
[23] FIW – Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München: Technologien und Techniken zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Wärmedämmstoffe (Metastudie Wärmedämmstoffe – Produkte – Anwendungen – Innovationen) vom 29.11.2013
[24] Fraunhofer Institut für Bauphysik: Künzel, H.; Krus, M.; Lengsfeld, K.: Beurteilung der Langzeitbewährung von ausgeführten Wärmedämmverbundsystemen, IBP-Bericht HTB-06/2015, Februar 2015
[25] EU-Verordnung Nr. 305/2011 (Bauproduktenverordnung – BauPVO) vom 09.03.2011
[26] ETAG 004 (European Technical Approval Guideline): Leitlinie für die europäische technische Zulassung für außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme mit Putzschicht, Februar 2013
[27] DIN EN 13163:2017-02: Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus expandiertem Polystyrol (EPS) – Spezifikation
[28] DIN EN 13162:2015-04: Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) – Spezifikation
[29] Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme e.V.: Technische Systeminformationen – Kompendium WDVS und Brandschutz, 2016
[30] Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.): KS-Schallschutzrechner (kostenfreier Download unter www.kalksandstein.de)
[31] Industrieverband WerkMörtel e.V.: Merkblatt – Total Solar Reflectance, 2014
[32] Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.): KS-Detailsammlung (kostenfreier Download unter www.kalksandstein.de)
[33] DIN 18516: Außenwandbekleidungen, hinterlüftet (4 Teile: DIN 18516-1:2010-06, DIN 18516-3:2013-09 bis DIN 18516-5:2013-09)
[34] FVHF – Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V.: Richtlinie – Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden, 1998
[35] Cziesielski, E.; Schrepfer, T.: Hinterlüftete Außenwandkonstruktionen und Wärmedämmverbundsysteme. – In: Betonkalender 1998, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1998
[36] FVHF – Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V.: FVHF-Focus Nr. 4: Die Schalldämmung mit vorgehängten hinterlüfteten Fassaden
[37] WTA Merkblatt 2-5-97 D: Anti-Graffiti-Systeme, 1998
[38] FVHF – Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V.: FVHF-Focus Nr. 14: Hochwirksamer Gebäudeblitzschutz mit vorgehängten hinterlüfteten Fassaden
[39] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) vom 31.07.2009, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18.07.2017
[40] Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (VAwS) vom 18.04.2017
[41] DIN EN 1991-1-1:2010-12 mit Nationalem Anhang NA: Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau
[42] DIN EN 1991-1-4:2010-12 mit Nationalem Anhang NA: Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Windlasten
[43] Graubner, C.A.; Schmitt, M.: Tragverhalten freistehender windbeanspruchter Mauerwerkswände aus Kalksandstein nach DIN EN 1996/NA; Gutachten 120243 von 06/2013

Bildnachweise

Bild S. 36, Bild S. 37 unten: Csaba Mester; **Bild S. 41:** Walter Graf; **Bild S. 47 unten:** Architekten Spiekermann/Frank Vinken/KS-ORIGINAL; **Bild 15, Bild 16:** Halfen; **Bild S. 79:** Andreas Friese

Bild S. 37 oben, Bild S. 43, Bild 7, Bild 11, Bild 23, Bild S. 65, Bild S. 68, Bild S. 75, Bild 49, Bild 50: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.



Kapitel 3

SICHTMAUERWERK

Stand: 01/2018

Prof. Dr.-Ing. Manfred Prepens

KS-Sichtmauerwerk mit glatter oder strukturierter Oberfläche bietet eine Fülle von gestalterischen Möglichkeiten, speziell auch in Kombination mit anderen Baustoffen, wie Holz, Glas und Beton. Das feine Fugennetz gliedert die Sichtmauerwerksflächen maßstäblich und unaufdringlich. KS-Sichtmauerwerk kann unbehandelt bleiben, farblos imprägniert oder deckend gestrichen werden.

Sowohl bei Außen- als auch bei Innenwänden wird KS-Sichtmauerwerk als Gestaltungselement eingesetzt.

Außensichtmauerwerk

Nach DIN EN 1996-2/NA [1] sind frostwiderstandsfähige Kalksandsteine nach DIN 20000-402 [2] zu verwenden und zwar

- KS-Verblender (KS Vb) oder KS-Vormauersteine (KS Vm) für zweischaliges Mauerwerk mit oder ohne Wärmedämmung,
- KS-Verblender (KS Vb) oder KS-Vormauersteine (KS Vm) für einschaliges Außensichtmauerwerk,
- KS-Verblender (KS Vb) bei Kellereingangsmauern, Stütz- und Gartenmauern, stark strukturiertem Mauerwerk, Schornsteinköpfen und ähnlichen Anwendungsbereichen.

Innensichtmauerwerk

Für Innensichtmauerwerk spielt die Frostwiderstandsfähigkeit der Steine üblicherweise keine Rolle. Spezielle Verblendsteine für Innensichtmauerwerk gibt es nicht, so dass hier im Einzelfall zu entscheiden ist, ob KS-Verblender, KS-Vormauersteine oder Kalksandsteine ohne besondere Anforderungen (Hintermauersteine) – letztere bei geringeren optischen Anforderungen – zur Anwendung kommen. Regional werden auch Kalksandsteine mit höheren optischen Anforderungen für Innensichtmauerwerk mit der Bezeichnung „IS“ angeboten.

Tafel 1 Außen- und Innensichtmauerwerk – Unterschiede

Außensichtmauerwerk	Innensichtmauerwerk
Verblendmauerwerk von ein- und zweischaligen Außenwänden	Innensichtmauerwerk mit hohen optischen Anforderungen
Verblendmauerwerk für Industriebauten und Bauten in der Landwirtschaft	Sichtbar belassenes Innenmauerwerk mit geringen optischen Anforderungen, z.B. in untergeordneten Räumen

1. Planung und Ausschreibung

Der *Begriff Sichtmauerwerk* ist nicht eindeutig definiert, und es kann sehr Unterschiedliches darunter verstanden werden. Einheitliche Kriterien für das optische Erscheinungsbild von Sichtmauerwerk gibt es nicht. Um Missverständnisse zwischen Planern, Bauunternehmern und Bauherren zu vermeiden, muss daher die erwartete Leistung – das Sichtmauerwerk – in der Leistungsbeschreibung möglichst vollständig und eindeutig beschrieben werden. Zu empfehlen ist, dass in der Leistungsbeschreibung neben Mustersteinen auch eine Musterfläche vereinbart wird. Mit Hilfe einer solchen Musterfläche können Steine, Mauerverband und Verfugung festgelegt und abgestimmt werden.

Die *konstruktive Ausführung* von Mauerwerk dagegen ist in Normen, Richtlinien und Merkblättern eindeutig beschrieben.



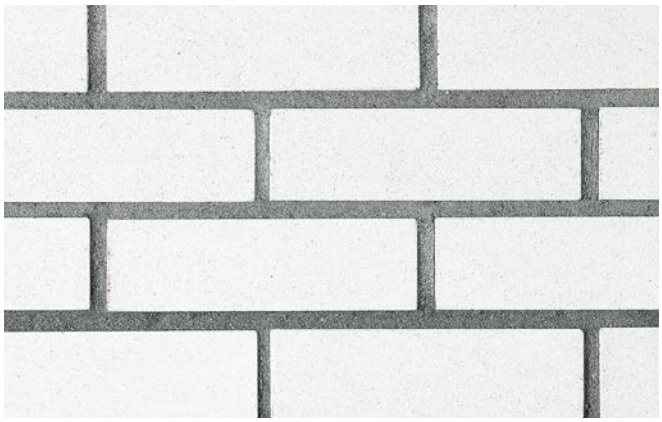


Bild 1 Sichtmauerwerk aus glatten KS-Verblendern im Format NF

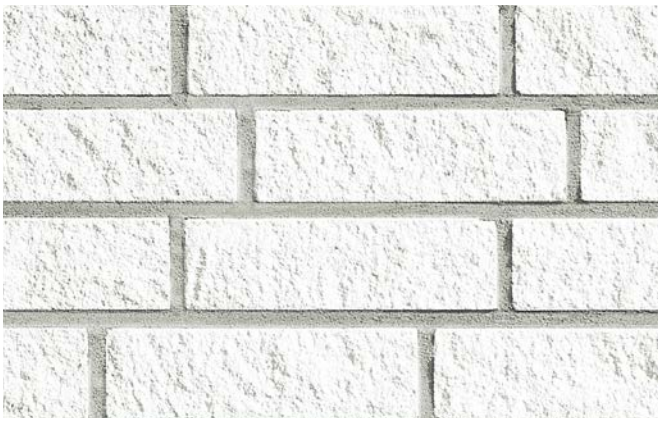


Bild 2 Sichtmauerwerk aus bruchrauen KS-Verblendern, Format NF

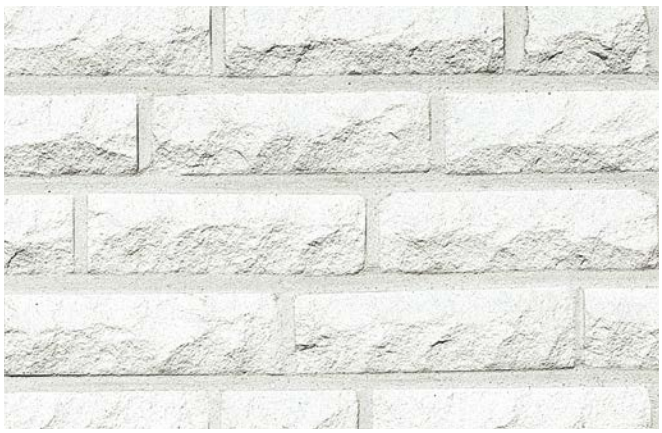


Bild 3 Sichtmauerwerk aus bossierten KS-Verblendern, Format NF, weißer Fugenmörtel



Bild 4 Sichtmauerwerk aus KS-Fasensteinen, außen in Verblenderqualität und mit vermörtelten Stoßfugen

Konstruktive Ausführung

Sicht- und Verblendmauerwerk wird nach der Mauerwerksnorm DIN EN 1996/NA [1] ausgeführt sowie nach VOB/C:ATV DIN 18330 [3] ausgeschrieben und abgerechnet.

Festgelegt sind:

- Die Soll-Dicken der Fugen mit Stoßfugen = 1 cm und Lagerfugen = 1,2 cm
- Das Überbindemaß beträgt mindestens das 0,4-fache der Steinhöhe. Bei Schichthöhen unter 12,5 cm gilt $l_{ol} \geq 4{,}5$ cm.
- Die Begrenzung der zulässigen Maßabweichungen der Steine und des Sichtmauerwerks

Diese Festlegungen sind konstruktiv begründet und betreffen sowohl Sichtmauerwerk als auch Hintermauerwerk, das verputzt wird. Sie sagen jedoch wenig über das optische Erscheinungsbild aus.

Von der Tradition her gibt es weiterhin Regeln und Festlegungen bei den Mauerverbänden, z.B. bei Läuferverband, Kreuzverband, Blockverband.

Tafel 2 Übersicht über verschiedene Anwendungsbereiche und die entsprechenden Steinarten

Anforderungen an die Steine	Steinart	Anwendungsbereich, Beispiele
Hohe optische Anforderungen, Frostwiderstandsfähigkeit	KS-Verblender (KS Vb); mit oder ohne Anstrich oder Imprägnierung	Verblendmauerwerk von ein- und zweischaligen Außenwänden
Normale optische Anforderungen, Frostwiderstandsfähigkeit	KS-Verblender (KS Vb); KS-Vormauersteine (KS Vm)	Außensichtmauerwerk für Industriebauten und Bauten in der Landwirtschaft
Hohe optische Anforderungen, jedoch keine Anforderungen an die Frostwiderstandsfähigkeit	KS-Verblender (KS Vb); mit oder ohne Anstrich	Innensichtmauerwerk in Wohnbereichen und repräsentativen Gebäuden
Geringe optische Anforderungen, keine Anforderungen an die Frostwiderstandsfähigkeit	Kalksandsteine (auch nicht frostwiderstandsfähige), vorzugsweise mit Anstrich oder Schlämme	Sichtbar belassenes Innenmauerwerk in untergeordneten Räumen, Kellermauerwerk, Industriebauten und Bauten in der Landwirtschaft

2. Einflüsse auf die Gestaltung von KS-Sichtmauerwerk

Einflüsse auf die Gestaltung von KS-Sichtmauerwerk sind

- Steinart und Steinformat
- Steinoberfläche
- Mauerverband
- Verfugung
- Oberflächenbehandlung

2.1 Steinart und Steinformat

Für Sichtmauerwerk sind hochwertige Verblendsteine zu verwenden. Sofern das Sichtmauerwerk nicht deckend gestrichen wird, sind die Verblendsteine für ein Gebäude nur von einem Werk zu beziehen, da sonst Farbunterschiede nicht zu vermeiden sind.

Weiterhin sollten die Liefermengen so disponiert werden, dass sie für einen Bauabschnitt oder zumindest für einen Wandabschnitt ausreichen, da auch geringe Unterschiede von Produktionscharge zu Produktionscharge nicht ganz auszuschließen sind.

INFO

KS-Verblender und KS-Vormauersteine haben herstellungsbedingt jeweils nur eine kantensaubere Kopf- und Läuferseite. Das ist beim Vermauern durch entsprechendes Drehen der Steine zu berücksichtigen. Bei erhöhten Anforderungen, wie z.B. beidseitigem Ein-Stein-Sichtmauerwerk, kann es erforderlich sein, auf der Baustelle eine gewisse Anzahl von Steinen auszusortieren.

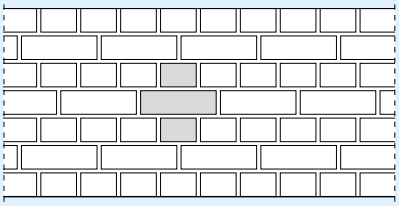
Verblendsteine gibt es in sehr unterschiedlichen Formaten, vom DF (Schichthöhe 6,25 cm) und NF (Schichthöhe 8,3 cm) zum 2 DF (Schichthöhe 12,5 cm) und größeren Formaten, z.B. 4 DF (115) (Schichthöhe 25 cm).

Hierbei ist zu berücksichtigen: Je größer das Steinformat ist, desto stärker fallen Unregelmäßigkeiten bei den Steinen oder insbesondere beim Mauerverband auf. Bei großformatigen Verblendsteinen sollten daher der Mauerverband, die Eckausbildungen sowie das Einpassen der Tür- und Fensteröffnungen in den Mauerwerksverband geplant werden.

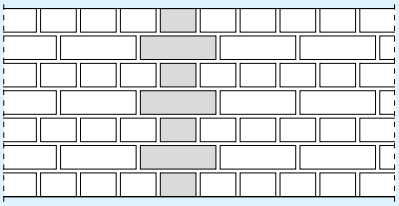




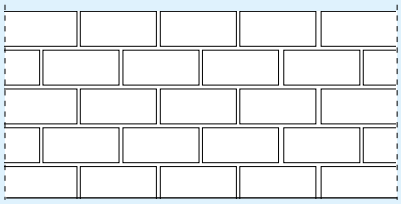




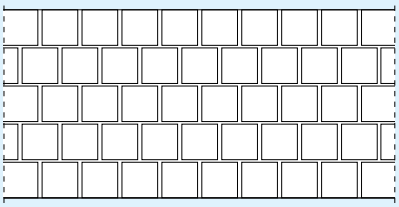
Kreuzverband



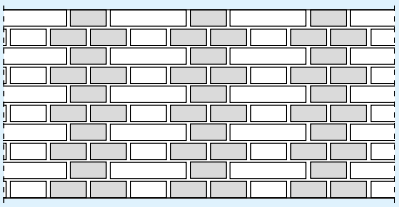
Blockverband



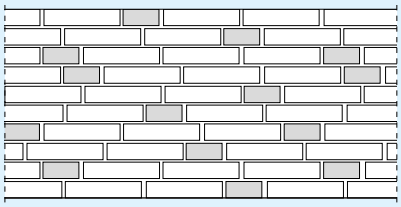
Läuferverband, besonders günstig mit Halbstein-Überbindung



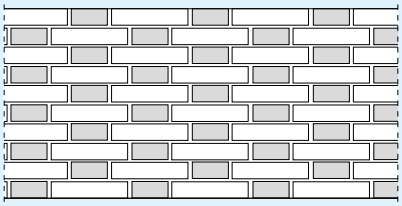
Binderverband



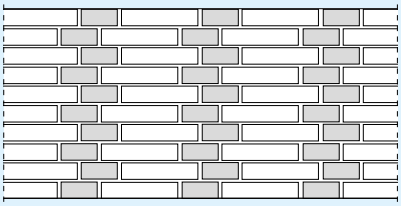
Holländischer Verband



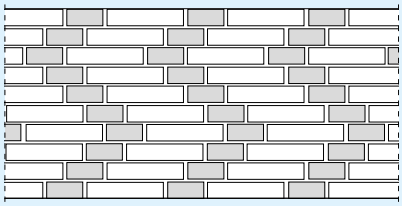
Wilder Verband



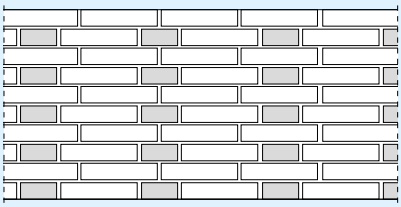
Gotischer Verband mit Läufer-Binder-Schichten



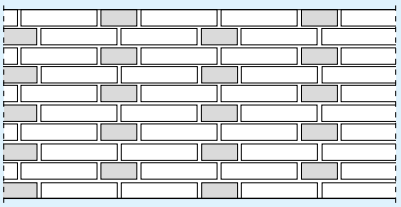
Gotischer Verband – Abwandlung



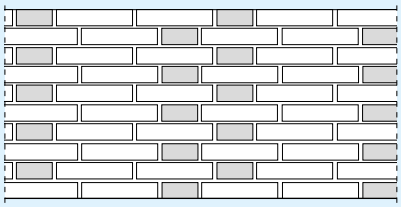
Gotischer Verband – Abwandlung als Zickzack-Verband



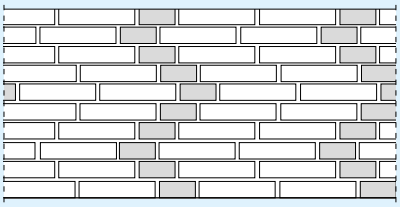
Gotischer Verband – Abwandlung mit Läuferschichten



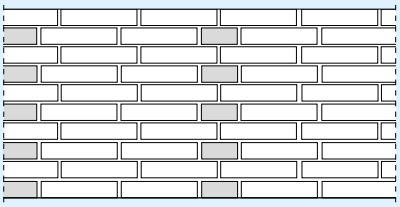
Märkischer Verband mit Läufer-Binderschichten



Märkischer Verband – Abwandlung



Märkischer Verband – Abwandlung als Zickzack-Verband



Märkischer Verband – Abwandlung mit Läuferschichten

Jeder Grundverband kann durch Verschieben der Schichten abgewandelt werden.

Bild 5 Mauerverbände für Sicht- und Verblendmauerwerk, Beispiele





2.2 Steinoberfläche

Durch die Wahl der Steinoberfläche – glatt oder strukturiert (bruchrau, bossiert oder gefast) – lassen sich sehr unterschiedliche gestalterische Wirkungen erreichen (siehe Bilder 1 bis 4).

2.3 Mauerverband

Sichtmauerwerk von Verblendschalen oder Einsteinmauerwerk mit einer Steinreihe je Schicht wird meist im Läuferverband ausgeführt. Zur Verbesserung der Risssicherheit ist ein Mauerverband mit halbsteiniger Überdeckung einem Verband mit viertelsteiniger Überdeckung vorzuziehen (Beispiel Bild 5).

2.4 Verfugung

Die Art der Verfugung hat ebenfalls großen Einfluss auf das Erscheinungsbild. Die nachfolgend dargestellten Ausführungsvarianten können zur Anwendung kommen.

2.4.1 Nachträgliche Verfugung

Die *nachträgliche Verfugung* führt zu glatten Fugen. Der Fugenmörtel wird nach Fertigstellung der Sichtmauerwerksfläche in einem separaten Arbeitsgang eingebracht. Dadurch kann die Mörtelfugenfarbe unabhängig vom Mauermörtel gewählt werden.

Fugenfarbe: Die Farbe des Fugenmörtels bestimmt den Kontrast zwischen Steinen und Fugen. Weiße Verblendsteine mit weißen Mörtelfugen ergeben ein flächig wirkendes Sichtmauerwerk. Steine und Fugen treten in der Fläche optisch stark zurück. Bei dunklem Fugenmörtel und hellen Steinen sind die einzelnen Steine und Schichten deutlicher abzulesen. Außenschalen mit Dicken < 105 mm müssen nach DIN EN 1996-2/NA grundsätzlich mit Fugenglattstrich ausgeführt werden.

2.4.2 Fugenglattstrich

Der *Fugenglattstrich* ergibt im Allgemeinen halbrund geformte Fugen. Der Mauermörtel wird beim Aufmauern des Sichtmauerwerks mit einem Schlauch oder einem Fugholz glattgestrichen.

INFO

Für Außensichtmauerwerk sind frostwiderstandsfähige KS-Verblender und KS-Vormauersteine nach DIN 20000-402 und vorzugsweise Werk-Trockenmörtel zu verwenden.

Für Innensichtmauerwerk ohne Anforderungen an die Frostwiderstandsfähigkeit sollten bei hohen optischen Anforderungen ebenfalls KS-Verblender oder KS-Vormauersteine verwendet werden. Bei geringeren optischen Anforderungen, z.B. bei Kellermauerwerk, Industrie- und Wirtschaftbauten, können auch Kalksandsteine ohne besondere optische Anforderungen zur Anwendung kommen.

Verblendsteine für ein Gebäude sollten nur von einem Werk bezogen werden, da sonst Farbunterschiede nicht zu vermeiden sind. Weiterhin empfiehlt es sich, die Liefermengen so zu disponieren, dass sie für einen Bauabschnitt oder zumindest für einen Wandabschnitt ausreichen.

Eventuelle Mängel an den Steinen müssen bei der Anlieferung, in jedem Fall jedoch vor der Verarbeitung dem Lieferanten angezeigt werden. Keinesfalls sollten Steine verarbeitet und erst später reklamiert werden.

Ein langfristig einwandfreies Erscheinungsbild von KS-Sichtmauerwerk setzt voraus, dass das Mauerwerk handwerksgerecht erstellt wird. Es ist auch auf eine wirksame Ableitung des Regenwassers zu achten. Horizontale und schräge Mauerwerksflächen sind mit wasserundurchlässigen Materialien abzudecken. Fensterbänke und Attikaabdeckungen sollten mit Überstand und Tropfkante ausgeführt werden.

2.4.3 Geschlämmtes Mauerwerk

Geschlämmtes Mauerwerk wird häufig bei Kellermauerwerk, in Nebenräumen oder bei Industriebauten als preisgünstige Form des Sichtmauerwerks (sichtbar belassenes Mauerwerk) mit Abstrichen an das optische Erscheinungsbild ausgeführt.

Durch das Schlämmen mit einem Quast beim Aufmauern entsteht ein mehr oder weniger „rustikales Sichtmauerwerk“, das

anschließend mit einem deckenden Anstrich versehen werden kann. Wirtschaftlich erstelltes Planstein-Mauerwerk mit unvermörtelten Stoßfugen erhält durch Schlämmen eine optisch geschlossene Oberfläche.

2.5 Oberflächenbehandlung

Sichtmauerwerk kann aus optischen Gründen farblos imprägniert oder mit einem deckenden Anstrich versehen werden.

Auf witterungsbeanspruchtem KS-Außensichtmauerwerk sind nur Beschichtungen und Imprägnierungen geeignet, die die Wasserdampfdurchlässigkeit gegenüber dem unbehandelten Stein nicht erheblich vermindern (siehe auch Abschnitt 7.4.1). Deshalb sollten für KS-Außensichtmauerwerk nur Imprägniermittel und Beschichtungssysteme angewendet werden, die vom Hersteller des Beschichtungssystems ausdrücklich für KS-Außensichtmauerwerk als geeignet angegeben sind.

Eine *farblose Imprägnierung* verändert das Erscheinungsbild des Sichtmauerwerks nicht, sie bewirkt jedoch einen gewissen Selbstreinigungseffekt und wirkt insbesondere bei Verblendsteinen mit strukturierten Oberflächen einer Verschmutzung entgegen. Nach Regen trocknet das Sichtmauerwerk an der Oberfläche gleichmäßig und schnell ab, unterschiedliche Feuchtigkeit tritt optisch nicht in Erscheinung.

Bei *deckenden Anstrichen* wirkt das Sichtmauerwerk flächig. Der Kontrast zwischen Steinen und Fugen tritt in der Fläche deutlich zurück. Leichte Verschmutzungen beim Erstellen des Sichtmauerwerks oder Unregelmäßigkeiten der Verfugung sind weniger auffällig.

Eventuelle Mängel an den Steinen müssen bei der Anlieferung, in jedem Fall jedoch vor der Verarbeitung dem Lieferanten angezeigt werden. Keinesfalls sollten Steine verarbeitet und erst später reklamiert werden.



3. Anlieferung der Verblender

Die Verblender werden im Allgemeinen mit Folien geschützt und auf Paletten angeliefert. Das gewährleistet eine schonende Behandlung beim Be- und Entladen und schützt die Steinpakete vor Verschmutzung. Der Transport zur Baustelle erfolgt mit Kranfahrzeugen.

Die Entladestellen auf der Baustelle sind so vorzubereiten, dass die angelieferten Steine auf einem befestigten ebenen Untergrund abgesetzt werden können. Für den Weitertransport auf der Baustelle sind Krangreifer zu empfehlen (Bild 6).



Bild 6 **Die Lagerung von Steinen und Mörtel erfolgt witterungsgeschützt auf tragfähigem, ebenem Untergrund.**

4. Mörtel und Verfugung

Die Steine entziehen dem frischen Mörtel einen Teil des Anmachwassers. Damit der Mörtel nicht aufbrennt, muss der Mörtel ein auf die Saugcharakteristik der Kalksandsteine abgestimmtes Wasserrückhaltevermögen haben.

Für KS-Sichtmauerwerk müssen die Mörtel frei sein von Salzen, Lehmanteilen und anderen organischen oder anorganischen Verunreinigungen, die zu Ausblühungen oder Verfärbungen des Sichtmauerwerks führen können. In der Praxis gut bewährt haben sich Werk-Trockenmörtel.

Für KS-Sichtmauerwerk ist die Lieferform Werk-Trockenmörtel dem Baustellenmörtel aus folgenden Gründen vorzuziehen:

- Gleich bleibend hohe Qualität und Sicherheit durch Gewährleistung einer genaueren Dosierung der Mörtelausgangsstoffe und damit einfache Handhabung auf der Baustelle
- Einheitliche Farbe der Fugen
- Abstimmung des Wasserrückhaltevermögens auf das Saugverhalten der jeweiligen Kalksandstein-Verblender und damit höhere Sicherheit gegen das „Aufbrennen“ des Mörtels
- Hoher und schneller Haftverbund
- Einfachere Logistik durch gleichzeitige Lieferung von Steinen und Mörtel

4.1 Nachträgliche Verfugung

Nach VOB/C ATV DIN 18330 ist die Ausführung mit Fugenglattstrich die Regelausführung. Dies ist bei Ausschreibung bzw. Angebot zu beachten. Außenschalen von zweischaligem Verblendmauerwerk mit Dicken < 105 mm dürfen nur mit Fugenglattstrich ausgeführt werden.

Bei der nachträglichen Verfugung beträgt die Mindestdicke der Außenschale 105 mm. Die Fugen sind mindestens 1,5 cm tief und flankensauber beim Aufmauern „auszukratzen“.

Das Auskratzen der Fugen soll mit einem Holzbrettchen erfolgen, Bild 7. So werden Beschädigungen an den Steinkanten vermieden und es wird eine gleichmäßige Fugentiefe erreicht.

Der Fugenmörtel wird in einem späteren Arbeitsgang hohlraumfrei so eingebracht, dass die Fugen mit der Vorderkante der Steine bzw. des Mauerwerks bündig abschließen.

4.1.1 Ausführung

Die Fugen des Sichtmauerwerks werden gesäubert und gründlich vorgenässt. Danach wird der erdfeuchte bis plastische Fugenmörtel mit einer Fugenkelle hohlraumfrei eingebracht und verdichtet. Dabei werden die Lager- und Stoßfugen gut miteinander verbunden. Es ist auf eine gute Flankenhaftung des Mörtels an den Steinen zu achten.

Es ist darauf zu achten, dass der Fugenmörtel nicht über die Verblendsteine gewischt wird. Bei weißem Fugenmörtel ist darauf zu achten, dass nicht durch ungeeignetes Werkzeug Stahlabrieb die weißen Fugen dunkel verfärbt. Es sollte z.B. eine Fugkelle aus nicht rostendem Stahl verwendet werden.

4.1.2 Nachbehandlung

Um ein gleichmäßiges Fugenbild zu erzielen, sollte die nachträgliche Verfugung nur bei günstiger trockener Witterung ausgeführt werden. Das frische Sichtmauerwerk ist vor starkem Regen und starker Sonneneinstrahlung zu schützen und bei sommerlicher trockener Witterung mit Wasser zu besprühen.

4.2 Fugenglattstrich

Das Sichtmauerwerk wird vollfugig erstellt. Beim Fugenglattstrich sind die Fugen in ihrer ganzen Tiefe „aus einem Guss“, das heißt, der Mauermörtel ist gleichzeitig auch der Fugenmörtel. Hierbei handelt es sich um eine technisch einwandfreie und sehr wirtschaftliche Technik, bei der jedoch vorauszusetzen ist, dass die Maurer die Technik des Fugenglattstrichs beherrschen und ein optisch einwandfreies Fugenbild erstellen können.

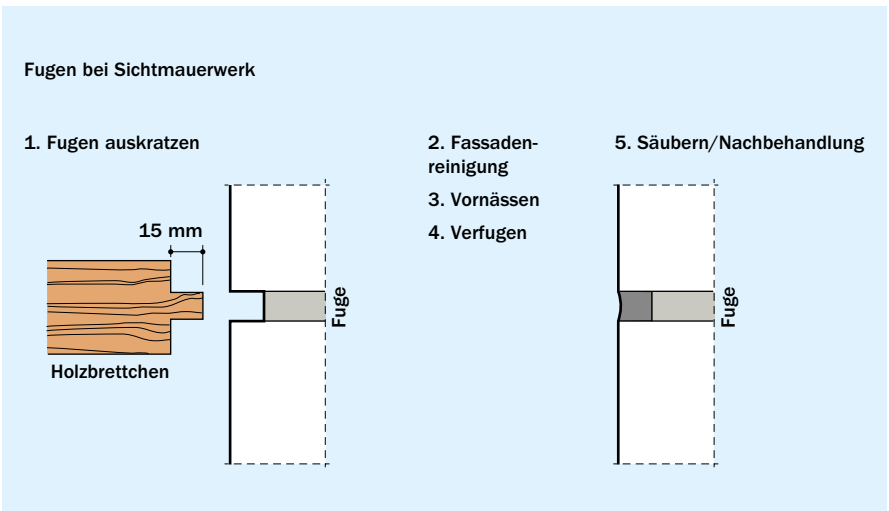


Bild 7 Nachträgliche Verfugung, Steinbreite ≥ 105 mm



Bild 8 Nachträgliche Verfugung

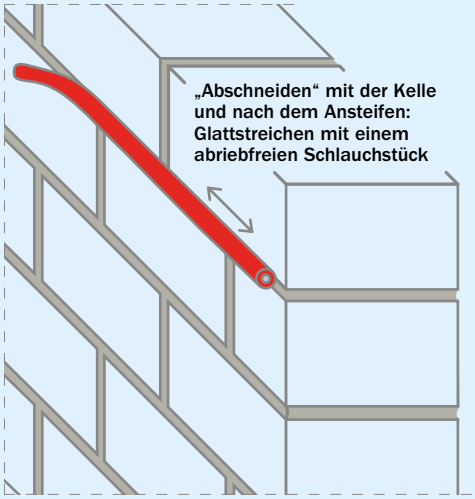


Bild 9 Fugenglattstrich

Für diese Technik muss der Mauermörtel eine gute Verarbeitbarkeit und ein günstiges Wasserrückhaltevermögen besitzen. Beim Hervorquellen aus den Fugen darf der Mörtel nicht an den Steinen herunter laufen und diese verschmutzen. Gut bewährt haben sich die auf KS-Sichtmauerwerk eingestellten Werk-Trockenmörtel (Bild 9).

4.2.1 Ausführung

Beim Aufmauern wird der herausquellende Mauermörtel nach Beginn des Ansteifens mit einem Fugholz oder Schlauchstück – ggf. über ein Fugeisen gezogen – glattgestrichen und dabei verdichtet.

Bedingt durch diese Technik ergibt sich eine leicht gerundete Fuge, die die Steinkanten verbindet.

INFO

Sichtmauerwerk unterliegt rohstoffbedingt gewissen farblichen Schwankungen. Handwerksgerecht erstelltes Sichtmauerwerk lebt von diesen kleinen hinzunehmenden Unregelmäßigkeiten und sollte z.B. nicht mit einer Fliesenbekleidung verglichen werden.

Die konstruktive Ausführung von Mauerwerk ist in Normen, Richtlinien und Merkblättern eindeutig beschrieben.

Für die gestalterische Erscheinungsform von Mauerwerks-Sichtflächen gibt es jedoch keine verbindlichen Regeln.

Die Anforderungen, die an das Erscheinungsbild des Sichtmauerwerks gestellt werden, sind daher im Voraus vom Planer/Bauherrn so eindeutig zu beschreiben, dass die ausgeschriebene Leistung sicher kalkuliert, ausgeführt und abgenommen werden kann.

Zu empfehlen ist, dass in der Leistungsbeschreibung neben Mustersteinen auch eine Musterfläche vereinbart wird. Mit Hilfe einer solchen Musterfläche können Steine, Mauerverband und Verfugung festgelegt und abgestimmt werden.

Bei der Beurteilung von Sichtmauerwerk spielen ein angemessener Betrachtungsabstand, die Größe und die gestalterische Gesamtwirkung der Sichtmauerwerksfläche eine Rolle.

4.2.2 Nachbehandlung

Das frische Sichtmauerwerk muss vor starkem Regen und starker Sonneneinstrahlung geschützt werden und ist bei sommerlicher, trockener Witterung mit Wasser zu besprühen.



5. Abnahme und Beurteilung von KS-Sichtmauerwerk

5.1 Eindeutige Beschreibung

Um Sichtmauerwerk eindeutig zu definieren, sind die Anforderungen, die an das Erscheinungsbild des Sichtmauerwerks gestellt werden, im Voraus vom Planer eindeutig zu beschreiben. So kann die ausgeschriebene Leistung vom Bauunternehmer sicher kalkuliert und ausgeführt werden. Danach kann die erbrachte Leistung nach Fertigstellung vom Planer und vom Bauherrn weitgehend objektiv beurteilt und abgenommen werden.

Sichtmauerwerk ist im wahrsten Sinne des Wortes „Ansichtssache“. Ein einfacher Hinweis in der Leistungsbeschreibung auf Sichtmauerwerk reicht nicht aus, wie sich immer wieder in der Praxis herausstellt.



5.2 Musterbauteile

Weil Sichtmauerwerk sehr unterschiedlich ausgeführt werden kann und sich jeder unter Sichtmauerwerk etwas sehr Unterschiedliches vorstellen kann, ist grundsätzlich zu empfehlen, dass bereits in der Leistungsbeschreibung neben Mustersteinen auch eine Musterfläche vereinbart wird.

Mit Mustersteinen allein kann oft nur ein unvollständiger Eindruck vom erwarteten Sichtmauerwerk wiedergegeben werden. Wenn aus wirtschaftlichen Gründen keine Musterwand errichtet wird, so ist zu empfehlen, eine zu Beginn errichtete, etwa 5 m^2 große Sichtmauerwerksfläche als Musterfläche zu verwenden und zu vereinbaren.

Nur mit Hilfe einer solchen Musterfläche können Verblender, Mauerverband und Verfugung eindeutig festgelegt und abgestimmt sowie ggf. ohne großen finanziellen und zeitlichen Aufwand geändert oder korrigiert werden.

Die Musterfläche sollte vom Planer, vom Bauherrn und vom Bauunternehmer gemeinsam abgenommen werden. Alle am Bau Beteiligten wissen im Voraus, was sie zu liefern bzw. zu erwarten haben. Die Musterfläche bildet den Maßstab für die Beurteilung des weiter zu errichtenden Sichtmauerwerks und ist nach allgemeiner Erfahrung eine gute – oft die einzige von allen akzeptierte – Möglichkeit, späteren Streitigkeiten bei der Beurteilung und Abnahme des Sichtmauerwerks aus dem Wege zu gehen. Dies gilt besonders auch für sichtbar belassenes Mauerwerk, das mit einem Anstrich versehen werden soll.

5.3 Abnahme und Beurteilung

Die nachfolgenden Ausführungen enthalten einige Kriterien, die für die Abnahme und Beurteilung von handwerklich erstelltem Sichtmauerwerk zu beachten sind:

- Sichtmauerwerk muss entsprechend DIN EN 1996/NA [1] konstruktiv einwandfrei ausgeführt werden. Es unterliegt durch die wechselnden Eigenschaften der Rohstoffe (Sande), der Oberflächenstruktur, des Farbtons der Steine und des Mörtels gewissen Schwankungen. Im Allgemeinen haben diese keinen Einfluss auf die Gesamtwirkung der Wandfläche oder des Gebäudes. Handwerksgerecht erstelltes Sichtmauerwerk lebt von diesen kleinen Unregelmäßigkeiten und ist z.B. nicht mit einer Fliesenbekleidung zu vergleichen.
- Bei der Beurteilung von Sichtmauerwerk spielt ein angemessener Betrachtungsabstand eine wichtige Rolle, der abhängig ist von der Größe und der gestalterischen Gesamtwirkung der Sichtmauerwerksfläche.

5.4 Betrachtungsabstand

Bei großflächigem Außensichtmauerwerk ist ein Betrachtungsabstand von ca. 5 m bis 10 m als angemessen anzunehmen. Das gilt insbesondere auch dann, wenn sich zwischen Betrachter und Gebäude ein Garten oder Vorgarten befindet. Kleinere Unregelmäßigkeiten an den Steinen oder an den Fugen sind in solchen Fällen aus diesem Abstand nicht zu erkennen, beeinträchtigen das Erscheinungsbild des Gebäudes nicht und sind daher nicht zu beanstanden.

Bei Sichtmauerwerk im Bereich von Hauseingängen und Terrassen ist der Betrachtungsabstand geringer anzunehmen, weil der Betrachter üblicherweise dichter an das Gebäude herantritt.

Gleiches gilt auch für Sichtmauerwerk in Räumen, insbesondere in Wohnräumen. Hier sollte ein Betrachtungsabstand je nach Größe der zu beurteilenden Wandfläche von 2 m bis 5 m angenommen werden.

6. Elektroinstallation bei KS-Innensichtmauerwerk

Die Ausführung der Elektroinstallation erfordert bei Innensichtmauerwerk eine gewisse Vorplanung, um möglichst günstige Leitungsführungen zu erreichen; dann lässt sie sich jedoch ohne Schwierigkeiten durchführen. Bei der Verlegung sind die VDE-Bestimmungen – z.B. VDE 0100 – zu beachten.

Vorzugsweise sollte bei Innensichtmauerwerk die Elektroinstallation mit Kunststoffmantelleitungen NYM erfolgen. Vor dem Verlegen der Leitungen sollten die Rohbauarbeiten abgeschlossen sein, so dass sich die Handwerker – Maurer und Elektriker – nicht gegenseitig behindern.

Die Zuleitungen vom Zählerkasten bzw. vom Stromkreisverteiler werden auf der Rohbetondecke verlegt. Dabei werden die Leitungen durch Installationsrohre – z.B. Kunststoffpanzerrohr – oder etwa 2 cm hohe Kanäle aus Kunststoffen zweckmäßigerweise vor Beschädigungen geschützt. Die Kanäle und Installationsrohre werden durch geschüttete oder weich federnde Dämmungen überdeckt.

Die NYM-Leitungen werden z.B. in Türlaibungen bis auf die Höhe der Steckdosen oder Schalter hochgeführt und durch eine Horizontalbohrung zu den Schalterdosen geführt. Die Leitungen sind im Endzustand später durch Türfutter und Bekleidungen abgedeckt.

Zuleitungen zu Schaltern oder Steckdosen, die sich nicht im Bereich einer Türöffnung befinden, erfolgen durch Einlegen der Leitungen in die Mörtelfugen im Verlauf des Mauerverbandes. Die Fugen bleiben hierfür etwa 25 mm tief ausgekratzt und werden nach dem Verlegen der Leitungen mit Fugenmörtel geschlossen.

Ähnlich wird bei Wänden verfahren, die einseitig verfliest sind. Die Elt-Leitungen werden auf der später verfliesten Seite – bei geklebten Fliesen im Verlauf der Fugen – verlegt und zu den Steckdosen und Schaltern durch die Wand geführt.

Bewährt haben sich außerdem bei Büro-, Verwaltungs- und Industriebauten u.a. Stahl-Türzargen mit Kabelkanal und Auslässen für Schalter und Steckdosen sowie auch sichtbare Leitungsführungen mit oder ohne Kunststoffkanäle.

Eine weitere Möglichkeit ist das Einmauern von Installationsrohren (leicht oder mittelschwer) in mindestens 24 cm dicke Wände und das anschließende Einziehen der NYM-Leitungen.

Bei Lampenanschlüssen an Sichtbetondecken werden Elt-Leitungen auf der Rohdecke verlegt und entweder durch ein einbetoniertes Installationsrohr oder durch ein Bohrloch – von unten gebohrt – durch die Decke zum Lampenanschluss geführt.

Grundsätzlich sind für Elt-Installationen bei Sichtmauerwerk nur Schalter-Klemmdosen zu verwenden. Diese sind tiefer als übliche Klemmdosen und ermöglichen das Verklemmen der Leitungen. Das Ausbohren bzw. Ausfräsen für die Schalter- und Steckdosen erfolgt durch übliche Dosensenker. Es können aber auch spezielle KS-Steckdosen-Steine verwendet werden, die sich in den Verband harmonisch einfügen.



7. Beschichtungen und Imprägnierungen von KS-Sichtmauerwerk

Deckende Anstriche und farblose Imprägnierungen vermindern die Feuchtigkeitsaufnahme des KS-Sichtmauerwerks bei Regen und Schlagregen. Sie wirken dadurch einer Verschmutzung entgegen.

KS-Verblendmauerwerk für witterungsbeanspruchte Bauteile wird aus frostwiderstandsfähigen Verblendern erstellt. Unter der Voraussetzung, dass das Mauerwerk entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik erstellt wird, ist das Mauerwerk ohne weitere Maßnahmen frostwiderstandsfähig. Es bedarf aus Gründen der Frostbeständigkeit keiner Beschichtung oder Imprägnierung. Es ist jedoch unbedingt darauf zu achten, dass die Bauteilanschlüsse im Dach-, Fenster- und Sockelbereich so ausgeführt werden, dass Regenwasser ordnungsgemäß abgeleitet wird und nicht in größeren Mengen in die Wandkonstruktion eindringen kann.

Kalksandsteine haben die Eigenschaft, Feuchtigkeit kapillar zu leiten. Horizontale und gering geneigte Mauerwerksflächen sollten daher mit wasserundurchlässigen Materialien abgedeckt werden, z.B. Wandkronen frei stehender Wände, Attiken sowie außen liegende Fensterbänke.

KS-Verblendmauerwerk kann wahlweise unbehandelt bleiben oder mit einer deckenden Beschichtung bzw. einer farblosen Imprägnierung versehen werden. Durch die Behandlung von KS-Sichtmauerwerk kann

- das optische Erscheinungsbild individuell gestaltet und gleichzeitig
- ein Schutz vor Verschmutzungen und Niederschlägen geschaffen werden.

7.1 Optisches Erscheinungsbild

Deckende Beschichtungen werden auf Kalksandstein überwiegen weiß oder in hellen Farbtönen ausgeführt. Sie lassen das Mauerwerk insgesamt heller und flächiger erscheinen, ohne die Mauerwerksstruktur zu überdecken.

Die Mörtelfugen treten optisch in der Fläche zurück. Farbige Beschichtungen sind im Prinzip auch möglich, jedoch ist bei dunklen Beschichtungen zu beachten, dass sich besonnte Flächen stärker aufheizen und es dadurch zu größeren Verformungen kommt.

Farblose Imprägnierungen sind nicht filmbildend und belassen dem Mauerwerk das natürliche Aussehen der Steine und der Mörtelfugen. Nach Beregnung trocknet imprägniertes Verblendmauerwerk schnell und gleichmäßig an der Oberfläche ab und bleibt hell.

7.2 Schutz des Verblendmauerwerks

Durch die deckende Beschichtung oder eine farblose Imprägnierung kann, z.B. in ungünstiger Lage eines Gebäudes, einer frühzeitigen Alterung und Verschmutzung des Verblendmauerwerks entgegengewirkt werden. Beschichtungen und Imprägnierungen vermindern die Feuchtigkeitsaufnahme des Verblendmauerwerks bei Regen und Schlagregen erheblich. Staubpartikel



werden in deutlich geringerem Umfang in die Poren der Steine eingespült, sie werden vielmehr vom Regenwasser fortgespült. Damit ist ein gewisser Selbstreinigungseffekt verbunden.

Eine Verbesserung der Frostbeständigkeit des Mauerwerks – wie z.B. durch Putze – ist durch Beschichtungen und Imprägnierungen nicht zu erreichen. Beide sind nicht in der Lage und haben auch nicht die Aufgabe, Konstruktions- oder Ausführungsmängel zu überdecken.

INFO

Bei deckenden Beschichtungen muss der Untergrund einwandfrei sein.

Die außen auf das Verblendmauerwerk aufgebrachten Imprägnierungen und Beschichtungen unterliegen hohen Witterungsbelastungen und müssen starkem Schlagregen, Frost und intensiver Sonneneinstrahlung widerstehen. Die gesamte Wandkonstruktion einschließlich Imprägnierung oder Beschichtung muss einwandfrei funktionieren. Eine langjährige Funktionsfähigkeit und optische Wirkung der Beschichtungen und Imprägnierungen setzt voraus

- die richtigen Baustoffe (frostwiderstandsfähige Kalksandsteine),
- auf Kalksandstein abgestimmten Mörtel,
- technisch und bauphysikalisch einwandfreie Konstruktionen,
- ausreichende Dachüberstände,
- handwerksgerechte Anschlüsse,
- für KS-Verblendmauerwerk geeignete Beschichtungssysteme.

7.3 Geeignete Beschichtungen und Imprägnierungen

Folgende Beschichtungssysteme und Imprägnierungen sind für KS-Verblendmauerwerk geeignet, sofern die nachfolgend aufgeführten Anforderungen erfüllt werden und die Hersteller die Eignung ausdrücklich bestätigen:

- Farblose Imprägnierungen, außen: Kieselsäure-Imprägniermittel, Silikon-, Silan- und Siloxan-Imprägniermittel
- Deckende Beschichtungen, außen: Dispersions-Silikatfarben, Silikon-Emulsionsfarben, Kunststoff-Dispersionsfarben, Siloxanfarben

Andere Beschichtungssysteme z.B. für Sanierungen sollten nur verwendet werden, sofern der Hersteller die Eignung auf das Objekt bezogen bestätigt und das Austrocknungsverhalten des Mauerwerks nicht entscheidend reduziert wird.

Alle als außen anwendbar genannten Systeme sind auch innen anwendbar. Bei Innenbeschichtungen können auch Dispersionsfarben nach DIN EN 13300 – Kunststoff-Dispersionsfarben für innen – verwendet werden.

7.4 Anforderungen

Beschichtungen und Imprägnierungen für KS-Verblendmauerwerk müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- Haftfestigkeit und Kälteelastizität:
  Wichtig ist eine hohe Haftfestigkeit der deckenden Beschichtung auf dem Untergrund. Beschichtungen und Imprägnierungen dürfen bei niedrigen Temperaturen sowie bei feuchter Witterung nicht abblättern oder reißen und auch nicht zu Spannungen auf dem Untergrund führen.
- Alkalibeständigkeit:
  Insbesondere frisches KS-Mauerwerk ist alkalisch (pH-Wert ≈ 13). Beschichtungsstoffe und Imprägniermittel müssen daher in hohem Maße alkalibeständig sein.
- Hohe Wasserdampfdurchlässigkeit und günstiges Austrocknungsverhalten

Durch Schlagregenbeanspruchung sowie Undichtigkeiten im Bereich der Bauteilanschlüsse dringt Feuchtigkeit in die Wandkonstruktion ein und wird durch die Kapillarität der Baustoffe verteilt und gespeichert. Ausschlaggebend dafür, dass keine Schäden an Beschichtungen und am Mauerwerk auftreten, ist ein möglichst geringer Feuchtegehalt im Mauerwerk zum Zeitpunkt der Frostbeanspruchung. Dies gilt selbst bei hoher Frostbeanspruchung.

Untersuchungen zur Frage der Frostwiderstandsfähigkeit von Beschichtungen und Mauerwerk haben gezeigt, dass es für KS-Verblendmauerwerk einen „kritischen Feuchtegehalt“ gibt. Dieser liegt bei etwa 80 % der maximalen Wasseraufnahme. Wird er überschritten, ist bei gleichzeitig hoher Frostbeanspruchung mit Schäden zu rechnen. Wird er unterschritten, kommt es nicht zu Frostschäden.

Beschichtungen und Imprägnierungen können die Austrocknung des einmal feucht gewordenen Mauerwerks mehr oder weniger stark behindern. Bei dichten Beschichtungen und Imprägnierungen kann sich das Verblendmauerwerk in den oft feuchten Herbstwochen nach und nach mit Feuchtigkeit anreichern, gibt diese aber nicht schnell genug wieder ab, so dass zu Beginn der Frostperiode das Mauerwerk einen maximalen Feuchtigkeitsgehalt hat und damit erhöhter Frostbeanspruchung ausgesetzt ist.

Bei Mauerwerk ohne Beschichtung oder mit günstiger Beschichtung oder Imprägnierung dagegen trocknet das Mauerwerk zwischenzeitlich immer wieder aus, so dass ein kritischer Feuchtegehalt nicht erreicht wird. Es ist dann nicht mit Frostschäden zu rechnen.

Kennwerte für die Austrocknungsbehinderung des Mauerwerks durch Beschichtungen oder Imprägnierungen sind

- Wasserdampfdurchlässigkeit und
- Austrocknungsbehinderung.

7.4.1 Wasserdampfdurchlässigkeit

Ein Teil der Austrocknung des Mauerwerks erfolgt durch Wasserdampfdiffusion. Die Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Baustoffen erfolgt nach DIN EN ISO 12572.

Zur Beurteilung von Beschichtungen auf KS-Verblendmauerwerk wird zweckmäßigerweise der s_d-Wert zur Bewertung herangezogen werden.

≤	0,1 m: sehr gut
bis	0,2 m: gut
bis	0,3 m: befriedigend
bis	0,4 m: ausreichend
>	0,4 m: unbefriedigend

Bei dieser Bewertung ist berücksichtigt, dass Beschichtungen eine Lebensdauer von etwa zehn Jahren haben und dann erneuert oder aufgefrischt werden müssen. Nach einer weiteren Wiederholungsbeschichtung ist dann ggf. ein Entfernen der Altbeschichtung notwendig.

INFO

Auch bei einer Wiederholungsbeschichtung sollte $s_d \leq 0{,}40$ m sein.

7.4.2 Austrocknungsbehinderung

Für die Beurteilung der Eignung von Imprägnierungen und Beschichtungen ist die Prüfung auf Austrocknungsbehinderung sehr aussagefähig. Die Prüfung erfolgt üblicherweise an Steinproben im Format NF, die auf einer Läuferseite beschichtet oder imprägniert und nach Wasserlagerung fünfseitig mit wasserdampfundurchlässiger Folie abgedichtet sind. Die Austrocknung der Steinproben kann nur über die „Außenläuferseite“ erfolgen.



Der Verlauf der Austrocknung wird als Kurve aufgetragen. Verglichen werden beschichtete bzw. imprägnierte Steinproben mit Vergleichsproben ohne Beschichtung oder Imprägnierung.

Für die Beurteilung von Imprägnierungen ist der s_d-Wert weniger gut geeignet.

Als gut geeignet ist eine Beschichtung oder Imprägnierung dann einzustufen, wenn sie die Austrocknung kaum oder nicht behindert oder sie sogar beschleunigt.

Beispiel

Die Austrocknungskurve Bild 10 der Steinprobe mit der Beschichtung A4 ist nahezu deckungsgleich mit der Kurve der Steinprobe ohne Beschichtung. Diese Beschichtung behindert die Austrocknung nicht. Bei der Beschichtung A5 dagegen verläuft die Austrocknungskurve sehr flach und die Austrocknungsbehinderung ist so stark, dass der eingangs beschriebene „kritische Feuchtegehalt“ (80 %) nicht einmal bei Beendigung der Messungen nach 160 Tagen unterschritten wurde.

Übertragen auf die Praxis bedeutet das, dass Sichtmauerwerk, das z.B. im Herbst nach einer längeren Regenperiode durchfeuchtet wird und mit dieser Beschichtung versehen ist, in den regenfreien Zeiten nicht austrocknet. Die Beschichtung schließt die Feuchtigkeit ein. Bei wiederholter Beregnung kann sich der Feuchtegehalt „aufschaukeln“, in Extremfällen sogar bis zur vollständigen Sättigung des Verblendmauerwerks. Zu Beginn der Frostperiode ist dadurch das Mauerwerk erhöhter Frostbeanspruchung ausgesetzt.

Bei günstigen Beschichtungen dagegen trocknet das Mauerwerk in den regenfreien Zeiten rasch wieder so weit aus, dass der kritische Feuchtegehalt unterschritten wird und damit die Frostbeanspruchung in der Frostperiode deutlich geringer ist.

7.5 Vorbereitung und Schutz des Untergrundes

Verblendmauerwerk ist grundsätzlich während der Bauphase vor Verunreinigung und übermäßiger Wasserbelastung zu schützen, z.B. durch Abdecken mit Folie. Hinweis: Der Schutz vor Niederschlagswasser – mit dem üblicherweise gerechnet werden muss – und dessen Beseitigung ist nach VOB/C:ATV DIN 18299 [4] eine Nebenleistung und damit vom Maurer durchzuführen.

Eventuell vorhandene Verunreinigungen, wie Mörtelspritzer und Staub, sind vor Beginn der Malerarbeiten zu entfernen. Fehlstellen im Mauerwerk, wie Hohlstellen, Fugenabrisse über 0,2 mm Breite und vertikal oder horizontal verlaufende Risse, sind auszubessern. Zu berücksichtigen ist, dass farblose Imprägnierungen optische Mängel nicht überdecken.

Bei deckenden Beschichtungen können Beschädigungen am Mauerwerk durch Verspachteln mit einem speziell dafür geeigneten Reparaturmörtel saniert werden.

INFO

Das Mauerwerk ist so zu erstellen, dass es nicht gereinigt werden muss. Da Säuren und andere starke chemische Reinigungsmittel die Steinoberflächen angreifen können, ist auf diese Mittel bei Kalksandstein-Mauerwerk zu verzichten. Ein „Absäuern“ mit Salzsäure führt bei Kalksandstein-Mauerwerk zu Schäden und ist nach VOB/C:ATV DIN 18330 nicht zulässig.

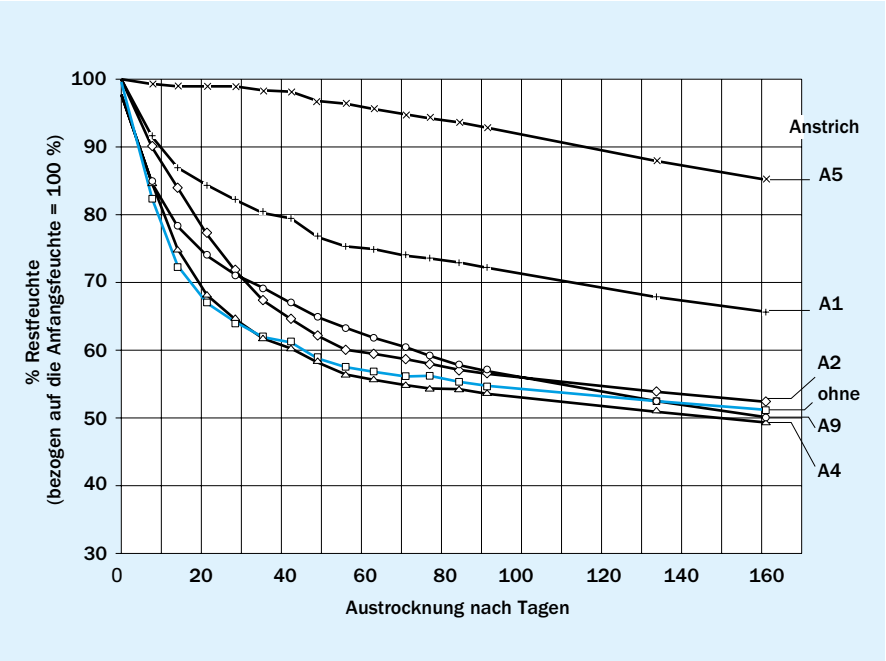


Bild 10 Austrocknung durch Beschichtungen, Klima: 4 °C/70 % rel. Feuchte (A1 = Acryl-Siloxanfarbe, A2 und A4 = Dispersions-Silikatfarbe, A5 = Polymerisatharzfarbe, A9 = Acrylat)

7.6 Verarbeitung

7.6.1 Farblose Imprägnierungen

Farblose Imprägnierungen können bereits kurz nach Fertigstellung des Gebäudes aufgebracht werden – bei trockener, niederschlagsfreier Witterung und Temperaturen über 5 °C. Der Untergrund muss „handtrocken“ (Augenschein) und genügend saugfähig sein, um die ausreichende Menge Wirkstoff aufzunehmen (ca. 500 bis 800 cm^3/m^2 Wandfläche, wobei der untere Wert für glatte Steine, der obere Wert für KS-Struktur gilt). Als besonders wirksam hat sich das Aufbringen durch Fluten mit entsprechenden Geräten erwiesen. Das Verblendmauerwerk sollte von unten nach oben imprägniert werden. Das ist insbesondere bei wässrigen Imprägnierungen notwendig, um Laufspuren zu vermeiden. Auf Imprägnierungen können zu einem späteren Zeitpunkt auch Beschichtungen aufgebracht werden. Hierbei ist jedoch auf Systemverträglichkeit zu achten.

7.6.2 Deckende Beschichtungen

Deckende Beschichtungen bestehen im Allgemeinen aus einem Grundanstrich und zwei Deckanstrichen. Grundsätzlich sollen nur geschlossene Beschichtungssysteme verwendet werden, bei denen die einzelnen Schichten stofflich aufeinander abgestimmt sind. Beschichtungen mit hydrophoben Grundierungen (Imprägnierungen) haben sich in der Praxis gut bewährt.

Der Grundanstrich als vollwertige Imprägnierung kann unmittelbar nach Fertigstellung des Gebäudes aufgebracht werden. Das Gebäude ist dadurch sofort gegen Verschmutzung geschützt. Der deckende Anstrich kann dann zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen.

In den ersten drei Wochen nach Aufbringen sind Beschichtungen empfindlich gegen erhöhte Feuchtigkeit im Untergrund und gegen Frosteinwirkung. Beschichtungen sollten daher unbedingt bei trockenem, niederschlagsfreiem Wetter und bei Temperaturen über 5 °C verarbeitet werden.

Außerdem sollten sie frühestens drei Monate nach Fertigstellung des Verblendmauerwerks aufgebracht werden, wenn das Mauerwerk genügend ausgetrocknet ist, nicht mehr mit Setzungen oder Verformungen zu rechnen ist und die Hersteller nicht andere, weitergehendere Angaben machen.

8. Reinigung von KS-Verblendmauerwerk

Sichtmauerwerk aus Kalksandsteinen sollte so sauber hergestellt und anschließend geschützt werden, dass es nicht gereinigt werden muss. Ein Absäuern von Kalksandstein-Mauerwerk ist nicht zulässig und kann im ungünstigen Fall sogar zu deutlichen optischen Beeinträchtigungen führen.

Ein langfristig einwandfreies Erscheinungsbild von KS-Sichtmauerwerk setzt voraus, dass das Mauerwerk handwerksgerecht erstellt wird, richtige und einwandfreie Baustoffe zur Anwendung kommen und die Bauteilanschlüsse technisch und bauphysikalisch einwandfrei ausgeführt werden.



Bild 11 **Reinigung mit Hochdruckreiniger mit ausreichendem Abstand zum Mauerwerk**

INFO

Auf eine wirksame Ableitung des Regenwassers ist besonders zu achten. Horizontale und schräge Mauerwerksflächen sollten mit wasserundurchlässigen Materialien abgedeckt werden. Fensterbänke und Attikaabdeckungen sollten mit Überstand und Tropfkante ausgeführt werden.

8.1 Leichte Verschmutzungen und kleinere Flächen

Leichte Verschmutzungen lassen sich bei frisch erstelltem Verblendmauerwerk einfach und wirksam mechanisch wie folgt entfernen:

- Erhärtete Mörtelspritzer lassen sich z.B. mit einem Spachtel leicht abstoßen.
- Mörtelspritzer und leichte Verschmutzungen lassen sich auf kleinen bis mittleren Flächen schonend durch Abschleifen (mit einem halbierten oder geviertelten KS-Verblender, einem Stück Porenbeton oder mit Glas- oder Sandpapier mittlerer Körnung) von Hand oder mit einem Schwingschleifer entfernen.

Tafel 3 Reinigungsmethoden

Art der Reinigung	Geeignet für	Ausführung	Ergebnis
Trockenreinigung mit Schleifpapier	Leichte Verschmutzungen und kleine Flächen		
	Verschmutzungen, jedoch nicht für fett- und ölhaltige Ablagerungen sowie Sprühlack	Schleifen von Hand per Schleifklotz, bei größeren Flächen mit Maschineneinsatz (Schwingschleifer). Geeignet sind Schleifpapiere mit feiner bis mittlerer Körnung.	Schonende Reinigung, gutes Ergebnis und schneller Arbeitsfortschritt, glatte Steinoberflächen
Trockenreinigung mit Porenbetonstück oder Reinigungsstein	Verschmutzungen auf kleineren bis mittelgroßen Flächen, jedoch nicht für fett- und ölhaltige Ablagerungen sowie Sprühlack	Schleifen von Hand. Der entstehende Staub kann anschließend abgefegt werden.	Schonende Reinigung, gutes Ergebnis und schneller Arbeitsfortschritt, glatte Steinoberflächen
Nassreinigung mit Haushaltsreiniger (Tenside, Seife, Citrat)	normale Ablagerungen und Verschmutzungen	Verdünnung mit Wasser ca. 1:200, bei starker Verschmutzung auch unverdünnte Anwendung. Auftragen mit der Wurzelbürste, gründlich nachspülen mit Wasser. Bei der Reinigung größerer Flächen ist das Schmutzwasser aufzufangen.	Schonende Reinigung, gutes Ergebnis, auch bei älteren Ablagerungen
Reinigung mit Tensidlösung (z.B. Alkutex Schmutzlöser)	fett- und ölhaltige Ablagerungen und Verschmutzungen	Auftragen des Reinigers mit der Wurzelbürste, gründlich nachspülen mit Wasser. Bei der Reinigung größerer Flächen ist das Schmutzwasser aufzufangen.	Schonende Reinigung, gutes Ergebnis, auch bei älteren Ablagerungen
Nassreinigung mit Hochdruckreinigung, Dampfstrahlreinigung	Stärkere Verschmutzungen und große Flächen		
	großflächige, stärkere Verschmutzungen, Verstaubungen, Vergrünungen, z.B. auf älterem Verblendmauerwerk sowie bei Verblendmauerwerk aus bruchrauen oder bossierten Steinen	Zu reinigen sind geschlossene Flächen, keine eng begrenzten Bereiche. Es ist darauf zu achten, dass durch entsprechende Düseneinstellung und genügend große Entfernung der Düse vom Mauerwerk der Wasser- bzw. Wasserdampfstrahl nicht die Steinoberflächen oder die Fugen beschädigt. Die Reinigungsintensität sollte vorab an einer Probefläche getestet werden.	Gutes Ergebnis und schneller Arbeitsfortschritt
Schwache Säurekombination (z.B. Alkutex Combi WR, 6%ige Essigsäure)	Chemische Reinigungsmittel für hartnäckige und ältere Verschmutzungen		
	kalkhaltige Ablagerungen und Verschmutzungen, jedoch nicht für fett- und ölhaltige Ablagerungen sowie Sprühlack	Auftragen mit der Wurzelbürste, gründlich nachspülen mit Wasser. Bei großen Flächen kann auch mit Reinigungsgeräten gearbeitet werden. Die Reinigungsintensität ist vorab an einer Probefläche zu testen.	Gutes Ergebnis und schneller Arbeitsfortschritt
Steinreiniger auf Basis organischer Ameisensäure (z.B. ASO Steinreiniger)	(bedingt) die Reinigung kalkhaltiger Ablagerungen und Verschmutzungen	Verdünnung mit Wasser 1:3, Auftragen mit der Wurzelbürste Die Reinigungsintensität ist vorab an einer Probefläche zu testen.	Das Mittel kann den Fugenmörtel anlösen; ein so entstehender Schleier ist durch Abspülen mit Wasser nicht mehr zu entfernen

8.2 Stärkere Verschmutzungen und größere Flächen

Bei stärkeren Verschmutzungen z.B. auf älterem Verblendmauerwerk ist eine Nassreinigung zu empfehlen, wobei geschlossene Flächen, also keine eng begrenzten Bereiche gereinigt werden sollten. Mit folgenden Reinigungsmethoden wurden gute Ergebnisse erzielt:

- Nassreinigung mit klarem Wasser unter Zusatz eines Netzmittels, das die Oberflächenspannung des Wassers herabsetzt, und mit einer Wurzelbürste. Möglich ist auch die Reinigung mit einem Hochdruckreiniger. Die Reinigungsintensität ist vorab an einer Probefläche zu testen.
- Dampfstrahlreinigung bzw. Heißwasser-Hochdruckreinigung, wobei ebenfalls dem Wasser ein technisches Netzmittel zugegeben werden sollte.

Die Dampfstrahlreinigung hat sich bei größeren Flächen sowie bei Verblendmauerwerk aus bruchrauen oder bossierten Steinen gut bewährt.

INFO

Bei Verblendmauerwerk ist darauf zu achten, dass durch entsprechende Düseneinstellung und genügend große Entfernung der Düse vom Mauerwerk der Heißwasserstrahl bzw. der Dampfstrahl nicht so stark ist, dass die Steinoberflächen angegriffen werden.

Anmerkung: Grundsätzlich ist die Reinigungsintensität an einer Probefläche zu testen. Bei Anwendung eines Hochdruckreinigungsgeräts mit Kaltwasser ist der Reinigungseffekt geringer.

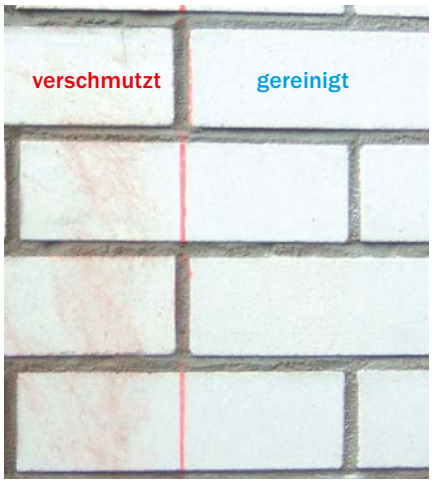


Bild 12 Reinigungseffekt, Beispiel Reinigung mit Schleifpapier, Körnung 140



8.3 Chemische Reinigungsmittel

Nur bei hartnäckigen und älteren Verschmutzungen sollten chemische Reinigungsmittel verwendet werden. Hierzu werden von der chemischen Industrie spezielle, für KS-Verblendmauerwerk geeignete Steinreiniger angeboten, die meist aus organischen Säuren bestehen. Möglich ist auch eine Reinigung mit 6%iger Essigsäure.

Da die säurehaltigen, chemischen Reinigungsmittel die Oberfläche der Steine aufrauen und dadurch den Farbeindruck verändern können, sollte grundsätzlich die Reinigung an einer Probefläche ausprobiert werden.

Das Mauerwerk ist vor einer Reinigung gründlich vorzunässen und nach der Reinigung gründlich nachzuspülen.

Nach einer Reinigung mit chemischen Reinigungsmitteln empfiehlt es sich, das Verblendmauerwerk zu imprägnieren oder deckend zu streichen.

INFO

Da chemische Reinigungsmittel die Oberfläche der Steine aufrauen und dadurch den Farbeindruck verändern können, sollte grundsätzlich die Reinigung an einer Probefläche ausprobiert werden, insbesondere dann, wenn das Mauerwerk nach der Reinigung nicht deckend gestrichen wird.



8.4 Algen- oder Moosbelag

Tritt z.B. nach langen Schlechtwetterperioden auf KS-Verblendmauerwerk ein störender grünlicher Belag aus Algen oder Moosen auf, kann dieser mit einem Algen tötenden Mittel behandelt und nach Abtrocknen bei kleineren Flächen abgebürstet oder bei größeren Flächen durch eine Dampfstrahlreinigung entfernt werden. Die gereinigten Flächen sollten anschließend mit einer farblosen Imprägnierung nachbehandelt werden, um einer erneuten Moosbildung vorzubeugen.

9. Erneuerung von Beschichtungen und Imprägnierungen

Hochwertige Beschichtungen und Imprägnierungen behalten ihre Funktion und optische Wirkung über einen langen Zeitraum.



9.1 Beschichtungen

Die Lebenserwartung von Beschichtungen beträgt etwa zehn Jahre. Danach ist oft ein Auffrischungsanstrich erforderlich.

Soll bei einer Erneuerung ein anderes Beschichtungssystem verwendet werden, ist die Systemverträglichkeit zu prüfen. Stark verwitterte oder abblätternde Beschichtungen müssen vor Erneuerung mechanisch oder mit Hilfe geeigneter Abbeizpasten und anschließender Dampfstrahlreinigung entfernt werden.

9.2 Imprägnierungen

Die Lebenserwartung von Imprägnierungen liegt bei etwa zehn bis fünfzehn Jahren. Bei einer Erneuerung sollte das gleiche System wie für die Erstimprägnierung verwendet werden, da auf diese Weise Systemverträglichkeit gewährleistet ist.

Die Verarbeitung der Beschichtungen und Imprägnierungen erfolgt nach den Herstellerrichtlinien.

Literatur

[1] DIN EN 1996-2:2010-12 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk; in Verbindung mit DIN EN 1996-2/NA:2012-01

[2] DIN 20000-402:2017-01 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 402: Regeln für die Verwendung von Kalksandsteinen nach DIN EN 771-2:2015-11

[3] DIN 18330:2016-09 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Mauerarbeiten

[4] DIN 18299:2016-09 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art

Bildnachweise

Bild S. 82, Bild S. 90, Bild S. 91, Bild S. 92: Peter Frese;
Bild S. 83, Bild S. 98 unten: Csaba Mester;
Bild S. 85 links oben: Cirkel;
Bild S. 85 links unten, Bild S. 98 oben: Ninette Schumann-Jäkel;
Bild S. 87 links, Bild S. 93: Staats&Petter/Csaba Mester/KS-ORIGINAL;
Bild S. 87 rechts, Bild S. 88 oben, Bild S. 95: Xella Deutschland GmbH;
Bild S. 99: Atelier Kinold

Bild 1, Bild 2, Bild 3, Bild 4, Bild S. 85 rechts, Bild 8, Bild 11, Bild 12: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.



Kapitel 4

NICHT TRAGENDE WÄNDE

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner,
Technische Universität Darmstadt,
Dr.-Ing. Michael Schmitt,
bauart Konstruktions GmbH & Co. KG, Lauterbach

Stand: 01/2018

1. Einführung und Überblick

1.1 Vorbemerkungen

Entsprechend ihrer Definition dürfen nicht tragende Wände keine Lasten aus anderen Bauteilen aufnehmen oder weiterleiten. Sie müssen jedoch in der Lage sein, auf sie selbst einwirkende Belastungen – z.B. infolge Eigengewicht oder Wind – auf andere tragende Bauteile abzutragen. Demzufolge sind aussteifende Wände, welche ausschließlich der Aussteifung tragender Wände dienen, ebenfalls tragende Wände und können nicht mit den nachfolgenden Regelungen beschrieben werden.

Grundsätzlich ist zwischen nicht tragenden Außenwänden (z.B. Giebelwände oder Ausfachungswände bei Stahlbetonskelettbauten) und nicht tragenden Innenwänden (z.B. Trennwände) zu unterscheiden. Im Eurocode 6 – DIN EN 1996 [1], [2] – sind Regelungen für nicht tragende Außen- und Innenwände zu finden. Nicht tragende innere Trennwände sind darüber hinaus auch in DIN 4103-1 [3] geregelt.

1.2 Nicht tragende Außenwände (Ausfachungsflächen)

Nicht tragende Außenwände sind Bauteile, die in vertikaler Scheibenrichtung überwiegend durch ihr Eigengewicht beansprucht werden. Sie müssen die auf ihre Fläche wirkenden Windlasten sicher auf die angrenzenden tragenden Bauteile, z.B. Wand- und Deckenscheiben, Stahl- oder Stahlbetonstützen und -unterzüge, abtragen.

Nicht tragende KS-Außenwände können entsprechend den an sie gestellten Anforderungen u.a. einschalig oder mehrschalig, verputzt oder unverputzt, mit zusätzlicher Wärmedämmung, mit vorgehängter Fassade ausgeführt werden. Sind in nicht tragenden Außenwänden Fenster- oder Türöffnungen vorgesehen, die die Stabilität und Lastabtragung der Wand beeinträchtigen, wird ein statischer Nachweis der Wand erforderlich.

1.3 Nicht tragende Innenwände

Nicht tragende Innenwände sind Raumtrennwände, die keine statischen Aufgaben für die Gesamtkonstruktion, insbesondere die Gebäudeaussteifung, zu erfüllen haben. Sie können entfernt werden, ohne dass die Standsicherheit des Gebäudes beeinträchtigt wird. Die Standsicherheit der nicht tragenden Innenwände selbst ist durch die Verbindung mit den an sie angrenzenden Bauteilen (Querwände oder gleichwertige Maßnahmen und Decken) gegeben, sofern die zulässigen Grenzlängen (früher: Grenzabmessungen) der Wände (siehe Tafeln 7, 8 und 12) nicht überschritten werden.

Nicht tragende KS-Innenwände werden in Wohngebäuden sowie in Stahl- und Stahlbetonskelettbauten als Zwischen- oder Ausfachungswände ausgeführt. Sie werden auch bei Gebäuden mit großen Deckenspannweiten – z.B. Schulen, Verwaltungsgebäude, Krankenhäuser, Hallen- und Wirtschaftsbauten – eingesetzt.

Die Wände werden aus klein- und mittelformatigen KS-Vollsteinen oder KS-Lochsteinen oder besonders rationell aus großformatigen KS XL Plan-/Rasterelementen oder KS-Bauplatten KS BP erstellt. Bei entsprechender Ausbildung erfüllen sie die hohen Anforderungen an den Brand- und Schallschutz oder auch an den Wärme- und Feuchtigkeitsschutz. Ihr hohes Wärmespeichervermögen – besonders bei Steinen hoher Rohdichte – gewährleistet ein ausgeglichenes Raumklima und guten sommerlichen Wärmeschutz. Nicht tragende KS-Innenwände können mit Putz versehen oder als Sichtmauerwerk erstellt werden. In Kombination mit Holz, Sichtbeton, Stahl oder anderen Baustoffen werden so gestalterische Akzente gesetzt.



2. Nicht tragende Außenwände (Ausfachungsflächen)

2.1 Vereinfachter Nachweis nach DIN EN 1996-3/NA

Bei vorwiegend windbelasteten, nicht tragenden Außenwänden ist nach DIN EN 1996-3/NA Anhang C [2] kein gesonderter Nachweis erforderlich, wenn

- die Wände an den angrenzenden Bauteilen vierseitig gehalten sind (z.B. durch Verzahnung, Versatz oder Anker) und
- die Größe der Ausfachungsflächen $A_w = h \cdot l$ nach Tafel 1 eingehalten ist, wobei h die Höhe und l die Länge der Ausfachungsfläche bezeichnet.

Zur Ermittlung des Seitenverhältnisses der Ausfachungsflächen sind die lichten Maße des Ausfachungsmauerwerks zwischen den angrenzenden tragenden Bauteilen (Stützen, Riegel usw.) zu verwenden. Die angegebenen Höhen über Gelände beziehen sich auf die Oberkante der jeweiligen Ausfachungsfläche. Eine Stoßfugenvermörtelung ist entsprechend DIN EN 1996-3/NA auch bei zweiachsigem Lastabtrag nicht zwingend erforderlich, wenn das Überbindemaß $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot h_u$ ist.

2.2 Erhöhte Werte der Ausfachungsfläche für Mauerwerk mit Normalmauermörtel

Die in den Normen, z.B. auch in DIN EN 1996-3/NA [2] angegebenen Größtwerte von Ausfachungsflächen nicht tragender KS-Außenwände dürfen nach Kirtschig [4] bei Verwendung von Kalksandsteinen der Höhe h_u = 238 mm (KS-Blocksteine und KS-Hohlblocksteine) und einem Überbindemaß von $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot h_u$ vermauert mit Normalmauermörtel NM III und Stoßfugenvermörtelung, überschritten werden. Die Steine sind vorzunässen.

Unter diesen Voraussetzungen sind in einigen Fällen – siehe Tafel 2 – auch dreiseitig gehaltene Wände mit oberem freiem Rand als Ausfachungsfläche realisierbar.

2.3 Erhöhte Werte der Ausfachungsfläche für Mauerwerk mit Dünnbettmörtel

Nach DIN EN 1996-1-1 [1] können Ausfachungsflächen mit Hilfe eines Verfahrens mit Biegemomentenkoeffizienten nachgewiesen werden. In Deutschland ist die Anwendung dieses Verfahrens mit den in [1] angegebenen Parametern gemäß dem zugehörigen Nationalen Anhang jedoch nicht zulässig, da die in EC 6 angegebenen Biegemomentenkoeffizienten die begrenzte Rotationskapazität vom Mauerwerk nicht hinreichend abdecken. Daher wurde in verschiedenen Forschungsvorhaben an der Technischen Universität Darmstadt – z.B. [5] und [6] – ein vereinfachtes Nachweisverfahren zur Bestimmung der im Grenzzustand der Tragfähigkeit aufnehmbaren Beanspruchungen für nicht tragende Wände entwickelt, welches gleichzeitig auch die Angabe zulässiger Ausfachungsflächen in Abhängigkeit einer Einheitswindbelastung erlaubt.

Das Berechnungsmodell beruht auf einer umfangreichen wissenschaftlichen Forschungsarbeit zur Beanspruchbarkeit nicht tragender Wände und einer in diesem Zusammenhang entwickelten Nachweismethodik zur Bestimmung der sich einstellenden Schnittgrößenverteilung. Grundgedanke ist die Bestimmung eines dimensionslosen Tragfähigkeitskoeffizienten Y_w, welcher die verschiedenen Einflussgrößen beinhaltet. Neben den direkten Effekten aus Wandgeometrie, Lagerungsbedingungen und Verhältnis der Biegezugfestigkeiten in horizontaler und vertikaler Richtung beinhaltet der Tragfähigkeitskoeffizient auch die Einflüsse aus dem anisotropen Verformungsverhalten von Mauerwerk. Mit der entwickelten Nachweismethodik ist es möglich, die Tragfähigkeit biegebeanspruchter Ausfachungswände einfach und praxisnah unter Verwendung weniger Materialkenngrößen zu bestimmen.

Es bleibt festzuhalten, dass das entwickelte Nachweisverfahren die Berücksichtigung eines sich in vielen Fällen einstellenden Membranspannungseffektes auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt. Damit ergeben sich bei bestimmten Randbedingungen mit diesem Nachweisverfahren zum Teil auch kleinere Ausfachungsflächen als nach den Normen. In diesen Fällen sollten daher die in den Tafeln 1 und 2 angegebenen Werte verwendet werden.

Tafel 1 **Zulässige Größtwerte der Ausfachungsfläche von nicht tragenden Außenwänden ohne rechnerischen Nachweis nach DIN EN 1996-3/NA**

Alle Stein-Mörtel-Kombinationen nach DIN EN 1996-3/NA, ohne Stoßfugenvermörtelung						
Wanddicke t [mm]	Größte zulässige Werte[1),2)] der Ausfachungsfläche A_w in m² bei einer Höhe über Gelände von					
	0 m bis 8 m			8 m bis 20 m[3)]		
	$h/l \leq 0{,}5$	$h/l = 1{,}0$	$h/l \geq 2{,}0$	$h/l \leq 0{,}5$	$h/l = 1{,}0$	$h/l \geq 2{,}0$
115[3)]	8 / 11[4)]	12 / 16[4)]	8 / 11[4)]	–	–	–
150	8 / 11[4)]	12 / 16[4)]	8 / 11[4)]	5 / 7[4)]	8 / 11[4)]	5 / 7[4)]
175	14	20	14	9	13	9
240	25	36	25	16	23	16
≥ 300	33	50	33	23	35	23

[1)] Bei Seitenverhältnissen $0{,}5 < h/l < 2{,}0$ dürfen die größten zulässigen Werte der Ausfachungsflächen geradlinig interpoliert werden.
[2)] Die angegebenen Werte gelten für KS-Mauerwerk mit Normalmauermörtel mindestens NM IIa und Dünnbettmörtel.
[3)] In Windlastzone 4 nur im Binnenland zulässig
[4)] Bei Verwendung von Kalksandsteinen (Festigkeitsklasse ≥ 12) dürfen die größeren Werte verwendet werden.

Tafel 2 Erhöhte Größtwerte der Ausfachungsflächen von nicht tragenden Außenwänden mit Normalmauermörtel

KS-Blocksteine und KS-Hohlblocksteine mit Steinhöhen h_u = 238 mm, mit Stoßfugenvermörtelung, NM III						
Wanddicke t[2] [mm]	Erhöhte Größtwerte[1] der Ausfachungsfläche A_w [m²] bei einer Höhe über Gelände von					
	0 m bis 8 m			8 m bis 20 m[3]		
	$h/l \leq 0{,}5$	$h/l = 1{,}0$	$h/l \geq 2{,}0$	$h/l \leq 0{,}5$	$h/l = 1{,}0$	$h/l \geq 2{,}0$
4-seitig gehalten; $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot h_u$						
115	11	16	11	–	–	–
150	11	16	11	7	11	7
175	22	20	22	13	13	13
240	38	36	38	25	23	25
≥ **300**	60	54	60	38	35	38
3-seitig gehalten; oberer Rand frei; $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot h_u$						
175	8	10	16	–	–	–
240	16	20	30	10	12	18
≥ **300**	25	30	45	16	20	28

[1] Bei Seitenverhältnissen $0{,}5 < h/l < 2{,}0$ dürfen die größten zulässigen Werte der Ausfachungsflächen geradlinig interpoliert werden.
[2] Für andere Wanddicken dürfen die Zwischenwerte geradlinig interpoliert werden.
[3] In Windlastzone 4 nur im Binnenland zulässig

Das Berechnungsmodell benötigt als Eingangsgrößen zur Bestimmung der aufnehmbaren Beanspruchung von Ausfachungswänden lediglich die Biegezugfestigkeiten des Mauerwerks senkrecht und parallel zur Lagerfuge. Für den eigentlichen Nachweis auf Grundlage des Teilsicherheitskonzepts sind diese Materialkenngrößen als 5 %-Quantilwerte anzusetzen. Dabei ist besonders vorteilhaft, dass durch die Verwendung der Biegezugfestigkeit parallel zur Lagerfuge eine Reihe von Einflussgrößen – z.B. das Überbindemaß, die Steingröße und die Art der Stoßfugenausbildung – integral erfasst werden. Die zulässige Ausfachungsfläche ergibt sich mit Hilfe des Tragfähigkeitskoeffizienten Υ_w und der Biegezugfestigkeit f_{tk1} senkrecht zur Lagerfuge. Letztere wird üblicherweise vernachlässigt, darf aber nach DIN EN 1996-1-1/NA [1] bei Mauerwerk aus KS XL, KS XL-E und KS XL-N mit Dünnbettmörtel, welches nur durch zeitweise einwirkende Lasten rechtwinklig zur Oberfläche beansprucht wird, mit f_{tk1} = 0,2 N/mm² angenommen werden.

Nach dieser Nachweismethodik ergibt sich für die zulässige Ausfachungsfläche:

$$A_w = t^2 \cdot \frac{f_{tk1}}{\mu_t} \cdot \frac{1}{\gamma_M} \cdot \frac{1}{w_d} \cdot \Upsilon_w \qquad (2.1)$$

mit
A_w Ausfachungsfläche
t Wanddicke
f_{tk1} Vertikale Biegezugfestigkeit
f_{tk2} Horizontale Biegezugfestigkeit
μ_t Biegezugverhältnis: $\mu_t = f_{tk1}/f_{tk2}$
Υ_w Bezogene Traglast in Abhängigkeit von: Lagerungsbedingungen, h/l, μ_t
γ_M Teilsicherheitsbeiwert auf der Widerstandsseite: $\gamma_M = 1{,}5$
w_d Bemessungswert der Windlast

In Tafel 3 werden die zulässigen Ausfachungsflächen für Mauerwerk aus KS-Plansteinen und KS XL (h_u und $l_u \geq 248$ mm) mit Dünnbettmörtel und Überbindemaßen $l_{ol}/h_u \geq 0{,}4$ angegeben. Für ein Überbindemaß von $0{,}2 \leq l_{ol}/h_u < 0{,}4$ sind die Werte um 50 % abzumindern. Eine Stoßfugenvermörtelung ist nicht erforderlich. Die Materialkenngrößen der Stein-Mörtel-Kombinationen stammen aus [7] (f_{tk1} = 0,2 N/mm²; $\mu_t = f_{tk1}/f_{tk2} \leq 1{,}11$) und die Ausfachungsflächen wurden in Anlehnung an [8] ermittelt. Für die Berechnung der Bemessungswindlast nach DIN EN 1991-1-4/NA [9] wurden die folgenden in den überwiegenden Fällen geltenden Faktoren verwendet:

$$w_d = \gamma_Q \cdot c_{pe,10} \cdot q_p \cdot = 1{,}5 \cdot 0{,}8 \cdot q_p \qquad (2.2)$$

mit
γ_Q Teilsicherheitsbeiwert für Windeinwirkung auf der Einwirkungsseite nach DIN EN 1990/NA [10]
$c_{pe,10}$ Aerodynamischer Außendruckbeiwert für vertikale Wände für den Bereich D nach DIN EN 1991-1-4/NA [9]
q_p Vereinfachter charakteristischer Böengeschwindigkeitsdruck nach DIN EN 1991-1-4/NA [9]

In Tafel 3 sind für verschiedene Lagerungsbedingungen sowie verschiedene Verhältnisse h/l die zulässigen Ausfachungsflächen in den folgenden Anwendungsbereichen angegeben:

Windzone 1: Gebäudehöhe h bis 18 m
Windzone 2: Gebäudehöhe h bis 10 m

Für die Anwendung in anderen Windzonen (z.B. WZ 2 mit h > 10 m, WZ 3 und WZ 4) müssen die in Tafel 3 angegebenen Ausfachungsflächen mit dem entsprechenden Faktor k_{wd} aus Tafel 4 multipliziert werden. Für die Windzone WZ 1 und Gebäudehöhen $h \leq 10$ m können die in Tafel 3 angegebenen Ausfa-

Tafel 3 Erhöhte Größtwerte der Ausfachungsflächen von nicht tragenden Außenwänden mit Dünnbettmörtel

KS-Plansteine und KS-XL, KS XL-E und KS XL-N ohne Stoßfugenvermörtelung mit Dünnbettmörtel, mit Überbindemaß $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot h_u$						
Erhöhte Größtwerte[1] der Ausfachungsflächen A_{w0} in m² in den Windzonen WZ 1 bis $h \leq 18$ m und WZ 2 (Binnenland) bis $h \leq 10$ m[2]						
4-seitig gehalten; seitlich gelenkig gelagert						
Wanddicke t [mm]	**Verhältnis h/l (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)[3]**					
	0,30	**0,50**	**0,75**	**1,00**	**1,50**	**2,00**
115	11,7	7,4	6,1	5,9	6,4	7,2
150	19,9	12,5	10,3	10,0	10,8	12,2
175	27,0	17,0	14,0	13,6	14,7	16,6
200	35,3	22,2	18,3	17,8	19,2	21,7
240	50,9	32,0	26,4	25,6	27,7	31,2
300	79,5	50,0	41,3	40,0	43,3	48,8
365	117,6	74,1	61,1	59,2	64,1	72,2
4-seitig gehalten; seitlich eingespannt						
Wanddicke t [mm]	**Verhältnis h/l (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)[3]**					
	0,30	**0,50**	**0,75**	**1,00**	**1,50**	**2,00**
115	11,8	7,8	7,7	8,5	10,5	12,5
150	20,0	13,3	13,1	14,4	17,8	21,3
175	27,3	18,1	17,8	19,7	24,3	28,9
200	35,6	23,6	23,3	25,7	31,7	37,8
240	51,3	34,0	33,5	37,0	45,7	54,4
300	80,1	53,2	52,4	57,8	71,4	85,0
365	118,6	78,7	77,5	85,5	105,7	125,8
3-seitig gehalten; oberer Rand frei; seitlich gelenkig gelagert						
Wanddicke t [mm]	**Verhältnis h/l (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)[3]**					
	0,30	**0,50**	**0,75**	**1,00**	**1,50**	**2,00**
115	3,0	2,7	2,9	3,3	4,5	5,8
150	5,2	4,5	4,9	5,6	7,6	9,8
175	7,1	6,2	6,6	7,6	10,3	13,4
200	9,2	8,0	8,6	10,0	13,5	17,5
240	13,3	11,6	12,4	14,3	19,4	25,2
300	20,7	18,1	19,4	22,4	30,3	39,4
365	32,4	28,3	30,3	35,0	47,4	61,5
3-seitig gehalten; oberer Rand frei; seitlich eingespannt						
Wanddicke t [mm]	**Verhältnis h/l (Verhältnis der Wandhöhe zur Wandlänge)[3]**					
	0,30	**0,50**	**0,75**	**1,00**	**1,50**	**2,00**
115	4,6	5,0	5,5	6,1	7,5	9,2
150	7,9	8,4	9,3	10,4	12,8	15,7
175	10,7	11,5	12,7	14,1	17,5	21,3
200	14,0	15,0	16,6	18,4	22,8	27,9
240	20,1	21,6	23,8	26,5	32,8	40,1
300	31,5	33,7	37,3	41,5	51,3	62,7
365	49,2	52,6	58,2	64,8	80,2	98,0

[1] Bei Überbindemaßen $0{,}2 \leq l_{ol}/h_u < 0{,}4$ sind die zulässigen Größtwerte der Ausfachungsflächen um 50 % abzumindern.
[2] In anderen Windzonen ist der Tabellenwert mit dem Faktor k_{wd} nach Tafel 4 zu multiplizieren.
[3] Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.

chungsflächen noch mit dem Faktor 4/3 erhöht werden (siehe Tafel 4).

$$\text{zul } A_W = A_{W0} \cdot k_{wd} \qquad (2.3)$$

mit

A_{W0} Ausfachungsfläche für WZ 1 bis $h = 18$ m und WZ 2 (Binnenland) bis $h = 10$ m nach Tafel 3

k_{wd} Faktor zur Umrechnung der zulässigen Ausfachungsflächen in andere Windzonen nach Tafel 4

Wesentlichen Einfluss auf die Größe der zulässigen Ausfachungsfläche hat eine vorhandene seitliche Einspannung der Ausfachungsfläche. Falls diese Lagerungsbedingung angenommen wird, so ist die seitliche Einspannung in die aussteifenden Bauelemente konstruktiv sicherzustellen.

Tafel 4 Faktor k_{wd} für die Umrechnung der Windlast in andere Windlastzonen nach DIN EN 1991-1-4/NA [9]

Windzone		Faktor k_{wd} für die Bemessungswindlast bei einer Gebäudehöhe h in den Grenzen von		
		$h \leq 10$ m	10 m < $h \leq$ 18 m	18 m < $h \leq$ 25 m
1	Binnenland	1,33	1,00	0,89
2	Binnenland	1,00	0,80	0,73
	Küste [1] und Inseln der Ostsee	0,80	0,67	0,62
3	Binnenland	0,80	0,73	0,62
	Küste [1] und Inseln der Ostsee	0,62	0,57	0,50
4	Binnenland	0,73	0,57	0,50
	Küste [1] der Nord- und Ostsee und Inseln der Ostsee	0,53	0,47	0,42
	Inseln der Nordsee [2]	0,47	–	–

[1] Zur Küste zählt ein 5 km breiter Streifen, der entlang der Küste verläuft und landeinwärts gerichtet ist.
[2] Auf den Inseln der Nordsee ist der Böengeschwindigkeitsdruck für Bauwerke über 10 m in Abhängigkeit der Höhe zu ermitteln (siehe DIN EN 1991-1-4/NA [9]).

2.4 Anschlüsse an angrenzende Bauteile

Nicht tragende Außenwände müssen in den sich aus den vorstehenden Tafeln ergebenden Abständen horizontal gehalten werden. Werden die Größtwerte der Ausfachungsflächen überschritten, kann eine Zwischenhalterung durch andere Maßnahmen erreicht werden, z.B. mit Hilfe von Stahlprofilen in C- oder I-Form. Werden die Wände nicht bis unter die Decke oder den Unterzug gemauert, sind für eine vierseitige Halterung am Wandkopf entsprechende Riegel, z.B. aus Stahl oder Stahlbeton bzw. ausbetonierte KS -U-Schalen, erforderlich oder es ist eine dreiseitige Halterung mit freiem oberen Rand anzunehmen.

Nicht tragende Außenwände und ihre Anschlüsse müssen so ausgebildet sein, dass sie die auf sie wirkenden Windlasten auf die angrenzenden tragenden Bauteile sicher abtragen; diese Forderung wird bei den Konstruktionsbeispielen (Bilder 1 und 2) erfüllt. Für den Anschluss der Wand kann auf einen statischen Nachweis an angrenzende Bauteile verzichtet werden, wenn diese Verbindungen offensichtlich unter Einhaltung der üblichen Sicherheiten ausreichen. Bei den Wandanschlüssen

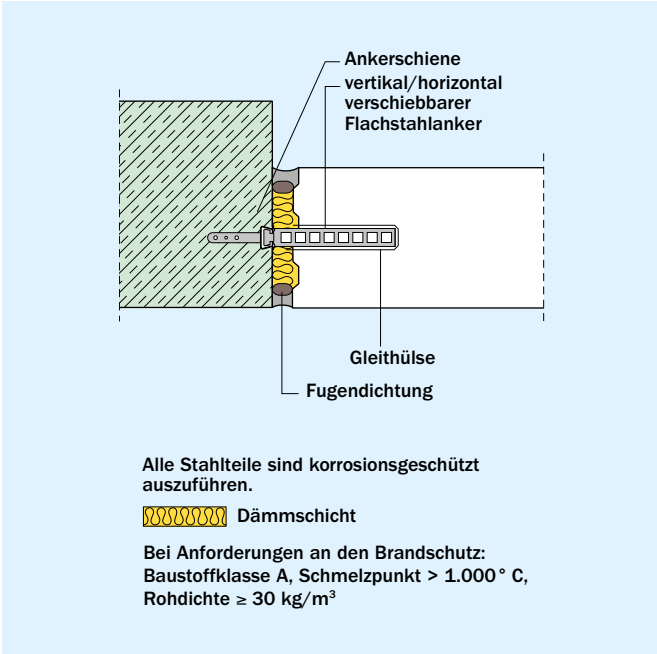


Bild 1 Beispiel für einen gelenkigen Wandanschluss an eine Stahlbetonstütze mit Ankerschienen bei Verwendung von Normalmauermörtel

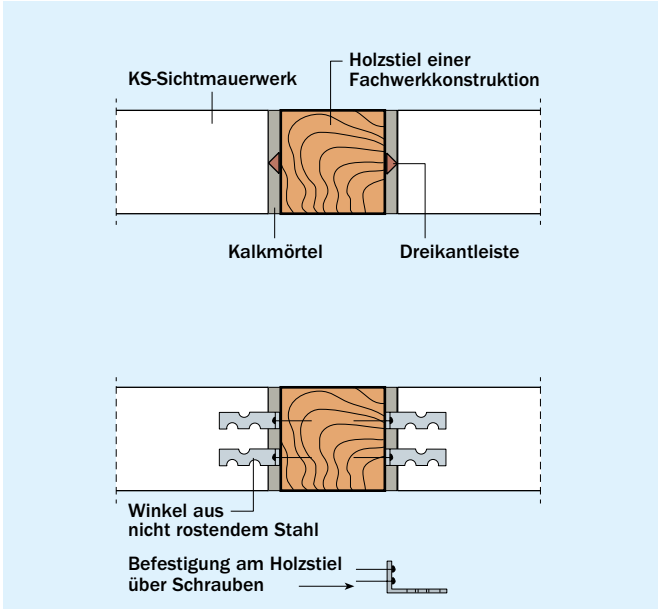


Bild 2 Wandanschluss von KS-Sichtmauerwerk an eine Holzfachwerkkonstruktion

ist zu beachten, dass infolge der Verformungen keine Zwängungsspannungen auftreten können.

Einflüsse, die aus den Formänderungen angrenzender Bauteile resultieren, z.B. durch Längenänderungen oder nachträgliches Durchbiegen weitgespannter Tragkonstruktionen sowie Formänderungen der Wände selbst infolge von Witterungs- und Temperatureinflüssen, sind bei der Wahl der Anschlüsse zu berücksichtigen.

Der seitliche Anschluss an angrenzende Bauteile erfolgt in der Regel gleitend und elastisch

- durch Einführen der Wand in eine Nut,
- durch übergreifende Stahlprofile oder Ankersysteme in korrosionsgeschützter Ausführung.

Zwischen nicht tragenden Außenwänden und angrenzenden Bauteilen werden z.B. Streifen aus Mineralwolle o.Ä. eingelegt, äußere und innere Fugen sind elastoplastisch oder mit Fugenbändern abzudichten. Bei zweischaligen Wänden wird die Wandschale verankert, die für die Bestimmung der Größe der Ausfachungsfläche herangezogen wird, im Normalfall die Innenschale. Die Außenschale wird entsprechend DIN EN 1996-1-1/NA [1] mit Drahtankern aus nicht rostendem Stahl an die Innenschale angeschlossen. Die Mindestanzahl der Drahtanker je m^2 Wandfläche ist DIN EN 1996-1-1/NA zu entnehmen. Andere Ankerformen (z.B. Flachstahlanker) sind zulässig bei entsprechendem Nachweis der Brauchbarkeit, z.B. durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung. Bei nicht flächiger Verankerung der Außenschale (linienförmige oder geschossweise Verankerung) ist die Standsicherheit entsprechend nachzuweisen.

Der obere Anschluss der nicht tragenden Außenwand an die tragenden Bauteile sollte sinngemäß wie der seitliche Anschluss gleitend ausgeführt werden. Entsprechend Art und Spannweite der tragenden Konstruktion erfolgt im Bereich des oberen Wandanschlusses ein Toleranzausgleich, im Allgemeinen von ca. 2 cm. Der Hohlraum ist mit Mineralwolle auszufüllen und gegen Schlagregenbeanspruchung abzudichten. Dadurch wird vermieden, dass die tragenden angrenzenden Bauteile durch Formänderungen und nachträgliches Durchbiegen unbeabsichtigte Lasten und Spannungen auf die nicht tragenden Außenwände übertragen.

Am unteren Anschluss werden die Horizontalkräfte aus Windlasten zwischen der nicht tragenden Außenwand und dem tragenden Bauteil durch Reibung auf die tragende Konstruktion abgeleitet. Dies ist bei der Auswahl von Feuchtesperrschichten zu berücksichtigen.

3. Nicht tragende innere Trennwände nach DIN 4103-1

3.1 Vereinfachter Nachweis nach DIN 4103-1 und DGfM-Merkblatt

3.1.1 Anforderungen

Nicht tragende KS-Innenwände und ihre Anschlüsse müssen so ausgebildet sein, dass sie Anforderungen nach DIN 4103-1 [3] erfüllen.

- Sie müssen statischen – vorwiegend ruhenden – sowie stoßartigen Belastungen, wie sie im Gebrauchszustand entstehen können, widerstehen.
- Sie müssen, neben ihrer Eigenlast einschließlich Putz oder Bekleidung, die auf ihre Fläche wirkenden Lasten aufnehmen und auf andere Bauteile, wie Wände, Decken und Stützen, abtragen.
- Sie müssen leichte Konsollasten aufnehmen, deren Wert $q_k \leq 0{,}4$ kN/m beträgt (Lastanordnung siehe Bild 3). Bilder, Buchregale, kleine Wandschränke u.Ä. lassen sich so an jeder Stelle der Wand unmittelbar in geeigneter Befestigungsart anbringen. Eine Überlagerung des Lastfalls „Konsollasten“ mit anderen Lastfällen ist nicht erforderlich.
- Sie dürfen sowohl bei weichen als auch bei harten Stößen nicht zerstört oder örtlich durchstoßen werden.
- Sie müssen zum Nachweis ausreichender Biegegrenztragfähigkeit eine horizontale Streifenlast $q_{h,k}$ nach Abschnitt 3.1.2 aufnehmen, die 0,9 m über dem Fußpunkt der Wand angreift.
- Sie können auch Funktionen zur Sicherung gegen Absturz übernehmen (s. Abschnitt 3.1.3).

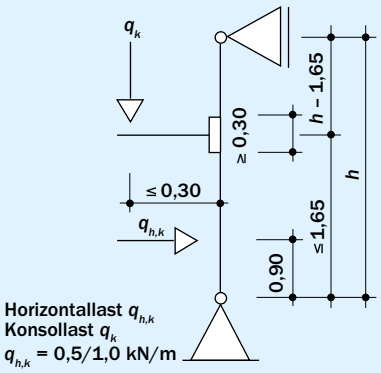


Bild 3 Statische Belastungen nach DIN 4103-1 [3]

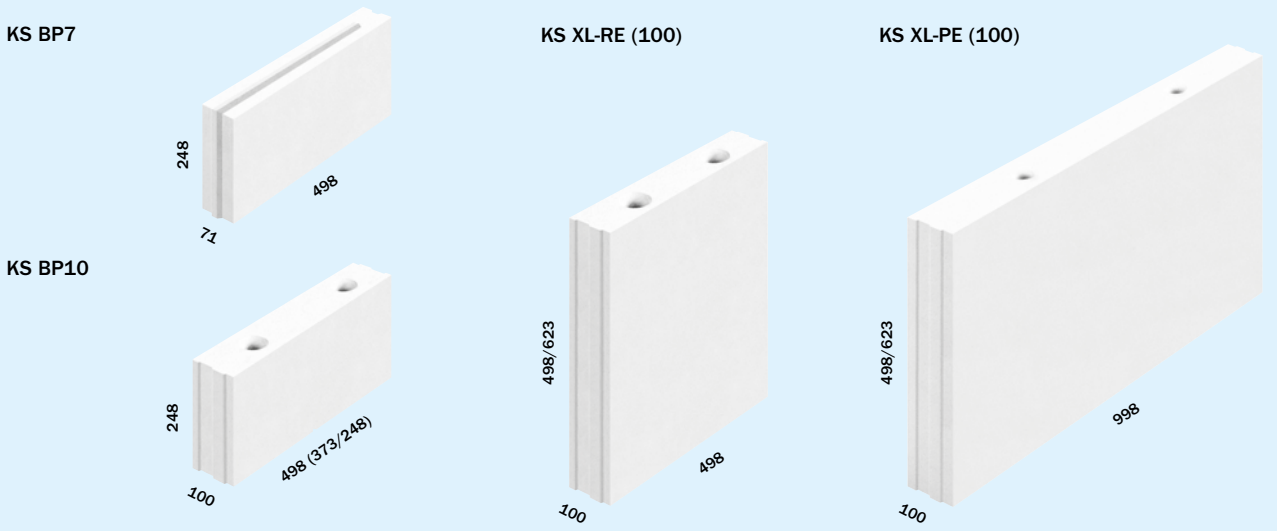


Bild 4 KS-Produkte für nicht tragende Wände < 115 mm

- Wenn Trennwände durch Windkräfte beansprucht werden, z.B. in Hallenbauten mit großen, häufig offenstehenden Toren, ist hierfür neben den nachfolgenden Nachweisen auch der Nachweis nach Abschnitt 2 für nicht tragende Außenwände erforderlich, wobei der Lastfall „Windlast“ nicht mit den anderen Lastfällen (z.B. Konsollast) zu kombinieren ist.

Nicht tragende innere Trennwände sind auch mit Wanddicken t < 115 mm zulässig. Hierfür werden spezielle Kalksandsteinprodukte angeboten (Bild 4). Die Lasten nicht tragender Trennwände auf Decken dürfen vereinfachend über einen flächig anzusetzenden Zuschlag auf die charakteristische Nutzlast berücksichtigt werden. Die in Tafel 5 angegebenen Werte gelten dabei für leichte Trennwände mit einem zulässigen Gesamtgewicht von bis zu 5 kN/m. Schwerere Trennwände (> 5 kN/m) müssen gemäß DIN EN 1991-1-1/NA [11] als Linienlasten in der statischen Berechnung der Decken berücksichtigt werden.

Tafel 5 Technische Daten für nicht tragende KS-Wände mit Linienlasten ≤ 5 kN/m

	Eigenschaft	Einheit	Produkte			
	Wanddicke	[mm]	**70**	**100**	**100**	**115**
	Steinbezeichnung	–	**KS BP7**	**KS BP10**	**KS BP10**	**KS L**
	Steinrohdichteklasse	–	**2,0**	**1,2**	**1,4**	**1,4**
Statik [1)]	**Maximale Wandhöhe bei Linienlast nach DIN EN 1991-1-1/NA (≤ 5 kN/m)**	[m]				
	mit Dünnlagenputz (d = 2 · ca. 5 mm)		3,45	3,70	3,25	2,85
	mit beidseitigem Putz (d = 2 · 10 mm)		3,10	3,30	2,95	2,65
	Zuschlag zur Verkehrslast der Decke nach DIN EN 1991-1-1/NA	[kN/m²]	1,2	1,2	1,2	1,2
Schallschutz [1)]	**Bewertetes Direktschalldämm-Maß R_w nach DIN 4109-2:2016-07**	[dB]				
	mit Dünnlagenputz (d = 2 · ca. 5 mm)		44	42	44	46
	mit beidseitigem Putz (d = 2 · 10 mm)		45	43	45	47
Brandschutz	**Feuerwiderstandsklasse nach DIN EN 1996-1-2/NA**					
	mit Dünnlagenputz (d = 2 · ca. 5 mm)	–	EI 60	EI 90	EI 90	EI 120
	mit beidseitigem Putz (d = 2 · 10 mm)		EI 90	EI 90	EI 90	EI 120

[1)] Die Ermittlung der Wandflächengewichte bzw. flächenbezogenen Masse der Wände ist in DIN EN 1991-1-1/NA und DIN 4109 unterschiedlich geregelt.
Anmerkung: Wenn die maximalen Wandhöhen überschritten werden, ist ein Nachweis durch Ansatz einer Linienlast auf der Decke möglich. Wände mit höherem Wandeigengewicht (z.B. 115 mm dicke Wände der RDK 2,0) können alternativ zum Ansatz als Linienlast auch durch erhöhte Deckenzuschläge nach [12] berücksichtigt werden.

3.1.2 Einbaubereiche

Entsprechend der Nutzung der Räume, zwischen denen die nicht tragenden KS-Innenwände errichtet werden sollen, sind beim Nachweis der Biegegrenztragfähigkeit in Abhängigkeit vom Einbaubereich unterschiedlich große horizontale Streifenlasten anzusetzen. Nach DIN 4103-1 [3] werden die Einbaubereiche wie folgt definiert:

Einbaubereich 1:

Bereiche mit geringer Menschenansammlung, z.B. Wohnungen, Hotel-, Büro-, Krankenräume und ähnlich genutzte Räume einschließlich der Flure:

$q_{h1,k} = 0{,}5$ kN/m

Einbaubereich 2:

Bereiche mit großer Menschenansammlung, z.B. größere Versammlungsräume, Schulräume, Hörsäle, Ausstellungs- und Verkaufsräume sowie ähnlich genutzte Räume. Hierzu zählen auch stets Trennwände zwischen Räumen mit einem Höhenunterschied der Fußböden ≥ 1,00 m:

$q_{h2,k} = 1{,}0$ kN/m

3.1.3 Absturzsicherung

Bei absturzsichernden Wänden sind die Horizontallasten nach DIN EN 1991-1-1/NA [11] gemäß Tafel 6 anzusetzen. Die horizontalen Nutzlasten sind in Absturzrichtung in voller Höhe und in der Gegenrichtung mit 50 % mindestens jedoch 0,5 kN/m anzusetzen.

Damit ist bei den meisten absturzsichernden Wänden in Abhängigkeit des Einbaubereichs die gleiche Horizontalbelastung anzusetzen wie bei üblichen nicht tragenden inneren Trennwänden mit geringer oder großer Menschenansammlung. Die Bemessung der Wände kann in diesen Fällen entsprechend vorgenommen werden und führt zu den gleichen Ergebnissen.

3.1.4 Grenzmaße

Die Grenzabmessungen gemauerter nicht tragender Innenwände wurden in [13], [14] und [15] in Abhängigkeit der Lagerungsart (drei- oder vierseitig), einer möglichen vertikalen Auflast sowie der Wanddicke und der verwendeten Steinart durch umfangreiche Versuche ermittelt. Diese werden seit Jahrzehnten im Mauerwerksbau angewendet und haben sich allgemein bewährt.

Bei dem Lastfall „mit Auflast“ handelt es sich dabei nicht um eine planmäßige Auflast, z.B. aus darüber stehenden Wänden, sondern um einen ungewollten Lastabtrag der Decke infolge Kriechens und Schwindens. Werden die Trennwände an der Deckenunterkante voll vermörtelt, kann bei der Ermittlung der zulässigen Wandlängen vom Lastfall „mit Auflast“ ausgegangen werden [14].

Bei dreiseitiger Lagerung ist zu unterscheiden, ob sich der freie Rand an der Wandseite oder am Wandkopf befindet. Bei Wandhöhen $h > 6$ m ist stets ein statischer Nachweis erforderlich. Freie Wandlängen $l > 12$ m sollten vermieden werden [14]. Bei Verwendung von Kalksandsteinen mit Wanddicken $t < 115$ mm ist Mörtelgruppe III oder Dünnbettmörtel erforderlich; bei $t \geq 115$ mm genügt Mörtelgruppe IIa.

Die in den Tafeln 7 und 8 aufgeführten Grenzmaße gelten für ein Überbindemaß $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot h_u$, da ein kreuzweiser Abtrag der auf die nicht tragende Wand wirkenden horizontalen Linienlast vorausgesetzt wird.

Bei Anwendung von Tafel 7 ist für KS-Mauerwerk mit Dünnbettmörtel eine Stoßfugenvermörtelung nicht erforderlich [16].

Bei KS-Mauerwerk mit Normalmauermörtel darf bei Anwendung von Tafel 7 auf eine Stoßfugenvermörtelung verzichtet werden, wenn der Lastabtrag ausschließlich über die kürzere, vertikale Richtung erfolgt. Das ist gegeben, wenn bei vierseitig oder dreiseitig mit einem freien vertikalen Rand gehaltenen KS-Innenwänden die zulässigen Wandlängen ≥ 12 m betragen oder die Wandlänge größer als die doppelte Wandhöhe ist.

Bei Anwendung von Tafel 8 für dreiseitig gehaltene Wände mit oberem freiem Rand gelten die Werte nur für Vermauerung mit Stoßfugenvermörtelung (Normalmauermörtel oder Dünnbettmörtel).

Bei Überschreitung der zulässigen Wandlängen können die Wandflächen durch Aussteifungsstützen z.B. aus Holz, Stahl oder Stahlbeton unterteilt werden.

Tafel 6 Horizontale Nutzlasten bei absturzsichernden Trennwänden

Einbaubereiche (Beispiele)	Horizontale Nutzlast $q_{h,k}$ [kN/m]
■ Räume, Flure und Treppen in Wohn- und Bürogebäuden ■ Arztpraxen ohne schweres Gerät ■ Hotelzimmer, Betten-, Stations- und Aufenthaltsräume in Krankenhäusern ■ Verkehrs- und Parkflächen einschließlich Zufahrtsrampen (Anprall muss durch konstruktive Maßnahmen ausgeschlossen werden.)	0,5
■ Alle anderen Flure, Arbeitsflächen, Versammlungsräume und Flächen mit Personenansammlung einschließlich Treppen und Zugänge ■ Kindertagesstätten, Schulen, Restaurants, Sporthallen, Theater, Kinos	1,0
■ Konzertsäle, Terrassen und Eingangsbereiche für große Menschenansammlungen ■ Tribünen einschließlich Treppen und Zugänge	2,0

Der Planer muss entscheiden, ob die in den Tafeln 7 und 8 angegebenen Grenzlängen tatsächlich ausgenutzt werden. Bei Wandhöhen > 4,50 m wird empfohlen, solche Wände durch horizontale Tragelemente zu unterteilen (z.B. horizontale Riegel aus ausbetonierten KS -U-Schalen mit Bewehrung). Insbesondere bei Wandlängen > 6 m ist die Risssicherheit nach Schubert [17] abzuschätzen und die Verformungsverträglichkeit der nicht tragenden inneren Trennwände und der angrenzenden Bauteile zu beurteilen.

Vermeintliche Unstimmigkeiten der Grenzlängen zwischen vierseitig und dreiseitig gehaltenen Wänden sind vor allem

auf die Art der Belastung (Linienlast generell in 90 cm Höhe über Wandfuß) und unterschiedlich große Biegefestigkeiten des Mauerwerks senkrecht und parallel zur Lagerfuge zurückzuführen (unterschiedliche Auswirkungen).

3.2 Nachweis nach DIN EN 1996-3/NA

In DIN EN 1996-3/NA [2] ist im Anhang B ein weiteres Verfahren für die Bemessung von nicht tragenden Innenwänden enthalten. Das Verfahren baut auf den Regelungen in DIN 4103-1/DGfM-Merkblatt [3, 15] auf und liefert mit den Tafeln 7 und 8 vergleichbare Werte. Entsprechend den Anwendungsbedingungen nach DIN EN 1996-3/NA [2] gilt das Verfahren für Wanddicken $t \geq 115$ mm im Einbaubereich 1. Die von Kirtschig auf der Grundlage von DIN 4103-1 veröffentlichten und seit Jahrzehnten in der Praxis ausschließlich angewendeten Bemessungstabellen sind damit nunmehr für Wanddicken $t \geq 115$ mm im Einbaubereich 1 – insbesondere auch hinsichtlich der von Kirtschig nachgewiesenen aufnehmbaren Stoßbelastung – auch normativ bestätigt.

3.3 Befestigung an angrenzende Bauteile

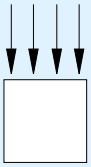
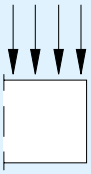
3.3.1 Allgemein

Die nicht tragenden Innenwände erhalten ihre Standsicherheit durch geeignete Anschlüsse an die angrenzenden Bauteile. Die Anschlüsse müssen so ausgebildet sein, dass die Formänderungen der angrenzenden Bauteile sich nicht negativ auf die nicht tragenden Innenwände auswirken können (siehe z. B. Bild 5).

Werden die nicht tragenden Innenwände nicht bis unter die Decke gemauert, z.B. bei durchlaufenden Fensterbändern, so ist zunächst einmal von einem freien Rand auszugehen. Die KS-Innenwände können dann als ausreichend gehalten angesehen werden, wenn die Wandkronen mit durchlaufenden Aussteifungsriegeln z.B. aus Stahlbeton (ausbetonierte KS -U-Schalen) oder aus Stahlprofilen gehalten werden.

In diesem Fall können die Grenzmaße aus Tafel 7 oder 12 bei vier- oder dreiseitiger Halterung (ein freier vertikaler Rand) entnommen werden. Ist innerhalb einer nicht tragenden KS-Innenwand eine Öffnung angeordnet, gilt die Wand im Regel-

Tafel 7 **Zulässige Wandlängen [m] nicht tragender Trennwände mit und ohne Auflast bei vierseitiger bzw. dreiseitiger Halterung, vertikaler Rand frei**

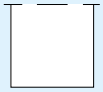
	Einbaubereich	Wandhöhe [m]	Wanddicke [mm]					
			50	70	100	115/150	175/200	240
			Zulässige Wandlänge [m]					
Vierseitige Halterung  ohne Auflast	1	2,5	3	5	7			
		3	3,5	5,5	7,5			
		3,5	4	6	8	10	12	12
		4	–	6,5	8,5			
		4,5	–	7	9			
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	12	12
	2	2,5	1,5	3	5	6		
		3	2	3,5	5,5	6,5		
		3,5	2,5	4	6	7	12	12
		4	–	4,5	6,5	7,5		
		4,5	–	5	7	8		
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	12	12
Vierseitige Halterung  mit Auflast[1)]	1	2,5	5,5	8				
		3	6	8,5				
		3,5	6,5	9	12	12	12	12
		4	–	9,5				
		4,5	–	–				
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	12	12
	2	2,5	2,5	5,5	8			
		3	3	6	8,5			
		3,5	3,5	6,5	9	12	12	12
		4	–	7	9,5			
		4,5	–	7,5	10			
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	12	12
Dreiseitige Halterung  ohne Auflast	1	2,5	1,5	2,5	3,5			
		3	1,75	2,75	3,75			
		3,5	2	3	4	5	8	12
		4	–	3,25	4,25			
		4,5	–	3,5	4,5			
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	8	12
	2	2,5	0,75	1,5	2,5	3		
		3	1	1,75	2,75	3,25		
		3,5	1,25	2	3	3,5	6	12
		4	–	2,25	3,25	3,75		
		4,5	–	2,5	3,5	4		
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	6	12
Dreiseitige Halterung  mit Auflast[1)]	1	2,5	2,75	4				
		3	3	4,25				
		3,5	3,25	4,5	6	8	10	12
		4	–	4,75				
		4,5	–	–				
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	10	12
	2	2,5	1,25	2,75	4			
		3	1,5	3	4,25			
		3,5	1,75	3,25	4,5	6	8	12
		4	–	3,5	4,75			
		4,5	–	3,75	5			
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	8	12

[1)] Unter Auflast wird hierbei verstanden, dass die Wände an der Deckenunterkante voll vermörtelt sind und die darüber liegenden Decken infolge Kriechens und Schwindens sich auf die nicht tragenden Wände zum Teil absetzen können. Ganz allgemein gilt, dass das Verfugen zwischen dem oberen Wandende und der Decke mit Mörtel geringer Festigkeit eher zu empfehlen ist als das Dazwischenlegen von stark nachgiebigem Material. Dies gilt insbesondere dann, wenn davon ausgegangen werden kann, dass nach dem Verfugen in die Trennwände keine Lasten mehr aus Verformung infolge Eigengewichts der darüber liegenden Bauteile eingetragen werden. Das Vermörteln der Anschlussfuge zwischen nicht tragender Wand und Stahlbetondecken soll daher möglichst spät erfolgen.

Bei KS-Mauerwerk mit Dünnbettmörtel darf generell auf eine Stoßfugenmörtelung verzichtet werden.

Dies gilt auch bei Verwendung von Normalmauermörtel mit statisch zulässigen Wandlängen ≥ 12 m oder bei Wänden mit Wandlängen größer als die doppelte Wandhöhe. Für Wanddicken von 50 und 70 mm sowie 100 mm unter Auflast im Einbaubereich 2 gelten die angegebenen Grenzmaße bei Verwendung von Normalmauermörtel der NM III (trockene Kalksandsteine sind vorzunässen) oder Dünnbettmörtel.
Bei Wanddicken ≥ 115 mm ist Normalmauermörtel mindestens der Mörtelgruppe IIa (trockene Kalksandsteine sind vorzunässen) oder Dünnbettmörtel zu verwenden.

Tafel 8 Zulässige Wandlängen [m] nicht tragender innerer Trennwände ohne Auflast bei dreiseitiger Halterung, oberer Rand frei

Dreiseitige Halterung[1]	Einbaubereich	Wandhöhe [m]	Wanddicke [mm]					
			50	70	100	115/150	175/200	240
			Zulässige Wandlänge [m]					
 ohne Auflast	1	2	3	7	8	8		
		2,25	3,5	7,5	9	9		
		2,5	4	8	10	10		
		3	5	9	10	10	12	12
		3,5	6	10	12	12		
		4	–	10	12	12		
		4,5	–	10	12	12		
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	12	12
	2	2	1,5	3,5	5	6	8	8
		2,25	2	3,5	5	6	9	9
		2,5	2,5	4	6	7	10	10
		3	–	4,5	7	8	12	12
		3,5	–	5	8	9	12	12
		4	–	6	9	10	12	12
		4,5	–	7	10	10	12	12
		> 4,5 – 6	–	–	–	–	12	12

[1] Die obere Halterung kann durch einen Ringbalken hergestellt werden. In diesem Fall gelten die Werte der Tafel 7.

Die Stoßfugen sind generell zu vermörteln.

Für Wanddicken ≤ 100 mm ist Normalmauermörtel der NM III (trockene Kalksandsteine sind vorzunässen) oder Dünnbettmörtel zu verwenden.
Bei Wanddicken ≥ 115 mm ist Normalmauermörtel mindestens der NM IIa (trockene Kalksandsteine sind vorzunässen) oder Dünnbettmörtel zu verwenden.

delt, ist ein Nachweis in der Regel jedoch nicht erforderlich.

Zusätzlich zu den statischen Gesichtspunkten sind oft bauphysikalische Belange (Schall- und Brandschutz) für die Befestigung der nicht tragenden Wände an angrenzende Bauteile maßgebend.

3.3.2 Starrer (eingespannter) Anschluss

Starre Anschlüsse werden (Bild 6) durch Verzahnung, durch Ausfüllen der Fuge zwischen nicht tragender Innenwand und angrenzendem Bauteil mit Mörtel oder durch gleichwertige Maßnahmen wie Anker, Dübel oder einbindende Stahleinlagen hergestellt. Sie können ausgeführt werden, wenn keine oder nur geringe Zwängungskräfte aus den angrenzenden Bauteilen auf die Wand zu erwarten sind. Starre seitliche Anschlüsse bleiben im Regelfall auf den Wohnungsbau mit Wandlängen ≤ 5,0 m und geringen Deckenspannweiten beschränkt. Die Anschlussfugen zwischen Innenwänden und angrenzenden Bauteilen sind mit Mörtel satt, Mineralwolle o.Ä. auszufüllen, um die schall- und brandschutztechnischen Anforderungen zu erfüllen.

fall an dieser Stelle vertikal als nicht gehalten. Es ist ein freier vertikaler Rand anzunehmen. Raumhohe Zargen oder Stahlprofile in U- oder I-Form oder auch ausbetonierte KS -U-Schalen gelten bei entsprechender Ausbildung als seitliche Halterung.

Während die Wandscheiben selbst als nachgewiesen gelten, wenn die Grenzmaße nach den Tafeln 7, 8 und 12 eingehalten sind, ist die Aufnahme der Belastungen durch die Anschlüsse nachzuweisen. Sofern es sich um bewährte Anschlüsse han-

3.3.3 Gleitender (gelenkiger) Anschluss

Gleitende Anschlüsse sind insbesondere dann auszuführen, wenn mit unplanmäßigen Krafteinleitungen in die nicht tragenden Innenwände durch Verformung der angrenzenden Bauteile zu rechnen ist und diese zu erhöhten Spannungen führen können. Gleitende Anschlüsse werden durch Anordnung von Stahlprofilen oder Nischen, eventuell in Verbindung mit einer Gleitfolie, hergestellt (siehe Bilder 7 und 8). Bei Anschlussfu-

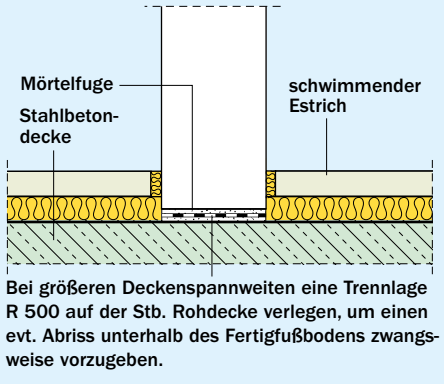


Bild 5 Wandanschluss im Fußpunkt

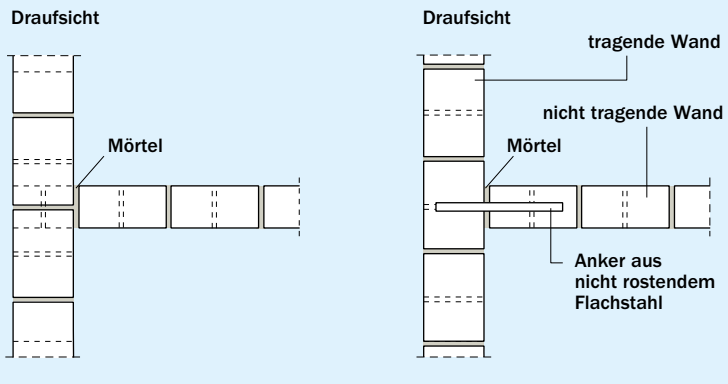


Bild 6 Wandanschlüsse seitlich (starr)

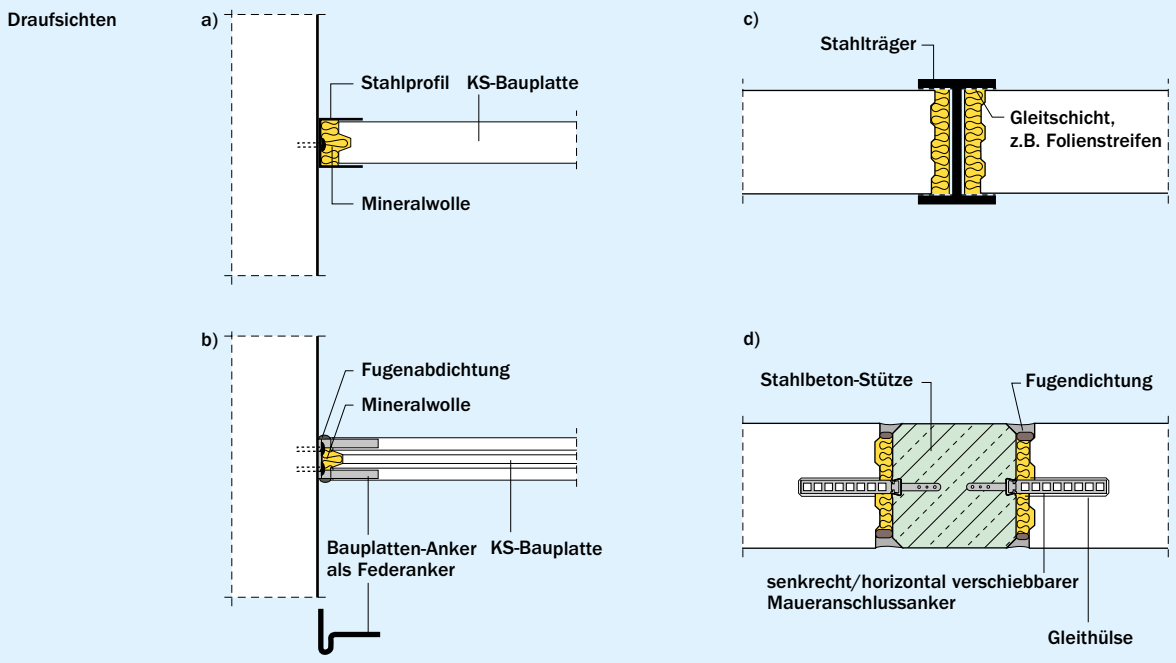


Bild 7 Seitliche Wandanschlüsse (gleitend)

gen, die mit Mineralwolle ausgefüllt werden, ist der Schallschutz besonders zu beachten.

Die Profiltiefe ist so zu wählen, dass auch bei einer Verformung der angrenzenden Bauteile die seitliche Halterung sichergestellt bleibt. Beim Anschluss im Fußpunktbereich (Trennwand/Stahlbetondecke) ist zur Abkopplung beider Systeme ohne Profil eine besandete Bitumendachbahn R 500 – insbesondere bei großen Deckenspannweiten – vorzusehen (siehe Bild 5).

3.4 Beschränkung der Deckendurchbiegung

Wenn durch zu große Durchbiegungen der Stahlbetondecke Schäden an nicht tragenden Innenwänden entstehen können, so ist die Größe dieser Durchbiegungen durch gezielte Maßnahmen zu beschränken oder es sind andere bauliche Vorkehrungen zur Vermeidung derartiger Schäden zu treffen. Der Nachweis der Beschränkung der Deckendurchbiegung kann durch die Begrenzung der Biegeschlankheit geführt werden.

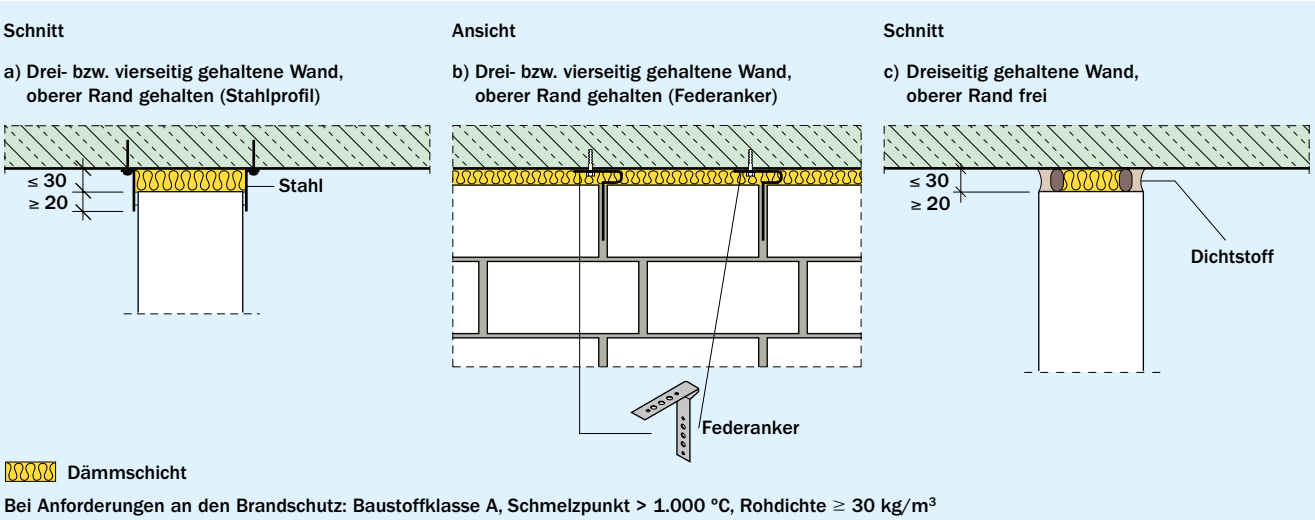
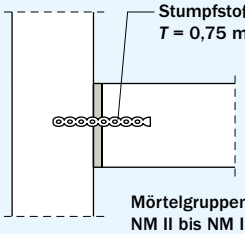
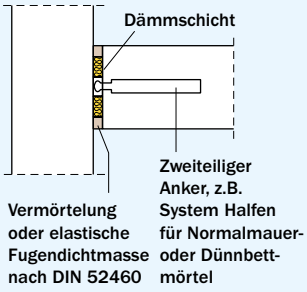
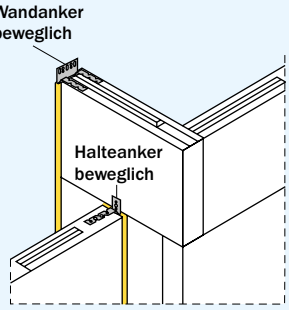
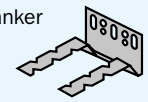
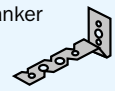
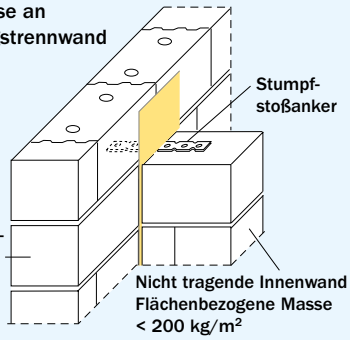


Bild 8 Deckenanschlüsse (gleitend)

Tafel 9 Seitliche Wandanschlüsse für nicht tragende Innenwände unter Berücksichtigung von Statik, Brand- und Schallschutz

Anschlussdetail Fuge	Statik	Schallschutz	Brandschutz[1)]
Anschlüsse im eigenen Wohnbereich Mauerwerk mit NM oder DM  	**Starr gehalten** durch Maueranker und vollflächig satt vermörtelte Anschlussfuge mit NM oder DM	**Schalltechnisch biegesteif und dicht** Bei Baustoffen mit unterschiedlichem Verformungsverhalten oder nicht vollflächiger Vermörtelung ist ggf. eine Entkopplung und Undichtigkeit anzunehmen.	**Anschlussfuge voll vermörtelt mit NM oder DM** EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
Anschlüsse im eigenen Wohnbereich Mauerwerk mit NM oder DM  	**Gelenkig gehalten** durch in Ankerschiene eingelegte Maueranker	**Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt** bei Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe[2)] **Schalltechnisch dicht** mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
Anschlüsse im eigenen Wohnbereich Bewegliche Maueranker für DM-Mauerwerk  	**Gelenkig gehalten** durch Wandanker  durch Halteanker 	**Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt** bei Halteankern und Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe[2)] **Schalltechnisch dicht** mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
Anschlüsse an Wohnungstrennwand  	**Gelenkig gehalten** durch Mauerwerksanker und nachgiebiger Füllung mit Mineralfaserstreifen des Stumpfstoßanschlusses	**Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt** bei Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe[2)] **Schalltechnisch dicht** mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60

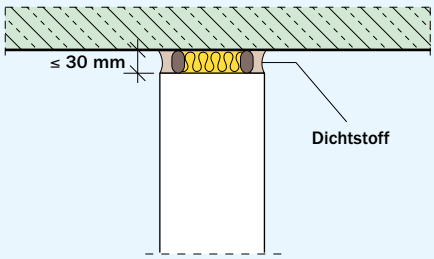
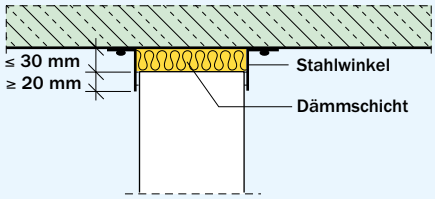
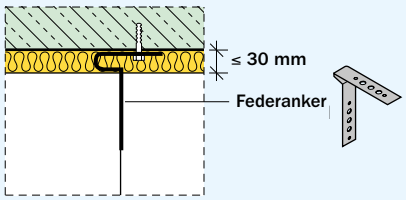
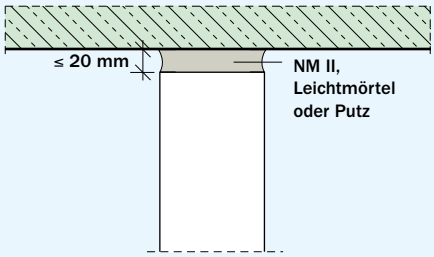
[1)] Die Klassifizierung des Wandanschlusses entspricht der Klassifizierung der Wand, wenn die angegebenen Bedingungen eingehalten werden. Nicht tragende raumabschließende Wände EI nach DIN EN 13501-2

[2)] Der Putz ist bei entkoppelten Anschlüssen mit einem Kellenschnitt zu trennen und nachträglich z.B. mit Acryl zu schließen.

Empfehlungen für die Ausführung von nicht tragenden Innenwänden:

- Wände grundsätzlich auf eine Trennschicht (z.B. R 500) stellen
- Seitliche Anschlüsse an Treppenhaus- und Wohnungstrennwände akustisch entkoppelt ausführen, wenn die flächenbezogene Masse der nicht tragenden Trennwände < 200 kg/m² beträgt
- Seitliche Anschlüsse untereinander vermörtelt, schalltechnisch biegesteif (kraftschlüssig) ausführen
- Bei kraftschlüssiger Ausführung der oberen Anschlussfuge ist Mörtel geringer Festigkeit (z.B. Leichtmörtel oder Putz) zu wählen.

Tafel 10 Obere Wandanschlüsse für nicht tragende Innenwände unter Berücksichtigung von Statik, Brand- und Schallschutz

Anschlussdetail Fuge	Statik	Schallschutz	Brandschutz [1]
	**Oberer Rand nicht gehalten** die Wand ist 3-seitig zu halten die Stoßfugen sind grundsätzlich zu vermörteln	**Schalltechnisch entkoppelt und dicht** mit beidseitigem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung durch Dichtstoff, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60 Die Fugen müssen dicht ausgestopft werden. Für EI 30 mind. 50 mm; für EI 60 mind. 60 mm und für EI 90 und „Brandwände“ mind. 100 mm Breite der jeweiligen Wanddicke.
	**Oberer Rand gehalten** die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand	**Schalltechnisch entkoppelt und nicht dicht** Als trennendes Bauteil nur geeignet mit zusätzlichem Fugendichtstoff in der Anschlussfuge	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung durch Stahlwinkel, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
 Die Stoßfugen mit Federanker sind zu vermörteln.	**Oberer Rand gehalten** die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand	**Schalltechnisch entkoppelt und dicht** mit beidseitigem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
	**Oberer Rand gehalten** mit Auflast infolge Kriechen und Schwinden der Stahlbetondecke [2] die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand Anschlussfuge vollständig durch NM II, Leichtmörtel oder Putz ausgefüllt	**Schalltechnisch biegesteif und dicht** Bei Wänden mit Schallschutzanforderungen sollte diese Ausführungsvariante gewählt werden.	EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60

[1] Nicht tragende raumabschließende Wände EI nach DIN EN 13501-2

[2] Bei Wandlängen > 5 m sollte dieser Anschluss mit dem Tragwerksplaner abgestimmt werden.

Empfehlungen für die Ausführung von nicht tragenden Innenwänden:

- Wände grundsätzlich auf eine Trennschicht (z.B. R 500) stellen
- Seitliche Anschlüsse an Treppenhaus- und Wohnungstrennwände akustisch entkoppelt ausführen, wenn die flächenbezogene Masse der nicht tragenden Trennwände < 200 kg/m² beträgt
- Seitliche Anschlüsse untereinander vermörtelt, schalltechnisch biegesteif (kraftschlüssig) ausführen
- Bei kraftschlüssiger Ausführung der oberen Anschlussfuge ist Mörtel geringer Festigkeit (z.B. Leichtmörtel oder Putz) zu wählen.

Die Schlankheit biegebeanspruchter Bauteile mit normalen Anforderungen nach Abschnitt 7.4.2 von DIN EN 1992-1-1/NA [18], die mit ausreichender Überhöhung der Schalung hergestellt werden, darf nicht größer sein als $l_f/d \leq K \cdot 35$.

Bei Deckenplatten, an die höhere Anforderungen gestellt werden, weil sie beispielsweise nicht tragende Innenwände zu tragen haben, sollte die Schlankheit wie folgt begrenzt werden:

$$\frac{l_f}{d} \leq K^2 \cdot \frac{150}{l_f} \text{ bzw. } d \geq \frac{l_f^{\,2}}{K^2 \cdot 150} \qquad (3.1)$$

mit

l_f Stützweite der Decke [m]
d Statische Höhe des biegebeanspruchten Bauteils [m]
K Beiwert zur Berücksichtigung der verschiedenen statischen Systeme nach Tafel 11

Auch Verformungen, die angrenzende Bauteile des Tragwerks beschädigen könnten, sind in der Regel zu begrenzen. Für die Durchbiegung unter quasi-ständiger Einwirkungskombination nach Einbau dieser Bauteile kann die Begrenzung 1/500 der Stützweite angenommen werden.

In DIN EN 1992-1-1/NA sind in Abschnitt 7.4.2 weitere Gleichungen zur Berechnung der zulässigen Biegeschlankheit angegeben, in welche neben der Betondruckfestigkeit auch der Längsbewehrungsgrad der Stahlbetonplatte eingeht. Es darf jedoch davon ausgegangen werden, dass unter Einhaltung dieser zulässigen Biegeschlankheiten die bereits erläuterte Begrenzung der Verformung von 1/500 der Stützweite eingehalten ist.

3.5 Vorteile massiver nicht tragender innerer Trennwände

Nicht tragende Innenwände aus Kalksandstein, die auch als Trennwände bezeichnet werden, zeichnen sich durch viele Vorteile gegenüber anderen Bauweisen aus. Diese Vorteile können in Anlehnung an die Nachhaltigkeitsbewertung von Bauwerken in technische und soziokulturell-funktionale Qualitäten eingeteilt werden. Zu den technischen Qualitäten von Trennwänden aus Kalksandstein gehören neben den Vorzügen im statisch-konstruktiven Bereich vor allem die Vorteile in den bauphysikalischen Disziplinen des Brand-, Schall- und Wärmeschutzes. Die soziokulturell-funktionalen Qualitäten werden durch das entstehende Komfortniveau bestimmt. Hierzu gehören der thermische, visuelle und akustische Komfort sowie die Qualität der Innenraumluftqualität.

Die massive Bauweise von Trennwänden aus Kalksandsteinen mit ihrer homogenen Struktur aus Steinen und Mörtel zeichnet sich insbesondere durch hervorragende Stabilität aus. Hierzu zählt auch die herausragende Tragfähigkeit bei angehängten Konsollasten einschließlich der Dübelverankerung von Lasten, die beispielsweise durch schwere angehängte Küchenschränke entstehen. Durch die Wahl massiver Trennwände ergeben sich zudem erhebliche Vorteile hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit, da bei der Verwendung identischer Materialien für tragende und nicht tragende Außen- und Innenwände neben einem einheitlichem Putzgrund auch gleiche Verformungseigenschaften der Wände gegeben sind. Hierdurch wird in hohem Maße zur Vermeidung von Rissbildungen beigetragen.

In Bezug auf die bauphysikalischen Eigenschaften zeigen sich die Vorteile von Kalksandstein-Mauerwerk vor allem im vorbeugenden baulichen Brandschutz. Die bauordnungsrechtlichen Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen und an den Feuerwiderstand der Wände werden vollumfänglich erfüllt. Trennwände aus Kalksandstein-Mauerwerk sind nicht brennbar und können damit auch nicht selbst zu einem Brand beitragen. Bei normgerechter Ausführung der Wandanschlüsse an die angrenzenden Bauteile wird der geforderte Feuerwiderstand problemlos erfüllt. Alle Brandschutzeigenschaften von Kalksandstein-Mauerwerk sind zudem seit langem normativ geregelt und bedürfen keiner weiteren Prüfzeugnisse oder Bescheinigungen. Im Brandfall wirken sich die Materialeigenschaften von Kalksandstein-Mauerwerk zudem positiv auf das Sicherheitsniveau der Gebäude aus, da der Entstehung und Ausbreitung von Rauch vorgebeugt wird.

Tafel 11 Beiwert K in Abhängigkeit der statischen Systeme nach DIN EN 1992-1-1/NA [18]

Statisches System	K
Frei drehbar gelagerter Einfeldträger; gelenkig gelagerte einachsig oder zweiachsig gespannte Platte	1,0
Endfeld eines Durchlaufträgers oder einer einachsig gespannten durchlaufenden Platte; Endfeld einer zweiachsig gespannten Platte, die kontinuierlich über einer längeren Seite durchläuft	1,3
Mittelfeld eines Balkens oder einer einachsig oder zweiachsig gespannten Platte	1,5
Platte, die ohne Unterzüge auf Stützen gelagert ist (Flachdecke) (auf Grundlage der größeren Spannweite)	1,2
Kragträger	0,4

Anmerkungen:
Die angegebenen Werte befinden sich im Allgemeinen auf der sicheren Seite. Genauere rechnerische Nachweise führen zu dünneren Bauteilen. Für zweiachsig gespannte Platten ist in der Regel der Nachweis mit der kürzeren Stützweite zu führen. Bei Flachdecken ist in der Regel die größere Stützweite zugrunde zu legen. Die für Flachdecken angegebenen Grenzen sind weniger streng als der zulässige Durchhang von 1/250 der Stützweite. Erfahrungsgemäß ist dies ausreichend.

Auch bei anderen Schadensszenarien kann der günstige Beitrag einer massiven Bauweise mit Kalksandsteinen genutzt werden. So wird beispielsweise bei Eintritt eines Hochwasserereignisses das materielle Schadensausmaß deutlich verringert. Die erforderliche Trocknung massiver Kalksandsteinwände ist erheblich günstiger als eine Kompletterneuerung durchfeuchteter Verkleidungs- und Dämmmaterialien bei Konstruktionen in Leichtbauweise. Zudem widerstehen massive Trennwände absichtlichen oder unabsichtlichen Beanspruchungen, z.B. durch Vandalismus, deutlich besser.

Ein weiterer bauphysikalischer Vorteil zeigt sich im Hinblick auf die energetische Qualität des Gebäudes. Massive Trennwände aus Kalksandstein-Mauerwerk sind aufgrund ihrer hohen Masse und Trägheit bei Temperaturänderungen

in der Lage, thermische Energie zu puffern. Sie können zusätzliche Wärme- bzw. Kälteenergie aufnehmen, speichern und erst zeitverzögert im Tag-Nacht-Rhythmus wieder abgeben. Auch hinsichtlich des akustischen Komforts schützt die Trennwand aus Kalksandstein-Mauerwerk den Nutzer vor Schallbelästigungen aus anderen Wohnbereichen in hohem Maße. Die große Rohdichte von Kalksandsteinen ist ausschlaggebend für die gute schallschutztechnische Qualität der Gebäude.

Für das Wohlbefinden und insbesondere die Gesundheit der Nutzer ist die Innenraumluftqualität in Gebäuden von entscheidender Bedeutung. Trennwände aus Kalksandstein-Mauerwerk sind zur Sicherstellung einer hohen Innenraumluftqualität hervorragend geeignet. Dies gilt insbesondere, weil Trennwände aus Kalksandstein unbehandelt auch als Sichtmauerwerk ausgeführt werden können und in anderen Fällen auch die heute verfügbaren Ausbaumaterialien (Spachtelmassen, Putze, Anstriche etc.) emissionsarm sind. Vor allem ältere Menschen und Kinder gelten als besonders empfindlich hinsichtlich einer Belastung der Innenraumluft mit Schadstoffen biologischer (Schimmelpilze, Milben etc.) oder chemisch-physikalischer Herkunft (Faserstäube, Lösungsmittel, Halogene etc.). Ein erheblicher Teil an potentiellen Schadstoffquellen in Gebäuden kann bereits in der Planungsphase vermieden werden, indem bei der Auswahl von Baumaterialien emissionsarme Produkte in Verbindung mit Trennwänden aus Kalksandstein-Mauerwerk gewählt werden.

3.6 Schadensfreie Ausführung

Zur schadensfreien Ausführung nicht tragender Innenwände sind folgende Konstruktions- und Ausführungshinweise zu beachten:

- Begrenzung der Deckendurchbiegung durch Einhalten einer Grenzschlankheit (siehe Abschnitt 3.4)
- Verringerung der Deckendurchbiegung aus Kriechen und Schwinden durch Beachtung der Ausschalfristen und sorgfältige Nachbehandlung des Betons nach DIN EN 1992-1-1/NA [18]. Bei kurzen Ausschalfristen sind wirksame Notstützen zu setzen.
- Nicht tragende Innenwände möglichst spät, d.h. nach Ausschalen der Geschossdecken, aufmauern und ggf. verputzen. Um feuchtebedingte Verformungen gering zu halten, sollten auf der Baustelle die Materialien – Mauersteine, Bauplatten – trocken gelagert bzw. vor starker Durchfeuchtung geschützt werden.
- Durchbiegungen der unteren Decke können bei nicht tragenden Innenwänden zu einer Lastabtragung als Gewölbe oder Biegeträger führen. Es wird empfohlen, die Innenwände als selbsttragend (z.B. als Dünnbettmauerwerk) auszubilden. Zudem sollte die Wand auf eine Trennlage R 500 aufgemauert werden.
- Bei großen Deckenstützweiten können weitere Maßnahmen, z.B. eine Bewehrung der Wand zur Erhöhung der Risssicherheit, erforderlich werden.
- Die Mauerwerksbewehrung wird in die Lagerfugen eingelegt und hat den Zweck, die Bogentragwirkung zu stärken und Risse zu verhindern oder zumindest so zu verteilen, dass sie unschädlich sind [19].
- Bei der Anordnung von Schlitzen sind die Angaben in DIN EN 1996-1-1/NA [1] zu beachten.
- Die Schlitztiefe ist generell zu berücksichtigen. Im üblichen Fall sollte diese von der Wanddicke t abgezogen werden und die Wand anschließend mit dem reduzierten Wandquerschnitt bemessen werden.
- Schlitze für Elektroinstallationen sind mit dafür geeigneten Geräten zu sägen oder zu fräsen, damit das Gefüge des Mauerwerks nicht zerstört wird und die Standsicherheit gewährleistet bleibt. Nach Verlegen der Elektroinstallation lassen sich diese Schlitze problemlos mit Putz schließen.

3.7 Nicht tragende Innenwände aus KS-Bauplatten BP7

Schlanke nicht tragende Innenwände aus KS-Bauplatten mit 70 mm Dicke haben sich seit vielen Jahren im Wohnungsbau, aber auch in Büro- und Wirtschaftsbauten, im Schul- und Krankenhausbau bewährt. Durch ihr günstiges Format und das Nut-Feder-System lassen sie sich äußerst rationell versetzen. Durch die Verarbeitung mit Dünnbettmörtel gelangt während der Herstellungsphase zudem wenig Baufeuchte in den Rohbau. Stoß- und Lagerfugen sind zu vermörteln. KS-Bauplatten sind auch für den nachträglichen Einbau, für Ausbauten und Sanierungen im Baubestand sehr gut geeignet.

Auch für nicht tragende Innenwände kann alternativ das bereits in Abschnitt 2.3 erläuterte Bemessungsverfahren der Technischen Universität Darmstadt [5], [6] angewandt werden, um erforderlichenfalls größere Wandlängen ausnutzen zu können. Jedoch ist bei nicht tragenden Innenwänden eine direkte Berechnung der Wandlänge nicht möglich, da die bezogene Traglast Υ_w von der absoluten Wandhöhe h und gleichzeitig über das Seitenverhältnis von der Wandlänge l abhängt, so dass eine iterative Berechnung erforderlich ist.

Nachfolgende Gleichung gibt die maximale Länge der Wand in Abhängigkeit der einwirkenden Horizontallast an.

$$l_{max} = \frac{1}{q_{h,d}} \cdot \frac{f_{tk1}}{\mu_t} \cdot \frac{1}{\gamma_M} \cdot \frac{t^2}{h} \cdot \Upsilon_w \qquad (3.2)$$

mit

l	Wandlänge [m]
$q_{h,d}$	Horizontale Holmlast = $q_{h,k} \cdot \gamma_Q$
f_{tk1}	Vertikale Biegezugfestigkeit
f_{tk2}	Horizontale Biegezugfestigkeit
μ_t	Biegezugverhältnis: $\mu_t = f_{tk1} / f_{tk2}$
Υ_w	Bezogene Traglast in Abhängigkeit von: Lagerungsbedingungen, h, h/l, μ_t
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert auf der Widerstandsseite: $\gamma_M = 1{,}0$
γ_Q	Teilsicherheitsbeiwert auf der Einwirkungsseite: $\gamma_Q = 1{,}0$
h	Wandhöhe [m]
t	Wanddicke [m]

Damit können 70 mm dicke Wandbauplatten alternativ zur Ermittlung nach den Tafeln 7 und 8 entsprechend nachgewiesen werden. Da die Wandbauplatten nur als nicht absturzsichernde Trennwände eingesetzt werden (Nachweis der Gebrauchstauglichkeit), ist im Schadensfall die Auswirkung gering. Vor diesem Hintergrund ist ein Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_M = 1{,}0$ ausreichend (siehe [20]).

In Tafel 12 sind für den Haupteinsatzbereich (Einbaubereich 1 – siehe Abschnitt 3.1.2) die zulässigen Wandlängen für Kalksandstein-Wandbauplatten KS BP7 mit einer Wanddicke von t = 70 mm in Dünnbettmörtel mit Stoßfugenvermörtelung ohne Auflast angegeben. Die Werte gelten für ein Überbindemaß von $l_{ol} / h_u \geq 0{,}2$ und charakteristische Biegezugfestigkeiten von $f_{tk1} = 0{,}34$ N/mm² und $f_{tk2} = 0{,}49$ N/mm², die in [20] ermittelt wurden.

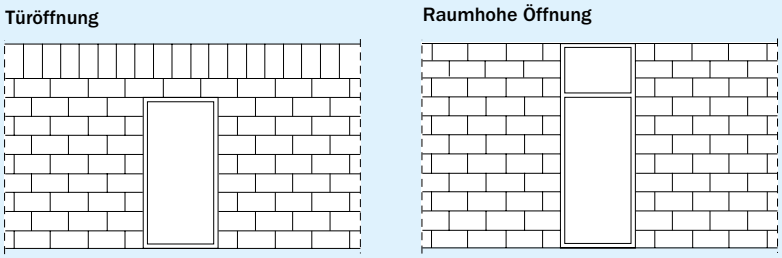
Weitere Vorteile von Wänden aus KS-Bauplatten sind:

- Hohe Beständigkeit, unempfindlich gegen Feuchtigkeit
- Flächengewinn durch geringe Wanddicken
- Glatte ebene Wandflächen mit hoher Maßgenauigkeit
- Hohe Eigenstabilität der Wände bereits bei der Erstellung
- Gute Tragfähigkeit für Konsollasten und für Dübel
- Freie Grundrissgestaltung wegen relativ geringer Wandflächengewichte, die bei üblichen Einsatzgebieten im Wohnungsbau als Zuschlag zur Verkehrslast bei der Deckendimensionierung berücksichtigt werden können.
- Hohe Steinrohdichte, bereits bei 7 cm Dicke mit einem Direktschalldämm-Maß R_w 046 dB (RDK 2,0 zzgl. 2 · 10 mm Putz) für guten Schallschutz auch innerhalb der Wohnungen
- Sicherer Brandschutz, nichtbrennbar; EI 60 ab 70 mm Dicke

Bei Türüberdeckungen bis etwa 1 m Breite werden die Platten ohne Sturz fortlaufend verlegt und vermörtelt (Bild 9). Während der Bauphase wird empfohlen, die Bauplatten im Öffnungsbereich mit einem horizontal angeordneten Kantholz zu unterstützen. Vom Arbeitsablauf rationeller ist es jedoch, raumhohe Öffnungen mit entsprechend ausgebildeten Türzargen vorzusehen. In diesem Fall kann bei der Ermittlung der Grenzmaße von einer vertikalen Halterung der nicht tragenden Innenwand ausgegangen werden.

Tafel 12 Erhöhte Wandlängen nicht tragender Innenwände aus KS-Bauplatten BP7

Wanddicke t = 70 mm, Überbindemaß $l_{ol}/h_u \geq 0{,}2$, Dünnbettmörtel, mit Stoßfugenvermörtelung			
	Wandhöhe [m]	Zulässige Wandlänge [m]	
		4-seitig gehalten, seitlich gelenkig gelagert	3-seitig gehalten, seitlich gelenkig gelagert; freier seitlicher Rand
Einbaubereich 1	2,5	12,0	12,0
	3,0	12,0	12,0
	3,5	12,0	12,0
	4,0	12,0	12,0
	≤ 4,5	12,0	12,0



Durch raumhoch angelegte Türöffnungen in nicht tragenden Wänden kann der zusätzliche Arbeitsaufwand für die Stürze eingespart werden. Bei üblicher Ausführung erfolgt der Höhenausgleich unter der Decke durch abgelängte, hochkant stehende, vermauerte Platten. Schmale Zuschnittplatten sind zu vermeiden.

Bild 9 Türöffnungen

Literatur

[1] DIN EN 1996-1-1:2013-02 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; in Verbindung mit DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 + A1:2014-03 + A2:2015-01

[2] DIN EN 1996-3:2010-12 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten; in Verbindung mit DIN EN 1996-3/NA:2012-01 + A1:2014-03 + A2:2015-01

[3] DIN 4103-1:2015-06: Nichttragende innere Trennwände – Teil 1: Anforderungen und Nachweise

[4] Kirtschig, K.: Gutachtliche Stellungnahme zur Größe der Ausfachungsflächen von nichttragenden Außenwänden unter Verwendung von großformatigen Kalksandsteinen. Hannover Juli 1993

[5] Richter, L.: Tragfähigkeit nichttragender Wände aus Mauerwerk, Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2009

[6] Graubner, C.-A.; Richter, L.: Nichttragende Wände aus Mauerwerk; Forschungsbericht F01-06; Juni 2008

[7] Brameshuber, W., Saenger, D.: Forschungsbericht F 7066 – Erarbeiten einer elektronischen Datenbank zu Biegezugfestigkeitsversuchen an Mauerwerk aus Kalksandsteinen sowie Auswertung der Daten; Aachen, 28.11.2011

[8] Graubner, C.-A.; Richter, L.: Nichttragende Wände aus Mauerwerk; Forschungsbericht F01-08; September 2008

[9] DIN EN 1991-1-4:2010-12 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten; in Verbindung mit DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12

[10] DIN EN 1990:2010-12 Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung; in Verbindung mit DIN EN 1990/NA:2010-12

[11] DIN EN 1991-1-1:2010-12 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; in Verbindung mit DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12

[12] Röser, W.; Gusia, W.: Gutachten Deckenzuschläge für nicht tragende Wände aus Kalksandstein; Aachen 2005 + A1:2015-05

[13] Kirtschig, K.: Gutachtliche Stellungnahmen zur Tragfähigkeit von nichttragenden KS-Innenwänden. Hannover Mai 1988, Oktober 1986, Januar 1992, Januar 1993, Mai 1998

[14] Kirtschig, K.; Anstötz, W.: Zur Tragfähigkeit von nichttragenden inneren Trennwänden in Massivbauweise. – In: Mauerwerk-Kalender 11, S. 697–734, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1986

[15] DGfM Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau e.V.; ZDB Zentralverband Deutsches Baugewerbe (Hgg.): Nichttragende innere Trennwände aus Mauerwerk; Berlin, 2. Auflage 2017

[16] Kirtschig, K.: Gutachten zu nichttragenden, unter Verwendung von Dünnbettmörteln hergestellten KS-Innenwänden mit nichtvermörtelten Stoßfugen, 27.4.1998

[17] Schubert, P.: Zur rissfreien Wandlänge von nicht tragenden Mauerwerkswänden. – In: Mauerwerk-Kalender 13, S. 473–488, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1988

[18] DIN EN 1992-1-1:2011-01 + A1:2015-03 Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04 + A1:2015-12

[19] Mann, W.; Zahn, J.: Bewehrtes Mauerwerk zur Lastabtragung und zur konstruktiven Rissesicherung, N. V. Bekaert S. A., 1996

[20] Graubner, C.-A.; Brehm, E.; Schmitt, M.: Bericht – Nichttragende Innenwände aus Kalksandstein – Wandbauplatten KS P7; Frankfurt, 2011

Bildnachweise

Bild S. 100: Dariusz Jarzabek/AdobeStock; **Bild S. 101:** Erich Spahn

Bild 4: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.



Kapitel 5

MAUERMÖRTEL UND PUTZ

Prof.-Dr. Sylvia Stürmer,
Hochschule Konstanz Technik, Wirtschaft und Gestaltung

Stand: 01/2018

1. Mauermörtel

1.1 Definition, Aufgaben

Mauermörtel ist ein Gemisch aus Gesteinskörnung(en) (Zuschlag, Sand), Bindemittel(n) sowie ggf. Zusatzstoffen und Zusatzmitteln.

Mauermörtel werden zur Herstellung der Lager-, Stoß- und Längsfugen im Mauerwerk sowie zum nachträglichen Verfugen verwendet. Wesentliche Aufgaben des Mauermörtels sind der Ausgleich der Maßtoleranzen der Mauersteine, deren kraftschlüssige Verbindung und ein funktionsgerechter Fugenabschluss bei Sichtmauerwerk. Er trägt insofern maßgeblich zum Tragverhalten des Mauerwerks und bei Sichtmauerwerken zum Witterungsschutz bei.

1.2 Technische Regelwerke

Mauermörtel sind europäisch harmonisiert in DIN EN 998-2 [1] genormt. Um Mauermörtel nach DIN EN 998-2 für Mauerwerk nach DIN EN 1996/NA [2] verwenden zu können, muss nach VV TB die zugehörige Anwendungsnorm DIN V 20000-412 [3] beachtet werden. Da bauaufsichtlich in Deutschland für die Verwendung jedoch zusätzliche Anforderungen an Mauermörtel bestehen, die nicht nach DIN EN 998-2 deklariert werden können, müssen für die jeweilige deutsche Mörtelgruppe deutlich höhere Mörteldruckfestigkeiten eingehalten werden, als dies in Deutschland üblich ist. Daher darf nach VV TB alternativ auch die so genannte Restnorm DIN V 18580 [4] für die Verwendung berücksichtigt werden. Nach dieser Norm sind zusätzliche Prüfungen des Mörtels erforderlich, deren Ergebnisse der Hersteller gemäß VV TB Abschnitt D.3 als freiwillige Angaben zum Produkt angeben kann und deren Korrektheit in einer technischen Dokumentation darzulegen sind. Für die Praxis ist es daher in der Regel ausreichend, wenn der Hersteller bescheinigt, dass die Anforderungen an den Mörtel nach DIN V 18580 eingehalten sind.

Mauermörtel nach DIN EN 998-2 kann somit entweder mit der Anwendungsnorm oder mit der Restnorm in Deutschland für Mauerwerk nach DIN EN 1996/NA verwendet werden, wobei sich in der Praxis die Verwendung mit DIN V 18580 durchgesetzt hat. Zum Zeitpunkt des Redaktionsschlusses dieses Buches wurden Anwendungsnorm und Restnorm grundlegend überarbeitet. Zukünftig soll DIN 20000-412 als alleinige Anwendungsnorm mit allen erforderlichen Regelungen für die Verwendung von Mauermörtel in Deutschland herangezogen werden. Die Norm DIN 18580 soll dann nur noch Regelungen für auf der Baustelle hergestellte Normalmauermörtel (Baustellenmörtel) enthalten, die in DIN 20000-412/DIN EN 998-2 nicht geregelt sind.

1.3 Lieferformen

Zu unterscheiden sind:

Werkmörtel

Werkmörtel sind im Mörtelwerk oder außerhalb unter werkmäßigen Bedingungen aus Ausgangsstoffen nach DIN V 18580/DIN EN 998-2 zusammengesetzte Mörtelmischungen.

Der Werkmörtelanteil beträgt heute etwa 80 bis 90 %. Durch die werkmäßige Herstellung ist eine hohe Gleichmäßigkeit der Eigenschaftswerte erreichbar und eine gezielte Optimierung für den jeweiligen Anwendungsfall möglich. Bei Werkmörteln gibt es folgende Lieferformen:

- Werk-Trockenmörtel
  Ein fertiges Gemisch aller trockenen Ausgangsstoffe, dem bei der Aufbereitung auf der Baustelle nur noch Wasser zugemischt werden darf, um eine verarbeitbare Konsistenz zu erreichen. Werk-Trockenmörtel wird im Silo oder in Säcken auf die Baustelle geliefert.

- Werk-Vormörtel
  Ein Gemisch aus Gesteinskörnungen (Zuschlägen) und Kalk sowie ggf. weiteren Zusätzen. Auf der Baustelle werden Zement (nach Herstellerangabe) und Wasser zugegeben. Werk-Vormörtel ist vor allem in Norddeutschland verbreitet.

- Werk-Frischmörtel
  Gebrauchsfertiger Mörtel in verarbeitbarer Konsistenz, der in Fahrmischern auf die Baustelle geliefert, dort in Mörtelkübeln entladen wird und in der Regel 36 Stunden verarbeitbar ist. Eine bauseitige Wasserzugabe ist nicht zulässig!

- Mehrkammer-Silomörtel
  In einem Silo sind in getrennten Kammern die Mörtelausgangsstoffe enthalten. Sie werden unter Wasserzugabe automatisch dosiert und gemischt, so dass am Mischerauslauf auf der Baustelle verarbeitungsfähiger Mörtel entnommen werden kann. Bei Mehrkammer-Silomörtel darf das Mischungsverhältnis baustellenseitig nicht verändert werden.

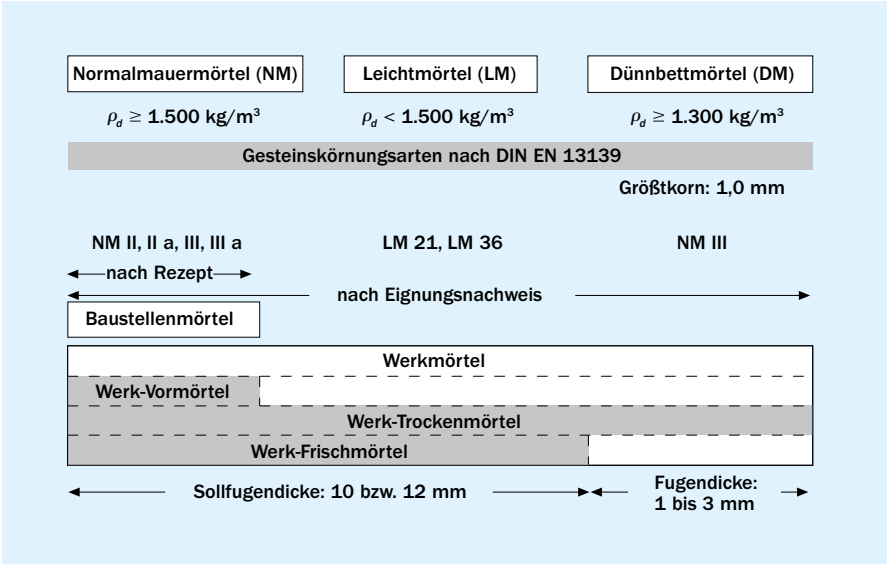


Bild 1 Merkmale von Mauermörteln

Baustellenmörtel

Baustellenmörtel wird auf der Baustelle aus den angelieferten, trocken und sauber zu lagernden Ausgangsstoffen hergestellt. Er darf nur als Normalmauermörtel hergestellt werden, siehe Abschnitt 1.4. Die Ausgangsstoffe müssen mit Waagen oder Zumessbehältern abgemessen werden. Wird die Mörtelzusammensetzung nach Tafel 1 eingehalten, sind keine weiteren Nachweise erforderlich. Andernfalls und stets bei Normalmauermörtel der Gruppe IIIa ist eine Erstprüfung mit dem Mörtel durchzuführen und es sind die Anforderungen der DIN V 18580 einzuhalten.

1.4 Mörtelarten

In DIN V 18580/DIN EN 998-2 werden drei Mörtelarten unterschieden:

- Normalmauermörtel (NM)
- Dünnbettmörtel (DM)
- Leichtmörtel (LM)

Normalmauermörtel (NM) sind Baustellen- oder Werkmörtel aus Gesteinskörnungen mit in der Regel dichtem Gefüge und einer Trockenrohdichte $\rho_d \geq 1.500$ kg/m³. Normalmauermörtel können als Rezeptmörtel (ohne Zusätze) nach Tafel 1 hergestellt werden. Wegen der langjährigen Erfahrung mit diesen Mörteln sind weniger Eigenschaftsnachweise erforderlich. Sobald bei Rezeptmörteln Zusätze verwendet werden, müssen Eignungsprüfungen durchgeführt werden.

Die Normalmauermörtel werden nach steigender Mindestdruckfestigkeit in die Gruppen I, II, IIa, III und IIIa eingeteilt. Normalmauermörtel der Gruppe I ist für tragendes Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-1/NA nicht zulässig.

Dünnbettmörtel (DM) sind Werk-Trockenmörtel aus Gesteinskörnungen mit in der Regel dichtem Gefüge und einem Größtkorn von 1,0 mm. Sie werden der Gruppe NM III zugeordnet. Die Trockenrohdichte liegt im Allgemeinen über 1.500 kg/m³.

Kennzeichnung der Dünnbettmörtel:

Unternehmen, die Dünnbettmörtel herstellen und die Anforderungen des RAL-Gütezeichens Werktrockenmörtel erfüllen sowie entsprechend gekennzeichnet sind, erhalten mit der Erfüllung der Anforderungen des Gütesicherungssystems „KS-Dünnbettmörtel“ das Recht, zusätzlich – neben dem RAL-Gütezeichen WTM – die Produkte mit dem Bildzeichen des BVKSI (KS-Logo) bzw. mit dem Bildzeichen KS-XL zu kennzeichnen.

Die speziellen Anforderungen im Gütesicherungssystem KS-Dünnbettmörtel sind in den Anforderungen an die „Überwachung und Zertifizierung von KS-Dünnbettmörteln“ beschrieben.

INFO

Die Kalksandsteinindustrie empfiehlt, bei der Herstellung von Planstein-Mauerwerk Dünnbettmörtel mit Zertifikat zu verwenden. Die vom Dünnbettmörtel-Hersteller empfohlene Zahnschiene, üblicherweise auf dem Mörtelsack abgebildet, ist zu verwenden.

Leichtmörtel (LM) sind Werk-Trocken- oder Werk-Frischmörtel mit leichten Gesteinskörnungen (Leichtzuschlägen) ggf. auch mit Anteilen von Gesteinskörnungen mit dichtem Gefüge. Die Trockenrohdichte der Leichtmörtel muss kleiner als 1.500 kg/m³ sein. Sie werden nach der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,tr}$ in die Gruppen LM 21 ($\lambda_{10,tr}$ = 0,21 W/(m·K)) und LM 36 ($\lambda_{10,tr}$ = 0,36 W/(m·K)) eingeteilt. Die beiden Gruppen unterscheiden sich zudem nach Trockenrohdichte ($\rho_d \leq$ 700 bzw. 1.000 kg/m³) und Querdehnungsmodul.

1.5 Anforderungen

Die Anforderungen an Mauermörtel in DIN V 18580/DIN EN 998-2 sind in Tafel 2 zusammengestellt. Sie müssen zusammen mit weiteren Anforderungen im Rahmen einer Erstprüfung und der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK) nachgewiesen werden. Dadurch werden – sachgerechte Verarbeitung vorausgesetzt – die angestrebten Mörteleigenschaften im Mauerwerk gewährleistet. Von besonderer Bedeutung für die Mauerwerksfestigkeit sind die Druck- und Haftscherfestigkeit des Mauermörtels. Die Druckfestigkeit des Mörtels im Mau-

Tafel 1 Rezeptmörtel (Normalmauermörtel); Zusammensetzung und Mischungsverhältnis in Raumteilen (aus DIN V 18580 Anhang A) V 20000-412

Mörtelgruppe	Mörtelklasse nach DIN EN 998-2	Luftkalk		Hydraulischer Kalk	Hochhydraulischer Kalk (HL5), Putz- und Mauerbinder (MC5)	Zement	Sand[1] aus natürlichem Gestein
NM		Kalkteig	Kalkhydrat	(HL2)			
II	M 2,5	1,5	–	–	–	1	8
		–	2	–	–	1	8
		–	–	2	–	1	8
		–	–	–	1	–	3
IIa	M 5	–	1	–	–	1	6
		–	–	–	2	1	8
III	M 10	–	–	–	–	1	4

[1] Die Werte des Sandanteils beziehen sich auf den lagerfeuchten Zustand.

erwerk kann sehr wesentlich durch den Steinkontakt (Absaugen von Anmachwasser) beeinflusst werden. Daher muss bei NM und LM auch eine bestimmte Fugendruckfestigkeit nachgewiesen werden. Bei DM ist die Mörteldruckfestigkeit wegen der dünnen Fuge für die Mauerwerksdruckfestigkeit kaum von Bedeutung. Für den Verbund der Mauersteine und damit für die Zug-, Biegezug- und Schubbeanspruchbarkeit des Mauerwerks ist eine ausreichende Haftscherfestigkeit zwischen Mauermörtel und Mauerstein erforderlich. Sie wird mit einem europäischen Prüfverfahren nachgewiesen (Tafel 2).

Tafel 2 **Anforderungen an Mauermörtel (außer Rezeptmörtel)[1] nach DIN V 18580 bzw. DIN EN 998-2**

Prüfgröße Prüfnorm	Kurzzeichen	Normalmauermörtel (NM)				Leichtmauermörtel (LM)		Dünnbettmörtel (DM)
		Mörtelgruppe nach DIN V 18580						
		II	IIa	III	IIIa	LM21	LM36	DM
		Mörtelklasse nach DIN EN 998-2						
		M 2,5	M 5	M 10	M 20	M 5	M 5	M 10
Druckfestigkeit DIN EN 1015-11	β_D [N/mm²]	2,5	5	10	20	5	5	10
Fugendruckfestigkeit DIN 18555-9	$\beta_{D,F}$ [N/mm²]							
Verfahren I	$\beta_{D,FI}$	1,25	2,5	5,0	10,0	2,5		–
Verfahren II	$\beta_{D,FII}$	2,5	5,0	10,0	20,0	5,0		–
Verfahren III	$\beta_{D,FIII}$	1,75	3,5	7,0	14,0	3,5		–
Druckfestigkeit bei Feuchtlagerung nach (DIN 18555-3)	$\beta_{D,f}$ [N/mm²]	–	–	–	–	–		≥ 70 % vom Istwert β_D
Verbundfestigkeit Charakteristische Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit)[2] DIN EN 1052-3	f_{vk0} [N/mm²]	0,04	0,08	0,10	0,12	0,08		0,20
Haftscherfestigkeit (Mittelwert) DIN 18555-5	β_{HS} [N/mm²]	0,10	0,20	0,25	0,30	0,20		0,50
Trockenrohdichte[3] DIN EN 1015-10	ρ_d [kg/m³]	≥ 1.500				≤ 700	≤ 1.000	–
		–				max. Abweichung +10 % vom Istwert		
Querdehnungsmodul DIN 18555-4	E_q [N/mm²]	–				≥ 7.500	≥ 15.000	–
Längsdehnungsmodul DIN 18555-4	E_l [N/mm²]	–				≥ 2.000	≥ 3.000	–
Wärmeleitfähigkeit DIN EN 1745	$\lambda_{10,tr}$ [W/(m · K)]	–				≤ 0,18[4]	≤ 0,27[4]	–
Verarbeitbarkeitszeit DIN EN 1015-9	t_v [h]	–				–	–	≥ 4
Korrigierbarkeitszeit DIN EN 1015-9	t_k [min]	–				–	–	≥ 7

Prüfalter für Festmörteleigenschaften: 28 d; Festigkeiten: Mindestwerte; Normalmauermörtel NMI (M1): Keine Anforderungen

[1] Für diese gelten die Anforderungen als erfüllt.

[2] Prüfung darf ohne Vorbelastung an 5 Prüfkörpern erfolgen: $f_{vk0} = 0{,}8 \cdot f_{vo}$

[3] Der ρ_d-Wert bei Erstprüfung ist mit ±10 % Grenzabweichung einzuhalten.

[4] Bei Nachweis $\lambda_{10,tr}$ nach DIN EN 1745 wenn ρ_d > 700 bzw. > 1.000 kg/m³



Bild 2 Anmischen von Dünnbettmörtel



Bild 3 Mörtelauftrag mit Mörtelschlitten



Bild 4 Versetzen von KS -R-Plansteinen in Dünnbettmörtel

Mit zunehmender Verformungsfähigkeit der Mauermörtel in der Lagerfuge quer zur vertikalen Belastung des Mauerwerks verringert sich die Mauerwerksdruckfestigkeit. Deshalb wird eine gewisse „Mindeststeifigkeit“ des Mörtels verlangt, die durch einen ausreichend hohen Querdehnungsmodul nachzuweisen ist.

Bei Dünnbettmörtel besteht wegen der dünnen Fuge die Gefahr, dass von den Mauersteinen zuviel Mörtelwasser abgesaugt wird. Um das zu vermeiden, müssen die Dünnbettmörtel ein hohes Wasserrückhaltevermögen aufweisen. Zur Gewährleistung ausreichend langer Verarbeitbarkeitszeit eines angerührten Gebindes (Sack) und genügender Zeit, um den Mauerstein nach dem Mörtelauftrag in die richtige Position zu bringen (Korrigierbarkeitszeit), sind entsprechende Mindestzeiten für Dünnbettmörtel nachzuweisen, siehe Tafel 2. Die Bilder 2 bis 4 zeigen das Mischen, das Aufbringen von DM und das Versetzen von Plansteinen.

1.6 Allgemeine Anwendung

Die Verwendung von Normalmauermörtel der Gruppe I ist nach DIN EN 1996-1-1/NA unzulässig. Die Gruppen III und IIIa weisen eine sehr hohe Festigkeit auf und sollten daher für Außenschalen (Verblendschalen) von zweischaligem Mauerwerk nicht eingesetzt werden. Für die meisten Anwendungsfälle ist NM IIa am besten geeignet.

Außer Normalmauermörtel darf auch Dünnbettmörtel in der Außenschale von zweischaligem Mauerwerk verwendet werden. Für diese Bauart sind Luftschichtanker mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) zu verwenden.

Bei Anwendung von NM und LM beträgt die Sollfugendicke nach DIN EN 1996-1-1/NA 12 mm für die Lagerfuge und 10 mm für die (planmäßig vermörtelte) Stoßfuge. Die Anwendung von Dünnbettmörtel setzt eine entsprechend geringe Maßtoleranz der Mauersteine in der Steinhöhe von ±1,0 mm voraus. Die Dicke der Lager- und Stoßfugen muss nach DIN EN 1996-1-1/NA zwischen 1 und 3 mm betragen.

INFO

Eine planmäßige Lagerfugendicke von 2 mm ist bei Dünnbettmörtel im Hinblick auf Verarbeitung und Verbund vorzusehen.

1.7 Mörtel für Sichtmauerwerk

Kalksandstein-Sichtmauerwerk mit Normalmauermörtel soll mit Mörtel der Gruppe IIa in einem Arbeitsgang mit Fugenglattstrich hergestellt werden (Bild 5), da so am ehesten die vollständige Vermörtelung der Mörtelfugen sichergestellt wird.

Es kann auch das nachträgliche Verfugen angewendet werden. Dazu wird der Fugenmörtel kurze Zeit nach dem Vermauern



Bild 5 Fugenglattstrich

an der Außenseite ca. 15 mm tief ausgekratzt. Die offene Fuge wird nachträglich mit dem erdfeuchten bis schwach plastischen Fugenmörtel fachgerecht geschlossen, Bild 6.

Die Form der Mörtelfuge darf den Abfluss von Niederschlagswasser nicht behindern, Bild 7.

Bei Verblendschalen hat der Mauermörtel die Aufgabe, gemeinsam mit dem Mauerstein eine geschlossene Fläche zu bilden, die den Witterungsbeanspruchungen widersteht. Deshalb muss der Mauermörtel besonders gut am Stein haften. Andernfalls bilden sich Spalten zwischen Stein und Fugenmörtel, so genannte Flankenabrisse, die das Eindringen von Niederschlagswasser in das Mauerwerk fördern und damit seine Dauerhaftigkeit beeinträchtigen.

Mauermörtel für Verblendschalen werden daher in ihrer Zusammensetzung auf das Saugverhalten der Steine abgestimmt. Dabei wird das Wasserrückhaltevermögen durch Zusatzstoffe und/oder Zusatzmittel, wie z.B Methylzellulose, eingestellt. Die Produktempfehlungen des Mörtelherstellers müssen beachtet werden.

INFO

Für Sichtmauerwerk, vor allem für Verblendmauerwerk, ist wegen der gleichmäßigen und ggf. besonders auf den Anwendungsfall abgestimmten Zusammensetzung Werk-Trockenmörtel zu empfehlen.

Der Mauermörtel in Verblendschalen muss ausreichend druckfest und gleichzeitig genügend verformungsfähig sein. Da Verblendschalen weniger vertikal belastet sind, sind Verformungen – z.B. infolge Temperaturänderung – größer als in belastetem Mauerwerk. Die Formänderungen führen ggf. auch zu Dehnungen mit Zugbeanspruchung, die von Mauersteinen und Fugenmörtel aufgenommen werden müssen. Verformbare Mauermörtel mit geringem Elastizitätsmodul wirken sich günstig auf die Risssicherheit aus. Der Mörtel muss andererseits ausreichend fest und beständig gegen Witterungsbeanspruchung sein, insbesondere gegen Frosteinwirkung. Daher werden im Allgemeinen Mauermörtel der Normalmauermörtel der Gruppe IIa empfohlen. Mauern bei Frost ist nur unter besonde-

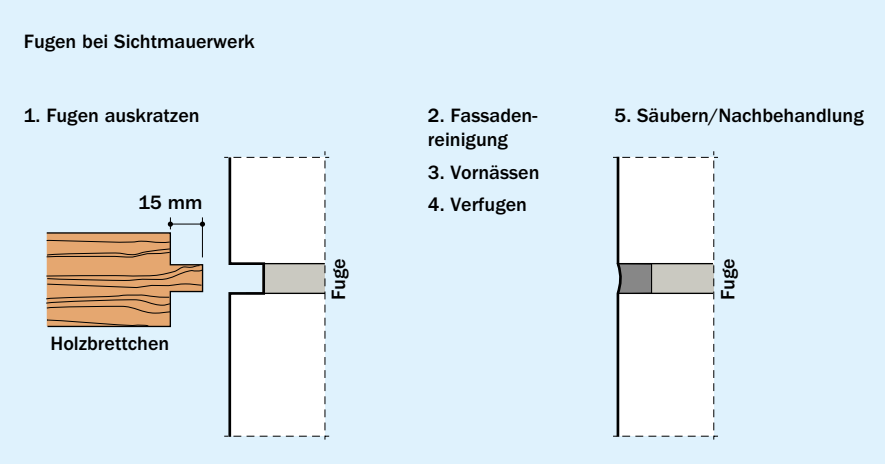


Bild 6 Nachträgliche Verfugung, Steinbreite ≥ 105 mm

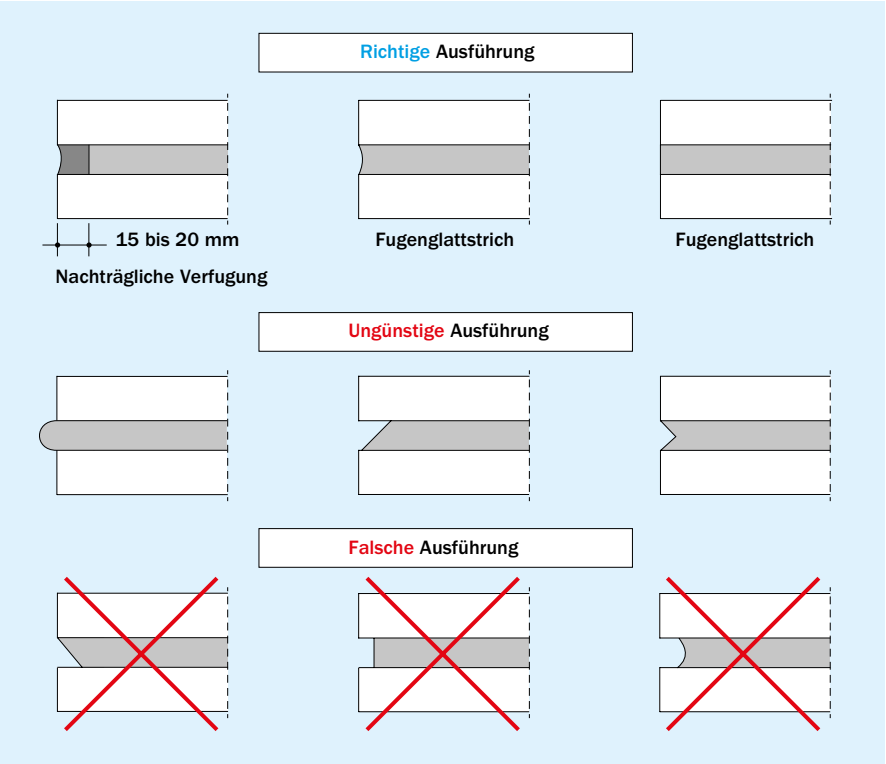


Bild 7 Fugenausbildung bei Sichtmauerwerk

INFO

Die Lieferform Werk-Trockenmörtel ist dem Baustellenmörtel aus den nachfolgend genannten Gründen in jedem Fall vorzuziehen:

- **Gleich bleibend hohe Qualität durch genaue Dosierung der Mörtelausgangsstoffe und damit einfache Handhabung auf der Baustelle**
- **Anpassung an das Saugverhalten der Kalksandstein-Verblender und damit höhere Sicherheit gegen „Mörtelverbrennen“ und Flankenabrisse**
- **Höhere Mörtel-Haftscherfestigkeit: hoher und schneller Haftverbund**

ren Schutzmaßnahmen (z. B. Einhausen) erlaubt. Frostschutzmittel und der Einsatz von Salzen sind nicht zulässig. Alle Maßnahmen sind nach VOB/C:DIN 18330 mit dem Auftraggeber abzustimmen [5].

Werk-Trockenmörtel können eingefärbt werden und ermöglichen damit die gezielte Herstellung eines gewünschten Erscheinungsbildes der Verblendschale.

Für besonders durch Schlagregen beanspruchtes Mauerwerk können die Mörtel, ähnlich wie Putze, hydrophobiert werden. Dazu werden den Mörteln hydrophobierende Zusätze, wie z.B. Stearine, zugemischt.

Werkseitig hydrophobierte Kalksandstein-Verblender sind mit darauf abgestimmten Mörteln zu verarbeiten.



Bild 8 **Der Werk-Trockenmörtel ist vor Witterungseinflüssen zu schützen.**

1.8 Bauseitige Lagerung, Mörtelsilos

Mauermörtel, die als Sackware angeliefert werden, sind sicher geschützt vor Witterungseinflüssen und Bodenfeuchtigkeit trocken zu lagern, Bild 8.

Der Frischmörtel ist in den Mörtelkübeln wirksam vor Beregnung und Verdunstung zu schützen.

Bei der Anlieferung der Mörtel im Silo sind die Hinweise des Mörtelherstellers zur Aufstellung der Silos zu beachten [6]. Insbesondere muss der Stellplatz für das Transportsilo standsicher sein. In Abstimmung mit der Bau-Berufsgenossenschaft ist vereinbart, dass der Besteller des Mörtels für den sicheren Stellplatz verantwortlich ist. Wesentliche Kriterien für einen standsicheren Stellplatz sind ein tragfähiger Untergrund und ein ausreichender Sicherheitsabstand zu Böschungen. Für die Silostellung ist zudem der Mindestabstand zu Strom führenden Freileitungen zu beachten. Da das Silo auch in Zeiten angeliefert wird, in denen die Baustelle nicht besetzt ist, muss der Standplatz gesichert zugängig und eindeutig markiert sein.



2. Putz

2.1 Definition, Aufgaben

Putz ist ein an Wänden und Decken aufgetragener Belag aus Putzmörtel oder Beschichtungen mit putzartigem Aussehen. Putzmörtel ist ein Gemisch aus Bindemittel, Gesteinskörnung, ggf. Zusätzen und Wasser.

Putz wird ein- oder mehrlagig in bestimmter Dicke aufgebracht. Die Lagen eines Putzes (Unter-, Oberputze), die in ihrer Gesamtheit und in Wechselwirkung mit dem Putzgrund die Anforderungen an den Putz erfüllen, werden als Putzsystem bezeichnet. Bewährte Putzsysteme sind in DIN 18550 [7] für Außen-, Innen- und Leichtputze (außen) tabelliert. In den Tafeln 3 und 4 sind Mörtelgruppen und zuzuordnende Druckfestigkeitskategorien aufgeführt. Putz erreicht seine endgültigen Eigenschaften erst durch Verfestigung am Bauteil.

Grundsätzlich ist zwischen Innen- und Außenputz sowie zwischen Putzen (Putzarten) für verschiedene Anforderungen zu unterscheiden.

INFO

Einlagig aufgetragene Putze sind in der Regel Untergründe zur weiteren Bearbeitung. Bei höheren Anforderungen sind auf den Grundputz z.B. zusätzliche Wandbeläge (Vliese, Gewebetapeten) oder fachgerecht aufgebaute Beschichtungen nach DIN 18550-2 mit Grundierung, (Gewebe-, Vlies-) Spachtelung und Beschichtung bzw. Anstrich aufzubringen. In Abstimmung mit dem Bauherren ist frühzeitig ein abgestimmtes Oberflächensystem (Grundputz, Beschichtung, Wandbeläge) festzulegen und auszuschreiben.

Aufgaben von Putzen/Putzsystemen:

- Schaffung von ebenen Oberflächen als Sichtflächen oder Untergrund für Anstriche, Tapeten, Beschichtungen
- Beständigkeit gegen langzeitig einwirkende Feuchtigkeit in Innenräumen (Innenwand- und Deckenputze in Feuchträumen)
- Ausreichende mechanische Beanspruchbarkeit bzw. Abriebfestigkeit (z.B. Sockelputz, Treppenhauswände, Außenwandputz als Träger von Beschichtungen – z.B. Kellerwandputze – oder mit erhöhter mechanischer Beanspruchung)
- Witterungsschutz, vor allem Feuchteschutz (Regenschutz)
- Ästhetisch ansprechende Oberflächenausbildung (z.B. Struktur, Farbe)

2.2 Technische Regelwerke

Mineralische Putzmörtel nach DIN EN 998-1 [8] werden auf Basis natürlicher Rohstoffe hergestellt.

DIN EN 998-1 gilt für im Werk hergestellte Putzmörtel aus anorganischen Bindemitteln für Außen- und Innenputz. Die Norm enthält Definitionen und Anforderungen.

Entspricht der Putzmörtel DIN EN 998-1, so darf er mit einer CE-Kennzeichnung versehen und verwendet werden.

DIN V 18550 [7] enthält die handwerklichen Ausführungsregeln und die anerkannten Regeln der Technik für das Verputzen.

Tafel 3 Putzmörtel und Anwendungsmöglichkeiten

Bezeichnung	Beschreibung	Übliche Druckfestigkeitskategorie nach DIN EN 998-1	Anwendungsbeispiele	Ehemalige Putzmörtelgruppen nach DIN V 18550
Mörtel mit Luftkalk (CL)	Putzmörtel mit Luftkalk (Kalkhydrat) als Hauptbindemittel	CS I	Denkmalpflege	P I
Mörtel mit hydraulischem Kalk (NHL, HL)	Putzmörtel mit Hauptbindemittel hydraulischer Kalk (NHL, HL)	CS I/CS II	Außenbereich, Denkmalpflege	P I
Kalk-Zementmörtel	Putzmörtel, der die Bindemittel Baukalk (Kalkhydrat) und Zement enthält	CS II/CS III	Außenbereich, Sockelbereich	P II
Zementmörtel	Putzmörtel mit Hauptbindemittel Zement	CS III/CS IV	Außenbereich (Sockel, Kelleraußenwände)	P III

Tafel 4 Klassifizierung der Eigenschaften von Fest-Putzmörtel – DIN EN 998-1

Eigenschaft	Kategorien	Eigenschaftswerte
Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen [N/mm²]	CS I CS II CS III CS IV	0,4 bis 2,5 1,5 bis 5,0 3,5 bis 7,5 ≥ 6
Kapillare Wasseraufnahme [kg/(m²·min^{0,5})]	W 0 W 1 W 2	nicht festgelegt $c \leq 0{,}40$ $c \leq 0{,}20$
Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]	T 1 T 2	≤ 0,1 ≤ 0,2

INFO

Neben den europäischen Normen DIN EN 13941-1 für Außenputz und DIN EN 13491-2 für Innenputz gelten in Deutschland zusätzlich die Normen DIN 18550-1 und DIN 18550-2 für die „Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen“ mit „Ergänzenden Festlegungen zu DIN EN 13914-1 und DIN EN 13914-2“. Auf diese deutschen Normen wird auch in der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) für Putz- und Stuckarbeiten DIN 18350 [9] Bezug genommen.

Entspricht der Putzmörtel DIN EN 998-1, wird er mit einem CE-Kennzeichen versehen.

2.3 Lieferformen

Putzmörtel werden heute in der Regel als Werk-Trockenmörtel hergestellt, maschinell gemischt, gefördert und verarbeitet. Die Werk-Trockenmörteltechnologie gewährleistet hohe Gleichmäßigkeit und erlaubt die gezielte Zusammensetzung der Putzmörtel auf besondere Bedingungen des Putzgrundes oder der Verarbeitung. Deshalb empfiehlt sich die vorzugsweise Anwendung von Werkputzmörteln. Werkputzmörtel wird als Werktrockenmörtel fertig auf die Baustelle geliefert. Dort wird er durch Zugabe von Wasser und Mischen auf eine Verarbeitungs-Konsistenz gebracht. Als Werkfrischmörtel wird er fertig gemischt auf die Baustelle gebracht. Er ist ohne weitere Arbeitsschritte sofort verarbeitbar.

Putzmörtel können im Sonderfall auch aus Werkmörtel oder als Baustellenmörtel hergestellt werden.

- Werkmörtel

  Zu den Werkmörteln gehören auch werkmäßig hergestellte Kalk-Sand-Werk-Vormörtel. Dieser Mörtel kommt als Kalk-Sand-Vorgemisch auf die Baustelle, wo ihm Wasser und weitere Bestandteile (z.B. Zement) nach Angabe des Lieferwerks zugegeben werden.

- Baustellenmörtel

  Putzmörtel, die auf der Baustelle zusammengesetzt und gemischt werden.

INFO

Aufgrund der größeren Qualitätsschwankungen sind Werk- und Baustellenmörtel nicht zu empfehlen.

Die Putzmörtel werden als Sack- oder Siloware auf die Baustelle geliefert. Zur Aufstellung der Baustellensilos sind die Hinweise der Mörtelhersteller zu beachten, siehe Abschnitt 1.8.

2.4 Einteilung der Putze

2.4.1 Eigenschaften/Verwendungszweck

Nach den Eigenschaften und/oder dem Verwendungszweck lassen sich die Putzmörtel wie folgt unterscheiden:

- Normalputzmörtel (GP)
- Leichtputzmörtel (LW)
- Edelputzmörtel (CR)
- Einlagenputzmörtel für außen (OC)
- Sanierputzmörtel (R)
- Wärmedämmputzmörtel (T).

Die Kurzzeichen beziehen sich auf die englische Bezeichnung im Rahmen der europäischen Normen.

2.4.2 Bindemittelart

Nach der Bindemittelart wird unterschieden in

- Putze mit mineralischen Bindemitteln (mineralische Putze) aus Putzmörteln nach DIN EN 998-1 und DIN EN 13279-1 (Gipsbinder und -trockenmörtel). Die Putze werden in DIN V 18550 nach Mörtelart (Bindemittelart) in Putzmörtelgruppen – wie bisher – eingeteilt, jedoch ohne die bisherigen Anforderungen an die Druckfestigkeit, Tafel 3. Diese ist mit anderen Eigenschaften in DIN EN 998-1 nach Kategorien klassifiziert, Tafel 4.
- Putze mit organischen Bindemitteln (Kunstharzputze). Für diese sind Beschichtungen mit putzartigem Aussehen nach DIN 18558 zu verwenden. Sie werden in die Typen
  - P Org 1 – Anwendung als Außen- und Innenputze und
  - P Org 2 – Anwendung als Innenputz unterschieden.

2.4.3 Anforderungen/besondere Eigenschaften

Neben Putzen, die allgemeinen Anforderungen genügen, gibt es Putze mit besonderen Eigenschaften, die zusätzlichen Anforderungen genügen. Sie sind nachfolgend aufgeführt.

Wasser hemmende, Wasser abweisende Putze/Putzsysteme für Anforderungen nach DIN 4108-3 (Schlagregenschutz)

Das Putzsystem muss nach DIN 18550 aufgebaut sein. Die den Regenschutz im Wesentlichen bewirkende(n) Putzlage(n) muss/müssen den Anforderungen der Klassen W0 bis W2 nach DIN EN 13914-1 genügen [10].

Die Anwendung von Außenputzen bei unterschiedlichen Schlagregenbeanspruchungen in Deutschland ist in DIN 4108-3 geregelt. Die Anforderung an wasserabweisende Putze enthält Tafel 5. Anforderungen an den Regenschutz von Außenbauteilen sind in Tafel 6 beschrieben.

Tafel 5 Kriterien für wasserabweisende Putze und Beschichtungen nach DIN 4108-3 bei Prüfung nach DIN EN ISO 15148[1)] aus [11]

Kriterien für den Regenschutz	Wasseraufnahmekoeffizient W_w [kg/(m²·h^{0,5})]	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d [m]	Produkt $W_w \cdot s_d$ [kg/(m·h^{0,5})]
Wasserabweisend	≤ 0,5	≤ 2,0	≤ 0,2

[1)] Siehe hierzu auch DIN 18550

Mit diesen Anforderungen soll erreicht werden, dass eingedrungenes Wasser durch Kapillartransport und Diffusion wieder abtrocknen kann. Die Anforderung gilt für Putzsysteme; bei zweilagigem Außenputz also für das System aus Unter- und Oberputz.

Außensockelputz

Außensockelputze müssen ausreichend fest, Wasser abweisend und widerstandsfähig gegen kombinierte Einwirkung von Feuchte und Frost sein, z.B. mineralische Putze Kategorie CS IV. Auf leichteren und weicheren Wandbaustoffen (Steine der Festigkeitsklasse ≤ C8) sollten jedoch Außensockelputze (Unterputze) der Kategorie CS III nach DIN EN 998-1 (Druckfestigkeit 3,5 bis 7,5 N/mm²) mit hydraulischen Bindemitteln aufgebracht werden (Tafel 6). Die Druckfestigkeit mineralischer Oberputze soll mindestens 2,5 N/mm² betragen. Organische Oberputze müssen der Mörtelgruppe P Org 1 entsprechen.

Bei Wärmedämm-Verbundsystemen sind für den armierten Unterputz bzw. die Armierungsschicht die systemzugehörigen Komponenten (Mörtel, Gewebe) zu verwenden.

Im Sockelbereich können für den Oberputz sowohl organisch gebundene Putze, z.B. Kunstharzputze nach DIN 18558, als auch mineralische Putze eingesetzt werden. Mineralische Putze auf Wärmedämmplatten werden nach dem heutigen Stand der Technik in Anlehnung an DIN 18550 in der Mörtelgruppe CS II (Mindestdruckfestigkeit 2,5 N/mm²) ausgeführt [12, 13].

Kellerwandaußenputz

Kellerwandaußenputze als Träger von Beschichtungen müssen aus Mörteln mit hydraulischen Bindemitteln der Kategorie CS IV nach DIN EN 998-1 hergestellt werden. Bei Mauerwerk aus Steinen der Druckfestigkeitsklassen ≤ 8 sollte jedoch die Mindestdruckfestigkeit für CS IV nicht wesentlich überschritten werden.

INFO

Sockelputze sowie Kellerwandaußenputze sind im erdberührten Bereich immer abzudichten. Der Putz dient als Träger der vertikalen Abdichtung [7, 13].

Wärmedämmputz/-putzsysteme

Wärmedämmputzsysteme werden zur Verbesserung der Wärmedämmung von einschaligen Außenwänden eingesetzt. Sie sind in DIN 18550-1 und EN 998-1 genormt und bestehen aus einem wärmedämmenden Unterputz (Wärmedämmputz) mit leichten wärmedämmenden Zuschlägen, z.B. expandiertes Polystyrol, und einem Wasser abweisendem Oberputz im Außenbereich. Der Wärmedämmputz muss einen Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit von höchstens 0,2 W/(m·K) aufweisen. Die Putzdicke muss mindestens 20 mm und soll in der Regel höchstens 100 mm betragen.

Putze mit besonderen Anforderungen an Schall-, Brand- und Strahlenschutz

Die Dicke dieser Putze richtet sich nach den jeweiligen Anforderungen.

Akustikputz

Akustikputze sind sehr hohlraumreich und absorbieren Schallenergie. Sie reduzieren die Schallreflexion und den Schallpegel und verkürzen die Nachhallzeit. Die Putze werden nach Schallabsorptionsklassen eingeteilt (siehe [7]).

Tafel 6 Anforderungen an den Regenschutz von Außenputzen nach DIN 18550-1 aus [11]

	Beanspruchungsgruppe nach DIN 4108-3		
	I Geringe Schlagregenbeanspruchung	II Mittlere Schlagregenbeanspruchung	III Starke Schlagregenbeanspruchung
Bezeichnung nach DIN 4108-3	Außenputz ohne besondere Anforderung	Mindestens wasserabweisender Außenputz	Mindestens wasserabweisender Außenputz
Mindestens zu erfüllende Anforderungskategorien für die Wasseraufnahme der Putze[1)]			
Putz nach DIN EN 998-1	W0, W1, W2	W2	W2
Putz nach DIN EN 15824	W_1, W_2, W_3	W_2, W_3	W_2, W_3

[1)] Die Kriterien gelten dann als erfüllt, wenn mindestens eine Putzlage des Außenputzsystems die Anforderungen erfüllt.

Brandschutzputz

Übliche Gips- und Kalkzementputze verlängern die Feuerwiderstandsdauer von Mauerwerk und anderen Bauteilen. Brandschutzputze werden speziell für den Brandschutz von Stahl- und Stahlbetonkonstruktionen entwickelt und enthalten mineralische Leichtzuschläge, z.B. Vermiculite (Blähglimmer). Zu Anforderungen an Putz als Brandschutzbekleidung siehe DIN 4102.

Strahlenschutzputz

Strahlenschutzputz enthält Baryt als Zuschlagkomponente und erhöht die Abschirmung gegen Röntgenstrahlung.

Magnetputz

Magnetputze bestehen aus acrylharzgebundenen Metallsanden und werden als Unter- oder Dekorputz in Büroräumen eingesetzt.

Sanierputz

Sanierputzmörtel sind Mörtel mit hoher Porosität und geringem Wasserdampfdiffusionswiderstand sowie verminderter kapillarer Leichtfähigkeit. Sie werden zur Sanierung von feuchtem, salzbelastetem Mauerwerk eingesetzt. Hinweise für Sanierputzsysteme enthält das WTA-Merkblatt „Sanierputzsysteme“ [14]. Sie sind in DIN EN 14391-1 und DIN 18550-1 geregelt.

Dünnlagenputz

Dünnlagenputzmörtel besteht aus mineralischen Bindemitteln, ggf. mit organischen Zusätzen zur Verbesserung der Dehnfähigkeit. Das Wasserrückhaltevermögen und die Haftungseigenschaften sind auf die jeweilige Putzdicke abgestimmt. Die Putzmörtel werden als Innenputz angewendet. Die mittlere Dicke von Dünnlagenputzen beträgt bis zu 6 mm, die Mindestdicke (an jeder Stelle!) 3 mm [15]. Im Vergleich dazu müssen einlagige Innenputze aus Werk-Trockenmörtel eine mittlere Putzdicke von 10 mm und eine zulässige Mindestdicke (nur an einzelnen Stellen) von 5 mm aufweisen.

INFO

Dünnlagenputze sind Bekleidungen ohne die Möglichkeit eines Ebenheitsausgleichs zwischen Untergrund und Bekleidung. Damit wird von der Annahme der fortschreitenden Genauigkeit mit dem Ausbau abgewichen, wie sie der DIN 18202 [16] zugrunde liegt. In diesem Fall reichen die üblicherweise vom Rohbauer geschuldeten Ebenheitsanforderungen (DIN 18202, Tabelle 3, Zeile 5: $\Delta e \leq$ 5 mm bei 10 cm Messpunktabstand) nicht aus. Dies gilt sinngemäß auch für Fliesenbekleidungen im Dünnbettverfahren. Die Anforderungen an die fertige (verputzte) Wand sind dann bereits an die rohe Wand (Mauerwerk) zu stellen: $\Delta e \leq$ 3 mm bei 10 cm Messpunktabstand) [17]. Fachgerecht hergestelltes KS-Planstein- und KS XL Mauerwerk erfüllen diese Voraussetzung.

Die geringen Putzdicken müssen jedoch bereits bei der Planung berücksichtigt werden. Sonderbauteile wie Rollladenkästen, Stürze, Türzargen sowie die Fensterlaibung, müssen auf den Dünnlagenputz versehene Wand abgestimmt sein. Ebenso müssen bei der Planung der Elektro- und Heizungsinstallation Schächte und Hohlräume eingeplant werden, da selbst dünne Leitungen nicht mehr auf dem Mauerwerk verlegt werden dürfen. Auch Putzprofile an Bauteilanschlüssen oder an Ecken sind auf die geringen Putzdicken abzustimmen.

2.5 Ausführung von Putz

2.5.1 Putzgrund

DIN EN 1996/NA sowie zusätzliche Empfehlungen der Kalksandstein-Industrie

- Die Lagerfugen sind vollständig mit Mauermörtel auszufüllen. Die Solldicke beträgt bei Mauerwerk mit Normalmauermörtel 12 mm. Bei Planstein-Mauerwerk mit Dünnbettmörtel beträgt die Solldicke 2 mm.

- Die Stoßfugen dürfen nach DIN EN 1996-1-1/NA bis zu einer Breite von 5 mm unvermörtelt bleiben. Breitere Stoßfugen sind beidseitig mit geeignetem Mauermörtel beim Vermauern zu schließen.

INFO

Bei Dünnlagenputz ist es vorteilhaft, unvermörtelte Stoßfugen vor dem Putzauftrag zu verspachteln.

2.5.2 Prüfen und Vorbereiten des Putzgrundes

Der Putzgrund Kalksandstein-Mauerwerk muss den Ausführungsregeln der DIN EN 1996-1-1/NA und den Anforderungen der DIN 18550-1,2 genügen. Für einen guten und dauerhaften Haftverbund des Putzes auf dem Putzgrund ist dessen Beschaffenheit von wesentlicher Bedeutung.

Der Putzgrund muss nach DIN 18550-1, 18550-2 in Anlehnung an DIN 18350 eben, tragfähig, formstabil und frei von Verunreinigungen sein. Diese Anforderungen werden von regelgerechtem KS-Mauerwerk erfüllt. Darüber hinaus muss der Putzgrund bei der Putzausführung staubfrei, trocken und frostfrei sein und mindestens +5 °C Untergrund- und Lufttemperatur aufweisen.

Deshalb muss der Putzausführende vor dem Beginn der Putzarbeiten den Putzgrund gemäß VOB/C-ATV: DIN 18350 [9] prüfen. Bedenken müssen ggf. angemeldet werden. Die Prüfungen sind im gewerkeüblichen Rahmen vorzunehmen. Der Auftragnehmer kann davon ausgehen, dass ordnungsgemäß nach DIN EN 1996-1-1/NA hergestelltes Mauerwerk den Anforderungen genügt.

Die Ebenheitsanforderungen der DIN 18202, d.h. eine Ebenheit ≤ 5 mm bei 10 cm Messpunktabstand an der rohen Wand, sind ohne weitere Vereinbarung an jeder Stelle einzuhalten.

Bei der Ausführung von Bekleidungen ohne die Möglichkeit eines Ebenheitsausgleichs (z.B. Dünnlagenputz, Fliesen im Dünnbettverfahren) muss bereits der Putzgrund (das Mauerwerk) erhöhte Anforderungen an die Ebenheit erfüllen [17].

INFO

Erhöhte Anforderungen an die Ebenheit der Rohbauwand (z.B. wie bei einer flächenfertigen Wand nach DIN 18202, Tabelle 3, Zeile 6) sind vom Planer zu beschreiben.

Wichtige Prüfungen betreffen die Saugfähigkeit, den Feuchtezustand und die Putzgrundtemperatur. Auf nasse Wandflächen darf nicht geputzt werden. Auf augenscheinlich feuchtes Kalksandstein-Mauerwerk mit ausreichender Saugfähigkeit kann geputzt werden. Im Zweifelsfall ist eine Probefläche anzulegen.

Zur Herstellung einer fachgerechten Putzoberfläche ist ein gleichmäßiger und nicht zu stark saugender Untergrund erforderlich. Im Regelfall ist bei Kalksandstein-Mauerwerk keine besondere Putzgrundvorbereitung wie z.B. eine „Aufbrennsperre“ oder Haftvermittler erforderlich. Die üblichen Putze aus Werk-Trockenmörtel haften gut am Untergrund und weisen ein erhöhtes Wasserrückhaltevermögen auf. Bei Materialwechseln im Mauerwerk oder bei besonderen Witterungsbedingungen, z.B. bei großer Hitze oder starkem Wind, kann eine Aufbrennsperre sinnvoll sein. In jedem Fall ist die Ausführungsempfehlung des Putzmörtelherstellers zu beachten.

Bei der Anwendung von Aufbrennsperren ist die Dosierungsempfehlung der Hersteller einzuhalten. Zu hohe Konzentrationen oder sich überlappende Auftragszonen können die Putzhaftung beeinträchtigen.

INFO

Bei baustellengemischten Putzmörteln ist ein Spritzbewurf erforderlich.

Über die allgemeine Putzgrundvorbehandlung für Innenputze hinausgehend erfordert der Putzgrund für Dünnlagenputze eine größere Sorgfalt. So müssen überstehende Fugenmörtel oder von Betondecken ablaufende Zementsteinläufer, so genannte Betonnasen, entfernt werden.

Bei Dünnlagenputzen sind Ausbrüche aus dem Stein und offene Fugen vor dem Putzauftrag fachgerecht zu schließen [15]. Schlitze für Elektro- oder Sanitärleitungen müssen ebenfalls vorab mit Mörtel verschlossen werden. Vor dem Putzauftrag müssen die vermörtelten Ausbesserungsstellen trocknen. Bei Materialwechsel im Putzgrund müssen Armierungsputze oder -spachtel mit Gewebe eingesetzt werden. Die Laibungen von Fenstern und Türen sind vor dem Verputzen der Wandflächen herzustellen.

INFO

Werden Glattstriche an den Laibungen für den Einbau von Fenstern gefordert, so sind diese nach VOB/C:ATV DIN 18330 [9] besondere Leistungen und daher besonders zu beschreiben.

2.5.3 Allgemeine Ausführungsregeln

„Der Mörtel für die einzelnen Putzlagen ist von Hand oder mit einer Maschine möglichst gleichmäßig dick aufzubringen und ebenflächig zu verziehen oder zu verreiben. Die folgende Lage darf erst aufgebracht werden, wenn die vorhergehende ausreichend trocken und so fest ist, dass sie eine neue tragen oder eine neue an ihr haften kann. Die Standzeit beträgt mindestens einen Tag je mm Putzdicke. Bei feuchten und kalten Witterungsverhältnissen ist die Standzeit entsprechend zu verlängern.

Auf einen Haftmörtel oder einen Spritzbewurf darf die erste Putzlage erst aufgetragen werden, wenn der Mörtel ausreichend erhärtet ist, frühestens jedoch nach einem Tag.

Die Oberfläche des Unterputzes ist, soweit erforderlich, aufzurauen. Vor Aufbringen des Oberputzes ist der Unterputz ggf. je nach Mörtelart und der Witterung entsprechend anzunässen.

Werden Putzlehren aus Mörtel angelegt, so müssen sie aus dem gleichen Mörtel bestehen wie der auszuführende Putz. Bei Ein-, Zu- und Beiputzarbeiten sowie bei Ausbesserungen soll die glei-


a)


b)

Bild 9 **Arbeitsschritte beim Verputzen einer Wand; a) Auftrag des Putzmörtels; b) Glätten des Putzes**

che Mörtelgruppe oder Mörtel vergleichbarer Zusammensetzung verwendet werden.

Mineralische Putze sind vor zu schneller Austrocknung zu schützen und nötigenfalls durch Benetzen mit Wasser feucht zu halten.

Nach Fertigstellung von Innenputzen sind die Räume häufig kurzfristig zu lüften (Querlüftung empfehlenswert), um überschüssige Feuchte abzuführen." [7]

Risse in begrenztem Umfang sind nicht zu beanstanden, wenn sie den technischen und optischen Wert des Putzes nicht beeinträchtigen. Putzbewehrungen vermindern die Gefahr von Rissbildungen im Putz. Konstruktionsbedingte Rissbildungen (z.B. durch Durchbiegungen von Decken und Unterzügen sowie starke Verformungen tragender Bauteile) können mit Putzbewehrungen nicht verhindert werden. Ist eine Putzbewehrung notwendig, so ist diese straff und faltenfrei in die zugbelastete Zone, in der Regel in der oberen Hälfte der Putzlage einzulegen.

2.5.4 Innenputze

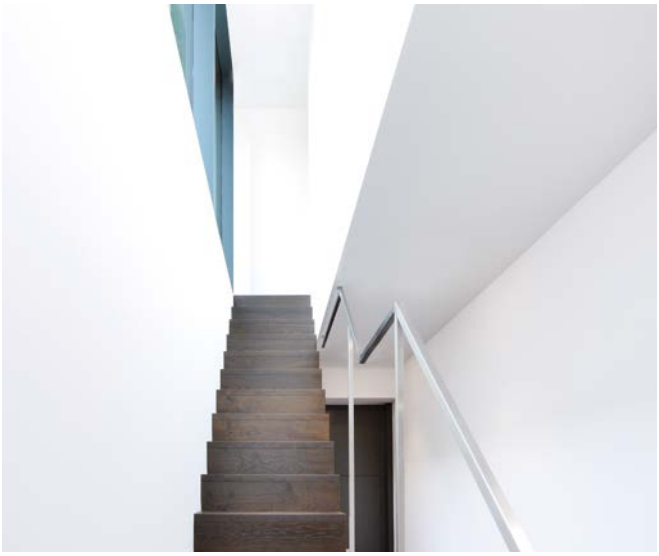
Die Putzmörtel müssen DIN EN 998-1, DIN EN 13279 (Gips-Putztrockenmörtel) bzw. DIN 18558 (Kunstharzputze) entsprechen.

Bei Innenputzen werden unterschieden:

- Innenwandputz für Räume üblicher Feuchte einschließlich häuslicher Küchen und Bäder
- Innenwandputz für Feuchträume (z.B. gewerbliche Küchen)

Der Innenputz soll dem Mauerwerk eine ebene und abriebfeste Oberfläche geben. Er soll mit dem flächendeckenden und nahtlosen Auftrag die für den Wärme- und Schallschutz wichtige Luftdichtigkeit der Wand sicherstellen.

Bei Innenwandputzen aus mineralischen Bindemitteln für übliche Anforderungen (z.B. Träger von Tapeten, Anstrichen) müssen die Putzmörtel der Kategorie CS II oder DIN EN 13279 entsprechen. Es werden überwiegend gips- oder anhydritgebundene Putze angewendet. Bei Putzsystemen nach DIN V 18550, Tabelle 3, ist kein Nachweis erforderlich. Innenwandputze für Feuchträume müssen langzeitig gegen Feuchte beständig sein. Deshalb dürfen Putzsysteme aus Gips-Putztrockenmörtel dort nach DIN EN 13279 nicht verwendet werden. Häusliche Küchen und Bäder sind keine Feuchträume. Wandbekleidungen und Beläge (z.B. keramische Fliesen) auf Putz mit direkter Wasserbelastung, wie Duschkabinen und Wannenbereiche, erfordern besondere Feuchteschutzmaßnahmen. Die Putzflächen sind vor Aufbringen der Bekleidung fachgerecht abzudichten. Wird zusätzlich eine rückseitige Durchfeuchtung des Putzes vom Putzgrund her ausgeschlossen, so ist in diesen Fällen auch Gipsputz anwendbar.



Die Dicke der meist einlagigen Innenputze beträgt (mittlere Dicke/Mindestdicke):

- Allgemein: 15 mm/10 mm
- Einlagig, Werk-Trockenmörtel: 10 mm/5 mm
- Dünnlagenputz: 5 mm/3 mm

Spachtelungen bis 3 mm sind keine Putze und werden hier nicht behandelt.

Innenputze auf Gipsbasis werden in einem Arbeitsgang aufgebracht. Zweischichtiges Verputzen mit Gipsputzmörteln ist nicht zu empfehlen, da durch Kristallisation der ersten Putzschicht die Haftung der Folgeschicht beeinträchtigt wird.

Dünnlagenputze werden von Hand oder maschinell nach den Angaben der Putzhersteller aufgebracht.

Dünnlagenputz dient in der Regel als Untergrund für eine Tapete bzw. für ein strukturloses Malervlies. Bei Dünnlagenputzen ist keine zweilagige Ausführung üblich. Diese können in der Regel nicht direkt überstrichen werden.

Haarrisse infolge nicht völlig vermeidbarer Putzgrundverformungen können von Dünnlagenputzen wegen der geringen Putzdicke nicht ohne weitere Maßnahmen überbrückt werden. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn auf eine Tapete bzw. ein strukturloses Malervlies, die bereits in gewissem Maße rissüberbrückend wirken, verzichtet werden soll und durch eine glatte, gestrichene Putzoberfläche ersetzt wird. Die Angaben der Putzhersteller sind zu beachten.

Die gewünschte Oberflächenbeschaffenheit muss bei der Planung beschrieben werden. Dazu werden in DIN EN 13914-2 vier Qualitätsstufen Q1 bis Q4 angegeben [18].

Bei einlagigen Putzen der Qualitätsstufe Q2 sind bei geglätteten und abgeriebenen Oberflächen als Endbeschichtung mindestens mittel bis grob strukturierte Tapeten oder entsprechend mit grober Lammfellrolle aufgetragene gefüllte Anstriche auszuführen. Die Qualitätsstufen Q3 und Q4 sollten (bei Verzicht auf Tapeten) mit zweilagigem Putz ausgeführt werden. Die zweite Putzlage ist deutlich später als die erste Putzlage aufzubringen. Bei den Stufen Q3 und Q4 ist immer Rücksprache mit dem Putzhersteller aufzunehmen.

2.5.5 Außenputze

Außenputze müssen als „Gebäudehaut“ den dauerhaften Schutz der Außenbauteile vor Witterungseinflüssen, vor allem den Feuchteschutz (Regen, Schlagregen) gewährleisten.

Sie stellen gleichzeitig die sichtbare Außenfläche dar und sollen den Anforderungen des Bauherrn an Farbe und Oberflächenstruktur genügen.

Außenputze bestehen in der Regel aus zwei Putzlagen: dem Unterputz und dem Oberputz, der im Allgemeinen aus Edelputzen hergestellt wird. Der Oberputz bestimmt in der Hauptsache das optische Erscheinungsbild. Der Witterungsschutz wird vom Unter- und Oberputz gemeinsam gewährleistet.

Unterputze aus Werk-Trockenmörtel können in der Regel ohne besondere Putzgrundvorbehandlung aufgebracht werden. Allgemein anerkannte Regel der Technik ist es, den Unterputz in zwei Arbeitsgängen – frisch in frisch – aufzubringen.

Bei farbigen Edelputzen – mit Ausnahme der Putzweise Kratzputz – sollte grundsätzlich ein Egalisationsanstrich vorgesehen und in Ausschreibung und Angebot aufgenommen werden. Die Ausführung kann dann, im Einvernehmen mit dem Bauherrn, davon abhängig gemacht werden, ob der gewünschte Eindruck einen solchen Anstrich erfordert. Dies gilt auch für Oberputze von Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS). Diese bestehen aus Kleber (und/oder Dübeln) Wärmedämmstoffschicht(en), Unterputz mit Armierungsgewebe und Außenputz, Bild 10.

Es dürfen nur bauaufsichtlich zugelassene WDVS (nach AbZ oder ETA) verwendet werden, bei denen in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) die einzelnen Systemkomponenten, so auch der Putz, genau beschrieben sind. Davon darf nicht abgewichen werden, z.B. durch Austausch einzelner Komponenten, wie des Außenputzes. Da diese Außenputze und auch ihre Verarbeitung in der abZ bzw. ETA festgelegt sind, wird hier nicht weiter darauf eingegangen.

Für den Sockelbereich gelten besondere Anforderungen, siehe 2.4.3.

Beim Verputzen von zweischaligem Kalksandstein-Mauerwerk, Bild 11, sind die im Vergleich zu dem üblicherweise belasteten Mauerwerk größeren Verformungen des Putzgrundes zu beachten. Die Verblendschalen sind nicht vertikal, z.B. durch eine Geschossdecke, belastet, so dass thermische und hygrische Beanspruchungen zu größeren Verformungen führen können. Der Putzmörtel muss diese Verformungen schadensfrei aufnehmen können. Besonders geeignet sind deshalb Putzmörtel bzw. Putze mit niedrigem Zug-Elastizitätsmodul, hoher Zugbruchdehnung und Zug-Relaxation (hoher Spannungsabbau). Infrage kommen dafür Leichtputze, auch mit Faserbewehrung, und leichte Armierungsputze mit Gewebeeinlage.

Dehnungsfugen in der Vormauerschale sind im Putz fortzusetzen. Entwässerungsöffnungen sind nicht erforderlich und müssen, sofern vorhanden, vor dem Putzauftrag mit Mörtel verschlossen werden.

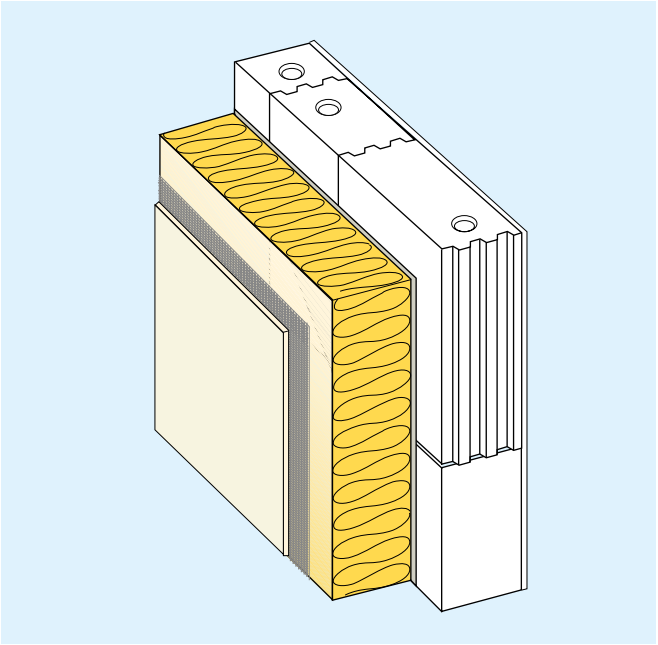


Bild 10 Kalksandstein-Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS)

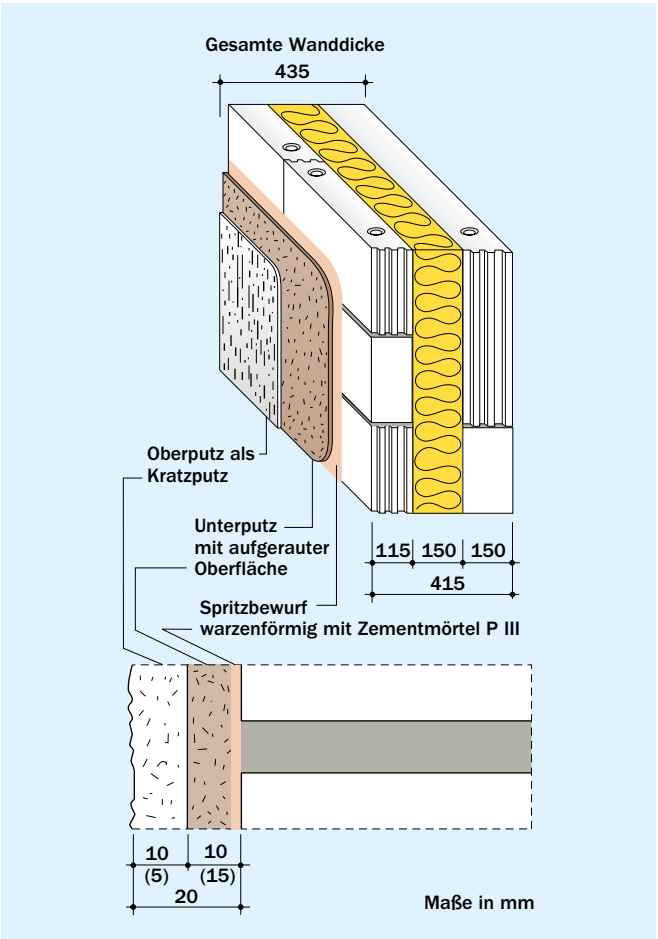


Bild 11 Geputzte Außenschale (Vormauerschale) von zweischaligem Außenmauerwerk – empfohlener Putz: Leichtputz (DIN V 18550)

3. Fliesenbekleidungen

Fliesen können auf KS-Mauerwerk sowohl im Dünn- als auch im Dickbettverfahren verlegt werden. Sofern die Ebenheitstoleranzen des KS-Mauerwerks es zulassen, können die Fliesen direkt mit einem flexiblen Fliesenkleber angeklebt werden.

Zementgebundene Mörtel für die Dünn- und Dickbettverlegung sowie Fliesenkleber werden im Allgemeinen aus vorgemischten Werk-Trockenmörteln hergestellt.

Die allgemeinen Anforderungen an den Untergrund nach DIN 18157:2017 sind zu beachten. Insbesondere darf sich der Untergrund nach dem Anbringen der Fliesen nur noch begrenzt verformen. Spätere Schwind- und Kriechverformungen können zum Abscheren des Fliesenbelags führen. In der Regel ist eine Wartezeit nach DIN 18157 von sechs Monaten einzuhalten. Die Einschränkung der DIN 18157 auf die hydraulisch gebundene Putze P II und P III als Untergrund für Fliesenbeläge ist nach neuen Erkenntnissen überholt. Im Bereich häuslicher Feuchträume, wie z.B. in Bädern und Küchen, können Fliesen auch auf Gipsputz verlegt werden.

Grundsätzlich sind alle Flächen, auf denen eine direkte Feuchtebelastung zu erwarten ist, abzudichten. Besondere Sorgfalt erfordert die Abdichtung von Bewegungsfugen zwischen Wand und schwimmendem Estrich, da hier mit größeren Verformungen infolge der trocknungsbedingten Schwindvorgänge (z.B. Schüsseln) zu rechnen ist.

Dickbettverfahren nach DIN 18352:09/2016

Bei der Fliesenverlegung im Dickbettverfahren werden die Fliesen in ein 15 bis 20 mm dickes Mörtelbett gelegt. Dafür ist ein zementgebundener Mörtel einzusetzen. Der Mörtel muss gut am Putzgrund haften. Die Empfehlungen des Putzmörtelherstellers zur Verarbeitung und besonders zur Untergrundvorbehandlung sind zu beachten. Von der KS-Industrie wird der Auftrag eines deckenden Spritzbewurfs mit Zementmörtel CS IV (P III) nach DIN 18550 auf das KS-Mauerwerk empfohlen.

Dünnbettverfahren nach DIN 18157

Bei der Fliesenverlegung im Dünnbettverfahren werden die Fliesen in ein dünnes, wenige Millimeter dickes Mörtelbett verlegt. Bei planebenem Mauerwerk aus KS-Plansteinen oder KS XL können die Fliesen im Dünnbettverfahren auch direkt auf das Mauerwerk geklebt werden.

Die DIN 18157 mit ihren drei Teilen [19] unterscheidet folgende Verfahren:

- Floating-Verfahren
  Der hydraulisch erhärtende Dünnbettmörtel wird in zwei Arbeitsgängen auf das KS-Mauerwerk aufgebracht. Im ersten Arbeitsgang wird mit einer Glättkelle eine dünne Schicht des Dünnbettmörtels auf das Mauerwerk aufgezogen. Auf die frische Schicht wird im zweiten Arbeitsgang der Dünnbettmörtel in der für die Abkämmung erforderlichen Menge aufgetragen und mit einem Zahnspachtel abgekämmt. Die Fliesen müssen in das frische Mörtelbett eingeschoben und angeklopft werden, bevor der Dünnbettmörtel eine Haut bildet.

- Buttering-Verfahren
  Der hydraulisch erhärtende Dünnbettmörtel wird auf die Rückseite der Fliese in der erforderlichen Menge gleichmäßig aufgetragen und vor der Hautbildung auf das KS-Mauerwerk angesetzt. Das Buttering-Verfahren wird bei ungleichmäßiger Dicke der Fliesen bevorzugt.

Beide Verfahren können auch kombiniert werden, indem der Dünnbettmörtel sowohl auf das KS-Mauerwerk als auch auf die Fliesenrückseite aufgetragen wird.



Literatur

[1] DIN EN 998-2 Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 2: Mauermörtel; Deutsche Fassung 2016

[2] DIN EN 1996-1-1:2010:12 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk in Verbindung mit DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05.

[3] DIN V 20000-412:2004-03 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 412: Regeln für die Verwendung von Mauermörtel nach DIN EN 998-2:2003-09 (Vornorm)

[4] DIN V 18580:2007-03 Mauermörtel mit besonderen Eigenschaften (Vornorm)

[5] DIN 18330:2016-09 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV); Mauerarbeiten

[6] Merkblatt Aufstellbedingungen für Transportsilos. Industrieverband Werktrockenmörtel e.V., Duisburg

[7] DIN 18550:2018-01: Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 1: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-1:2016-09 für Außenputze; – Teil 2: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-2: 2016-09 für Innenputze

[8] DIN EN 998-1:2003-09 Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 1: Putzmörtel; Deutsche Fassung 2010-12

[9] DIN 18350:2016-09 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV); Putz- und Stuckarbeiten

[10] DIN EN 13914-1:2016-09 Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen – Teil 1: Außenputz

[11] Leitlinien für das Verputzen von Mauerwerk und Beton. Industrieverband Werkmörtel e.V. 11-2014

[12] Merkblatt: Wärmedämm-Verbundsysteme im Sockel- und erdberührten Bereich 10/2000; Herausgeber GTA – Gemeinsamer Technischer Ausschuss der Verbände

[13] Richtlinie Fassadensockelputz/Außenanlage. Hrsg.: Fachverband der Stuckateure für Ausbau und Fassade Baden-Württemberg, Verband Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau Baden-Württemberg e.V., 2013

[14] WTA-Merkblatt 2-9-04/D Sanierputzsysteme, Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., München

[15] Merkblatt Dünnlagenputz im Innenbereich. Hrsg.: Deutscher Stuckgewerbebund u.a., Berlin 09/2012

[16] DIN 18202:2013-04 Toleranzen im Hochbau – Bauwerke

[17] Ertl, R.: Toleranzen im Hochbau – Kommentar zur DIN 18202. Verlag Rudolf Müller, Köln 2006

[18] DIN EN 13914-2:2016-09 Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen – Teil 2: Planung und wesentliche Grundsätze für Innenputz

[19] DIN 18157 Ausführung keramischer Bekleidungen im Dünnbettverfahren – Teil 1: Hydraulisch erhärtende Dünnbettmörtel; – Teil 2: Dispersionsklebstoffe; – Teil 3: Epoxidharzklebstoffe

Bildnachweise

Bild S. 118: KS-Quadro GmbH; **Bild 9:** Knauf;
Bild S. 130: Architekten Spiekermann/KS-ORIGINAL;
Bild S. 132: Stefan Meyer/KS-Bayern

Bild 2, Bild 3, Bild 4, Bild 8, Bild S. 124 unten:
Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.



Kapitel 6

BEFESTIGUNG

Prof. Dr.-Ing. Jan Hofmann,
MPA Universität Stuttgart

Stand: 01/2018

1. Allgemeines

Die Bedeutung nachträglicher Befestigungen in Kalksandstein-Mauerwerk mit Dübeln nimmt im Bauwesen stetig zu. Die Anwendungen für den Einsatz nachträglicher Befestigungen mit Kunststoffdübeln oder Injektionsdübeln sind sehr vielfältig. Einrichtungsgegenstände wie z.B. Hängeschränke, Regale, Spiegel, Bilder o.Ä. (Bild 1) werden im privaten Bereich in der Regel mit nicht zugelassenen Dübeln befestigt.



Bild 1 Befestigung von Treppengeländern an KS-Mauerwerk



Bild 2 Innensichtmauerwerk aus Kalksandstein mit befestigten Installationsleitungen

Typische sicherheitsrelevante Anwendungen hingegen sind Fassadenunterkonstruktionen, Vordächer, Markisen, Rohrleitungen (Bild 2), Rolltorführungen, Lüftungskanäle, Kabeltrassen oder abgehängte Decken.

Mauerwerk aus Kalksand-Vollsteinen ist für nachträgliche Befestigungen mit Dübeln in der Regel sehr gut geeignet, da die hohen Druckfestigkeiten der Mauerwerkssteine hohe Haltewerte garantieren. So können Kunststoffdübel aus Polyamid in Kalksand-Vollsteinen unter Zuglast und Querbelastung vergleichbare Tragfähigkeiten wie in Normalbeton erreichen.

In Kalksand-Lochsteinen werden wegen der hohen Festigkeit der Steinstege ebenfalls relativ große Traglasten erreicht. In diesen Fällen hängt die Tragfähigkeit jedoch wesentlich von der Anzahl der vom Dübel aktivierten Steinstege sowie der Dicke des Außensteges ab.

In den folgenden Abschnitten werden die für Befestigungen in Kalksandstein geeigneten Dübelsysteme beschrieben, ihre Anwendungsbedingungen zusammengestellt und das Wirkprinzip erklärt.

2. Dübelsysteme

Für nachträgliche Befestigungen an KS-Vollsteinen (Lochanteil < 15 %) oder KS-Lochsteinen (Lochanteil > 15 %) eignen sich Kunststoffdübel und Injektionssysteme mit oder ohne Siebhülse.

Kunststoffdübel werden auch für Verankerungen von Vorsatzschalen bei zweischaligem Mauerwerk eingesetzt [1]. Vorteil von Kunststoffdübeln gegenüber Injektionssystemen ist, dass die Montage relativ einfach ist und keine Wartezeiten für das Aushärten des Mörtels notwendig sind. Vorteil der Injektionssysteme sind die in der Regel höheren Tragfähigkeiten und die Anwendung als Einzelbefestigung.

2.1 Kunststoffdübel

Kunststoffdübel bestehen aus einer Dübelhülse und einer Stahlschraube als Spreizelement. Man unterscheidet zwischen allgemein bauaufsichtlich (abZ) bzw. europäisch technisch zugelassenen (ETA) Dübeln. Die Dübelhülsen bauaufsichtlich zugelassener Kunststoffdübel bestehen meist aus Polyamid (PA). Die vom Hersteller mitgelieferte Schraube bildet zusammen mit der Dübelhülse eine Befestigungseinheit und darf in keinem Fall ausgetauscht werden. Die Länge und Geometrie von Schraube und Kunststoffhülse sind exakt aufeinander abgestimmt, um ein optimales Spreizverhalten bei der Montage zu gewährleisten sowie ein Mitdrehen des Dübels bei der Montage zu vermeiden. Die Dübelhülse besitzt einen Kragen, der die Soll-Einbaulage gewährleistet und verhindert, dass der Dübel bei der Montage in das Bohrloch hineinrutscht.

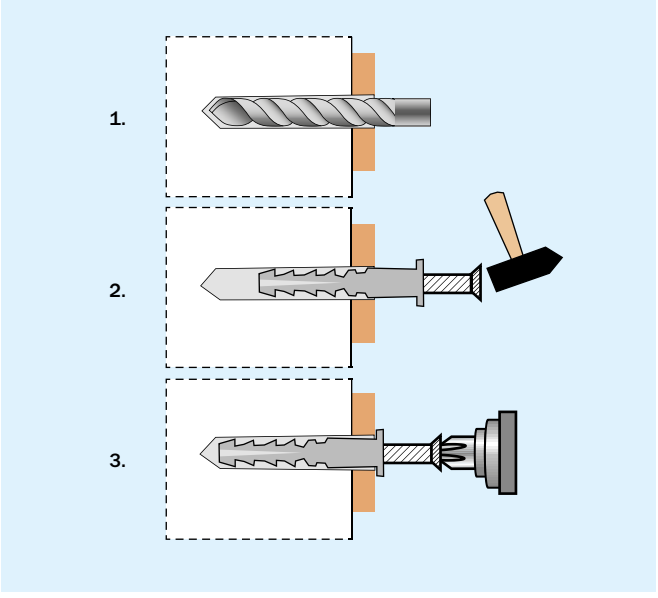


Bild 3 Montage eines Kunststoffdübels

Für die Dübelhülsen nicht bauaufsichtlich zugelassener Kunststoffdübel werden neben Polyamid auch andere Kunststoffe wie z.B. Polypropylen (PP) oder Polyethylen (PE) verwendet. Als Spreizelement können – je nach Herstellerempfehlung – Holzschrauben oder Spanplattenschrauben verwendet werden.

Bild 3 zeigt beispielhaft die Montage eines Kunststoffdübels. Dieser wird in der Regel in Durchsteckmontage gesetzt, d.h. der Dübel wird durch das zu befestigende Anbauteil hindurch gesteckt und die Schraube von Hand oder mit Hilfe eines Elektroschraubers eingeschraubt, bis der Schraubenkopf auf dem Anbauteil aufliegt.

Beim Eindrehen der Schraube in die Hülse wird der Kunststoff der Dübelhülse verdrängt und gegen die Bohrlochwand gepresst. Der Dübel ist richtig verankert, wenn sich die Dübelhülse nach dem vollständigen Eindrehen der Schraube weder dreht noch ein leichtes Weiterdrehen der Schraube möglich ist. Ein Überdrehen der Schraube ist bei hochwertigen Produkten in der Regel nicht möglich, da in diesem Fall ein sicherer Halt nicht mehr gewährleistet werden kann.

In Vollsteinen werden Zuglasten ausschließlich durch Reibung zwischen Dübelhülse und Bohrlochwand übertragen. In Lochsteinen können Reibungskräfte nur im Bereich der angeschnittenen Stege übertragen werden. Zusätzlich wird ein Teil der aufgebrachten Zuglast durch die mechanische Verzahnung zwischen der Dübelhülse und den durchbohrten Steinstegen übertragen.

2.2 Verbunddübel

Injektionsdübel (Verbunddübel) bestehen aus einem Befestigungsteil (Gewindestange oder einer Innengewindehülse) und dem Injektionsmörtel. Der Mörtel wird in der Regel in Kartuschen (Mörtel und Härter) geliefert. Als Bindemittel kommen Kunstharze oder eine Mischung aus Kunstharz und Zement (Hybridsysteme) zur Anwendung.

Für Lochsteine sind Kunststoff- oder Metallsiebhülsen notwendig, um die erforderliche Mörtelmenge in KS-Lochsteinen zu begrenzen, so dass nicht der gesamte Hohlraum mit Mörtel gefüllt werden muss. Bild 4 zeigt beispielhaft die Montage eines Injektionsdübels in einem Vollstein. In der Kartusche sind das Harz und der Härter stets in getrennten Kammern und einem für die jeweilige Mörtelart speziellen Mengenverhältnis enthalten.

Der Mörtel wird mit Hilfe eines Auspressgerätes in das Bohrloch injiziert. Während dieses Vorgangs werden Harz und Härter in einem festen Mischungsverhältnis ausgepresst und in einer Mischwendel (dem so genannten Statikmischer) an der Spitze der Kartusche vollständig miteinander vermischt. Die ersten Hübe beim Auspressen sind daher zu verwerfen, da das vorgegebene Mischungsverhältnis noch nicht eingehalten wird. Der Härter und das Harz vermischen sich in der Mischwendel und härten dort, z.B. während einer Arbeitspause, aus. Die Kartusche kann dann nach Aufsetzen einer neuen Mischwendel weiterverwendet werden, wobei die ersten Hübe beim Auspressen wieder zu verwerfen sind.

Nach dem Injizieren der erforderlichen Mörtelmenge wird das Befestigungsteil (Gewinde- bzw. Verankerungsstange) mit einer leichten Drehbewegung in das Bohrloch eingedrückt. Tritt

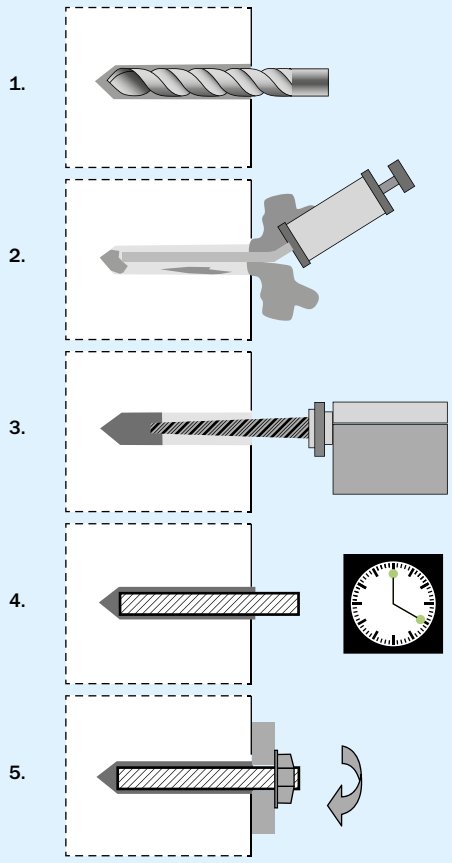


Bild 4 Montage eines Injektionsdübels als Vorsteckmontage

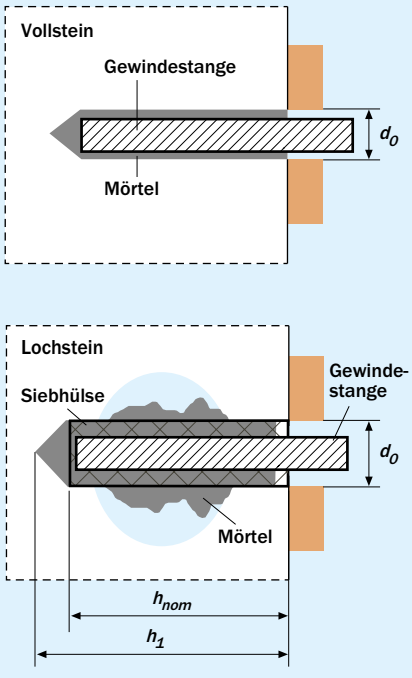


Bild 5 Injektionsdübel in KS-Vollstein und KS-Lochstein

am Bohrlochmund Mörtel aus, so wurde das Bohrloch ausreichend mit Mörtel verfüllt und die Montage korrekt ausgeführt. Die erforderliche Wartezeit bis zum Aufbringen der Last entspricht der angegebenen Aushärtezeit des Injektionsmörtels und ist von der Umgebungs- und Verankerungsgrundtemperatur abhängig. Je höher diese ist, desto kürzer ist in der Regel die Aushärtezeit, aber auch die Verarbeitungszeit, innerhalb der die Verankerung zu montieren ist.

Um in Lochsteinen die Mörtelmenge zu begrenzen, müssen bei zugelassenen Systemen Siebhülsen verwendet werden. Beim Einpressen dringt der Injektionsmörtel durch die Maschen der Siebhülse und passt sich dem Hohlraum im Mauerwerk an. Die Siebhülse bildet mit dem Mörtel und der Ankerstange eine Einheit und darf nicht durch eine andere Siebhülse ausgetauscht werden, da die Maschengröße und Mörtelzähigkeit aufeinander abgestimmt sind. So wird die erforderliche Mörtelmenge auf ein Minimum begrenzt und dennoch eine hohe Tragfähigkeit gewährleistet (Bild 5).

Injektionsdübel werden oft in Vorsteckmontage verwendet. Hierbei werden zuerst die Dübel gesetzt und anschließend, nach Ablauf der Aushärtezeit des Injektionsmörtels, das Anbauteil befestigt (Bild 4). Bei größeren Anbauteilen mit mehreren Befestigungspunkten wie z.B. Holzbalken kann dies aufgrund unvermeidlicher Toleranzen problematisch werden. Hier muss dann der Dübel in Durchsteckmontage oder mittels einer Setzschablone montiert werden.

Zugelassene Injektionsdübel, die in Durchsteckmontage verwendet werden können, sind speziell für diese Montageart entwickelt und hinsichtlich unterschiedlicher Anbauteildicken auch bezüglich der Siebhülsenlänge flexibel.

Injektionsdübel tragen in Kalksand-Lochsteinen die Lasten überwiegend durch die mechanische Verzahnung des Mörtels mit dem Mauerwerk in den Untergrund ab (Bild 5). Werden beim Bohren keine Hohlräume angeschnitten, werden die Lasten – wie in Vollsteinen – nur durch die Klebewirkung (den Verbund) zwischen Mörtel und Bohrlochwand in den Mauerwerksverband abgetragen.

3. Sicherheitsanforderungen

Bei der Beurteilung einer Befestigung spielen Sicherheitsanforderungen eine sehr große Rolle. Grundsätzlich wird zwischen sicherheitsrelevanten und nicht sicherheitsrelevanten Anwendungen unterschieden.

Eine sicherheitsrelevante Anwendung liegt dann vor, wenn beim Versagen der Befestigung Gefahr für Leib und Leben besteht oder wesentliche wirtschaftliche Schäden zu erwarten sind. In solchen Fällen dürfen nur Befestigungen verwendet werden, deren Brauchbarkeit durch eine allgemein bauaufsichtliche Zulassung (abZ) oder eine europäisch technische Bewertung (European Technical Assessment – ETA) nachgewiesen ist. Alternativ kann die Brauchbarkeit auch durch eine Zustimmung im Einzelfall oder Baustellenversuche geregelt werden.

Es ist unumstritten, dass Befestigungen von Fassadenunterkonstruktionen, Verankerungen von Sprinklersystemen oder von abgehängten Decken als sicherheitsrelevant einzustufen sind. Demgegenüber werden Befestigungen von Einrichtungsgegenständen (z.B. Hängeschränke, Regale, Lampen, Bilder) oder von Installationsleitungen (Wasser, Sanitär, Heizung) in Privatgebäuden in der Regel als nicht sicherheitsrelevant angesehen. Allerdings sollte auch hier überprüft werden, ob durch ein Versagen der Befestigung Menschenleben gefährdet sind (z.B. durch das Herabfallen eines Küchenschranks auf ein Kleinkind). Im Zweifelsfall sollten auch für diese Anwendungen zugelassene Dübelsysteme verwendet werden. Ansonsten können solche Verankerungen nach handwerklichen Regeln ausgewählt und eingesetzt werden. Auch wenn hier keine Anforderungen an die Verankerung gestellt werden, sollten die Grundprinzipien, die zugelassenen Dübeln zugrunde liegen, beachtet werden.

Neben den seit vielen Jahren bekannten Zulassungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (abZ) sind für Kunststoffdübel und Verbunddübel auch europäische technische Bewertungen (ETA) verfügbar. Im Zuge der europäischen Harmonisierung werden die deutschen Zulassungen (abZ) daher sukzessive durch die europäisch technischen Bewertungen (ETA) ersetzt.

Deutsche Zulassungen und europäische Bewertungen für Kunststoffdübel und Injektionsdübel unterscheiden sich in drei Punkten deutlich:

- im Bemessungskonzept,
- im zulässigen Anwendungsbereich und
- in der Definition des Verankerungsgrundes.

Deutsche Zulassungen beruhen auf dem Bemessungskonzept zulässiger Lasten, d.h., es wird nachgewiesen, dass die zu befestigende Last F nicht größer ist als der zulässige Wert F_{zul}.

Demgegenüber basiert das europäische Konzept auf Teilsicherheitsbeiwerten. Bei diesem ist nachzuweisen, dass der Bemessungswert der Einwirkung E_d geringer ist als der Bemessungswert des Widerstandes R_d.

Das europäische Konzept kann auf das deutsche zurückgeführt werden.

Der im europäischen Nachweis verwendete Bemessungswert der Einwirkungen E_d entspricht der um den Lastteilsicherheitsbeiwert γ_F vergrößerten zu befestigenden Last F. Der Bemessungswert des Widerstandes R_d errechnet sich aus dem charakteristischen Widerstand F_{Rk} des Dübels geteilt durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_M für das Material. Damit ergibt sich für

Europa:
$$E_d < R_d \quad (3.1)$$
$$F \cdot \gamma_F < F_{Rk}/\gamma_M \quad (3.2)$$
$$F < F_{Rk}/(\gamma_F \cdot \gamma_M) \quad (3.3)$$

Deutschland:
$$F < F_{Rk}/\gamma_{ges} = \text{zul } F \quad (3.4)$$

Die Werte für F_{Rk} und γ_M sind vom Verankerungsgrund bzw. dem Dübelsystem selbst abhängig und in der technischen Bewertung angegeben. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_F hängt von der Art der Belastung ab und beträgt $\gamma_F = 1{,}35$ für ständige Lasten bzw. $\gamma_F = 1{,}50$ für veränderliche Lasten.

Weiterhin unterscheiden sich, vor allem bei Kunststoffdübeln, deutsche Zulassungen und europäische Bewertungen in der Definition des Anwendungsbereichs. Nach deutschen Zulassungen ist die Anwendung von Kunststoffdübeln auf Mehrfachbefestigungen von Fassadenbekleidungen beschränkt. In europäischen Bewertungen entfällt zwar die Beschränkung auf Fassadenbekleidungen, allerdings ist die Anwendung nur für so genannte redundante Systeme, also Mehrfachbefestigungen, erlaubt.

Mehrfachbefestigungen liegen definitionsgemäß dann vor, wenn die Last im Falle des Versagens oder aufgrund einer großen Verschiebung der Befestigung durch benachbarte Befestigungen aufgenommen werden kann.

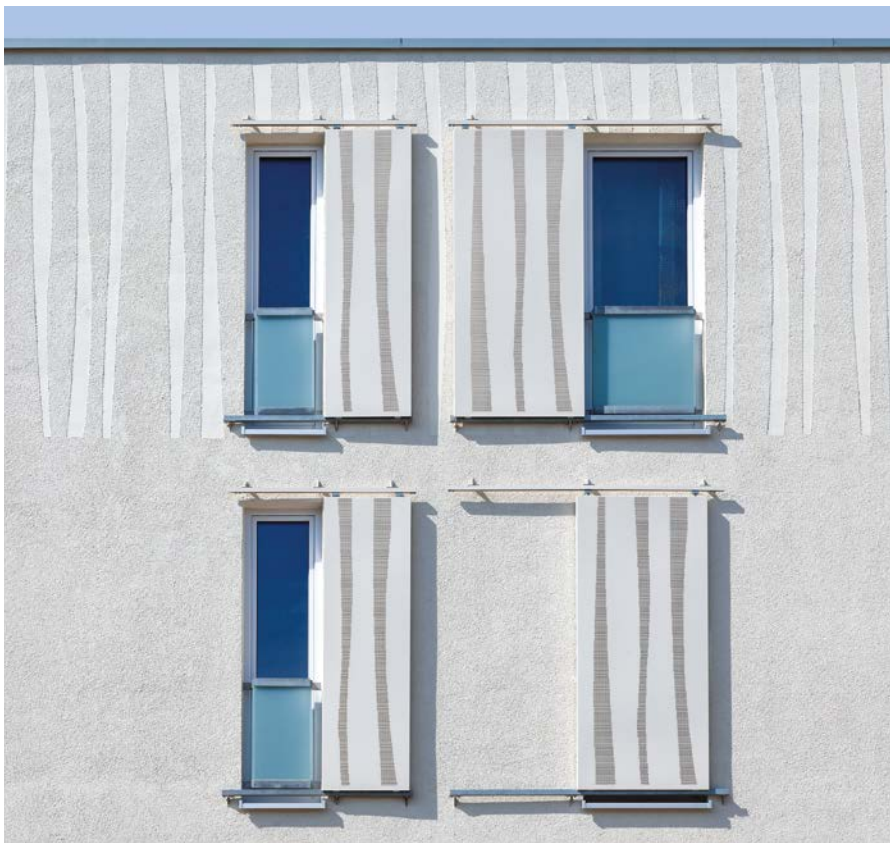
Laut europäischer Definition ist diese Lastumlagerung automatisch und ohne zusätzliche Nachweise gewährleistet, wenn die beiden nachfolgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Das zu befestigende Bauteil wird mit mindestens drei Befestigungspunkten befestigt. (Ein Befestigungspunkt besteht dabei aus mindestens einem Dübel.)
- Der Bemessungswert der Einwirkungen S_d pro Befestigungspunkt muss auf 3 kN begrenzt werden.
- Der verwendete Dübel muss eine Zulassung für Mehrfachbefestigungen besitzen.

Bei einer Vergrößerung der Anzahl der Befestigungspunkte von drei auf vier (oder mehr) darf der Bemessungswert der Einwirkungen vergrößert werden und beträgt maximal 4,5 kN.

INFO

Mauerwerk aus Vollsteinen ist ideal für sicherheitsrelevante Befestigungen.



Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen deutschen und europäischen Zulassungen für Kunststoff- und Injektionsdübel liegt in der Definition der Steine. Während deutsche Zulassungen für den Verankerungsgrund auf die jeweilige Norm verweisen, z.B. für KS-Vollsteine und KS-Lochsteine auf DIN 771-2 [2], ist das aus europäischer Sicht nicht mehr ohne Weiteres möglich.

In Europa gibt es eine sehr große Vielfalt an Mauerwerksbaustoffen, Steinformaten und Lochbildern. Da in den europäischen Normen für Mauerwerkslochsteine in der Regel keine detaillierten Angaben über das Lochbild gemacht werden, können keine allgemeinen Angaben zur Tragfähigkeit für z.B. Kalksand-Lochsteine gemacht werden. In den europäischen Bewertungen sind daher alle Voll- und Lochsteine beschrieben, für die der Dübel zugelassen ist. Die angegebenen Werte bei Lochsteinen gelten daher auch nur für die Steine, die in der Zulassung beschrieben und aufgeführt sind. Dies betrifft vor allem die Angaben hinsichtlich des Formats, der Druckfestigkeit und des Lochbildes (d.h. Größe und Verteilung der Hohlräume).

4. Dübel für sicherheitsrelevante Befestigungen

4.1 Kunststoffdübel mit deutscher bauaufsichtlicher Zulassung

In den Tafeln 1 und 2 sind stellvertretend für die Vielzahl zugelassener Kunststoffdübel beispielhafte Montagekennwerte und Lasten zusammengestellt. Die zulässigen Lasten in KS-Lochsteinen gelten nur, wenn die Bohrlöcher im Drehgang ohne Hammerwirkung erstellt werden. Diese Einschränkung hat den Hintergrund, dass beim Bohren mit Hammerwirkung die Stege der Lochsteine auf ihrer Rückseite deutlich stärker ausbrechen können als beim Bohren im Drehgang (Bild 6). Grundsätzlich aber ist das zulässige Bohrverfahren in der europäisch technischen Bewertung angegeben und bei der Montage anzuwenden.



Bild 6 Unterschiedliche Vorschädigung durch Dreh- und Hammerbohren

Der erforderliche Randabstand hängt davon ab, ob eine Auflast vorhanden ist oder nicht. Die notwendige Höhe der erforderlichen Auflast ist in der Zulassung allerdings nicht geregelt. Teilweise kann eine Auflast auch ungünstig wirken. Es sollte daher mindestens der Randabstand eingehalten werden, der sich ohne eine Berücksichtigung der Auflast ergibt. Dieser beträgt bei Dübeln mit einem Durchmesser von d = 10 mm zwischen 10 cm und 25 cm.

Neben den Angaben in den Tafeln 1 und 2 verlangt die bauaufsichtliche Zulassung noch die Einhaltung einer Reihe weiterer Bedingungen. Die wichtigsten sind im Folgenden aufgeführt:

- Eine ständig wirkende Zuglast ist nur als Schrägzuglast zulässig, die mit der Dübelachse einen Winkel von mindestens 10° bildet.
- Bei Anwendungen in Lochsteinen darf die Verankerungstiefe nur überschritten werden, wenn der Einfluss des Tiefersetzens auf die zulässige Last durch Versuche am Bauwerk überprüft wird.
- Der Abstand der Dübel zu Stoßfugen muss mindestens 30 mm betragen.

Tafel 1 Typische Kennwerte von Kunststoffdübeln mit allgemein bauaufsichtlicher Zulassung für KS-Vollsteine

Dübel	fischer SXR		Hilti HRD -U		Würth W-UR	
Dübelgröße	8	10	10	14	8	10
Bohrlochdurchmesser d_0 [mm]	8	10	10	14	8	10
Bohrlochtiefe h_1 [mm]	60	60	80	85	80	80
Verankerungstiefe h_{nom} [mm]	50	50	70	70	70	70
Durchgangsloch im Anbauteil d_f [mm]	8,5	10,5	10,5	14,5	8,5	10,5
Mindestbauteildicke [mm]	115	115	115	115	115	115
Minimaler Achsabstand [mm]	100	100	100	250	100	100
Minimaler Randabstand [mm]	250	250	250	400	250	250
Zulässige Tragfähigkeit [kN]	0,4	0,6	0,6	0,6	0,4	0,6

Tafel 2 Typische Kennwerte von Kunststoffdübeln mit allgemein bauaufsichtlicher Zulassung für KS-Lochsteine

Dübel	fischer SXR		Hilti HRD		Würth W-UR	
Dübelgröße	8[1)]	10	10	14	8[1)]	10
Bohrlochdurchmesser d_0 [mm]	8	10	10	14	8	10
Bohrlochtiefe h_1 [mm]	60	60	80	85	80	80
Verankerungstiefe h_{nom} [mm]	50	50	70	70	70	70
Durchgangsloch im Anbauteil d_f [mm]	8,5	10,5	10,5	14,5	8,5	10,5
Mindestbauteildicke [mm]	115	115	115	115	115	115
Minimaler Achsabstand [mm]	100	100	100	250	100	100
Minimaler Randabstand [mm]	250	250	250	400	250	250
Zulässige Tragfähigkeit [kN]	–	0,4	0,4	0,6	–	0,4

[1)] Dübel haben keine abZ.

Kann die Lage von Stoßfugen z.B. wegen eines Putzes oder einer Wärmedämmung nicht bestimmt werden, dann ist die zulässige Last der Dübel zu halbieren, sofern keine Lastumlagerung auf mindestens zwei benachbarte Befestigungspunkte möglich ist.

Die zulässigen Biegemomente sowie weitere Detailinformationen zur Anwendung sind den jeweiligen Zulassungsbescheiden zu entnehmen.

4.2 Kunststoffdübel mit europäischer Bewertung (nach ETAG 020 [3])

In den Tafeln 3 und 4 sind die wichtigsten Montagekennwerte und Lasten von typischen Kunststoffdübeln mit europäischer Zulassung beispielhaft genannt.

Die Lastwerte in den Tafeln 3 und 4 gelten für das Bohrverfahren, das in der ETA angegeben ist. Drehbohren, wie in der deutschen Zulassung verlangt, wird nicht mehr zwingend vorgeschrieben.

Außerdem werden in der europäischen Zulassung erstmals Temperaturbereiche für die Anwendung angegeben. Der geringere Wert entspricht der langzeitig im Mittel erlaubten und ertragbaren Temperatur, der höhere Wert darf auch kurzzeitig nicht überschritten werden.

Nach europäisch technischen Bewertungen sind auch ständig wirkende Zuglasten erlaubt. Im Vergleich zu den Dübeln nach deutscher Zulassung wurden die Dübel mit einer gültigen ETA unter zentrischen Dauerlasten und erhöhten Temperaturen geprüft und bewertet.

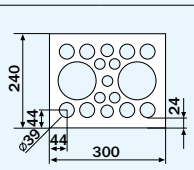
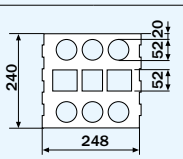
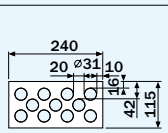
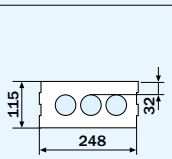
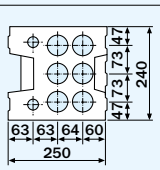
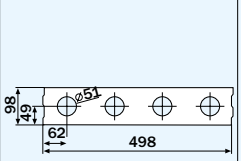
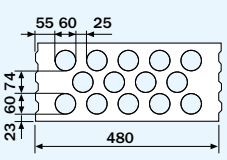
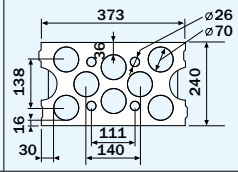
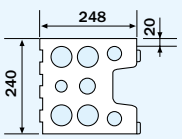
Neben den Angaben in den Tafeln 3 und 4 verlangt die Zulassung noch die Einhaltung einer Reihe weiterer Bedingungen. Die wichtigsten sind im Folgenden aufgeführt:

- Der Mörtel des Mauerwerks muss mindestens der Mörtelklasse M 2,5 nach DIN EN 998-2 bzw. Mörtelgruppe II nach DIN V 18580 entsprechen.
- Die Werte für KS-Vollsteine gelten für die in der Zulassung angegebenen Formate und Druckfestigkeiten sowie für alle größeren Formate und/oder Druckfestigkeiten.
- Die Werte für KS-Lochsteine gelten nur für die Formate und Lochbilder, die in der Zulassung beschrieben sind.
- Bei abweichenden Formaten und/oder Lochbildern sowie bei geringeren Druckfestigkeiten und/oder Rohdichten dürfen Versuche am Bauwerk durchgeführt werden.
- Bei Anwendungen in KS-Lochsteinen muss die in Tafel 4 angegebene Verankerungstiefe eingehalten werden. Ist das nicht möglich, dürfen ebenfalls Versuche am Bauwerk durchgeführt werden.
- Bei Mauerwerk ohne Vermörtelung der Stoßfugen ist der Bemessungswert der Tragfähigkeit $F_{Rd} = F_{Rk}/\gamma_M$ auf 2,0 kN zu begrenzen, um ein Herausziehen des Steins aus dem Mauerwerksverband zu verhindern. Auf diese Begrenzung darf verzichtet werden, wenn Mauersteine mit Nut-Feder-System verwendet werden oder das Mauerwerk mit Stoßfugenvermörtelung ausgeführt wird.
- Sind die Mauerwerksfugen nicht sichtbar, z.B. bei verputztem Mauerwerk, ist die charakteristische Tragfähigkeit F_{Rk} nach Tafel 3 und 4 zu halbieren.

Tafel 3 Typische Kennwerte von Kunststoffdübeln mit europäisch technischer Zulassung für KS-Vollsteine

Dübel	fischer SXR ETA-07/0121		Hilti HRD ETA-07/0219		Würth W-UR ETA-08/0190		TOX SDF ETA-11/0100	Sormat S-UP ETA-12/0003
Dübelgröße	8	10	8	10	8	10	10	10
Bohrlochdurchmesser d_0 [mm]	8	10	8	10	8	10	10	10
Bohrlochtiefe h_1 [mm]	60	60	60	60/80	80	80	80	80
Verankerungstiefe h_{nom} [mm]	50	50	50	50/70	70	70	70	70
Durchgangsloch im Anbauteil d_f [mm]	8,5	10,5	8,5	11	8,5	10,5	10,5	10,5
Mindestbauteildicke [mm]	100	100	115	115	175	175	100	240
Minimaler Randabstand KS-Vollsteine [mm]	100	100	100	100	50	50	100	200
Minimaler Abstand zwischen Dübelgruppen senkrecht zum Rand [mm]	100	100	200	200	100	100	100	80
Minimaler Abstand zwischen Dübelgruppen parallel zum Rand [mm]	100	100	400	400	100	100	100	80
Temperaturbereich	50 °C/80 °C		50 °C/80 °C		50 °C/80 °C		50 °C/80 °C	50 °C/80 °C
Mindeststeinfestigkeit [N/mm²]	10	20	10	20	10	20	10	12
Mindestabmessungen der Steine	240 x 115 x 71		240 x 115 x 113		248 x 175 x 498		240 x 115 x 71	240 x 115 x 71
Charakteristische Tragfähigkeit [kN]	2,0	2,5	2	3	1,5	3,5	1,5	6,0

Tafel 4 Beispiele für Kennwerte von Kunststoffdübeln mit europäisch technischer Zulassung für KS-Lochsteine

Dübel	fischer SXR ETA-07/0121		Hilti HRD ETA-07/0219		Würth W-UR ETA-08/0190		TOX SDF ETA-11/0100	Sormat S-UP ETA-12/0003
Dübelgröße	8	10	8	10	8	10	10	10
Bohrlochdurchmesser d_0 [mm]	8	10	8	10	8	10	10	10
Bohrlochtiefe h_1 [mm]	60	60	60	60/80	60	80	80	80
Verankerungstiefe h_{nom} [mm]	50	50	50	50/70	70	70	70	70
Durchgangsloch im Anbauteil d_f [mm]	8,5	10,5	8,5	11	8,5	10,5	10,5	10,5
Mindestbauteildicke [mm]	100	100	110	115	115	115	100	240
Minimaler Randabstand [mm]	100	100	100	100	100	100	100	100
Minimaler Abstand zwischen Dübelgruppen senkrecht zum Rand [mm]	100	100	200	200	100	100	100	80
Minimaler Abstand zwischen Dübelgruppen parallel zum Rand [mm]	100	100	400	400	100	100	100	80
Temperaturbereich	50 °C/80 °C		50 °C/80 °C		50 °C/80 °C		50 °C/80 °C	50 °C/80 °C
Steinbild								
Minimale Außenstegdicke [mm]	24		20		16		32	21,5
Steinfestigkeit [N/mm²]	8	12	12	–	6	16	8/10/12	12
Charakteristische Tragfähigkeit [kN]	0,5	2	0,75	–	0,5/1,2	2,5	1,5/2,0/2,5	2,5
Steinbild								–
Minimale Außenstegdicke [mm]	23,5		23		16		20	–
Steinfestigkeit [N/mm²]	6	6	12	16	8	16	6/8/12/16	–
Charakteristische Tragfähigkeit [kN]	1,2	1,5	1,5	2,5	0,6	1,5	0,6/0,9/1,2/1,5	–

INFO

Die Werte für KS-Vollsteine gelten für die in der Zulassung angegebenen Formate und Druckfestigkeiten sowie für alle größeren Formate und/oder Druckfestigkeiten. Die Werte für KS-Lochsteine gelten nur für die Formate und Lochbilder, die in der Zulassung beschrieben sind.

Sind die Fugen zwar sichtbar, aber das Mauerwerk ist ohne Stoßfugenvermörtelung erstellt, dann darf die charakteristische Tragfähigkeit F_{Rk} nur angesetzt werden, wenn der Mindestrandabstand gemäß den Tafeln 3 und 4 auch zu den Stoßfugen eingehalten wird. Ist das nicht der Fall, muss die charakteristische Tragfähigkeit ebenfalls halbiert werden.

Die zulässigen Biegemomente sowie weitere Detailinformationen zur Anwendung sind den jeweiligen Zulassungsbescheiden zu entnehmen.



4.3 Injektionsdübel mit deutscher bauaufsichtlicher Zulassung

Im Gegensatz zu Kunststoffdübeln dürfen Injektionsdübel in Kalksandsteinen als Einzelbefestigungen verwendet werden. Das bedeutet, dass die gesamte Last mit nur einem Dübel oder einer Dübelgruppe in den Ankergrund eingeleitet werden darf.

In den Tafeln 5 und 6 sind die wichtigsten Montagekennwerte und Lasten für Injektionsdübel in Kalksand-Vollsteinen bzw. Kalksand-Lochsteinen gemäß deutscher Zulassung (abZ) zusammengefasst. Wie bei Kunststoffdübeln hängt der erforderliche Randabstand auch bei Injektionsdübeln davon ab, ob eine Auflast vorhanden ist. Es gelten entsprechend die Ausführungen für Kunststoffdübel.

Weiterhin dürfen die geringen Randabstände nur dann angesetzt werden, wenn keine Querlast in Richtung des freien Mauerwerkrandes wirkt. Diese Einschränkung ist notwendig, da die Tragfähigkeit von Mauerwerksrändern bei einer Belastung in Richtung des freien Randes relativ gering ist. Üblicherweise versagen die Befestigungen durch Ausbrechen der randnahen Steinreihe. Erst bei größeren Randabständen wird dies aufgrund des zusätzlichen Gewichts der Steine verhindert. Übliche Randabstände liegen je nach Dübelgröße und Steinfestigkeit zwischen 10 cm und 25 cm.

Neben den Angaben in den Tafeln 5 und 6 verlangt die deutsche Zulassung noch die Einhaltung einer Reihe weiterer Bedingungen. Die wichtigsten sind im Folgenden aufgeführt:

- Die maximale Last, die durch Einzeldübel oder eine Dübelgruppe in einen Stein eingeleitet werden darf, ist begrenzt. Dadurch soll verhindert werden, dass der belastete Stein als Ganzes aus dem Mauerwerksverband herausgezogen wird.
- Die Temperatur im Bereich der Vermörtelung darf in der Regel 50° C langfristig bzw. 80° C kurzfristig nicht überschreiten.
- Bis zur Lastaufbringung sind produktabhängige Wartezeiten einzuhalten, die von der Temperatur im Ankergrund und vom Mörtelsystem abhängen.
- Die Tragfähigkeit von Injektionsdübeln ist an jeweils 3 % der in ein Bauteil gesetzten Dübel – mindestens jedoch an zwei Dübeln je Größe – durch eine Probebelastung zu kontrollieren. Die Kontrolle gilt als bestanden, wenn unter der Probebelastung bis zum 1,3-fachen der zulässigen Last keine sichtbare Verschiebung auftritt.

Die zulässigen Biegemomente sowie weitere Detailinformationen zur Anwendung sind den jeweiligen Zulassungsbescheiden zu entnehmen.

Tafel 5 Typische Kennwerte von Verbunddübeln mit allgemein bauaufsichtlicher Zulassung für KS-Vollsteine

Dübel	fischer FIS A		Hilti HY 70		Würth WIT AS	
Dübelgröße	M10	M12	M8	M10	M8	M12
Bohrlochdurchmesser d_0 [mm]	12	14	10	12	10	14
Bohrlochtiefe h_1 [mm]	80	80	85	85	100	100
Verankerungstiefe h_{nom} [mm]	75	75	80	80	93	93
Durchgangsloch im Anbauteil d_f [mm]	12	14	9	12	9	14
Mindestbauteildicke	110	110	110	110	110	100
Minimaler Einzeldübelabstand [mm]	250	250	250	250	250	250
Minimaler Achsabstand Dübelgruppe s [mm]	100	100	100	100	100	100
Minimaler Randabstand c_{min} [mm]	250	250	200	200	250	250
Steinfestigkeit [N/mm²]	12	12	12	12	12	12
Zulässige Tragfähigkeit [kN]	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7

Tafel 6 Typische Kennwerte von Verbunddübeln mit allgemein bauaufsichtlicher Zulassung für KS-Lochsteine

Dübel	fischer FIS HK		Hilti HY 70		Würth WIT SH	
Dübelgröße	HK 12	HK 16	M8	M10	M8	M12
Bohrlochdurchmesser d_0 [mm]	12	16	16	18	18	18
Bohrlochtiefe h_1 [mm]	55	90	95	95	100	100
Verankerungstiefe h_{nom} [mm]	50	85	80	80	93	93
Durchgangsloch im Anbauteil d_f [mm]	7	9	9	12	9	14
Mindestbauteildicke	90	110	110	110	110	100
Minimaler Einzeldübelabstand [mm]	250	250	250	250	250	250
Minimaler Achsabstand Dübelgruppe s [mm]	100	100	100	100	100	100
Minimaler Randabstand c_{min} [mm]	200	200	200	200	200	200
Steinfestigkeit [N/mm²]	12	12	12	12	12	12
Zulässige Tragfähigkeit [kN]	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

4.4 Injektionsdübel mit europäischer Bewertung (nach ETAG 029 bzw. EAD 330076 [4, 5])

In den Tafeln 7 und 8 sind die wichtigsten Montagekennwerte und Lasten von Injektionsdübeln mit europäisch technischer Bewertung zusammengestellt.

Die Lasten gelten für das in der ETA angegebene Bohrverfahren. Wird vom angegebenen Bohrverfahren abgewichen, können Versuche am Bauwerk durchgeführt werden, um die den charakteristischen Widerstand F_{Rk} zu ermitteln. Die maximale Einwirkung auf einen Einzeldübel oder eine Dübelgruppe wird durch die Ermittlung der maßgebenden Versagensart bestimmt. Diejenige Versagensart, die den geringsten charakteristischen Widerstand aufweist, wird für die Bemessung maßgebend. In den europäisch technischen Bewertungen sind jeweils die zulässigen Temperaturbereiche angegeben. Auch die vorgeschriebene Probebelastung von 3 % der verbauten Dübel entfällt, da die Anwendung nur noch in Voll- und Lochsteine zugelassen ist, die in der ETA aufgeführt sind. Diese Vorgehensweise ist analog zu der bei Kunststoffdübel mit europäisch technischer Zulassung.

Neben den Angaben in den Tafeln 7 und 8 verlangt die ETA noch die Einhaltung einer Reihe weiterer Bedingungen. Die wichtigsten sind im Folgenden aufgeführt:

- Der Mörtel des Mauerwerks muss mindestens der Mörtelklasse M 2,5 nach DIN EN 998-2 bzw. Mörtelgruppe II nach DIN V 18580 entsprechen.
- Die Werte für KS-Vollsteine gelten für Format und Druckfestigkeit, wie in der Zulassung angegeben, sowie für alle größeren Formate und/oder Druckfestigkeiten.
- Die Werte für KS-Lochsteine gelten nur für Format, Druckfestigkeit und Lochbilder, die in der Zulassung beschrieben sind.
- Bei abweichenden Formaten und/oder Lochbildern sowie bei geringeren Druckfestigkeiten und/oder Rohdichten dürfen Versuche am Bauwerk durchgeführt werden.
- Der Gewindedurchmesser der Ankerstange muss mindestens 6 mm betragen.
- Die Verankerungstiefe muss mindestens 50 mm betragen.
- Das KS-Mauerwerk muss mindestens 100 mm dick sein.

Tafel 7 Typische Kennwerte von Verbunddübeln mit europäisch technischer Zulassung für KS-Vollsteine

Dübel	fischer FIS V ETA-10/0383	Chemofast STVK ETA-12/0259	Mungo MIT-SE ETA-12/0544	Hilti HIT HY 170 ETA-15/0197
Dübelgröße	M10/M12	M10/M12	M10/M12	M8/M10 /M12
Siebhülse	nein	nein	nein	nein
Bohrlochdurchmesser d_0 [mm]	12/14	12	12	10/12/14
Bohrlochtiefe h_1 [mm]	50–100	95	95	80
Verankerungstiefe $h_{nom,min}$ [mm]	50	90	90	80
Verankerungstiefe $h_{nom,max}$ [mm]	100	90	90	80
Durchgangsloch im Anbauteil d_f [mm] (Durchsteckmontage)	14/16	k.A.	k.A.	k.A.
Durchgangsloch im Anbauteil d_f [mm] (Vorsteckmontage)	12/14	12/14	12/14	9/12/14
Installationsdrehmoment T_{inst} [Nm]	4	2	2	5/8/10
Mindestbauteildicke [mm]	siehe Stein	115	115	115
Minimaler Achsabstand [mm]	80	50	50	240[1)]/115
Minimaler Randabstand [mm]	100	50	50	115
Minimaler Abstand zwischen Dübelgruppen [mm]	240	200	200	240[1)]/115
Gruppenfaktor	–	–	–	2,0
Temperaturbereich	72 °C/120 °C	50 °C/80 °C	50 °C/80 °C	50 °C/80 °C
Steinfestigkeit [N/mm²]	10	12	12	12
Steinbezeichnung	KS nach DIN EN 771-2 240 x 115 x 71	KS nach DIN EN 771-2 240 x 115 x 71	KS nach DIN EN 771-2 240 x 115 x 71	KS nach DIN EN 771-2 240 x 115 x 113
Charakteristische Tragfähigkeit [kN]	1,2 / 1,5	4,0	4,0	4,0

[1)] In Richtung der Lagerfuge

Der Fugeneinfluss ist wie folgt zu berücksichtigen:

Sind die Fugen des Mauerwerks nicht sichtbar (z.B. verputzte Wand), sind die charakteristischen Tragfähigkeiten auf 75 % abzumindern. Sind die Fugen des Mauerwerks sichtbar (z.B. bei einer unverputzten Wand) dürfen die in der Zulassung angegebenen charakteristischen Tragfähigkeiten verwendet werden, wenn:

- die Stoßfugen vermörtelt sind oder
- der minimale Randabstand c_{min} zu den Stoßfugen eingehalten wird.

In allen anderen Fällen ist die Tragfähigkeit ebenfalls auf 75 % zu reduzieren.

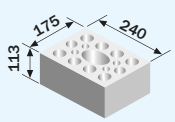
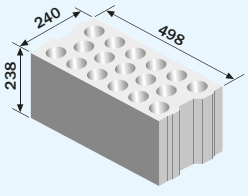
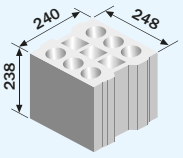
Die zulässigen Biegemomente, sowie weitere Detailinformationen zur Anwendung, sind den jeweiligen Zulassungsbescheiden zu entnehmen.

4.5 Mörtelankersysteme

Nach DIN 18516 Teil 3 dürfen bei Fassaden aus Naturwerkstein auch eingemörtelte Verankerungen verwendet werden. Die erforderliche Dicke der tragenden KS Außenwand muss mindestens 24 cm bzw. mindestens die 1,5-fache Einbindetiefe des Mörtelankers betragen. Die Steindruckfestigkeitsklasse der Steine der Tragschale (Voll- oder Lochsteine) beträgt mindestens 12. Die Ankerabstände müssen weiterhin größer als 300 mm und das Mauerwerk muss mit der Mörtelgruppe II ausgeführt sein. Nach einem Gutachten von Professor Kirtschig ([6], 7/93) kann von dem in DIN 18516 Teil 3 angegebenen Format (maximal 2 DF) abgewichen werden, wenn das Mauerwerk mit Stoßfugenvermörtelung ausgeführt und nur ein Mörtelanker je Stein gesetzt wird. Dies gilt sowohl für KS-R-Blocksteine als auch für KS -R-Loch- und Hohlblocksteine.

Die Ausführung von Fassadenbekleidungen aus Natursteinplatten setzt eine fachgerechte Planung voraus. Jede Platte wird im Regelfall an vier Punkten befestigt. Vor dem Bohren der Ankerlöcher ist die Wärmedämmung auszuschneiden, nach dem Einmörteln der Anker das ausgeschnittene Stück wieder einzukleben. Die Vermörtelung der Anker ist mit Mörtel MG III vorzunehmen.

Tafel 8 **Typische Kennwerte von Verbunddübeln mit europäisch technischer Zulassung für KS-Lochsteine**

Dübel	fischer FIS V ETA-10/0383	Apollo MEA Resifix VY ETA-15/0320	Hilti HIT HY 170 ETA-15/0197
Dübelgröße	16/20	M8/M10/M12	M8/M10/M12
Siebhülse	ja	ja	ja
Bohrlochdurchmesser d_0 [mm]	16/20	10/12/12	16/18/22
Bohrlochtiefe h_1 [mm]	95/130	85/95/95	95
Verankerungstiefe h_{nom} [mm]	85/130	80/90/90	80
Durchgangsloch im Anbauteil d_f [mm] (Vorsteckmontage)	12/14	9/12/14	9/12/14
Installationsdrehmoment T_{inst} [Nm]	4	2	3/4/6
Mindestbauteildicke [mm]	siehe Stein	siehe Stein	240
Minimaler Achsabstand [mm]	80	498	248
Minimaler Randabstand [mm]	100/120	100	125
Minimaler Abstand zwischen Dübelgruppen [mm]	240	498	248
Gruppenfaktor	–	–	2,0
Temperaturbereich	72 °C/120 °C	50 °C/80 °C	50 °C/80 °C
Steinbild mit Mindestabmessungen			
Steinfestigkeit [N/mm²]	12/20	12	12/20
Minimale Außenstegdicke [mm]	12	18	20
Charakteristische Tragfähigkeit [kN]	2,0/4,0	3,0	2,5/3,5

5. Bemessung von Dübeln in Kalksandsteinen

5.1 Zugbelastung

5.1.1 Herausziehen / Steinversagen

Die charakteristische Tragfähigkeit bei Steinausbruch oder Herausziehen eines Dübels ist stark vom Dübeltyp abhängig. Zudem variiert diese abhängig von der Steinfestigkeit und der Stegdicke des Kalksand-Voll- bzw. Kalksand-Lochsteins. Daher kann diese Versagensart nicht ohne Weiteres berechnet werden. In [7] sind die Grundlagen für eine überschlägige Berechnung gegeben. Der Wert ist aber in jedem Fall der ETA zu entnehmen. Nach den Ausführungen in [8] hat die Höhe der Auflast keinen wesentlichen Einfluss auf die Herausziehlasten.

5.1.2 Stahlversagen

Grundsätzlich hängt die Tragfähigkeit nur vom Querschnitt der Gewindestange bzw. der Schraube sowie von der Stahlfestigkeit dieser ab. Die charakteristische Tragfähigkeit kann dann wie folgt berechnet werden:

$$N_{Rk,s} = f_{uk} \cdot A_s \qquad (5.1)$$

Der Wert f_{uk} ist dabei die nominelle Stahlzugfestigkeit und A_s der minimale maßgebende Stahlquerschnitt unter Zugbelastung.

Da bei Schrauben, die in Kunststoffdübeln verwendet werden, der maßgebende Querschnitt nicht immer einfach zu ermitteln ist, wird die Tragfähigkeit ebenfalls in Versuchen ermittelt und in der ETA angegeben.

5.1.3 Herausziehen eines KS-Steins

Die Herausziehlast eines Steins hängt von der zur Verfügung stehenden Scherfläche ab. Damit ist der charakteristische Widerstand vom Steinformat abhängig und davon, ob die Stoßfugen vermörtelt sind oder nicht. Sind diese nicht vermörtelt, können nur die Lagerfugenflächen für A_{Scher} angesetzt werden. Die Tragfähigkeit berechnet sich wie folgt:

$$N_{Rk,SA} = f_{vk} \cdot A_{Scher} \qquad (5.2)$$

Der Wert f_{vk} ist dabei die charakteristische Schubfestigkeit in den Mauerwerksfugen. Für Kalksandsteine kann ein Wert zwischen 0,10 und 0,15 N/mm² angenommen werden. Bei einer mechanischen Verzahnung der Steine kann der Wert allerdings deutlich höher liegen. Vor allem bei kleinformatigen Steinen.

5.1.4 Einfluss des Randes bei Steinversagen

Der Einfluss des Randes hängt von der Verankerungstiefe ab. Bei KS-Vollsteinen kann davon ausgegangen werden, dass die Last mit einem Randabstand geringer als $1{,}5h_{ef}$ abnimmt. Die in der Zulassung angegebenen charakteristischen Tragfähigkeiten beziehen sich daher immer auf den zugehörigen minimalen Randabstand c_{min}. Dieser ist dann einzuhalten.

Gemäß den Vorgaben der ETAG 029 [4] gilt nach ETA für KS-Vollsteine der minimale Randabstand $c_{min} > 50$ mm oder $3d_0$. Allgemein gilt für KS-Vollsteine $c_{min} > 100$ mm oder $6d_0$. Grundsätzlich könnten im Rahmen der Qualifizierungsversuche auch geringere Randabstände untersucht werden. Hierzu liegen jedoch bisher nur vereinzelt Erfahrungen vor.

INFO

Für KS-Elementmauerwerk gibt es Dübelsysteme, die Randabstände von 50 mm ermöglichen.

Für Kunststoffdübel kann die Tragfähigkeit für Steinausbruch linear im Verhältnis vom vorhandenen zum notwendigen Randabstand reduziert werden:

$$N_{Rk,c} = N^0_{Rk,c} \cdot (c_1 / c_{cr}) \qquad (5.3)$$

$N^0_{Rk,c}$: Charakteristische Tragfähigkeit in der Steinmitte, wenn $c_1 \geq c_{cr}$
c_1: Vorhandener Randabstand
c_{cr}: Notwendiger Randabstand, um die charakteristische Tragfähigkeit N^0_{Rk} zu erhalten

Der Wert c_{cr} kann für Vollsteine zu ca. $1{,}5h_{ef}$ angenommen werden. Für Lochsteine kann dieser derzeit nur experimentell ermittelt werden. Daher ist der entsprechende Wert immer einer ETA zu entnehmen.

5.1.5 Einfluss des Achsabstandes bei Steinversagen

Der Einfluss des Achsabstandes wird ebenfalls im Rahmen der Qualifizierungsversuche ermittelt. Daher wird in den aktuellen technischen Spezifikationen (ETA) ein entsprechender Gruppenfaktor α_{gN} mit angegeben. Dabei wird zwischen Gruppenfaktoren $\alpha_{gN,\perp}$ und $\alpha_{gN,II}$ unterschieden. Die Richtung senkrecht ($\perp$) oder parallel (II) bezieht sich dabei auf die Anordnung der Gruppen bezogen auf die Lagerfuge (siehe Bild 7).

Die charakteristische Tragfähigkeit einer Gruppe ergibt sich damit zu:

$$N^g_{Rk,c} = N^0_{Rk,c} \cdot \alpha_{gN,\perp} \cdot \alpha_{gN,II} \qquad (5.4)$$

N^0_{Rk}: Charakteristische Tragfähigkeit eines Einzeldübels $s_\perp \geq s_{cr,\perp}$ und $s_{II} \geq s_{cr,II}$

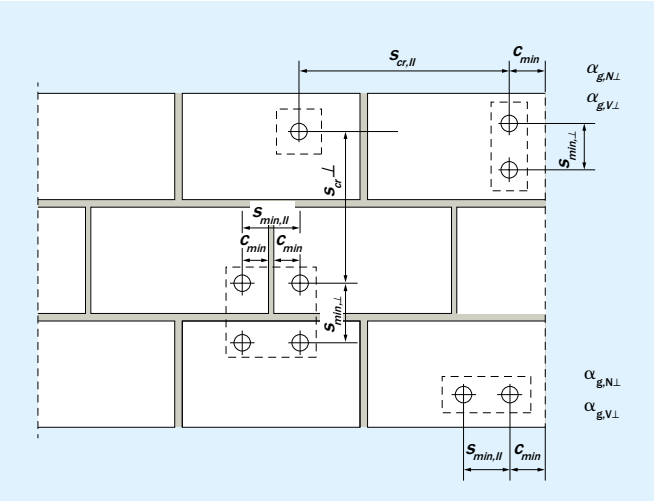


Bild 7 Unterschiedliche Anordnungen von Gruppenverankerungen in KS-Mauerwerk [7]

Wenn sich die Gruppe im Bereich eines Randes befindet, kann der Einfluss des Randes wie bei einem Einzeldübel berücksichtigt werden. Der vorhandene Randabstand ist dabei der minimale Abstand zu den randnahen Dübeln der Gruppe. Das heißt: Die Abminderung durch den Rand (c_1/c_{cr}) wird auf die Gruppentragfähigkeit N^g_{Rk} bezogen.

5.1.6 Einfluss von Fugen

Fugen können grundsätzlich wie Ränder behandelt werden. Insbesondere bei nicht vermörtelten Stoßfugen ist das Verhalten vergleichbar mit dem Verhalten am freien Rand. Um die Bemessung zu vereinfachen und aufgrund dessen, dass die Fugen nicht immer sichtbar sind (z.B. verputztes Mauerwerk), wurde eine vereinfachende Regelung getroffen.

Für Kunststoffdübel darf bei sichtbaren Fugen die in der technischen Spezifikation angegebene charakteristische Tragfähigkeit F_{Rk} angesetzt werden. Voraussetzung ist, dass zu nicht vermörtelten Stoßfugen ein Abstand c_{cr} eingehalten bzw. eine Abminderung durch den Randabstand berücksichtigt wird. Gleiches gilt für Verbunddübel.

Bei nicht sichtbaren Fugen muss (d.h. eine Montage des Dübels in der Fuge kann nicht ausgeschlossen werden) die Tragfähigkeit auf 50 % reduziert ($0{,}5F_{Rk}$) werden.

Verbunddübel haben eine davon abweichende Regelung. Hier muss die Tragfähigkeit bei nicht sichtbaren Fugen nur auf 75 % reduziert ($0{,}75F_{Rk}$) werden.

5.2 Querbelastung

5.2.1 Lokales Steinversagen

Die charakteristische Tragfähigkeit bei lokalem Steinversagen ist stark vom Durchmesser des Dübels und der Steinfestigkeit und Stegdicke des Kalksand-Voll- bzw. Kalksand-Lochsteins abhängig. Daher kann diese Versagensart nicht ohne Weiteres berechnet werden. Der Wert wird daher immer in einer ETA angegeben.

5.2.2 Stahlversagen

Bei einer Belastung eines Dübels unter Querbelastung kann es zu einem Versagen infolge Stahlbruch der Schraube bzw. der Gewindestange kommen. Die charakteristische Tragfähigkeit kann wie folgt berechnet werden.

$$V_{Rk,s} = \alpha_s \cdot f_{uk} \cdot A_s \qquad (5.5)$$

Der Wert f_{uk} ist dabei die nominelle Stahlzugfestigkeit und A_s der minimale maßgebende Stahlquerschnitt unter Zugbelastung. Der Faktor α_s berücksichtigt die Querlastrichtung und beträgt in der Regel 0,35 bis 0,5.

Da der Faktor α_s und der maßgebende Querschnitt nicht immer einfach zu ermitteln sind, wird die Tragfähigkeit ebenfalls in Versuchen ermittelt und in der ETA angegeben.

5.2.3 Herausziehen eines Steins

Die Ausführungen in 5.1.3 zum Herausziehen des Steins bei einer zentrischen Zugbelastung gelten auch für das Herausziehen des Steins aus dem Verband infolge einer Querbelastung.

5.2.4 Steinkantenbruch am Rand

Unter Querbelastung kann bei Vollsteinen der Stein durch Steinkantenbruch versagen. Hierbei bildet sich ein typischer Bruchriss am Rand.

Die charakteristische Tragfähigkeit kann für Verbunddübel, theoretisch aber auch für Kunststoffdübel, in Vollsteinen wie folgt berechnet werden:

$$V_{Rk,c} = \alpha_c \cdot (d_{nom} \cdot f_{bk})^{0,5} \cdot {c_1}^{1,5} \cdot (h_{nom}/d_{nom})^{0,2} \qquad (5.6)$$

Der Faktor α_s berücksichtig die Querlastrichtung und beträgt in der Regel 0,25 bei Belastung zum freien Rand (siehe Bild 8) und 0,45 bei Belastung parallel zum freien Rand. Die Werte h_{nom} und d_{nom} sind die Länge und der Durchmesser des Dübels, f_{bk} die Steinfestigkeit und c_1 der tatsächliche Randabstand. Es ist zu beachten, dass $c_1 > c_{min}$ erfüllt sein muss. Bei Gruppen muss die Tragfähigkeit mit den Gruppenfaktoren $\alpha_{gV,\perp}$ bzw. $\alpha_{gV,II}$ bzw. beiden berechnet werden. Die Vorgehensweise entspricht derjenigen bei Zugbelastung.

Bei Kunststoffdübeln ist zu beachten, dass $V_{Rk,c}$ auf die Herausziehlast limitiert $N_{Rk,p}$ wird, da in der technischen Spezifikation nur ein Wert F_{Rk} für alle Lastrichtungen angegeben wird und es theoretisch auch bei einer Querbelastung zu einem Herausziehen kommen kann.

Für Lochsteine muss der Wert über Versuche ermittelt werden. Eine Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeit ist derzeit nur schwer möglich. Für senkrecht zum Rand belastete Verbunddübel kann nach [9] für $c_1 > 100$ mm eine Tragfähigkeit von $V_{Rk,c} = 1{,}25$ kN und für $c_1 > 250$ mm eine Tragfähigkeit von $V_{Rk,c} = 2{,}5$ kN angenommen werden. Für eine Belastung parallel zum freien Rand kann für $c_1 > 100$ mm generell eine Tragfähigkeit von $V_{Rk,c} = 2{,}5$ kN angenommen werden.

Beispiele für die Bemessung von Verankerungen in KS-Steinen sind auch in [10] aufgeführt.

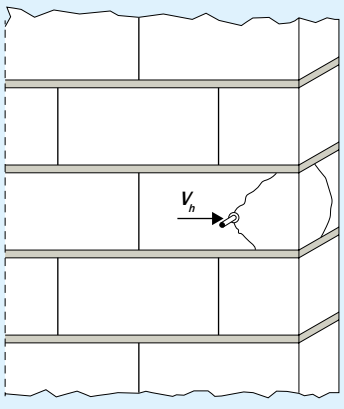


Bild 8 Steinkantenbruch am Mauerwerksrand [9]

6. Baustellenversuche

6.1 Allgemeines

Derzeit wird eine Empfehlung für die Durchführung und Auswertung von Versuchen am Bauwerk mit Injektionsankern erarbeitet. Zukünftig kann bei Baustellenversuchen nach dieser Empfehlung gearbeitet werden. Grundsätzlich sind dort drei Möglichkeiten für die Untersuchungen am Bau geregelt:

- Auszugsversuche
- Probebelastung
- Abnahmeversuche

Grundsätzlich können Dübel nur dann auf der Baustelle getestet werden, wenn Dübel mit einer ETA verwendet werden, d.h. Dübel, die durch eine europäisch technische Bewertung qualifiziert wurden. Grund hierfür ist, dass auf der Baustelle der Dübel unter Standard- und unter Kurzzeitbedingungen geprüft wird. Im Bewertungsverfahren werden zusätzlich Einflüsse wie erhöhte Temperatur, Feuchte, wiederholte Belastung usw. untersucht und beurteilt. Die durch solche Einflüsse geringen Tragfähigkeiten müssen berücksichtigt werden. Daher wird in den europäisch technischen Bewertungen eine Abminderung β angegeben, die bei der durch Baustellenversuche ermittelten Tragfähigkeit berücksichtigt werden muss.

6.2 Durchführung

Die Anzahl der zu untersuchenden Dübel sowie die Stelle, an der die Verankerungen geprüft werden müssen, sind durch den Versuchsleiter oder Gutachter festzulegen und müssen an das Bauwerk angepasst werden. Grundsätzlich sollen die ausgewählten Prüfstellen repräsentativ sein, so dass zuverlässige Angaben über die charakteristische Tragfähigkeit des Dübels für das gesamte Bauwerk vorliegen. Die Versuche sollten auch die ungünstigsten Bedingungen bei der anschließenden praktischen Ausführung berücksichtigen.

Ist es möglich, Steine auszubauen oder stehen Steine für Laborversuche zur Verfügung, können die Versuche auch unter Laborbedingungen durchgeführt werden. Um ungünstige Bedingungen abzudecken, sind hier jedoch gesonderte Überlegungen notwendig. Allerdings sind der Versuchsablauf und der Versuchsaufwand deutlich geringer.

Die Last sollte bei den Versuchen rechtwinklig zur Oberfläche des Verankerungsgrundes aufgebracht werden. Eine Einspannung am Dübel ist zu vermeiden. Der lichte Abstand der Abstützung der Versuchseinrichtung auf dem Mauerwerk sollte mindestens 150 mm betragen (für $h_{ef} \leq 75$ mm). Bei großen Verankerungstiefen muss im Einzelfall auch die Abstützweite vergrößert werden.

Bei den Auszugsversuchen ist diese langsam und stetig zu steigern, bis die Bruchlast erreicht wird (ca. 1 Minute). Bei der Probebelastung und dem Abnahmeversuch ohne Versagen muss die Last stufenweise erhöht werden, bis die notwendige Probelast erreicht wird.

6.3 Auswertung

Die Auswertung der Auszugversuche erfolgt nach den in der ETA angegebenen Verfahren. Zudem kann ein vereinfachtes Verfahren angewandt werden. Diese gilt jedoch nur für fünf oder mehr Versuche. Die charakteristische Tragfähigkeit ergibt sich dann aus Gleichung (6.1):

$$N_{Rk} = 0{,}5 \cdot N_1 \cdot \beta \qquad (6.1)$$

Der Wert N_1 ist der Mittelwert der fünf kleinsten Werte aus allen durchgeführten Versuchen. Der Faktor β ist die Abminderung, die sich aus weiteren ungünstigen Faktoren (z.B. Dauerlast, erhöhte Temperatur usw.) ergibt. Dieser Faktor ist in der ETA angegeben.

Grundsätzlich kann immer eine statistische Auswertung vorgenommen werden, wenn fünf oder mehr Versuche vorliegen. Die charakteristische Tragfähigkeit ergibt sich dann aus Gleichung (6.2):

$$N_{Rk} = (N_{um} - k_s \cdot s) \cdot \beta \qquad (6.2)$$

Der Wert N_{um} ist der Mittelwert der Tragfähigkeit aller durchgeführten Versuche, s die Standardabweichung der durchgeführten Versuche und k_s der zugehörige Statistik-Faktor. Für fünf Versuche beträgt dieser 3,41, für zehn Versuche 2,57.

Literatur

[1] Vogdt, F. U.: Außenwände. In: KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch. Planung, Konstruktion, Ausführung, 7. Auflage. Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V., Hannover 2018

[2] DIN EN 771-2: Festlegungen für Mauersteine – Teil 2: Kalksandsteine; Deutsche Fassung EN 771-2:2011

[3] Europäische Organisation für Technische Zulassungen: ETAG 020, Plastic anchors for multiple use in concrete and masonry for non-structural applications, Brüssel, 2006

[4] Europäische Organisation für Technische Zulassungen: ETAG 029, Metal injection anchors for use in masonry, Brüssel, April 2013

[5] EAD 33-06.04/in preparation (Conversion from ETAG 029) European Assessment Document, Brüssel, Februar 2014

[6] Kirtschig, K.: Gutachten zu nichttragenden, unter Verwendung von Dünnbettmörteln hergestellten KS-Innenwänden mit nicht vermörtelten Stoßfugen, 27.4.1998

[7] Meyer, A.: Zum Tragverhalten von Injektionsdübeln in Mauerwerk. Dissertation, Universität Stuttgart, 2005

[8] Schild, K.: Zur Bemessung von Injektionsverankerungen in Mauerwerk. Dissertation, Universität Bochum, 2002

[9] Welz, G: Zum Tragverhalten von Injektionsdübeln unter Querlast in Mauerwerk. Dissertation, Universität Stuttgart, 2011.

[10] Jäger, W.: Mauerwerk-Kalender 2012, Dübeltechnik praxisnah, Teil 1: Grundlagen und Bemessungsbeispiele für Befestigungen in Mauerwerk, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2012

Bildnachweise

Bild 1: Xella Deutschland GmbH;
Bild 2: Atelier Kinold; **Bild S. 138:** Erich Spahn;
Bild 6: Adolf Würth GmbH & Co. KG;
Bild S. 142: Heidelberger Kalksandstein GmbH

Bild S. 134: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.



Kapitel 7

BEMESSUNG

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner,
Technische Universität Darmstadt,
Dr.-Ing. Michael Schmitt,
bauart Konstruktions GmbH & Co. KG, Lauterbach

Stand: 01/2018

1. Einführung und Stand der Normung

1.1 Geschichtliche Entwicklung von Kalksandstein-Mauerwerk

Mauerwerk verfügt über eine lange Tradition und war schon im Altertum eine anerkannte Bauweise. Aufgrund der hohen Druckfestigkeit wird Mauerwerk seit der Antike zum Abtrag vertikaler Lasten verwendet. Durch die Entwicklung von bogenartigen Konstruktionen und Gewölben wurde Mauerwerk im römischen Reich zudem zur Überspannung von Öffnungen oder Räumen erfolgreich eingesetzt, wenn der resultierende Bogenschub von angrenzenden Bauteilen aufgenommen werden konnte.

Bis Mitte des vorigen Jahrhunderts wurde Mauerwerk hauptsächlich aus klein- und mittelformatigen Steinen hergestellt, welche mit Normalmauermörtel (mittlere Schichtdicke 12 mm) vermauert wurden. Aufgrund der hohen Maßhaltigkeit und der geschlossenen Steinoberseite der industriell hergestellten Kalksandsteine sowie der Weiterentwicklung der Mauermörtel konnte bereits 1973 erstmals die Anwendung von Kalksandsteinen in Verbindung mit Dünnbettmörtel (mittlere Schichtdicke 2 mm) an einem 10-geschossigen Wohngebäude erprobt werden. Um die Erstellung von Mauerwerkswänden zu beschleunigen, wurde damals wie heute auf die Stoßfugenvermörtelung weitgehend verzichtet. Zusätzlich wurde für den Anschluss von Querwänden erstmals die Stumpfstoßtechnik angewendet. Durch die Verwendung von großformatigen Kalksandsteinen (KS XL), die mit Hilfe von Versetzgeräten vermauert werden, konnte die Bauzeit erheblich verringert werden. Damit wurde den steigenden Lohnkosten entgegengewirkt und durch die resultierende körperliche Entlastung des Maurers zur Humanisierung der Mauerarbeiten beigetragen. Heutzutage sind Kalksandsteine in einer großen Vielzahl an Formaten erhältlich.

1.2 Stand der Normung

Während die Sicherstellung der Tragfähigkeit von Mauerwerksgebäuden in der Antike und im Mittelalter empirisch auf dem Erfahrungsschatz des Baumeisters beruhte, stehen heutzutage verschiedene Regelwerke zur Berechnung und Ausführung von Mauerwerk zur Verfügung.

1.2.1 DIN 1053

Bereits in der ersten Fassung von DIN 1053 im Jahre 1937 waren Tabellen zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Mauerwerk in Abhängigkeit üblicher Steindruckfestigkeiten und Mörtelgruppen enthalten, wobei die maximal zulässige Wandschlankheit (Wandhöhe h / Wanddicke d) auf 12 begrenzt war. Die zulässigen Schubspannungen wurden generell auf 1/10 der Mauerwerksdruckfestigkeit bzw. maximal 0,1 N/mm² begrenzt. Der erste Schritt in Richtung einer ingenieurmäßigen Betrachtung von Mauerwerk wurde 1965 mit der Einführung der SIA 113 in der Schweiz vollzogen.

In Deutschland stand auf Basis intensiver Forschungsarbeiten von Gremmel [1], Kirtschig [2] und Mann/Müller [3] mit Einführung von DIN 1053-2 [5] im Jahre 1984 erstmals eine Norm zur genaueren Bemessung von Mauerwerk zur Verfügung. DIN 1053-2 enthielt erstmals ein Berechnungsmodell zur Bestimmung der Wandtragfähigkeit unter Berücksichtigung der Wandschlankheit *(h/d)* sowie des nicht linearen Verhaltens von Mauerwerk. Darüber hinaus stand jetzt ein Modell zur Ermittlung der Schubfestigkeit unter Berücksichtigung der Steinzug- und Steindruckfestigkeit zur Verfügung. Mit Einführung der 1990 überarbeiteten DIN 1053-1 [4] zur Berechnung und Ausführung von Rezeptmauerwerk wurde ein vereinfachtes Berechnungsverfahren erarbeitet und damit eine rationellere Bemessung von typischen Mauerwerksbauteilen auf Basis von zulässigen Spannungen ermöglicht. Die Ermittlung der zulässigen Spannungen erfolgte dabei mit Hilfe von Abminderungsfaktoren, die den Einfluss der Wandschlankheit und der exzentrischen Lasteinleitung infolge einer Verdrehung von aufgelegten Stahlbetondecken berücksichtigten.

Seit 1996 galt DIN 1053-1 [4] sowohl für Rezeptmauerwerk als auch für Mauerwerk nach Eignungsprüfung. Darüber hinaus enthielt DIN 1053-1 wichtige Anforderungen für die Ausführung von Mauerwerk. Im Rahmen der damaligen Überarbeitung von DIN 1053-1 wurden die Bemessungsverfahren dem neuesten Erkenntnisstand angepasst. Bereits mit der Ausgabe 1990 wurde das Anwendungsgebiet auf Mauerwerk mit Dünnbettmörtel erweitert. Für die Mehrzahl der einfachen Gebäude aus Mauerwerk konnte unter Beachtung gewisser Anwendungsgrenzen der statische Nachweis mit Hilfe eines vereinfachten Berechnungsverfahrens durch die Einhaltung zulässiger Spannungen erfolgen. Bei abweichenden Bedingungen oder zur rationelleren Bemessung von Mauerwerk war es nunmehr möglich, einzelne Bauteile mit Hilfe eines „genaueren Berechnungsverfahrens“ nachzuweisen, wobei die Ausnutzung von plastischen Tragfähigkeitsreserven bei exzentrischer Druckbeanspruchung seit 1996 durch eine Erhöhung der maximal zulässigen Randspannung um den Faktor 4/3 gestattet wird. Die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Mauerwerksgebäuden wurde durch einen globalen Sicherheitsbeiwert von $\gamma_{gl} = 2{,}0$ gewährleistet, der im vereinfachten Berechnungsverfahren bereits in den angegebenen zulässigen Spannungen enthalten war. DIN 1053-1 galt nicht für die Bemessung von großforma-



Bild 1 Kalksandsteine sind nicht nur Tragelement, sondern auch Gestaltungselement.

tigen Kalksandsteinen (KS XL) mit Schichthöhen > 250 mm. Für die Anwendung von KS XL (Schichthöhen bis 650 mm) waren daher bislang die Angaben der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) zu beachten.

1.2.2 Eurocode 6

Seit etwa 30 Jahren wird auf europäischer Ebene intensiv an einem einheitlichen Regelwerk, dem so genannten „Eurocode", zur Berechnung von Bauwerken gearbeitet. Dieser soll für die verschiedenen Bauweisen und Baustoffe eine einheitliche Normung in Europa gewährleisten und eine länderübergreifende Planung ermöglichen. Eine wesentliche Neuerung der Eurocodes besteht in der Anwendung des Baustoff übergreifenden Sicherheitskonzepts auf der Grundlage von Teilsicherheitsbeiwerten auf der Einwirkungs- und der Widerstandsseite. Das semiprobabilistische Teilsicherheitskonzept soll ein möglichst gleichmäßiges Zuverlässigkeitsniveau der Baukonstruktionen gewährleisten. Der statische Nachweis wird im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Ultimate Limit State) durch die Gegenüberstellung einwirkender und widerstehender Schnittgrößen anstelle zulässiger Spannungen geführt.

Die geltende Fassung des Eurocode 6 „Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten" wurde im Dezember 2010 veröffentlicht. Teil 1-1 (DIN EN 1996-1-1 [6]) enthält die entsprechenden Regelungen für die Berechnung von Mauerwerksgebäuden, welche – dem deutschen Sprachgebrauch folgend – in dieser Veröffentlichung unter dem Begriff „genaueres Berechnungsverfahren" zusammengefasst werden. Der Nachweis von Mauerwerk mit vereinfachten Berechnungsverfahren ist in Teil 3 (DIN EN 1996-3 [7]) geregelt. Weiterhin liegen die Teile 1-2 (DIN EN 1996-1-2 [8] – Tragwerksbemessung für den Brandfall) und Teil 2 (DIN EN 1996-2 [9] – Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk) vor.

Eine Besonderheit der Eurocodes besteht darin, dass jedes Land spezielle national festzulegende Parameter (NDP) sowie nicht widersprechende zusätzliche Regeln (NCI) eigenverantwortlich in einem Nationalen Anhang (NA) definieren kann. Dies betrifft z.B. die anzusetzenden Sicherheitsbeiwerte. Die Nationalen Anhänge zu den Teilen 1-1, 2 und 3 des Eurocode 6 wurden im Januar 2012 und zu Teil 1-2 im Juni 2013 veröffentlicht. Nach einer Übergangsphase mit Anwendung auf Grundlage der so genannten Gleichwertigkeitserklärung wurde der Eurocode 6 zum 1. Januar 2015 von den Bundesländern endgültig über die Liste der technischen Baubestimmungen eingeführt. Die parallele Anwendung von DIN 1053-1 wurde gleichzeitig bis zum 31.12.2015 beschränkt.

Im Zuge der Erarbeitung der Eurocodes (EN) erfolgte auch eine Überarbeitung der Baustoff übergreifenden Einwirkungsnormen. Die entsprechenden Regelungen, z.B. zur Berechnung von Wind- und Nutzlasten, sind ebenfalls am 1. Juli 2012 bauaufsichtlich eingeführt worden. In Tafel 1 sind die für den Standsicherheitsnachweis von Mauerwerksgebäuden wichtigen europäischen Vorschriften zusammengestellt.

Neuheiten bei der Bemessung nach Eurocode 6:

- Im Eurocode 6 erfolgt die Nachweisführung auf Grundlage eines semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts (siehe Abschnitt 2.1).
- Im Gegensatz zu den nationalen Vorgängernormen wird für den Nachweis auf Querschnittsebene ein starr-plastisches Materialverhalten zugrunde gelegt.
- Der Eurocode 6 beinhaltet nunmehr erstmals Regeln für die Bemessung von Mauerwerk aus großformatigen Steinen (KS XL). Hierbei sind auch verminderte Überbindemaße l_{ol} bis zur 0,2-fachen Steinhöhe h_u erlaubt.
- Auch bei Mauerwerk mit KS XL ist eine Ausführung mit Stoßfugenvermörtelung rechnerisch ansetzbar.
- Im vereinfachten Berechnungsverfahren kann eine Teilauflagerung der Decke auf der Wand und somit eine Lastexzentrizität berücksichtigt werden (siehe Abschnitt 5.1).
- Die Schnittgrößenermittlung bei horizontal beanspruchten Wandscheiben muss nicht zwingend nach dem Kragarmmodell erfolgen. Erstmals wurde daher ein Modell unter

Tafel 1 Wichtige Normen zur Berechnung von Mauerwerk

Themengebiet	Norm	Inhalt
Einwirkungen	DIN EN 1990	Grundlagen der Tragwerksplanung
	DIN EN 1991-1-1	Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau
	DIN EN 1991-1-2	Brandeinwirkungen
	DIN EN 1991-1-3	Schneelasten
	DIN EN 1991-1-4	Windlasten
	DIN EN 1991-1-5	Temperaturlasten
	DIN EN 1991-1-6	Bauzustände
	DIN EN 1991-1-7	Außergewöhnliche Lasten
	DIN EN 1997-1	Geotechnik
	DIN EN 1998-1	Bauten in Erdbebengebieten
Mauerwerk	DIN EN 1996-1-1	Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk
	DIN EN 1996-1-2	Tragwerksbemessung für den Brandfall
	DIN EN 1996-2	Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk
	DIN EN 1996-3	Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten
	DIN 4103-1	Nicht tragende Wände

Berücksichtigung der günstigen Wirkung einer Einspannung der Wände in die Geschossdecken angegeben.

- Bei Einhaltung der Randbedingungen des vereinfachten Berechnungsverfahrens ist ein Querkraftnachweis in Platten- und Scheibenrichtung nicht erforderlich (siehe Abschnitt 5.1 sowie Abschnitt 5.5). Daher enthält das vereinfachte Berechnungsverfahren hierzu auch keine Regelungen. Vielmehr wird – falls ein rechnerischer Nachweis der Gebäudeaussteifung erforderlich ist – auf das genauere Berechnungsverfahren in DIN EN 1996-1-1/NA verwiesen.
- Der Eurocode 6 enthält neue Nachweisgleichungen für den Nachweis von Einzellasten und bei Teilflächenpressung (siehe Abschnitt 7).
- Der Eurocode 6 regelt grundsätzlich zwar auch die Bemessung von bewehrtem Mauerwerk, in Deutschland ist jedoch nur eine stark eingeschränkte Anwendung der zugehörigen Regelungen möglich.

1.3 Begriffe

1.3.1 Steinarten

Kalksandsteine werden in verschiedenen Eigenschaften für unterschiedliche Anwendungsbereiche angeboten (Tafel 2). Die verschiedenen Steinarten lassen sich durch folgende Kriterien unterscheiden:

- Schichthöhe (Klein-, Mittel- und Großformate)
- Lochanteil gemessen an der Lagerfläche (Vollsteine/Lochsteine)
- Stoßfugenausbildung, z.B. R-Steine (mit Nut-Feder-System für Verarbeitung in der Regel ohne Stoßfugenvermörtelung)
- Steinhöhe „Normalstein“ oder „Planstein“
- Kantenausbildung (Fase)
- Frostwiderstand

Für die statische Bemessung (Tragfähigkeit) von Mauerwerk sind insbesondere die ersten beiden Sachverhalte von großer Bedeutung.

Tafel 2 Wichtige Steinarten und -bezeichnungen nach DIN 20000-402

	Bezeichnung	Kurzzeichen	Schichthöhe [cm]	Eigenschaften und Anwendungsbereiche
a) Kalksandsteine: Lochanteil ≤ 15 % der Lagerfläche				
1	**KS-Vollsteine**	KS	≤ 12,5	Für tragendes und nicht tragendes Mauerwerk in Normalmauermörtel versetzt
2	**KS -R-Blocksteine**	KS -R	> 12,5 ≤ 25	Wie Zeile 1, zusätzlich mit Nut-Feder-System an den Stirnseiten; Stoßfugenvermörtelung kann daher im Regelfall entfallen
3	**KS-Plansteine KS -R-Plansteine**	KS P KS -R P	≤ 25	Wie Zeile 2, aufgrund höherer Anforderungen an die Abmaßklasse (Toleranzen) zum Versetzen in Dünnbettmörtel geeignet
4	**KS-Fasensteine**	KS F	≤ 25	Wie Zeile 3, jedoch mit beidseitig umlaufender Fase an der Sichtseite von ca. 4 bis 7 mm
5	**KS XL-Rasterelemente**[1)]	KS XL-RE	≥ 50 ≤ 62,5	Wie Zeile 3; Lieferung von Regelelementen der Länge 498 mm sowie Ergänzungselementen der Längen 373 mm und 248 mm
6	**KS XL-Planelemente**[1)]	KS XL-PE	≥ 50 ≤ 65	Wie Zeile 3; Lieferung von werkseitig vorkonfektionierten Wandbausätzen mit Regelelementen der Länge 998 mm
7	**KS XL-E-Planelemente**	KS XL-E	= 50	Wie Zeile 5, jedoch mit durchgehenden Installationskanälen (KS -E-Steine)
b) Kalksandsteine: Lochanteil > 15 % der Lagerfläche				
8	**KS-Lochsteine**	KS L	≤ 12,5	Für tragendes und nicht tragendes Mauerwerk in Normalmauermörtel versetzt
9	**KS -R-Hohlblocksteine**	KS L-R	> 12,5 ≤ 25	Wie Zeile 8, zusätzlich mit Nut-Feder-System an den Stirnseiten; Stoßfugenvermörtelung kann daher im Regelfall entfallen
10	**KS-Plansteine KS -R-Plansteine**	KS L P KS L-R P	≤ 25	Wie Zeile 9, aufgrund höherer Anforderungen an die Abmaßklasse (Toleranzen) zum Versetzen in Dünnbettmörtel
c) Frostwiderstandsfähige Kalksandsteine[2)]				
11	**KS-Vormauersteine**	KS Vm	≤ 25	Kalksandsteine mindestens der Druckfestigkeitsklasse 10, die frostwiderstandsfähig sind (mindestens Frostwiderstandklasse F1)
12	**KS-Verblender**[2)]	KS Vb	≤ 25	Kalksandsteine mindestens der Druckfestigkeitsklasse 16 mit höheren Anforderungen an die Abmaßklasse (Toleranzen) als Zeile 11 und erhöhter Frostwiderstandsfähigkeit (mindestens Frostwiderstandklasse F2)

[1)] Im Markt sind unterschiedliche Marken bekannt.
[2)] KS-Verblender werden regional auch als bossierte Steine oder mit bruchrauer Oberfläche angeboten.

Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

1.3.2 Formate

Die Kalksandsteinindustrie bietet für jeden Anwendungsfall das richtige Steinformat an. Alle Steinformate entsprechen DIN 4172 „Maßordnung im Hochbau“ [10]. Sie werden in der Regel als Vielfaches vom Dünnformat (DF) angegeben.

INFO

Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

1.3.3 Steindruckfestigkeitsklassen (SFK)

Die Steindruckfestigkeit (Tafel 3) wird in N/mm² angegeben. Kalksandsteine sind in den SFK 4 bis 60 genormt. Zu berücksichtigen sind die Anforderungen an die Steindruckfestigkeit der Kalksandsteine bei KS-Vormauersteinen ≥ 10 und bei KS-Verblendern ≥ 16.

INFO

In der Praxis werden im Wesentlichen die Steindruckfestigkeitsklassen (SFK) 12 und 20 verwendet.

Tafel 3 Übliche Druckfestigkeitsklassen von Kalksandstein

Druckfestigkeitsklasse[1]	10[2]	12	16[2]	20	28[2]
Mittlere Mindestdruckfestigkeit f_{st} [N/mm²]	12,5	15,0	20,0	25,0	35,0

[1] Entspricht auch dem kleinsten zulässigen Einzelwert bei einer Prüfung
[2] Nur auf Anfrage regional lieferbar

1.3.4 Steinrohdichteklassen (RDK)

Die Steinrohdichte (Tafel 4) wird in kg/dm³ angegeben. Das Steinvolumen wird einschließlich etwaiger Lochungen und Grifföffnungen ermittelt. Die Steinrohdichte wird auf den bis zur Massenkonstanz bei 105 °C getrockneten Stein bezogen. Die Einteilung erfolgt für Kalksandsteine nach DIN 20000-402 in den RDK 0,6 bis 2,2. Voll- und Blocksteine sind dabei den RDK ≥ 1,6 zuzuordnen, Loch- und Hohlblocksteine den RDK ≤ 1,6. Ob Steine der RDK 1,6 zu den Voll- oder Lochsteinen zu zählen sind, ist abhängig von der Querschnittsminderung durch die Lochung.

INFO

In der Praxis werden im Wesentlichen die Steinrohdichteklassen (RDK) 1,4 – 1,8 – 2,0 – 2,2 verwendet.

Tafel 4 Übliche Rohdichteklassen von Kalksandstein

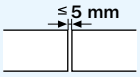
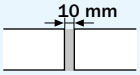
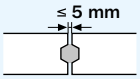
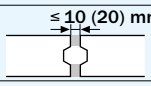
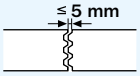
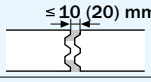
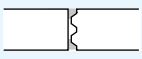
Rohdichteklasse	1,2[1]	1,4	1,6[1]	1,8	2,0	2,2
Klassengrenzen [kg/dm³]	1,01 bis 1,20	1,21 bis 1,40	1,41 bis 1,60	1,61 bis 1,80	1,81 bis 2,00	2,01 bis 2,20

[1] Nur auf Anfrage regional lieferbar

1.3.5 Lager- und Stoßfugen

Aufgrund der Steinabmessungen ergeben sich in Mauerwerkswänden zwangsläufig Fugen. Lagerfugen sind die horizontalen Mörtelfugen zwischen zwei Steinlagen, während die vertikalen Fugen zwischen den Einzelsteinen als Stoßfugen bezeichnet werden (Tafel 5). Die Fugendicke ist in Abhängigkeit der Steinabmessungen an das früher gebräuchliche Baurichtmaß angepasst, woraus sich folgende Sollmaße ergeben:

Tafel 5 Stoßfugenausbildung von KS-Mauerwerkswänden

Stoßfugenausbildung – Anforderungen	Schemaskizze (Aufsicht auf Steinlage)
1 Ebene Stoßfugenausbildung ■ Steine knirsch verlegt	
■ Gesamte Stoßfuge vollfächig vermörtelt Stoßfugenbreite: 10 mm	
2 Stoßfugenausbildung mit Mörteltaschen ■ Steine knirsch verlegt, Mörteltasche mit Mörtel gefüllt	
■ Steinflanken vermörtelt	
3 Stoßfugenausbildung mit Nut-Feder-System ■ Steine knirsch verlegt	
■ Steinrandbereiche vermörtelt	
4 Stoßfugenausbildung eines geschnittenen Steins an Nut-Feder-System (knirsch gestoßen) ■ Empfehlung: Steinrandbereiche vermörteln	

Im statischen Sinn als vermörtelt gilt eine Stoßfuge, wenn mindestens die halbe Steinbreite über die gesamte Steinhöhe vermörtelt ist.

Schichtmaß

- = Lagerfuge + Steinmaß
- = n · 12,5 cm (mit n = ganzzahliger Wert)

Die Sollmaße der *Stoßfugenbreite* betragen üblicherweise bei:

- Steinen mit Nut-Feder-System: 2 mm (in der Regel ohne Stoßfugenvermörtelung),
- glatten Steinen (ohne Nut-Feder-System): 10 mm (in der Regel mit Stoßfugenvermörtelung).

INFO

Stoßfugenbreiten > 5 mm sind nach DIN EN 1996-1-1/NA beidseitig an der Wandoberfläche mit Mörtel zu schließen.

Das Sollmaß der *Lagerfugendicke* beträgt üblicherweise bei Verwendung von:

- Dünnbettmörtel: 2 mm
- Normalmauermörtel: 12 mm

Stoß- und Lagerfugen in Mauerwerkswänden dienen u.a. zum Ausgleich der zulässigen herstellungsbedingten Toleranzen der Steine sowie zur gleichmäßigeren Verteilung der Belastung auf die Einzelsteine. KS-Plansteine können aufgrund der herstellbedingten, hohen Maßhaltigkeit mit Dünnbettmörtel verarbeitet werden. Aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen wird Kalksandstein-Mauerwerk überwiegend mit so genannten Ratio-Steinen (mit Nut-Feder-System) und unvermörtelten Stoßfugen ausgeführt.

INFO

Im statischen Sinne als vermörtelt gilt eine Stoßfuge nach DIN EN 1996-1-1/NA, wenn mindestens die halbe Steinbreite über die gesamte Steinhöhe vermörtelt ist.

Bei Vermauerung ohne Stoßfugenvermörtelung werden die Steine stumpf oder mit Verzahnung knirsch versetzt.

Neben der Art der Stoßfugenausbildung ist die Überbindung der Einzelsteine innerhalb der Wand für den Abtrag von Querlasten und Querkräften von großer Bedeutung. Reduzierte Überbindemaße ($l_{ol} < 0{,}4 \cdot h_u$) sind für Wände aus großformatigen Kalksandsteinen (KS XL) mit Dünnbettmörtel nach dem Eurocode möglich.

1.3.6 Mörtelart, Mörtelgruppe, Mörtelklasse

Mörtelarten für KS-Mauerwerk werden nach ihren jeweiligen Eigenschaften und/oder dem Verwendungszweck unterschieden in:

- Dünnbettmörtel (DM)
- Normalmauermörtel (NM)

Die Unterscheidung in Mörtelgruppen (nach den Anwendungsnormen DIN V 18580 und DIN V 20000-412) und Mörtelklassen (nach DIN EN 998-2) erfolgt in erster Linie durch ihre Festigkeit.

Mörtelart und Mörtelgruppe werden für Wände entsprechend den jeweiligen Erfordernissen ausgewählt. Grundsätzlich können in einem Gebäude oder einem Geschoss verschiedene Mörtel verarbeitet werden. Aus wirtschaftlicher Sicht (einfache Disposition und keine Verwechslungsgefahr) ist die Beschränkung auf einen Mörtel sinnvoll.

Dünnbettmörtel

Dünnbettmörtel darf nur als Werk-Trockenmörtel nach DIN EN 998-2 oder nach Zulassung hergestellt werden. Er ist aufgrund seiner Zusammensetzung für Planstein- und Planelement-Mauerwerk mit Fugendicken von 1 bis 3 mm geeignet. Die Sollhöhe der Plansteine und -elemente (123 mm, 248 mm, 498 mm, 623 mm, 648 mm) entspricht im Wesentlichen dem Baurichtmaß (Vielfaches von 12,5 cm) abzüglich 2 mm Lagerfugendicke.



Bild 2 **Der Werk-Trockenmörtel ist vor Witterungseinflüssen zu schützen.**

In DIN V 18580 bzw. DIN V 20000-412 werden folgende Anforderungen an Dünnbettmörtel gestellt:

- Größtkorn der Zuschläge ≤ 1,0 mm
- Charakteristische Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) ≥ 0,20 N/mm² und Mindesthaftscherfestigkeit (Mittelwert) ≥ 0,50 N/mm² (Tafel 6)
- Trockenrohdichte ≥ 1.500 kg/m³
- Korrigierbarkeitszeit ≥ 7 Minuten
- Verarbeitungszeit ≥ 4 Stunden
- Der Festigkeitsabfall nach Feuchtlagerung darf 30 % nicht überschreiten.

INFO

Die Kalksandsteinindustrie empfiehlt, bei der Herstellung von KS-Planstein- und KS-Planelement-Mauerwerk ausschließlich Dünnbettmörtel mit Zertifikat zu verwenden. Die vom Dünnbettmörtel-Hersteller empfohlene Zahnschiene, üblicherweise auf dem Mörtelsack abgebildet, ist zu verwenden.

Normalmauermörtel

Die Trockenrohdichte von *Normalmauermörtel* beträgt mindestens 1.500 kg/m³. In Abhängigkeit der Druck- und Haftscherfestigkeit werden Normalmauermörtel in Mörtelgruppen (nach DIN V 18580 bzw. DIN V 20000-412) oder Mörtelklassen (nach DIN EN 998-2) unterschieden (Tafel 7).

Tafel 6 Bezeichnungen von Dünnbettmörtel nach DIN EN 998-2 und zusätzliche Anforderungen nach DIN V 18580 bzw. DIN V 20000-412

Dünnbettmörtel nach DIN EN 998-2	Zusätzliche Anforderungen an Dünnbettmörtel (DM) nach DIN V 18580 bzw. DIN V 20000-412	
Dünnbettmörtel (T)	Charakteristische Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit)[1] [N/mm²]	Mindesthaftscherfestigkeit (Mittelwert)[2] [N/mm²]
M10	0,20	0,50

[1] maßgebende Verbundfestigkeit = charakteristische Anfangsscherfestigkeit · 1,2, geprüft nach DIN EN 1052-3
[2] maßgebende Verbundfestigkeit = Haftscherfestigkeit (Mittelwert) · 1,2, geprüft nach DIN 18555-5

Tafel 7 Bezeichnungen von Normalmauermörtel nach DIN EN 998-2 und zusätzliche Anforderungen nach DIN V 18580 bzw. DIN V 20000-412

Mörtelgruppen nach DIN V 18580 DIN V 20000-412	Mörtelklassen nach DIN EN 998-2	Mörtelgruppen nach DIN V 18580 bzw. DIN V 20000-412, zusätzliche Anforderungen				
		Fugendruckfestigkeit[1] nach Verfahren			Charakteristische Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit)[2]	Mindesthaftscherfestigkeit (Mittelwert)[3]
Normalmauermörtel (NM)	Normalmauermörtel (G)	I [N/mm²]	II [N/mm²]	III [N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
NM II	M 2,5	1,25	2,5	1,75	0,04	0,10
NM IIa	M 5	2,5	5,0	3,5	0,08	0,20
NM III	M 10	5,0	10,0	7,0	0,10	0,25
NM IIIa	M 20	10,0	20,0	14,0	0,12	0,30

[1] Prüfung der Fugendruckfestigkeit nach DIN 18555-9 mit KS-Referenzsteinen
[2] maßgebende Verbundfestigkeit = charakteristische Anfangsscherfestigkeit · 1,2, geprüft nach DIN EN 1052-3
[3] maßgebende Verbundfestigkeit = Haftscherfestigkeit (Mittelwert) · 1,2, geprüft nach DIN 18555-5

INFO

Normalmauermörtel wird aus Gründen der Wirtschaftlichkeit im Regelfall als Werkmörtel (Trocken- oder Frischmörtel) verarbeitet.

1.3.7 Elementmauerwerk

Elementmauerwerk bezeichnet Mauerwerk aus Planelementen (KS XL), welche großformatige Vollsteine mit einer Höhe ≥ 498 mm und einer Länge ≥ 498 mm sind, deren Querschnitt durch Lochung senkrecht zur Lagerfuge bis zu 15 % gemindert sein darf und die durch Einhaltung erhöhter Anforderungen an die Grenzmaße der Höhe sowie der Planparallelität und Ebenheit der Lagerflächen die Voraussetzungen zur Vermauerung mit Dünnbettmörtel erfüllen. Planelemente dürfen auch mit verringerten Überbindemaßen ($0{,}2 \leq l_{ol}/h_u < 0{,}4$) vermauert werden (siehe Abschnitt 8.3).

1.3.8 Tragendes und nicht tragendes Mauerwerk

Tragendes Mauerwerk wird gemäß DIN EN 1996-1-1/NA als Mauerwerk definiert, welches überwiegend auf Druck beansprucht ist und zum Abtrag von vertikalen Lasten, z.B. aus Decken, sowie von horizontalen Beanspruchungen, z.B. infolge Wind oder Erddruck, dient. Im Gegensatz dazu spricht man von *nicht tragendem Mauerwerk*, wenn entsprechende Wände nur durch ihr Eigengewicht und direkt auf sie wirkende Lasten beansprucht und nicht zur Aussteifung des Gebäudes oder anderer Wände herangezogen werden. Nicht tragende Wände, bei denen die Fuge zwischen Decke und Wandkopf vermörtelt wird, werden darüber hinaus als *nicht tragende Wände* mit Auflast bezeichnet, da die Decke sich aufgrund der Durchbiegung auf die Wände absetzen kann.

1.3.9 Aussteifende und auszusteifende Wände

Aussteifende Wände sind scheibenartige, tragende Wände, die zur Aussteifung des Gebäudes oder zur Knickaussteifung anderer Bauteile dienen. Für tragende Wände können die zur Berechnung benötigten Eingangsgrößen DIN EN 1996-1-1/NA entnommen werden.

Auszusteifende Wände sind Wände, die als drei- oder vierseitig gehaltene Wände mit einer verminderten Knicklänge nachgewiesen werden sollen. Ein derartiges Vorgehen ist jedoch nur zulässig, wenn die zur Aussteifung angesetzten Wände den Anforderungen gemäß DIN EN 1996-1-1/NA genügen.

1.3.10 Einwirkungen und Lasten

Als *Einwirkungen* werden alle Arten von auf ein Tragwerk einwirkenden Kraft- und Verformungsgrößen bezeichnet. Dies können sowohl Kräfte aus äußeren Lasten (direkte Einwirkungen) als auch induzierte Verformungen infolge Temperatur oder Stützenabsenkungen sein, die als indirekte Einwirkungen bezeichnet werden.

1.3.11 Tragfähigkeit und Festigkeit

Die *Tragfähigkeit* eines Bauteils ergibt sich aus den mechanischen und physikalischen Eigenschaften eines Baustoffes und den geometrischen bzw. statischen Randbedingungen des untersuchten Bauteils. Die *Festigkeit* (z.B. Druckfestigkeit) eines Baustoffes stellt dabei eine Materialeigenschaft dar, aus der die Tragfähigkeit eines Bauteils berechnet wird.

1.3.12 Semiprobabilistisches und globales Sicherheitskonzept

Durch die Einführung von Sicherheitsbeiwerten beim Nachweis der Standsicherheit von Konstruktionen werden statistische Streuungen der Einwirkungen und des Tragwiderstands bei der Berechnung von Gebäuden berücksichtigt. Während in der Vergangenheit diese Unsicherheiten mit einem *globalen Sicherheitsbeiwert* auf der Einwirkungs- oder der Widerstandsseite abgedeckt wurden, wird in den Normen der neueren Generation mit auf der Einwirkungs- und Widerstandsseite verteilten Sicherheitsfaktoren gearbeitet. Dieses Vorgehen wird als *semiprobabilistisch* bezeichnet, da für die verschiedenen Materialien und Einwirkungen Teilsicherheitsbeiwerte unterschiedlicher Größe in Abhängigkeit ihrer spezifischen Streuungen definiert sind.

1.3.13 Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit

Die wichtigste Anforderung an bauliche Anlagen ist, dass sie über eine ausreichende *Standsicherheit* gegenüber den verschiedenen Einwirkungsszenarien verfügen, die während der geplanten Nutzungsdauer auftreten können. Diese Anforderung wird mit Hilfe einer Bemessung der Bauteile unter Verwendung von deterministischen Sicherheitsfaktoren gewährleistet. Neben der Standsicherheit ist auch die *Gebrauchstauglichkeit* von Bauteilen und Bauwerken zu berücksichtigen. Dies betrifft bei mineralischen Baustoffen wie z.B. Mauerwerk vor allem die Vermeidung von übermäßiger Rissbildung oder klaffenden Fugen bei geringer Bauteilausnutzung (unter Gebrauchslasten).

1.3.14 Charakteristischer Wert und repräsentativer Wert

Der charakteristische Wert ist generell als Fraktilwert einer hypothetischen unbegrenzten Versuchsreihe definiert. Wenn die erforderlichen statistischen Grundlagen fehlen, werden charakteristische Werte auch als Nennwert definiert. Der charakteristische Wert einer Baustoffeigenschaft ist derjenige Wert, der mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit (bei Festigkeiten beträgt sie in der Regel 5 %) nicht unterschritten wird. Der charakteristische Wert einer Einwirkung ist entweder als Mittelwert (Eigenlast) oder als Fraktilwert (oberer oder unterer) der zugrunde gelegten Verteilungsfunktion definiert. Der repräsentative Wert einer Einwirkung ergibt sich durch Multiplikation des charakteristischen Werts mit einem Kombinationsbeiwert ψ. Genauere Angaben finden sich in DIN EN 1990/NA.

1.4 Tragverhalten von Bauteilen aus Kalksandstein-Mauerwerk

Da Mauerwerk aufgrund seiner relativ geringen Zug- und Biegezugfestigkeit – insbesondere senkrecht zur Lagerfuge – Biegemomente nur unter gleichzeitiger Wirkung einer entsprechend großen Auflast aufnehmen kann, wird Mauerwerk fast ausschließlich als Wandbaustoff verwendet. Tragendes Mauerwerk kommt vorwiegend für den Abtrag von vertikalen Beanspruchungen wie z.B. Eigenlasten oder Nutzlasten zum Einsatz. Bei zentrischer bzw. nahezu zentrischer Beanspruchung können Wände aus Kalksandstein hohe Normalkräfte aufnehmen, so dass der Standsicherheitsnachweis in der Regel problemlos erbracht werden kann. Mit wachsender Schlankheit der Wände sind zusätzlich Einflüsse nach Theorie II. Ordnung zu berücksichtigen. Mauerwerkspfeiler sollen möglichst aus ganzen Steinen hergestellt werden und nicht durch Schlitze oder Ähnliches geschwächt sein.

Neben dem Abtrag von Vertikallasten dient Mauerwerk auch zur Sicherstellung der Gebäudeaussteifung und somit zur Aufnahme von horizontalen Beanspruchungen – z.B. aus Wind, Erdbeben und Belastungen infolge einer ungewollten Gebäudeschiefstellung. Zu diesem Zweck müssen Mauerwerksgebäude über eine hinreichend große Anzahl von ungeschwächten Wandscheiben ausreichender Länge zur Aufnahme der resultierenden Horizontalbeanspruchung verfügen. Die Höhe der Scheibenbeanspruchung der aussteifenden Wände wird auf Basis der technischen Biegelehre für näherungsweise ungerissene Wände bestimmt, so dass sich eine Aufteilung der Kräfte entsprechend den vorhandenen Steifigkeiten ergibt. Darüber hinaus erlaubt DIN EN 1996-1-1/NA eine Umlagerung von maximal 15 % des Kraftanteils einer Wand auf die übrigen aussteifenden Wandscheiben. Schwierig ist häufig der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit (Schub) von kurzen Wandabschnitten oder Wänden mit geringer Auflast und gleichzeitiger hoher horizontaler Scheibenbeanspruchung, wenn diese beim Nachweis berücksichtigt werden sollen. Wenn die ausreichende Gesamtsteifigkeit des Gebäudes nicht sofort erkennbar ist und die Anforderungen von DIN EN 1996-1-1/NA hinsichtlich der konstruktiven Stabilitätskriterien nach Abschnitt 4.1 nicht erfüllt werden, muss ein genauer Nachweis der Aussteifung nach Theorie II. Ordnung erfolgen.

Die auf das Gebäude senkrecht zur Wandebene wirkenden horizontalen Lasten werden von der Fassade auf die Decken- bzw. Dachscheiben übertragen und von dort in die aussteifenden Wände weitergeleitet. Aufgrund der meist geringen Auflast kann die Standsicherheit von Giebelwänden unter Windeinwirkung oft nur mit Hilfe der entsprechenden Tabellen zur Festlegung der maximal zulässigen Ausfachungsfläche nach DIN EN 1996-3/NA nachgewiesen werden.

In der Regel werden Mauerwerkswände als stabförmige Bauteile modelliert und auf Basis eines normalkraftbeanspruchten Ersatzstabs nachgewiesen. Wände aus Mauerwerk mit geringer Auflast bei gleichzeitig hoher Plattenbeanspruchung (z.B. Kellerwände unter Erddruck) können darüber hinaus mit Hilfe eines Bogenmodells nachgewiesen werden. Ein anderes Anwendungsgebiet des Bogenmodells sind Mauerwerkswände, bei denen der planmäßige Lastabtrag in waagerechter Richtung erfolgt. Die Anwendung des Bogenmodells ist jedoch nur möglich, wenn der resultierende Bogenschub von einem Bauteil mit hoher Steifigkeit aufgenommen werden kann.

2. Sicherheitskonzept und Einwirkungen

2.1 Grundlagen des semiprobabilistischen Teilsicherheitskonzepts ($E_d \leq R_d$)

Unter Sicherheit versteht man die allgemeine qualitative Anforderung an bauliche Anlagen. Durch technische Anforderungen z.B. an die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit, die mit ausreichender Zuverlässigkeit zu erzielen sind, wird dieser qualitativen Anforderung im Hinblick auf bestimmte technische Aspekte entsprochen. Dies kann z.B. dadurch erreicht werden, dass die einwirkenden Schnittgrößen aus äußeren Lasten an jeder Stelle eines Tragwerks einen bestimmten Sicherheitsabstand gegenüber dem aufnehmbaren Querschnittswiderstand aufweisen.

Das Tragverhalten von Baukonstruktionen wird durch die wirklichkeitsnahe Erfassung der Einwirkungen auf ein Tragwerk, einer wirklichkeitsnahen Modellierung des Tragwerks und einem Berechnungsverfahren, das mit der Beschreibung der Einwirkungen und der Modellierung des Tragwerks konsistent ist, beschrieben. Unabhängig vom verwendeten Modell zur Beschreibung des Tragverhaltens und vom verwendeten Baustoff muss nach DIN EN 1990 ein Tragwerk derart entworfen und ausgeführt sein, dass die während der Errichtung und Nutzung möglichen Einwirkungen mit definierter Zuverlässigkeit keines der nachstehenden Ereignisse zur Folge haben:

- Einsturz des gesamten Bauwerks oder eines Teils,
- größere Verformungen in unzulässigem Umfang,
- Beschädigung anderer Bauteile oder Einrichtungen und Ausstattungen infolge zu großer Verformungen des Tragwerks,
- Beschädigung durch ein Ereignis in einem zur ursprünglichen Ursache unverhältnismäßig großen Ausmaß.

Ein Tragwerk muss so bemessen werden, dass seine Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit während der vorgesehenen Nutzungsdauer diesen vorgegebenen Bedingungen genügt.

Das Bemessungskonzept in DIN EN 1996-1-1/NA basiert im Wesentlichen auf so genannten Grenzzuständen, in denen das Tragwerk die gestellten Anforderungen nicht mehr erfüllt. Je nachdem, ob diese Anforderungen die Tragfähigkeit vor Erreichen des rechnerischen Versagenszustandes oder die Nutzungseigenschaften betreffen, wird unterschieden zwischen:

- Grenzzustand der Tragfähigkeit (uls = ultimate limit state)
  - Verlust des globalen Gleichgewichts (kinematische Kette, Gleiten, Umkippen)
  - Bruch oder der bruchnahe Zustand von Tragwerksteilen (Querschnittsversagen, kritische Dehnungszustände, Erreichen der Traglast)
  - Stabilitätsversagen (Knicken)
  - Materialermüdung
- Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (sls = serviceability limit state)
  - Unzulässige Spannungen
  - Unzulässige Rissbildung
  - Übermäßige Formänderungen (z.B. Durchbiegungen)

Durch die Einführung von Sicherheitsbeiwerten beim Nachweis der Standsicherheit von Konstruktionen können die stets vorhandenen Streuungen von Einwirkungen und Tragwiderstand bei der Berechnung von Gebäuden berücksichtigt werden. Eine hinreichende Tragwerkszuverlässigkeit kann beispielsweise erreicht werden, indem die einwirkenden Schnittgrößen E aus äußeren Lasten an jeder Stelle eines Tragwerks einen bestimmten Sicherheitsabstand gegenüber dem aufnehmbaren Tragwiderstand R (z.B. Querschnittstragfähigkeit) aufweisen. Dabei gilt ein Gebäude als „sicher“, wenn der Bemessungswert der Einwirkung E_d den maximal aufnehmbaren Bemessungswert des Widerstandes R_d zu keinem Zeitpunkt während der geplanten Nutzungsdauer überschreitet:

$$E_d \leq R_d \qquad (2.1)$$

Da die Streuungen der Einwirkungen und des Widerstandes unterschiedliche Größenordnungen aufweisen, hat man sich im Zuge der Erarbeitung der europäischen Normen darauf verständigt, die anzusetzenden Sicherheitsbeiwerte auf beide Seiten von Gleichung (2.1) zu verteilen, um eine möglichst gleichmäßige Versagenswahrscheinlichkeit unter ver-

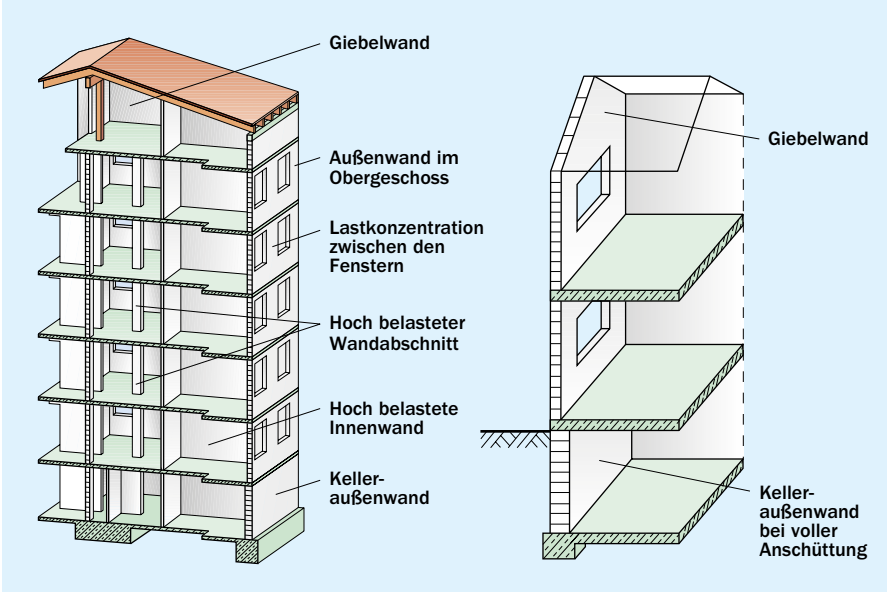


Bild 3 Wichtige Bauteile und wesentliche Nachweisstellen im Mauerwerksbau

schiedenen Beanspruchungssituationen zu erreichen. Dieses so genannte Teilsicherheitskonzept liegt auch den Bemessungsansätzen von DIN EN 1996-1-1/NA sowie DIN EN 1996-3/NA im Grenzzustand der Tragfähigkeit zugrunde. Die benötigten Größen für die Einwirkung E_d und den Widerstand R_d auf Bemessungswertniveau ergeben sich aus den charakteristischen Größen von E_k und R_k durch Berücksichtigung der entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerte. Definitionsgemäß kennzeichnet der Index *d* generell, dass es sich um einen Bemessungswert handelt, während der Index *k* für eine charakteristische Größe steht. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit lässt sich Gleichung (2.2) folgendermaßen formulieren:

$$\gamma_F \cdot E_k \leq \frac{R_k}{\gamma_M} \qquad (2.2)$$

Auf der Einwirkungsseite wird zwischen zeitlich veränderlichen Einwirkungen *Q*, wie z.B. Wind oder Nutzlasten, und ständigen Einwirkungen *G*, wie z.B. dem Konstruktionseigengewicht, unterschieden. Während das Eigengewicht eine vergleichsweise geringe Streuung aufweist, variieren veränderliche Einwirkungen sehr stark, weshalb sie mit einem deutlich höheren Teilsicherheitsbeiwert zu beaufschlagen sind. Für den Nachweis der Standsicherheit unter einer sehr selten auftretenden außergewöhnlichen Einwirkungskombination (z.B. Brand) oder unter Erdbebeneinwirkung dürfen die Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungs- und der Widerstandsseite reduziert werden.

2.2 Charakteristische Werte der wesentlichen Einwirkungen im Mauerwerksbau

2.2.1 Konstruktionseigengewicht

Ständige Einwirkungen ergeben sich für Mauerwerkswände vor allem aus dem Konstruktionseigengewicht, welches mit Hilfe von DIN EN 1991-1-1 bestimmt werden kann. Das Gewicht von Stahlbetondecken resultiert dabei aus dem Gewicht des Betons und des Deckenaufbaus. Für übliche Deckenaufbauten kann der charakteristische Wert des Deckeneigengewichtes folgendermaßen bestimmt werden:

$$g_{k,Decke} = 25 \cdot h_{Decke} + 1{,}5 \text{ [kN/m}^2\text{]} \qquad (2.3)$$

mit h_{Decke} = Deckendicke [m]

Das Flächengewicht von Mauerwerkswänden aus Kalksandsteinen kann in Abhängigkeit von der Steinrohdichte und der Wanddicke Tafel 8 und für das Putzgewicht Tafel 9 entnommen werden.

2.2.2 Nutzlasten

Nutzlasten auf Stahlbetondecken stellen im Mauerwerksbau die wichtigste Form von vertikal gerichteten veränderlichen Lasten dar. Die Größe der anzusetzenden Nutzlasten ist in DIN EN 1991-1-1 definiert. Wesentliche charakteristische Werte können Tafel 10 entnommen werden.

In gewöhnlichen Wohnungs- und Bürogebäuden können die veränderlichen Lasten nach DIN EN 1991-1/NA als gleichzeitig auf einer Decke wirkend (d.h. die gleiche Last auf allen Feldern oder keine Last, wenn dies maßgebend ist) angesehen werden.

Tafel 8 Nach DIN EN 1991-1-1/NA anzusetzende Wandflächengewichte von KS-Wänden mit Normalmauer- und Dünnbettmörtel[1)]

Steinrohdichteklasse (RDK)[1)]	Wichte γ_{MW} [kN/m³]	Charakteristisches Wandflächengewicht (ohne Putz) [kN/m²] für Wanddicke *t* [cm]								
		7	10	11,5	15	17,5	20	24	30	36,5
1,2	14	–	1,40	1,61	2,10	2,45	2,80	3,36	4,20	5,11
1,4	16	–	1,60	1,84	2,40	2,80	3,20	3,84	4,80	5,84
1,6	16	–	1,60	1,84	2,40	2,80	3,20	3,84	4,80	5,84
1,8	18	1,26	1,80	2,07	2,70	3,15	3,60	4,32	5,40	6,57
2,0	20	1,40	2,00	2,30	3,00	3,50	4,00	4,80	6,00	7,30
2,2	22	–	–	2,53	3,30	3,85	4,40	5,28	6,60	8,03
2,4	24	–	–	2,76	3,60	4,20	4,80	5,76	7,20	8,76
2,6	26	–	–	2,99	3,90	4,55	5,20	6,24	7,80	9,49

[1)] Bei Verwendung von Mauersteinen der RDK ≤ 1,4 in Dünnbettmörtel reduziert sich das rechnerische Wandflächengewicht um 1,0 kN/m³ · *t* [m].

Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.

Tafel 9 Flächenlast von Putzen nach DIN EN 1991-1-1/NA

Putz	Flächenlast je cm Dicke [kN/m²]
Gipsputz	0,120
Kalk-, Kalkgips- und Gipssandputz	0,175
Kalkzementputz	0,200
Leichtputz nach DIN 18550-4	0,150
Zementputz	0,210

Tafel 10 Wesentliche charakteristische Werte für Nutzlasten gemäß DIN EN 1991-1-1/NA

Nutzung	Kategorie	q_k [kN/m²]
Wohnräume und Flure mit ausreichender Querverteilung (z. B. Stahlbetondecken)	A2	1,5
Wohnräume und Flure ohne ausreichende Querverteilung (z. B. Holzbalkendecken)	A3	2,0
Büroräume	B1	2,0
Treppen und Podeste innerhalb der Kategorien A und B1	T1	3,0
Balkone und Dachterrassen	Z	4,0
Trennwandzuschlag bei einem Wandgewicht ≤ 3,0 kN/m Wandlänge (einschließlich Putz)	–	0,8
Trennwandzuschlag bei einem Wandgewicht ≤ 5,0 kN/m Wandlänge (einschließlich Putz)	–	1,2

Die Lasten nicht tragender Trennwände auf Decken dürfen vereinfachend über einen flächig anzusetzenden Zuschlag auf die charakteristische Nutzlast berücksichtigt werden. Bei Nutzlasten > 5,0 kN/m² ist dieser Zuschlag nicht erforderlich. Die in Tafel 10 angegebenen Werte gelten dabei für leichte Trennwände mit einem zulässigen Gesamtgewicht von bis zu 5,0 kN/m (Bild 5).

Schwerere Trennwände (> 5,0 kN/m) müssen gemäß DIN EN 1991-1-1 als Linienlasten in der statischen Berechnung der Decken berücksichtigt werden. Ersatzweise wurde ein Berechnungsverfahren zur Ermittlung einer äquivalenten Gleichlast q, die in Form eines Trennwandzuschlages wirkt, entwickelt [13]. Die Berechnung dieses Zuschlags erfolgt dabei nach folgender Beziehung:

$$\Delta q_k = 2 \cdot n \cdot f \cdot h \cdot \frac{g}{l_f} \ [\mathrm{kN/m^2}] \qquad (2.4)$$

mit

n Einflussfaktor für die Anzahl und Stellung der Wände gemäß Bild 4
f Faktor für das statische System gemäß Tafel 11
h Wandhöhe
g Wandeigengewicht einschließlich Putz
l_f Stützweite 4,00 m $\leq l_f \leq$ 6,00 m

2.2.3 Einwirkungen aus Wind

Windbeanspruchungen senkrecht zur Wandebene können bei Einhaltung der Randbedingungen des vereinfachten Verfahrens (siehe Abschnitt 5.1) generell vernachlässigt werden, wenn die betroffenen Außenwände durch horizontale Halterungen hinreichend ausgesteift sind. Als solche gelten z.B. Stahlbetondecken oder statisch nachgewiesene Stahlbetonringbalken im Abstand der zulässigen Geschosshöhe. In den verwendeten Modellen zur Berechnung der maximal aufnehmbaren Normalkraft ist der Einfluss von Momenten infolge Wind bereits enthalten.

Wenn eine offensichtlich hinreichende Anzahl von Wandscheiben die Gebäudeaussteifung gewährleistet (DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu 5.5.3 (NA.12)), ist hierfür ebenfalls kein rechnerischer Nachweis erforderlich.

2.3 Bemessungswert der Einwirkungen und zugehörige Einwirkungskombinationen

Der Bemessungswert einer Einwirkung ergibt sich aus der Multiplikation des charakteristischen Werts der Einwirkung mit dem anzusetzenden Teilsicherheitsbeiwert in Abhängigkeit der Bemessungssituation. Mit Ausnahme des Nachweises von Aussteifungsscheiben unter horizontaler Beanspruchung gelten alle vertikalen Einwirkungen als ungünstig wirkend. Daher erlaubt die DIN EN 1996/NA für den Nachweis der maximal aufnehmbaren Normalkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit eine vereinfachte Berechnung des Bemessungswerts der einwirkenden Normalkraft N_{Ed}.

$$N_{Ed} = 1{,}35 \cdot \Sigma N_{Gk} + 1{,}5 \cdot \Sigma N_{Qk} \qquad (2.5)$$

In Hochbauten mit Stahlbetondecken und einer charakteristischen Nutzlast von $q_k \leq$ 3,0 kN/m², darf gemäß DIN EN 1996-1-1/NA, NCI zu 2.4.2 (NA.2) die im Grenzzustand der Tragfähigkeit einwirkende Normalkraft N_{Ed} noch weiter vereinfacht bestimmt werden:

$$N_{Ed} = 1{,}40 \cdot \left[\Sigma N_{Gk} + \Sigma N_{Qk}\right] \qquad (2.6)$$

Für den Nachweis von Wandscheiben unter Horizontallasten in Scheibenrichtung wird häufig die minimale Auflast bemessungsmaßgebend. Wenn der rechnerische Nachweis der Gebäudeaussteifung tatsächlich erforderlich ist, muss daher auch im vereinfachten Berechnungsverfahren die Möglichkeit einer günstigen Wirkung der Normalkräfte beachtet werden. In diesem Fall muss zusätzlich zu den bereits beschriebenen Einwir-

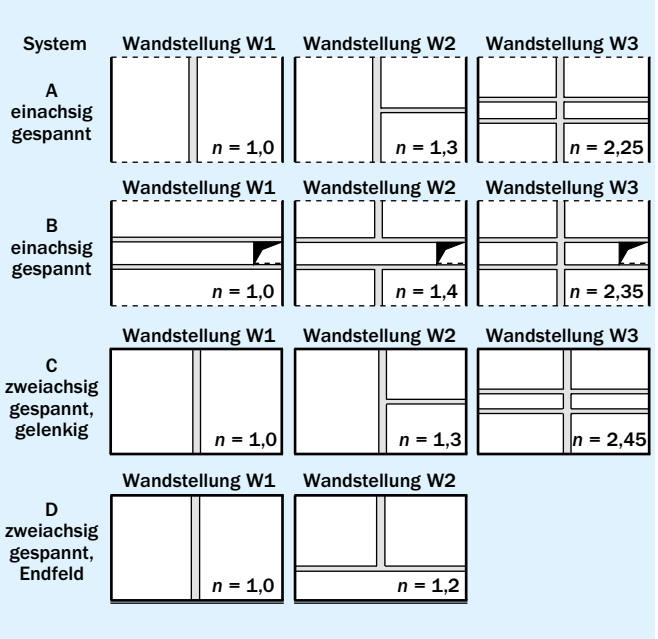


Bild 4 **Einflussfaktor *n* für Anzahl und Stellung der Trennwände**

Tafel 11 **Faktor *f* für das statische System**

Faktor f [–]	Lagerung	Einspannung
1,0	einachsig gespannte Platte	gelenkig gelagert
1,4	zweiachsig gespannte Platte $\left(\frac{l_x}{l_y} = 1{,}0\right)$	allseitig gelenkig
1,3	zweiachsig gespannte Platte $\left(\frac{l_x}{l_y} = 1{,}5\right)$	allseitig gelenkig
1,6	zweiachsig gespannte Platte $\left(\frac{l_x}{l_y} = 1{,}0\right)$	einseitig eingespannt
1,45	zweiachsig gespannte Platte $\left(\frac{l_x}{l_y} = 1{,}5\right)$	einseitig eingespannt
Zwischenwerte können interpoliert werden.		

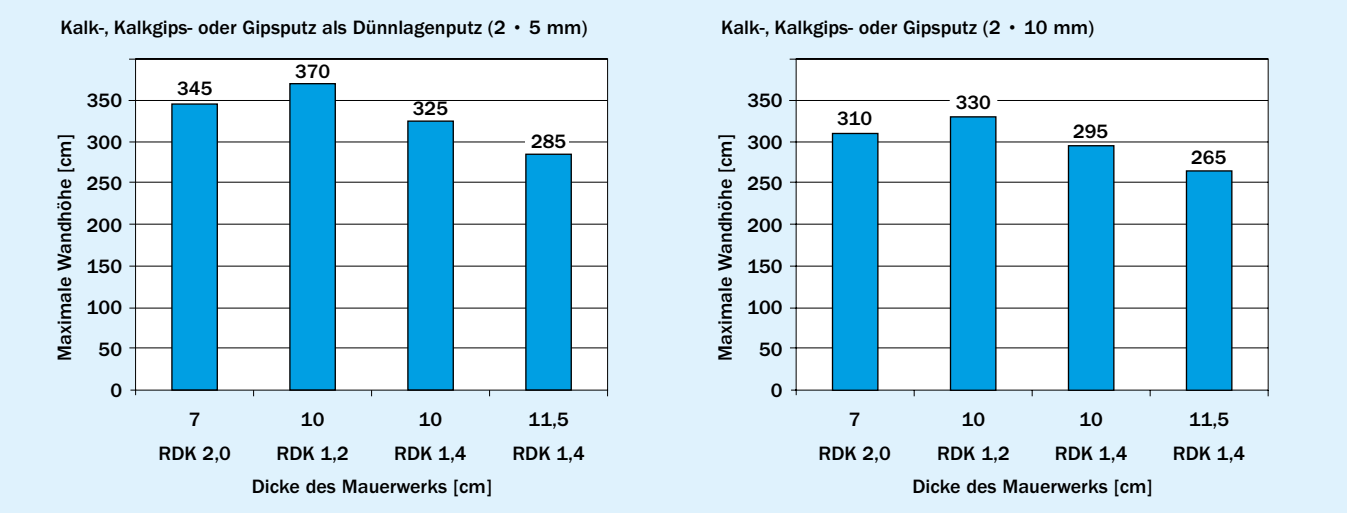


Bild 5 Grenzhöhen typischer nicht tragender KS-Wandkonstruktionen mit Dünnbettmörtel bei einem zulässigen Gesamtgewicht von max. 5 kN/m

kungskombinationen beim Nachweis der Gebäudeaussteifung folgende Lastkombination analysiert werden:

$$\min N_{Ed} = 1{,}0 \cdot \Sigma N_{Gk}$$
$$\text{in Verbindung mit max } M_{Ed} = 1{,}0 \cdot M_{Gk} + 1{,}5 \cdot M_{Qk} \qquad (2.7)$$

Die anzusetzenden charakteristischen Einwirkungen, aus denen sich die benötigten Schnittgrößen ergeben, können den verschiedenen Teilen von DIN EN 1991 entnommen werden.

Für eine genauere Berechnung ist es möglich ausführlichere Einwirkungskombinationen nach DIN EN 1990 [11] anzusetzen (siehe hierzu auch [12]).

Tafel 12 zeigt zusammenfassend die Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite.

2.4 Bemessungswert des Tragwiderstandes von Mauerwerkswänden

Der Bemessungswert des Tragwiderstandes R_d ergibt sich nach DIN EN 1996-1-1/NA unter Verwendung von charakteristischen Werten der Festigkeiten dividiert durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_M für das Material. Allgemein bezeichnet R_d den Bemessungswert der aufnehmbaren Schnittgröße:

$$R_d = R\left[\zeta \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}; \frac{f_{vk}}{\gamma_M}\right] \qquad (2.8)$$

Die anzusetzenden Teilsicherheitsbeiwerte zur Berechnung des Bemessungswerts des Tragwiderstandes sind in Tafel 13 in Abhängigkeit von der jeweiligen Bemessungssituation aufgeführt.

Der charakteristische Wert einer Baustofffestigkeit ergibt sich in Abhängigkeit vom zu führenden Nachweis. Der Bemessungswert der Druckfestigkeit f_d nach DIN EN 1996/NA bestimmt sich zu:

$$f_d = \zeta \cdot \frac{f_k}{\gamma_M} \qquad (2.9)$$

Der Beiwert ζ berücksichtigt festigkeitsmindernde Langzeiteinflüsse auf das Mauerwerk und wird im Allgemeinen zu 0,85 gesetzt. Für den Nachweis außergewöhnlicher Einwirkungen gilt $\zeta = 1{,}0$.

Der Bemessungswert der Schubfestigkeit f_{vd} wird nach DIN EN 1996-1-1/NA folgendermaßen ermittelt:

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_M} \qquad (2.10)$$

Der charakteristische Wert der Schubfestigkeit f_{vk} hängt von der Beanspruchungsart (Platten- oder Scheibenbeanspruchung) ab und kann Abschnitt 3.6 entnommen werden.

Tafel 12 Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1990/NA

Einwirkung	Ungünstige Wirkung	Günstige Wirkung	Außergewöhnliche Bemessungssituation
Ständige Einwirkung (G) z.B. Eigengewicht, Ausbaulast, Erddruck	$\gamma_{G,sup} = 1{,}35$	$\gamma_{G,inf} = 1{,}00$	$\gamma_{GA} = 1{,}00$
Veränderliche Einwirkung (Q) z.B. Wind-, Schnee-, Nutzlasten	$\gamma_{Q,sup} = 1{,}50$	$\gamma_{Q,inf} = 0{,}00$	$\gamma_{QA} = 1{,}00$

Tafel 13 Teilsicherheitsbeiwerte γ_M für Baustoffeigenschaften gemäß DIN EN 1996-1-1/NA

Material	γ_M	
	Bemessungssituation	
	Ständig und vorübergehend	Außergewöhnlich [1)]
Unbewehrtes Mauerwerk aus Steinen der Kategorie I und Mörtel nach Eignungsprüfung sowie Rezeptmörtel	1,5	1,3

[1)] Für die Bemessung im Brandfall siehe DIN EN 1996-1-2

3. Festigkeits- und Verformungseigenschaften

3.1 Allgemeines

Mauerwerk ist ein Verbundbaustoff bestehend aus Mauersteinen und Mörtel mit entsprechenden mechanischen Stoffeigenschaften. Die Eigenschaften eines Mauerwerksbauteils (z.B. einer Wand) ergeben sich aus den Stoffeigenschaften, der Geometrie des Bauteils und dem Zusammenwirken mit anderen Bauteilen. Des Weiteren werden zur Beurteilung der Mauerwerkstragfähigkeit die Verformungseigenschaften (z.B. Spannungs-Dehnungs-Linie, Elastizitätsmodul) benötigt.

Für die Bemessung von Mauerwerk ist die Kenntnis folgender mechanischer Stoffeigenschaften erforderlich, die nach genormten Prüfverfahren bestimmt werden:

- Steindruckfestigkeit
- Steinzugfestigkeit
- Mörteldruckfestigkeit
- Druckfestigkeit des Mauerwerks
- Haftscherfestigkeit des Mauerwerks
- Zugfestigkeit parallel und senkrecht zur Lagerfuge des Mauerwerks
- Verformungseigenschaften des Mauerwerks

Obwohl Mauerwerk auch eine gewisse Zugfestigkeit senkrecht zur Lagerfuge besitzt, wird diese in der Regel bei der Bemessung nicht in Rechnung gestellt. Beim Tragverhalten von Mauerwerk unter Druckbeanspruchung ist entscheidend, dass im Allgemeinen die größere Querverformung des Mörtels zu Querzugspannungen im Stein führt. Das Versagen des Mauerwerks wird daher auch von der Steinzugfestigkeit beeinflusst.

3.2 Charakteristische Druckfestigkeit

Die charakteristische Druckfestigkeit von Mauerwerk wird durch die Steinfestigkeit und bei Mauerwerk mit Normalmauermörtel auch durch die Mörtelfestigkeit bestimmt. In Abhängigkeit dieser Eingangsgrößen können charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeiten angegeben werden.

Wird Mauerwerk senkrecht zu den Lagerfugen durch Druckspannungen beansprucht, entstehen im Stein Querzugspannungen, welche bei Erreichen der Grenzlast zum Mauerwerksversagen führen. Diese Querzugspannungen resultieren aus dem unterschiedlichen Verformungsverhalten von Stein und Mörtel. Während sich der Mörtel aufgrund seines im Allgemeinen geringeren E-Moduls und der höheren Querdehnzahl unter Druckbeanspruchung stärker quer verformen will als der Stein, wird diese Verformung durch den Stein behindert. Aus dieser Tatsache resultiert eine dreidimensionale Druckbeanspruchung im Mörtel, während der Stein auf Druck und Zug beansprucht wird (siehe Bild 6).

DIN EN 1996-3/NA gibt für das vereinfachte Berechnungsverfahren den charakteristischen 5%-Quantilwert der Mauerwerksdruckfestigkeit direkt für verschiedene Stein-Mörtel-Kombinationen in Tabellenform an. Diese Werte sind gegenüber DIN 1053-1 nun deutlich detaillierter nach Steinmaterial und Mörtelart aufgeschlüsselt. Erstmals werden auch Mauerwerksdruckfestigkeiten in Abhängigkeit der Steinart (Lochstein, Vollstein, Planelement etc.) angegeben.

Die tabellierten Werte können auch im genaueren Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA angewendet werden. Diese entsprechen der im genaueren Berechnungsverfahren angegebenen Ermittlung der charakteristischen Druckfestigkeit von Mauerwerk mit Hilfe der Gleichungen (3.1) und (3.2) in Abhängigkeit des Mindestwerts der mittleren Steindruckfestigkeit f_{st} und der Druckfestigkeit des Mörtels f_m. Mit Hilfe der in DIN EN 1996-1-1/NA angegebenen Parameter K, α und β ist dort eine Annäherung der rechnerischen Druckfestigkeit an die in den letzten Jahren im Rahmen von Materialprüfungen und Zulassungsverfahren gewonnenen Erkenntnisse möglich. Gleichzeitig gestattet DIN EN 1996-1-1/NA nunmehr eine Differenzierung der Mauerwerksdruckfestigkeit nach verschiedenen Steinsorten, Lochbildern sowie Steinabmessungen (klein-, mittel- und großformatige Steine, Plansteine oder Planelemente). Die Werte für K, α und β wurden für sämtliche gebräuchlichen Mauerwerksarten durch eine umfangreiche Auswertung der nationalen Datenbank bestimmt und sind in DIN EN 1996-1-1/NA enthalten.

Für Mauerwerk mit Normalmauermörtel gilt:

$$f_k = K \cdot f_{st}^{\alpha} \cdot f_m^{\beta} \qquad (3.1)$$

Für Mauerwerk mit Leichtmörtel bzw. Dünnbettmörtel ist die Mauerwerksdruckfestigkeit unabhängig von der Mörtelfestigkeit und ergibt sich daher zu:

$$f_k = K \cdot f_{st}^{\alpha} \qquad (3.2)$$

Die in DIN EN 1996-3/NA tabellierten Werte wurden so justiert, dass sich stets die identische Druckfestigkeit wie bei einer Er-

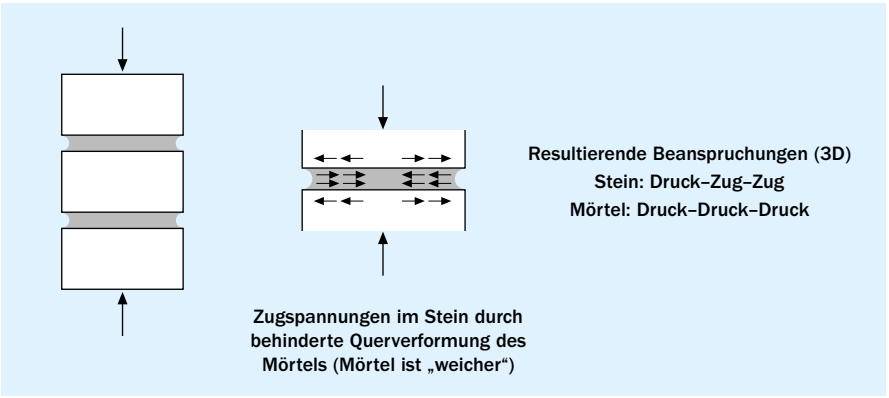


Bild 6 Zweidimensionale Darstellung des Versagensmechanismus von Mauerwerk unter Druckbeanspruchung

mittlung nach DIN EN 1996-1-1/NA mit den Beiwerten K, α und β ergibt. Die Anwendung der Gleichungen (3.1) und (3.2) ist somit in Deutschland ohne Vorteil; vielmehr kann die charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit von Mauerwerk aus Kalksandsteinen sowohl im vereinfachten als auch im genaueren Berechnungsverfahren den Tafeln 14 bis 16 entnommen werden.

Der Maximalwert der charakteristischen Biegezugfestigkeit von Mauerwerk mit der Bruchebene senkrecht zu den Lagerfugen $f_{xk2,max}$ kann Tafel 17 entnommen werden. Die Bestimmung des Bemessungswerts der Biegezugfestigkeit erfolgt unter Berücksichtigung des Teilsicherheitsbeiwerts γ_M nach Tafel 13. Der Ansatz eines Dauerstandsfaktors ist in diesem Fall nicht erforderlich.

3.3 Charakteristische Biegezugfestigkeit

Unter bestimmten Beanspruchungen z.B. bei Plattenbiegung erfährt Mauerwerk Biegezugbeanspruchungen senkrecht oder parallel zur Lagerfuge. Bei Plattenbiegung darf die charakteristische Biegezugfestigkeit f_{xk1} mit einer Bruchebene parallel zu den Lagerfugen in tragenden Wänden nicht in Rechnung gestellt werden. Es gilt jedoch eine Ausnahme: Wenn Wände aus Planelementen bestehen und lediglich durch zeitweise einwirkende Lasten rechtwinklig zur Oberfläche beansprucht werden (z.B. Wind auf Ausfachungsmauerwerk). In diesem Fall darf der Bemessung eine charakteristische Biegezugfestigkeit in Höhe von f_{xk1} = 0,2 N/mm² zugrunde gelegt werden. Bei Versagen der Wand darf es dann jedoch nicht zu einem größeren Einsturz oder zum Stabilitätsverlust des ganzen Tragwerks kommen.

Bei der Bestimmung des charakteristischen Werts der Biegezugfestigkeit parallel zur Lagerfuge f_{xk2} wird nach DIN EN 1996-1-1/NA nicht mehr zwischen vermörtelten und unvermörtelten Stoßfugen unterschieden. In die Bestimmung der Materialkenngröße gehen die Haftscherfestigkeit f_{vk0} (auch als Anfangsscherfestigkeit bezeichnet), der Reibungsbeiwert μ = 0,6, die Normalspannung σ_{Dd} senkrecht zur Lagerfuge für die bemessungsrelevanten Einwirkungskombinationen (im Regelfall der kleinste Wert) sowie das Verhältnis Überbindemaß/Steinhöhe l_{ol}/h_u ein.

Die charakteristische Biegezugfestigkeit f_{xk2} von Mauerwerk mit der Bruchebene senkrecht zu den Lagerfugen ergibt sich nach Gleichung (3.3):

$$f_{xk2} = (\alpha \cdot f_{vk0} + 0{,}6 \cdot \sigma_{Dd}) \cdot \frac{l_{ol}}{h_u} \leq f_{xk2,max} = \min \begin{cases} 0{,}5 \cdot f_{bt,cal} \\ 0{,}7\ [\text{N/mm}^2] \end{cases} \quad (3.3)$$

Der Beiwert α berücksichtigt die Art der Stoßfugenvermörtelung (α = 1,0 für vermörtelte Stoßfugen; α = 0,5 für unvermörtelte Stoßfugen).

Tafel 14 Charakteristische Druckfestigkeit f_k [N/mm²] von Einsteinmauerwerk aus Kalksand-Loch- und -Hohlblocksteinen mit Normalmauermörtel

KS L/KS L-R Steindruckfestigkeitsklasse	Mörtelgruppe			
	NM II	NM IIa	NM III	NM IIIa
10 [1)]	3,5	4,5	5,0	5,6
12	3,9	5,0	5,6	6,3
16 [1)]	4,6	5,9	6,6	7,4

[1)] Auf Anfrage regional lieferbar

Tafel 15 Charakteristische Druckfestigkeit f_k [N/mm²] von Einsteinmauerwerk aus Kalksand-Vollsteinen und Kalksand-Blocksteinen mit Normalmauermörtel

KS/KS -R Steindruckfestigkeitsklasse	Mörtelgruppe			
	NM II	NM IIa	NM III	NM IIIa
12	5,4	6,0	6,7	7,5
16 [1)]	6,4	7,1	8,0	8,9
20	7,2	8,1	9,1	10,1
28 [1)]	8,8	9,9	11,0	12,4

[1)] Auf Anfrage regional lieferbar

Tafel 16 Charakteristische Druckfestigkeit f_k [N/mm²] von Einsteinmauerwerk aus Kalksand-Plansteinen und Kalksand-Planelementen mit Dünnbettmörtel

Dünnbettmörtel DM Steindruckfestigkeitsklasse	Planelemente		Plansteine	
	KS XL	KS XL-E	KS P KS -R P	KS L-P KS L-R P
10 [1)]	–	–	–	5,0
12	9,4	7,0	7,0	5,6
16 [1)]	11,2	8,8	8,8	6,6
20	12,9	10,5	10,5	–
28 [1)]	16,0	–	13,8	–

KS XL: KS-Planelement ohne Längsnut, ohne Lochung
KS XL-E: KS-Planelement ohne Längsnut, mit Lochung
KS P: KS-Planstein mit einem Lochanteil ≤ 15 %
KS L-P: KS-Planstein mit einem Lochanteil > 15 %

[1)] Auf Anfrage regional lieferbar

Tafel 17 Maximalwert der charakteristischen Biegezugfestigkeit $f_{xk2,max}$ von Mauerwerk mit der Bruchebene senkrecht zu den Lagerfugen

Steindruckfestigkeitsklasse der Mauersteine und Planelemente		10 [1)]	12	16 [1)]	20	28 [1)]
Umgerechnete mittlere Mindestdruckfestigkeit f_{st} [N/mm²]		12,5	15	20	25	35
Maximalwert der charakteristischen Biegezugfestigkeit von Mauerwerk mit der Bruchebene senkrecht zu den Lagerfugen $f_{xk2,max}$ [N/mm²]	Hohlblocksteine	0,125	0,150	0,200	0,250	0,350
	Hochlochsteine und Steine mit Grifföffnungen oder Grifftaschen	0,163	0,195	0,260	0,325	0,455
	Vollsteine ohne Grifflöcher oder Grifftaschen	0,200	0,240	0,320	0,400	0,560

[1)] Auf Anfrage regional lieferbar

3.4 Zentrische Zugfestigkeit parallel zur Lagerfuge

Unter bestimmten Beanspruchungen erfährt Mauerwerk Zugbeanspruchungen parallel zur Lagerfuge. Diese treten beispielsweise bei der Berechnung von Silos oder bei Zwangsbeanspruchungen infolge Verformungsbehinderung im Mauerwerk auf. Die Zugfestigkeit der Steine und der geregelte Verband des Mauerwerks ermöglichen die Aufnahme von Zugspannungen parallel zur Lagerfuge. Die Zugfestigkeit des Mörtels in der Stoßfuge wird dabei vernachlässigt. Für die Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird die Zugfestigkeit von Mauerwerk parallel zur Lagerfuge nicht angesetzt. Bei Versagen auf Zug sind zwei Versagensmechanismen möglich (Bild 7).

Für die zentrische Zugfestigkeit darf auf der sicheren Seite liegend der Wert der charakteristischen Biegezugfestigkeit parallel zur Lagerfuge Abschnitt 3.3 angesetzt werden.

3.5 Haftscherfestigkeit und Reibungsbeiwert

Die Anfangsscherfestigkeit, oft Haftscherfestigkeit genannt, beschreibt die vorhandene Klebewirkung zwischen Steinen und Mörtel, die zu einer Querkrafttragfähigkeit des Querschnitts auch ohne vorhandene vertikale Auflast führt. Für die damalige Bemessung nach DIN 1053-1 wurde dieser Materialkennwert zur Erfassung in der Bemessung nicht explizit berücksichtigter Einflüsse (z.B. Steindrehen bei Scheibenschubbeanspruchung) modifiziert und als so genannter Rechenwert der Haftscherfestigkeit (β_{RHS} bzw. σ_{0HS}) angegeben. In DIN EN 1996-1-1/NA wird die Haftscherfestigkeit mit f_{vk0} bezeichnet. Dementsprechend stellen die Haftscherfestigkeiten f_{vk0} nach Tafel 18 bereits modifizierte Rechenwerte der Anfangsscherfestigkeit dar. Damit ergeben sich hinsichtlich der Schubfestigkeit von Mauerwerk keine Änderungen gegenüber DIN 1053-1.

Der charakteristische Reibungsbeiwert zwischen Stein und Mörtel wird für alle Mauerwerksarten in den verschiedenen Nachweisen einheitlich mit $\mu = 0{,}6$ angesetzt.

3.6 Charakteristischer Wert der Schubfestigkeit

Die Schubfestigkeit f_{vk} ist eine wichtige Einflussgröße zur Beurteilung der Querkrafttragfähigkeit von Mauerwerk, die vor allem für den Standsicherheitsnachweis von Aussteifungswänden und Kellerwänden von großer Bedeutung ist. Generell ist dabei zwischen Scheibenschub- und Plattenschubbeanspruchung zu unterscheiden.

Die charakteristische Schubfestigkeit f_{vk} ergibt sich als kleinster Wert für f_{vlt} aus nachfolgenden Beziehungen:

$$f_{vk} = \min \{ f_{vlt1};\ f_{vlt2} \} \qquad (3.4)$$

3.6.1 Scheibenschub

Die Schubfestigkeit von Mauerwerk unter Scheibenbeanspruchung ergibt sich aus der maximalen Tragfähigkeit der Steine oder der Lagerfuge, wobei unterschiedliche Versagensmechanismen (Reibungsversagen, Steinzugversagen sowie ggf. Schubdruckversagen und Fugenversagen durch Kippen der Einzelsteine) zu berücksichtigen sind.

Die Schubfestigkeit unter Scheibenbeanspruchung bestimmt sich bei Reibungs- oder Steinzugversagen nach dem von Mann/

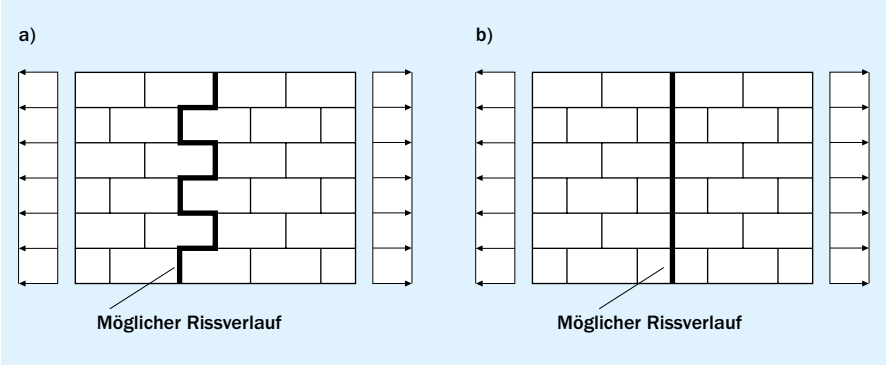


Bild 7 Zugbeanspruchung von Mauerwerk parallel zur Lagerfuge: a) Versagen infolge Überschreitung der Reibungskraft, b) Steinzugversagen

Tafel 18 Haftscherfestigkeit f_{vk0} von Mauerwerk ohne Auflast nach DIN EN 1996-1-1/NA

f_{vk0} [N/mm²]				
Normalmauermörtel mit einer Festigkeit f_m [N/mm²]				Dünnbettmörtel (Lagerfugendicke 1 mm bis 3 mm)
NM II	NM IIa	NM III	NM IIIa	
2,5	5,0	10,0	20,0	
0,08	0,18	0,22	0,26	0,22

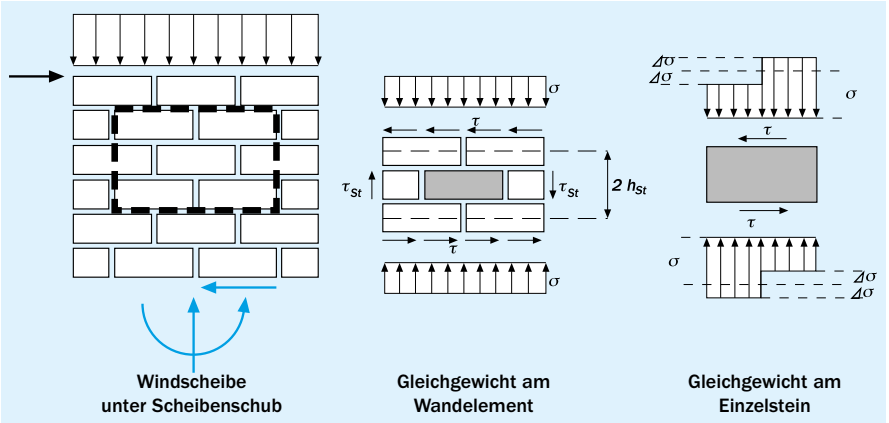


Bild 8 Zur Berechnung der Schubfestigkeit unter Scheibenbeanspruchung nach Mann/Müller [3]

Müller [3] entwickelten Versagensmodell aus dem Gleichgewicht an einem aus der Wand herausgelösten (kleinen) Einzelstein (Bild 8). Dabei wird eine Übertragung von Schubspannungen über die Stoßfuge generell ausgeschlossen, da diese entweder unvermörtelt ausgeführt wird oder der Mörtel infolge Schwinden vom Stein abreißen kann. Aufgrund der fehlenden Spannungen an den Stoßfugen müssen zur Einhaltung des Momentengleichgewichtes am Einzelstein an der Steinober- und der Steinunterseite unterschiedlich gerichtete Normalspannungen wirken.

Für die Bestimmung der Schubfestigkeit von Mauerwerkswänden nach den Gleichungen (3.5) und (3.6) wird grundsätzlich von einer über die überdrückte Querschnittsfläche gemittelten vorhandenen Normalspannung σ_{Dd} ausgegangen. Zur Berücksichtigung der ungleichmäßigen Spannungsverteilung in den Lagerfugen wird in DIN EN 1996-1-1/NA bei Scheibenbeanspruchung ersatzweise ein abgeminderter Reibungsbeiwert von $\mu' = \mu/(1+\mu) = 0{,}4$ und eine abgeminderte Haftscherfestigkeit f_{vk0} angesetzt. Bei größeren Normalspannungen ist zusätzlich ein Versagen der Steine auf Zug oder auch auf Druck möglich (Gleichung (3.7)).

Reibungsversagen

Bei vermörtelten Stoßfugen:

$$f_{vlt1} = f_{vk0} + 0{,}4 \cdot \sigma_{Dd} \qquad (3.5)$$

Bei unvermörtelten Stoßfugen:

$$f_{vlt1} = 0{,}5 \cdot f_{vk0} + 0{,}4 \cdot \sigma_{Dd} \qquad (3.6)$$

Steinzugversagen

Die charakteristische Schubfestigkeit von Mauerwerk bei Steinzugversagen (gilt für vermörtelte und unvermörtelte Stoßfugen) ergibt sich zu:

$$f_{vlt2} = 0{,}45 \cdot f_{bt,cal} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_{Dd}}{f_{bt,cal}}} \qquad (3.7)$$

mit

f_{vk0} Haftscherfestigkeit nach Tafel 18

$f_{bt,cal}$ Charakteristische Steinzugfestigkeit (Tafel 19)

$f_{bt,cal} = 0{,}020 \cdot f_{st}$
für Hohlblocksteine

$f_{bt,cal} = 0{,}026 \cdot f_{st}$
für Hochlochsteine und Steine mit Grifflöchern oder Grifftaschen

$f_{bt,cal} = 0{,}032 \cdot f_{st}$
für Vollsteine der Höhe ≥ 248 mm ohne Grifflöcher oder Grifftaschen

f_{st} Umgerechnete mittlere Steindruckfestigkeit (Tafel 3) in N/mm²

In Tafel 19 sind die Werte für $f_{bt,cal}$ für die verschiedenen Steinarten ausgewertet.

σ_{Dd} Bemessungswert der zugehörigen Druckspannung an der Stelle der maximalen Schubspannung.

Für Rechteckquerschnitte $\sigma_{Dd} = \frac{N_{Ed}}{A}$

$A = t \cdot l_{c,lin}$
überdrückte Querschnittsfläche

$l_{c,lin} = \frac{3}{2} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_w}{l}\right) \cdot l \le l$
überdrückte Wandlänge

$e_W = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$; die Exentrizität in Wandlängstrichtung

M_{Ed} Bemessungswert des einwirkenden Momentes in Wandlängsrichtung

$N_{Ed} = 1{,}0 \cdot N_{Gk}$; im Regelfall ist die minimale Einwirkung maßgebend

Der kleinere der beiden Werte f_{vlt1} und f_{vlt2} ist für f_{vk} einzusetzen.

Bei Ansatz der Haftscherfestigkeit f_{vk0} ist bei rechnerisch gerissenen Querschnitten zusätzlich ein Randdehnungsnachweis zu führen.

3.6.2 Plattenschub

Bei Plattenschubbeanspruchung ist im Allgemeinen nicht mit einem Versagen der Steine infolge Überschreitung der Steinzug- oder Steindruckfestigkeit zu rechnen, weshalb diese Versagensarten für den Nachweis unter Plattenschubbeanspruchung unberücksichtigt bleiben können. Zur Ermittlung der Schubfestigkeit findet daher lediglich das Kriterium Reibungsversagen Berücksichtigung. Des Weiteren treten bei Plattenschub ungleichmäßige Normalspannungen in der Lagerfuge nicht auf, so dass mit dem tatsächlichen Reibungsbeiwert zwischen Stein und Mörtel von $\mu = 0{,}6$ gerechnet werden kann. Basierend auf dieser Grundlage ermittelt sich der Maximalwert der charakteristischen Schubfestigkeit bei Plattenbeanspruchung gemäß DIN EN 1996-1-1/NA folgendermaßen:

- Vermörtelte Stoßfugen:

$$f_{vlt1} = f_{vk0} + 0{,}6 \cdot \sigma_{Dd} \qquad (3.8)$$

- Unvermörtelte Stoßfugen:

$$f_{vlt1} = \frac{2}{3} \cdot f_{vk0} + 0{,}6 \cdot \sigma_{Dd} \qquad (3.9)$$

σ_{Dd} Bemessungswert der zugehörigen Druckspannung an der Stelle der maximalen Schubspannung.

Für Rechteckquerschnitte gilt $\sigma_{Dd} = \frac{N_{Ed}}{A}$

$A = t_{c,lin} \cdot l$
überdrückte Querschnittsfläche

$t_{c,lin} = \frac{3}{2} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e}{t}\right) \cdot t \le t$

überdrückte Wanddicke

Bei Plattenschub ist eine Betrachtung des Steinzugversagens (f_{vlt2}) nicht erforderlich.

3.7 Verformungseigenschaften

Zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit von Gebäuden aus Mauerwerk werden die zugehörigen Verformungseigenschaften benötigt. Aufgrund unterschiedlicher Last-, Feuchte-, und Temperatureigenschaften kann es bei bestimmten Wänden zu unerwünschten Rissen infolge Zwangbeanspruchung kommen, welche in der Regel für die Standsicherheit des Gebäudes als unkritisch angesehen werden können, jedoch die Gebrauchstauglichkeit und das optische Erscheinungsbild von Mauerwerk negativ beeinflussen können. Aufgrund der großen Vielfalt an möglichen Kombinationen und der entsprechenden Spannungs-Dehnungs-Beziehung wird bei der Bemessung nach Eurocode 6 vereinfachend von einem vollplastischen Materialverhalten für alle Stein- und Mörtelarten ausgegangen. Der Elastizitätsmodul als bestimmende Materialkenngröße wird dabei entsprechend dem Nachweis (Knicksicherheitsnachweis oder Gebrauchstauglichkeitsnachweis) abgeschätzt. Die zur Berechnung von KS-Wandkonstruktionen benötigten Eingangsgrößen gemäß DIN EN 1996-1-1/NA zur Berechnung von Verformungen infolge von Schwind- oder Temperaturbeanspruchung oder auch Lasteinwirkung sind in Tafel 20 zusammengefasst.

Tafel 19 Charakteristische Steinzugfestigkeit $f_{bt,cal}$ in Abhängigkeit von der Steinsorte und der Druckfestigkeitsklasse nach DIN EN 1996-1-1/NA

Druckfestigkeitsklasse der Mauersteine und Planelemente		10	12	16	20	28
Umgerechnete mittlere Mindestdruckfestigkeit f_{st} [N/mm²]		12,5	15,0	20,0	25,0	35,0
Rechnerische Steinzugfestigkeit $f_{bt,cal}$ [N/mm²]	Hohlblocksteine	0,25	0,30	0,40	0,50	0,70
	Hochlochsteine und Steine mit Grifföffnungen oder Grifftaschen	0,32	0,39	0,52	0,65	0,91
	Vollsteine ohne Grifflöcher oder Grifftaschen	0,40	0,48	0,64	0,80	1,12

Tafel 20 Verformungskennwerte von Kalksandstein-Mauerwerk mit Normalmauermörtel und Dünnbettmörtel nach DIN EN 1996-1-1/NA

Endkriechzahl [1] φ_∞ [–]		Endwert der Feuchtedehnung [2] [mm/m]		Wärmeausdehnungskoeffizient α_t [10^{-6}/K]		E-Modul [N/mm²]	
Rechenwert	Wertebereich	Rechenwert	Wertebereich	Rechenwert	Wertebereich	Rechenwert	Wertebereich
1,5	1,0–2,0	-0,2	-0,3 – -0,1	8	7–9	950 · f_k	800–1250 · f_k

[1] Endkriechzahl $\varphi_\infty = \varepsilon_\infty / \varepsilon_{el}$, mit $\varepsilon_{c\infty}$ als Endkriechmaß und $\varepsilon_{el} = \sigma / E$ [2] Endwert der Feuchtedehnung ist bei Stauchung negativ und bei Dehnung positiv angegeben.

4. Aussteifung von Gebäuden und Schnittgrößenermittlung

4.1 Räumliche Steifigkeit

Nach DIN EN 1996-1-1/NA sowie auch DIN EN 1996-3/NA müssen alle horizontalen Einwirkungen sicher in den Baugrund weitergeleitet werden. Dabei kann auf einen rechnerischen Nachweis verzichtet werden, wenn die Geschossdecken als steife Scheiben ausgebildet sind bzw. statisch nachgewiesene, ausreichend steife Ringbalken vorliegen und wenn in Längs- und Querrichtung des Gebäudes eine offensichtlich ausreichende Anzahl von genügend langen Wänden vorhanden ist, die ohne größere Schwächungen und Versprünge bis auf die Fundamente geführt werden. Nur wenn bei einem Bauwerk nicht von vornherein erkennbar ist, dass Steifigkeit und Stabilität entsprechend gesichert sind, ist ein rechnerischer Nachweis der Gesamtaussteifung erforderlich.

Die räumliche Steifigkeit von Bauwerken und deren Stabilität ist hinsichtlich der Standsicherheit von besonderer Bedeutung. Dies gilt insbesondere für die Aufnahme und die Weiterleitung der horizontalen Einwirkungen auf das Bauwerk. Dabei muss nicht nur die Standsicherheit der einzelnen Wände, sondern auch die Stabilität des Gesamtbauwerks gewährleistet sein. Ist ein Bauwerk durch Fugen unterteilt, muss jeder Gebäudeabschnitt für sich ausgesteift sein.

Die wesentlichen horizontalen Einwirkungen auf Mauerwerksgebäude sind:

- Winddruck und Windsog
- Erddruck
- Seismizität/Erdbeben (je nach geographischer Lage)
- Imperfektionen

  Hierunter versteht man eine ungewollte Abweichung vom planmäßigen Zustand, z.B. durch Lotabweichungen von vertikalen Bauteilen, Vorkrümmungen von Stabachsen, Eigenspannungen und strukturellen Imperfektionen durch Toleranzen der Querschnittsabmessungen. Ihr Einfluss darf nach DIN EN 1996-1-1/NA (Abschnitt 5.3) näherungsweise durch den Ansatz geometrischer Ersatzimperfektionen in Form einer Schiefstellung aller lotrechten Bauteile erfasst werden. Gegenüber der Sollachse ist hierfür eine Schiefstellung um den Winkel in Abhängigkeit der Gebäudehöhe anzusetzen, aus der zusätzliche Horizontallasten auf die aussteifenden Bauteile resultieren (Bild 10).

Für die Aussteifung eines Gebäudes sind stets mindestens drei Wandscheiben, deren Wirkungslinien sich nicht in einem Punkt schneiden und die nicht alle parallel angeordnet sind, sowie eine schubsteife Deckenscheibe (oder ein statisch nachgewiesener Ringbalken) erforderlich. Lage und Richtung der Wandscheiben sollten zudem so gewählt werden, dass die Verdrehung des Gebäudes um seine vertikale Achse gering bleibt. Ferner sollten Wandscheiben derart angeordnet werden, dass Zwangbeanspruchungen der Geschossdecken vermieden werden. Bild 9 zeigt einige Beispiele für günstige und ungünstige Anordnungen von Wandscheiben. Vereinbarungsgemäß nehmen dabei Wandscheiben nur Lasten in Richtung ihrer starken Achse auf, da ihre Biegesteifigkeit bei der Bemessung um die schwache Achse vernachlässigt wird. Ferner wird angenommen, dass Stützen und in der Regel auch Pfeiler und kurze Wandabschnitte aufgrund ihrer geringen Biegesteifigkeit ebenfalls nicht zur Aussteifung beitragen.

Werden mehrere Wandscheiben schubfest miteinander verbunden (z.B. durch Aufmauerung im Verband), so entstehen L- oder U-förmige Aussteifungselemente, die sich durch höhere Steifigkeiten auszeichnen. Der Nachweis dieser Aussteifungselemente muss nach dem genaueren Berechnungsverfahren gemäß DIN EN 1996-1-1/NA (Abschnitt 5.5.3) erfolgen. Zusammengesetzte torsionssteife Querschnitte aus Wänden bezeichnet man als Aussteifungskerne.

Bei großer Nachgiebigkeit der aussteifenden Bauteile müssen deren Formänderungen bei der Schnittgrößenermittlung berücksichtigt werden. Für vertikale Tragglieder ist nach DIN EN 1996-1-1/NA (Abschnitt 5.4) ein Nachweis nach Theorie II. Ordnung (Knicksicherheitsnachweis) erforderlich, wenn der Schnittgrößenzuwachs infolge der Tragwerksverformungen größer ist als 10 % der Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung. Die Berücksichtigung der Einflüsse nach Theorie II. Ordnung darf entfallen, wenn die lotrechten aussteifenden Bauteile in der betrachteten Richtung die folgenden Bedingungen (Gleichung 4.1) erfüllen und die lotrecht aussteifenden Bauteile annähernd symmetrisch angeordnet sind oder keine maßgebende Torsionsbeanspruchung auftritt.

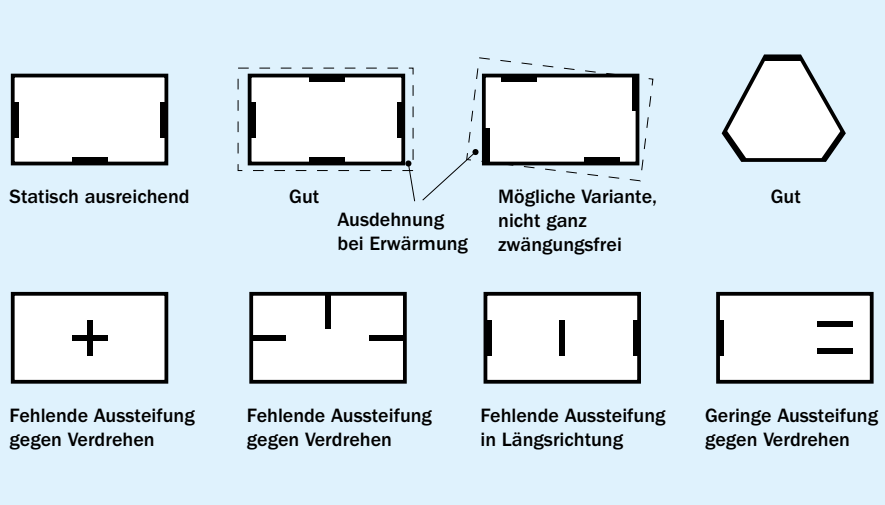


Bild 9 Günstige und ungünstige Anordnung von Wandscheiben im Grundriss (nach [14])

$$h_{tot} \cdot \sqrt{\frac{N_{Ed}}{EI}} \begin{cases} \leq 0{,}2 + 0{,}1 \cdot n & \text{für } n < 4 \\ \leq 0{,}6 & \text{für } n \geq 4 \end{cases} \quad (4.1)$$

mit

h_{tot} Gesamthöhe des Tragwerks ab der rechnerischen Einspannebene

N_{Ed} Summe aller charakteristischen Vertikallasten ($g_k + q_k$) des Gebäudes in Höhe der rechnerischen Einspannebene ($\gamma_F = 1{,}0$)

EI Summe der Biegesteifigkeit aller lotrechten aussteifenden Bauteile im Zustand I, nach der Elastizitätstheorie, die in der betrachteten Richtung wirken

n Anzahl der Geschosse ab der rechnerischen Einspannebene

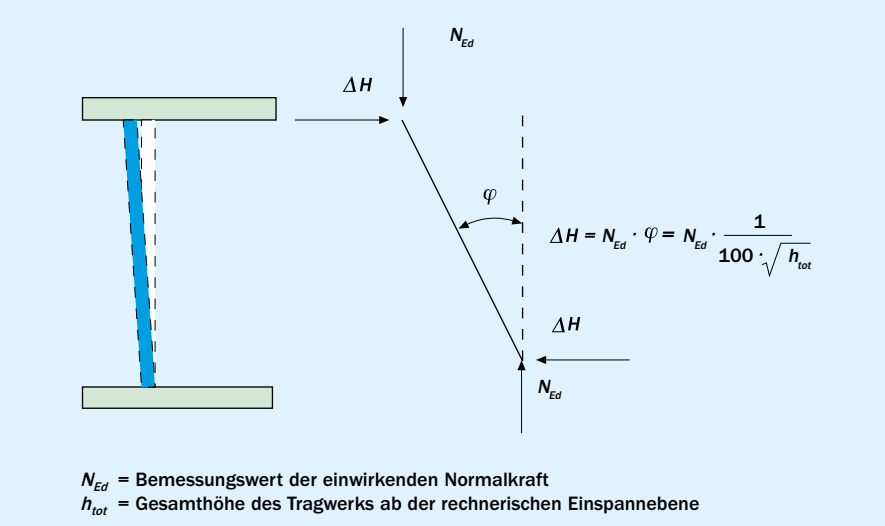


Bild 10 Lotabweichung für den Nachweis der Gebäudeaussteifung

Bei der räumlichen Steifigkeit ist darauf zu achten, dass alle tragenden und aussteifenden Wände mit den Decken kraftschlüssig verbunden sind. Nach DIN EN 1996-1-1/NA müssen die Wandscheiben entweder durch Reibung (Stahlbetondecken) oder Zuganker (z.B. bei Holzbalkendecken) an die Deckenscheibe angeschlossen sein.

Im Allgemeinen ist die Verwendung von Trennlagen bei KS-Mauerwerk am Wandkopf unter den Decken nicht erforderlich. Lediglich bei Deckenauflagern in Eckbereichen (Aufschüsseln) und/oder unter der obersten Geschossdecke können diese notwendig werden.

Mauerwerksbauten üblicher Abmessungen besitzen im Allgemeinen eine Vielzahl von aussteifenden Wandscheiben. Bei einer kraftschlüssigen Verbin-

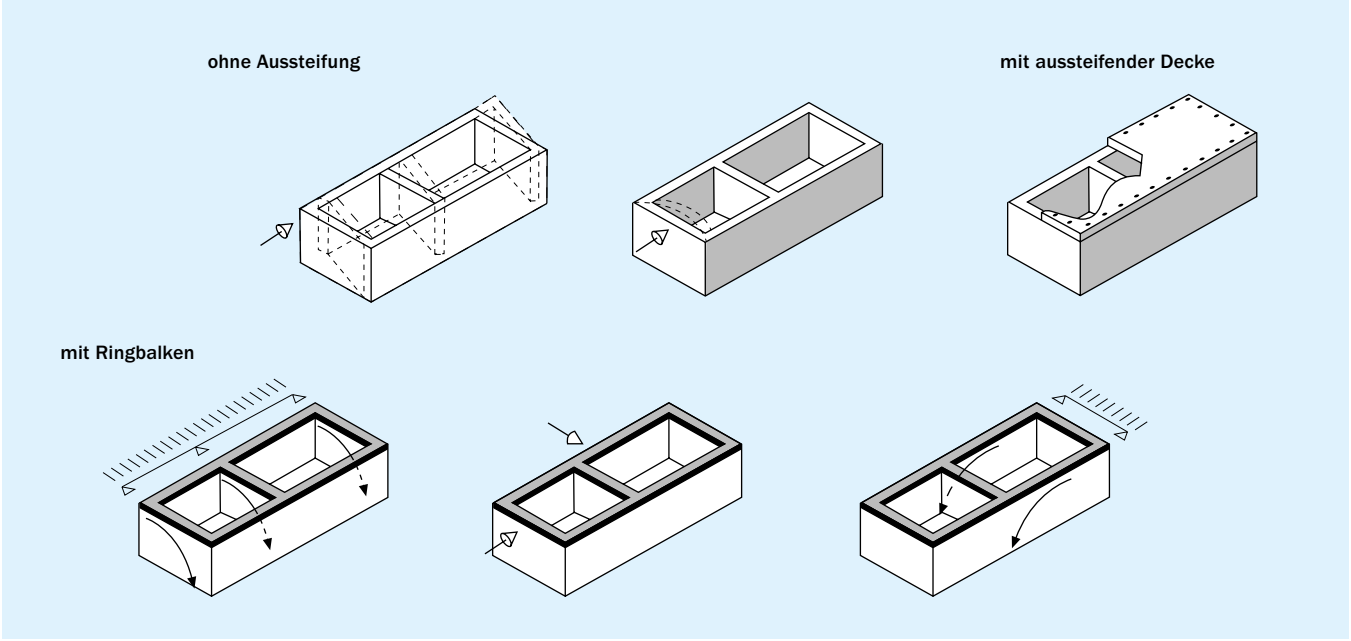


Bild 11 Formstabilität durch Anordnung von Ringbalken (nach [15])

dung der Wände mit einer schubsteifen Deckenscheibe bildet sich gegenüber einer horizontalen Einwirkung ein formstabiles System. Ist die Scheibenwirkung der Geschossdecke nicht gewährleistet (z.B. bei Holzbalkendecken oder nicht verbundenen Fertigteildecken), verschieben sich die Wandscheiben infolge der horizontalen Einwirkungen. Da dann die erforderliche räumliche Steifigkeit nicht gegeben ist, müssen Ringanker bzw. -balken vorgesehen werden, die sich beispielsweise mit ausbetonierten KS -U-Schalen herstellen lassen (Bild 11).

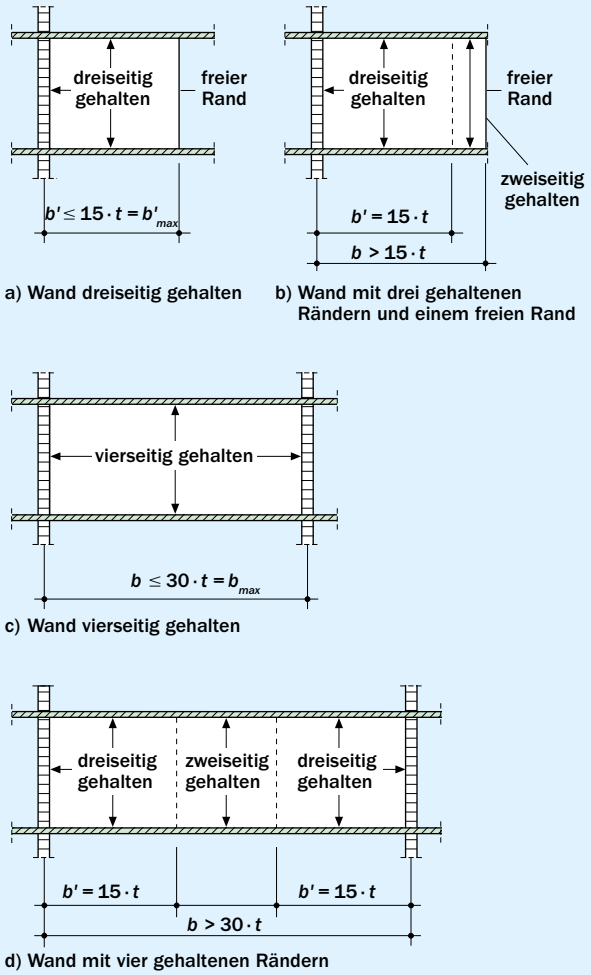
4.2 Aussteifung tragender Wände

Bei schlanken Mauerwerkswänden kann neben dem Überschreiten der Querschnittstragfähigkeit ein Spannungsversagen nach Theorie II. Ordnung (Knicken) für die Bemessung maßgebend sein. Die bezogene Wandschlankheit (Knicklänge h_{ef} / Wanddicke t) einer Mauerwerkswand ist ein Maß für ihre Knickgefahr und neben der Geschosshöhe auch davon abhängig, ob und wie die Wand an ihren Rändern durch Deckenscheiben und/oder Querwände gehalten ist. Je nach Anzahl der rechtwinklig zur Wandebene unverschieblich gehaltenen Ränder unterscheidet man zwischen zwei-, drei- und vierseitig gehaltenen sowie frei stehenden Wänden.

INFO

Kalksandsteinwände werden im Regelfall zweiseitig gehalten bemessen. Nur bei sehr ungünstigen Lastfällen ist ggf. der Ansatz weiterer (seitlicher) Halterungen erforderlich.

Überschreiten die Abstände der aussteifenden Querwände ein gewisses Maß, so geht ihre aussteifende Wirkung verloren. Daher ist eine Begrenzung dieser Abstände zur Sicherstellung ei-



a) Wand dreiseitig gehalten

b) Wand mit drei gehaltenen Rändern und einem freien Rand

c) Wand vierseitig gehalten

d) Wand mit vier gehaltenen Rändern

Bild 12 Einfluss der Wandbreite auf die Halterung

ner zweiachsigen Tragwirkung erforderlich (siehe Bild 12 sowie Bild 18):

- $b' \leq 15 \cdot t$ bei dreiseitig gehaltenen Wänden
- $b \leq 30 \cdot t$ bei vierseitig gehaltenen Wänden

Die aussteifenden Wände müssen darüber hinaus folgende Anforderungen erfüllen (Bild 13):

- Wandlänge $l_w \geq 1/5 \cdot h$ (h = lichte Geschosshöhe)
- Mindestdicke der aussteifenden Wände 1/3 der Dicke der auszusteifenden Wand, mindestens aber 11,5 cm
- Im Bereich von Tür- und Fensteröffnungen gelten für die Länge der aussteifenden Wände die Bedingungen nach Bild 13 c, d

Sollen Wände durch Querwände ausgesteift werden, so darf nach DIN EN 1996-1-1/NA eine unverschiebliche Halterung nur dann angenommen werden, wenn die Wände aus Baustoffen gleichen Verformungsverhaltens bestehen und gleichzeitig im Verband hochgeführt werden. Anstelle des Verbandes zwischen Längs- und Querwand kann die zug- und druckfeste Verbindung durch andere Maßnahmen gesichert sein. Unter diesen anderen Maßnahmen ist z.B. der Wandanschluss in Stumpfstoßtechnik zu verstehen.

Stumpf gestoßene Wände sind als zweiseitig gehalten zu bemessen. Falls in Ausnahmefällen die auszusteifende Wand drei- oder vierseitig gehalten bemessen werden soll, ist die in Bild 14 angegebene Regelausführung zu beachten.

INFO

Grundsätzlich können alle Wandanschlüsse stumpf gestoßen werden. Es wird jedoch empfohlen, die Außenecken von Kelleraußenwänden – auch unter Annahme zweiseitiger Halterung – aus konstruktiven Gründen immer miteinander zu verzahnen. Alle übrigen Wandanschlüsse (auch Außenecken von Wänden ohne Erddruck) können stumpf gestoßen werden.

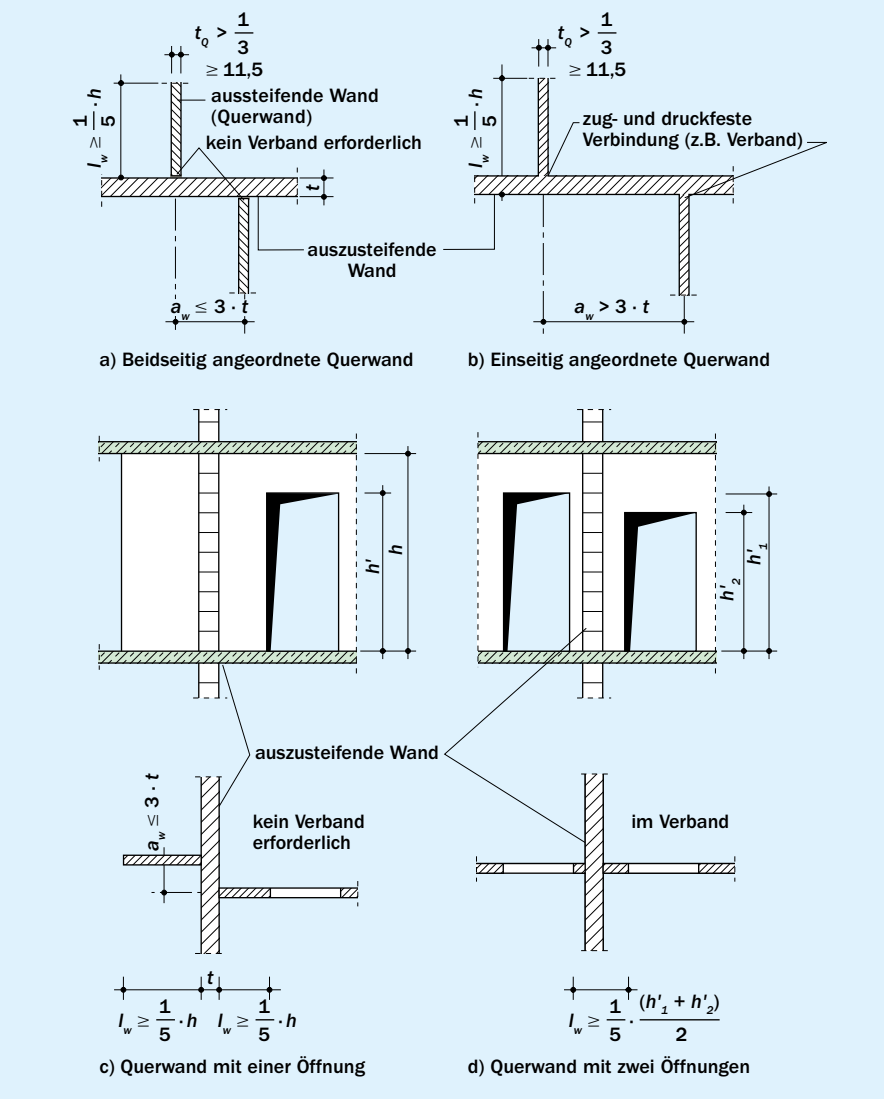
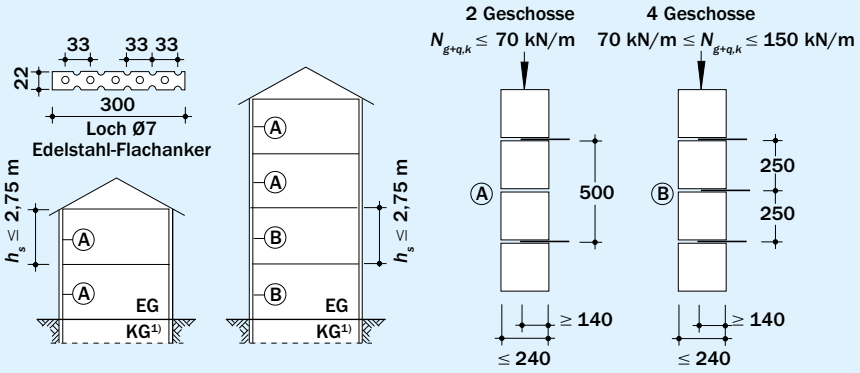


Bild 13 Bedingungen für aussteifende Wände

Es gilt: 1. Edelstahl-Flachanker 30 cm lang, Ankerdicke t = 0,75 mm.
2. Aus baupraktischen Gründen wird empfohlen, generell Edelstahl-Flachanker einzulegen. Die Anschlussfuge ist zu vermörteln.
3. Für den Bereich Ⓑ gilt: 1 Flachanker alle 25 cm entspricht 2 Ankern alle 50 cm.



¹⁾ Kelleraußenwandecken sind im Verband zu mauern.

Bild 14 KS-Stumpfstoßtechnik, Regelausführung bei Annahme einer drei- oder vierseitigen Halterung der tragenden Wand (Schichthöhe ≤ 25 cm)

5. Bemessung nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren in DIN EN 1996-3/NA:2012-01

5.1 Allgemeines und Anwendungsgrenzen

Grundlage jeder Tragwerksbemessung ist es, die Einwirkungen, die auf ein Bauwerk und seine Bauteile wirken, wirklichkeitsnah zu erfassen und deren sicheren Abtrag in den Baugrund nachzuweisen. Dabei ist je nach Beanspruchungsart der Wände zwischen Platten- und Scheibenbeanspruchung zu unterscheiden. Einwirkungen in Richtung der Wandebene erzeugen eine Scheibenbeanspruchung, wohingegen Einwirkungen quer zur Mittelfläche zu einer Plattenbeanspruchung führen (Bild 16).

Für die Bemessung von Mauerwerkswänden stehen im Eurocode 6 zwei Berechnungsverfahren zur Verfügung:

- das vereinfachte Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA [7],
- das genauere Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA [6].

Die Grundlagen beider Berechnungsverfahren sind identisch. Die gleichzeitige Verwendung in einem Gebäude ist zulässig.

Die Anwendung der genaueren Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA ist gegenüber den vereinfachten Berechnungsverfahren insbesondere in zwei Fällen zu empfehlen. Zum einen kann es angewendet werden, wenn die Randbedingungen zur Anwendung des vereinfachten Berechnungsverfahren nicht eingehalten sind, zum anderen können teilweise erheblich höhere rechnerische Tragfähigkeiten bei Biegebeanspruchung erzielt werden. Demgegenüber steht allerdings eine ggf. recht aufwändige Schnittgrößenermittlung, da sowohl die Berechnung der Knotenmomente als auch die rechnerische Berücksichtigung von Windlasten erforderlich ist.

Die vereinfachten Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA ermöglichen den statischen Nachweis eines Großteils aller im Mauerwerksbau auftretenden Problemstellungen auf der Basis von Bemessungsschnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit innerhalb kürzester Zeit und ohne großen Aufwand. Wesentlicher Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass die auf die Wand einwirkenden Biegebeanspruchungen aus Lastexzentrizität und Windeinwirkungen in stark vereinfachter Form bei der Bemessung Berücksichtigung finden, so dass auf die Ermittlung dieser Einwirkungen verzichtet werden kann. Im Gegensatz zur Vorgängernorm DIN 1053-1 darf dieses Verfahren nun auch bei nicht vollständig auf der Wand aufliegenden Deckenscheiben angewendet werden. In Sonderfällen kann ein detaillierterer Nachweis von Einzelbauteilen nach dem genaueren Verfahren erfolgen, obwohl die übrigen Bauteile mit den vereinfachten Berechnungsverfahren nachgewiesen werden.

Bei Einhaltung der Anwendungsgrenzen des vereinfachten Berechnungsverfahrens und der nachfolgend genannten Randbedingungen ist kein Nachweis ausreichender Querkrafttragfähigkeit erforderlich. DIN EN 1996-3/NA enthält daher auch keine Regelungen zum Querkraftnachweis.

Bei der Berechnung nach dem vereinfachten Verfahren werden folgende Näherungen getroffen:

- Auf einen rechnerischen Nachweis der Aussteifung des Gebäudes darf verzichtet werden, wenn die Geschossdecken als steife Scheiben ausgebildet sind bzw. statisch nachgewiesene, ausreichend steife Ringbalken vorliegen und wenn in Längs- und Querrichtung des Gebäudes eine offensichtlich ausreichende Anzahl von genügend langen aussteifenden Wänden vorhanden ist, die ohne größere Schwächungen und ohne Versprünge bis auf die Fundamente geführt werden. Bei Elementmauerwerk mit einem planmäßigen Überbindemaß $l_{ol} < 0{,}4 \cdot h_u$ ist bei einem Verzicht auf einen rechnerischen Nachweis der Aussteifung des Gebäudes die ggf. geringere Schubtragfähigkeit bei hohen Auflasten zu berücksichtigen. Die Entscheidung für oder gegen einen Aussteifungsnachweis obliegt dem planenden Ingenieur. Ist bei einem Bauwerk nicht von vornherein erkennbar, dass dessen Aussteifung gesichert ist, so ist ein rechnerischer Nachweis der Biege- und Querkrafttragfähigkeit der zugehörigen Bauteile in Scheibenrichtung nach dem genaueren Verfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA zu führen. Gegebenenfalls ist hierbei auch ein Nachweis der kombinierten Beanspruchung zu führen. Der Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit darf aber trotzdem nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren geführt werden.
- Der Einfluss von Windlasten senkrecht zur Wandebene von tragenden Wänden kann vernachlässigt werden, wenn eine ausreichende horizontale Halterung am Wandkopf und -fuß gegeben ist.
- Bestimmte Beanspruchungen, z.B. Biegemomente aus Deckeneinspannungen, ungewollte Ausmitten beim Knicknachweis, Wind auf tragende Wände sind nicht gesondert nachzuweisen, sondern sind durch den Sicherheitsabstand, der dem Berechnungsverfahren zugrunde liegt, oder durch konstruktive Regeln und Grenzen abgedeckt. Voraussetzung: Es treten in halber Geschosshöhe der Wand nur Biegemomente aus der Deckeneinspannung oder -auflagerung und aus Windlasten auf.
- Greifen abweichend von den vorherigen Randbedingungen an tragenden Wänden größere horizontale Lasten an, so ist der Nachweis nach DIN EN 1996-1-1/NA mit dem genaueren Berechnungsverfahren zu führen.
- Ein Versatz der Wandachsen infolge einer Änderung der Wanddicken gilt dann nicht als größere Ausmitte, wenn der Querschnitt der dickeren tragenden Wand den Querschnitt der dünneren tragenden Wand umschreibt.

Aufgrund der genannten Randbedingungen ist die Anwendung des vereinfachten Verfahrens nur unter bestimmten Voraussetzungen zulässig. Die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens sind:

- Die Anwendungsgrenzen nach Tafel 21 sind eingehalten (siehe auch Bild 15).
- Gebäudehöhe über Gelände $h_m \leq 20$ m; Diese Einschränkung ist erforderlich, um im Normalfall auf genauere Nachweise zur Gebäudeaussteifung verzichten zu können. Als

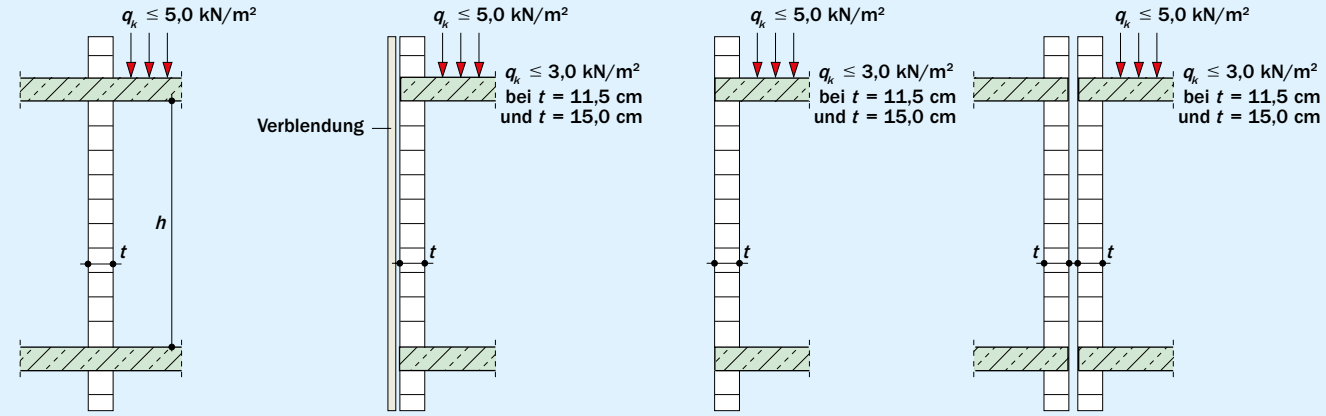
Gebäudehöhe darf bei geneigten Dächern das Mittel von First- und Traufhöhe gelten.

- Stützweite der Decke $l_f \leq 6{,}0$ m, sofern die Biegemomente aus dem Deckendrehwinkel nicht durch konstruktive Maßnahmen, z.B. Zentrierleisten, begrenzt werden; Bei größeren Stützweiten treten infolge der Einspannung der Decken in die Wände erhöhte Kantenpressungen gegenüber einer zentrischen Belastung auf, die über die zulässigen Spannungen nicht mehr abgedeckt sind. Bei zweiachsig gespannten Decken ist für die Länge l_f die kürzere der beiden Stützweiten anzusetzen.
- Das Überbindemaß l_{ol} nach DIN EN 1996-1-1 muss mindestens $0{,}4 \cdot h_u$ und mindestens 45 mm betragen. Nur bei Elementmauerwerk darf das Überbindemaß l_{ol} auch $0{,}2 \cdot h_u$, mindestens aber 125 mm betragen.
- Die Deckenauflagertiefe a muss mindestens die halbe Wanddicke ($t/2$), jedoch mehr als 100 mm betragen. Bei einer Wanddicke $t \geq 365$ mm darf die Mindestdeckenauflagertiefe auf $0{,}45 \cdot t$ reduziert werden.
- Für den Nachweis von Kellerwänden gelten die Voraussetzungen nach Abschnitt 7.1.
- Freistehende Wände sind nach DIN EN 1996-1-1/NA nachzuweisen.

Tafel 21 Anwendungsgrenzen für das vereinfachte Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA

	Bauteil	Voraussetzungen			
		Wanddicke t [mm]	Lichte Wandhöhe h [m]	Aufliegende Decke: Stützweite l_f [m]	Aufliegende Decke: Nutzlast[1] q_k [kN/m²]
1	Tragende Innenwände	≥ 115 < 240	≤ 2,75	≤ 6,00	≤ 5
2		≥ 240	–		
3	Tragende Außenwände und zweischalige Haustrennwände	≥ 115[2] < 150[2]	≤ 2,75	≤ 6,00	≤ 3
4		≥ 150 < 175			
5		≥ 175 < 240			≤ 5
6		≥ 240	≤ 12 · t		

[1] Einschließlich Zuschlag für nicht tragende innere Trennwände
[2] Als einschalige Außenwand nur bei eingeschossigen Garagen und vergleichbaren Bauwerken, die nicht zum dauernden Aufenthalt von Menschen vorgesehen sind;
als Tragschale zweischaliger Außenwände und bei zweischaligen Haustrennwänden bis maximal zwei Vollgeschosse zuzüglich ausgebautes Dachgeschoss; aussteifende Querwände im Abstand ≤ 4,50 m bzw. Randabstand von einer Öffnung ≤ 2,0 m



a) Innenwände

t = 11,5 cm; $h \leq 2{,}75$ m
t = 15,0 cm; $h \leq 2{,}75$ m
t = 17,5 cm; $h \leq 2{,}75$ m
$t \geq 24{,}0$ cm; h keine Einschränkung

b) Tragschale von zweischaligen Außenwänden

t = 11,5 cm; $h \leq 2{,}75$ m
Bei t = 11,5 cm sind Querwände erforderlich und die Geschosszahl ist begrenzt.
$t \geq 15{,}0$ cm; $h \leq 2{,}75$ m
$t \geq 24{,}0$ cm; $h \leq 12 \cdot t$

c) Einschalige Außenwände

t = 11,5 cm; $h \leq 2{,}75$ m
Nur bei eingeschossigen Garagen und vergleichbaren Gebäuden (kein dauernder Aufenthalt von Menschen)
$t \geq 15{,}0$ cm; $h \leq 2{,}75$ m
$t \geq 24{,}0$ cm; $h \leq 12 \cdot t$

d) Zweischalige Haustrennwände

t = 11,5 cm; $h \leq 2{,}75$ m
Bei t = 11,5 cm sind Querwände erforderlich und die Geschosszahl ist begrenzt.
$t \geq 15{,}0$ cm; $h \leq 2{,}75$ m
$t \geq 24{,}0$ cm; $h \leq 12 \cdot t$

Erweiterte Wandhöhen für Kalksandsteine nach [16]

$t \geq 11{,}5$ cm; $h \leq 3{,}60$ m

t = 15,0 cm; $h \leq 2{,}90$ m/3,60 m[1]
$t \geq 17{,}5$ cm; $h \leq 3{,}00$ m/3,60 m[1]

t = 15,0 cm; $h \leq 2{,}90$ m/3,60 m[1]
$t \geq 17{,}5$ cm; $h \leq 3{,}00$ m/3,60 m[1]

t = 15,0 cm; $h \leq 2{,}90$ m/3,60 m[1]
$t \geq 17{,}5$ cm; $h \leq 3{,}00$ m/3,60 m[1]

Grundsätzlich gelten darüber hinaus die Einschränkungen bezüglich der Gebäudehöhe, der Deckenstützweiten und der Schlankheit.

[1] Details siehe Tafel 22

Bild 15 Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Berechnungsverfahrens gemäß DIN EN 1996-3/NA [7]

Der übliche Mauerwerksbau im Hochbau wird in aller Regel innerhalb des genannten Anwendungsbereichs des vereinfachten Berechnungsverfahrens liegen.

Es gelten darüber hinaus die Einschränkungen bezüglich der Gebäudehöhe, der Deckenstützweite und der Schlankheit (siehe Abschnitt 5.2).

5.2 Erweiterung der Anwendungsgrenzen für größere Wandhöhen

Geänderte Anforderungen an moderne Wohngebäude mit Wänden aus Kalksandstein-Mauerwerk führen heutzutage häufig zu Wandhöhen ≥ 2,75 m. Eine Bemessung nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA [7] ist dann entsprechend Tafel 21 nicht mehr möglich. Die Wände wären damit nach dem genaueren Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA [6] zu bemessen, was einen erheblich höheren Aufwand für den Tragwerksplaner bedeutet. Daher wurden in einem Forschungsvorhaben [16] die Anwendungsgrenzen des vereinfachten Berechnungsverfahrens nach DIN EN 1996-3/NA untersucht. Mittels einer systematisch durchgeführten Parameterstudie konnte gezeigt werden, dass für Kalksandsteinwände im Regelgeschoss unter praxisüblichen Randbedingungen und Eingangsparametern eine Bemessung nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren auch bei größeren Wandhöhen gegenüber den Ergebnissen nach dem genaueren Berechnungsverfahren auf der sicheren Seite liegt. Wenn die Bemessung mit dem stark vereinfachten Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA Anhang A mit den normativ definierten zusätzlichen Anwendungsgrenzen erfolgt, können die Forschungsergebnisse unverändert auch auf das stark vereinfachte Nachweisverfahren übertragen werden.

Außenwände mit mittleren bis hohen charakteristischen Druckfestigkeiten können demnach zukünftig bei Wandhöhen von bis zu 3,60 m auch nach dem vereinfachten und dem stark vereinfachten Nachweisverfahren bemessen werden. Innenwände können im Rahmen der untersuchten Randbedingungen generell mit einer lichten Wandhöhe bis zu 3,60 m vereinfacht nachgewiesen werden. Die maximalen lichten Wandhöhen für die Berechnung nach dem vereinfachten und stark vereinfachten Nachweisverfahren sind Tafel 22 zu entnehmen.

Als statische Systeme für die Decken wurden jeweils Einfeld- und Durchlaufträgersysteme im Regelgeschoss überprüft. Es wurden keine Beanspruchungen in Scheibenrichtung und nur die für das vereinfachte Berechnungsverfahren zulässigen Horizontallasten untersucht.

Neben den Anwendungsgrenzen und Randbedingungen nach Eurocode 6 wurde die maximal zulässige Verformung der Stahlbetondecke im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) nach DIN EN 1992-1-1/NA berücksichtigt. Die Begrenzung der Biegeschlankheit l_f/d der Stahlbetonbauteile limitiert in Abhängigkeit der statischen Nutzhöhe d der Decke und damit der Deckendicke h die maximale Deckenspannweite l_f. Die daraus resultierenden maximalen Deckenspannweiten wurden für die Vergleichsberechnungen der beiden Nachweisverfahren angesetzt.

Des Weiteren wurden voll aufliegende ($a/t = 1{,}0$), mindestens 16 cm dicke Stahlbetondecken (Festigkeitsklasse ≥ C20/25) mit Fußbodenaufbauten $\Delta_{gk} \leq 1{,}50$ kN/m² zugrunde gelegt. Die teilweise Einspannung der Wand in die Decke ist auf der sicheren Seite liegend mit $M = 1/16 \cdot w_d \cdot h^2$ berücksichtigt, wobei der charakteristische Wert des Winddrucks bzw. -sogs mit einem aerodynamischen Außendruckbeiwert von $c_{pe,10} = 0{,}8$ ermittelt wurde. Damit werden die Druckbereiche B, C, D und E abgedeckt. Der Bereich A mit erhöhtem aerodynamischem Außendruckbeiwert liegt an den Wandecken im Bereich von haltenden Querwänden und ist damit nicht bemessungsrelevant. Auf den Ansatz von Kombinationsbeiwerten bei der Ermittlung der Einwirkungen wurde auf der sicheren Seite liegend verzichtet.

5.3 Knicklänge und Schlankheit

Für den Knicksicherheitsnachweis von Druckstäben ist es im Allgemeinen üblich, die Lagerungsbedingungen an den Stabenden über die Knicklänge h_{ef} zu erfassen und damit das Knickproblem auf den so genannten Eulerfall II des gelenkig gelagerten Ersatzstabes zurückzuführen. Dieses Prinzip lässt sich auch auf mehrseitig gehaltene Wände übertragen. Da im Mauerwerksbau das Ausknicken der Wände im Allgemeinen nur zwischen den Geschossdecken erfolgen kann, genügt es, dem Knicksicherheitsnachweis die lichte Geschosshöhe h zwischen den Decken zugrunde zu legen.

Tafel 22 **Erweiterte Anwendungsgrenzen (lichte Wandhöhe im Regelgeschoss) für Kalksandsteine im vereinfachten Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA**

Bauteil	Steinfestigkeitsklasse Mörtelart	Wanddicke t [mm]	Lichte Wandhöhe h [m]
Tragende Innenwände	≥ 12 Normalmauermörtel Dünnbettmörtel	≥ 115	≤ 3,60
Tragende Außenwände und zweischalige Haustrennwände	≥ 12 Normalmauermörtel	≥ 175	≤ 3,00 [1)]
	≥ 12 Dünnbettmörtel	≥ 150	≤ 2,90 [1)]
	KS XL, KS XL-E, KS P ≥ 20 Dünnbettmörtel	≥ 150	≤ 3,60

[1)] In den Windzonen 1, 2 und 3 (Binnenland) auch bis $h \leq 3{,}60$ m
Randbedingungen: Stahlbetondecke ≥ C20/25 voll aufliegend, Deckendicke ≥ 16 cm

Bei zweiseitig gehaltenen Wänden beträgt die Knicklänge im Regelfall:

$$h_{ef} = \rho_2 \cdot h \qquad (5.1)$$

mit
h_{ef} Knicklänge
h Lichte Geschosshöhe
ρ_2 Abminderungsbeiwert nach Tafel 23

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t} \text{ Schlankheit} \qquad (5.2)$$

Bei flächig aufgelagerten massiven Plattendecken oder Rippendecken nach DIN EN 1992-1/NA mit lastverteilenden Balken und falls keine größeren horizontalen Lasten als die planmäßigen Windlasten rechtwinklig auf die Wände wirken, darf bei zweiseitig gehaltenen Wänden die Einspannung der Wand in den Decken durch eine Abminderung der Knicklänge berücksichtigt werden. Als flächig aufgelagerte Massivdecken in diesem Sinn gelten auch Stahlbetonbalken- und Rippendecken nach DIN EN 1992-1/NA mit Zwischenbauteilen, bei denen die Auflagerung durch Randbalken erfolgt (Bild 17).

Bei Wänden, die nur oben und unten (z.B. durch Ringbalken mit ausreichender Steifigkeit oder Holzbalkendecken) horizontal gehalten und durch die Decken oder das Dach nicht eingespannt sind, gilt $\rho_2 = 1{,}0$.

Die Berechnung der Knicklänge von drei- und vierseitig gehaltenen Wänden kann mit Hilfe der Gleichungen (5.3), (5.4) und (5.5) erfolgen. Überschreitet der Abstand der aussteifenden Wände den zulässigen Grenzwert (b bzw. b'), muss die Wand als rechnerisch zweiseitig gehalten angenommen werden (Bild 12 und Bild 18). Für großformatige Kalksandsteine mit reduzierten Überbindemaßen ($l_{ol} < 0{,}4 \cdot h_u$) sind die Knicklängen unter Berücksichtigung der Anpassungsfaktoren α_3, α_4 nach Tafel 24 zu berechnen. Für klein-, mittel- und großformatiges Mauerwerk mit einem planmäßigen Überbindemaß $l_{ol}/h_u \geq 0{,}4$ dürfen die Anpassungsfaktoren $\alpha_3 = \alpha_4 = 1{,}0$ angesetzt werden.

Für dreiseitig gehaltene Wände gilt:

$$h_{ef} = \frac{1}{1 + \left(\alpha_3 \cdot \frac{\rho_2 \cdot h}{3 \cdot b'}\right)^2} \cdot \rho_2 \cdot h \geq 0{,}3 \cdot h \qquad (5.3)$$

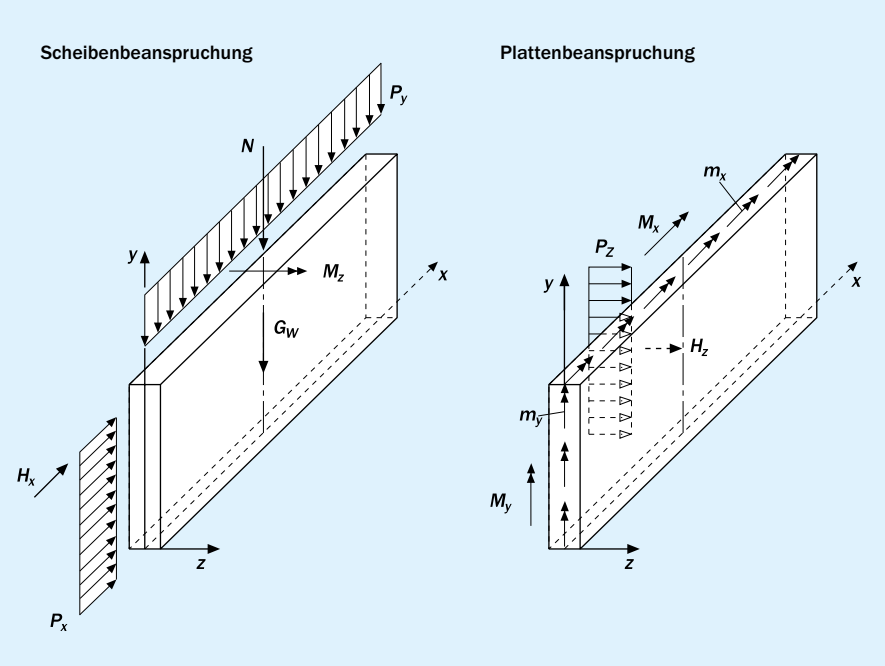


Bild 16 Beanspruchung von Mauerwerkswänden

Tafel 23 Knicklängenbeiwert ρ_2 zur Ermittlung der Knicklänge h_{ef} für zweiseitig gehaltene Wände im vereinfachten Berechnungsverfahren

Wanddicke t [cm]	Knicklängenbeiwert ρ_2 [–]	Erforderliche Mindestauflagertiefe der Decke a [cm]
≤ 17,5	0,75	$a = t$
17,5 < t < 24	0,90	$a = t$
24 ≤ t ≤ 25	0,90	$a \geq 17{,}5$
> 25	1,00	–

Tafel 24 Anpassungsfaktoren α_3 und α_4 zur Abschätzung der Knicklänge von Wänden aus Elementmauerwerk mit einem Überbindemaß $0{,}2 \leq l_{ol}/h_u < 0{,}4$

Elementgeometrie h_u/l_u	0,5	0,625	1,0	2,0
Dreiseitige Halterung α_3	1,0	0,90	0,83	0,75
Vierseitige Halterung α_4	1,0	0,75	0,67	0,60

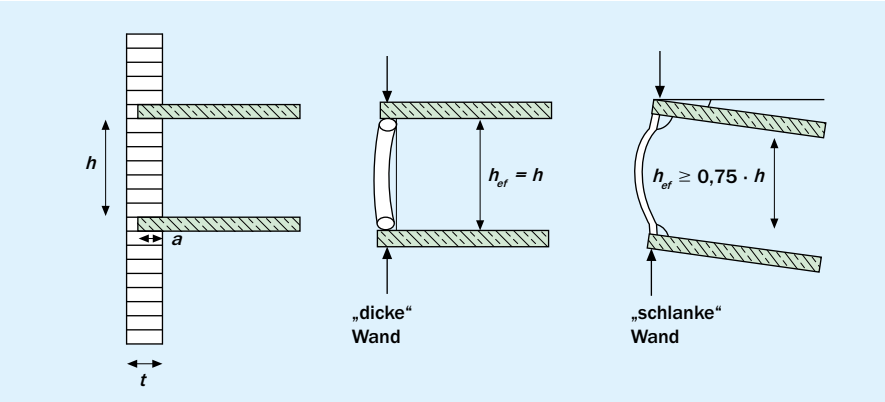
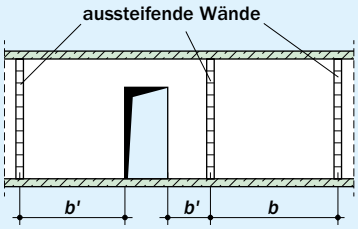


Bild 17 Einspannung von Geschossdecken und deren Auswirkung auf die Knicklänge



dreiseitig gehalten: $b' \leq 15 \cdot t$
vierseitig gehalten: $b \leq 30 \cdot t$
(siehe auch: Bild 12)

Bild 18 Abstände der aussteifenden Wände bei drei- und vierseitig gehaltenen Wänden

Für vierseitig gehaltene Wände gilt:

Für $\alpha_4 \cdot \frac{h}{b} \leq 1$

$$h_{ef} = \frac{1}{1 + \left(\alpha_4 \cdot \frac{\rho_2 \cdot h}{b}\right)^2} \cdot \rho_2 \cdot h \qquad (5.4)$$

Für $\alpha_4 \cdot \frac{h}{b} > 1$

$$h_{ef} = \alpha_4 \cdot \frac{b}{2} \qquad (5.5)$$

mit

b, b' Abstand des freien Randes von der Mitte der aussteifenden Wand bzw. Mittenabstand der aussteifenden Wand nach Bild 18. Ist die Wand im Bereich des mittleren Drittels der Wandhöhe durch vertikale Schlitze der Aussparungen geschwächt, so ist für t die Restwanddicke einzusetzen oder ein freier Rand anzunehmen. Unabhängig von der Lage eines vertikalen Schlitzes oder einer Aussparung ist an ihrer Stelle ein freier Rand anzunehmen, wenn die Restwanddicke kleiner als die halbe Wanddicke oder kleiner als 115 mm ist.

α_3, α_4 Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung von verminderten Überbindemaßen

ρ_2 Abminderungsbeiwert nach Tafel 23

5.4 Nachweisformat und Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft

Die Tragfähigkeit von Wänden mit zentrischer und exzentrischer (vertikaler) Druckbeanspruchung gilt nach DIN EN 1996-3/NA als nachgewiesen, wenn die einwirkende Bemessungsnormalkraft N_{Ed} den Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft N_{Rd} nicht überschreitet:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \qquad (5.6)$$

Vereinfachend genügt es, die maximale innerhalb der Wand auftretende Normalkraft N_{Ed}, der kleinsten aufnehmbaren N_{Rd} gegenüberzustellen. Die Ausnutzung der Wand kann jedoch erhöht werden, wenn der Nachweis an der jeweiligen Bemessungsstelle (Wandkopf, Wandmitte, Wandfuß) mit der jeweiligen einwirkenden Normalkraft N_{Ed} sowie dem zugehörigen Traglastfaktor Φ geführt wird. Die Ermittlung der Bemessungsnormalkraft N_{Ed} erfolgt unter Berücksichtigung der Einwirkungen und des Sicherheitskonzepts. Im Allgemeinen genügt der Ansatz:

$$N_{Ed} = 1{,}35 \cdot \Sigma N_{Gk} + 1{,}5 \cdot \Sigma N_{Qk} \qquad (5.7)$$

Noch weiter vereinfachend darf in Hochbauten mit Decken aus Stahlbeton, die mit charakteristischen Nutzlasten von maximal 3,0 kN/m² belastet sind, angesetzt werden:

$$N_{Ed} = 1{,}4 \cdot (N_{Gk} + N_{Qk}) \qquad (5.8)$$

5.5 Ermittlung des Tragwiderstandes (Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft)

5.5.1 Allgemeines

Der Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft N_{Rd} wird auf Grundlage eines rechteckigen Spannungsblocks ermittelt, dessen Schwerpunkt mit dem Angriffspunkt der Lastresultierenden übereinstimmt. Die Abminderung der Traglast infolge Knicken und/oder Lastexzentrizitäten erfolgt dabei über den Traglastfaktor Φ:

$$N_{Rd} = \Phi \cdot A \cdot f_d \qquad (5.9)$$

mit

f_d Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks nach Abschnitt 2.4.
Bei Wandquerschnitten ≤ 0,1 m², ist die Bemessungsdruckfestigkeit des Mauerwerks f_d mit dem Faktor 0,8 zu verringern. Dies berücksichtigt den Einfluss von Fehlstellen bzw. Steinen geringerer Festigkeit, die für den Nachweis gemauerter Pfeiler (wegen des fehlenden Lastumlagerungspotenzials) eine größere Auswirkung haben als bei der Bemessung von Wandquerschnitten.

A Bruttoquerschnittsfläche eines Wandabschnittes

Φ Traglastfaktor nach Abschnitt 5.5.2 oder 5.5.3

Bei zentrisch belasteten Wänden und Pfeilern liegt im Regelfall keine planmäßige Exzentrizität infolge von Beanspruchungen um die starke Achse vor, wie dies z.B. bei Windscheiben und/oder Wänden der Fall ist, die als Auflager von Unterzügen dienen. Die vorhandenen Exzentrizitäten um die schwache Achse, z.B. durch Deckeneinspannungen und Verformungen nach Theorie II. Ordnung, werden – solange man die Anwendungsgrenzen des vereinfachten Berechnungsverfahrens einhält – durch den Traglastfaktor erfasst.

Der Eurocode 6 sieht im vereinfachten Berechnungsverfahren zwei Möglichkeiten vor, den Traglastfaktor zu bestimmen.

5.5.2 Traglastfaktor nach DIN EN 1996-3/NA, Anhang A (stark vereinfachte Ermittlung)

In DIN EN 1996-3/NA ist in Anhang A ein stark vereinfachtes Berechnungsverfahren für unbewehrte Mauerwerkswände bei Gebäuden mit höchstens drei Geschossen geregelt. Für den Traglastfaktor Φ (dort c_A genannt) gilt für Mauerwerk mit Druckfestigkeiten $f_k \geq 1{,}8$ N/mm² bei *voll aufliegender* Decke:

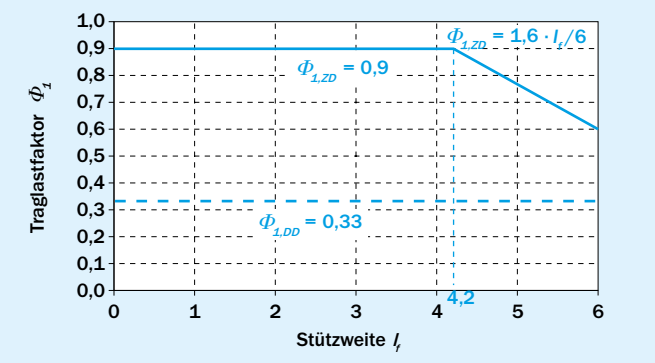


Bild 19 Traglastfaktor Φ_1 für Zwischendecken (ZD) und Dachdecken (DD) in Abhängigkeit von der Deckenstützweite l_f (gilt für $f_k \geq 1{,}8$ N/mm² und $a/t = 1{,}0$)

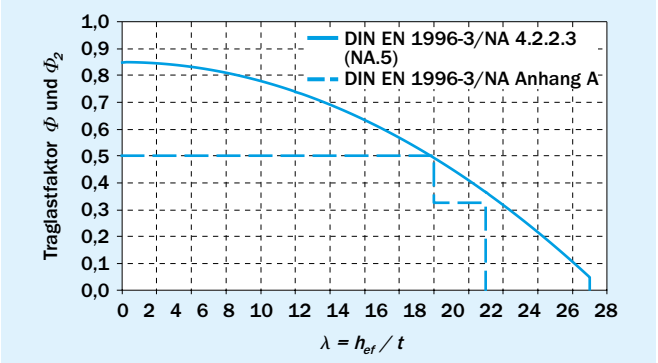


Bild 20 Traglastfaktor Φ_2 (nach Abschnitt 5.5.3) im Vergleich zu dem Traglastfaktor Φ (nach Abschnitt 5.5.2) bei vollaufliegender Decke

Φ = 0,50 für $\lambda \leq 18$
Φ = 0,40 für $\lambda \leq 18$ und $f_k < 1{,}8$ N/mm² und $l_f > 5{,}5$ m
= 0,33 für $18 < \lambda \leq 21$ und für Decken mit geringen Lasten, insbesondere Dachdecken

Zusätzlich zu den Bedingungen nach Abschnitt 5.1 gelten bei Anwendung des stark vereinfachten Verfahrens folgende weitere Anwendungsbedingungen:

- Die Wände sind rechtwinklig zur Wandebene *in horizontaler Richtung gehalten,* und zwar entweder durch die Decken und das Dach oder durch geeignete Konstruktionen, z.B. Ringbalken mit ausreichender Steifigkeit.
- Die kleinste Gebäudeabmessung im Grundriss beträgt mindestens 1/3 der Gebäudehöhe.
- Die lichte Geschosshöhe ist nicht größer als 3,0 m. (Diese Bedingung ist im Regelfall durch die Allgemeinen Anwendungsgrenzen nach Tafel 21 ohnehin eingehalten. Nur bei Außenwänden mit $t \geq 24$ cm ist die Geschosshöhe zusätzlich zu überprüfen.)

5.5.3 Traglastfaktor nach DIN EN 1996-3/NA 4.2.2.3

Kann der Nachweis mit der stark vereinfachten Ermittlung des Traglastfaktors nicht erbracht werden, ist die weitgehend an DIN 1053-1 bzw. -100 angelehnte vereinfachte Ermittlung nach DIN EN 1996-3/NA, 4.2.2.3 anzuwenden. Der maßgebende Wert für den Traglastfaktor Φ bei annähernd gleicher Normalkraftbeanspruchung über die Wandhöhe ergibt sich für die Wandbemessung aus dem kleineren der beiden Traglastfaktoren Φ_1 und Φ_2. Eine gleichzeitige Berücksichtigung von Φ_1 und Φ_2 ist aufgrund der unterschiedlichen Nachweisstellen (Wandmitte, Wandkopf/-fuß) nicht erforderlich.

$$\Phi = \min(\Phi_1; \Phi_2) \qquad (5.10)$$

a) Traglastfaktor Φ_1 zur Berücksichtigung des Einflusses der Deckenverdrehung

Bei der Bestimmung der aufnehmbaren Normalkraft wird im vereinfachten Berechnungsverfahren von einem annähernd zentrischen Lastangriff am Wandkopf ausgegangen. Der Traglastfaktor Φ_1 berücksichtigt eine exzentrische Lasteinleitung infolge einer Deckenverformung bei Endauflagern auf Außen- oder Innenwänden und wird in Abhängigkeit von der Deckenstützweite l_f und der charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeit f_k berechnet. Bei teilweise aufliegenden Decken wird die Exzentrizität der Auflast ebenfalls über den Traglastfaktor erfasst.

Für $f_k \geq 1{,}8$ N/mm² gilt:

$$\Phi_1 = 1{,}6 - \frac{l_f}{6} \leq 0{,}9 \cdot \frac{a}{t} \qquad (5.11)$$

mit
l_f Stützweite der Decke, bei zweiachsig gespannten Decken ist l_f die kürzere der beiden Stützweiten
a/t Verhältnis von Deckenauflagertiefe zur Dicke der Wand; bei KS-Mauerwerk mit voll aufliegender Decke ist $a/t = 1{,}0$

Bei Decken über dem obersten Geschoss (Dachdecken) mit geringen Auflasten gilt $\Phi_1 = 0{,}333$.

Wird die Traglastminderung infolge Deckenverdrehung durch konstruktive Maßnahmen, z.B. Zentrierleisten mittig unter dem Deckenauflager, vermieden, so gilt unabhängig von der Deckenstützweite $\Phi_1 = 0{,}9 \cdot a/t$ bei teilweise aufliegender Deckenplatte und $\Phi_1 = 0{,}9$ bei voll aufliegender Deckenplatte.

Den Verlauf der Traglastminderung von Mauerwerkswänden in Abhängigkeit der Deckenstützweite für Decken in einem Zwischengeschoss zeigt Bild 19.

b) Traglastfaktor Φ_2 zur Berücksichtigung des Einflusses der Wandschlankheit

Der Traglastfaktor Φ_2 dient zur Berücksichtigung des Schlankheitseinflusses (Momente nach Theorie II. Ordnung) auf die Tragfähigkeit der Wand. Er wird ermittelt mit:

$$\Phi_2 = 0{,}85 \cdot \left(\frac{a}{t}\right) - 0{,}0011 \cdot \left(\frac{h_{ef}}{t}\right)^2 \qquad (5.12)$$

Eine sehr wichtige Voraussetzung bei Anwendung des Traglastfaktors Φ_2 ist, dass in halber Geschosshöhe nur Biegemomente aus Knotenmomenten infolge Deckeneinspannung und aus Windlasten vorhanden sind. Greifen größere horizontale Lasten (z.B. infolge Fahrzeuganprall oder Menschengedränge) an

oder werden vertikale Lasten am Wandkopf mit größerer planmäßiger Exzentrizität (um die schwache Achse) eingeleitet, ist der Knicksicherheitsnachweis mit dem genaueren Berechnungsverfahren zu führen.

Bild 20 zeigt den Verlauf der Traglastminderung von Mauerwerkswänden in Abhängigkeit der Schlankheit.

c) Tragfähigkeitstabellen für das vereinfachte Berechnungsverfahren

In Tafel 25 ist eine auf Grundlage des vereinfachten Berechnungsverfahrens ermittelte Tragfähigkeitstabelle angegeben. Mit Hilfe der Wanddicke t, der lichten Höhe h, der Deckenspannweite l_f sowie der Art der Deckenauflagerung kann dort ein Tafelwert abgelesen werden, mit welchen nach Gleichung (5.13) die zulässige aufnehmbare Normalkraft n_{Rd} in kN je lfd. m schnell und wirtschaftlich bestimmt werden kann.

Tafel 25 Tabellenwerte zur Berechnung der zulässigen Normalkraft n_{Rd} [kN/m] nach DIN EN 1996-3/NA – vereinfachtes Berechnungsverfahren

Lichte Wandhöhe [m]	Wanddicke t [cm]	Innenwand	Tabellenwerte zur Berechnung der zulässigen Normalkraft n_{Rd} [kN/m] = Tabellenwert · f_k [N/mm²]						
			Außenwand – Geschossdecke					Außenwand – Dachdecke	
			Vollaufliegende Decke a/t = 1,0				a/t = 2/3	a/t = 1,0	a/t = 2/3
			Deckenspannweite l_f [m]						
			≤ 4,50	5,00	5,50	6,00	≤ 6,00	≤ 6,00	≤ 6,00
$h \leq 2{,}50$	11,5	36	36				–[1]	21	–[1]
	15,0	57	57			51	21	28	21
	17,5	71	71		67	59	33	33	33
	20,0	80	80		77	68	44	37	37
	24,0	102	102		92	81	60	45	45
	30,0	131	131	130	116	102	82	56	56
	36,5	165	165	158	141	124	105	68	68
$h \leq 2{,}75$	11,5	32	32				–[1]	21	–[1]
	15,0	54	54			51	16	28	16
	17,5	69	69		67	59	28	33	28
	20,0	77	77		77	68	40	37	37
	24,0	99	99		92	81	56	45	45
	30,0	128	128		116	102	79	56	56
	36,5	162	162	158	141	124	103	68	68
$h \leq 3{,}00$	24,0	96	–[2]				–[2]	–[2]	–[2]
	30,0	125	125		116	102	76	56	56
	36,5	160	160	158	141	124	100	68	68
$h \leq 3{,}25$	24,0	93	–[2]				–[2]	–[2]	–[2]
	30,0	122	122		116	102	73	56	56
	36,5	157	157		141	124	97	68	68
$h \leq 3{,}50$	24,0	89	–[2]				–[2]	–[2]	–[2]
	30,0	119	119		116	102	69	56	56
	36,5	154	154		141	124	95	68	68
$h \leq 3{,}75$	24,0	86	–[2]				–[2]	–[2]	–[2]
	30,0	115	–[2]				–[2]	–[2]	–[2]
	36,5	151	151		141	124	92	68	68

Voraussetzungen zur Anwendung:
- Einhaltung der Anwendungsbedingungen des vereinfachten Berechnungsverfahrens nach DIN EN 1996-3/NA

Weitere Anwendungsbedingungen:
- Charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit $f_k \geq 1{,}8$ N/mm²
- Abminderung der Knicklänge durch flächenaufgelagerte Stahlbetondecken ist bereits integriert (Annahme: zweiseitige Halterung)

[1] Nicht zulässig, da Mindestauflagertiefe nicht eingehalten
[2] Nicht zulässig, da $h > 12 \cdot t$

$$n_{Rd}\left[\frac{\text{kN}}{\text{m}}\right] = \text{Tabellenwert} \cdot f_k \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right] \qquad (5.13)$$

mit

Tabellenwert Wert zur Berechnung der aufnehmbaren Normalkraft n_{Rd} je lfd. m nach Tafel 25

f_k Charakteristischer Wert der Mauerwerksdruckfestigkeit nach Abschnitt 3.2 in N/mm²

5.6 Nachweis der Mindestauflast

In DIN EN 1996-3 ist für windlastbeanspruchte Wände als zusätzliche Anwendungsbedingung ein Nachweis der Mindestwanddicke für tragendes Mauerwerk enthalten, der gemäß Nationalem Anhang in Deutschland nicht geführt werden muss. Stattdessen wird gemäß A2-Änderung zum Nationalen Anhang für Wände, die als Endauflager für Decken oder Dächer dienen und durch Wind beansprucht werden, ein ergänzender Nachweis in ähnlicher Form gefordert. Danach darf der Nachweis der Mindestauflast vereinfacht nach Gleichung (5.14) in Wandmittenhöhe erfolgen, sofern kein genauerer Nachweis erfolgt. Ist dieser Nachweis nicht erfüllt, können die betreffenden Wände bzw. Wandabschnitte auf der sicheren Seite liegend als nichttragende Außenwände bemessen und ausgeführt werden.

In üblichen Fällen wird der Nachweis wenn überhaupt nur bei parallel zu langen Wandabschnitten ohne Öffnungen spannenden Dachdecken mit entsprechend geringen Auflasten erforderlich, wobei dann üblicherweise eine Lasteinzugsbreite der Decke von 1 m angesetzt werden kann. Zudem bezieht sich der Nachweis auf zweiseitig oben und unten gehaltene Wände, so dass bei kraftschlüssig angeschlossenen Querwänden, insbesondere an den Gebäudeecken die Ableitung der Windlast ohnehin gegeben ist. Bei Pfeilern zwischen Fensteröffnungen ist der Nachweis durch die Lastkonzentration in der Regel ebenfalls immer erfüllt.

Soll der Nachweis zur Überprüfung trotzdem geführt werden, muss der charakteristische Wert der ständigen Einwirkungen N_{Gk} größer als die mit der rechten Gleichungsseite berechnete Mindestauflast sein. Beim Ansatz der ständigen Einwirkungen dürfen neben dem Eigengewicht der Stahlbeton-Dachdecke auch Attiken mit angesetzt werden. Der Nachweis ist zudem in Wandmittenhöhe zu führen, so dass das Eigengewicht der halben Wand – bei Kalksandstein-Mauerwerk in der Regel γ_{MW} = 14,0 kN/m³ – 20,0 kN/m³ – zuzüglich Putz ebenfalls angerechnet werden darf. Auch ständige Lasten des Dachaufbaus dürfen angesetzt werden.

Die nachfolgende vereinfachte Nachweisgleichung (5.14) wurde in Tafel 26 ausgewertet. Die minimal erforderliche Auflast n_{Gk} [kN/m] für verschiedene Wandhöhen und Wanddicken kann dort in Abhängigkeit der Windzone sowie der Gebäudehöhe H direkt abgelesen werden. Ausbaulast und Putz wurden hierbei zur Vereinfachung auf der sicheren Seite liegend nicht berücksichtigt.

Tafel 26 Minimal erforderliche Auflast [kN/m] in Abhängigkeit der Windlast sowie der Wanddicke nach DIN EN 1996-3/NA

Bei einer Gebäudehöhe H in den Grenzen von		Windlast[1] w_d	Minimal erforderliche Auflast [kN/m] bei einer Wandhöhe von h [m]					
			2,50			2,75		
$H \leq 10$ m	10 m < $H \leq$ 18 m	[kN/m²]	Wanddicke t [cm]			Wanddicke t [cm]		
			15,0	17,5	20,0	15,0	17,5	20,0
WZ 1 Binnenland	–	0,6	5,0	4,2	3,7	6,0	5,1	4,5
WZ 2 Binnenland	WZ 1 Binnenland	0,8	6,6	5,6	4,9	8,1	6,8	5,9
WZ 3 Binnenland; WZ 2 Küste und Inseln der Ostsee	WZ 2 Binnenland	1,0	8,3	7,0	6,1	10,1	8,6	7,4
WZ 4 Binnenland	WZ 3 Binnenland	1,1	9,1	7,7	6,7	11,1	9,4	8,2
–	WZ 2 Küste und Inseln der Ostsee	1,2	9,9	8,4	7,3	12,1	10,3	8,9
WZ 3 Küste und Inseln der Ostsee	–	1,3	10,8	9,1	7,9	13,1	11,1	9,7
–	WZ 4 Binnenland; WZ 3 Küste und Inseln der Ostsee	1,4	11,6	9,8	8,6	14,1	12,0	10,4
WZ 4 Küste Nord- und Ostsee und Inseln der Ostsee	–	1,5	12,4	10,5	9,2	15,1	12,8	11,1
WZ 4 Inseln der Nordsee	WZ 4 Küste Nord- und Ostsee und Inseln der Ostsee	1,7	14,1	12,0	10,4	17,1	14,5	12,6

[1] Die Bemessungswindlast w_d wurde mit einem Teilsicherheitsbeiwert für die Windlast von γ_Q = 1,5 sowie einem aerodynamischen Außendruckbeiwert von $c_{pe,10}$ = 0,8 ermittelt. Damit werden die Druckbereiche B, C, D und E abgedeckt. Der Bereich A mit erhöhtem aerodynamischem Außendruckbeiwert liegt in üblichen Fällen nur an den Wandecken im Bereich von haltenden Querwänden und ist für die Ermittlung der erforderlichen minimalen Auflast nicht bemessungsrelevant.

$$N_{Ed,min} = 1{,}0 \cdot N_{Gk} = 1{,}0 \cdot \left(N_{Gk,Decke} + \frac{h}{2} \cdot t \cdot l \cdot \gamma_{MW} \right) \geq \frac{3 \cdot w_k \cdot \gamma_Q \cdot h^2 \cdot l}{16 \cdot \left(a - \frac{h}{300} \right)} \quad (5.14)$$

mit

N_{Gk}	Charakteristischer Wert der ständigen Einwirkungen
$N_{Gk,Decke}$	Charakteristischer Wert der ständigen Einwirkungen am Wandkopf (z. B. aus der Dachdecke, Attika und ggf. Ausbaulasten)
h	Lichte Wandhöhe
γ_{MW}	Wichte des Mauerwerks
w_k	Charakteristische Windlast
γ_Q	Teilsicherheitsbeiwert für die veränderliche Einwirkung nach Tafel 12
l	Wandlänge
a	Deckenauflagertiefe (bei voll aufliegender Decke ist $a = t$ zu setzen)

Es kann gezeigt werden, dass der Nachweis bei Kalksandstein-Mauerwerk (Rohdichteklasse ≥ 1,4) in den Windzonen 1 und 2 im Binnenland und damit fast überall in Deutschland bei den üblichen Wanddicken $t \geq 17{,}5$ cm selbst im ungünstigsten Fall (Ansatz eines 1 m breiten Stahlbetondeckenstreifens ohne Berücksichtigung von Putz und Ausbaulasten) immer eingehalten ist. Auch bei Wanddicken von 15 cm mit einem spezifischen Wandgewicht von $\gamma_{MW} = 20$ kN/m³ (KS-Planelemente und Plansteine) ergibt sich bei einer Deckenauflast von 5,0 kN/m und einer Wandhöhe von 2,75 m die vorhandene Normalkraft in Wandhöhenmitte zu 9,1 kN/m, so dass der Nachweis auch hier selbst im ungünstigsten Fall in den Windzonen 1 und 2 in aller Regel erfüllt ist. Nur in den Windzonen 3 und 4 sowie in den Küstenbereichen und auf den Inseln ist ggf. ein zweiachsiger Lastabtrag der Decken mit entsprechend größeren Auflasten erforderlich, wenn lange Außenwandbereiche ohne Fensteröffnungen vorhanden sind und eine seitliche Halterung der Außenwand durch Querwände nicht gegeben ist.

5.7 Nachweis bei Querkraftbeanspruchung

Bei üblichen Hochbauten, welche den Anwendungsbereich des vereinfachten Verfahrens nach DIN EN 1996-3/NA erfüllen, ist ein Nachweis der Querkrafttragfähigkeit nicht erforderlich. Dies gilt sowohl für Außenwände unter Plattenschub, da die Aufnahme von Windeinwirkungen bei Gebäudehöhen ≤ 20 m konstruktiv abgedeckt ist, als auch für Mauerwerkswände unter Scheibenschub, welche der Gebäudeaussteifung dienen. Voraussetzung für den Entfall des rechnerischen Aussteifungsnachweises ist, dass sich der das Tragwerk planende Ingenieur davon überzeugt, dass für die Gebäudeaussteifung eine offensichtlich ausreichende Anzahl genügend langer Wandscheiben vorhanden ist. Bei Kellerwänden deckt der Nachweis der Biegetragfähigkeit auch den Nachweis gegen Plattenschub ab.

5.8. Einzellasten und Teilflächenpressung

Werden Wände und Pfeiler vertikal auf Druck beansprucht und erfolgt dabei die Einleitung der Belastung punktuell und nicht über den gesamten Wandquerschnitt verteilt, so kann man bei der Bemessung den günstigen Effekt des mehrachsigen Spannungszustandes über eine Erhöhung der zulässigen Teilflächenpressung in Rechnung stellen. Die Erhöhung der Tragfähigkeit gilt nur bei Mauerwerk aus Vollsteinen und ist bei Mauerwerk mit reduziertem Überbindemaß ($l_{ol} < 0{,}4 \cdot h_u$) nicht zulässig.

Bei der Verwendung von Mauerwerk aus Kalksandsteinen ist aufgrund der hohen Mauerwerksdruckfestigkeiten im Regelfall kein Nachweis der Teilflächenpressung erforderlich. Jedoch kann beim Einsatz von Zentrierleisten durch die konzentrierten Lasten eine Nachweisführung nach DIN EN 1996-1-1/NA erforderlich werden.



6. Bemessung von Aussteifungsscheiben nach dem genaueren Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05

Mit Hilfe des genaueren Berechnungsverfahrens ist gegenüber dem vereinfachten Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA auch nach Eurocode eine größere Ausnutzung der Tragfähigkeit von unbewehrtem Mauerwerk möglich, indem die Eigenschaften des Mauerwerks und das Tragverhalten der Konstruktion exakter erfasst werden. Das genauere Berechnungsverfahren darf für einzelne Bauteile ebenso angewendet werden, wie für einzelne Geschosse oder ganze Bauwerke. Es lassen sich größere Wandhöhen und schlankere Konstruktionen nachweisen. Es wird somit gegenüber dem vereinfachten Berechnungsverfahren den Forderungen nach Wirtschaftlichkeit durch mögliche Materialeinsparungen und Wohnflächenvergrößerungen besser gerecht. Im genaueren Berechnungsverfahren sind im Grenzzustand der Tragfähigkeit folgende Nachweise zu führen:

- Nachweis der Tragfähigkeit am Wand-Decken-Knoten unter Berücksichtigung eines realistischen Tragverhaltens im Einspannbereich des Wandkopfes oder Wandfußes
- Nachweis der Knicksicherheit in Wandmitte unter Berücksichtigung planmäßiger und unplanmäßiger Exzentrizitäten sowie Zusatzverformungen nach Theorie II. Ordnung
- Nachweis der Querkrafttragfähigkeit in Scheiben- und Plattenrichtung
- Nachweis der Teilflächenpressung (s. Abschnitt 7)



Bei Beanspruchung der Wand um die schwache Achse wird die Wandbemessung im Bereich von Wandkopf und Wandfuß als Regelbemessung bezeichnet. Für den Nachweis der Knicksicherheit in halber Geschosshöhe ist neben der planmäßigen und der ungewollten Ausmitte in halber Wandhöhe auch der Einfluss des Kriechens sowie der Verformungen nach Theorie II. Ordnung zu berücksichtigen. Für den Knicksicherheitsnachweis ist eine genauere Ermittlung der anzusetzenden Knicklänge h_{ef} in Abhängigkeit der Steifigkeit von Wand und Decke möglich. Grundsätzlich können die auftretenden Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung aber auch an einem Rahmensystem mit wirklichkeitsnahen Steifigkeiten ermittelt werden. Die Berechnung der Lastausmitten am Wand-Decken-Knoten sollte mit Hilfe einer geeigneten Modellbildung nach den anerkannten Regeln der Technik erfolgen. Der Einfluss der Deckenverdrehung auf die Ausmitte der Lasteintragung in die Wände ist dabei zu berücksichtigen.

Bei Beanspruchung der Wand um die starke Achse (Aussteifungsscheiben) können die Schnittkräfte nach DIN EN 1996-1-1/NA mit Hilfe zweier verschiedener Modelle ermittelt werden:

- Ermittlung der Schnittgrößen anhand eines Kragarmmodells mit Einspannebene in Höhe der Kellerdecke
- Ermittlung der Schnittgrößen unter Berücksichtigung von Rückstellkräften und Einspannwirkungen der Wandscheiben in die anschließenden Decken

Bei überwiegend in Wandlängsrichtung biegebeanspruchten Querschnitten, insbesondere bei Windscheiben, errechnet sich nach dem Kragarmmodell die einwirkende Exzentrizität aus dem Quotienten des Bemessungswerts des einwirkenden Momentes M_{Ewd} um die starke Achse und dem maßgebenden Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft N_{Ed}. Im Regelfall ist für den Nachweis der Mindestwert der einwirkenden Normalkraft ($N_{Ed} = 1{,}0 \cdot N_{Gk}$) bemessungsrelevant. Diese Verfahrensweise unterscheidet sich nur dahingehend gegenüber den Regelungen in DIN 1053-1, dass der Nachweis und damit die Schnittgrößenermittlung jetzt auf Bemessungswertniveau erfolgt. Nach DIN 1053-1 wurde die Bemessung oftmals auf Gebrauchslastniveau durchgeführt, was zu nicht konservativen Ergebnissen führte. Über die anzusetzenden Lastkombinationen hinaus gibt es hinsichtlich der Schnittgrößenermittlung keine Unterschiede, so dass an dieser Stelle auf eine Beschreibung der dem Kragarmmodell zugrunde liegenden Annahmen verzichtet wird. Bei der Bestimmung der Querkrafttragfähigkeit einer Mauerwerksscheibe nach DIN EN 1996-1-1/NA Anhang K.2 (1) kann für die Ermittlung der einwirkenden Schnittkräfte eine günstig wirkende Einspannung der Wandscheibe in die anschließenden Decken – mit den daraus resultierenden rückdrehenden Momenten an den Enden der Scheibe – berücksichtigt und die Wand geschossweise betrachtet werden.

Für den Nachweis der Querkrafttragfähigkeit gilt, dass der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft V_{Ed} kleiner oder gleich dem minimalen Bemessungswert des Querkrafttragwiderstandes V_{Rdlt} ist. Neben den Versagensarten Reibungs- und Steinzugversagen sind wegen der Erweiterung des Anwendungsbereichs auf verminderte Überbindemaße sowie Steine mit größerer Höhe als Länge zusätzlich noch die Versagensmodi Schubdruckversagen und Fugenversagen durch Klaffen der Lagerfugen zu berücksichtigen.

Im Falle der Anwendung des genaueren Berechnungsverfahrens nach DIN EN 1996-1-1/NA für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit gilt die Gebrauchstauglichkeit als erfüllt, wenn bestimmte Bedingungen unter Berücksichtigung eines linearelastischen Materialverhaltens eingehalten sind. Diese sind weiterführender Literatur zu entnehmen.

7. Bemessung von Kellerwänden und weiteren Bauteilen

7.1 Kelleraußenwände

7.1.1 Beanspruchung und Tragverhalten von Kellerwänden

Kellerwände tragen die vertikalen Lasten aus den Geschossdecken und den aufgehenden Wänden über die Fundamente in den Baugrund ab. Durch die Erdanschüttung ergibt sich zusätzlich eine horizontale Beanspruchung der Kelleraußenwände. Eine ungünstige Einwirkungskombination mit hohen Horizontallasten und geringen Vertikallasten tritt z.B. bei Einfamilienhäusern (wenn im Wohnzimmer des Erdgeschosses zur Terrasse hin große Fensterflächen angeordnet sind) oder bei leichten Fertighäusern auf. Ungünstige Verhältnisse entstehen vor allem im Bauzustand, wenn nach dem Betonieren der Geschossdecke bereits mit der Bodenverfüllung des Arbeitsraums begonnen wird.

Aufgrund der vielfach geringen Auflast und der kleinen Biegezugfestigkeit von Mauerwerk senkrecht zur Lagerfuge ist ein einachsiger Lastabtrag über Biegung mit Normalkraft bei Kellerwänden rechnerisch häufig nicht möglich. Das Tragverhalten von erddruckbelasteten Kellerwänden muss daher über eine Bogenwirkung modelliert werden. Zur Ausbildung eines in der Wand liegenden Druckbogens zwischen dem Fundament und der aufliegenden Geschossdecke muss dem Bogenschub eine hinreichende Auflast entgegenwirken. Gerade bei Kellerwänden mit geringen Auflasten und hoher Erdanschüttung kann diese Forderung maßgebend werden.

INFO

Das Verfüllen des Erdreiches an die Kelleraußenwand darf erst nach Fertigstellung der Kellerdecke und bei dem durch den Planer vorgegebenen Baufortschritt zur Gewährleistung der minimal erforderlichen Auflast auf die Kellerwand erfolgen. Beim Verfüllen sind Verdichtungsgeräte mit geringer Verdichtungsenergie zu verwenden. Es ist lagenweise zu verdichten oder es sind zusätzliche Abstützungen der Wand für den Bauzustand auszuführen.

Um die zur Sicherstellung der Bogentragwirkung erforderliche Auflast am Wandkopf zu reduzieren, kann z.B. die Dicke der Kellerwand erhöht und somit der Bogenstich vergrößert werden. Weitere konstruktive Maßnahmen zur Änderung des Lastabtragungssystems für Kelleraußenwände können Tafel 27 entnommen werden.

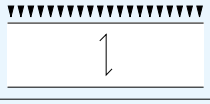
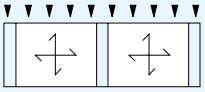
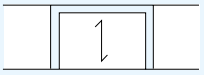
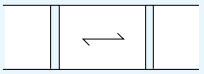
Erfolgt der Nachweis der Kellerwand vereinfacht nach DIN EN 1996-3/NA ist sicherzustellen, dass bei der Verfüllung und Verdichtung des Arbeitsraums nur nichtbindiger Boden nach DIN 1054 und nur Rüttelplatten oder Stampfer mit folgenden Eigenschaften nach DIN EN 1996-2/NA zum Einsatz kommen:

- Breite des Verdichtungsgerätes ≤ 50 cm
- Wirktiefe ≤ 35 cm
- Gewicht bis etwa 100 kg bzw. Zentrifugalkräfte bis max. 15 kN

Sind die vorgenannten Bedingungen nicht eingehalten, sind entsprechende Maßnahmen zur Gewährleistung der Standsicherheit während des Einbaus der Verfüllmassen zu ergreifen oder es ist ein gesonderter Nachweis unter Berücksichtigung höherer Verdichtungslasten zur führen. Weiterhin darf die Verfüllung des Arbeitsraums erst dann erfolgen, wenn sichergestellt ist, dass die in den rechnerischen Nachweisen angesetzten Auflasten vorhanden sind.

Zum Schutz der Mauerwerkswände gegen aufsteigende Feuchtigkeit sind waagerechte Abdichtungen unter den Wänden (Querschnittsabdichtungen) erforderlich. Neben den bahnenförmigen Querschnittsabdichtungen mit z.B. Bitumendachbahn R 500 (nach DIN EN 13969 in Verbindung mit DIN V 20000-202) können diese auch durch mineralische Dichtungsschlämmen (nach DIN 18195-2) oder durch Material mit mindestens gleichwertigem Reibungsverhalten hergestellt werden. Beide Abdichtungsarten müssen insbesondere bei Anordnung am Wandfuß die auftretenden Horizontalkräfte aus Erddruckbeanspruchung in der Wand sicher weiterleiten. Bei seitlich höher belasteten Wänden empfiehlt sich aufgrund des guten Haftscherverbundes die Anwendung von Dichtungsschlämmen.

Tafel 27 Lastabtragungssysteme bei Kellerwänden

Statisches System	Erforderliche Auflast am Wandkopf	Bemerkungen
1) 	Hoch	Einachsige, lotrechte Lastabtragung
2) 	Mittel	Zweiachsige Lastabtragung (nur bei $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot h_u$)
3) 	Keine	Lotrechte Lastabtragung über Gewölbewirkung in Zugglieder
4) 	Keine	Horizontale Lastabtragung über Gewölbewirkung; Gewölbeschub an Endstützen beachten; die um ca. 1/3 reduzierte Druckfestigkeit von Loch- und Hohlblocksteinen in Richtung der Steinlänge bzw. -breite ist zu beachten; Stoßfugenvermörtelung erforderlich.

7.1.2 Bemessung von Kelleraußenwänden

Nach DIN EN 1996-3/NA darf die Bemessung von Kelleraußenwänden unter Erddruck nach einem vereinfachten Verfahren erfolgen wenn nachstehende Randbedingungen eingehalten sind [17] (Bild 21):

- Wanddicke $t \geq 24$ cm
- Lichte Höhe der Kellerwand $h \leq 2{,}60$ m

- Die Kellerdecke wirkt als Scheibe und kann die aus dem Erddruck resultierenden Kräfte aufnehmen.
- Im Einflussbereich des Erddrucks auf die Kellerwand beträgt der charakteristische Wert q_k der Verkehrslast auf der Geländeoberfläche nicht mehr als 5 kN/m² und es ist keine Einzellast > 15 kN im Abstand von weniger als 1,5 m zur Wand vorhanden.
- Die Anschütthöhe h_e darf höchstens 1,15 · h betragen.
- Die Geländeoberfläche steigt nicht an.
- Es darf kein hydrostatischer Druck auf die Wand wirken.
- Am Wandfuß ist entweder keine Gleitfläche, z.B. infolge einer Feuchtigkeitssperrschicht, vorhanden oder es sollten konstruktive Maßnahmen ergriffen werden, um die Querkraft aufnehmen zu können (Sperrschichten aus besandeten Bitumendachbahnen R 500 nach DIN EN 13969 in Verbindung mit DIN V 20000-202 oder aus mineralischen Dichtungsschlämmen nach DIN 18195-2 haben einen ausreichenden Reibungsbeiwert und gelten nicht als Gleitflächen).
- Für die Verfüllung und Verdichtung des Arbeitsraums sind die Vorgaben aus DIN EN 1996-2/NA, Anhang E (3) einzuhalten (siehe Abschnitt 7.1.1)

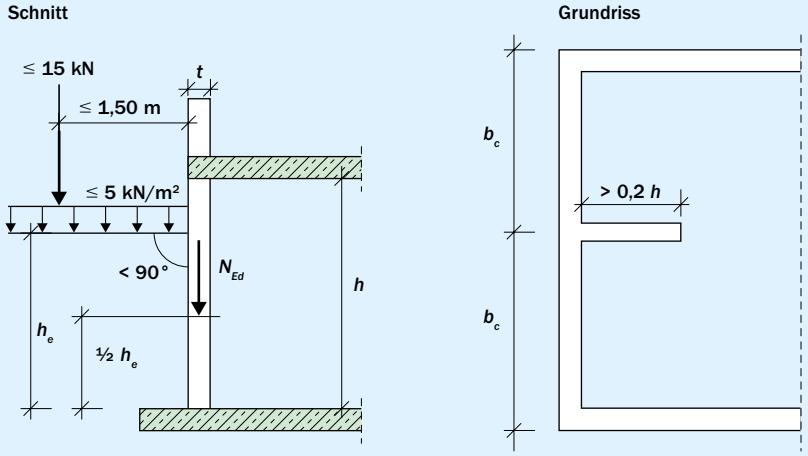


Bild 21 Nachweis von Kellerwänden nach DIN EN 1996-3/NA

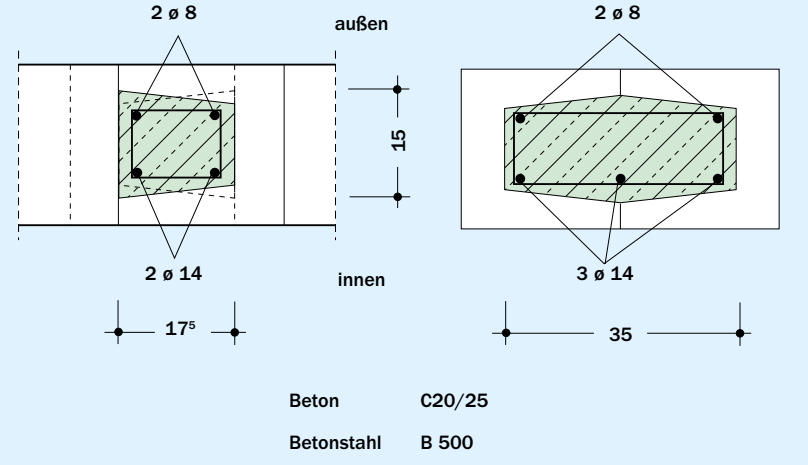


Bild 22 Aussteifende Stahlbetonstützen in 24 cm dicken Kelleraußenwänden unter Verwendung von KS -U-Schalen

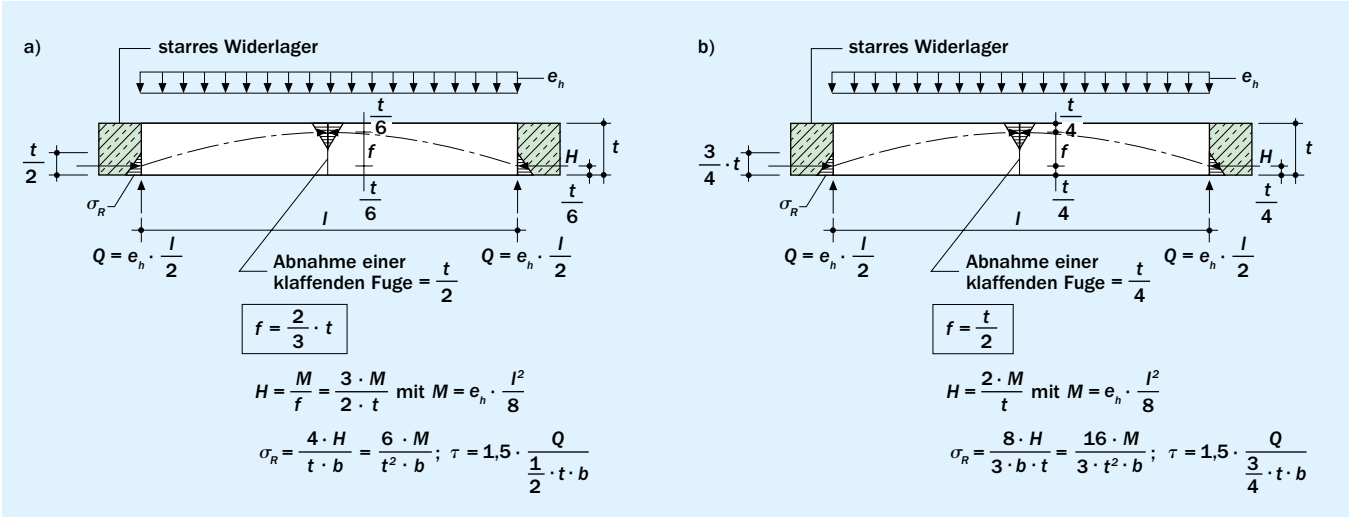


Bild 23 Bogen bei einem Stich von a) $f = 2/3 \cdot t$ und b) $f = 1/2 \cdot t$

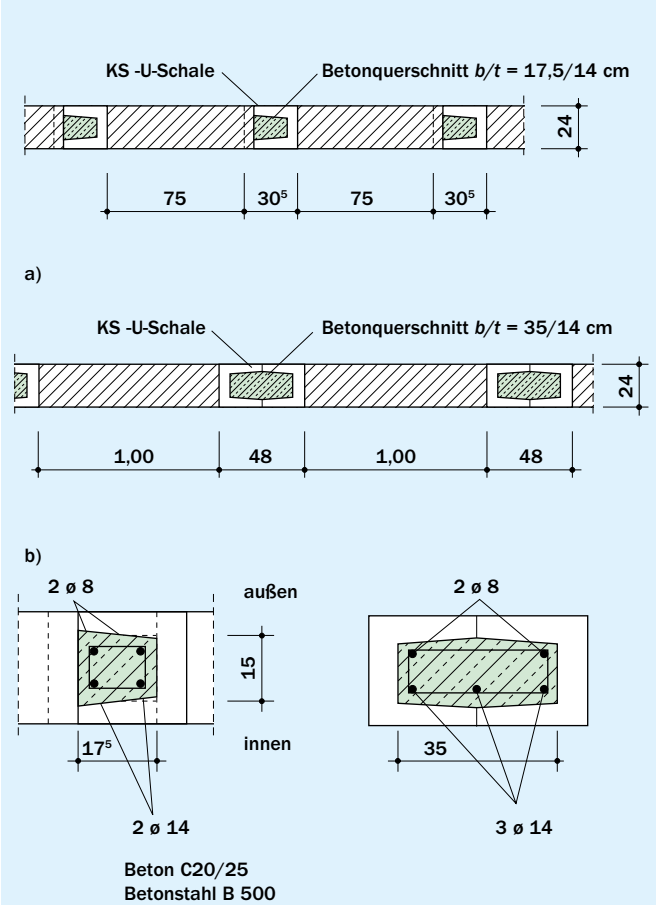


Bild 24 Aussteifende Stahlbetonstützen unter Verwendung von KS -U-Schalen

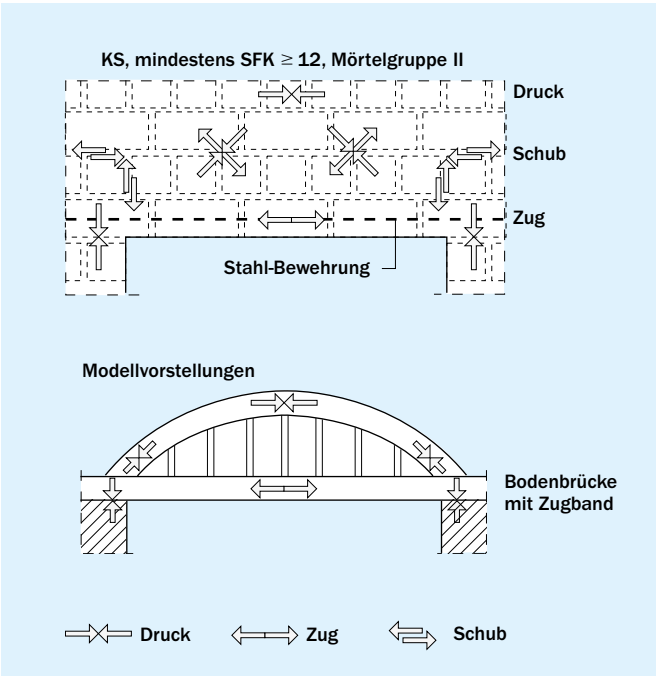


Bild 25 Tragwirkung eines Flachsturzes

Für den Nachweis hinreichender Tragfähigkeit unter Biegebeanspruchung wird von einem vertikalen Bogenmodell ausgegangen. Dementsprechend ergibt sich unter Berücksichtigung der Wirkung des aktiven Erddrucks ein Mindestwert für die einwirkende Normalkraft je Meter Wandlänge von:

$$N_{Ed,min} \geq \frac{\gamma_e \cdot h \cdot h_e^2 \cdot b_c}{\beta \cdot t} \qquad (7.1)$$

mit

t	Wanddicke
h_e	Höhe der Anschüttung
h	Lichte Höhe der Kellerwand
γ_e	Wichte der Anschüttung
b_c	Abstand zwischen aussteifenden Querwänden oder anderen aussteifenden Elementen
$N_{Ed,min}$	Bemessungswert der kleinsten vertikalen Belastung der Wand in halber Höhe der Anschüttung

Um die Tragfähigkeit der Kellerwand zu erhöhen, kann unter bestimmten Voraussetzungen eine zweiachsige Tragwirkung angenommen werden. Dies wird über den Faktor β berücksichtigt:

β	$= 20$	für $b_c \geq 2\ h$
	$= 60 - 20 \cdot b_c / h$	für $h < b_c < 2 \cdot h$
	$= 40$	für $b_c \leq h$

Bei Elementmauerwerk mit einem vermindertem Überbindemaß $0{,}2 \cdot h_u \leq l_{ol} < 0{,}4 \cdot h_u$ ist generell $\beta = 20$ anzusetzen.

Zu beachten ist, dass der Nachweis ggf. auch im Bauzustand zu führen ist, bei dem die volle Auflast aus Eigenlast der Obergeschosse noch nicht wirkt.

Des Weiteren ist die Tragfähigkeit gegen maximale Normalkraftbeanspruchung in halber Wandhöhe $N_{Ed,max}$ bei einer Lastexzentrizität von $e = t / 3$ nachzuweisen:

$$N_{Ed,max} \leq \frac{t \cdot f_d \cdot b_c}{3} \qquad (7.2)$$

mit

f_d	nach Abschnitt 2.4

Der vereinfachten Berechnungsmethode wurde ein Erddruckbeiwert von ≤ 1/3 zugrunde gelegt. Nach DIN EN 1996-1-1/NA kann ein Nachweis von Kellerwänden mit einem beliebigen Erddruckbeiwert geführt werden.

Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit (Plattenschub) gilt mit den genannten Nachweisen ebenfalls als erbracht.

Die bereits angesprochene mögliche zweiachsige Tragwirkung durch Ansatz eines horizontalen Druckbogens kann über zusätzliche aussteifende Stahlbetonstützen unter Verwendung von KS -U-Schalen erreicht werden (Bilder 22 bis 24).

7.2 Vorgefertigte Stürze

7.2.1 KS-Flachstürze nach Zulassung

Flachstürze dienen zur Überspannung von kleinen Öffnungen (z.B. Fenster etc.) in Wänden und bestehen aus einem vorge-

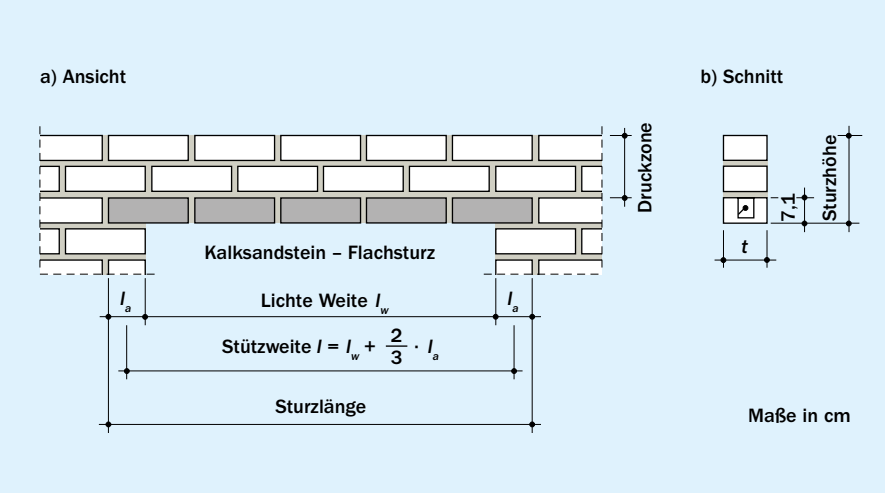


Bild 26 Bezeichnung bei Flachstürzen

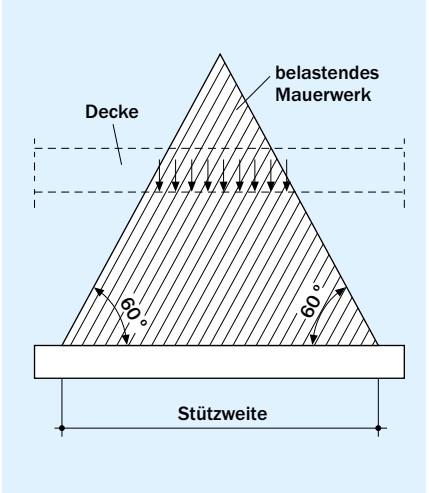


Bild 27 Ermittlung der Belastung von Flachstürzen für $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot h_u$

fertigten Zuggurt und einer örtlich hergestellten Druckzone aus Mauerwerk oder Beton. Oberhalb des Flachsturzes bildet sich ein Druckbogen aus (Bild 25). Der Bogenschub wird durch die im Flachsturz liegende Bewehrung (Zuggurt) aufgenommen.

Konstruktive Hinweise

Flachstürze dürfen nur als Einfeldträger mit einer Stützweite $l \leq 3$ m (Bild 26) und nur bei vorwiegend ruhender Belastung verwendet werden. Eine unmittelbare Belastung des Zuggurtes mit Einzellasten ist nicht zulässig. Die auf den Flachsturz maximal wirkende Belastung unter Berücksichtigung einer Gewölbewirkung im Mauerwerk zeigt (Bild 27). Falls oberhalb des Flachsturzes eine Stahlbetondecke aufliegt, so ist die Auflagerkraft der Decke im dargestellten Einzugsbereich zu berücksichtigen. Entsprechendes gilt für Einwirkungen aus Einzellasten.

Die Zuggurte von Flachstürzen ($h \leq 12{,}5$ cm) bestehen aus KS -U-Schalen mit Stahlbetonkern. Diese müssen mindestens 11,5 cm breit und 6 cm hoch sein. Es dürfen mehrere Flachstürze nebeneinander angeordnet werden, wenn die Druckzone in ihrer Breite sämtliche Zugglieder erfasst. Je Zugglied ist eine Bewehrung von mindestens 1 Stab Ø 8 mm erforderlich. Der maximale Stabdurchmesser ist auf 12 mm begrenzt. Für die Betondeckung der Bewehrung gelten die Regelungen in DIN EN 1992-1-1/NA bzw. die darüber hinaus gehenden Festlegungen in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung. Auf eine Schubbewehrung darf in Flachstürzen verzichtet werden.

Die Auflagertiefe von Flachstürzen auf dem Mauerwerk muss mindestens 11,5 cm betragen. Die Auflagerpressungen sind nachzuweisen. Die Oberseite von Flachstürzen ist rau auszubilden und vor dem Aufmauern sorgfältig von Schmutz zu reinigen. Die Druckzone aus Mauerwerk ist im Verband mit vermörtelten Stoß- und Lagerfugen, mit Steinen mindestens der Festigkeitsklasse 12 sowie mindestens mit Mörtelgruppe II herzustellen.

Nachweis mit Bemessungstafeln

Die Bemessung des Flachsturzes erfolgt mit Hilfe von Bemessungstafeln auf der Grundlage typengeprüfter statischer Berechnungen der Hersteller. Die Bemessung erfolgt durch einen Vergleich zwischen der vorhandenen Einwirkung und der in Abhängigkeit der Sturzgeometrie (Stützweite und Sturzhöhe) angegebenen zulässigen Gleichstreckenlast:

$$\text{vorh. } q_{Ed} \leq \text{zul. } q_{Ed} \tag{7.3}$$

Streng genommen ist die Anwendung der Bemessungstafeln für Flachstürze nur für eine Gleichstreckenlast zulässig. Sie kann jedoch auch für eine dreieckförmige Belastung bei Ausbildung eines Druckbogens gemäß Bild 27 herangezogen werden, wenn man vorh. q_{Ed} aus den einwirkenden Lasten zurückrechnet:

$$\text{vorh. } q_{Ed} = \frac{(G_{k,Decke} + G_{k,Wand}) \cdot \gamma_G + Q_{k,Decke} \cdot \gamma_Q}{l_{ef}} \tag{7.4}$$

Bemessung von vor Ort hergestellten Stürzen

Werden Stürze vor Ort aus KS -U-Schalen bewehrt und mit Ortbeton verfüllt hergestellt, z.B. bei Sichtmauerwerk mit Sturzhöhe 24 cm, so erfolgt die Bemessung nach DIN EN 1992-1-1/NA.

7.2.2 KS-Fertigteilstürze nach Zulassung

Als Alternative zu Flachstürzen kommen im Hintermauerbereich KS-Fertigteilstürze zur Anwendung, deren Nennlängen zwischen 1 m und 2 m liegen. Bei diesen Stürzen ist im Vergleich zu den Flachstürzen die Übermauerung aus KS XL (Druckzone mit vermörtelter Stoßfuge) Bestandteil des Sturzes.

Die KS-Fertigteilstürze werden im Herstellwerk so gefertigt, dass der gesamte Zwischenraum zwischen der Oberkante der Wandöffnung und der Decke bereits ausgefüllt ist. Eine Anpassung der Sturzhöhe an die örtlichen Gegebenheiten auf der Baustelle, beispielsweise durch eine weitere Übermauerung, ist nicht mehr erforderlich. Die Montage der Stürze erfolgt im Zuge des Versetzens der KS XL ebenfalls mit einem Versetzgerät, so dass es zu keiner Unterbrechung des Arbeitsablaufes kommt. Hierdurch kann auch im Wandöffnungsbereich die rationelle Herstellung von KS XL-Mauerwerk erreicht werden.

8. Bauliche Durchbildung

8.1 Vorbemerkungen

Die bauliche Durchbildung ist in DIN EN 1996-1-1/NA [6] geregelt, wohingegen in DIN EN 1996-2/NA [9] Angaben zur Ausführung gemacht werden. Teilweise überschneiden sich die Regelungen aber auch, so dass in jedem Fall beide Normteile zu beachten sind.

8.2 Schlitze und Aussparungen

Als Schlitze werden längliche Einschnitte in flächigen Bauteilen verstanden (Bild 28). Handelt es sich dabei um kleine gedrungene Einschnitte, spricht man von Aussparungen. Schlitze und Aussparungen können während der Herstellung des Bauteils oder nachträglich hergestellt werden.

Grundsätzlich ist bei Schlitzen und Aussparungen zu unterscheiden, ob ein maßgebender Einfluss auf das Tragverhalten des Bauteils vorliegt, der in der Bemessung der Tragkonstruktion gesondert zu berücksichtigen ist. Sie sollten grundsätzlich nicht durch Stürze oder andere tragende Bauteile einer Wand gehen. Die Abminderung für Druck-, Schub- und Biegetragfähigkeit infolge vertikaler Schlitze und Aussparungen darf vernachlässigt werden, wenn diese Schlitze und Aussparungen nicht tiefer als $t_{ch,v}$ sind. Dabei sollte als Schlitz- und Aussparungstiefe die Tiefe einschließlich der Löcher gelten, die bei der Herstellung der Schlitze und Aussparungen erreicht wird. Werden die Grenzen überschritten, sollte die Tragfähigkeit auf Druck, Schub und Biegung mit dem in Folge der Schlitze und Aussparungen reduzierten Mauerwerksquerschnitt rechnerisch geprüft werden.

Vertikale Schlitze und Aussparungen sind auch dann ohne Nachweis zulässig, wenn die Querschnittsschwächung, bezogen auf 1 m Wandlänge, weniger als 6 % beträgt und die Wand nicht drei- oder vierseitig gehalten nachgewiesen wird. Hierbei müssen eine Restwanddicke nach Tafel 28, Spalte 4 und ein Mindestabstand nach Spalte 6 eingehalten werden. Die Festlegungen gelten nur für tragende Wände. Schlitze und Aussparungen in Schornsteinwangen sind unzulässig. Längere horizontale Schlitze am Wandkopf sollten zur Vermeidung von Rissbildung und Abplatzungen nicht unmittelbar unter dem Deckenauflager angeordnet werden, dürfen aber nur 40 cm unterhalb Wandkopf und 40 cm oberhalb Wandfuß angeordnet werden. Alle übrigen Schlitze und Aussparungen sind bei der Bemessung des Mauerwerks zu berücksichtigen.

Horizontale und schräge Schlitze sind für eine gesamte Schlitztiefe von maximal dem Wert $t_{ch,h}$ ohne gesonderten Nachweis der Tragfähigkeit des reduzierten Mauerwerksquerschnitts auf Druck, Schub und Biegung zulässig, sofern eine Begrenzung der zusätzlichen Ausmitte in diesem Bereich vorgenommen wird. Klaffende Fugen infolge planmäßiger Ausmitte der einwirkenden charakteristischen Lasten (ohne Berücksichtigung der Kriechausmitte und der Stabauslenkung nach Theorie II. Ordnung) dürfen rechne-

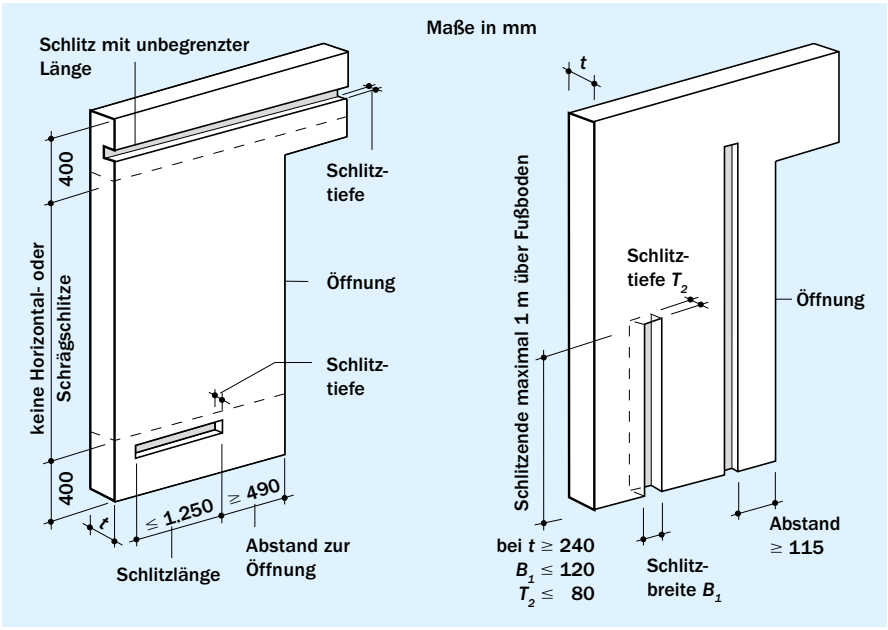


Bild 28 Nachträglich hergestellte horizontale und schräge Schlitze (links); nachträglich hergestellte vertikale Schlitze und Aussparungen (rechts)

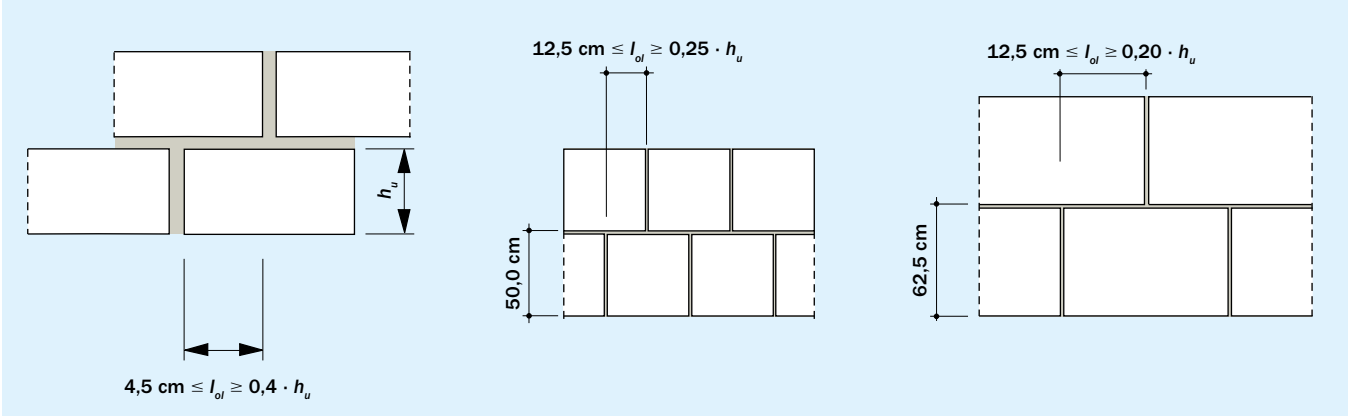


Bild 29 Mindestüberbindemaß l_{ol} nach DIN EN 1996-1-1/NA

Tafel 28 Zulässige Größe $t_{ch,v}$ vertikaler Schlitze und Aussparungen ohne rechnerischen Nachweis nach DIN EN 1996-1-1/NA

1	2	3	4	5	6	7
Wanddicke	Nachträglich hergestellte Schlitze und Aussparungen [1]		Mit der Errichtung des Mauerwerks hergestellte Schlitze und Aussparungen			
	Maximale Tiefe [2] $t_{ch,v}$	Maximale Breite (Einzelschlitz) [3]	Verbleibende Mindestwanddicke	Maximale Breite [3]	Mindestabstand der Schlitze und Aussparungen	
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	von Öffnungen	untereinander
115–149	10	100	–	–	≥ zweifache Schlitzbreite bzw. ≥ 240	≥ Schlitzbreite
150–174	20	100	–	–		
175–199	30	100	115	260		
200–239	30	125	115	300		
240–299	30	150	115	385		
300–364	30	200	175	385		
≥ 365	30	200	240	385		

[1] Abstand der Schlitze und Aussparungen von Öffnungen
[2] Schlitze, die bis maximal 1 m über den Fußboden reichen, dürfen bei Wanddicken ≥ 240 mm bis 80 mm Tiefe und 120 mm Breite ausgeführt werden.
[3] Die Gesamtbreite von Schlitzen nach Spalte 3 und Spalte 5 darf je 2 m Wandlänge die Maße in Spalte 5 nicht überschreiten. Bei geringeren Wandlängen als 2 m sind die Werte in Spalte 5 proportional zur Wandlänge zu verringern.

risch höchstens bis zum Schwerpunkt des Gesamtquerschnittes entstehen. Generell sind horizontale und schräge Schlitze in den Installationszonen nach DIN 18015-3 anzuordnen. Die Tafel 29 enthält entsprechende Grenzwerte für $t_{ch,h}$. Sofern die Schlitztiefen die in Tafel 29 angegebenen Werte überschreiten, sollte die Tragfähigkeit auf Druck, Schub und Biegung mit dem infolge der horizontalen und schrägen Schlitze reduzierten Mauerwerksquerschnitt rechnerisch überprüft werden.

8.3 Überbindemaß

Die Forderung nach der Einhaltung des Überbindemaßes (Tafel 30) wird durch die Ausführung des Mauerwerks im Verband gewährleistet, wenn die Stoß- und Längsfugen übereinander liegender Schichten mindestens mit dem Überbindemaß $l_{ol} \geq 0{,}4 \cdot h_u$ bzw. $l_{ol} \geq 45$ mm (der größere Wert ist maßgebend) angeordnet werden (Bild 29). Das Überbindemaß l_{ol} darf bei Elementmauerwerk bis auf $0{,}2 \cdot h_u$ bzw. $l_{ol} \geq 125$ mm reduziert werden, wenn dies in den Ausführungsunterlagen (z.B. Versetzplan oder Positionsplan) ausgewiesen ist und die Auswirkungen in der statischen Berechnung berücksichtigt sind. Das in der statischen Berechnung und den Ausführungsunterlagen angegebene erforderliche Überbindemaß ist einzuhalten und durch die Bauleitung zu kontrollieren. Gerade in Be-

Tafel 29 Zulässige Größe $t_{ch,h}$ horizontaler und schräger Schlitze ohne rechnerischen Nachweis nach DIN EN 1996-1-1/NA

Wanddicke [mm]	Maximale Schlitztiefe $t_{ch,h}$ [1] [mm]	
	Unbeschränkte Länge [2]	Länge ≤ 1.250 mm [3]
115–149	–	–
150–174	–	0 [2]
175–239	0 [2]	25
240–299	15 [2]	25
300–364	20 [2]	30
≥ 365	20 [2]	30

[1] Horizontale und schräge Schlitze sind nur zulässig in einem Bereich ≤ 0,4 m ober- oder unterhalb der Rohdecke sowie jeweils an einer Wandseite. Sie sind nicht zulässig bei Langlochziegeln.
[2] Die Tiefe darf um 10 mm erhöht werden, wenn Werkzeuge verwendet werden, mit denen die Tiefe genau eingehalten werden kann. Bei Verwendung solcher Werkzeuge dürfen auch in Wänden ≥ 240 mm gegenüberliegende Schlitze mit jeweils 10 mm Tiefe ausgeführt werden.
[3] Mindestabstand in Längsrichtung von Öffnungen ≥ 490 mm, vom nächsten Horizontalschlitz zweifache Schlitzlänge

Tafel 30 Überbindemaß l_{ol} in Abhängigkeit von der Steinhöhe

Steinhöhe h_u [cm]	Regelfall l_{ol} = 0,4 · Steinhöhe [cm]	Mindestüberbindemaß $l_{ol} \geq$ [cm]
< 11,3	5	4,5
11,3/12,3	5	0,4 · Steinhöhe ≙ 5
23,8/24,8	10	0,4 · Steinhöhe ≙ 10
49,8	20	0,25 · Steinhöhe ≙ 12,5
62,3	25	0,2 · Steinhöhe ≙ 12,5

reichen von Fensterbrüstungen, Öffnungen und dem Eintrag von Einzellasten in das Mauerwerk ist auf die Einhaltung des Überbindemaßes zu achten. Insbesondere ist bei folgenden Punkten das Überbindemaß zu beachten:

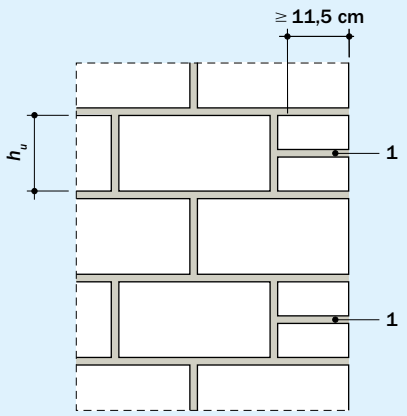
- Bei reduzierten Überbindemaßen ergeben sich bei hohen Auflasten ggf. Auswirkungen auf die Querkrafttragfähigkeit in Scheibenrichtung.
- Die Lastausbreitwinkel ergeben sich aus dem Tangens von Überbindemaß und Steinhöhe (Tafel 30).
- Bei drei- bzw. vierseitiger Halterung der Wand müssen bei der Ermittlung der Knicklänge die Anpassungsfaktoren α_3 und α_4 berücksichtigt werden.

8.4 Längen- und Höhenausgleich

Die Steine bzw. Elemente einer Schicht müssen die gleiche Höhe haben. An Wandenden und unter Einbauteilen (z.B. Stürze) ist eine zusätzliche Lagerfuge in jeder zweiten Schicht zum Längen- und Höhenausgleich (Bild 30) zulässig, sofern die Aufstandsfläche der Steine mindestens 115 mm lang ist und Steine und Mörtel mindestens die gleiche Festigkeit wie im übrigen Mauerwerk haben. In Schichten mit Längsfugen darf die Steinhöhe nicht größer als die Steinbreite sein. Abweichend davon muss die Aufstandsbreite von Steinen der Höhe ≥ 150 mm mindestens 115 mm betragen.

Bei der Verwendung von Passsteinen und -elementen zum Längenausgleich von Wänden ist zu beachten, dass auch in diesen Bereichen immer das jeweils maßgebende Überbindemaß eingehalten wird.

Um die höheren Mauerwerksdruckfestigkeiten bei KS XL-Mauerwerk ansetzen zu dürfen, sind bei Elementmauerwerk einige weitere konstruktive Ausführungsregeln hinsichtlich der Anordnung von Passelementen und Ausgleichsschichten zu beachten. Anderenfalls gelten die Festigkeiten von Planstein-Mauerwerk.



1 Zusätzliche Lagerfugen an den Wandenden und unter den Stürzen

Bild 30 Zusätzliche Lagerfugen an den Wandenden

Der Wandaufbau muss daher grundsätzlich aus großformatigen Elementen mit den Regelabmessungen erfolgen. Für den Längenausgleich dürfen Passelemente verwendet werden. Diese können vorgefertigt oder auch auf der Baustelle zugeschnitten werden.

Der erforderliche Höhenausgleich erfolgt bei Elementmauerwerk durch maximal je zwei Ausgleichsschichten aus Ausgleichselementen oder nicht gelochten Vollsteinen der gleichen oder einer höheren Festigkeitsklasse am Wandfuß und/oder Wandkopf. Die unterste und/oder oberste Ausgleichsschicht darf aus Kalksand-Wärmedämmsteinen als Kimmsteine bestehen, wenn in der jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung der Kalksand-Wärmedämmsteine die Verwendung bei Elementmauerwerk zugelassen ist. Die Breite der Ausgleichselemente muss entsprechend der geforderten Ausführung als Einsteinmauerwerk der Wanddicke entsprechen. Anderenfalls sind die Druckfestigkeiten für Verbandsmauerwerk anzusetzen. Die jeweils maßgebenden Überbindemaße sind auch bei den Ausgleichsschichten einzuhalten.

Es dürfen auch Kalksand-Wärmedämmsteine mit geringerer Festigkeit als die der Planelemente eingebaut werden. In diesem Fall wird beim Standsicherheitsnachweis die Festigkeit der Kimmsteine an der betreffenden Nachweisstelle – in der Regel am Wandfuß – maßgebend. Dort ist dann die vorhandene Mauerwerksdruckfestigkeit für Elementmauerwerk unter Berücksichtigung der Druckfestigkeitsklasse der Kimmsteine anzusetzen. Beim vereinfachten Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA ist die so ermittelte Mauerwerksdruckfestigkeit für den gesamten Nachweis anzusetzen.

8.5 Verbandsmauerwerk

Verbandsmauerwerk ist Mauerwerk mit zwei oder mehr Steinreihen nebeneinander in jeder oder in jeder zweiten Schicht. In der Vergangenheit wurden vornehmlich die Formate 2 DF und 3 DF dafür verwendet.

Die Kalksandsteinindustrie bietet für jede Wanddicke geeignete Steinformate für die Verarbeitung als *Einsteinmauerwerk* (Wanddicke = Steindicke) an. Mit der Ausweitung der Produktpalette hat die Bedeutung des Verbandsmauerwerks im Bereich des Neubaus nahezu keine Bedeutung mehr.

Lediglich im Bereich von kleinteiligem Sichtmauerwerk oder bei der Sanierungen im Altgebäudebestand kommt diese Art des Mauerns weiterhin zur Anwendung.

INFO

Bei Verbandsmauerwerk ist das Überbindemaß nicht nur in Wandlängsrichtung, sondern auch im Wandquerschnitt einzuhalten.

Mauerwerk aus KS XL ist nur als Einsteinmauerwerk (Wanddicke = Steindicke) zulässig. Bei Ausführung der Kimmschicht mit zwei Steinen nebeneinander kann die Mauerwerksdruckfestigkeit wie bei Verbandsmauerwerk angesetzt werden. Diese beträgt dann 80 % der Festigkeit des entsprechenden Planstein-Mauerwerks.

8.6 Deckenauflager

Wiederkehrende Verformungen von Stahlbetondecken durch unterschiedliche Temperaturen (Sommer/Winter), das einmalige Schwinden im Zuge der Austrocknung sowie Verdrehungen im Bereich von Endauflagern bei großen Deckenspannweiten führen zu Spannungen in der Konstruktion.

Werden diese Spannungen bei der Planung und Ausführung nicht ausreichend berücksichtigt, führt dies nicht selten zu Rissen an den Wänden. Risse an den Decken sind selten festzustellen (Tafel 31).

Bei großen Deckenspannweiten kommt es insbesondere im Bereich von Endauflagern bei Decken zu großen Verdrehungen der horizontalen Tragglieder. Daraus ergibt sich eine exzentrische Lasteinleitung in die Mauerwerkswand, die nicht nur zu einer Traglastminderung führt, sondern auch Rissbildungen und Abplatzungen verursachen kann.

Sind die Randbedingungen für die Anwendung des vereinfachten Berechnungsverfahrens nach DIN EN 1996-3/NA nicht eingehalten (z.B. Stützweite $l_f > 6$ m) oder führen die Lastexzentrizitäten zu großen Traglastminderungen (z.B. bei der obersten Geschossdecke), können entsprechend Bild 31 oder Bild 34 konstruktive Maßnahmen zur Zentrierung des Deckenauflagers am Wandkopf genutzt werden, wobei entsprechende Einflüsse auf die Konstruktion zu beachten sind (z.B. Knicklänge, Übertragung horizontaler Lasten zur Gebäudeaussteifung etc.).

Die Lastzentrierung mit mittig angeordneten Verformungslagern nach Bild 34b ist nicht allein eine konstruktive Maßnahme zur Vermeidung von Rissbildungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. Hierdurch ändern sich auch die statischen Randbedingungen. Diese Lager dürfen insbesondere auch nicht am Wandfuß angeordnet werden.

Bei größeren planmäßigen Ausmitten, z.B. Dachdecke mit wenig Auflast oder Decken mit großer Spannweite, sollten Stahlbetondecken zur Verringerung der exzentrischen Lasteinleitung entsprechend zentriert werden.

Werden Maßnahmen zur Zentrierung der Lasteinleitung von Decken vorgesehen, darf auch bei Stützweiten von mehr als 6 m das vereinfachte Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA angewendet werden.

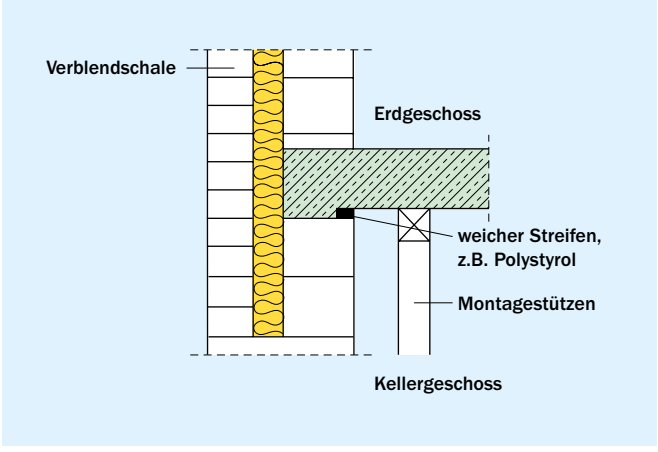


Bild 31 Konstruktive Zentrierung

Die Auflagertiefe der Decken muss generell mindestens $t/3 + 40$ mm der Wanddicke t und darf nicht weniger als 100 mm betragen.

Für die Ausbildung des Wandkopfes werden folgende Empfehlungen gegeben:

- Auftretende Verformungen aus Temperatureinwirkungen z.B. bei einer ungedämmten Decke können über ein Gleitlager mit einem darunter angeordneten Ringbalken aufgenommen werden (Bild 34a).
- Auftretende Verformungen aus Schwinden können bei einer gedämmten Decke durch eine besandete Bitumendachbahn R 500 (nach DIN EN 13969 in Verbindung mit DIN V 20000-202) aufgenommen werden. Die Anordnung eines Ringbalkens ist nicht erforderlich.
- Auftretende Verformungen aus Deckendurchbiegung sind mit einem Dämmstreifen am Rand ohne die Anordnung eines Ringbalkens aufzunehmen (Bild 31).
- Falls Schwindverformungen und eine zu große Deckendurchbiegung gleichzeitig auftreten, können sinnvoll Verformungslager für eine mittige Zentrierung angeordnet werden. Ein Ringbalken ist nicht erforderlich, wenn die auftretenden Querkräfte vom Verformungslager aufgenommen werden können (Bild 34b).
- Den Auswirkungen durch das Aufschüsseln von Eckbereichen der Decke durch fehlende Auflasten (Dachdecken oder Garagendecken) kann durch die Anordnung je eines von der Ecke aus ungefähr 1,50 m langen Streifens einer besandeten Bitumendachbahn R 500 (nach DIN EN 13969 in Verbindung mit DIN V 20000-202) begegnet werden.

8.7 Ringanker und Ringbalken

Bei Ringankern und Ringbalken handelt es sich um stabförmige Bauglieder, die der Aufnahme von Aussteifungskräften und Horizontallasten dienen. Sie werden z.B. mit ausbetonierten und bewehrten KS -U-Schalen hergestellt.

Ringanker werden bei Massivdecken im Regelfall innerhalb der Decken oder kurz darunter angeordnet und halten die tragenden Wände zusammen. Sie übernehmen die in der Deckenscheibe auftretenden Randzugkräfte und leiten die angreifenden Aussteifungskräfte auf die Wandscheiben weiter. Gleichzeitig erhöhen sie die Stabilität von auf Scheibenschub beanspruchten Wänden mit großen Öffnungen (Bild 32). Ringanker sind also im Wesentlichen Zugglieder (Bild 33).

Ringbalken sind stets anzuordnen, wenn Horizontallasten senkrecht zur Wandebene (z.B. aus Wind) einwirken und eine kontinuierliche Lagerung am Wandkopf (z.B. durch Deckenscheiben) nicht vorhanden ist. Gleichzeitig können Ringbalken auch die Funktion von Ringankern zur Ableitung von Aussteifungskräften übernehmen. Ringbalken sind überwiegend auf Biegung und weniger auf Zug beansprucht.

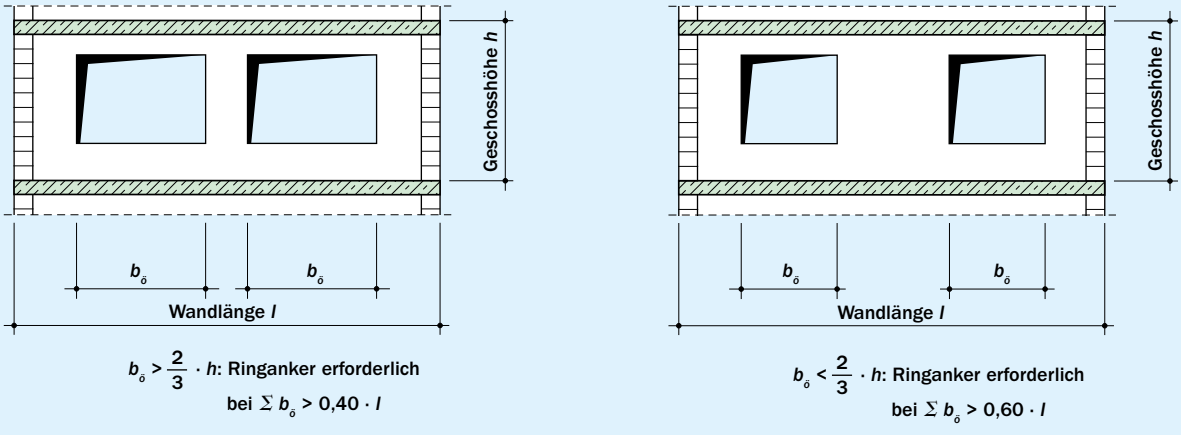


Bild 32 Kriterien für die Anordnung von Ringankern in tragenden und aussteifenden Wänden mit Öffnungen

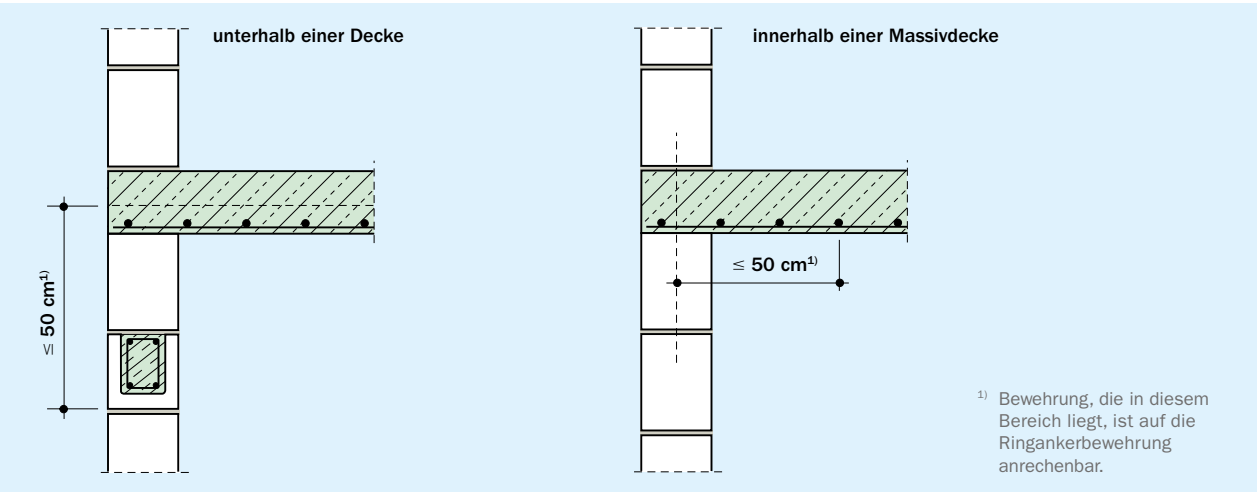


Bild 33 Ausbildung von Ringankern

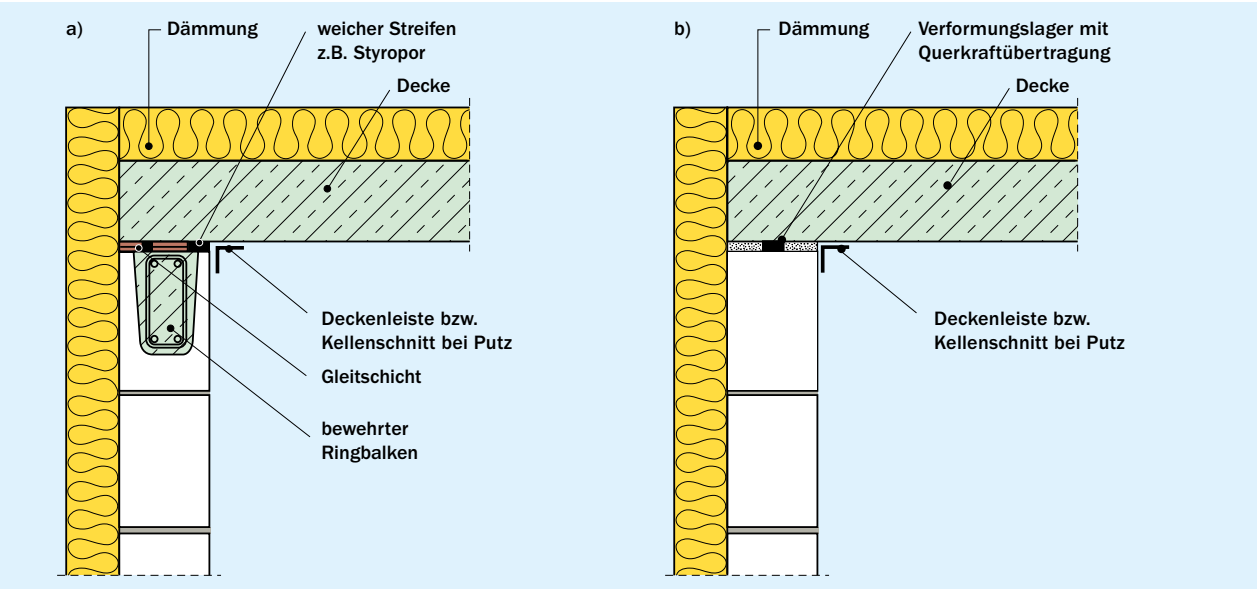


Bild 34 Konstruktive Maßnahmen zur Zentrierung der Deckenauflagerkraft am Beispiel der Außenwand unter einer Dachdecke
a) Gleitlager mit eingelegtem Styropor-Randstreifen an der Wandinnenseite, b) Verformungslager mit Zentrierstreifen zwischen Wand und Decke

8.7.1 Ringanker

Nach DIN 1053-1 mussten alle Außenwände und diejenigen Innenwände, die der Abtragung der Aussteifungskräfte dienen, Ringanker erhalten, wenn nachstehende Randbedingungen vorliegen. Vergleichbare Regelungen sind im Eurocode nicht enthalten. Es empfiehlt sich jedoch, die bewährten Regeln bei der Planung zu berücksichtigen.

- Bauten mit mehr als zwei Vollgeschossen
- Bauten mit Längen > 18 m
- Wände mit großen Öffnungen
- Bauwerke mit ungünstigen Baugrundverhältnissen

Ringanker sind für eine aufzunehmende Zugkraft von mindestens N_{Ed} = 45 kN zu dimensionieren bzw. mit einer Mindestquerschnittsfläche von a_s = 150 mm^2 (oder 2 Ø 10) zu bewehren. In einer Stahlbetondecke vorhandene Bewehrung darf in gewissen Grenzen angerechnet werden. Die parallele Bewehrung muss sich in Decken oder Fensterstürzen in einer Entfernung von nicht mehr als 0,5 m von der Mittelachse der Wand bzw. Decke befinden (Bild 33). Ringanker können auch aus bewehrtem Mauerwerk oder mit so genannten Mauerwerksschalen hergestellt werden, wenn die entsprechenden Zugkräfte aufgenommen werden.

8.7.2 Ringbalken

Ringbalken dienen im Wesentlichen der Aufnahme von Horizontallasten und der horizontalen Halterung der Wände am Wandkopf, wenn eine entsprechende Lagerung statisch erforderlich ist (z.B. Ausfachungsflächen). Dies ist z.B. der Fall bei:

- Decken ohne Scheibenwirkung (Holzbalkendecken)
- Anordnung von Gleitschichten unter Deckenauflagern von Decken (Bild 34a)

Ringbalken sind für die auf sie entfallenden Windlastanteile sowie zur Berücksichtigung von Lotabweichungen auf eine Horizontallast von 1/100 der Vertikallast zu bemessen. Bei Ringbalken unter Gleitschichten sind die verbleibenden Reibungskräfte aus der Decke zusätzlich als Zugkräfte zu berücksichtigen. Ringbalken müssen derart biegesteif ausgeführt werden, dass im auszusteifenden Mauerwerk keine unzulässigen Durchbiegungen und Rissbildungen auftreten. Die Weiterleitung der Auflagerkräfte der Ringbalken in die aussteifenden Wände ist statisch nachzuweisen.

Ein Ringbalken ist jedoch nur erforderlich, wenn ein Gleitlager eingebaut wird, welches schubweich ist. Wird ein Zentrierlager nach Bild 34b eingebaut, dass die Verformungen aus der Decke aufnehmen kann und gleichzeitig die Übertragung der Querkräfte gewährleistet, ist ein Ringbalken entbehrlich.

Unterschiedliche Verformungen zwischen tragenden Wänden und der Dachdecke können nach DIN 18530:1987-03 [18] abgeschätzt werden. Ist danach mit Rissen zu rechnen, so ist die Dachdecke möglichst reibungsfrei auf den Wänden zu lagern. In diesem Fall ist ggf. auch ein Gleitlager mit Ringbalken unter der Dachdecke erforderlich.

8.8 Wandanschlüsse

Die Ausbildung der Verbindungen von Wänden und Decken oder von Wänden untereinander hängt von statischen und bauphysikalischen Gesichtspunkten ab. Zur Erzielung der räumlichen Steifigkeit müssen alle tragenden und aussteifenden Wände kraftschlüssig mit den Decken verbunden sein. Bei der Verwendung von Stahlbetondecken wird ein ausreichender Verbund über die Reibung in den Lagerfugen hergestellt. Weitere Konstruktionselemente zur Sicherstellung einer genügenden Standsicherheit können Ringanker und Ringbalken sein. Werden die Wände nicht durch einen Mauerwerksverband zug- und druckfest miteinander verbunden, können alternative Anschlusselemente, wie z.B. die Stumpfstoßtechnik, verwendet werden. Bei Ausfachungswänden oder nicht tragenden Wänden richten sich die Anschlüsse auch nach den Schall- und Brandschutzanforderungen.

INFO

Es wird empfohlen, die Außenecken von Kelleraußenwänden – auch unter Annahme zweiseitiger Halterung – aus konstruktiven Gründen immer miteinander zu verzahnen. Alle übrigen Wandanschlüsse können stumpf gestoßen werden, soweit in der Statik nichts anderes gefordert wird.

Die Kimmschicht am Wandfuß in Normalmauermörtel mindestens der NM III dient primär zum Ausgleich von Unebenheiten der Rohdecke, zur Höhenanpassung der aufzumauernden Wandscheibe an das Baurichtmaß sowie zur Erstellung eines plan-



Bild 35 Stumpfstoßtechnik: Mörtelbett mit Edelstahl-Flachanker



Bild 36 Stumpfstoßtechnik: Abgewinkelte Edelstahl-Flachanker (Bauphase) in Achse der anschließenden Wand

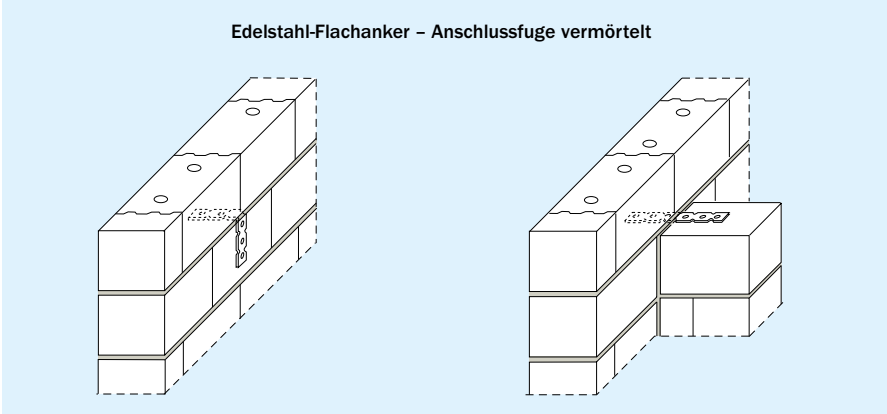


Bild 37 Anwendung von Edelstahl-Flachankern bei der KS-Stumpfstoßtechnik

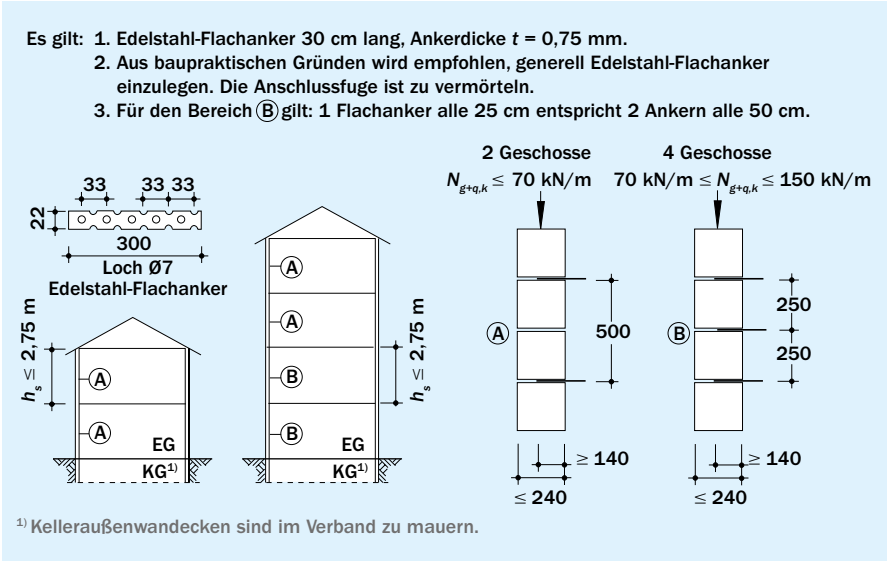


Bild 38 KS-Stumpfstoßtechnik, Regelausführung bei Annahme einer drei- oder vierseitigen Halterung der tragenden Wand (Schichthöhe ≤ 25 cm) [3]

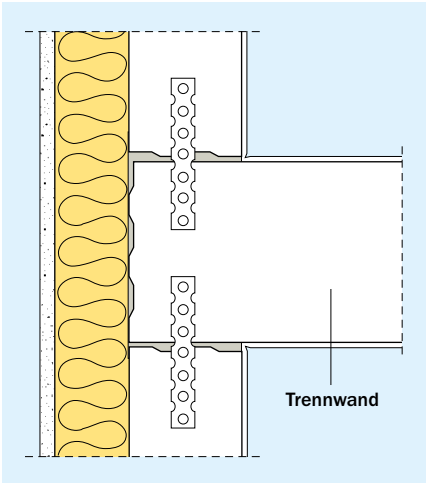


Bild 39 Stumpfstoßtechnik mit durchlaufender Trennwand

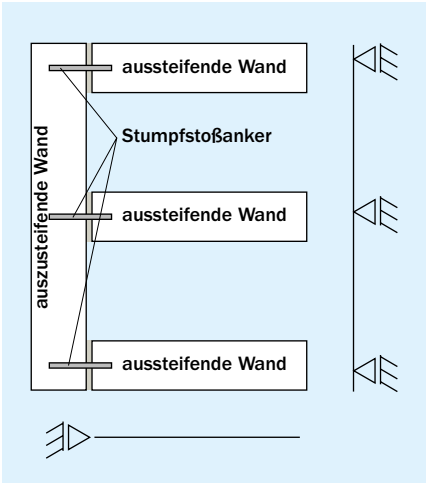


Bild 40 Prinzipielle Anordnung von aussteifender und auszusteifender Wand bei Anwendung des Stumpfstoßes

ebenen Niveaus in Wandlängs- und -querrichtung. Sie gewährleistet aber auch einen kraftschlüssigen Verbund zwischen Decke und Aufstandsfläche.

Bei Verwendung von KS XL im Dünnbettmörtelverfahren ist die Kimmschicht in Normalmauermörtel der Gruppe III auszuführen, um die entsprechende Druckfestigkeit für Elementmauerwerk ansetzen zu dürfen.

8.9 Stumpfstoßtechnik

Der KS-Stumpfstoß, ohne den Bauablauf störende Verzahnung der Wände, eröffnet für Planung und Ausführung Freiräume – auch bei Anwendung von mechanischen Versetzgeräten (Bilder 35 bis 40). Diese Bauweise hat sich seit mehr als 30 Jahren bewährt. Aus baupraktischen Gründen wird daher auch bei statisch angesetzter zweiseitiger Halterung empfohlen, konstruktiv Edelstahl-Flachanker in die Lagerfugen einzulegen. Die Anschlussfugen sind aus schalltechnischen Gründen zu vermörteln.

8.9.1 Anwendungsbereich

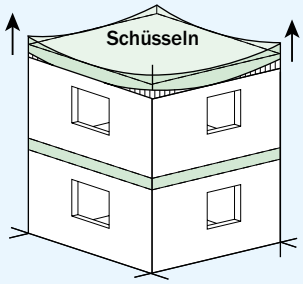
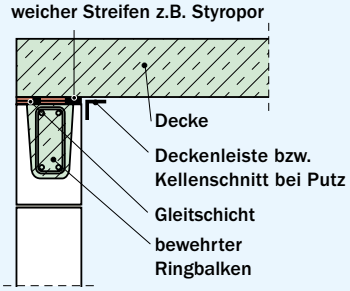
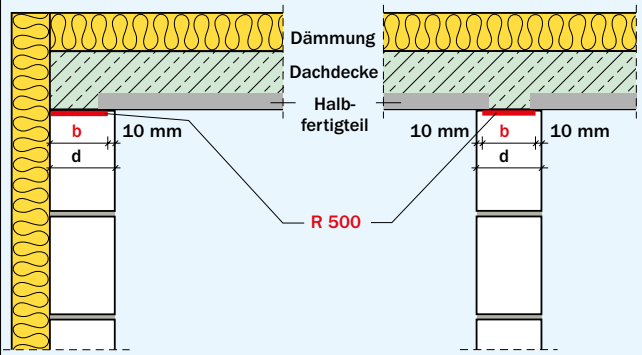
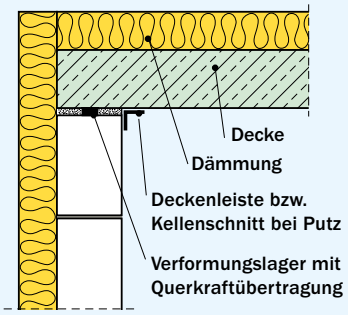
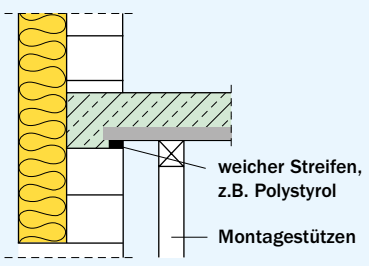
Grundsätzlich können alle Wandanschlüsse stumpf gestoßen werden. Es wird jedoch empfohlen, die Außenecken von Kelleraußenwänden – auch unter Annahme zweiseitiger Halterung – aus konstruktiven Gründen immer miteinander zu verzahnen. Alle übrigen Wandanschlüsse (auch Außenecken von Wänden ohne Erddruck) können stumpf gestoßen werden.

8.9.2 Vorteile der Stumpfstoßtechnik:

- Stumpfstoß ist zwischen allen Wänden möglich (einfacher Bauablauf).
- Mehr Bewegungsspielraum und Lagerfläche auf der Geschossdecke.
- Vereinfachter Einsatz von mechanischen Versetzhilfen und Gerüsten.

Die liegende Verzahnung bedeutet in vielen Fällen eine Behinderung beim Aufmauern der Wände, bei der Bereitstellung der Materialien und beim Aufstellen der Gerüste. Stumpf gestoßene Wände vermeiden diese Nachteile.

Tafel 31 Empfehlungen für Deckenauflager

Deckenaufleger	Beschreibung	Maßnahme
Schüsseln 	Dachdecken können im Eckbereich schüsseln und die oberste Steinreihe mit anheben. Die Folge kann eventuell ein horizontaler Riss über Eck in der Lagerfuge unter der obersten Steinreihe sein.	**Einbau von Trennschichten** Verwendung einer besandeten Bitumendachbahn R 500 mit Rohfilzeinlage, Dicke = 3 mm, nach DIN EN 13969 in Verbindung mit DIN V 20000-202 Einbau über Eck, Länge ca. 1,50 m in beide Richtungen
Temperatur-schwankungen 	Ungedämmte Dachdecken dehnen und verkürzen sich in Folge von Temperaturschwankungen. Gering belastetes Mauerwerk kann diese eingeleiteten Verformungen häufig nicht rissefrei aufnehmen.	**Einbau von Gleitschichten bzw. Gleitlagern** Einbau der Gleitschichten bzw. -lager zwischen Dachdecke und Wand Zur oberen Halterung der Wand sind bewehrte Ringbalken erforderlich.
Schwinden 	Die Austrocknung von bindemittelgebundenen Baustoffen (z.B. Beton, Mauerwerk) führt zu Schwindverkürzungen.	**Einbau von Trennschichten** Verwendung einer besandeten Bitumendachbahn R 500 mit Rohfilzeinlage, Dicke = 3 mm, nach DIN EN 13969 in Verbindung mit DIN V 20000-202 Einbau wie folgt: Breite (b) kleiner als Wanddicke (d), und zwar bei – Außenwänden ca. 10 mm, – Innenwänden beidseitig je ca. 10 mm Die Anordnung eines Ringbalkens ist nicht erforderlich.
Schwinden und Zentrieren 	Schwindverformungen und zu große Deckendurchbiegungen können gleichzeitig auftreten. Durch diese Einwirkungen auf Außenwände sind Rissbildungen bzw. Kantenabplatzungen auf der Wandinnenseite möglich.	**Einbau von Verformungslagern** Verwendung von Verformungslagern mit Querkraftübertragung zur Zentrierung und gleichzeitiger Aufnahme von Längenverformungen (ca. ±10 mm) (z.B. von Calenberg Ingenieure oder Speba) Ein Ringbalken auf dem Mauerwerk ist nicht erforderlich.
Konstruktives Zentrieren  Zentrierungen sind immer am Wandkopf, nie am Wandfuß anzuordnen.	Größere Deckendurchbiegungen bzw. Auflagerverdrehungen führen zu Lastexzentrizitäten (Traglastminderungen). Bei Stützweiten > 6 m darf mit Zentrierung das vereinfachte Bemessungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA angewendet werden.	**Einlage von weichen Streifen** Verwendung von weichen Streifen z.B. aus Polystyrol oder Mineralwolle Einbau: Schalung bzw. Filigrandeckenplatten in der Höhe um die Dicke des Streifens (ca. 5 mm) durch Montagestützen anheben Zentrieren auch bei schlanken Decken ist zu empfehlen.

Literatur

[1] Gremmel, M.: Zur Ermittlung der Tragfähigkeit schlanker Mauerwerkswände an Bauteilen in wirklicher Größe, Dissertation Technische Universität Braunschweig, Braunschweig 1978

[2] Kirtschig, K.: Zur Tragfähigkeit von Mauerwerk bei mittiger Druckbeanspruchung, Mitteilungen aus dem Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Technischen Universität Hannover, Heft 31, Hannover 1975

[3] Mann, W.; Müller, H.: Bruchkriterien für querkraftbeanspruchtes Mauerwerk und ihre Anwendung auf gemauerte Windscheiben, Die Bautechnik, Heft 12, Berlin 1973

[4] DIN 1053-1:1996 Mauerwerk. Berechnung und Ausführung

[5] DIN 1053-2:1996-11 Mauerwerk, Teil 2: Mauerwerksfestigkeitsklassen aufgrund von Eignungsprüfungen

[6] DIN EN 1996-1-1:2013-02: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; in Verbindung mit: DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 + A1:2014-03 + A2:2015-01

[7] DIN EN 1996-3:2010-12: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten; in Verbindung mit: DIN EN 1996-3/NA:2012-01 + A1:2014-03 + A2:2015-01

[8] DIN EN 1996-1-2:2011-04: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall; in Verbindung mit: DIN EN 1996-1-2/NA:2013-06

[9] DIN EN 1996-2:2010-12 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk; in Verbindung mit: DIN EN 1996-2/NA:2012-01

[10] DIN 4172:2006-08 Maßordnung im Hochbau

[11] DIN EN 1990:2010-12 Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung mit DIN EN 1990/NA:2010-12

[12] Graubner, C.-A.; Brehm, E.: Analyse der maßgebenden Einwirkungskombinationen zur rationellen Bemessung von unbewehrten Bauteilen im üblichen Hochbau. Forschungsbericht F06-7-2009, BBR, Berlin 2009

[13] Roeser, W.; Gusia, W.: Gutachten Deckenzuschläge für nicht tragende Wände aus Kalksandstein, Aachen 2005

[14] Steinle, A.; Hahn, V.: Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau, Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e.V., Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1995

[15] Leicher, G. W.: Tragwerkslehre in Beispielen und Zeichnungen, Werner Verlag, Düsseldorf 2002

[16] Graubner, C.-A.; Förster, V.: Erweiterung des vereinfachten Nachweisverfahrens von DIN EN 1996-3/NA für hohe Wände aus Kalksandstein. Forschungsbericht F15-13-2014, Darmstadt 2014

[17] Graubner, C.-A.; Spengler, M.: Vereinfachter Nachweis von erddruckbelasteten Kellerwänden. Forschungsbericht DGfM Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau, Berlin 2006

[18] DIN 18530:1987-03: Massive Deckenkonstruktionen für Dächer. Planung und Ausführung

Bildnachweise

Bild S. 150: Ojo Images; **Bild S. 178, Bild S. 179:** Csaba Mester; **Bild S. 193:** Erich Spahn

Bild 1, Bild 2, Bild 35, Bild 36: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.





Kapitel 8

MAUERWERKSGERECHTE KONSTRUKTION

Dr.-Ing. Frank Purtak,
Geschäftsführer Trag Werk Ingenieure, Dresden

Stand: 01/2018

1. Einleitung

Der Mauerwerksbau ist eine äußerst leistungsfähige und sichere Bauweise zur Errichtung eines Gebäudes. In Abhängigkeit von der Festigkeit und Rohdichte der verwendeten Mauersteine sowie der Mörtelart können alle Anforderungen an Tragfähigkeit, Wärmeschutz, Brandschutz und Schallschutz erfüllt werden. Bis zur Hochhausgrenze und darüber hinaus ist Mauerwerk flexibel einsetzbar und erfordert keine lange Arbeitsvorbereitung. Dabei können spontane Planungsänderungen problemlos umgesetzt werden. Zudem werden Mauerwerkssteine in der Regel aus kurzfristig regional verfügbaren Baustoffen ohne lange Lieferwege hergestellt.

Ein Mauerwerksbau kann aus unterschiedlichen Mauersteinen mit differenzierten Eigenschaften erstellt werden. Im Allgemeinen wird er – unabhängig von der verwendeten Mauersteinart – in Kombination mit Stahlbetonbauteilen errichtet. Das unterschiedliche Verformungsverhalten der Baustoffe und Bauteile – insbesondere während der abklingenden Feuchtedehnung – muss bereits bei der Planung berücksichtigt werden. Auch lastabhängige Verformungen und periodisch wiederkehrende thermische Längenänderungen von Bauteilen können durch konstruktive Maßnahmen bei entsprechender Planung schadlos aufgenommen werden.

Sollten bei Gebäuden aus mineralischen Baustoffen trotzdem Haarrisse auftreten, sind diese für die Funktion des Gebäudes und der Bauteile in der Regel nicht von Bedeutung. Beispielsweise sind bei Stahlbetonkonstruktionen im Innenbereich von Gebäuden Rissweiten bis 0,4 mm zulässig. Bei Putzen sind so genannte Haarrisse bis 0,2 mm unbedenklich. Auch bei Mauerwerk lassen sichtbare Risse in einer Wand noch nicht den Schluss zu, dass ein Mangel oder gar ein Schaden vorliegt. In der Regel handelt es sich um optische Auffälligkeiten. Durch das Herstellen des Mauerwerks mit einer Vielzahl von Steinen sind ohnehin Sollrisse in den Lager- und Stoßfugen vorhanden, wodurch konstruktionsbedingt etwaige Zwangsspannungen minimiert werden. Für eine Wandoberfläche ohne störende Risse ist weiterhin auch die Ausführung der Wandbeschichtung festzulegen.

Im Hinblick auf die Beurteilung einer Beeinträchtigung durch Rissbildungen gilt der Grundsatz, dass diese unter gebrauchsüblichen Bedingungen wie Betrachtungsabstand und Beleuchtungsbedingungen zu beurteilen sind. Die Beurteilung der Auswirkung von Rissen auf die Funktionstüchtigkeit des Bauteils orientiert sich am jeweiligen Anforderungsprofil: Bei Rissen im Innenbereich kann z.B. von Bedeutung sein, ob Luftdichtheit oder Schallschutz der betroffenen Wand beeinträchtigt sind. Bei Außenwänden stellt sich meist die Frage, ob durch eine Rissbildung die Schlagregenschutzfunktion und Dauerhaftigkeit des Putzes beeinträchtigt sind [1].

Nachfolgend sind Ursachen für das Entstehen von Rissen im Mauerwerk dargelegt und Hinweise zu deren Minimierung gegeben.

2. Entstehen von Zwangsspannungen und Rissen

Durch Quellen, Schwinden, Kriechen können Baustoffe wie Beton und Mauerwerk eine Formänderung erfahren. Die Formänderung wird durch Alter, Größe und Umgebungsbedingungen des Bauteils beeinflusst. Kann sich ein Bauteil hinsichtlich der Formänderung nicht frei verformen, kommt es häufig zu Rissen.

In der Praxis wird sich ein Bauteil in der Regel nicht behinderungsfrei verformen können, weil es mit Nachbarbauteilen verbunden ist. Verformen sich verbundene Bauteile unterschiedlich, so entstehen Spannungen. Wenn die Verformungen durch äußere Kräfte (Zwang) behindert werden, wird die dadurch verursachte Spannung als äußere bzw. Zwangsspannung bezeichnet. Spannungen in einem Bauteil können jedoch auch ohne Einwirkung äußerer Kräfte entstehen, z.B. wenn sich das Bauteil unterschiedlich erwärmt oder wenn es ungleichmäßig austrocknet, z.B. außen stärker als im Kern. Die dadurch entstehenden Spannungen werden dann als Eigenspannungen bezeichnet (Bild 1). Beim Mauerwerk tritt dieser Fall vor allem bei dickeren Wänden und Pfeilern auf, wenn Steine mit hoher Einbaufeuchte vermauert werden und anschließend austrocknen. Durch die ungleiche Austrocknung über den Querschnitt entstehen Eigenspannungen, und zwar Zugspannungen in den äußeren, stärker austrocknenden Bereichen und Druckspannungen im Kernbereich.

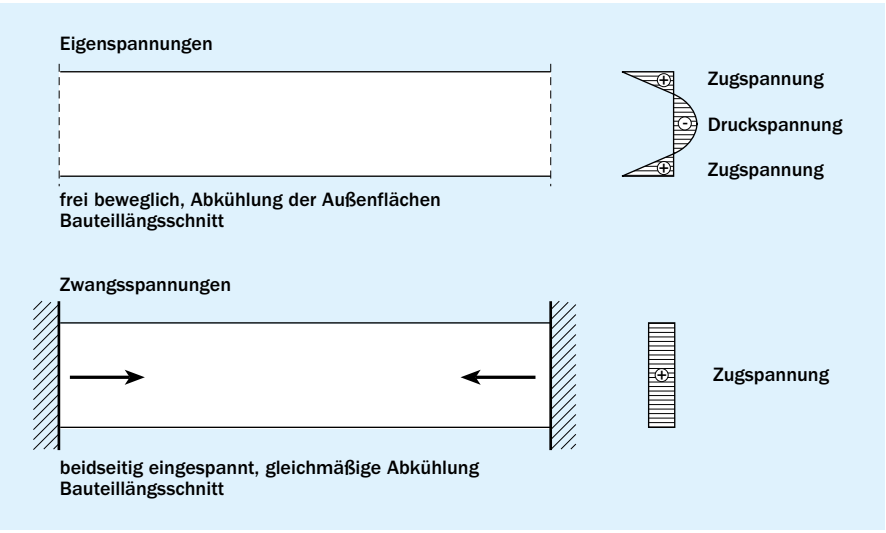


Bild 1 Eigen- und Zwangsspannungen

Die Größe der entstehenden Spannungen ist im Wesentlichen abhängig von

- der Größe der Formänderungen,
- dem Behinderungs- und Einspanngrad,
- den Steifigkeitsverhältnissen der miteinander verbundenen Bauteile mit Elastizitäts- und Schubmodul,
- dem Spannungsabbau infolge Relaxation.

Relaxation ist der zeitabhängige Spannungsabbau bei konstanter Dehnung. Beispielsweise wird in einem Bauteil eine Ausgangsspannung durch konstante Temperaturdehnung hervorgerufen. Diese Ausgangsspannung verringert sich infolge von Relaxation (innerer Spannungsabbau) nach einer gewissen Zeit auf eine wesentlich geringere Endspannung.

Kritisch sind Zugspannungen oder Scher- bzw. Schubspannungen, weil die Zugfestigkeit und die Schubbeanspruchbarkeit von Mauerwerk im Vergleich zur Druckfestigkeit relativ gering sind. Risse im Bauteil entstehen dann, wenn die Spannungen die entsprechende Festigkeit überschreiten bzw. die vorhandenen Dehnungen größer als die Bruchdehnung werden.

3. Formänderungen

Bauwerke und deren Bauteile (z.B. Mauerwerk) verformen sich in Abhängigkeit der Belastungssituation und aus lastunabhängigen Einwirkungen. Bild 2 gibt eine Übersicht über Formänderungen (Dehnungen) im Mauerwerk.

Der Oberbegriff Dehnung ε für ein Bauteil umfasst sowohl Verkürzen (Stauchen) als auch Verlängern (Strecken) als bezogene Längenänderung mit der „Einheit“ [mm/m = ‰], z.B. $\varepsilon = -0{,}3$ ‰ entspricht 0,3 mm Verkürzung je Meter Bauteillänge.

Rechenwerte, d.h. im Allgemeinen zutreffende Formänderungswerte, sowie Angaben zum Bereich möglicher Kleinst- oder Größtwerte finden sich in DIN EN 1996-1-1/NA, Tabelle NA.13 [2] und einem ständig aktualisierten Beitrag im Mauerwerk-Kalender [3]. In [4] werden die Formänderungen von Mauerwerk sowie entsprechende Prüfverfahren ausführlich behandelt.

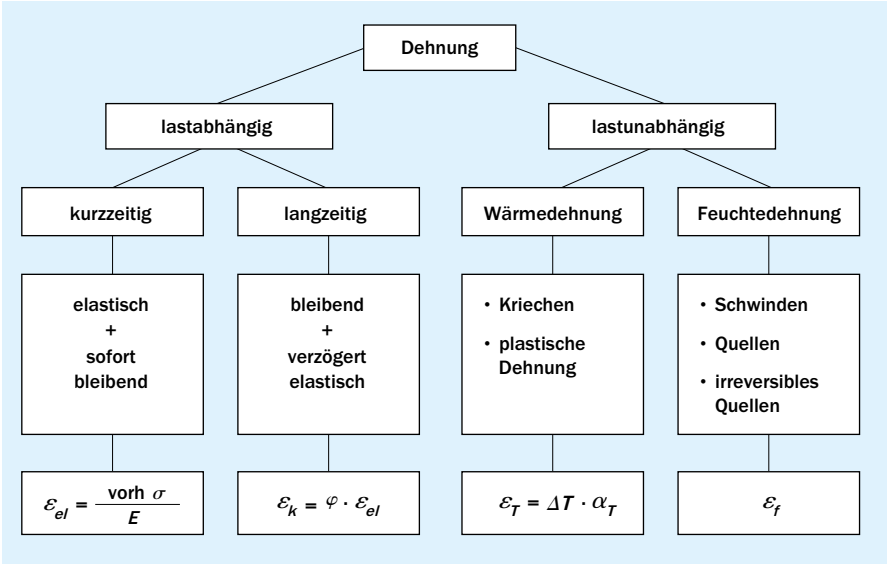


Bild 2 Formänderungen von Mauerwerk

3.1 Wärmedehnung

Maßänderungen durch Wärmeeinwirkung bzw. Temperaturänderung werden als Wärmedehnung bezeichnet. Die Wärmedehnung ε_T ergibt sich aus der jeweiligen Temperaturänderung ΔT in K und dem stoffspezifischen Wärmeausdehnungskoeffizienten α_T in 1/K:

$$\varepsilon_T = \Delta T \cdot \alpha_T$$

Der Koeffizient α_T muss versuchsmäßig bestimmt werden und gilt näherungsweise für Mauerwerk im Temperaturbereich von -20 °C bis +80 °C als konstant.

Rechenwerte und Wertebereiche für den Wärmeausdehnungskoeffizienten sind in Tafel 1 angegeben. Die zur Berechnung der Wärmedehnung erforderliche Temperaturdifferenz ΔT muss für den jeweiligen Anwendungs- und Betrachtungsfall festgelegt werden. Als Bezugstemperatur wird zumeist die Herstellungstemperatur des Bauteils bzw. der Bauteile gewählt.

3.2 Feuchtedehnung

Als Schwinden und Quellen werden Dehnungen (Volumen- bzw. Längenänderungen) von Mauerwerk und Mauerwerksbaustoffen infolge Feuchtigkeitsabgabe bzw. -aufnahme bezeichnet. Dabei wird vom erhärteten Zustand (Mauersteine) bzw. von einer gewissen Anfangserhärtung (Mauermörtel) ausgegangen. Schwinden und Quellen sind physikalische Vorgänge und mit Ausnahme von chemischem Quellen teilweise umkehrbar.

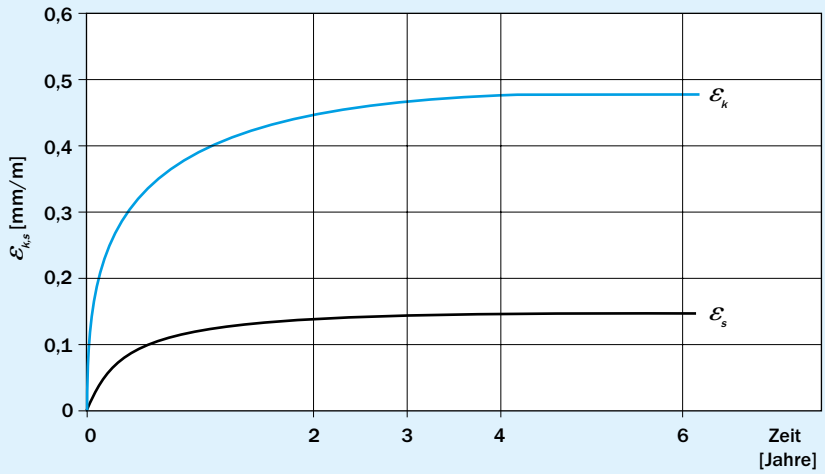


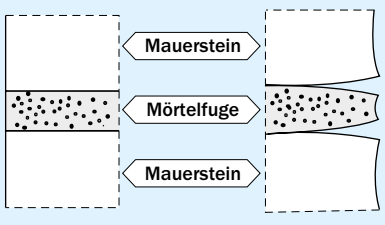
Bild 3 Zeitlicher Verlauf von Schwind- (ε_s) und Kriechdehnung (ε_k) bei Mauerwerk, konstantes Lagerungsklima

Schwinden von Mauerwerk ist bedeutungsvoller als dessen Quellen, weil es im Allgemeinen mit rissgefährdenden Zugspannungen verbunden ist. Hygrisches Schwinden oder hygrisches Quellen, also durch Wasserabgabe bzw. -aufnahme, treten bei allen Mauersteinen sowie bei Mauermörtel auf.

Der zeitliche Verlauf des Schwindens (Bild 3) wird beeinflusst durch

- die Mauerwerksart,
- den Anfangsfeuchtegehalt der Mauersteine beim Vermauern,
- das Schwindklima (relative Luftfeuchte, Luftbewegung),
- die Bauteilgröße.

Das Schwinden beschleunigt sich mit abnehmender relativer Luftfeuchte und mit zunehmender Luftbewegung. Es verläuft bei Mauerwerk aus z.B. Leichtbeton- und Porenbetonsteinen langsamer als bei Kalksandsteinen. Durch schnelles oberflächennahes Austrocknen im Stein- und im Fugenbereich kann es im Extremfall zu Anrissen zwischen Mauerstein und Fugenmörtel (Aufreißen der Fuge, Bild 4) kommen, da der Feuchtegehalt im Innenbereich größer als im Randbereich der Fuge ist. Nach vollständigem Austrocknen schließen sich die Randrisse in der Regel wieder.



Prinzipdarstellung stark überzeichnet

Bild 4 Rissbildung durch Randschwinden von Stein und Mörtel

Bei annähernd konstantem Schwindklima ist das Schwinden nach zirka zwei Jahren in der Regel abgeschlossen. Anhaltswerte zum Schwindverlauf sind in [4] angegeben.

Formänderungskennwerte sind auch in DIN EN 1996-1-1/NA, Tabelle NA.13 angegeben (Tafel 1).

3.3 Elastische und plastische Dehnung

Formänderungen mit elastischer Dehnung steigen mit der Spannung an und gehen bei Entlastung wieder auf Null zurück. Im Mauerwerk ist nach Erstbelastung bereits ein geringer Anteil an bleibender Dehnung (plastische Dehnung) enthalten, welcher nach vollständiger Entlastung erhalten bleibt.

3.4 Kriechen

Die Formänderung unter langzeitiger Lasteinwirkung wird als Kriechen bezeichnet. Im Allgemeinen wird unter Kriechen die Formänderung (Verkürzung) in Beanspruchungsrichtung verstanden. Die Kriechzahl $\varphi = \varepsilon_{k,t}/\varepsilon_{el}$ ist der Verhältniswert von Kriechdehnung $\varepsilon_{k,t}$ zu elastischer Dehnung ε_{el}. Die Kriechzahl ist im Gebrauchsspannungsbereich näherungsweise konstant. Das Kriechen ist überwiegend irreversibel.

Wesentliche Einflüsse auf den zeitlichen Verlauf des Kriechens sind

- die Mauerwerksart,
- der Anfangsfeuchtegehalt der Mauersteine,
- der Mörtel- bzw. Steinanteil,
- das Belastungsalter.

Bei Mauerwerk mit Dünnbettmörtel verursacht die Anlegefuge mit Normalmauermörtel den wesentlichen Kriechanteil.

Die Einflüsse auf den zeitlichen Verlauf des Kriechens können bislang nicht ausreichend quantifiziert werden. Bei näherungsweise konstanten Klimabedingungen und konstanter Belastung ist das Kriechen nach etwa drei Jahren weitgehend beendet.

Analog zur Endschwinddehnung sind in Abhängigkeit der Mauersteinart die Rechenwerte in Tafel 1 angegeben.

Tafel 1 Kennwerte für Kriechen, Quellen oder Schwinden und Wärmedehnung nach DIN EN 1996-1-1/NA, Tabelle NA.13

Mauersteinart	Mauermörtelart	Endkriechzahl[1] ϕ_∞		Endwert der Feuchtedehnung[2] [mm/m]		Wärmeausdehnungskoeffizient α_T [10^{-6}/K]	
		Rechenwert	Wertebereich	Rechenwert	Wertebereich	Rechenwert	Wertebereich
Mauerziegel	Normalmauermörtel	1,0	0,5 bis 1,5	0	-0,1[3] bis +0,3	6	5 bis 7
	Leichtmauermörtel	2,0	1,0 bis 3,0				
Kalksandsteine	Normalmauermörtel/ Dünnbettmörtel	1,5	1,0 bis 2,0	-0,2	-0,3 bis -0,1	8	7 bis 9
Betonsteine	Normalmauermörtel	1,0	–	-0,2	-0,3 bis -0,1	10	8 bis 12
Leichtbetonsteine	Normalmauermörtel	2,0	1,5 bis 2,5	-0,4	-0,6 bis -0,2	10; 8[4]	
	Leichtmauermörtel			-0,5	-0,6 bis -0,3		
Porenbetonsteine	Dünnbettmörtel	0,5	0,2 bis 0,7	-0,1	-0,2 bis+0,1	8	7 bis 91

[1] Endkriechzahl $\phi_\infty = \epsilon_\infty / \epsilon_{el}$ mit ϵ_∞ als Endkriechmaß und $\epsilon_{el} = \sigma/E$
[2] Endwert der Feuchtedehnung ist bei Stauchung negativ und bei Dehnung positiv angegeben.
[3] Für Mauersteine < 2 DF gilt der Grenzwert -0,2 mm/m.
[4] Für Leichtbeton mit überwiegend Blähton als Zuschlag
Bemerkung: Die Verformungseigenschaften der Mauerwerksarten können stark streuen. Der Streubereich ist in Tabelle NA. 13 als Wertebereich angegeben; er kann in Ausnahmefällen noch größer sein.

4. Rissbildung durch Längenänderung

Mit dem derzeitigen Kenntnisstand über das Verformungsverhalten von Mauerwerk und die aus den behinderten Formänderungen entstehenden Spannungen lassen sich praktische Fälle von Bauteilkombinationen lediglich näherungsweise hinsichtlich ihrer Risssicherheit beurteilen. Diese Näherung ist schon allein dadurch begründet, dass die bauseitigen Bedingungen nicht, bzw. nicht genau bekannt und erfassbar sind. Das betrifft z.B. die Eigenschaften des Mörtels im Mauerwerk, den Einfluss der Witterungsbedingungen auf Festigkeits- und Formänderungseigenschaften aber auch den Einspanngrad bzw. die Größe der Formänderungsbehinderungen durch die Verbindung mit benachbarten Bauteilen.

Vor Anwendung von Rechenverfahren ist eine gründliche qualitative Vorabbeurteilung des Gesamtbauwerks hinsichtlich möglicher Problemfälle empfehlenswert. Dies bedarf entsprechender Kenntnisse und Erfahrungen. Nach der Vorabbeurteilung sollten wahrscheinliche Problemfälle hinsichtlich der Risssicherheit mit Rechenverfahren beurteilt werden, soweit diese überhaupt auf den jeweiligen Fall anwendbar sind.

Tafel 2 Beurteilung der Risssicherheit von miteinander verbundenen Bauteilen

$\Delta\varepsilon$ [mm/m]	Risssicherheit
≤ 0,2	ja, bei Verformungsfall V2: $\Delta\varepsilon \leq 0{,}1$
0,2 bis 0,4	fraglich → rechnerische Beurteilung
> 0,4	nein, ggf. rechnerische Beurteilung

Der Unterschied der Formänderungen zwischen zwei Bauteilen oder die Formänderung innerhalb eines Bauteilquerschnitts bilden das wichtigste Kriterium für die Risssicherheit. Der Formänderungs- bzw. Dehnungsunterschied wird aus der Formänderungsdifferenz $\Delta\varepsilon$ der gedanklich getrennten Bauteile ermittelt.

Beispiel: Kalksandstein-Verblendschale auf Kelleraußenmauerwerk

- Annahme Schwinden Verblendschale: $\varepsilon_{s,V} = -0{,}3$ mm/m
- Annahme Schwinden Kelleraußenwand: $\varepsilon_{s,K} = -0{,}1$ mm/m

$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{s,V} - \varepsilon_{s,K} = -0{,}2$ mm/m.

Mit Hilfe des Absolutwerts von $\Delta\varepsilon$ lässt sich zwischen miteinander verbundenen Bauteilen die Risssicherheit nach Tafel 2 grob beurteilen.

4.1 Rissbildung bei Verwendung unterschiedlicher Wandbaustoffe

Zwischen den miteinander verbundenen Innen- und Außenwänden können Verformungsunterschiede in vertikaler Richtung durch unterschiedliche Belastung und/oder unterschiedliche Formänderungseigenschaften des jeweiligen Mauerwerks entstehen. Eine unabhängige und unbehinderte Verformung von Außen- und Innenwand ist vor allem dann nicht möglich, wenn aussteifende Querwände und die auszusteifende Wand im Verband hergestellt werden.

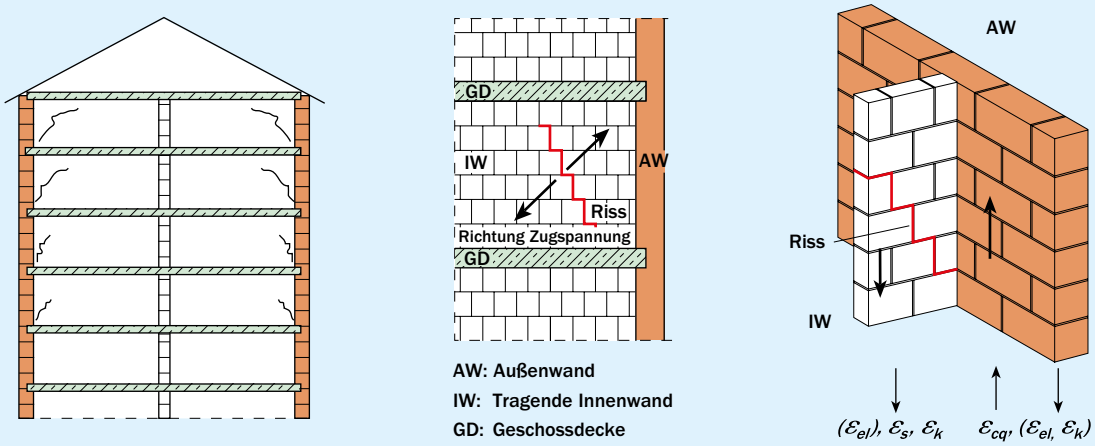


Bild 5 Verformungsfall V1: Die Innenwand verkürzt sich gegenüber der Außenwand.

Die Formänderungsunterschiede zwischen Außen- und Innenwand führen deshalb zu Spannungen, in der Regel zu Zug- bzw. Schubspannungen. Diese entstehen in derjenigen Wand, die sich gegenüber der angebundenen Wand verkürzen „will“ (Bilder 5 und 6). Die relative Verkürzung kann durch Belastungsunterschiede (Kriechverformungen), vor allem aber durch Schwinden bzw. irreversibles Quellen verursacht werden.

Große Temperaturunterschiede im maßgebenden Kernbereich der Außenwände treten wegen der heute erforderlichen hohen Wärmedämmung nicht mehr auf. Die Größe der entstehenden Spannungen bzw. das Rissrisiko hängen im Wesentlichen ab von der Größe des Verformungsunterschiedes zwischen Innen- und Außenwand und der Art der Verbindung der beiden Wände, d.h. vom Behinderungsgrad sowie den Steifigkeitsverhältnissen.

Grundsätzlich sind die im Folgenden aufgezeigten zwei Verformungsfälle V1 und V2 zu unterscheiden.

4.1.1 Verformungsfall V1: Die Innenwand verkürzt sich vertikal gegenüber der Außenwand

Dies ist der Fall bei schwindenden Innenwänden sowie Außenwänden, die wenig schwinden ggf. sogar quellen (Mauerziegel). Wird der Verformungsunterschied zwischen Innen- und Außenwand zu groß, so entstehen Risse in der Innenwand, die vom Außenwandfußpunkt schräg ansteigend nach innen verlaufen (Bild 5).

Daher sind beispielsweise die Mauerwerks-Kombinationen: Außenwände in Leichtziegelmauerwerk, Innenwände in Kalksandstein- bzw. Leichtbetonsteinmauerwerk (Leichtbetonvollsteine) hinsichtlich Rissrisiko genauer zu analysieren.

4.1.2 Verformungsfall V2: Die Außenwand verkürzt sich vertikal gegenüber der Innenwand

Dies ist der Fall, wenn die Innenwand nur wenig schwindet, ggf. sogar quillt (Mauerziegel) und die Außenwand dagegen sehr stark schwindet, z.B. Bimsmauerwerk (Bild 6).

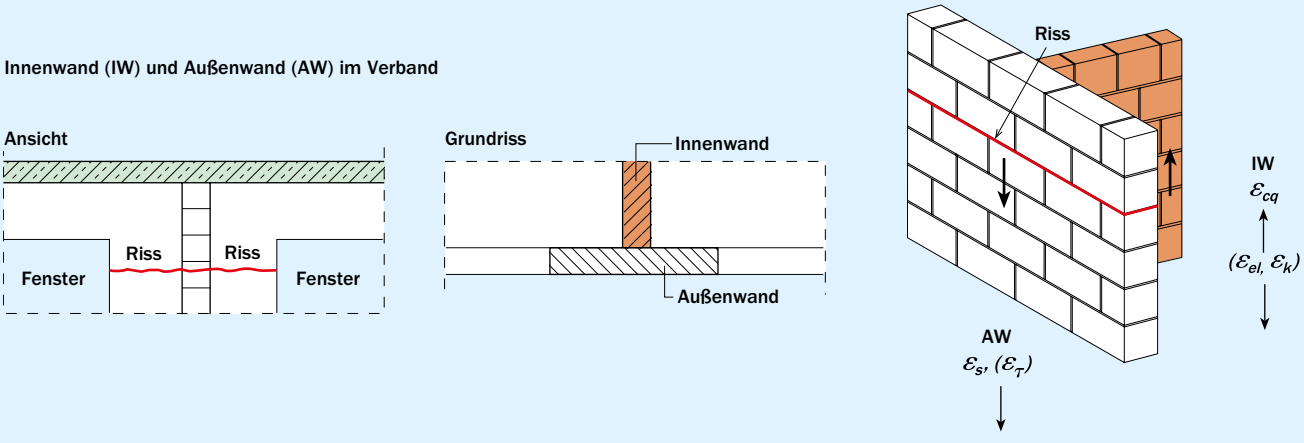


Bild 6 Verformungsfall V2: Die Außenwand verkürzt sich gegenüber der Innenwand.

Durch das starke Schwinden bzw. Verkürzen der Außenwand kommt es zu einer Lastumlagerung auf die Innenwand. Die Außenwand „hängt“ sich an der Innenwand auf. Wird die Haftzugfestigkeit zwischen Stein und Mörtel in der Lagerfuge, bzw. in Einzelfällen auch die Zugfestigkeit der Mauersteine überschritten, so entstehen annähernd horizontal verlaufende Risse in der Außenwand. Diese werden im Allgemeinen im Anbindungsbereich zur Innenwand relativ fein verteilt, in größerem Abstand davon als wenige größere Risse auftreten. Die Risse finden sich vorzugsweise in vorgegebenen „Schwachstellen“, vor allem im Bereich von Öffnungen. Das Entstehen der Risse kann zusätzlich befördert werden aus Deckendurchbiegung mit der Verdrehung am Endauflager und damit exzentrischer Beanspruchung der Wand.

4.1.3 Maßnahmen zur Erhöhung der Risssicherheit

- Wahl von Mauerwerks-Kombinationen mit geringem Formänderungsunterschied $\Delta\varepsilon_0$

- Wahl – soweit möglich – günstiger Steifigkeitsverhältnisse von Innen- und Außenwand. Im Verformungsfall V1 sollen die Innenwand möglichst steif (hoher E-Modul, großer wirksamer Wandquerschnitt) und die Außenwand möglichst nachgiebig sein. Folge: Die Innenwand zwingt der Außenwand rissunwirksam einen hohen Anteil ihrer Verformung (Verkürzung) auf.

- Gleiche Setzungen des Baugrunds unter dem Baukörper. Dies kann erreicht werden, indem die Gründungskörper auch unter dem Gesichtspunkt des Setzungsverhaltens festgelegt werden; ggf. ist ein Baugrundingenieur einzuschalten.

- Durch Stumpfstoßtechnik mit der in vertikaler Richtung relativ weichen Verankerung wird eine weniger behinderte Verformung von Innen- und Außenwand erreicht. Dies kann durch Einlage einer Bitumendachbahn R 500 zwischen Unterseite Geschossdecke und Innenwand noch weiter begünstigt werden (Bild 7). Anschlüsse durch Stumpfstoßtechnik haben ein geringeres Risspotenzial im Wandbereich gegenüber verzahnten Anschlüssen. Beim Stoß der verputzten Wände ist ein „Kellenschnitt“ empfehlenswert.

- Wände möglichst spät mit geeigneten Produkten verputzen

Näherungsweise ist aus der Erfahrung davon auszugehen, dass Verformungsunterschiede $\Delta\varepsilon_0$ zwischen Innen- und Außenwand (aus Schwinden, irreversiblem Quellen) von 0,3 bis 0,4 mm/m unbedenklich sind.

Dies gilt prinzipiell auch für die in schallschutztechnischer Hinsicht optimierte Stumpfstoßausführung zwischen Trennwand und Außenwänden. Die Trennwand wird bis zur Außenfläche der Außenwand durchgeführt, die Außenwand wird an die Trennwand mittels Stumpfstoßverbindung angeschlossen. Ein weiterer Vorteil liegt hiermit darin, dass die Längen der Außenwandabschnitte geringer sind.

4.2 Rissbildung im Mauerwerk in Verbindung mit Stahlbetondecken

Bei der Risssicherheit aus Längenänderung in horizontaler Richtung wird hauptsächlich das Zusammenwirken der Mauerwerkswand mit anbindenden Stahlbetondecken betrachtet. Dabei spielen äußere vertikale Lasten eine wesentliche Rolle. Je kleiner die Auflast auf eine Mauerwerkswand ist, umso größer ist das Rissrisiko aus Längenänderung in horizontaler Richtung. Das ist besonders bei Dachdecken und längeren nicht tragenden Wänden von Bedeutung.

Es werden drei Situationen genauer beschrieben:

- Verformungsfall H1: Längsverformung der Wand gegenüber der Decke oder anschließenden Wänden

- Verformungsfall H2: Längsverformung der Geschosssdecke in Wandlängsrichtung

- Verformungsfall H3: Längsverformung der Dachdecke in Wandlängsrichtung

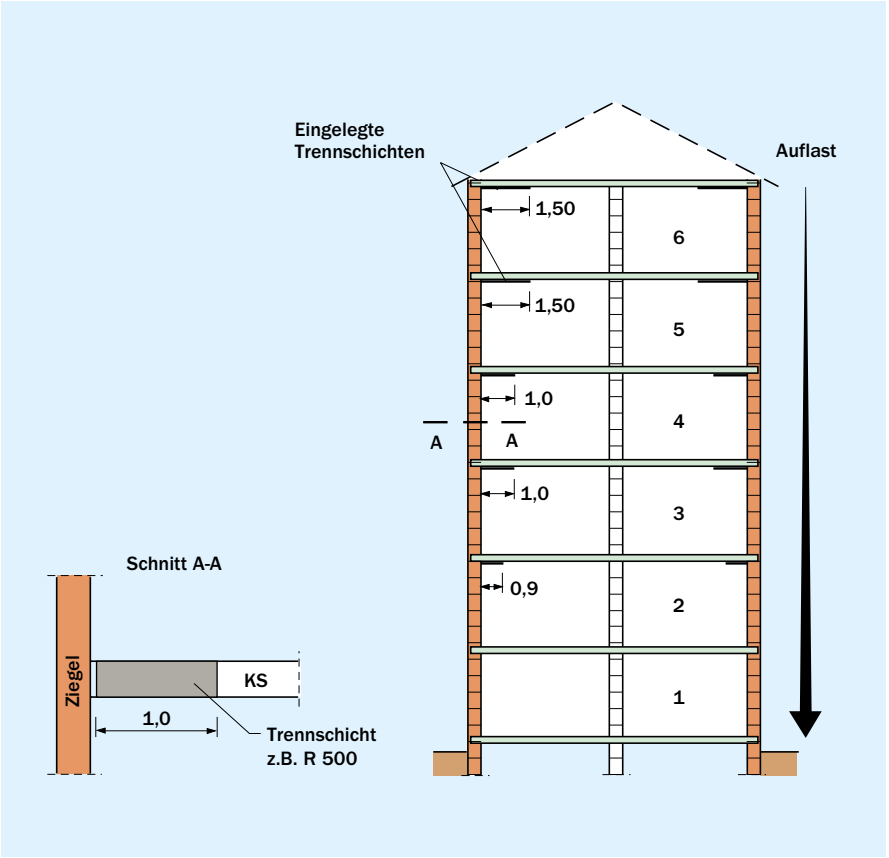


Bild 7 Stumpfstoßtechnik mit eingelegter Trennschicht in der Innenwand

4.2.1 Verformungsfall H1 – horizontale Verkürzung der Wand gegenüber der Decke

Dieser Verformungsfall ist für Gebäude aus Kalksandstein unter üblichen Baustellenbedingungen nicht relevant.

In der Massivbauweise ist eine Konstruktion mit Wänden aus Mauerwerk und Decken aus Stahlbeton üblich, wobei die Decke als aussteifende Scheibe wirkt. Bei Wahl einer anderen Deckenart (z.B. Holzbalkendecke) wird zur Festhaltung der Wand alternativ ein umlaufender Ringbalken ausgeführt.

Eine Verkürzung der Wände gegenüber den Decken ist schematisch in Bild 8 dargestellt. Gründe für eine Verkürzung können Schwinden der Mauerwerkswand und/oder eine Abkühlung nach Herstellung sein. Risse treten bei einer Verkürzung der Wand gegenüber der Decke von mehr als 0,2 mm/m auf [5], siehe auch Tafel 2. Dieser Verformungsfall tritt in der Regel nur im ungedämmten Bauzustand auf.

In Bild 9 sind einige typische Merkmale dieses Verformungsfalls zu erkennen. Die größten Zugspannungen treten in der Mitte von langen Wänden in den obersten Geschossen auf. Wenn die Zugspannungen in etwa der halben Wandlänge die Zugfestigkeit des Mauerwerks überschreiten, bildet sich an der Stelle ein spannungsentlastender Riss. Die Risse sind in halber Wandhöhe am breitesten. Nach unten und oben laufen sie zu den Geschossdecken auf Null aus.

Die Risse entstehen prinzipiell unabhängig vom Steinformat aus den Fällen (Bild 9):

- Überschreiten der Steinzugfestigkeit oder
- Überschreiten der Scherfestigkeit zwischen Mauerstein und -mörtel.

Mit zunehmender vertikaler Belastung nimmt die Rissbreite in den unteren Geschossen ab bis keine Risse mehr aus der Formänderung der Wände auftreten. Die auf die Wände wirkende Auflast führt zu einer Stauchung in vertikaler und zu einer Dehnung in horizontaler Richtung. Die Querdehnung wirkt der Verkürzung der Wand entgegen und führt bei ausreichend großer Auflast zu einer rissfreien Wand.

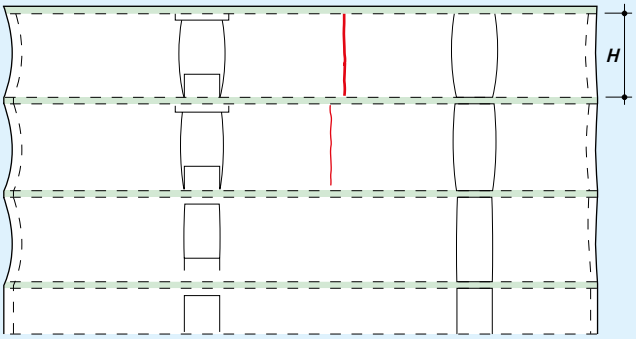


Bild 8 Verformungsfall H1: Verkürzung der Wände gegenüber den Geschossdecken

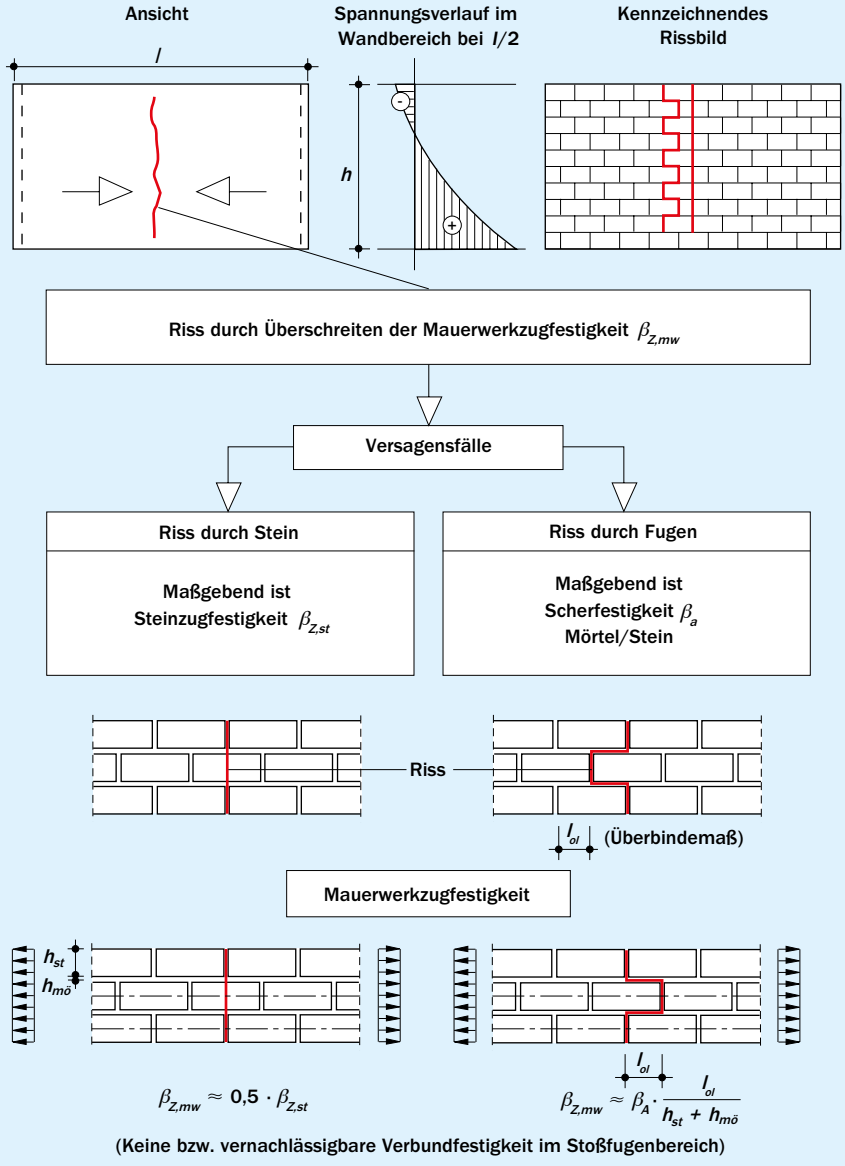


Bild 9 Prinzip der Rissentstehung

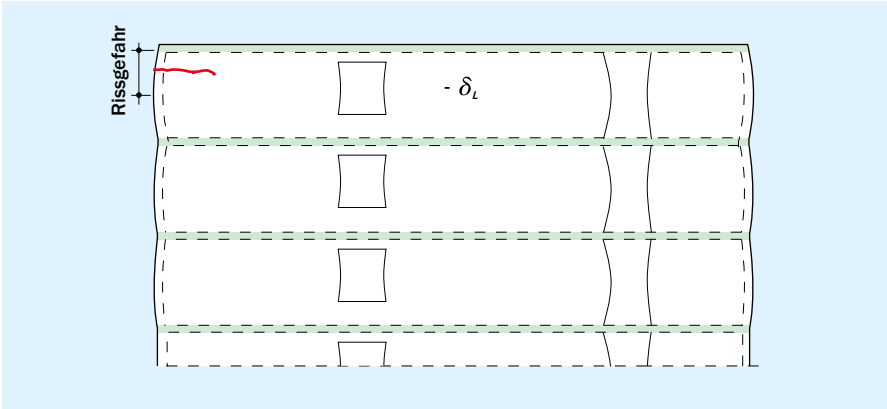


Bild 10 Verformungsfall H2: Verkürzung der Decken in Wandlängsrichtung

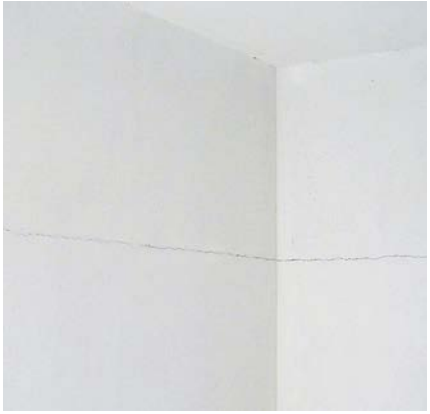


Bild 11 Risbildung infolge Verkürzung der Decken in Wandlängsrichtung

4.2.2 Verformungsfall H2 – horizontale Verkürzung der Decke gegenüber der Wand

Im Verformungsfall H2 verkürzen sich die Geschossdecken gegenüber dem Mauerwerk, woraus in diesem Fall horizontale Risse im oberen Bereich der Wandecke entstehen können. Der geringen Auflast wegen ist hier das oberste Geschoss besonders gefährdet. Das Rissbild (Bilder 10 und 11) ähnelt sehr den Rissen aus Aufschüsseln der Dachdecke und wird daher oftmals allein darauf zurückgeführt.

Sonderfall: Stahlbetongurt auf Mauerwerks–Giebelwand

Bild 12 zeigt ein Beispiel mit Stahlbetongurt als oberem Abschluss einer Giebelwand aus Mauerwerk. Eine leichte Dachkonstruktion schließt das Gebäude ab und schützt es vor Witterungseinflüssen. Der Stahlbetongurt hat im Beispiel einen großen Querschnitt aber geringen Bewehrungsgehalt. Er verkürzt sich infolge Schwindens in Längsrichtung der Wand (Bild 13).

Die Schubkraft in der Fuge ist wegen der geringen Auflast nicht übertragbar, durch Rissbildung werden dann die Zwangsspannungen abgebaut.

Möglichkeiten zur Reduzierung des Rissrisikos:

- Mauerstein oben schräg schneiden („Zacken“ verhindern)
- U-Schale mit Stahlbetongurt einbauen
- Erhöhte Längsbewehrung im Gurt zur Reduzierung der Gesamtstauchung des Schwinden
- Verwendung von schwindarmem Beton, z.B. mit geringem w/z-Wert

4.2.3 Verformungsfall H3 – horizontale Verkürzung der Dachdecke gegenüber Wand und Geschossdecke

Der Verformungsfall H3 tritt besonders bei ein- und zweigeschossigen Gebäuden auf, bei denen das Fundament gegenüber der Dachdecke eine geringere Längenänderung aufweist. Bei Stauchung oder Streckung der Dachdecke aus z.B. Schwinden oder Temperaturanstieg wird das Mauerwerk bei gleichzeitig geringer Längenänderung des Fundamentes oder der unteren Geschossdecke auf Schub beansprucht, was auch im typisch diagonalen Rissverlauf erkennbar ist (Bilder 13 und 14).

Die geringe Auflast oberhalb der Dachdecke hat einen erheblichen Einfluss auf das Rissrisiko des tragende Außen- und Innenmauerwerks. Die Auflast von nur einem Geschoss kann bereits ausreichen, um z.B. die Verdrehungen im Bereich von Decken-Endauflagern zu minimieren und trocknungs- oder temperaturbedingte Spannungen im Mauerwerk zu überdrücken.

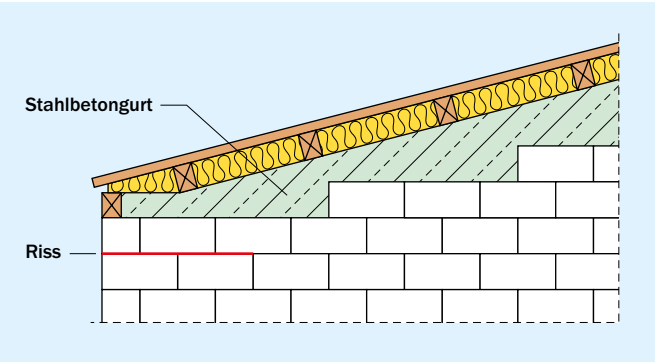


Bild 12 Stahlbetongurt auf Mauerwerks-Giebelwand

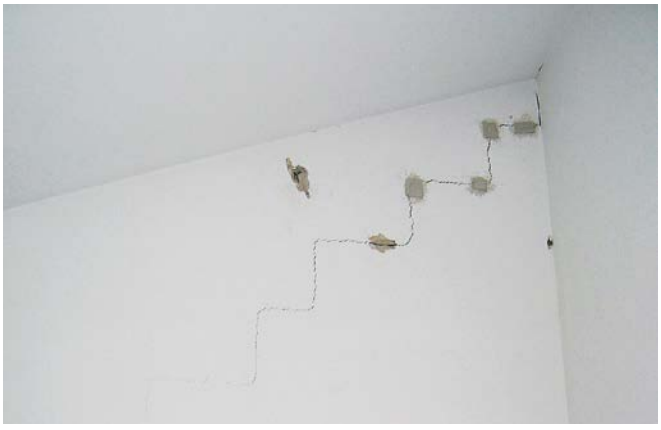


Bild 13 Rissbildung durch Verkürzung eines Stahlbetongurts

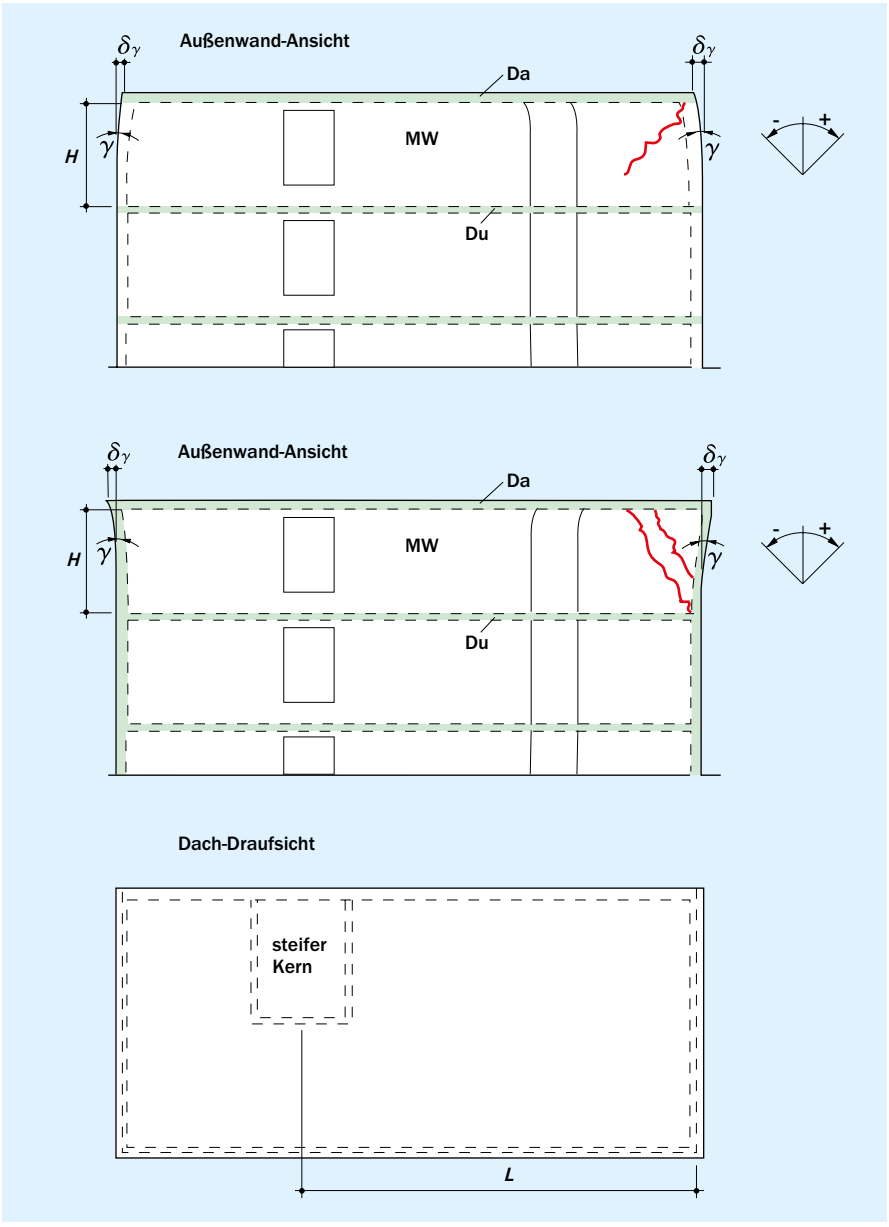


Bild 14 Verformungsfall H3: Verformung der Dachdecke gegenüber der Wand; Da = Dachdecke, Du = Decke unter Da, MW = Mauerwerkswand

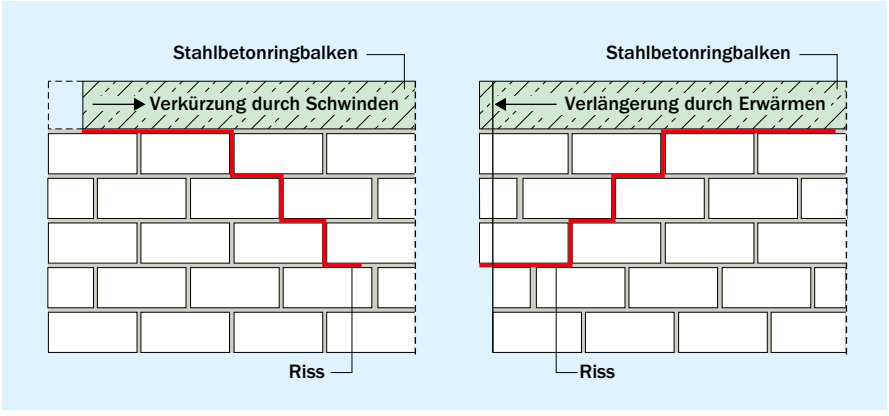


Bild 15 Verformungsfall H4: Verformung von einem ungedämmten Stahlbetonringbalken

Nach Erfahrungswerten und der nicht bauaufsichtlich eingeführten Norm DIN 18530:1987-03 [6] und [5] kann rechnerisch abgeschätzt werden, in welchen Fällen (Dachmaße, Baustoffeigenschaften, Formänderungen) ein Rissrisiko besteht. Ist hier mit Rissen zu rechnen, so sind geeignete Maßnahmen wie Trennschichten, Verformungslager, Gebäudetrennfugen etc. zu ergreifen.

Erfahrungen zeigen, dass bei mehrgeschossigen Gebäuden die Dachdecke auf Mauerwerk nur bis zur maßgebenden Verschiebelänge von $l = 6$ m unverschieblich gelagert werden sollte (Bild 16). Bei mehrgeschossigen Gebäuden mit $l > 6$ m und bei eingeschossigen Gebäuden muss, falls keine verschiebliche Lagerung vorgesehen ist, ein Nachweis der Unschädlichkeit der Verformungen geführt werden.

Bei dieser Untersuchung sind die zu erwartenden unbehinderten Verformungen mit den ohne Schaden aufnehmbaren Verformungen zu vergleichen. Maßgebend sind die Dehnungsdifferenz δ_E zwischen Wand und Decke und der Verschiebewinkel γ der Wand, der am Wandende durch unterschiedliche Längenänderung der Dachdecke und der darunter liegenden Geschossdecke hervorgerufen wird (Bild 15). Bei fester Auflagerung der Dachdecke gelten folgende Werte als obere Grenze.

- Dehnungsdifferenz δ_E: ±0,4 mm/m Verkürzung bzw. +0,2 mm/m Verlängerung
- Verschiebewinkel $\gamma = \Delta l / h$: -1/2.500 bis +1/2.500rad

4.2.4 Verformungsfall H4 – ungedämmte Dachdecken

In diesem Fall ist die Dachdecke möglichst reibungsfrei auf den Wänden zu lagern, damit nur geringe Schubkräfte auf diese übertragen werden. Eine solche Funktion kann eine „Gleitfuge“ übernehmen, bei der zwei Bauteile durch eine Gleitschicht voneinander getrennt sind, welche eine gegenseitige Verschiebung ohne große Reibung ermöglicht.

Bei Flachdachkonstruktionen mit Gleitfugen kann die Stahlbetondecke nicht die Funktion der oberen Wandhalterung übernehmen, weil zwischen der Decke und den Wänden durch die Anordnung einer Gleitschicht (Bild 17) bewusst auf ei-

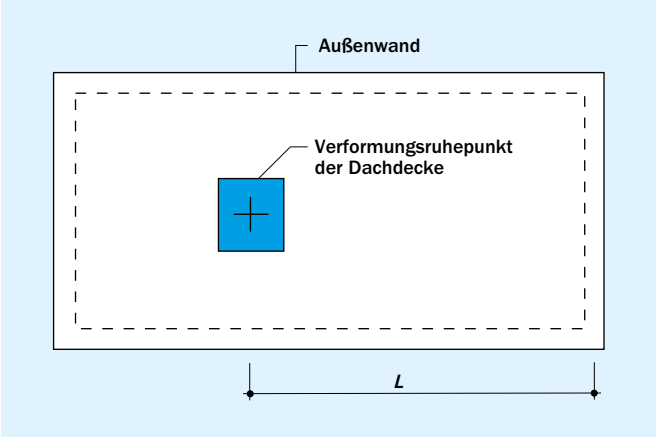


Bild 16 Maßgebliche Verschiebelänge, Dach-Draufsicht

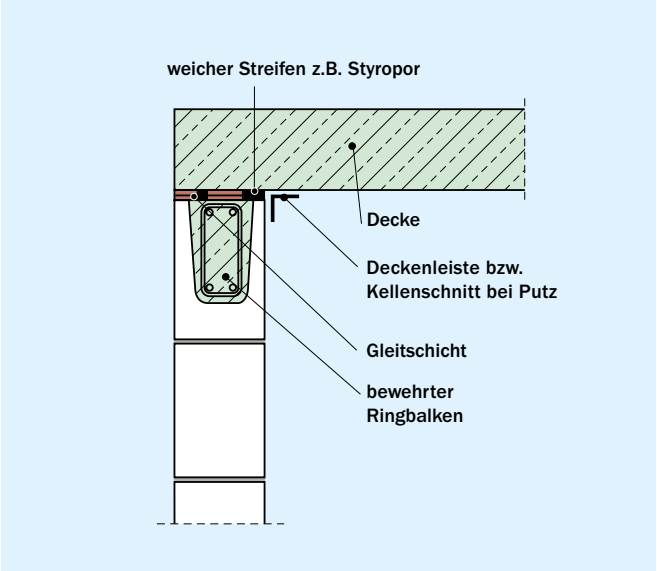


Bild 17 Konstruktive Maßnahmen zur Zentrierung der Deckenauflagerkraft am Beispiel der Außenwand unter einer ungedämmten Dachdecke – Gleitlager mit weichem Streifen an der Wandinnenseite

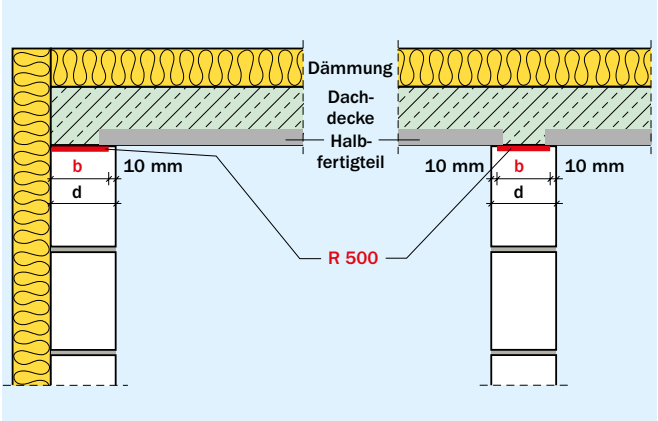


Bild 18 Trennschicht zur Aufnahme der Schwindverkürzung der Stahlbetondecke im obersten Geschoss unter Beibehaltung der oberen Halterung

ne Schubübertragung verzichtet wird. Aus diesem Grund sind die oberen Wandenden unterhalb der Gleitfuge durch entsprechende Ringbalken zu halten. Diese Wandkopfhalterung nimmt bei entsprechender Dimensionierung die Windlasten auf, die auf die Außenwände des Gebäudes wirken.

4.2.5 Maßnahmen zur Erhöhung der Risssicherheit

1. Konstruktion am Wandkopf und Wandfuß

Geringe Verformungsbehinderung am Wandfuß, ausreichende Verformungsmöglichkeiten am Wandkopf und den seitlichen Bauteilrändern verringern das Rissrisiko. Die Verformungsbehinderung am Wandfuß und Wandkopf kann durch Anordnung von Bitumendachbahnen R 500 verkleinert werden (Bild 18).

2. Geringe Schwinddehnung der Mauersteine nach dem Einbau

Die Steine sollen besonders während der Lagerung in den Wintermonaten gegen Feuchteaufnahme (Niederschlag) geschützt werden; Abdeckung und Lagerung auf Palette (Bild 19). Stark wassersaugende Mauersteine (Sommerbaustelle) sind ggf. vor dem Vermauern vorzunässen (Bild 20). Das Vornässen soll nur kurzzeitig und oberflächig unmittelbar vor dem Vermörteln erfolgen.

3. Vermörteln der Lagerfugen

Durch vollflächig vermörteltes Mauerwerk wird ein ausreichender Haftverbund zwischen Stein und Mörtel erreicht. Um dies sicherzustellen, soll der Mörtel gut verarbeitbar sein („sämig“), nicht zu schnell ansteifen und auch wenig schwinden.

Bei nicht sichtbarem Mauerwerk hat sich mittlerweile die Verarbeitung im Dünnbettverfahren als Standard etabliert. Mauerwerk mit Dünnbettmörtel ist wirtschaftlicher herzustellen und führt zu einer höheren Tragfähigkeit im Vergleich zu Normalmörtel. Die von der KS-Industrie empfohlene Lagerfugendicke im fertigen Mauerwerk bei Dünnbettmörtel von mindestens 2 mm ist vorteilhaft für Verarbeitung und Verbund und minimiert das Rissrisiko.

Bei Verwendung von Normalmauermörtel wird die Verwendung der Gruppen NM II und NM IIa nach DIN 20000-412 bzw. DIN V 18580 empfohlen, da Normalmauermörtel NM III und NM IIIa sich in der Regel schlechter verarbeiten lassen und aufgrund der hohen Festigkeit einen steifen und spröden Mauermörtel in der Fuge ergeben.

4. Große Überbindelängen

Von Bedeutung für die Zugbeanspruchung und damit auch für die Minimierung des Rissrisikos z.B. einer Verblendschale ist der Mauerwerkverband. Eine halbsteinige Überbindung (Bild 21) ist stets anzustreben, weil sie die größtmögliche Scherkraft übertragende Fläche zwischen Stein und Mörtel ergibt.

5. Großer Verhältniswert Wandhöhe zu Wandlänge

Soweit möglich, sollten lange Wände mit geringer Wandhöhe vermieden werden, weil in diesem Falle die größten Zugspannungen auftreten. Gegebenenfalls sind lange Wände, z.B. bei nicht tragenden Wänden, in Abschnitte zu unterteilen.

6. „Kurze“ Wandabschnitte

Die Ausbildung von kurzen Wandabschnitten durch geschosshohe Fenster- oder Türöffnungen sowie die bewusste Anordnung von stumpf gestoßenen oder aus Schallschutzgründen „durchgeführten“ Wänden sind als spannungsabbauende Maßnahmen nützlich.



Bild 19 Lagern von Steinen mit Schutz gegen Niederschlag



Bild 20 Bei sehr hohen Außentemperaturen sind die Steine vorzunässen

4.3 Rechnerische Beurteilung der Risssicherheit

Sollte in besonderen Fällen eine rechnerische Beurteilung erforderlich sein, kann diese nach einem Verfahren erfolgen, das auf theoretischen Untersuchungen basiert [7] und die Steifigkeitsverhältnisse der Wände berücksichtigt.

Erwartungsgemäß ergibt sich für ein erhöhtes Rissrisiko der Formänderungsanteil aus der Feuchtedehnung (Schwinden, irreversibles Quellen). Der Einfluss von unterschiedlichen Kriechdehnungen in Innen- und Außenwänden ist in der Regel geringer. Wesentliche temperaturbedingte Verformungsunterschiede sind wegen der guten Wärmedämmung der Außenwände nicht zu erwarten. Für den rechnerischen Nachweis wird auf [8] verwiesen.

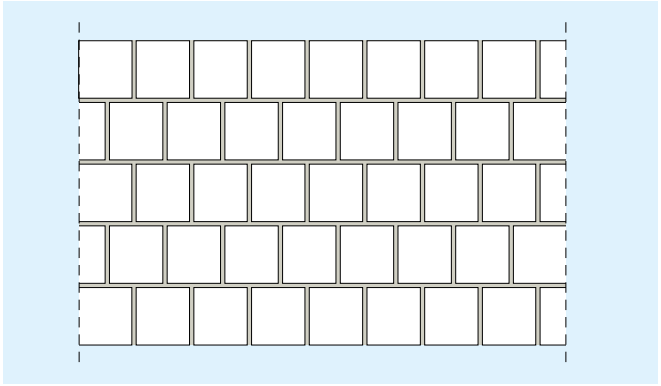


Bild 21 Halbstein-Überbindung minimiert Rissrisiko



5. Rissbildung infolge Durchbiegung von Stahlbetondecken

Verformungen von Stahlbetondecken sind so zu begrenzen, dass angrenzende Bauteile (wie leichte Trennwände, Verglasungen) nicht beeinträchtigt werden. DIN EN 1992-1-1 [9] gibt für Durchbiegungen, die angrenzende Bauteile beschädigen können, unter quasi-ständiger Einwirkungskombination einen Richtwert der Begrenzung von 1/500 der Stützweite an.

Der Nachweis des Grenzzustandes der Verformung ist über den Nachweis der Begrenzung der Biegeschlankheit oder rechnerischen Verformungsbetrachtung möglich – siehe DIN EN 1992-1-1- 7.4.2 und 7.4.3 [9].

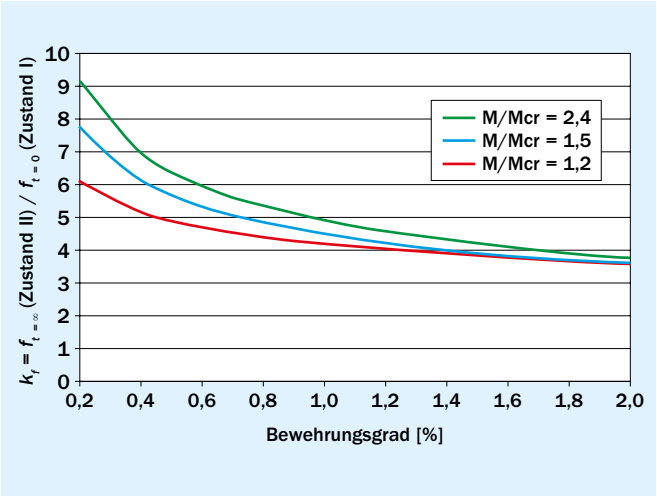


Bild 22 Verformungsvergrößerung im Zustand II ($t = \infty$) gegenüber Zustand I ($t = 0$) [10]

Im Allgemeinen erfolgt heute der Nachweis von Plattentragwerken mit Hilfe von FEM-Programmen. Betrachtet man dabei auch den Zustand II (gerissener Beton) sowie Langzeitverformungen aus Kriechen und Schwinden, so ist die ermittelte Verformung um ein Vielfaches größer als bei einer rein elastischen Betrachtung mit ungerissenem Querschnitt. Nach Bild 22 [10] ist je nach Bewehrungsgrad ein Erhöhungsfaktor von 3,5 bis 9 zu erwarten. Darüber hinaus haben der w/z-Wert, die Nachbehandlung und die Art der Belastung wesentlichen Einfluss auf die tatsächlich auftretende Verformung. Aufgrund der vielen stark streuenden Einflussfaktoren auf die reale Durchbiegung ist eher von einer Abschätzung als von einer Berechnung der Verformungen zu sprechen.

Die vielen Einflussfaktoren machen eine genaue rechnerische Analyse des Rissrisikos in angrenzenden Bauteilen schwierig und erfordern vielmehr die Einhaltung von Konstruktionsprinzipien, die im Wesentlichen aus der praktischen Erfahrung gewonnen wurden.

5.1 Nicht tragende Trennwände ober- und unterhalb von Stahlbetondecken

Die Durchbiegung von Geschossdecken ruft in Trennwänden auch Schub- und Zugspannungen hervor. Dabei kann die Durchbiegung der oberen Decke zu einer ungewollt hohen Belastung einer nicht tragenden Trennwand führen. Bedingt durch Zugspannungen können in der Wand dann verschiedene Rissverläufe auftreten (Bilder 23 und 24). Derartige Risse werden nicht durch fehlerhaftes Mauerwerk verursacht, sondern entstehen meist aufgrund unzureichender Durchbiegungsbegrenzungen der Decken.

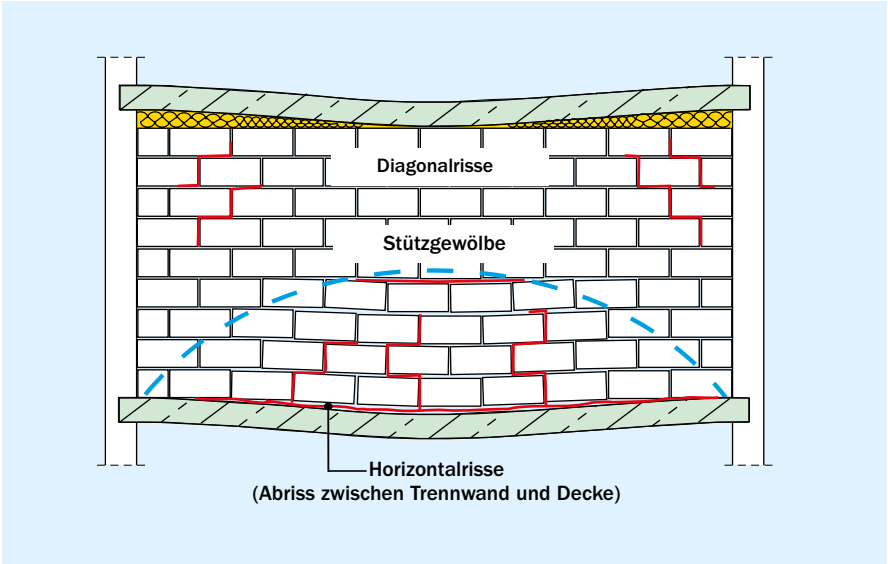


Bild 23 Riss in nicht tragender Trennwand infolge Durchbiegung der unteren Geschossdecke (Aufstandsfläche)



Bild 24 Rissbildung in nicht tragender Trennwand infolge Durchbiegung der unteren Geschossdecke

5.1.1 Maßnahmen zur Minimierung des Rissrisikos

Folgende Maßnahmen zur Erhöhung der Risssicherheit werden empfohlen:

1. Deckendurchbiegung genauer abschätzen, rechnerischer Nachweis nach DIN EN 1992 [9]

2. Deckendurchbiegung mit baulichen Maßnahmen begrenzen: durch spätes Ausschalen bei größeren Deckenspannweiten ab ca. 6 m Verformungsanteile aus Frühkriechen verringern, gute Nachbehandlung (Feuchthalten) und spätes Entfernen der Schalungsstützen

3. Verwendung kleinformatiger Steine und eines Normalmauermörtels mit niedrigem Elastizitätsmodul: größere Verformungsfähigkeit (Duktilität) der Mauerwerkswand

4. Erstellen der nicht tragenden Trennwand: nach dem Ausschalen der Decke, wenn ein hoher Anteil der Deckendurchbiegung bereits erfolgt ist

5. Nicht tragende Trennwand am Wandfuß von der unteren Geschossdecke trennen (Bild 25): Durch Anordnung von geeigneten Trennschichten, z.B. Bitumendachbahn R 500, wird erreicht, dass der horizontale Abriss zwischen Wand und Decke an einer unsichtbaren Stelle vorgesehen wird.

6. Nicht tragende Trennwand am Wandkopf: Ausreichende Verformungsmöglichkeit der Decken oberhalb der nicht tragenden Trennwand im oberen Wandbereich: Dazu sind zwischen der Geschossdecke und dem Wandkopf eine ausreichend verformungsfähige Zwischenschicht in genügender Dicke anzuordnen; vor allem bei Wandlängen über 5 m. Eine ausreichende Verformungsmöglichkeit der vertikalen Wandanschlüsse kann durch die Verwendung von beweglichen Wandanschlussankern verbessert werden. Das in vielen Fällen vorteilhafte Vermörteln der oberen Fuge sollte daher individuell überprüft werden.

7. Lange nicht tragende Trennwände vermeiden [11]: einzelne Türöffnungen raumhoch ausführen

8. Dehnungsfugen bei sehr langen Wänden: Anordnung in Abhängigkeit der Deckenfelder

9. Kein Betonieren von Stahlbetonstützen im Verband mit Mauerwerk: Rissrisiko durch Verformungsdifferenzen zwischen Mauerwerk und Beton

10. Vermeiden baulicher Durchfeuchtung, möglichst geringes Schwinden

11. Konstruktives Bewehren der Lagerfugen (Bild 27): Durch eine sinnvoll über die Wandhöhe gestaffelte Bewehrung – im unteren, zugbeanspruchten Wandbereich geringerer vertikaler Abstand der Bewehrung – lässt sich eine ausreichende Rissverteilung mit genügend kleinen Rissbreiten erreichen.

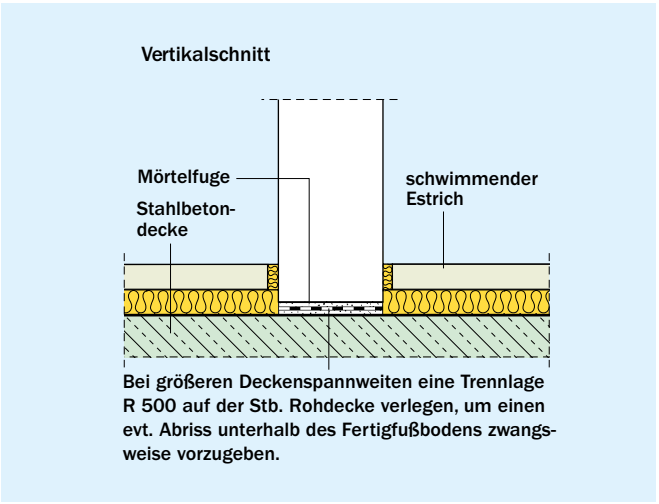


Bild 25 Trennlage am Wandfuß zwischen Mauerwerkswand und Stahlbetondecke

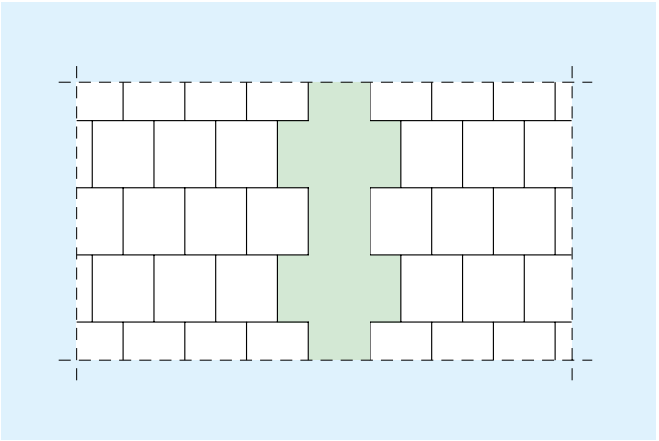


Bild 26 Rissrisiko beim nachträglichen Betonieren von Stahlbetonstützen im Verband mit Mauerwerk

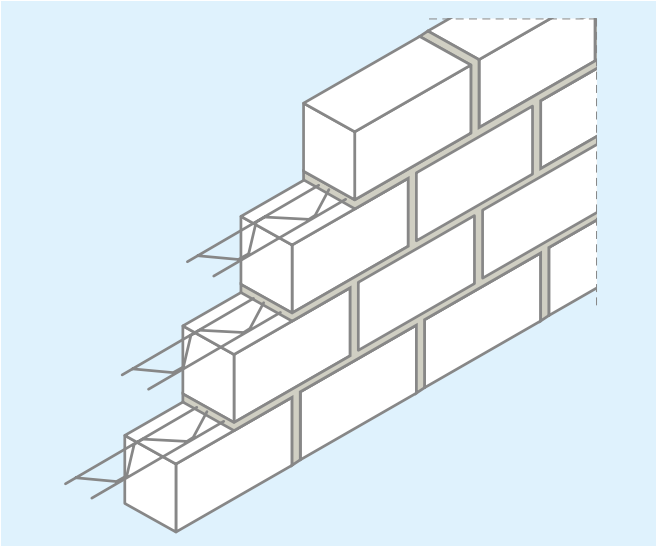


Bild 27 Lagerfugenbewehrung zur konstruktiven Risssicherung

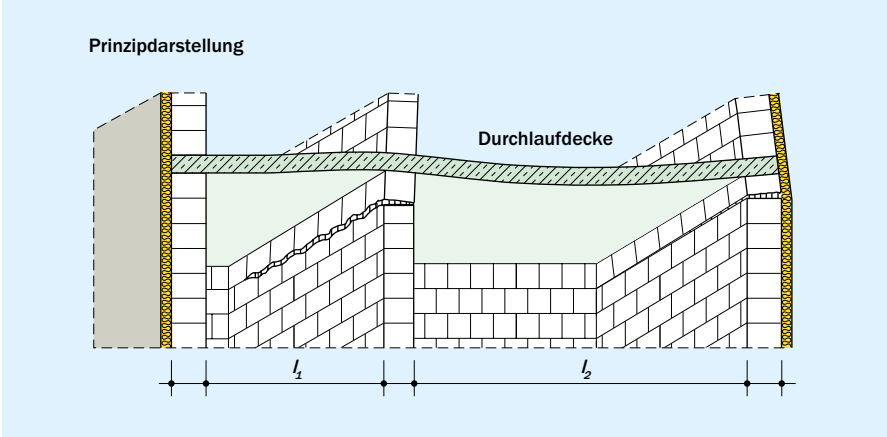


Bild 28 Rissbildung infolge großer Deckendurchbiegung

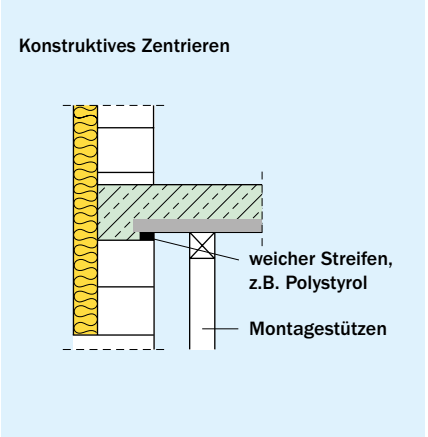


Bild 29 Einlage weicher Streifen zur Lastzentrierung

5.2 Verdrehung der Decke am Auflager

Die Durchbiegung der Decke führt zu einer Lageveränderung in Deckenmitte und einem Drehwinkel an den Auflagern. Infolge großer Deckendurchbiegungen kann es bei geringer Auflast zum Abriss zwischen Stahlbeton und Mauerwerk oder in der darunter liegenden Lagerfuge kommen (Bild 28). Bei Außenwänden werden diese Risse vom Wärmedämm-Verbundsystem bzw. Fassadensystemen überdeckt und sind daher in der Regel unproblematisch.

Zum Zentrieren der Deckenlast auf die Mauerwerkswand ist das Einlegen eines weichen Dämmstreifens empfehlenswert (Bilder 29 und 30).

Falls Schwind-, Temperaturverformungen und eine große Deckendurchbiegung gleichzeitig auftreten, können spezielle Verformungslager für eine mittige Lastzentrierung angeordnet werden. Ein Ringbalken ist dann nicht erforderlich, wenn die auftretenden Querkräfte vom Verformungslager aufnehmbar sind (Bild 31).

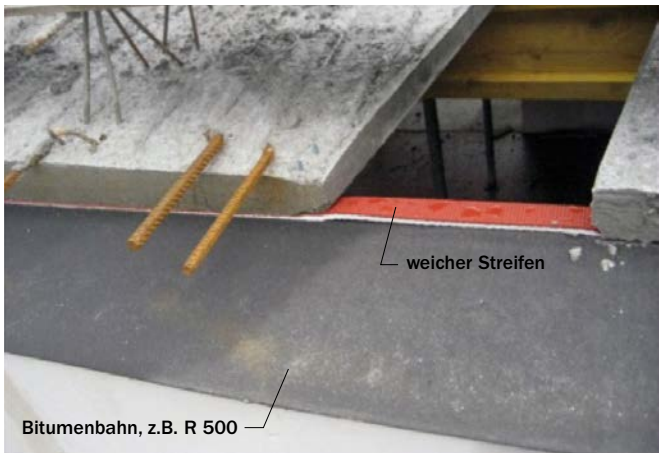


Bild 30 Beispiel für Einlage weicher Streifen und Bitumenbahnen

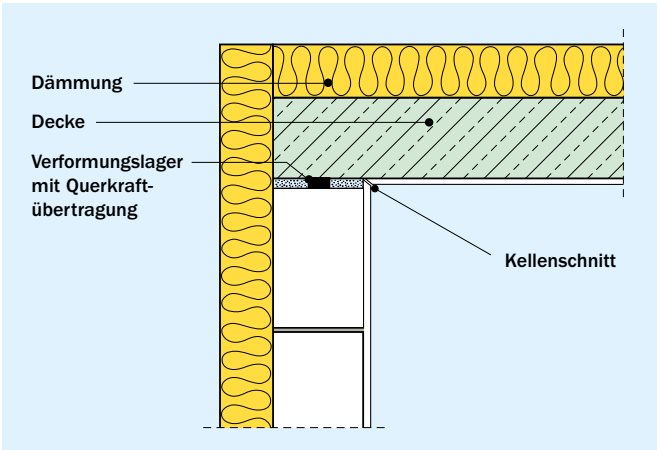


Bild 31 Konstruktive Maßnahmen zur Zentrierung der Deckenauflagerkraft am Beispiel der Außenwand unter einer Dachdecke – Verformungslager mit Zentrierstreifen zwischen Wand und Decke

5.3 Verdrehung der Dachdecke durch Aufschüsseln

Die Verdrehung am Auflager von Dachgeschossdecken ist um ein Vielfaches größer als im Regelgeschoss, da hier ohne aufgehende Wände eine wesentlich geringere rissüberdrückende Auflast vorhanden ist.

Als Folge entstehen Risse in der ersten Steinschicht unter der Decke oder im Bereich ecknaher Öffnungen. Der Ortbeton der Dachdecke bildet einen größeren Haftverbund mit der obersten Steinreihe, so dass sich nur mit Einlage einer Trennschicht der Riss hierhin verlagern lässt (Bild 32).

5.3.1 Maßnahmen zur Erhöhung der Risssicherheit

1. **Einlegen einer Trennschicht im Eckbereich**
   Durch die Anordnung je eines von der Ecke aus mindestens 1,50 m langen Streifens einer besandeten Bitumendachbahn R 500 (nach DIN EN 13969 in Verbindung mit DIN V 20000-202) tritt der planmäßige Sollriss in der Fuge zwischen Mauerwerk und Stahlbetondecke auf.

2. **Besondere Maßnahmen, um das Aufschüsseln der Betondecke zu verhindern (Bild 33)**

   - durch Auflast , z.B. Dachstuhl
   - Stahlbetonüberzug (Unterzug) für erhöhte Biegesteifigkeit
   - Sollbruchstelle durch getrennte obere Bewehrung („drillweiche Ecke“)
   - Zugstütze zur unteren Konstruktion

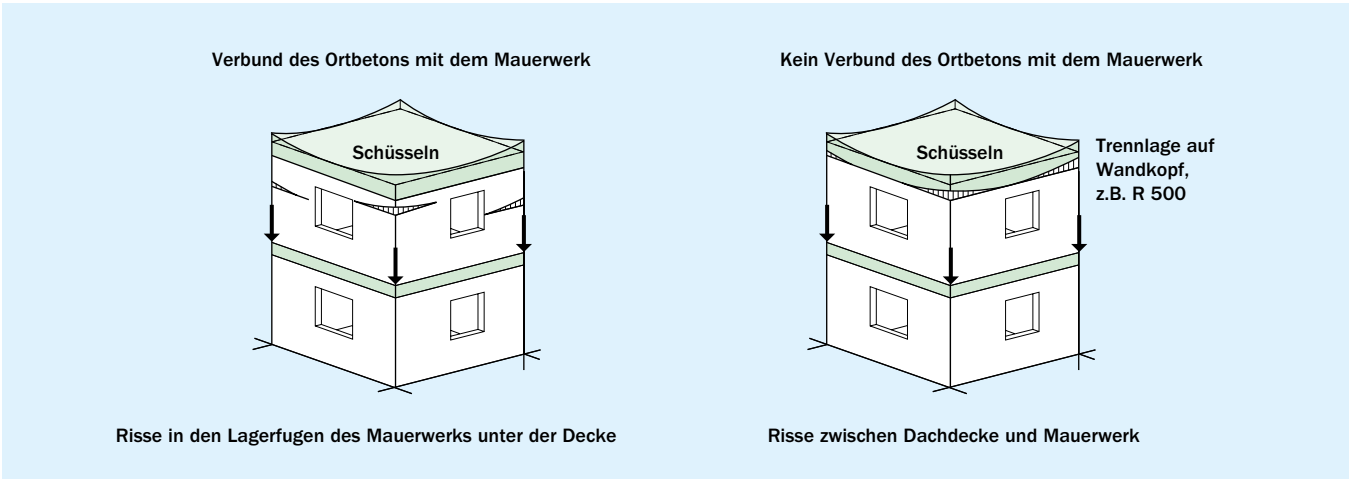


Bild 32 Eckabhebung der Dachdecke – Risse im Mauerwerk und zwischen Mauerwerk und Decke

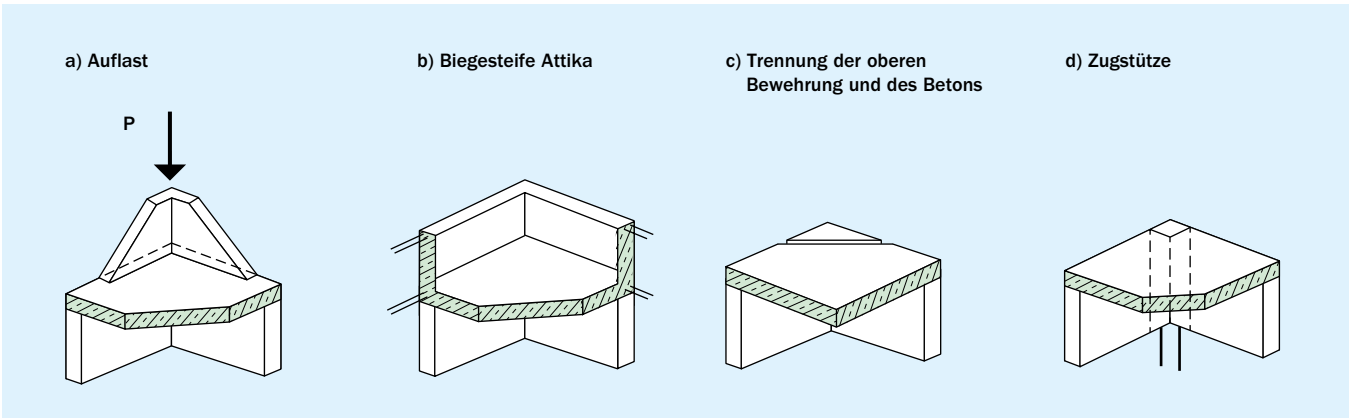


Bild 33 Maßnahmen zum Verhindern von „Schüsseln“ von Betondecken im Eckbereich

6. Rissbildung infolge von Baugrundeigenschaften

Ein weiterer Grund für Risse im Mauerwerk können zu große Setzungsunterschiede im Baugrund sein.

Ursache für ungleichmäßige Setzungen unterhalb der Gründung können ungleichmäßige Baugrundverhältnisse sein, Lastkonzentrationen über Gründungsbereichen oder Veränderungen infolge von Anbauten oder Nachbargebäuden (Bodenaushub, Tiefe und Art der Gründung, evt. Grundwasserabsenkung). Als seltene Fälle, aber mit sehr großer Auswirkung, sind die Gründung auf gestörtem Baugrund (z.B. Bergbaugebiet), die Unterspülung infolge von Hochwasser und Erdbeben bekannt.

In heute üblicher Bauweise werden die Gründungsbauteile (Bodenplatte und Kellerwände), sowie die Decke über dem Kellergeschoss meistens aus Stahlbeton hergestellt. Hier wird über die ausreichende Steifigkeit das Rissrisiko in den aufgehenden Mauerwerkswänden verringert. Stahlbetontragglieder können durch Umlagerung von Lasten ungleichmäßige Baugrundsetzungen teilweise ausgleichen.

Bei der Bemessung der Gründungsbauteile ist auf eine Begrenzung der Setzungsunterschiede zu achten. In Bild 34 ist erkennbar, dass bei einem Grenzwert *s/L* von 1/1.000 das Schadensrisiko sehr klein ist, damit sind jedoch auch besondere Aufwendungen und erhebliche Kosten verbunden. Hier ist vom Planer ein Optimum zwischen Rissrisiko und Kostenaufwand herauszuarbeiten. Bereits in der Planungsphase sollte in Abhängigkeit der Einflussfaktoren die Notwendigkeit von Gebäudetrennfugen überprüft werden.

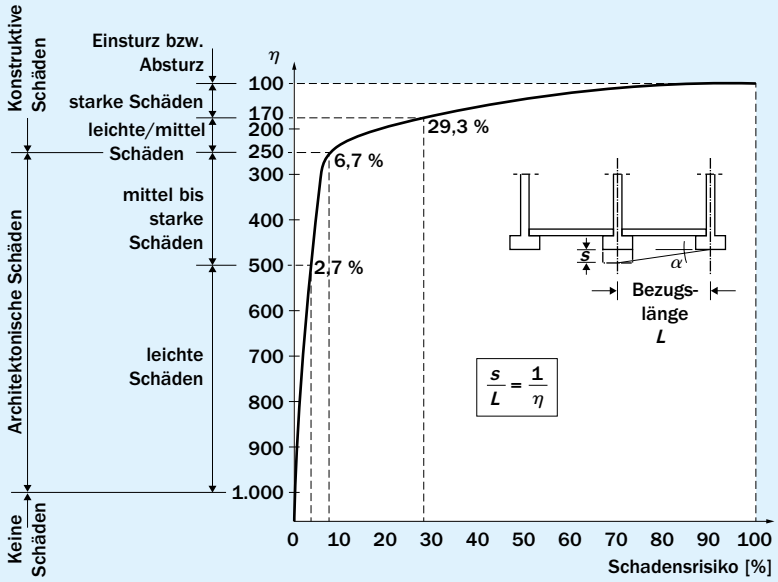


Bild 34 Verhältnis von Setzungsunterschied bei Gründungen und dem Schadensrisiko



7. Gebäudegliederung durch Fugen

Die Gliederung komplexer Gebäudegrundrisse in einzelne Baukörper durch Gebäudetrennfugen verringert die Zwangsspannungen z.B. aus Kriechen, Schwinden und Temperatureinflüssen. Je nach vorhandener Gründung und Gebäudegeometrie sind Setzungsfugen zu planen. Arbeitsfugen in Stahlbetondecken werden aus technologischen Gründen gewählt, lassen sich aber auch vom Planer festlegen und sind dann in den Bauunterlagen, insbesondere in der Ausschreibung, aufzuführen. Sind weder Arbeitsfugen noch Schwindgassen geplant und ausgeschrieben, werden in der Praxis sehr große Deckenbereiche in einem Zuge hergestellt, womit das Rissrisiko in den angekoppelten Mauerwerkswänden erheblich steigt.

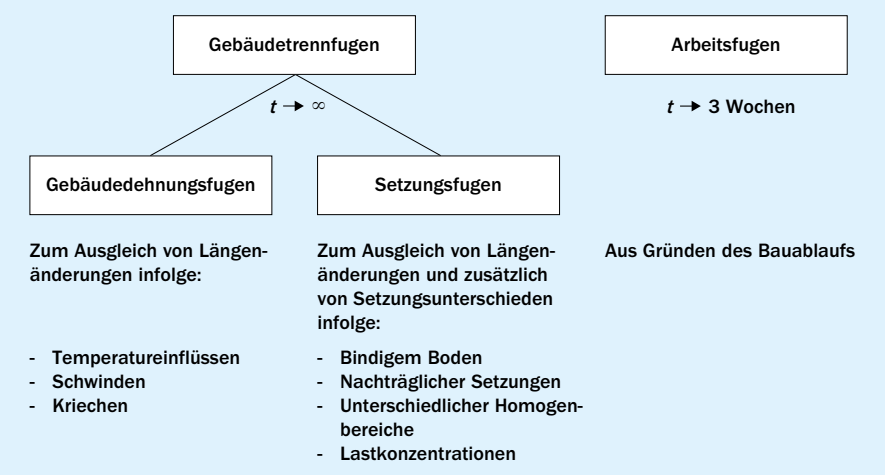


Bild 35 Gebäudegliederung durch Fugen

Tragende Außen- und Innenwände sollten möglichst geschossweise übereinander angeordnet sein. Neben den Einwirkungen aus Eigen- und Nutzlasten sowie möglichen Baugrundsetzungen sind insbesondere bei Dachdecken ohne Auflast die folgenden Einwirkungen zu beachten:

- Einmaliges Schwinden des Betons im Zuge der Austrocknung (Einsatz von schwindarmen Betonen mit entsprechender Nachbehandlung)
- Verdrehungen im Bereich von Endauflagern
- Verformungen durch Temperaturänderungen zwischen Herstell- und Nutzungszeitraum

Dehnungsfugen sind konsequent zwischen den Baukörpern bis zur Oberkante des Fundamentes durchzuführen. Die Anordnung auch durch die Ausbauelemente ist daher mit erhöhtem Aufwand verbunden.

Bei Setzungsfugen wird zusätzlich die Gründung in Abschnitte getrennt, wenn dies komplizierte Baugrundverhältnisse erfordern, z.B. bei bindigem Boden, unterschiedlicher Homogenbereiche [12] oder Lastkonzentrationen.

Für nachhaltige Bauwerke ist deshalb schon in den frühen Planungsphasen zu prüfen, ob und an welchen Stellen Gebäudetrennfugen oder Arbeitsfugen sinnvoll sind (Bild 35).

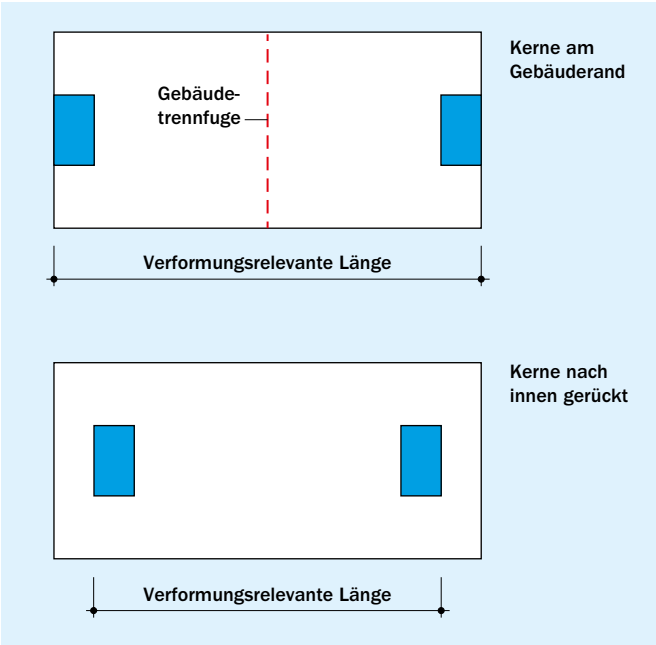


Bild 36 Auswirkung des Gebäudegrundrisses auf die Anordnung von Dehnungsfugen

7.1 Abstand von Gebäudedehnungsfugen

Verformungsbetrachtungen sollten grundsätzlich schon ab Gebäudelängen von etwa 20 m unternommen werden. In der Regel sind bei außengedämmten Konstruktionen größere Abstände der Gebäudetrennfugen möglich. Grundlage für die Planung von Gebäudetrennfugen ist zunächst die Wahl der Wandkonstruktion für die tragenden Innen- und Außenwände in Verbindung mit den angrenzenden Massivbauteilen aus Stahlbeton.

Wegen der außen angeordneten Dämmung bei KS-Funktionswänden sind Temperatureinwirkungen auf den gesamten Bau-

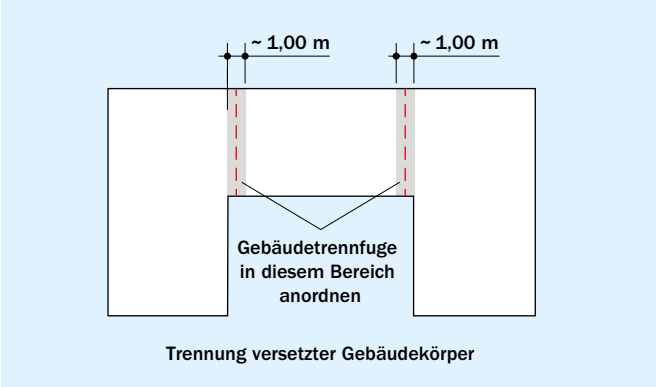


Bild 37 Trennung versetzter Gebäudekörper mit Gebäudetrennfugen

körper gering. Praxisbeispiele aus den letzten 20 Jahren zeigen, dass bei günstiger Grundrissplanung mit geeigneten Maßnahmen zur Mauerwerksausbildung und sorgfältiger Bauausführung deutlich größere Gebäudelängen ohne Gebäudetrennfugen möglich sind.

Zu beachten ist, dass bei gegliederten Gebäudeformen (z.B. L-, T- oder Z-förmige Grundrisse) das zu erwartende Rissrisiko infolge der unterschiedlichen Formänderungen im Übergang der einzelnen Gebäudeteile grundsätzlich durch Dehnungsfugen minimiert werden muss (siehe Bilder 36 und 37).

Ausgehend von den Festpunkten (z.B. Aussteifungswänden, Aufzugsschächte und Treppenhäuser) können mit Hilfe von Schwind- und Temperaturkennwerten die zu erwartenden Längenänderungen von Dachdecken und Wänden abgeschätzt werden. Die zu erwartenden Schwind- und Temperaturverformungen von Kalksandstein-Mauerwerk und Stahlbeton sind in den Tafeln 3 und 4 dargestellt.

Der in DIN EN 1996/NA angegebene Rechenwert der Feuchtedehnung von Kalksandsteinen (Schwindmaß) $\varepsilon_{s\infty}$ = -0,2 mm/m bezieht sich auf Prüfergebnisse an wasservorgelagerten Steinen. Ein Schwindmaß von -0,1 mm/m ist daher in vielen Fällen baupraktisch erreichbar, da in der Regel auf Baustellen trockene bzw. evt. nur oberflächenfeuchte Steine verarbeitet werden. Risserzeugend wirken vor allem Dehnungsdifferenzen der einzelnen Bauteile und nicht die absolute Verformung eines Einzelbauteils. Daher ist die Kombination von Kalksandsteinwänden und Betondecken bei sorgfältiger Analyse der möglichen Verformungsdifferenzen im Regelfall eine Konstruktion mit verhältnismäßig geringer Rissneigung der einzelnen Bauteile.

Tafel 3 Schwindverformungen durch Kalksandsteine und Stahlbeton für reale Gebäudelängen

Schwinddehnung	Kennwerte für Schwinden ε_f	Gebäudelängen L		
		L = 10 m	L = 20 m	L = 50 m
Kalksandstein	**-0,2**/-0,1 mm/m	**-2,0**/-1,0 mm	**-4,0**/-2,0 mm	**-10,0**/-5,0 mm
Stahlbeton w/z-Wert	Je höher der Bewehrungsgehalt, desto geringer das Schwindmaß			
0,3	≈ -0,25 mm/m	-2,5 mm	-5,0 mm	-12,5 mm
0,5	≈ -0,50 mm/m	-5,0 mm	-10,0 mm	-25,0 mm
0,7	≈ -0,90 mm/m	-9,0 mm	-18,0 mm	-45,0 mm
Einzelne Verformungen (Längenänderungen) können sich auch überlagern.				

Tafel 4 Temperaturverformungen durch Kalksandsteine und Stahlbeton für reale Gebäudelängen

Temperaturdehnung $\Delta l_T = \alpha_T \cdot \Delta_T \cdot l$	Kennwerte für Temperaturdehnung α_T (bei Temperaturunterschied von 20 K)	Gebäudelängen L		
		L = 10 m	L = 20 m	L = 50 m
Kalksandstein	0,008 mm/m · K	±1,6 mm	±3,2 mm	±8,0 mm
Stahlbeton	0,010 mm/m · K	±2,0 mm	±4,0 mm	±10,0 mm
Einzelne Verformungen (Längenänderungen) können sich auch überlagern.				



8. Dehnungsfugen in Ausfachungswänden und Verblendschalen

Gering belastete und damit wenig überdrückte, nicht tragende innere Trennwände (z.B. Ausfachungswände in Skelettbauten) sowie Verblendschalen sind in ihrer Länge zu begrenzen. Für nicht tragende innere Trennwände gelten die Werte aus [11].

Es ist ausreichend, wenn die einzelnen Wandabschnitte je nach Wandart und Beanspruchung durch entsprechend ausgebildete Fugen voneinander getrennt werden. Zur Unterteilung eignen sich beispielsweise Stahlbetonstützen oder Stumpfstöße an Querwände.

Für Verblendschalen aus Kalksandstein-Mauerwerk sollte der Abstand der Fugen nicht mehr als 6 m betragen. Die Dehnungsfugen sind nach DIN 18540-19 auszubilden.

Für Verblendschalen zeigt Bild 38 die Anordnung vertikaler Dehnungsfugen. Diese sollten in der Regel an den Gebäudeecken angeordnet werden. Ist dies beispielsweise aus ästhetischen Gründen unerwünscht (Eckverband als wesentliches Stilelement im Mauerwerksbau), so sind auch zwei Dehnungsfugen im Abstand von jeweils etwa maximal 2 m bzw. halbem Dehnungsfugenabstand von der Ecke sinnvoll. Bei Ausbildung der Dehnungsfugen ist auf deren ausreichende Breite (≥ 10 mm) zu achten.

Weiterhin ist auch zu prüfen, ob eine Verformung der Verblendschalen in vertikaler Richtung sinnvoll ist. Wenn erforderlich, sind entsprechende horizontale Dehnungsfugen anzuordnen, die bei mehrgeschossigen Bauten unterhalb der notwendigen Abfangkonstruktion für die Verblendschale vorzusehen sind (Bild 39).

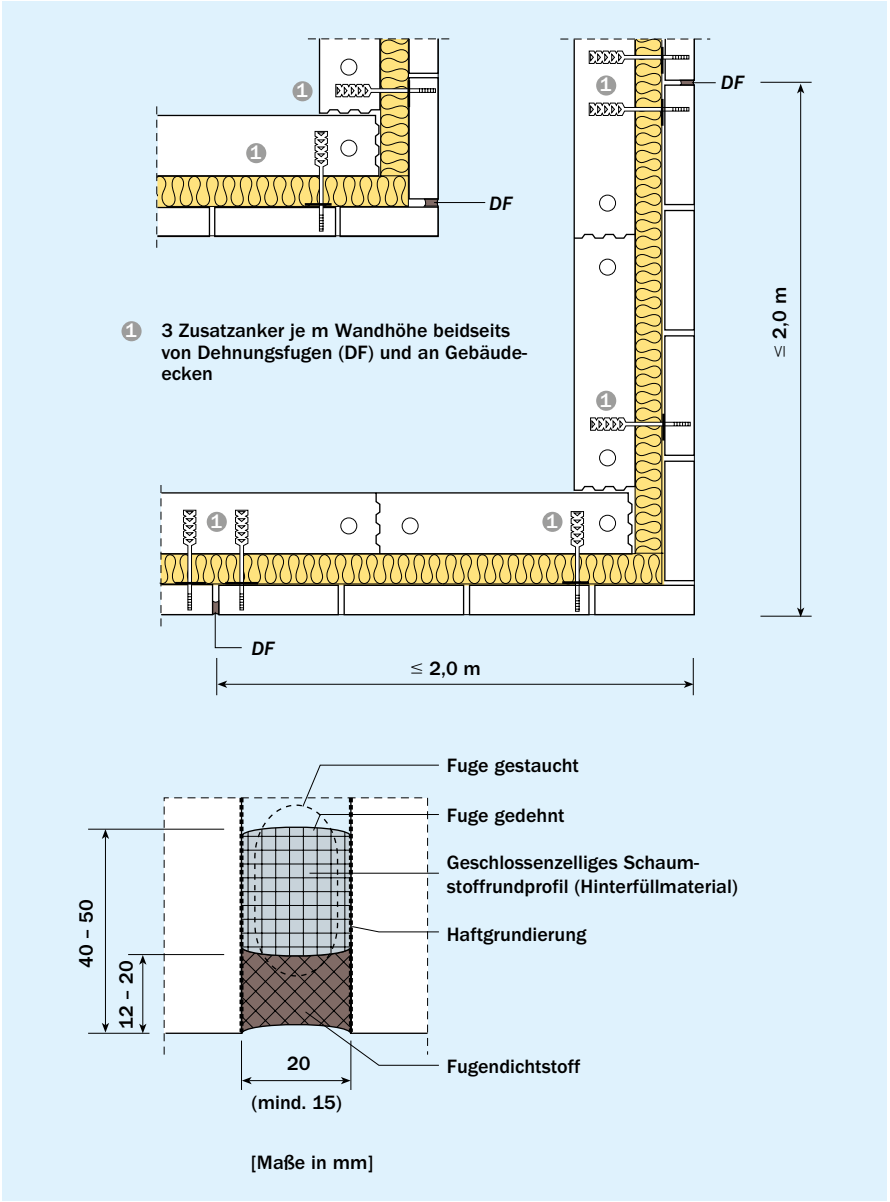


Bild 38 Verblendschalen mit vertikaler Dehnungsfuge (DF) an den Gebäudeecken

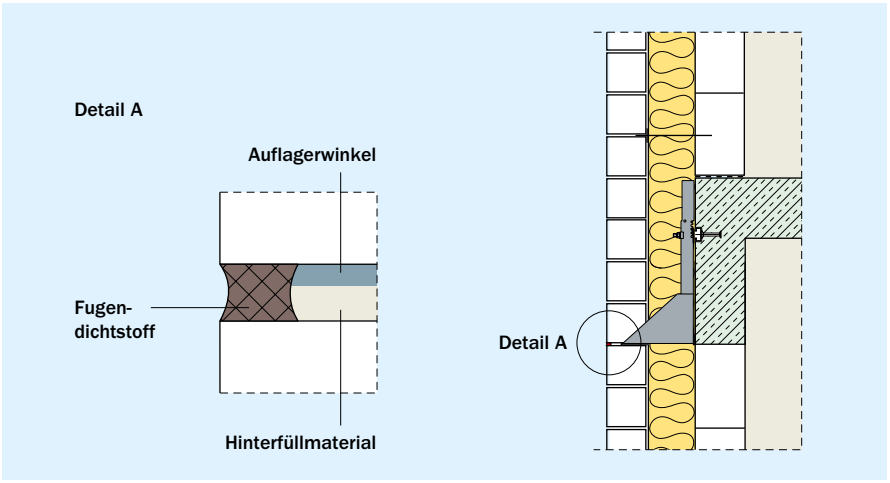


Bild 39 Verblendschalen mit horizontaler Dehnungsfuge

8.1 Rissbildung durch Längenänderung in vertikaler und horizontaler Richtung

8.1.1 Verformungsfall HV1: Zweischalige Außenwände mit Verblendschale

Bei zweischaligen Außenwänden treten in der Regel sehr unterschiedliche Verformungen der beiden Mauerwerksschalen auf.

Die Innenschale verformt sich im Wesentlichen durch Kriechen und Schwinden; nennenswerte temperaturbedingte Verformungen sind wegen der weitgehend konstanten Raumtemperatur nicht zu erwarten. Die Außenschale (Verblendscha-

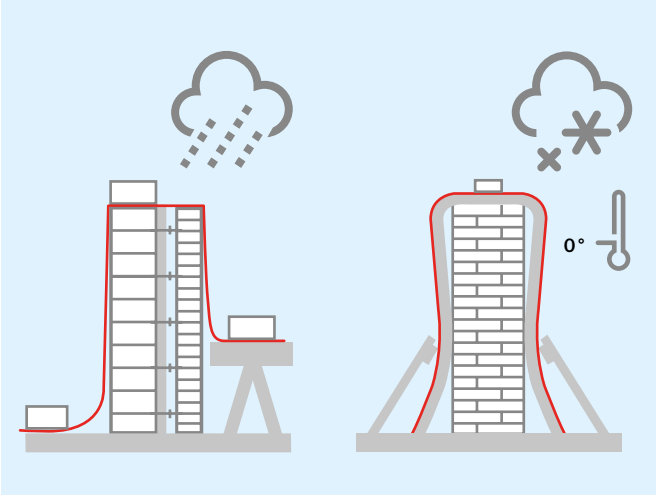


Bild 40 Frisches Mauerwerk ist vor Regen und Frost zu schützen

le) ist unmittelbar den klimatischen Einflüssen, d.h. Temperatur- und Feuchteänderungen, ausgesetzt. Die Verblendschale sollte sich deshalb weitgehend unbehindert von der Innenschale verformen können. Die notwendige Verankerung zwischen beiden Schalen ist in Richtung Wandhöhe und -länge so weich auszuführen, dass sie nicht zu wesentlichen Verformungsbehinderungen führt.

Die Verformungen der Verblendschale werden jedoch durch die notwendige Auflagerung und ggf. auch durch das seitliche Anbinden an Nachbarbauteile (weiterführende Verblendschalen oder z.B. Stützen) behindert. Durch diese Verformungsbehinderungen entstehen Zugspannungen in der Verblendschale, die ab einer bestimmten Wandlänge bzw. einem gewissen Verhältniswert Wandlänge/Wandhöhe im mittleren Bereich der Wandlänge nahezu horizontal verlaufen. Die Höhe dieser Zugspannungen hängt ab von der Größe der Formänderungen (Schwinden, Wärmedehnung), dem Zug-E-Modul des Mauerwerks parallel zu den Lagerfugen, dem Behinderungsgrad (im Auflagerbereich) sowie dem Spannungsabbau durch Relaxation.

Durch ein einfaches Berechnungsverfahren [8], das theoretisch und versuchsmäßig ausreichend begründet ist, lassen sich die rissfreie Wandlänge bzw. der Dehnungsfugenabstand von Verblendschalen mit guter Genauigkeit abschätzen. Die Berechnungsergebnisse stimmen mit den Praxiserfahrungen zufriedenstellend überein.

Bei längeren nicht oder nur wenig belasteten Mauerwerkswänden (nicht tragende Wände, Verblendschalen, Ausfachungen), die durch angrenzende Wände oder durch Stahlbetondecken an der Formänderung in horizontaler Richtung behindert sind, entstehen ebenfalls Zugspannungen, die durch entsprechende Rissbildung abgebaut werden. Insbesondere im Bereich von Brüstungen besteht ein erhöhtes Rissrisiko. In [8] werden ausführlich Rechenverfahren zu diesem Verformungsfall aufgezeigt und bewertet.

8.1.2 Maßnahmen zur Erhöhung der Risssicherheit

1. Herstellen der Verblendschalen bei günstiger Außentemperatur
Soweit möglich, sollen die Verblendschalen bei niedriger Außentemperatur hergestellt werden. Dadurch werden die jahreszeitlich bedingte Abkühlung unter die bei der Erstellung des Mauerwerks vorherrschende Temperatur und damit die zugspannungserzeugende Temperaturverformungen klein gehalten. Gleichzeitig verringert sich im Allgemeinen auch das Risiko einer zu schnellen und zu starken Austrocknung. Durch diese würde ein zu hohes Anfangsschwinden im äußeren Mörtel-Stein-Bereich hervorgerufen, was den Haftverbund zwischen Mörtel und Stein und damit auch die Zugbeanspruchbarkeit des Mauerwerks beeinträchtigt.

2. Schutz vor ungünstigen Witterungseinflüssen
Die Verblendschalen sollen zumindest bis zum Alter von einer Woche nach dem Herstellen vor Regen (Schlagregen) und zu schnellem und starkem Austrocknen ausreichend geschützt werden. Dies kann z.B. durch Abdecken mit Folien erfolgen, Bild 40. Frühzeitiges starkes Durchfeuchten der Mauerwerkswände vergrößert das spätere Schwinden bei Austrocknung.

3. Konstruktive Bewehrung
Anordnen von konstruktiver Bewehrung in den Lagerfugen besonders rissempfindlicher Bereiche bei Verblendschalen, z.B. Brüstungen (Bild 41).

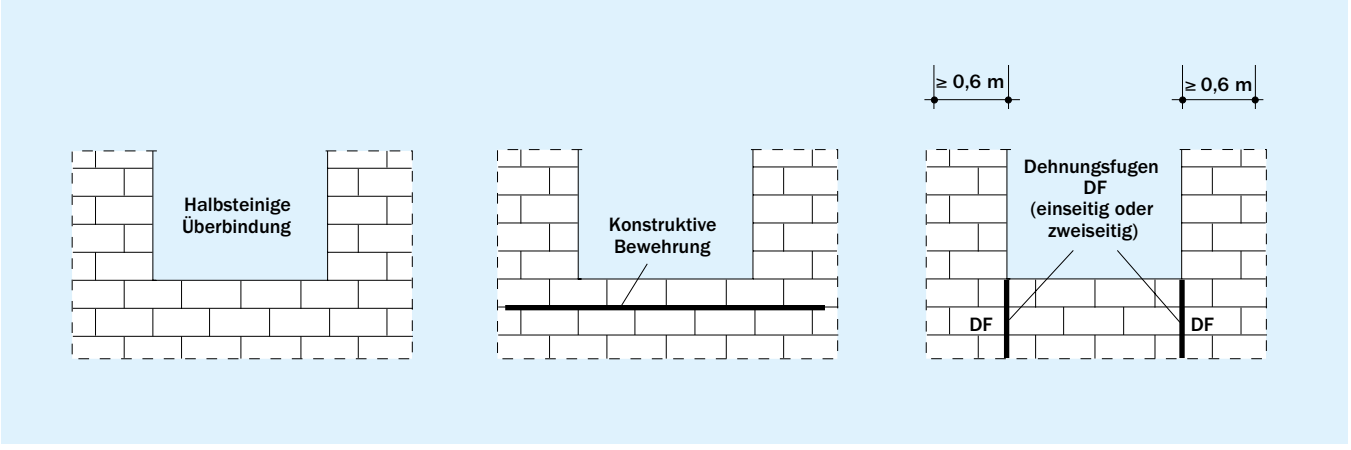


Bild 41 Brüstungsbereiche von Verblendschalen

Literatur

[1] Gänßmantel, J.: Klassifizierung, Beurteilung und Instandsetzung gerissener Putze und Fassaden, Dormettingen

[2] DIN EN 1996-1-1:2010-12: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und bewehrtes Mauerwerk; in Verbindung mit: DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05

[3] Schubert, P.: Eigenschaftswerte von Mauerwerk, Mauersteinen, Mauermörtel und Putzen. In: Mauerwerk-Kalender 35 (2010), S. 3–25, Verlag Ernst und Sohn, Berlin

[4] Schubert, P.: Schadensfreies Konstruieren mit Mauerwerk, Teil 1: Formänderungen. In: Mauerwerk-Kalender 27 (2002), S. 313–331, Verlag Ernst und Sohn, Berlin

[5] Pfefferkorn, W.; Klaas, H.: Rißschäden an Mauerwerk. In: Schadenfreies Bauen, Band 7, 3. überarbeitete Auflage, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 1996

[6] DIN 18530:1987-03: Massive Deckenkonstruktionen für Dächer; Planung und Ausführung

[7] König, G.; Fischer, A.: Vermeiden von Schäden im Mauerwerk- und Stahlbetonbau. Darmstadt: Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, 1991 – Abschlussbericht

[8] Schubert, P.: Zur rissfreien Wandlänge von nichttragenden Mauerwerkwänden. In: Mauerwerk-Kalender 13 (1988), S. 73–488, Verlag Ernst & Sohn, Berlin

[9] DIN EN 1992-1-1: 2004 – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

[10] Minnert, Jens: Verformung von Stahlbetonbauteilen. In: Konstruktiver Ingenieurbau 04/2017

[11] DGfM Merkblatt „Nichttragende innere Trennwände aus Mauerwerk“, Berlin 2017

[12] Engel, J.; Lauer, C.: Charakteristische Kennwerte und Homogenbereiche – Bewertung von Böden im Erd- und Grundbau. In: Konstruktiver Ingenieurbau 01/2017

Bildnachweise

Bild S. 194: Erich Spahn; **Bild S. 205 unten:** Csaba Mester; **Bild 30:** Frank Purtak; **Bild S. 210 unten:** Andreas Friese; **Bild S. 212 unten:** Wohnungsgenossenschaft Kleefeld-Buchholz/ Daniel Junker/KS-ORIGINAL

Bild 11, Bild 13, Bild 19, Bild 20, Bild 24: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.



Kapitel 9

ABDICHTUNG

Stand: 01/2018

Prof. Dipl.-Ing. Matthias Zöller, AIBau, Aachen

1. Einleitung

Kalksandstein-Mauerwerk ist grundsätzlich feuchtebeständig. Steine und Mörtel brauchen nicht zwingend in allen Situationen eine schützende, wasserdichte Schicht. So schützt z.B. zweischaliges Verblendmauerwerk hervorragend gegen Schlagregen. Bei erdberührten Wänden müssen nicht alle Mauerwerksbauteile durch Abdichtungen geschützt werden. Ständig feuchte, von Erdreich umgebene Grundmauern bleiben in der Regel dauerhaft gebrauchstauglich.

Räume in Untergeschossen neuer Gebäude werden, selbst wenn sie nicht als Wohnräume dienen, häufig hochwertig genutzt. Dort werden auch feuchteempfindliche Gegenstände gelagert, wie Papier oder Kleider, die schon gegenüber höherer Luftfeuchtigkeit empfindlich sind. Solche Nutzungen benötigen Bauwerksabdichtungen an den erdberührten Bauteilen, die dafür sorgen, dass außerhalb des Gebäudes anstehendes Erdreich kein Wasser oder auch nur Feuchtigkeit in die Innenräume abgeben kann.

Bauwerksabdichtungen sind notwendig, wenn

- nur durch die Abdichtung die beabsichtigte Nutzung der Räume im Gebäudeinneren ermöglicht wird oder
- die Bauteile durch Abdichtungen vor Schäden zu schützen sind.

Zur benötigten Trockenheit der Raumluft sind aber in der Regel zusätzliche Maßnahmen vorzusehen, um die gerade im Sommer auftretende, hohe Luftfeuchtigkeit zu vermeiden. Diese entsteht durch Lüftungsvorgänge bei wärmerer Außenluft in kühlen Untergeschossräumen. In den kühlen Räumen wird die warme Außenluft abgekühlt und kann dadurch weniger Wasserdampf speichern. Der in der Luft enthaltene überschüssige Wasserdampf kondensiert als Wasser an den kühlen Bauteiloberflächen. Dieses Tauwasser muss sich nicht unmittelbar zeigen, da es in der Regel vom Untergrund absorbiert wird. Für die Entstehung von Schimmelpilzen muss jedoch nicht zwingend Tauwasser vorhanden sein. Bereits eine hohe relative Luftfeuchtigkeit genügt für die Bildung von Schimmelpilzen. Es ist daher nicht nur auf eine korrekte Abdichtung der erdberührten Bauteile zu achten, sondern auch auf das richtige Lüftungsverhalten der Nutzer.

Maßnahmen gegen Feuchtigkeit aus anderen Ursachen

Die Abdichtungsnormen regeln nicht Maßnahmen gegen andere Feuchtigkeitsquellen, geben aber Hinweise dazu. Bei einer Raumnutzung, die eine trockene Raumluft erfordert, soll Feuchtigkeitsbildung aus z.B. Tauwasser bei sommerlichem Lüften vermieden werden (Bild 1).

DIN 18533-1 [1] enthält beispielhaft Hinweise zu Maßnahmen, die über die Anforderungen der Abdichtung hinausgehen, wie z.B. Wärmedämmung, Beheizung, Belüftung der Räume oder Raumlufttrocknung.

Im Folgenden wird ausschließlich auf die Abdichtung von erdberührten Bauteilen im KS-Mauerwerksbau eingegangen.

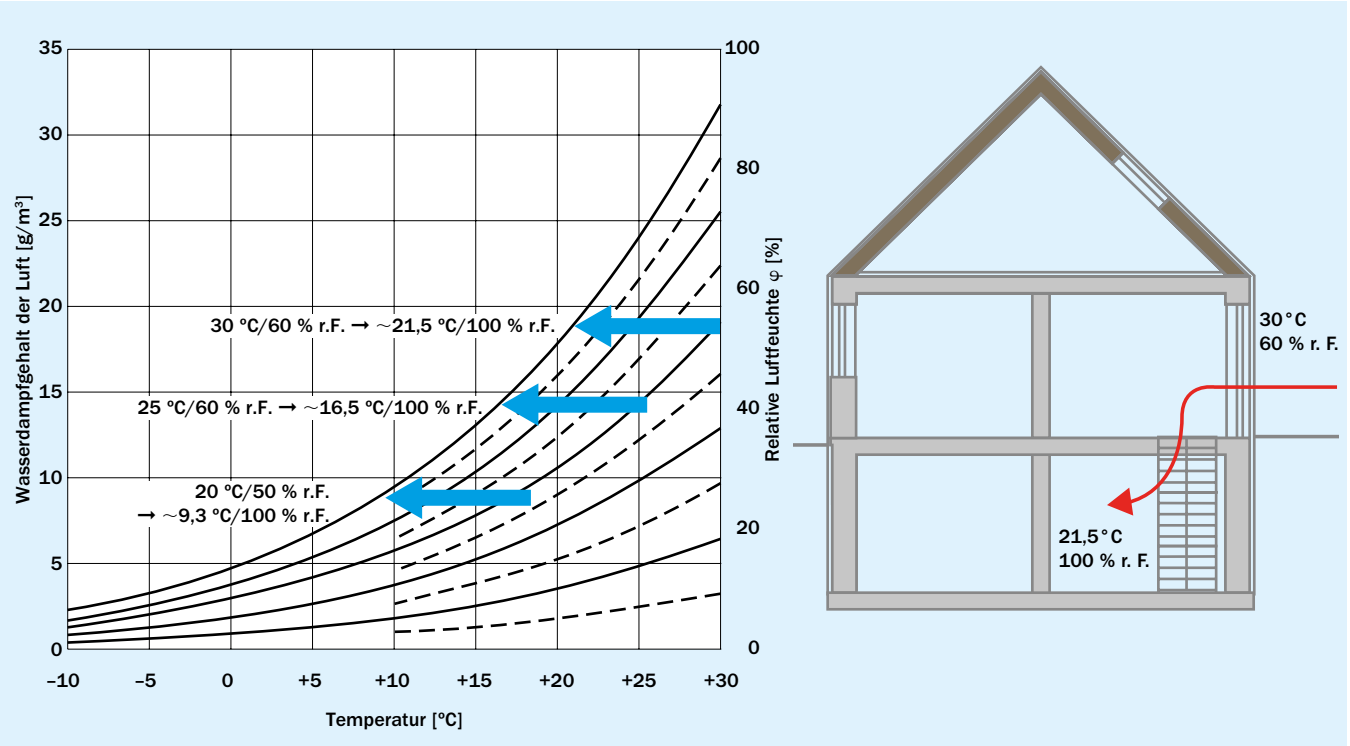


Bild 1 **Das Carrier-Diagramm (Willis Haviland Carrier) zeigt den Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Kapazität von Luft auf, Wasser in Gasform (Wasserdampf) aufzunehmen. Mit steigender Temperatur steigt auch die Wasserdampfkapazität. Bei gleichbleibendem Wasserdampfgehalt und sich ändernden Temperaturen ändert sich die relative Luftfeuchte, die das Verhältnis zwischen vorhandenem und dem aufnehmbaren Wasserdampf beschreibt (links). Das hat zur Folge, dass bei sommerlichem Lüften kühle Untergeschosse von innen feucht werden (rechts).**

2. Regelwerke

Im Juli 2017 wurden die neuen Abdichtungsnormen DIN 18531 bis DIN 18535 [1 bis 16] veröffentlicht. Die einzelnen Teile dieser Normenreihe regeln die Abdichtung verschiedener Gebäudebereiche bzw. Situationen (siehe Bild 2) und ersetzen weite Teile der alten Abdichtungsnormen aus der Reihe DIN 18195. Die ebenfalls neu herausgegebene DIN 18195 [17] legt daher nur noch Begriffe sowie Abkürzungen und Bezeichnungen für die Anwendung der Normen für die Abdichtung von Bauwerken (DIN 18531 bis DIN 18535) fest und trifft keine inhaltlichen Regelungen mehr.

Die Abdichtungen von erdberührten Bauteilen sind in der Reihe der DIN 18533 [7 bis 9] geregelt. In Teil 1 [7] werden die grundsätzlichen Festlegungen getroffen. Die Regelungen zu bahnenförmigen Abdichtungsstoffen werden in Teil 2 festgelegt [8]. In Teil 3 [9] werden die flüssig zu verarbeitenden Abdichtungsstoffe behandelt (Bild 2).

Neben DIN 18195 existiert weiterhin Beiblatt 2 zu DIN 18195 [18], das Hinweise zur Kontrolle und Prüfung der Schichtdicken von flüssig zu verarbeitenden Abdichtungsstoffen gibt.

Die in den Abdichtungsnormen geregelten bahnenförmigen Stoffe beziehen sich auf DIN SPEC 20000-202 [20]. Allerdings werden zur Vereinfachung wesentliche Anforderungen der übergeordneten europäischen Regelwerke in den nationalen Normenteilen zitiert.

Die Abdichtungsnormen sind nicht für Bauteile anzuwenden, die wasserundurchlässig sind. Sie gelten daher nicht für Bodenplatten, die schon von sich aus einen ausreichenden Schutz entweder gegen Bodenfeuchte oder gegen drückendes Wasser bieten. Für solche Betonbauteile enthält die WU-Richtlinie [21] maßgebliche Hinweise. Zudem existieren Verfahren, die in der Abdichtungsnorm nicht umfassend, sondern nur beispielhaft beschrieben sind und die als Sonderlösungen oder Sonderkonstruktionen bezeichnet werden. Diese Begriffe deuten nicht erhöhte Risiken an, sondern sind Synonyme für Konstruktionen, die in den Normen nicht abschließend geregelt sind. Die Risiken von Schäden hängen in erster Linie von der Zuverlässigkeit einer Bauart oder -weise ab, die wiederum von der Planung und der Ausführung bestimmt wird. Regelwerke sollen dazu Hilfestellungen geben, können aber nicht eine Detailplanung ersetzen. Diese muss sich im Konkreten mit den tatsächlich zu erwartenden Einwirkungen über die übliche Nutzungsdauer auseinander setzen. Das kann dazu führen, dass bestimmte Vorschläge aus Regelwerken ausgewählt und übernommen werden, aber auch dazu, dass andere als die darin enthaltenen Details auszuwählen sind und damit von Regelwerksangaben abgewichen wird, um einerseits die uneingeschränkte Gebrauchstauglichkeit, die Verwendungseignung sicherzustellen und andererseits wirtschaftlich zu handeln und so übermäßige Kosten zu vermeiden. Im Gebäudebestand sind nach DIN 18533-1 [7] die Abdichtungsnormen nur anzuwenden, wenn die in ihnen geregelten Verfahren angewendet werden können. Damit sind Vernunftsaspekte angesprochen, denn die Normen sollen nicht angewendet werden müssen, wenn dazu Bauteile abgebrochen und ersetzt werden müssten. Dazu ein Beispiel: Das nachträgliche Einfügen einer Abdichtung unter einer bestehenden Bodenplatte ist mit einem sehr großen Aufwand verbunden. Alternative Maßnahmen, die den Feuchtigkeitsschutz für die vorgesehene Nutzung ebenfalls herstellen können, sollen damit ermöglicht werden, ohne dass diese in der Norm explizit behandelt werden.

Bauwerksabdichtungen sind häufig nach ihrem Einbau für eine Wartung oder Erneuerung nur schwer oder überhaupt nicht zugänglich. Die Regeln der Abdichtungstechnik zielen deswegen insbesondere für den erdberührten Bereich auf eine hohe Zuverlässigkeit und die langfristige Gebrauchstauglichkeit ab. Dies erklärt die erhöhten Anforderungen z.B. an die Stoffe im Hinblick auf Rissüberbrückungseigenschaften, die erhöhten Anforderungen an Schichtdicken und Lagenzahl, den relativ hohen Aufwand im Bereich von Verwahrungen und erhöhte Anforderungen an die Qualität des abzudichtenden Untergrunds, die Kontrolle und den Schutz der Abdichtungen.

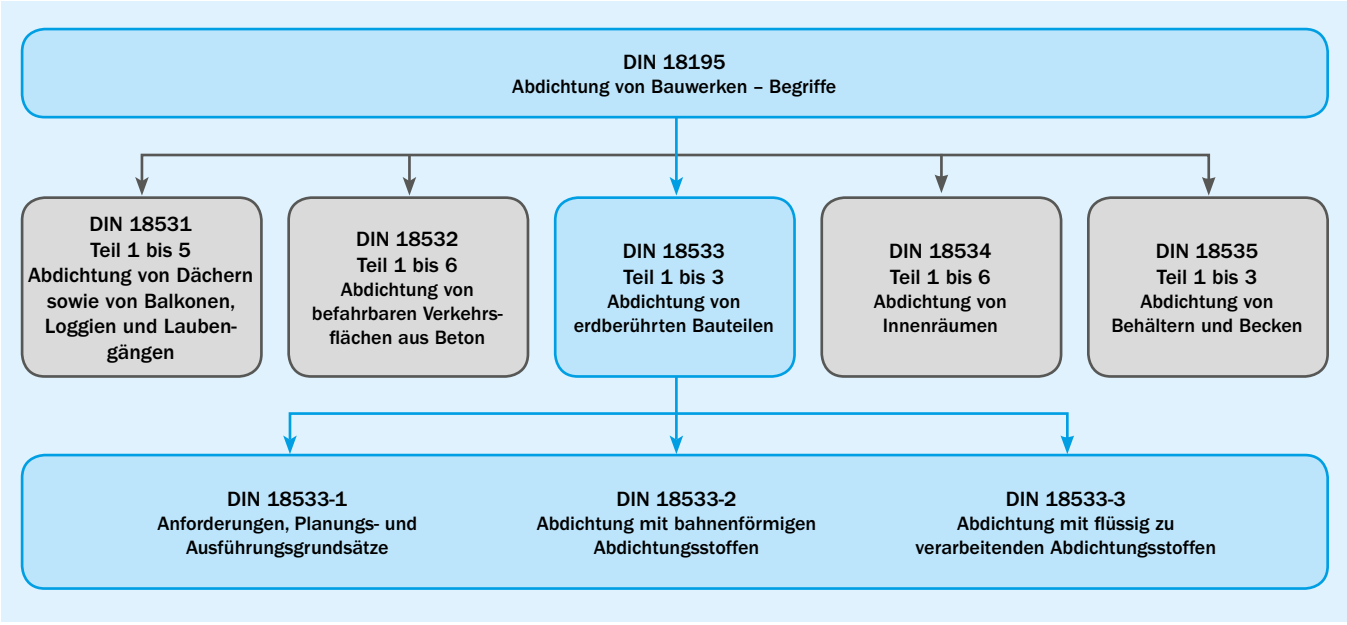


Bild 2 Struktur der neuen Normen zur Abdichtung

3. Einwirkung aus Wasser

3.1 Wassereinwirkungsklasse W1-E (Bodenfeuchte)

3.1.1 Wassereinwirkungsklasse W1.1-E: Bodenfeuchte und nicht drückendes Sickerwasser in stark durchlässigen Baugrund

Die geringste Wassereinwirkungsklasse W1.1-E aus Bodenfeuchte (an Bodenplatten und erdberührten Wänden) und nicht drückendes Sickerwasser (an erdberührten Wänden) liegt nach normativer Zuordnung nur vor, wenn das Gelände über dem Bemessungswasserstand liegt und der Baugrund – und auch das Verfüllmaterial des Arbeitsraums – aus stark durchlässigem Boden besteht. DIN 18533 [7 bis 9] fordert eine Durchlässigkeit > 10^{-4}m/s. Davon kann bei Sand und sandigen Kiesen ohne Schluffanteile ausgegangen werden (Bild 3).

3.1.2 Wassereinwirkungsklasse W1.2-E: Bodenfeuchte und nicht drückendes Sickerwasser in schwach durchlässigem Baugrund

Nach normativer Festlegung kann von der geringsten Wassereinwirkung an den sonst gegen Druckwasser zu schützenden Bauteile (oberhalb des Bemessungswasserstandes) auch ausgegangen werden, wenn bei schwach durchlässigen Böden (z.B. Lehm, Schluff, Ton, aber auch schon bei Sanden mit Schluffanteilen) eine dauerhaft funktionsfähige Dränung nach DIN 4095 [22] das sonst theoretisch mögliche Stauwasser ableitet (Wassereinwirkungsklasse W1.2-E) (Bild 4).

Dabei bildet mittlerweile die Entsorgung des Dränwassers das größte Problem. Dieses darf regelmäßig nicht mehr in die öffentliche Kanalisation abgeleitet werden, obwohl es sich nicht um Grund- oder Schichtenwasser handelt, sondern ausschließlich um Sickerwasser und damit um verzögert abgeleitetes, auf den verfüllten Arbeitsraum eines Gebäudes auftreffendes Niederschlagswasser. Wenn aber kein Grundwasser, Schichtenwasser oder aus einer größeren Umgebung über die Geländeoberfläche zum Gebäudesockel strömendes Oberflächenwasser ansteht, sondern nur Niederschlagswasser in kleinen Mengen sickert und so üblicherweise nicht an den Wandfuß gelangen kann, bedeutet das, dass Dränanlagen, die unter zulässigen Rahmenbedingungen errichtet werden, dauerhaft kein Wasser ableiten.

Wenn Dränanlagen errichtet werden, sollen sie nach der gegenwärtigen Regelwerksituation so dimensioniert werden, dass vergleichsweise große Wassermengen abgeleitet werden können. Man merkt schnell, dass die Rahmenbedingungen für Dränanlagen aus einer Zeit stammen, in der es üblich war, nicht nur das heute zulässige, wenige Sickerwasser abzuleiten, sondern die deutlich größeren Mengen aus Schichtenwasser und Oberflächenwasser. Die logische Frage, die sich hier aufdrängt, lautet, wozu Dränanlagen überhaupt noch gebraucht werden, wenn sie – nach den Voraussetzungen der neuen Abdichtungsnorm errichtet – dauerhaft trocken bleiben. Sicher nicht für den Regelfall, wohl aber in einzelnen Ausnahmen, in denen besondere Bedingungen vorliegen. Diese sind aber dann so speziell, dass normative Festlegungen fehl am Platz sind. Daher sind die Rahmenbedingungen der Wassereinwirkungsklasse W1.2-E jeweils kritisch zu hinterfragen.

Da dauerhaft funktionierende Dränanlagen nach den Anforderungen der DIN 4095 [22] sowohl bei der Errichtung als auch beim Betrieb aufwändig sind und zusätzliche Betriebsrisiken bergen, weiterhin kaum noch planmäßig zu berücksichtigendes Dränwasser entsorgt werden kann, sind meistens genauere Untersuchungen und Planungen erforderlich, um die tatsächlich zu erwartende Wassereinwirkung an den erdberührten Bauteilen festzustellen. Wie bereits beschrieben, kann nach den Einwirkungen an Bodenplatten und den erdberührten Außenwänden differenziert werden. Nur kommt es dann auf die Umsetzung an, damit nicht doch durch unglückliche Umstände zumindest in Teilbereichen Druckwasser unter Bodenplatten durch Sickerwasser entsteht.

3.2 Wassereinwirkungsklasse W2-E (Druckwasser)

Eine Differenzierung der Wassereinwirkung nach der Entstehungsart ist grundsätzlich nicht sinnvoll, da die physikalischen Eigenschaften des Wassers und die Anforderungen an die Ab-

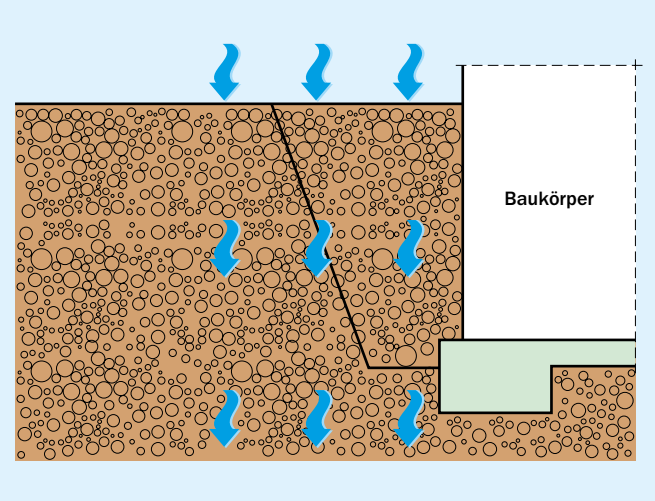


Bild 3 W1.1-E: Einwirkung an erdberührte Bauteile: Nicht drückendes Sickerwasser, Bodenfeuchte

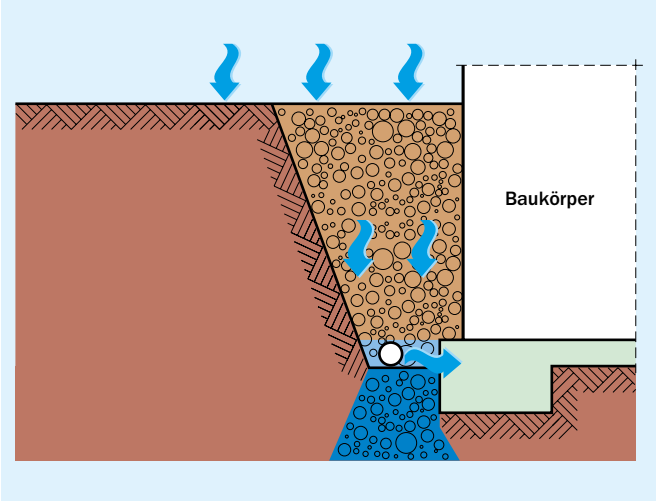


Bild 4 W1.2-E: Einwirkung an erdberührte Bauteile: Stauwasser mit Dränung = Nicht drückendes Sickerwasser, Bodenfeuchte

dichtung nicht davon abhängt, woher das Wasser kommt, das auf die Abdichtung drückt, sondern ob überhaupt und wie stark es einen Druck ausübt. Die frühere Unterscheidung nach der Entstehungsart, also ob Druckwasser durch Stauwasser und Grund- oder Schichtenwasser vorliegt, wurde deswegen weitgehend aufgehoben.

Grundsätzlich darf aber nur Druckwasser aus Stauwasser durch eine Dränung abgemindert werden, nicht aber Druckwasser durch Schichtenwasser oder Grundwasser. Dränungen sind nur bei Sickerwasser in schwach durchlässigem Baugrund oberhalb des Bemessungswasserstands (aus Grund- oder Schichtenwasser) zulässig. Daher wird auch zukünftig eine Differenzierung nach der Entstehungsart notwendig bleiben. Das gilt insbesondere, wenn im Detail zu klären ist, welche Einwirkungen an Bodenplatten tatsächlich vorliegen oder ob Stauwasser zur Vermeidung von Druckwasser durch eine Dränung abgeleitet werden darf – insofern keine anderen Maßnahmen ergriffen werden, die Druckwasser aus Sickerwasser sicher vermeiden.

Kommen die Untersuchungen zu den Verhältnissen im Baugrund zum Ergebnis, dass entweder mit Grund-, Schichten- oder mit nicht zu dränendem, drückendem Sickerwasser zu rechnen ist, kann nach der Druckwasserintensität unterschieden werden. Beispiele für Druckwasser gemäß W2-E sind in Bild 5 dargestellt.

Bei einer mäßigen Einwirkung bis 3 m Wassersäule liegt die Wassereinwirkungsklasse W2.1-E vor und bei höheren Wasserdrücken als 3 m die Wassereinwirkungsklasse W2.2-E. In DIN 18533-1:2017-07 [7] werden für beide Wassereinwirkungsklassen Situationsbeispiele genannt.

3.3 Wassereinwirkungsklasse W3-E

Die Wassereinwirkungsklasse W3-E beschreibt Abdichtungen auf erdüberschütteten Decken von z.B. unterirdischen Tiefgaragen. Dabei dürfen sich die Anforderungen an diese Abdichtungen von denen an andere Dächer, die in der Norm für Dachabdichtungen von genutzten und nicht genutzten Dächern DIN 18531 [1 bis 5] oder von befahrenen Verkehrsflächen aus Beton nach DIN 18532 [6] nicht wesentlich unterscheiden.

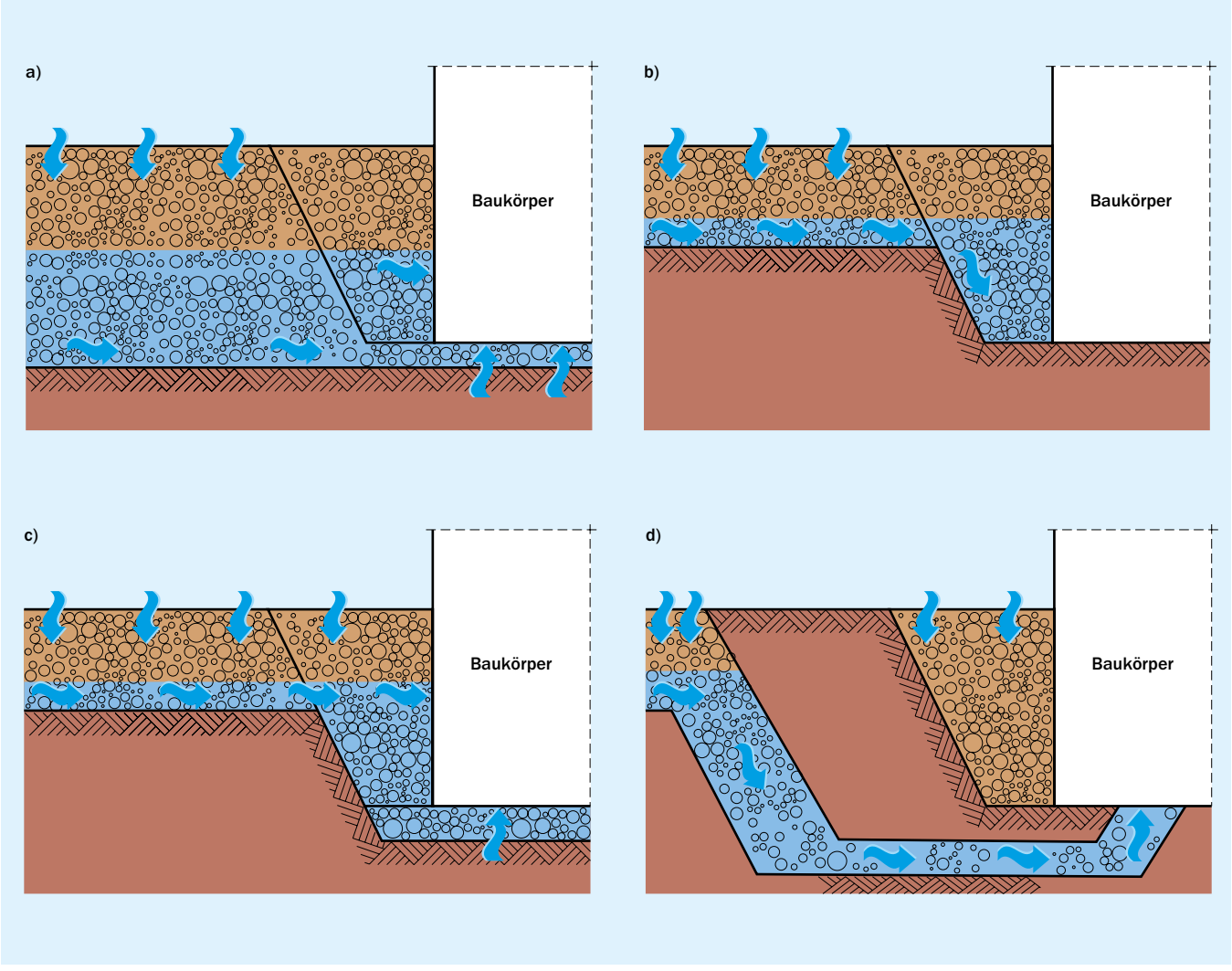


Bild 5 Beispiele für Druckwasser nach W2-E: a) Grund- und Schichtenwasser, b) Schichtenwasser auf Wand, c) Schichtenwasser auf Wand und Boden, d) Schichtenwasser auf Bodenplatte



3.4 Wassereinwirkungsklasse W4-E

Sockel- und Wandfußpunktabdichtungen

In Klasse W4-E werden die oberen Ränder von Abdichtungen erdberührter Wände beschrieben, also die Sockelzonen. Diese werden als ein Bereich definiert, der von 20 cm unter Oberkante Gelände bis 30 cm über Oberkante Gelände reicht.

Mauerquerschnittsabdichtungen

In der Wassereinwirkungsklasse W4-E werden auch Mauerquerschnittsabdichtungen geregelt. Dabei ist zu unterscheiden nach solchen Abdichtungen, die an der Rückseite von schlagregenbeanspruchten Verblendmauerwerk von oben kommendes Wasser an den Fußpunkten nach außen leiten (Fußpunktabdichtungen) und nach Mauerquerschnittsabdichtungen, die innerhalb von (tragenden) Wandquerschnitten gegen von unten einwirkende, kapillar aufsteigende Feuchtigkeit schützen sollen.

Fußpunktabdichtungen zweischaliger Wände sind Gegenstand des Nationalen Anhangs (NA) zu DIN EN 1996, Teil 2 [23, 24]. Diese Art von Abdichtungen wird in der Abdichtungsnorm nur unter dem Gesichtspunkt des oberen Abschlusses von Wandabdichtungen geregelt, nicht aber unter denen, die in DIN EN 1996-2 NA enthalten sind.

Mauerquerschnittsabdichtungen können nicht gegen von unten einwirkendes, drückendes Wasser schützen, da dieses die Abdichtungen umfließen würde. In Wassereinwirkungsklasse W2-E ist die Abdichtung an der Außenseite von Bodenplatten und erdberührten Wänden auszuführen. Das gilt nicht in Fällen, in denen die Norm nicht anzuwenden ist, z.B. bei wasserundurchlässigen Betonkonstruktionen.

Auf der Bodenplatte angeordnete Abdichtungen können ausschließlich gegen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit wirken. Dazu genügen aber bereits Trennungen von Kapillaren, die Wasser transportieren können, da der kapillare Wassertransport eine Wechselwirkung zwischen der elektrostatischen Eigenschaften der Wassermoleküle und der Kapillarwandungen ist. Die daraus resultierende Wechselwirkung bzw. Kraft, die Wasser unabhängig von der Schwerkrafteinwirkung transportiert, wird durch Meniskeln beschrieben. An den Enden von Kapillaren endet auch der kapillare Transport, aus Kapillaren kann kapillar transportiertes Wasser nicht frei austreten und Pfützen bilden.

Die normative Festlegung zu Mauerquerschnittsabdichtungen zum Schutz gegen aufsteigende Feuchtigkeit beruht auf der Annahme, dass Beton gegenüber Wasser kapillaraktiv ist. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts, dem Zeitraum, in dem die Festlegung zu Mauerquerschnittsabdichtungen getroffen wurde, hatten Mauersteine und Beton ähnliche kapillare Leitfähigkeiten.

Zweifelsohne werden Mauersteine bei Kontakt mit kapillar gebundenem Wasser feucht. Heutiger Konstruktionsbeton weist aber regelmäßig gegenüber Wasser keine nennenswerte Kapillarität auf und lässt bei üblichen Bauteildicken Wasser auf kapillarem Wege nicht durch. Theoretisch könnte daher auf eine Mauerquerschnittsabdichtung verzichtet werden. Der Einbau ist aber dennoch zu empfehlen, da z.B. feuchtigkeitsempfindliche Stoffe in Wandaufbauten oder Fußbodenschichten so eingebaut werden, dass lang anhaltend einwirkende Baufeuchte aus dem Beton der Bodenplatte Schäden hervorrufen kann. Dies ist jedoch unabhängig von der äußeren Wassereinwirkung. Mauerquerschnittsabdichtungen können auch sinnvoll sein, um übermäßige Feuchte im Mauerwerk zu reduzieren, die während der Bauzeit in die Baustelle gelangt. Aber weder Baufeuchte, noch Tagwasser sind Regelungsgegenstand der Abdichtungsnorm, die ausschließlich Abdichtungen gegen von außen einwirkendes Wasser regelt.

Gegen aufsteigende Feuchtigkeit gedachte Mauerquerschnittsabdichtungen und Abdichtungen auf Bodenplatten sind formal nicht erforderlich, wenn die Abdichtung auf der Feuchtigkeitseinwirkung zugewandter Seite, nämlich außerhalb des Bauwerks, angeordnet wird. Sie sind nach DIN 18533-1 [7] nur in Verbindung mit Wassereinwirkungsklasse W1-E und Abdichtungen auf der Bodenplatte anzuwenden.

4. Einwirkung aus dem Abdichtungsuntergrund (Rissklassen)

In DIN 18533-1 [7] wird an die Abdichtungsschicht die Anforderung gestellt, dass diese zu erwartenden Rissbildungen bzw., wenn bereits Risse vorhanden sind, die zu erwartenden Rissbreitenänderungen des Untergrundes aufnehmen kann und durch die Rissbildungen bzw. Rissbreitenänderungen nicht maßgebend beschädigt wird. In Abhängigkeit typischer Abdichtungsuntergründe sind die folgenden Rissklassen definiert: (Tafel 1)

- Rissklasse R1-E (gering)
  Bei der Rissklasse R1-E ist die Rissbildung oder Rissbreitenänderung mit ≤ 0,2 mm gering.
- Rissklasse R2-E (mäßig)
  In der Rissklasse R2-E ist die Rissbildung oder Rissbreitenänderung mit ≤ 0,5 mm eher mäßig und ist im Beton oder im Mauerwerk üblicherweise vorhanden.
- Rissklasse R3-E (hoch)
  In die Rissklasse R3-E werden Rissbildungen oder Rissbreitenänderungen ≤ 1,0 mm und/oder ein Rissversatz von ≤ 0,5 mm im Beton oder Mauerwerk eingeordnet.
- Rissklasse R4-E (sehr hoch)
  Die in die Rissklasse R4-E einzuordnenden sehr hohen Rissbildungen oder Rissbreitenänderungen ≤ 5,0 mm und/oder ein Rissversatz ≤ 2,0 mm werden z.B. durch Erdbeben verursacht.

Tafel 1 **Rissklassen typischer Abdichtungsuntergründe nach DIN 18533-1:2017-07**

Rissklasse	Rissbildung/ Rissbreitenänderung [mm]	Typischer Abdichtungsgrund[1)]
R1-E	≤ 0,2	Stahlbeton ohne rissverursachende Zwang- und Biegeeinwirkung, Mauerwerk im Sockelbereich, Untergründe für Querschnittsabdichtungen
R2-E	≤ 0,5	Geschlossene Fugen von flächigen Bauteilen (z.B. bei Fertigteilen), unbewehrter Beton, Stahlbeton mit rissverursachender Zwang-, Zug- oder Biegeeinwirkung, erddruckbelastetes Mauerwerk, Fugen an Materialübergängen
R3-E	≤ 1,0 bis Rissversatz ≤ 0,5	Fugen von Abdichtungsrücklagen, Aufstandsfugen von erddruckbelasteten Wänden
R4-E	≤ 5,0 bis Rissversatz ≤ 2,0	–

[1)] Ohne statischen Nachweis der Rissbreite; eine andere Zuordnung ist durch einen solchen Nachweis möglich.

5. Raumnutzungsklassen

Die Abdichtungsnorm DIN 18533 [7 bis 9] unterscheidet nach der Nutzung von Räumen, die von erdberührten Bauteilen umfasst sind. Wenn aber Abdichtungen dicht sind und gegen von außen einwirkendes Wasser schützen, ist ihr Beitrag geleistet: Mehr als eine dichte Abdichtung geht nicht.

5.1 Raumnutzungsklasse RN1-E

Die Raumnutzungsklasse RN1-E gilt für Räume mit geringer Anforderung an die Trockenheit der Raumluft, z.B. offene Werk-, Lagerhallen oder Garagengebäude. Nach der normativen Festlegung kann nur hier auf eine Abdichtung der Bodenfläche verzichtet werden, Wasser darf aus dem Erdreich in (geringem Umfang und nur gasförmig in Form von Wasserdampf) in die Innenräume gelangen und so Einfluss auf den Feuchtegehalt der Raumluft nehmen.

5.2 Raumnutzungsklasse RN2-E

Bereits in Raumnutzungsklasse RN2-E müssen Abdichtungen vollständig dicht sein. Wasser im Erdreich darf sich nicht auf die Situation in Innenräumen auswirken. Es gelten übliche Anforderungen an die Trockenheit der Raumluft und die Zuverlässigkeit der Abdichtungsbauart, beispielsweise für Aufenthaltsräume oder Räume zur Lagerung von feuchteempfindlichen Gütern, wozu auch Abstellräume in Untergeschossen von Wohngebäuden zählen. Schon dafür können Zusatzmaßnahmen erforderlich werden, die für die RN3-E vorzusehen sind.

5.3 Raumnutzungsklasse RN3-E

Abdichtungen müssen bereits bei Raumnutzungsklasse RN2-E vollständig dicht sein. Aus Zuverlässigkeitsüberlegungen werden bei Raumnutzungsklasse RN3-E aber höhere Anforderungen an Abdichtungsschichten gestellt, z.B. bei Museen, Archiven oder anderen Räumen mit hohen Anforderungen an die Trockenheit der Raumluft und Zuverlässigkeit der Abdichtung. Andere Ursachen, die auf die Feuchtigkeit in Räumen Einfluss nehmen, werden nur als Hinweis angeführt. Dazu zählen Einwirkungen durch das Lüften insbesondere im Sommerhalbjahr, wenn warme und damit absolut feuchte Luft in kühlere Untergeschosse gelangt und beim Abkühlen die relative Feuchtigkeit in der Luft steigt. In Räumen, in denen feuchteempfindliche Güter gelagert werden, sind daher zusätzliche Maßnahmen für die Trockenheit notwendig, die auch die Schimmelpilzfreiheit sichern. Dazu zählen ggf. raumseitig angeordneter Wärmeschutz, die Beheizung und/oder die Belüftung zu geeigneten Zeiträumen oder die Entfeuchtung der Raumluft.

6. Planung und Ausführung der Abdichtung

Schadensuntersuchungen an Bauwerksabdichtungen zeigen, dass Fehler bei der Ausführung der Abdichtungen zwar eine häufige Schadensursache darstellen – Schwächen bei der Planung der abzudichtenden Bauteile provozieren aber ebenso Risiken, wie z.B. verwinkelte Abdichtungsuntergründe, häufige Materialwechsel, die ungünstige Lage von Dehnungsfugen oder Durchdringungen. Daher ist bei der Planung und Ausführung von Abdichtungen zu berücksichtigen, dass sowohl die Abdichtung selbst als auch der Untergrund einschließlich aller dazugehörigen Bauteile wesentlich zur dauerhaften Dichtheit an allen Stellen der Abdichtung beitragen. Die Normen richten sich daher nicht nur an die Ausführenden, sondern insbesondere auch an die Planer. Alle Baubeteiligten müssen zusammenwirken.

6.1 Voruntersuchungen

Grundsätzlich könnte auf eine Untersuchung der tatsächlich zu erwartenden Wassereinwirkung an den erdberührten Bauteilen verzichtet werden, wenn von vornherein gegen die höchste denkbare Wassereinwirkung – also Druckwasser – aufwändig abgedichtet wird. Aber selbst das wird an Standorten mit Hochwassergefährdung nicht ausreichen. Dann sind nämlich nicht nur die Bauteile unterhalb der Geländeoberkante zu schützen, sondern auch die im Hochwasserbereich.

Neu in der Abdichtungsnorm ist die Notwendigkeit von Untersuchungen des Bemessungswasserstandes, der nicht nur nach bisherigen Höchstständen (z.B. innerhalb der letzten 30 Jahre), sondern nach den zukünftig zu erwartenden Wasserständen im Erdreich und oberhalb des Geländes festzulegen ist. Dazu sind wasserstandsverändernde Einflussfaktoren zu ermitteln, etwa das Abschalten von Trinkwassergewinnungsanlagen oder Instandsetzung von öffentlichen Kanälen, die zuvor wegen Undichtheiten Grundwasser ableiteten und deswegen zuvor Grundwasserpegel absenkten. Vor einigen Jahrzehnten war es teilweise sogar üblich, öffentliche Kanäle in „Sumpfgebieten“ mit Begleitdränung zu versehen, die im Rahmen von Arbeiten an der öffentlichen Kanalisation beseitigt werden. Einzelheiten sind im BWK Merkblatt M 8 [25] beschrieben, das die Grundlage für die Festlegung des Grund- oder Hochwasserstandes beschreibt und dessen Beachtung normativ gefordert wird.

Zur Auslegung der Bauteile und der Bauwerksabdichtung ist daher als erstes zu klären, ob mit Druckwasser aus Grund- oder Hochwasser zu rechnen sein wird, ob die erdberührten Bauteile also unter oder über dem Bemessungswasserstand liegen. Einmalige kurzzeitige Beobachtungen aus Baugrunderkundungen geben nur bei sehr eindeutigen Situationen eine verlässliche Beurteilungsgrundlage, z.B. bei einem sehr weit unter der Gebäudesohle liegenden Grundwasserspiegel. Je nach geologischer Situation sowie der Dichte der Pegelmessstellen und ihrer Entfernung zum Bauplatz können die häufig langfristigen Messungen z.B. der Wasserwirtschaftsämter brauchbare Informationen liefern. Allerdings können geologische Verwerfungen schon bei nahe am Baugrundstück liegenden Messstellen stark vom Baugrundstück abweichende Ganglinien bewirken und verlässliche Prognosen für den Gebäudestandort so weit verfälschen, dass sie nicht verwertbar sind.

In Gebieten mit langjährigem Baubestand können die Erfahrungen an der Nachbarbebauung hilfreich sein. Das BWK-Merkblatt M 8 fordert aber weitere Informationen zur zukünftigen Entwicklung des Wasserpegels, etwa abzusehende Änderungen des Grundwasserflusses durch geplante unterirdische Bauwerke, geplante Kanalinstandsetzungen oder Neuverlegungen, ober- oder unterirdische Versickerungseinrichtungen, Pumpstationen oder andere Faktoren.

In der Regel sollte die Klärung dieser Frage einem erfahrenen Geotechniker überlassen werden. Allerdings obliegt die Plausibilitätsprüfung dieses Gutachtens dem Planer, der im Rahmen seines Wissensstandes die Angaben von Fachgutachten überprüfen muss.

Nur bei einfachen Bauaufgaben in Baugebieten mit verlässlich bekannter Situation kann auf die Untersuchung des Baugrunds verzichtet werden. Architekten und Ingenieure sollten sich aber klar machen, dass Schäden in Folge von unterlassenen Baugrunderkundungen als Planungsmangel gewertet werden können. Dabei müssen sie in der Regel nur dafür sorgen, dass entweder eine Untersuchung durchgeführt wird oder ihre Kunden andernfalls über die möglichen Risiken aufklären (die bis zum Totalschaden reichen können, wenn sich z.B. in einem Teilbereich unter der Gründung eine Torflinse befindet), falls diese nicht bereit sein sollten, die Untersuchungskosten zu tragen.

6.2 Wassereinwirkungen

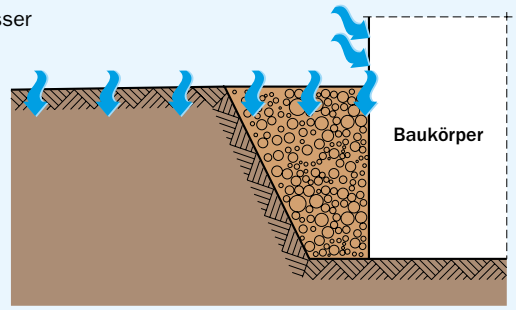
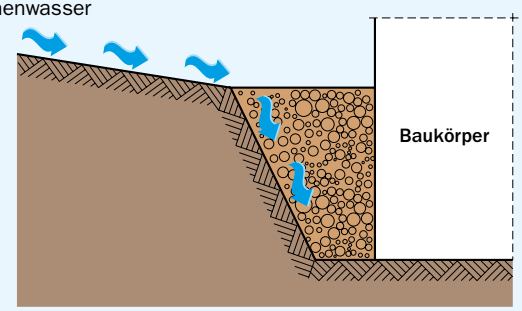
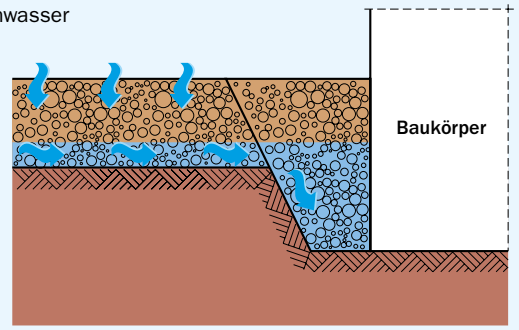
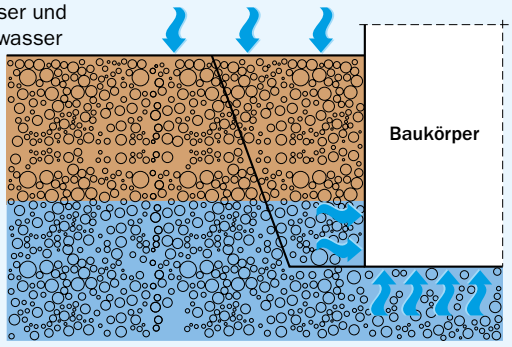
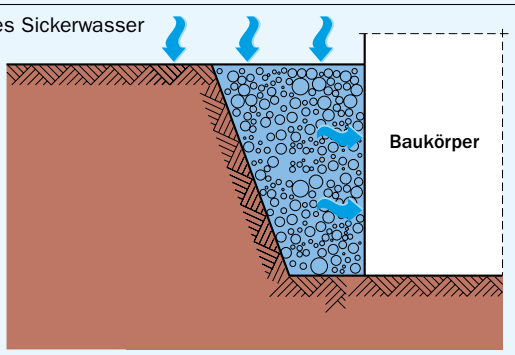
Wie in Abschnitt 3 beschrieben, definiert DIN 18533 in Teil 1 [7] Wassereinwirkungsklassen, welche die Beanspruchung verschiedener Wasserformen aus dem Erdreich auf die Abdichtung regeln. Die zurückgezogene Vorgängernorm DIN 18195 hatte den Abdichtungsaufwand noch nach der Entstehungsart differenziert. Dieser Gedanke wurde weitgehend aufgehoben, da der erforderliche Widerstand der Abdichtung nur vom Wasserdruck abhängt, aber nicht davon, wo dieser herkommt.

Dennoch lässt sich die Entstehungsart nicht vollständig ausblenden. Auch die neue Abdichtungsnorm differenziert noch immer danach und bezeichnet diese als „Situationen“ (Tafel 2). Daher ist es sinnvoll, noch immer auf die jeweilige Entstehungsart einzugehen.

Unter Berücksichtigung der weiteren normativen Bestimmungen kann drückendes Sickerwasser ausschließlich durch Sickerwasser in durchlässigeren Schichten über geringer durchlässigen Schichten entstehen. Dabei bleibt DIN 18533 [7 bis 9] bei der vereinfachten Sichtweise, die von der Durchlässigkeit des Bodens von $k > 104$ m/s abhängt. Nach wie vor nicht berücksichtigt sind Schichtenfolgen sowie die in der Durchlässigkeitsprüfnorm DIN 18130 [26] vorhandenen Differenzierungen von fünf Stufen der Durchlässigkeiten. Ob drückendes Sickerwasser entsteht, ist neben der tatsächlich in den verfüllten Arbeitsraum eindringenden Wassermenge, insbesondere eine Frage der Abfolge der relativen Durchlässigkeiten der übereinander liegenden Schichten. In schwach durchlässigem Baugrund entsteht kein Druckwasser durch Sickerwasser, wenn

- über dem schwach durchlässigen Baugrund noch geringer durchlässige Schichten liegen oder
- der verfüllte Arbeitsraum z.B. mit gering durchlässigen Belagschichten aus üblichen Pflasterbelägen abgedichtet ist.

Tafel 2 Bauliche Situationen (Entstehungsarten)

Bauliche Situation	Beschreibung
Sickerwasser 	Sickerwasser wird als das Niederschlagswasser verstanden, das auf dem verfüllten Arbeitsraum niedergeht und in der Verfüllung versickert. Hinzu kommt der von aufgehenden Fassaden ablaufende Schlagregen.
Oberflächenwasser 	Oberflächenwasser versteht sich als Niederschlagswasser, das auf eine (auch größere) umgebende Fläche gelangt und durch eine Gefällegebung zum Objekt auf der Geländeoberfläche hinläuft. Dazu ist anzumerken, dass die DIN 18533-1 in Abschnitt 8 Maßnahmen fordert, die verhindern sollen, dass Oberflächenwasser auf den Gebäudesockel einwirkt.
Schichtenwasser 	Schichtenwasser ist ebenfalls Niederschlagswasser, das auf einer größeren umgebenden Fläche niedergeht, sich in durchlässigere Schichten über geringer durchlässigen Schichten staut und im Erdreich (annähernd) parallel zur Geländeoberfläche zum Gebäude in Abhängigkeit der Durchlässigkeit sickert oder fließt.
Grundwasser und Schichtenwasser 	Grundwasser entsteht wie Schichtenwasser. Bei Grundwasser wird nach Stockwerken differenziert, da sich in der oberen Erdkruste häufig durchlässige und schwachdurchlässige Schichten abwechseln. Schichtenwasser kann als Grundwasser im oberen Stockwerk bezeichnet werden. Eine Differenzierung zwischen diesen beiden Einwirkungsarten ist nicht sinnvoll möglich, auch eine nach zuströmender Menge nicht, weil das von der tatsächlichen Durchlässigkeit der wasserführenden Schicht abhängt.
Drückendes Sickerwasser 	Stauwasser oder Drückendes Sickerwasser kann durch im Erdreich sickerndes Wasser über geringer durchlässigen Schichten entstehen. Im Gegensatz zu Schichten- oder Grundwasser ist die Wassermenge gering, da sie sich ausschließlich aus Sickerwasser speist.

Unter diesen Aspekten erscheinen Kiesrandstreifen in neuem Licht. Insbesondere dann, wenn vor die Außenwände parallel zu deren Oberfläche durchlässige Schutzschichten z.B. aus Noppenbahnen gestellt werden, da hierdurch Wasser von oben schnell abgeleitet wird und sich weiter unten vor der Kellerwand stauen kann. Wird dagegen in Situationen mit gering durchlässigem Boden auf einen Kiesstreifen verzichtet und werden nicht strukturierte Schutzschichten verwendet, ist die tatsächliche Wassereinwirkung an den erdberührten Bauteilen oberhalb des Bemessungswasserstand regelmäßig wesentlich geringer als nach normativer Festlegung anzunehmen ist.

Auch ist nach dem Zustand der Bauphase und der späteren Nutzungsphase zu differenzieren. Während der Bauphase kann in die noch offene Baugrube schnell Niederschlagswasser von der Geländeoberfläche eindringen, häufig verstärkt durch auf dem Gelände gelagerten Erdmassen, deren Oberflächen zur Baugrube geneigt sind. Ist aber der Arbeitsraum verfüllt und gemäß DIN 18533-1 Abschnitt 8 [7] das Gefälle der Geländeoberfläche so ausgebildet, dass das Niederschlagswasser vom Gebäude abgeleitet wird, wird die in den verfüllten Arbeitsraum eindringende Niederschlagsmenge erheblich reduziert bzw. gegen Null gehen.

6.3 Vermeidung unnötig hoher Wassereinwirkung

Die Abdichtungsnorm weist drauf hin, dass Oberflächenwasser, also Niederschlagswasser, das auf einer größeren Fläche um das Gebäude nieder regnet und aufgrund der Geländeneigung zum Gebäude hin fließt, durch Maßnahmen vom Gebäudesockel und damit vom verfüllten Arbeitsraum fern zu halten ist. Dazu können muldenförmige Geländeoberflächen oder andere Maßnahmen geeignet sein, die an der Geländeoberfläche ablaufendes Wasser vom Gebäudesockel weg und um das Gebäude herumleiten (Tafel 3).

Lichtschächte, Lichthöfe und außen liegende Treppenabgänge oder vergleichbare Geländeabsenkungen dürfen nicht so gestaltet sein, dass aus der Umgebung Oberflächenwasser in diese gelangen kann. Dazu sind deren Ränder gegenüber dem umliegenden Gelände höher liegend auszuführen.

Entwässerungen aus z.B. Regenfallleitungen sollten nicht offen an Sockelzonen enden. In der Nähe von Türen, insbesondere mit niveaugleichen Schwellenausbildungen, dürfen keine offenen Ausleitungen von Regenfallleitungen liegen, weil Spritzwasser oder Wasseranstau z.B. bei Schnee und von oben kommendes Schmelzwasser zu Schäden im Gebäudeinnern führen können.

Versickerungseinrichtungen dürfen die Wassereinwirkung auf erdberührte Bauteile dann nicht erhöhen, wenn deren Abdichtung nicht gegen Druckwasser ausgelegt ist.

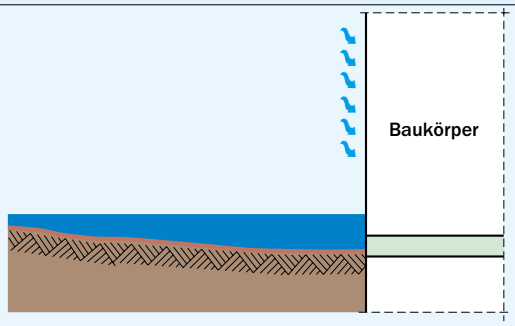
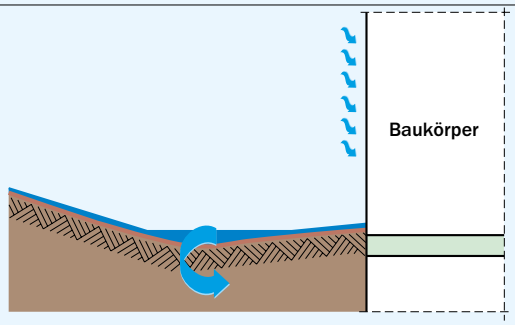
6.4 Kellerlichtschächte und Außentreppen bei Druckwasser

Die zurückgezogene Abdichtungsnorm DIN 18195 forderte, dass Kellerlichtschächte sowie bewitterte Außentreppen bei Druckwassereinwirkung wasserdicht an das Gebäude anzuschließen sind und Niederschlagswasser aus dem Schacht bzw. von der Treppenoberfläche und dem unteren Podest durch ein rückstausicheres Entwässerungssystem abzuleiten ist. Da in vielen Fällen Lichtschächte und Außentreppen unterhalb der Rückstauebene liegen, muss ein eigens dafür zu installierendes Entwässerungssystem mit Pumpe, die unterbrechungsfrei funktionieren muss, Niederschlagswasser ableiten. Weiterhin sollte die Pumpe nicht im Gebäude, sondern außerhalb in einem Schacht angeordnet sein. Diese Lösung ist nicht nur bei Herstellung und Instandhaltung kostenintensiv, sie birgt auch Betriebsrisiken.

Im Gegensatz dazu lässt die jetzige Abdichtungsnorm auch zu, dass z.B. durch die Geländegestaltung und Abdeckungen Niederschläge nicht in Lichtschächte oder auf Treppen gelangen können. Dann kann auf eine Entwässerung verzichtet werden. Damit finden die inzwischen häufigen Lösungen von Kellerlichtschachtabdeckungen aus transluzenten Stoffen Berücksichtigung, die zu Lüftungszwecken auf Lücke montiert werden.

Dennoch bleibt zu überlegen, welchen Vorteil Kellerlichtschächte ergeben sollen. Licht kommt nicht in nennenswerten Mengen im Untergeschoss an, zu Lüftungszwecken gibt es einfachere und technisch bessere Lösungen, Fluchtwege bieten sie in der Regel nicht. Alternativ könnten Standardlichtschächte einfach entfallen und gegen Lüftungssysteme ersetzt werden. Dann kann auch kein Wasser durch Öffnungen unterhalb der Geländeoberfläche eindringen. Genauso sollten außenliegende Zugänge in Untergeschosse kritisch auf ihren tatsächlichen Nutzen in Bezug zu Aufwand und Risiken betrachtet werden.

Tafel 3 **Wasserführung auf dem Gelände zur Vermeidung unnötig hoher Einwirkung von Oberflächenwasser**

Bauliche Situation	Beschreibung
	Gefälle zum Gebäude ist zu vermeiden. Bei einer Neigung der Geländeoberfläche zum Gebäude besteht das Risiko von Überflutung der Sockelzone und Wasserschäden durch über Türschwellen eindringendes Oberflächenwasser.
	Auf Bergseiten kann ein Gegengefälle mit Seitenneigung von der Bergseite kommendes Wasser um das Gebäude umleiten.

6.5 Außenwandflächen mit kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtungen (PMBC/KMB)

Als Abdichtung von erdberührten Bauteilen können KMB (Kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtungen) gewählt werden. Die Bezeichnung wird wegen der europäischen Stoffnormen in Englisch ausgedrückt, daher heißen diese Abdichtungsstoffe nun Polymer Modified Bituminious thick Coatings (PMBC). PMBC werden seit Jahrzehnten mit gutem Erfolg verwendet. Fehler beruhen in der Regel auf Problemen bei Vorbehandlung und Ausführung, insbesondere aber auf fehlerhafter Nachbehandlung, etwa unzureichender Durchtrocknung der Abdichtungsschicht vor der Verfüllung des Arbeitsraums.

Hautförmige Abdichtungen erdberührter Bauteile beschränken sich allerdings seit vielen Jahren auf Wände, da die Abdichtung im Bereich des unteren Gebäudeabschlusses durch die Erstellung von Bodenplatten aus WU-Beton realisiert wird. Dadurch entsteht die Herausforderung, Abdichtungsschichten an wasserundurchlässige Betonbodenplatten so anzuschließen, dass die Übergänge dauerhaft ihre Aufgabe erfüllen. Weil diese Stellen im späteren Zustand entweder nicht oder nur unter hohem Aufwand zugänglich sind, ist es nachvollziehbar, dass der Aufwand für Abdichtung und deren Anschlüsse hoch ist.

Stoffe

Bei PMBC handelt es sich um kunststoffmodifizierte, ein- oder zweikomponentige Massen auf der Basis von Bitumenemulsionen. Die Emulsion besteht aus den beiden sich gegenseitig abweisenden Flüssigkeiten Wasser und Bitumen. Bitumen schwimmt mit Hilfe von Emulgatoren in Form kleiner Tröpfchen im Wasser. Durch Abgabe des trennenden Wassers vernetzen die Bitumenkolloide, wodurch eine wasserdichte Bitumenschicht an der Bauteiloberfläche entsteht. Dazu wird das Wasser der Emulsion einerseits vom Untergrund aufgenommen, andererseits diffundiert es nach außen in Richtung des Arbeitsraums und verdunstet dort. Dieser Vorgang wird „Brechen“ genannt. Die Trocknung hängt stark vom Feuchtegehalt des Untergrunds und den Austrocknungsbedingungen ab, die Durchtrocknungsdauer kann je nach Art des Untergrunds und den Klimabedingungen deutlich variieren.

Untergrund

Kalksandstein-Mauerwerk, insbesondere solches aus Plansteinen und Planelementen, ist als Untergrund für PMBC sehr gut geeignet. Unterputze und egalisierende Kratzspachtelungen sind in der Regel nicht erforderlich. Die allgemeinen Anforderungen an die Untergründe von Abdichtungen wie Frostfreiheit und Oberflächentrockenheit müssen erfüllt werden.

INFO

Kalksandstein-Mauerwerk ist als Untergrund für PMBC sehr gut geeignet.

Selbstverständlich sind Vertiefungen über 5 mm Tiefe mit Mörtel zu schließen. Kanten müssen vor dem Auftrag gefast werden, Kehlen sollten gerundet sein. Dies kann z.B. durch Mörtelkehlen im Radius von 4 cm erfolgen. Wenn der Hersteller dies zulässt, können Kehlen mit zweikomponentigen Bitumendickbeschichtungen hergestellt werden. Diese sollen keine größere Rundung als 2 cm haben, um Trocknungsprobleme zu vermeiden. Mit der Ausrundung soll erreicht werden, dass die Abdichtung an der Kehle nicht versehentlich mit der Kelle durchtrennt wird. In Abhängigkeit der Herstellerangaben sind PMBC auf einem durch Voranstrich vorbereiteten Untergrund zu verarbeiten.

Untergründe von Abdichtungen müssen frostfrei und trocken sein, trennende Substanzen oder Schmutz sind in Abhängigkeit der Einwirkungsklasse zu entfernen. Dabei ist grundsätzlich zu empfehlen, alle erforderlichen Maßnahmen zu ergreifen, damit Abdichtungen fest anhaften und nicht unterläufig sind.

Verarbeitung

PMBC (Bild 6) ist in mindestens zwei Arbeitsgängen zu verarbeiten. Der Auftrag kann in der Wassereinwirkung Klasse W1-E frisch in frisch erfolgen, die Trockenschichtdicke muss mindestens 3 mm betragen. Auf diese Schichtdicke ist ein Zuschlag für verarbeitungsbedingte Schwankungen sowie dem Mehrverbrauch für die Egalisierung des Untergrunds hinzuzurechnen. Letztere kann entfallen, wenn der Untergrund bereits zuvor geebnet wurde. Die erforderliche Trockenschichtdicke sollte vom Hersteller angegeben werden. Ebenso sollte der Hersteller Angaben zum Dickenschwund machen, damit dieser durch Mehrschichtdicken ausgeglichen werden kann. Sofern hierzu keine Angaben vorliegen, soll ein Dickenzuschlag von 25 % zur Mindesttrockenschichtdicke hinzugerechnet werden.

Die Trockenschichtdicke darf an keiner Stelle der Fläche doppelt so dick sein wie die Mindestrockenschichtdicke zuzüglich des Dickenzuschlags. Wenn flüssig zu verarbeitende Abdichtungen zu dick sind, besteht die Gefahr, dass sie in diesen Teilbereichen nicht vollständig durchtrocknen und nach dem Verfüllen des Arbeitsraums versagen können.

Die Schichtdickenkontrolle soll während der Verarbeitung im frischen Zustand durch Messung der Nassschichtdicke (mindestens 20 Messungen je Ausführungsobjekt bzw. mindestens 20 Messungen je 100 m^2) erfolgen. Hersteller bieten dazu Messlehren an. Zusätzlich sollen im Bereich von Durchdrin-



Bild 6 Kellerwand-Außenseite mit PMBC-Abdichtung

gungen, an Übergängen sowie Anschlüssen Schichtdicken gemessen werden. Weiterhin soll durch den Materialverbrauch im Bezug zur Fläche die mittlere Schichtdicke kontrolliert werden.

Bis zum Erreichen der Regenfestigkeit muss die Fläche vor Regeneinwirkung geschützt werden. Wasserbelastung und Frosteinwirkung sind bis zur Durchtrocknung der Abdichtungsschicht auszuschließen.

Da Schutzschichten erst angebracht und Arbeitsräume verfüllt werden dürfen, wenn die PMBC ausreichend durchgetrocknet ist, muss die Durchtrocknung überprüft werden. Wegen unvermeidlicher Dickenschwankungen sowie klimaabhängigen Trocknungsgeschwindigkeiten kann dazu kein fester Zeitraum vorgegeben werden. Die Durchtrocknung kann z.B. an einer Referenzprobe (z.B. ein in der Baugrube gelagerter Mauerstein) durch Schnittprüfungen festgestellt werden. Auch sind solche Prüfungen an der Stirnfläche von Bodenplatten unterhalb der Kante möglich, die für die Überlappung des Übergangs notwendig ist.

Die durchgetrocknete Schicht ist grundsätzlich durch eine Schutzschicht gegen mechanische Beschädigung zu schützen. Diese kann z.B. aus den Dämmplatten einer Perimeterdämmung bestehen. Bei strukturierten Schutzlagen, z.B. Noppenbahnen, erhöht sich die Flächendruckspannung, da der Erddruck nicht über die Gesamtfläche, sondern nur über den anliegenden Teil auf die Abdichtung übertragen wird – das Beschädigungsrisiko steigt, solange nicht zwischen solchen Bahnen und der Abdichtung eine drucklastverteilende Schutzschicht angeordnet wird, z.B. ein ausreichend dickes Vlies. Dieses trägt zudem dazu bei, dass durch die Verdichtung der Arbeitsraumauffüllung die möglicherweise nach unten geschobene Schutzlage die Abdichtung nicht beschädigt.

6.6 Abdichtung von Außenbauteilen mit Bahnen

Wenn die Wartezeiten bis zur Durchtrocknung von PMBC oder die Frost- und Niederschlagsempfindlichkeit des frisch verarbeiteten Materials den geplanten Bauablauf verzögern könnten, sind bahnenförmige Abdichtungen auch bei der geringen Wassereinwirkungsklasse W1-E sinnvoll. DIN 18533 [7 bis 9] führt dazu auch Kaltselbstklebebahnen auf.

Bahnen sind wegen der industriellen Produktion gleichmäßig dick. Sie haben aber den Nachteil, dass bei der Verarbeitung Fehlstellen an Nähten, Durchdringungen und an den Anschlüssen an andere Bauteile entstehen können, die von außen nicht immer bemerkbar sind. Daher ist eine sorgfältige Ausführung an allen Stellen erforderlich. An Übergängen auf wasserundurchlässige Betonbauteile schließt die Abdichtungsnorm adhäsive Verbindungen aus. Sie fordert hier Klemmkonstruktionen.

6.6.1 Bodenflächen in Wassereinwirkungsklasse W1-E

Wenn der Baugrund stark wasserdurchlässig ist und die Gründung oberhalb des Bemessungswasserstandes liegt, wirkt auf die Unterseite der Bodenplatte ausschließlich Bodenfeuchte als Kapillarwasser ein.

In Raumnutzungsklasse RN1-E kann auf eine Abdichtung ganz verzichtet werden, wenn unterhalb der Bodenplatte als kapillarbrechende Maßnahme eine Schüttung aus kapillarbrechenden Stoffen, z.B. Sand ohne Schluffanteile, Kies oder Schotter, der Dicke von 15 cm angeordnet wird. Allerdings wird in den meisten Fällen bereits der Beton der Bodenplatte Wasser nicht kapillar leiten und ist technisch mindestens gleichwertig zu einer Schüttung unterhalb der Platte.

Unter der Annahme, dass der Beton der Bodenplatte kapillar aktiv ist, kann in Raumnutzungsklasse RN2-E auf ihr eine Abdichtung verlegt werden. In Wassereinwirkungsklasse W1.1-E können auch Estrichbahnen (EB) verlegt werden, wozu normativ Polymerbitumenbahnen mit Aluminiumverbundträgereinlage der Dicke von 0,9 mm gefordert werden. Aus Zuverlässigkeitsüberlegungen sind diese Bahnen in Wassereinwirkungsklasse W1.2-E nicht zugelassen. Allerdings wird dabei unterstellt, dass Dränanlagen doch nicht so zuverlässig funktionieren wie angenommen. Unterstellt man aber die dauerhafte Funktionstüchtigkeit, liegt an der Oberseite der Bodenplatte die gleiche Einwirkung wie bei Klasse W1.1-E vor.

6.6.2 Sonderfall Bodenflächen in Wassereinwirkungsklasse W2-E, schwach durchlässiger Baugrund oberhalb des Bemessungswasserstandes

Wassereinwirkungsklasse W2-E beschreibt die Druckwassereinwirkung an die Außenseiten von erdberührten Wand- und Bodenflächen. Dabei wird scheinbar nicht nach diesen Flächen differenziert.

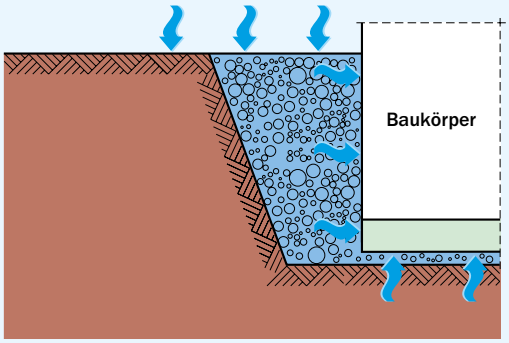
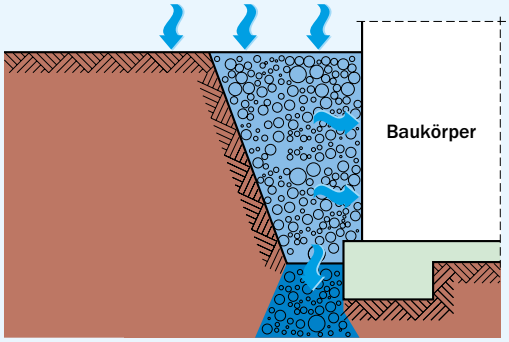
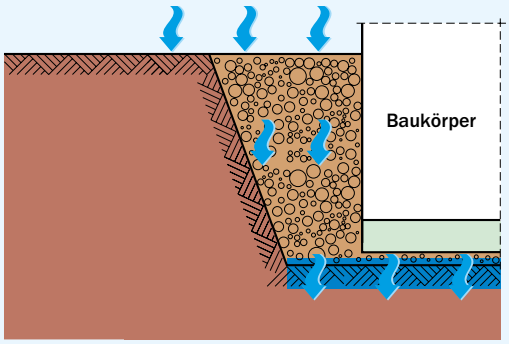
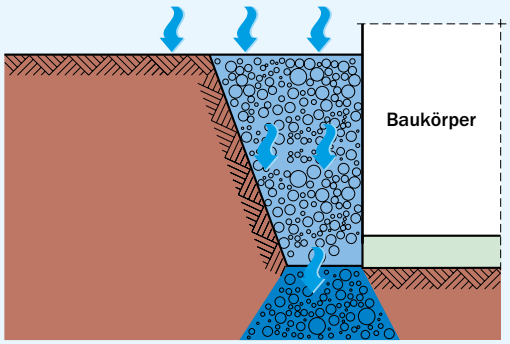
DIN 18533 [7 bis 9] hat sich vom Grundgedanken verabschiedet, den Abdichtungsaufwand nach der Entstehungsart, also der Herkunft der Wassereinwirkung, zu differenzieren. Unter den Gesichtspunkten der Anforderung an eine Abdichtung ist das nachvollziehbar. Denn für diese ist der Ursprung nicht von Bedeutung. Wenn flüssiges Wasser an der Abdichtung ansteht, ist es nicht entscheidend, ob dies Stauwasser oder Schichten- bzw. Grundwasser ist.

Dennoch verbleibt auch im System der neuen Norm ein wesentlicher Unterschied. Durch Dränanlagen darf ausschließlich drückendes Sickerwasser, nicht aber Schichtenwasser und Grundwasser, zu nicht drückendem Sickerwasser und Bodenfeuchte reduziert werden. Wie bereits ausgeführt, sind Maßnahmen zur Vermeidung unnötig hoher Einwirkungen zu ergreifen, so dass für den Regelfall an Dränanlagen auch in gering durchlässigem Baugrund kein Druckwasser ansteht. Die sich daraus ergebenden Einwirkungen an erdberührte Wandflächen und die Unterseiten von Bodenplatten sind in Tafel 4 dargestellt.

Selbstverständlich ist an Flächen mit Druckwassereinwirkung eine geeignete Abdichtung notwendig. An Flächen, an denen lediglich Bodenfeuchte und damit nur eine kapillare Wassereinwirkung vorliegt, ist das jedoch nicht so. Das bedeutet nicht, dass nicht auch diese Flächen abgedichtet werden können. Sie müssen aber unter bestimmten Voraussetzungen nicht gleichartig wie die erdberührten Wände geschützt werden.

Die Entscheidung, an welcher Fläche welche Wassereinwirkung vorliegt, ist eine verantwortungsvolle Aufgabe der Planung und unter der Berücksichtigung möglicher handwerklicher Unvollkommenheiten und der Tatsache zu treffen, dass die Bauteile nach Fertigstellung des Gebäudes und während der Nutzung in der Regel nicht mehr zugänglich sind.

Tafel 4 Einwirkungen an erdberührte Wandflächen und die Unterseiten von Bodenplatten

Bauliche Situation	Beschreibung
	Stauwasser führt zu Druckwasser unter der Bodenplatte
	wenn hydraulische Verbindungen von den Bereichen vor den Wänden zu den Bereichen unter den Bodenplatten bestehen und die geringe Menge des Sickerwassers sich auf einem sehr gering durchlässigen Baugrund staut. Auch bei partiell in durchlässiges Material gebettete Grundleitungen kann sich diese Situation um die Leitungen und an Durchdringungen durch Bodenplatten einstellen!
	Stauwasser führt nicht zu Druckwasser unter der Bodenplatte
	wenn keine hydraulischen Verbindungen von den Bereichen vor den Wänden zu den Bereichen unter Bodenplatten bestehen.
	oder wenn das Sickerwasser unter der Bodenplatte versickert (gleichsam einer Rigole). Die Formstabilität des Untergrunds darf durch die Wassereinwirkung nicht beeinträchtigt werden!
	oder wenn sich keine wasserquerleitenden Schichten unter der Bodenplatte befinden.

Tafel 5 Übliche Abdichtungsbauarten an erdberührten Außenwänden mit flüssig zu verarbeitenden Abdichtungsstoffen

Abdichtungsbauart	Wassereinwirkungsklasse	Raumnutzungsklasse	Rissklasse
PMBC (KMB)	W1-E, 2.1-E, W4-E	RN1-E bis RN3-E	R1-E bis R3-E
MDS (rissüberbrückend)	W1-E, W4-E	RN1-E, RN2-E	R1-E
FLK	W4-E	RN1-E bis RN3-E	R1-E bis R3-E

KMB: Kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtung
MDS: Mineralische Dichtungsschlämme
FLK: Flüssig zu verarbeitende Kunststoffabdichtung

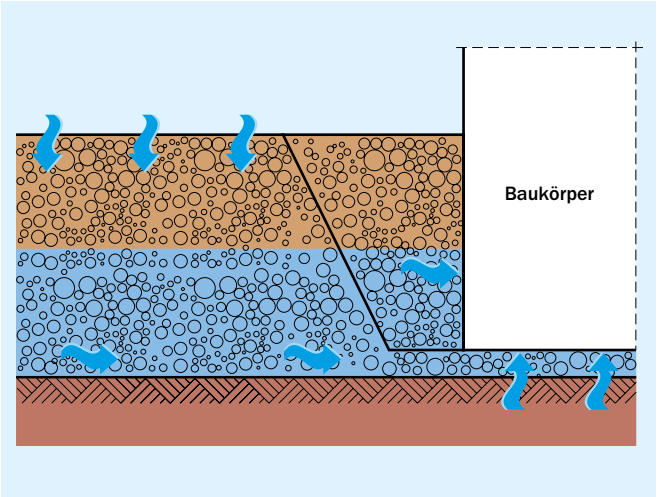


Bild 7 Drückendes Wasser unter der Bodenplatte

Andererseits soll eine zu hohe Anforderung, die in konkreten Fällen nicht realistisch ist, nicht dazu führen, dass Gebäude mit sehr hohem Aufwand nachträglich gegen Druckwasser geschützt werden müssen, wo dies nicht erforderlich ist [27].

Eine Zusammenfassung, welche flüssig zu verarbeitenden Abdichtungsstoffe bei welchen Kombinationen von Wassereinwirkungs-, Raumnutzungs- und Rissklasse eingesetzt werden können zeigt Tafel 5. Die Anwendungsbereiche bahnenförmiger Abdichtungsstoffe werden in Tafel 6 zusammenfassend dargestellt.

6.7 Grundleitungen unter Bodenplatten

In Bild 7 sind die Bedingungen dargestellt, unter denen unter Bodenplatten Druckwasser aus Sickerwasser entstehen kann.

Neben dem Risiko von partieller Druckwassereinwirkung schon durch kleine Sickerwassermengen entlang von in durchlässigem Material gebetteten Grundleitungen besteht darüber hinaus die Gefahr von Druckwasser bei Fehlstellen insbesondere bei Grundleitungen, die Niederschlagswasser von Dächern ableiten, aber auch bei Rückstau aus dem Kanalnetz. Daher sollten Sammelleitungen innerhalb von Untergeschossen und durch deren Außenwände geführt werden.

Die Gefahr von Schäden an in Erdreich verlegten Abwasserleitungen ist durch die Verdichtung des umgebenden Erdreichs auch bei richtiger Bettung größer als bei der Verlegung in Innenräumen. Wenn Leitungen unter Bodenplatten beschädigt wurden, sind sie für Instandsetzungen nur unter hohem Aufwand mit Durchbrechen der Bodenplatte und ggf. erforderlichem Teilabbruch von darauf stehenden Wänden zugänglich.

Grundleitungen sollten daher nicht nur bei gering durchlässigem Baugrund oberhalb des Bemessungswasserstandes, sondern grundsätzlich auf ein unvermeidbares Mindestmaß beschränkt werden, z.B. als Verbindung untergeschossiger Bodenabläufe in Pumpensümpfe.

Tafel 6 Übliche Abdichtungsbauarten mit bahnenförmigen Abdichtungsstoffen

Anwendungsbereich	Abdichtungsbauart mit	Wassereinwirkungsklasse	Raumnutzungsklasse	Rissklasse
Erdberührte Wände, Wandsockel	Bitumen- und Polymerbitumenbahnen	W1.1-E, W1.2-E, W4-E	RN1-E bis RN3-E	R1-E bis R4-E
		W2.1-E, W4-E		
		W2.2-E, W4-E		
	Kunststoff- und Elastomerbahnen	W1.1-E, W1.2-E, W4-E		
		W2.1-E, W4-E		
		W2.2-E, W4-E		
In und unter seitlich druckbelasteten Wänden	Bitumen- und Polymerbitumenbahnen	W4-E		
	Kunststoff- und Elastomerbahnen			
In und unter seitlich nicht druckbelasteten Wänden	Bitumen- und Polymerbitumenbahnen			
	Kunststoff- und Elastomerbahnen			

6.8 Detailausbildung

6.8.1 Übergänge von Abdichtungen auf WU-Betonkonstruktionen

Bei geringer Wassereinwirkung der Klasse W1-E genügt es, die Abdichtungsschicht aus PMBC an der Stirnfläche der Bodenplatte um 10 cm nach unten zu führen (Bild 8). Dabei muss die Abdichtungsschicht durchgehend dicht sei. Die zuvor genannten Hinweise zu vorstehenden Kanten und zu Kehlen sind zu beachten. In dieser Klasse ist es nach normativer Festlegung nicht zwingend erforderlich, Maßnahmen gegen die Unterläufigkeit der Abdichtung zu ergreifen. Aus Zuverlässigkeitsüberlegungen sind aber auch bei der geringen Wassereinwirkungsklasse die im Folgenden erläuterten Maßnahmen zu empfehlen, die bei der Wassereinwirkungsklasse W2-E erforderlich sind.

Seit Jahrzehnten werden PMBC auf Wandflächen an die Stirnflächen von Bodenplatten angeschlossen und haben sich in der Praxis bewährt. Adhäsive Übergänge sind hier grundsätzlich im Vorteil, da diese besser Ungleichmäßigkeiten des Untergrunds als Klemmkonstruktionen mit langen und ebenen Stahlschienen ausgleichen können. Die Dichtheit gegen Druckwasser ist bei Systemen, bei denen die Klebemassen schon die Abdichtung bilden, gut und zuverlässig herstellbar.

Für den festen Verbund zwischen Abdichtung und Beton, den Druckwasser nicht unterlaufen kann, ist der Untergrund mechanisch abtragend vorzubehandeln, etwa durch Schleifen, Strahlen oder Fräsen. Der Untergrund muss ausreichend trocken sein und in Abhängigkeit zu den Herstellerangaben ein Voranstrich oder eine Grundierung erhalten. Die Abdichtungsnorm lässt eine Vorbehandlung des Untergrunds mit einer mineralischen Dichtschlämme nur in Wassereinwirkungsklasse W1-E zu, nicht aber in W2-E, weil unterstellt wird, dass bei eventuellen Rissen in der Bodenplatte die MDS bricht und durch Brüche Wasser sickern kann. Deswegen soll die flüssig zu verarbeitende Abdichtung unmittelbar auf dem Beton aufgetragen werden. Praktisch spricht aber nichts gegen eine Untergrundvorbehandlung mit einer mineralischen Dichtungsschlämme, wenn der Untergrund nach dem Auftragen rissfrei bleibt oder vorhandene Risse sich dann nur sehr wenig aufweiten. Anschließend ist die Abdichtung in durchgehender Schicht mindestens 15 cm an der Stirnfläche der Bodenplatte nach unten zu führen. Dieser Aufwand ist zwar hoch, aber angesichts der Tatsache zu rechtfertigen, dass die Stellen entweder nicht oder nur mit hohem Aufwand für eine Instandhaltung zugänglich sind.

DIN 18533 [7 bis 9] sieht den Übergang ausschließlich an der senkrechten Stirnfläche der Bodenplatte vor. Unter technischen Aspekten gibt es aber keinen Grund, eine nicht unterläufige, fest anhaftende PMBC auch an anderen Betonoberflächen gleichartig anzuschließen. Es gibt also keine technische Notwendigkeit, an z.B. weit vorstehenden Bodenplatten die Abdichtung über weite Strecken nach außen zu führen, nur um sie dann an der senkrechten Fläche anzuschließen. Haftet die Abdichtung an der Oberfläche fest an und ist nicht hinterläufig, spielt es keine Rolle, ob der Übergang senkrecht oder waagerecht liegt. Genauso kann der Übergang an einer höher liegenden Stelle sein, wenn z.B. aus Zuverlässigkeitsgründen im Druckwasser der untere Teil von Außenwänden aus wasserundurchlässiger Betonkonstruktion erstellt wird und nur darüber liegende Teile aus z.B. Kostengründen gemauert werden. Dieser Fall ist normativ nicht vorgesehen, selbstverständlich ist aber auch hier ein Übergang im Bereich der Wand möglich (Bilder 8 und 9).

Grundsätzlich könnten auch Bitumenbahnen adhäsiv ohne Klemmkonstruktion angeschlossen werden. Die dauerhafte Anhaftung hat sich bei Bitumenverbundabdichtung an Dächern in der Praxis bewährt. Bitumenbahnen können zwar in der Fläche zuverlässig und dauerhaft dicht sein, stellen aber an den Anschlüssen deutlich höhere Anforderungen an den Verarbeiter. Diese können Übergänge auf Beton praktisch nicht auf Dichtheit prüfen. Wegen der eingeschränkten Zuverlässigkeit aufgrund der senkrechten Anordnung und schwierigen Verarbeitungsbedingungen im Arbeitsraum geht die Norm von einer nur eingeschränkten Dauerhaftigkeit aus und schließt deswegen adhäsive Übergänge aus. Der Übergang von Bitumenbahnen

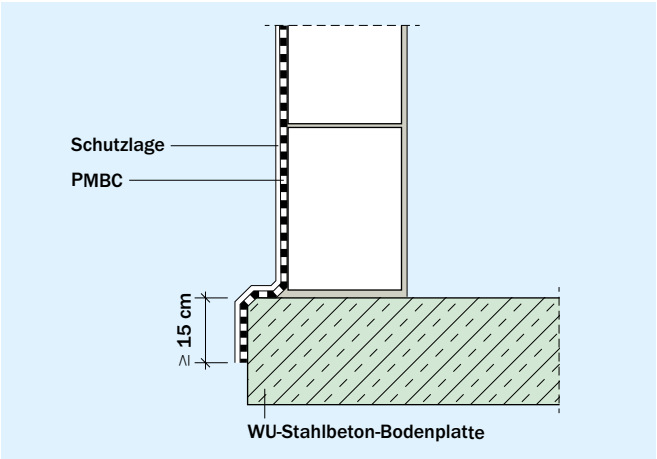


Bild 8 Adhäsiver Übergang einer Abdichtung aus PMBC auf die Stirnfläche einer Betonbodenplatte. Der Untergrund ist mechanisch abtragend vorzubehandeln. Er muss ausreichend trocken und nach Systemerfordernis grundiert worden sein. Vor der Verfüllung des Arbeitsraums muss das System durchgetrocknet sein.

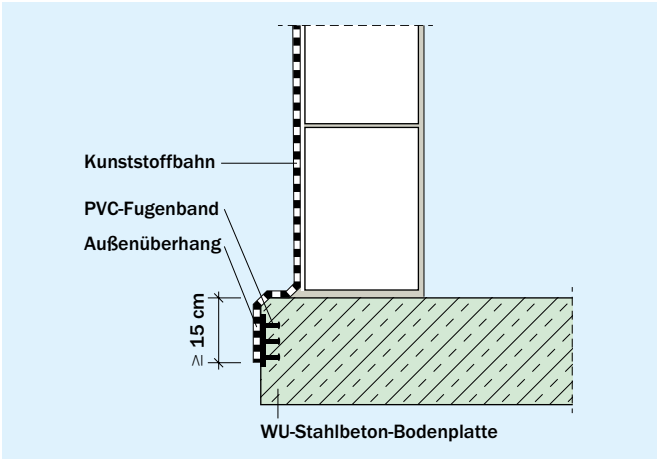


Bild 9 Übergang einer Abdichtung aus Kunststoffbahnen auf die Stirnfläche einer Betonbodenplatte mit Einbauteilen, z.B. mit in die Bodenplatte einbetonierten, außenliegenden und mit der Abdichtung kompatiblen Fugenbändern.

auf wasserundurchlässige Betonkonstruktionen ist bei Druckwassereinwirkung ab Klasse W2-E nur mit Klemmkonstruktionen oder, insbesondere bei Kunststoffbahnen, mit Einbauteilen möglich.

Bei Klemmkonstruktionen sind Bahnen in einer ausreichenden Dicke mit Stahlschienen der Dicke von 6 mm und einer Höhe von ca. 6 cm mit Maschinenschrauben im Durchmesser von z.B. M 12 in Abständen zwischen 7,5 und 15 cm so fest einzupressen, dass alleine der Anklemmdruck die Dichtheit des Rands und die notwendige Nichthinterläufigkeit sicherstellt. Allerdings verbleibt die Gefahr, dass z.B. an Unebenheiten durch z.B. Schalplattenstöße oder Entmischungen im Beton der Anschluss unterläufig bleibt.

6.8.2 Sockelabdichtungen

Der obere Rand von Abdichtungen erdberührter Wände ist in Klasse W4-E geregelt. Am einfachsten ist es, die Abdichtung hinter einer Bekleidung von außen nicht sichtbar aufzukanten. Das ist auf der Außenseite von z.B. Kalksandstein-Mauerwerk, das außenseitig zum Wärmeschutz durch Perimeterdämmplatten eines Wärmedämm-Verbundsystems bekleidet wird, möglich. Auch kann die Abdichtung hinter einer Verblendschale an der Außenseite der hinteren Wandschale hoch geführt werden.

Die Sockelzone umfasst nicht nur den Bereich unmittelbar oberhalb der Geländeoberkante, sondern auch einen 20 cm breiten Streifen darunter, damit Bauarten in der Sockelzone an darunter fortführende Abdichtungen angeschlossen werden können. Das ist notwendig, weil in der Sockelzone auch Stoffe zulässig sind, z.B. faserverstärkte, flüssig zu verarbeitende Kunststoffabdichtung (FLK), die nicht für darunterliegende Wandbereiche normiert sind.

Grundsätzlich sieht die Norm die Verarbeitung von Abdichtungsschichten auf festen und damit mineralischen Untergründen vor, lässt aber die Verarbeitung auf Dämmstoffen zu, die z.B. an Stirnflächen von Decken anbetoniert sind. Dennoch kann unter Berücksichtigung besonderer Maßnahmen die Sockelabdichtung, außerhalb der normativen Festlegung, auch auf nicht massiven Untergründen ausgeführt werden [28].

Bei zweischaligem Mauerwerk mit Verblendern aus Kalksandstein sollte allerdings in Bereichen, in denen mit Tausalzeinwirkung zu rechnen ist, z.B. an Gehwegen, die Abdichtung nicht nur unterhalb oder nur bis auf Höhe des Geländes geführt werden, sondern die Spritzwasserzone des Verblendmauerwerks durch eine Abdichtung zur Vermeidung von Gefügeschäden durch Salze geschützt werden. Diese kann entweder bekleidet werden oder bei geeigneten Abdichtungen z.B. aus mineralischen Dichtschlämmen verputzt werden (Bilder 10 und 11).

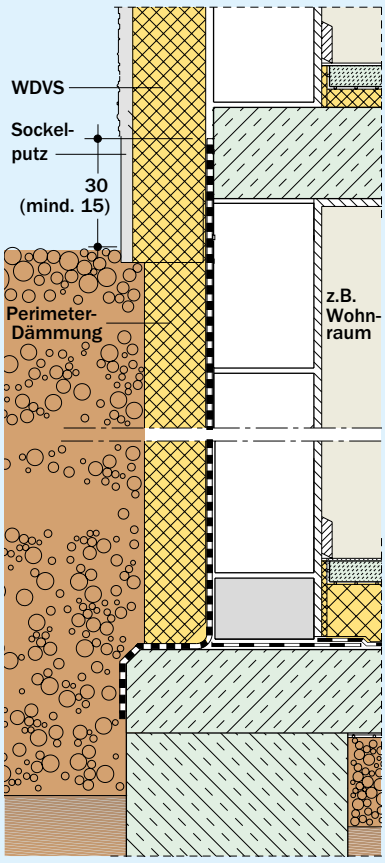


Bild 10 Beispiel für Fußpunktausbildung bei KS-Mauerwerk mit WDVS

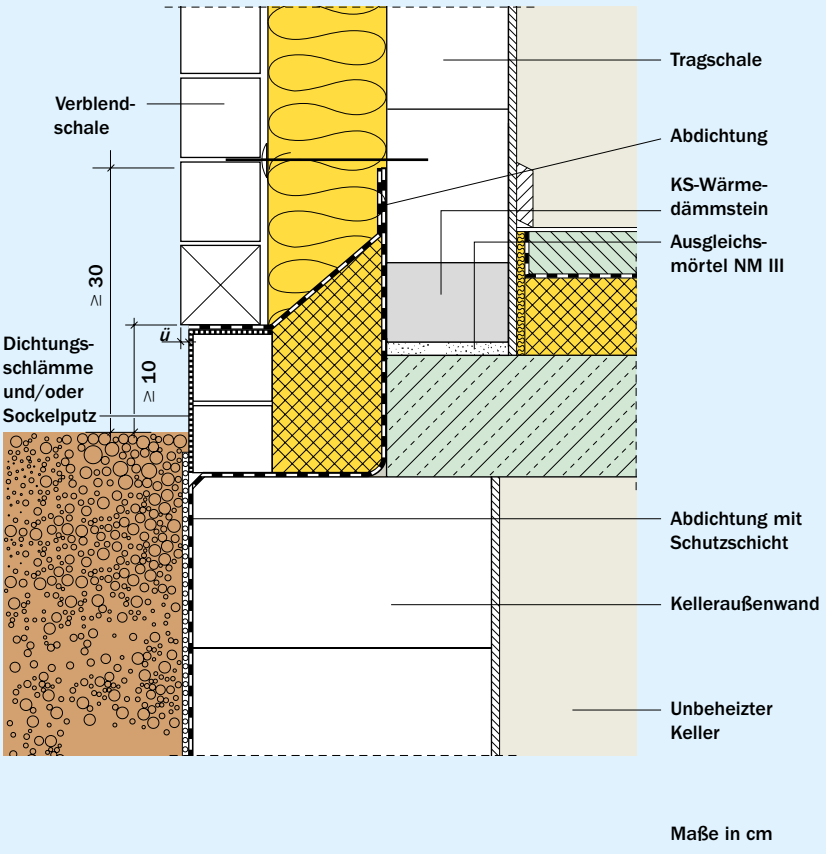
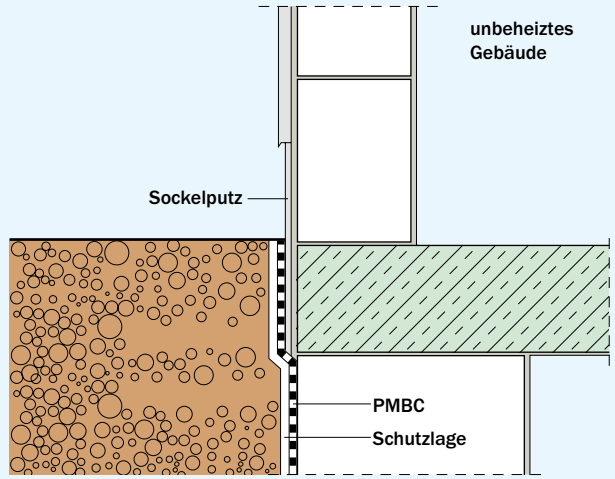
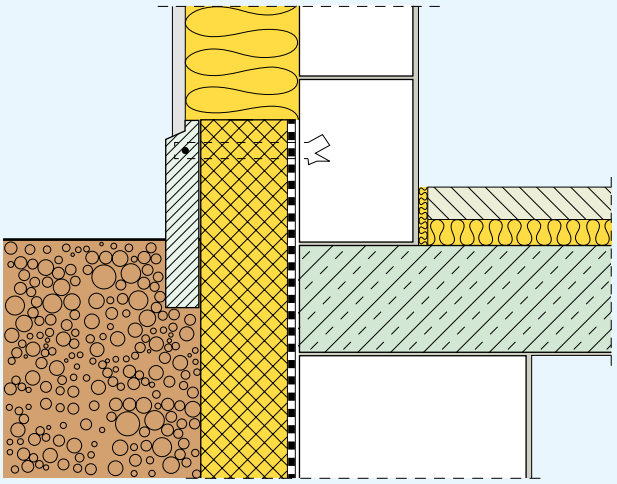
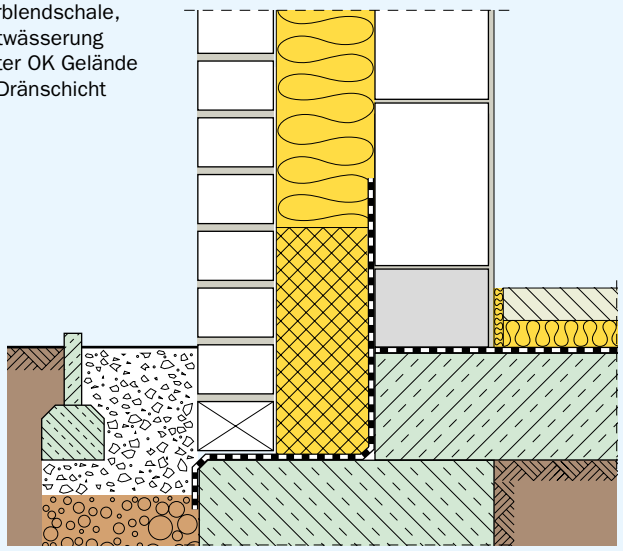
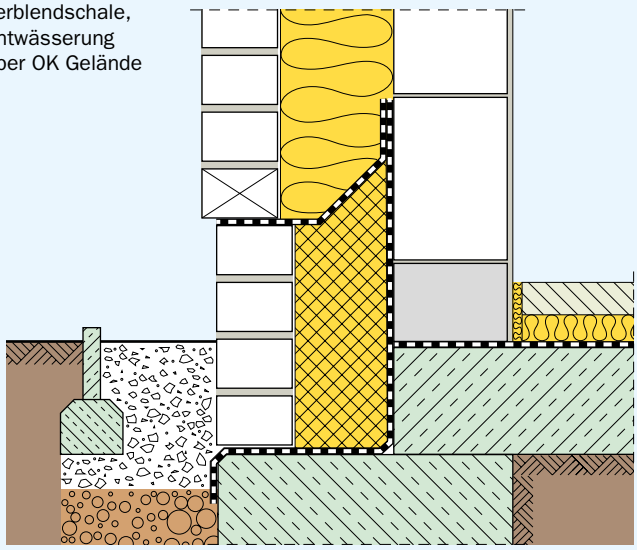
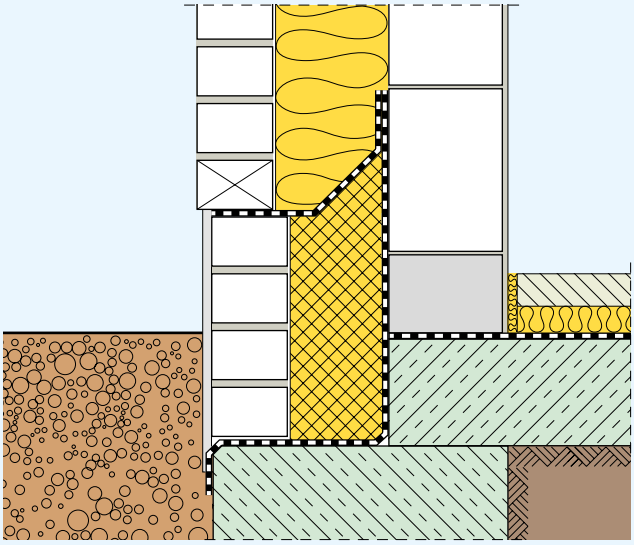
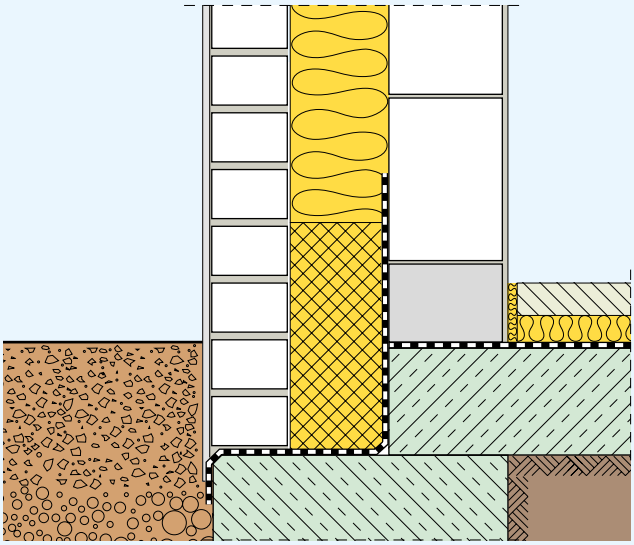


Bild 11 Beispiel für Fußpunktausbildung bei zweischaligem Mauerwerk

Tafel 7 Konstruktive Lösungen zur Ausführung von Fußpunktdetails gemäß Klasse W4-E

Bauliche Situation	Beschreibung
Abdichtung außen 	**Einschalige KS-Außenwände (unbeheiztes Gebäude):** In der Sockelzone wird eine mineralische Dichtungsschlämme angeordnet, auf die überlappend bis zur Oberkante des Geländes die flüssig zu verarbeitende Abdichtung der darunterliegenden Wand geführt wird.
Abdichtung hinter Sockelbekleidung (z.B. Naturstein) 	**KS-Außenwand mit WDVS:** Bei Wärmedämm-Verbundsystemen kann die Abdichtung hinter einer Perimeterdämmung hochgeführt werden. Neben den üblichen Sockelausbildungen mit Perimeterdämmplatten sind auch Bekleidungen aus z.B. Werksteinen möglich, deren Traganker durch die Abdichtung hindurch mit dem tragenden Mauerwerk verbunden werden.
Verblendschale, Entwässerung unter OK Gelände in Dränschicht 	**Zweischalige KS-Außenwand, Entwässerung unter Geländeoberkante:** Bei dieser Ausführungsvariante, muss Druckwassereinwirkung vermieden werden. Der Bereich vor dem Verblendmauerwerk muss stark durchlässig sein und so gestaltet werden, dass sich kein Wasser stauen kann. Sonst können Ausblühungen an der Verblendschale in der Sockelzone und, bei fehlender Dichtheit der Abdichtung gegen Druckwasser, Feuchtigkeitsschäden im Innenbereich die Folge sein. Darüber hinaus ist ein Kiesbett (möglichst mit gewaschenem Grobkies) erforderlich, um Verschmutzungen des Sockelbereichs infolge Schlagregen zu verhindern bzw. zu minimieren.

Tafel 7 **Konstruktive Lösungen zur Ausführung von Fußpunktdetails gemäß Klasse W4-E** *Fortsetzung*

Bauliche Situation	Beschreibung
Verblendschale, Entwässerung über OK Gelände 	**Zweischalige KS-Außenwand, Entwässerung über Geländeoberkante:** Bei dieser Ausführungsvariante sollte Druckwassereinwirkung ebenfalls vermieden werden. Der Bereich vor dem Verblendmauerwerk muss stark durchlässig sein und so gestaltet werden, dass sich kein Wasser stauen kann. Darüber hinaus ist ein Kiesbett (möglichst mit gewaschenem Grobkies) erforderlich, um Verschmutzungen des Sockelbereichs infolge Schlagregen zu verhindern bzw. zu minimieren.
	**Zweischalige KS-Außenwand, Entwässerung über Geländeoberkante, Sockelbereich abgedichtet:** Zusätzlich zur Abdichtungsebene auf dem Hintermauerwerk ist der Sockelbereich des Verblendmauerwerks verputzt und/oder mit einer mineralischen Dichtungsschlämme versehen. Diese Ausführung ist bei KS-Verblendmauerwerk zu empfehlen, wenn das Gelände oder z.B. ein Pflasterbelag direkt bis an die Außenwand reicht, um dieses im Sockelbereich vor Verschmutzung sowie einer etwaigen Einwirkung von Streusalz zu schützen. Die senkrechte Abdichtung zum Schutz der unteren Steinreihen sollte die Fußpunktabdichtung unterfahren und mit dieser schubfest verklebt werden, um eine Wassersackbildung am unteren Wandende zu vermeiden.
	**Zweischalige KS-Außenwand, verputzt, ohne Entwässerung:** Bei zweischaligen KS-Außenwänden mit verputzten Verblendschalen sollte grundsätzlich auf eine Entwässerung verzichtet werden. Durch einen Sockelputz oder eine zusätzliche MDS im Bereich des Sockels kann dieser vor Verschmutzung sowie einer etwaigen Einwirkung von Streusalz geschützt werden. Der Putz in der Sockelzone unter der Geländeoberkante sollte ausreichend wasserabweisend sein, um darüber liegende Ausblühungen aufgrund kapillar transportiertem Wasser zu vermeiden. Ebenso ist der Übergang auf das Fundament so auszubilden, dass keine Feuchtigkeit in die Putzebene eindringen kann.

INFO

Der obere Abdichtungsrand der Sockelzone soll 30 cm oberhalb des Geländes geplant werden und im Endzustand, also nach Fertigstellung der Außenanlagen, eine Aufkantungshöhe von 15 cm einhalten.

Oberhalb des Geländes darf die Abdichtung aber entfallen, wenn in der Sockelzone ausreichend wasserabweisende Bauteile verwendet werden und wenn die Abdichtung am oberen Rand nicht hinterlaufen werden kann. Diese normative Formulierung ist vergleichsweise offen, sie stellt auf die dauerhafte Gebrauchstauglichkeit von Anschlüssen ab, die nicht über die Geländeoberkante aufgekantet werden können oder z.B. aus optischen Gründen sollen.

Für niveaugleiche Türschwellen enthalten die Abdichtungsnormen eine Reihe von Empfehlungen, um Feuchtigkeitsschäden in Innenräumen zu verhindern, ohne aber Details abschließend zu regeln. Deswegen werden niveaugleiche Anschlüsse als Sonderkonstruktion bezeichnet. Dieser Begriff impliziert nicht ein erhöhtes Risiko, sondern weist nur auf die eingeschränkte Regelungstiefe der Norm hin.

Wenn der Feuchtigkeitsschutz an niveaugleichen Türschwellen dauerhaft sichergestellt werden kann, gibt es keinen vernünftigen Grund, neben Türen die Aufkantungshöhe der Abdichtung von 15 cm zu fordern, wenn dort vergleichbare Maßnahmen ebenfalls den Feuchtigkeitsschutz dauerhaft sicherstellen. Die Gefahr von Schäden ist zudem geringer, da z.B. Festverglasungen keine bewegliche Fuge zwischen Türrahmen und Schwellenprofil aufweisen. Plakativ ausgedrückt: Wer will schon an bodentiefen Gläsern eine Abdichtung 15 cm hochführen? Die Abdichtungsnorm verbietet niveaugleiche Anschlüsse der Abdichtung nicht, sondern weist nur darauf hin, dass auf die Detailplanung solcher Anschlüsse besonderes Augenmerk zu legen ist.

Die Abdichtungsnorm regelt nicht Fußpunktabdichtungen von zweischaligem Mauerwerk, sondern nur die Abdichtung zum Bauwerks- und Bauteilschutz, also die Abdichtung, die das Bauwerk gegen von außen einwirkende Feuchtigkeit schützt. Die heutige gebräuchliche Abdichtungsbauart mit PMBC ist als Querschnittsabdichtung unter bzw. in lastableitenden Mauerwerkswänden nicht zulässig, kann aber unter bzw. in Verblendmauerwerksschalen eingesetzt werden, die nur sich selbst tragen. Damit werden Risiken durch Wechsel von Abdichtungsbauarten vermieden. Die Abdichtung der erdberührten Außenwand darf auch unter der Verblendmauerwerksschale hindurchgeführt und an der Außenseite der inneren Wandschale aufgekantet werden. Fußpunktdetails in verschiedenen Ausführungsvarianten sind in Tafel 7 dargestellt.

6.8.3 Querschnittsabdichtungen

Bei erdberührten, gemauerten Außenwänden dürfen nach DIN EN 1996-1-1/NA [29] die für die Querschnittsabdichtung besandete Bitumendachbahnen (z.B. R 500 nach DIN EN 13969 [30] in Verbindung mit DIN SPEC 20000-202 [20]) oder mineralische Dichtungsschlämme nach DIN 18533-3 [9] ohne weiteren Nachweis verwendet werden.

INFO

Als Querschnittsabdichtung bei Kalksandstein-Mauerwerk kann eine besandete Bitumendachbahn (z.B. R 500) verwendet werden.

Seitlicher Erddruck kann im ungünstigsten Fall Wandfußpunkte versetzen. Bei über lange Strecken nicht z.B. durch Innenwände ausgesteifte erdberührte Außenwände in Kombination mit geringen senkrechten Lasten z.B. bei eingeschossigen Leichtkonstruktionen kann der seitliche Erddruck Wandfußpunkte verschieben, wenn Querschnittsabdichtungen nicht querkraftübertragend sind.

Grundsätzlich ist die Höhenlage der Querschnittsabdichtung (unter oder auf der ersten Steinreihe) nicht normativ festgelegt. Unter der Annahme, dass die Unterseiten von Wänden durch Kapillarwasser beansprucht werden, soll durch Mauerquerschnittsabdichtungen aufsteigende Feuchtigkeit verhindert werden. Die äußere Wandabdichtung sowie, falls vorhanden, die Fußbodenabdichtung sollen an die Querschnittsabdichtung herangeführt werden. Ziel ist dabei, kapillaraktive Feuchtigkeitsbrücken zu verhindern. Mauerquerschnittsabdichtungen müssen also nicht mit angrenzenden Abdichtungen überlappend verklebt werden, da dies für die Unterbrechung des Kapillartransports nicht erforderlich ist.

Mauerquerschnittsabdichtungen können dazu beitragen, Durchfeuchtungen von Wänden in den unteren Bereichen durch Niederschlagsereignisse während der Bauzeit auf die erste Steinreihe zu beschränken, wenn sie darüber angeordnet werden. Allerdings ist nach normativer Festlegung die gesamte Wand einschließlich der unteren Steinreihe zu schützen, so dass die Querschnittsabdichtung unmittelbar auf der Bodenplatte anzuordnen ist, solange der unter der Wand liegende Beton gegenüber Wasser kapillar aktiv ist. Der Schutz der unteren Steinreihe während der Bauzeit kann dann durch das Aufbringen einer mineralischen Dichtungsschlämme gemäß Bild 12 realisiert werden.

INFO

Das Aufbringen einer mineralischen Dichtungsschlämme zum Schutz der unteren Steinreihe ist zu empfehlen.

Bahnenförmige Querschnittsabdichtungen

Querschnittsabdichtungen dürfen keine Gleitschichten bilden. Vollflächig aufgeklebte Bahnen und solche mit werkseitig aufgebrachten Klebeschichten (Schweißbahnen und Kaltselbstklebebahnen) sind ungeeignet, weil die Klebeschicht eine Gleitebene bilden kann. Bewährt haben sich Bitumendachbahnen mit Rohfilzeinlage (R 500). Die alleinige Nennung der G 200 DD für diesen Anwendungszweck in VOB/C DIN 18336 [31] hat nur kalkulatorische Gründe. Diese Norm verfolgt nicht in erster Linie das Ziel, anerkannte Regel der Technik zu sein, sondern ist ein Teil eines Vertragswerks Preisrecht.

Seit Jahren werden Mauersperrbahnen als Querschnittsabdichtung verwendet, die hinsichtlich des Werkstoffes und der Bahnendicke erheblich von den genormten Bahnen abwei-

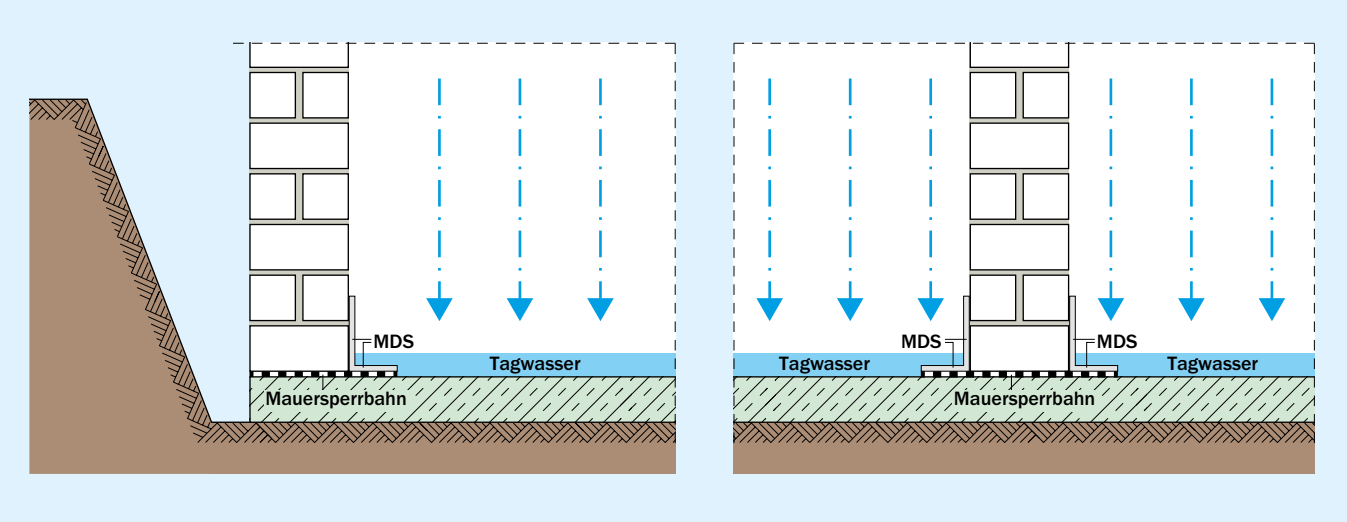


Bild 12 Schutz des Kellermauerwerks vor kapillar aufsteigender Feuchte im Bauzustand

chen. Die Prüfkriterien sind in den europäischen Stoffnormen DIN EN 14909 [32] und DIN EN 14967 [33] festgelegt. Die Anwendungsnorm DIN SPEC 20000-202 [20] stellt schärfere Anforderungen. Querschnittsabdichtungen müssen Dichtheit und Widerstand gegen Perforation über die gesamte Standzeit des Gebäudes gewährleisten. Außerdem ist die Machbarkeit eines dichten Anschlusses an die Flächenabdichtung von Boden und Wand ein entscheidendes Auswahlkriterium.

Die Auflagerfläche der Bahnen ist so abzugleichen, dass eine waagerechte Fläche ohne für Bahnen schädigende Unebenheiten entsteht. Die Bahnen dürfen nicht flächig auf Stoß verlegt werden. Die Lagen sollen sich mindestens 20 cm überdecken und können an den Überdeckungen verklebt werden.

Schlämmen als Querschnittsabdichtung

Ebenfalls seit Jahrzehnten als Querschnittsabdichtung verwendete und mittlerweile auch genormte flüssige Abdichtungsstoffe stellen u.a. mineralische Dichtungsschlämme (MDS) dar. Kunststoffmodifizierte, rissüberbrückende Dichtungsschlämme sind in der Lage, Rissweitenänderungen von 0,2 bis 0,4 m zu überbrücken, wobei bei allen Rissaufweitungen nur diejenigen zählen, die auf die Abdichtung einwirken und deswegen erst nach der Verarbeitung der Abdichtung entstehen. Die vorhandene Rissbreite bei der Verarbeitung spielt daher keine Rolle.

Querschnittsabdichtungen aus MDS haben die gleich hohe Querkraftübertragung wie Mauerwerkslagerfugen. Wie bei allen anderen flüssigen Abdichtungsstoffen ist ihre Wirksamkeit von der handwerklichen Ausführungssorgfalt abhängig.

Zur Reduzierung der Fehlstellengefahr sind ein mindestens zweilagiger Auftrag und eine Schichtdicke von mindestens 2 mm erforderlich. Jeweils unterschiedliche Farbgebungen der Abdichtungsschichten erleichtert die Kontrolle während der Ausführung. So fällt dem Verarbeiter sofort auf, wenn eine der Schichten nicht ausreichend dick ist oder zumindest Fehlstellen aufweist.

Detailausbildung

Soll die Querschnittsabdichtung an bahnenförmige Boden- bzw. Wandabdichtungen anschließen, kann die Abdichtung jeweils ca. 10 cm über die Wandoberfläche hinausragen, um den Abdichtungsrand überlappend mit den flächigen Bahnenabdichtungen zu verkleben. Das ist aber nicht zwingend erforderlich. Es genügen Maßnahmen, die eine kapillare Verbindung zwischen den Bauteilen unterhalb und oberhalb der Abdichtungsebene verhindern. Deswegen fordert die Norm alternativ zur Verklebung lediglich das Heranführen von Abdichtungen an die Querschnittsabdichtung.

Bei über der ersten Steinreihe angeordneten Bahnen sollte darauf geachtet werden, dass die Querschnittsabdichtung bis zur Außenoberfläche des Putzes reicht, da sonst im Bereich des Putzes Feuchtebrücken entstehen können.

Innenwände stehen meist auf durchbetonierten Bodenplatten und deren Querschnittsabdichtungen sind analog zu den Außenwänden auszuführen.

6.9 Dränmaßnahmen

Dränmaßnahmen müssen sehr zuverlässig sein, damit sie dauerhaft (das bedeutet über die Zeitdauer der Nutzbarkeit einer Abdichtung) Druckwasser durch Sickerwasser von den nicht gegen Druckwasser widerstehenden Bauteilen fernhalten.

Dränanlagen erdberührter Bauteile sollen nach DIN 4095 [22] aus Flächendränen vor den zu schützenden Wandflächen, aus in Filterpaketen verlegten Dränleitungen, die das in die Flächendränschichten sickernde Wasser sammeln, aus Kontrollvorrichtungen und einer Vorflut, die das anfallende Wasser ableitet, bestehen.

Vorflut

Bevor eine Dränung geplant wird, ist zunächst zu klären, ob eine Vorflut zur Verfügung steht. In den meisten Gemeinden ist es unzulässig, Dränwasser in das öffentliche Abwassersystem einzuleiten – obwohl es sich nur um verzögert abgegebenes Niederschlagswasser handelt, das auf den verfüllten Arbeitsraum niedergeht.

Da Dränanlagen nach normativer Festlegung ohnehin nur in Erwägung zu ziehen sind, wenn der Baugrund gering durchlässig ist, ist auch die Versickerung des Dränwassers vor Ort in der Regel nicht einfach möglich. Durch die unterirdischen Versickerungseinrichtungen kann wegen geringer Grundstücksgrößen häufig die normativ abzuleitende Wassermenge nicht versickert werden. Dann kann (unter Berücksichtigung der unrealistisch hohen anzunehmenden Wassermengen) im Dränsystem Wasser rückstauen und eine Wassereinwirkung erzeugen, die durch die Dränung vermieden werden sollte. Praktisch wird aber bei Beachtung der aufgezeigten Rahmenbedingungen nur sehr wenig oder überhaupt kein Wasser über Dränsysteme abgeleitet.

Regeldränungen sind einerseits überflüssig, andererseits sind keine Schäden durch Rückstau aus einer unterirdischen Versickerungseinrichtung (aus z.B. einem Sickerschacht oder einer Rigole) zu befürchten.

Dränungen scheiden wegen der Schwierigkeit bei der Vorflut in vielen Bausituationen bereits von vorneherein aus.

Flächendränungen unter Bodenplatten

DIN 4095 [22] gibt vor, dass Bodenplatten unterseitig durch Flächendränungen gegen Druckwasser geschützt werden sollen.

Allerdings kann unter Bodenplatten unter den Voraussetzungen, unter denen Dränanlagen errichtet werden dürfen, kein Druckwasser entstehen. Das könnte nur sein, wenn sich unter Bodenplatten Quellen befinden. Diese können sich bei geologischen Verwerfungen wasserführender, gut durchlässiger Schichten über geringdurchlässigen Schichten unter Bodenplatten bilden, die an der Bauwerkssohle angeschnitten werden. Da es sich aber dann nicht um Sickerwasser, sondern um Schichtenwasser handelt, darf dies nicht als Regelfall ohne behördliche Genehmigung durch Dränanlagen abgeleitet werden.

Auch kann bei undichten, niederschlagswasserführenden Grundleitungen unterhalb von Bodenplatten Druckwasser entstehen, das aber ebenfalls nicht regulär in Dränanlagen abgeleitet werden darf.

Tatsächlich leiten vorhandene Dränanlagen kein Stauwasser ab, sondern nur Druckwasser durch Schichtenwasser, das mit besonderen Ausnahmen, aber nicht (mehr) als Regelfall zu Bodenfeuchte und nicht drückendes Sickerwasser reduziert werden darf. Das gilt sowohl für die Wassereinwirkung an Wänden, als auch für Quellen (durch Schichtenwasser) unter Bodenplatten.

Selbstverständlich dürfen Dränanlagen nicht dazu genutzt werden, eventuelle Undichtheiten von Grundleitungen unter Gebäuden auszugleichen und dort austretendes Wasser aufzunehmen. Das gilt insbesondere für eventuell undichte Schmutzwassergrundleitungen, aber auch für Regenwasserleitungen, aus denen auch große Mengen Niederschlagswasser austreten können.

INFO

Flächendränungen unterhalb von Gebäuden sind daher für reguläre Fälle nicht erforderlich. Sie können nur ausnahmsweise in Sonderfällen Schichtenwasser ableiten.

Flächendränungen unter der Bodenplatte können regelmäßig entfallen, da im seitlichen Arbeitsraum möglicherweise aufstauendes Wasser nicht unter die Bodenplatte gelangen kann. Spätestens der (auf richtiger Höhe angeordnete) Ringdrän verhindert das. Wenn z.B. Streifenfundamente der Außenwände unmittelbar im anstehenden Boden gegründet werden, bleibt das Wasser vor den Fundamenten und kommt nicht unter das Gebäude.

Dränmaßnahmen vor Kelleraußenwänden müssen daher – entgegen der normativen Festlegung – nicht regelmäßig, sondern höchstens in Ausnahmefällen mit Dränmaßnahmen unter der Bodenplatte kombiniert werden.

Flächendränungen vor erdberührten Außenwänden

Dränschichten vor erdberührten Außenwänden sollen die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Sie sollen seitlich auf die Wand einwirkendes Wasser staufrei an den Fußpunkt ableiten.
- Sie sollen dauerhaft sickerfähig bleiben und sind deswegen so zu schützen, dass keine Bodenfeinteile die Hohlräume der Dränschicht zusetzen.
- Sie dürfen durch seitlichen Erddruck auch bei üblichen Verkehrslasten auf der Geländeoberfläche nicht so deformiert werden, dass sie nicht mehr gebrauchstauglich sind.
- Unnötig hohe Wassereinwirkungen sind zu vermeiden.

Zur Vermeidung unnötig hoher Wassereinwirkungen sollen Flächendränungen nicht bis zur Geländeoberfläche geführt werden, damit kein über die Geländeoberfläche fließendes Wasser in die Dränanlage gelangt. Die Erdabdeckung vor dem Gebäude über dem verfüllten Arbeitsraum soll mit einem Gefälle vom Gebäude weg angelegt und mit schwach durchlässigem Material oder einem Belag abgedeckt werden, um möglichst wenig Niederschlagswasser in den Boden abzuleiten.

Die an die Dränleitungen gelangende Wassermenge soll also gering gehalten werden. Dem stehen die üblichen Kiesstreifen an den Sockelzonen entgegen, durch die Niederschlagswasser von oben rasch in den Baugrund sickert und aus dem Kiesstreifen über den Flächendrän vor der Wand schnell bis zum Ringdrän abgeleitet wird. Wenn aber der Arbeitsraum mit einem geringdurchlässigen Material abgedeckt und mit einem Gefälle vom Gebäude weg angelegt wird, ist zwar die Wassereinwirkung in der Sockelzone geringfügig höher, die an die Bauwerksabdichtung gelangende Wassermenge aber erheblich geringer.

Grundsätzlich können als Dränschichten Schüttungen verwendet werden (z.B. Mischfilterschüttungen aus Kies-Sandmischungen ohne schluffige oder gar tonige Feinbestandteile). Die Abdichtungsnorm fordert allerdings Schutzschichten auf der dem Verarbeitungsuntergrund abgewandten Seite der Abdichtung. Bei der Verwendung von Schüttungen als Dränschicht sind daher unmittelbar vor der Abdichtung zunächst Schutzschichten aufzustellen, wozu z.B. Perimeterdämmplatten geeignet sind.

Wenn Dränschichten auch Schutzschichten für die Abdichtung der Kelleraußenwand sind und unmittelbar vor der Abdichtung angeordnet werden, müssen sie so beschaffen sein, dass sie die Abdichtung nicht beschädigen. Flächendräne vor Kellerwänden bestehen aus matten- oder plattenförmigen Bauteilen, ggf. aber auch aus Dränsteinen. Bei letzteren soll das Beschädigungsrisiko der Abdichtung durch eine Schutzlage, z.B. ein Vlies, gering gehalten werden. Häufig sind die Dränschichten selbst nicht filterfest, d.h. dass sich Erdbestandteile in die Dränschichten einmischen. Dann sind sie z.B. mit Geotextilbahnen abzudecken.

INFO

Bei Außenwänden aus Kalksandsteinen mit Wärmeschutzanforderungen sind Perimeterdämmschichten üblich, die die Aufgabe der Wärmedämmung, der Schutzschicht und – bei besonderer Profilierung mit außenseitige Vliesabdeckung – der Drän- und Filterschicht übernehmen.

Noppenbahnen können als Teil von Dränsystemen verwendet werden, wobei diese üblicherweise gebäudeseitig ein Gleitvlies erhalten, damit sich im Arbeitsraum setzendes Erdreich keine Kräfte über die Noppenbahn auf die Abdichtung ausüben, die diese beschädigen können. Auf der Seite zum Erdreich werden üblicherweise Filtervliese notwendig, um die Hohlräume zwischen den nach außen gerichteten Noppen dauerhaft frei und damit sickerfähig zu halten. Ohne diese beiden Beschichtungen durch Vliese sind Noppenbahnen als Flächendrän nicht und als Schutz- oder Trennlage nur wenig gut geeignet, da der seitliche Erddruck durch die strukturierte Bahn sich auf kleinere Flächen konzentriert und die Abdichtung leichter beschädigen kann als bei nicht strukturierten Trennlagen.

Dränleitungen

Das Ringdränrohr wird meist in Grobkies (z.B. 8/16) verlegt. Auch diese Kiespackung ist gegen den anstehenden Boden filterfest auszubilden. Dazu wird ein Filtervlies verwendet, das an die Filtervliesschichten der Flächendränung anschließt. Es ist falsch, das Dränrohr unmittelbar in Vliese einzuwickeln, da sich diese mit der Zeit zusetzen können. Dann kann das Dränwasser nicht mehr aus der Dränschicht in das Dränrohr gelangen.

Der Kies, der üblicherweise um Dränleitungen angeordnet wird, sollte stark durchlässig sein. Allerdings wird die Durchlässigkeit nur in senkrechter Sickerrichtung bestimmt, nicht in waagerechter. Sowohl auf Deckenflächen, als auch an den Gebäudegründungen kann Wasser nur durch den geringen vektoriellen Anteil der Erdanziehungskraft, das hydraulische Gefälle, strömen. Dem steht der Fließwiderstand aufgrund der Adhäsion von Wasser im Kies entgegen.

Um Stauwasser im Kies zu vermeiden, werden zur Verringerung des Fließwiderstandes Dränleitungen eingesetzt. Diese müssen nicht die Anforderungen an geschlossene Grundleitungen einhalten.

Um den Wasserzutritt aus dem Filterpaket zu ermöglichen, werden entweder allseitig oder zumindest in der oberen Hälfte gelochte Rohre verwendet.

Zur Vermeidung von Schmutzablagerungen von kleinen Mengen von unvermeidlich eingeschwemmten Feinbestandteilen auf den Sohlen der Dränrohre sollten größere Gegengefällestrecken vermieden werden. DIN 4095 [22] sieht ein Mindestgefälle von (nur) 0,5 % vor. Damit werden große Höhendifferenzen zwischen dem Hoch- und dem Tiefpunkt vermieden, was in der Regel zu unwirtschaftlich hohen Streifenfundamenten unter den Bodenplatten führte. Diese geringe Gefällegebung ist bei Stangenware einfacher sicherzustellen als bei für die landwirtschaftliche Dränung (oder Bewässerung) vorgesehener Rollenware mit Endlosdränschläuchen, die nicht mit einem kontinuierlichen Gefälle verlegt werden können.

Das Dränrohr kann seine Schutzfunktion nur erfüllen, wenn es tiefer als die gegen Druckwasser zu schützenden Bauteile liegt. Die Rohrsohle sollte am Hochpunkt mindestens 0,2 m unter der Bauteilhöhe liegen, die zu schützen ist. In der Regel handelt es sich dabei um die Höhe der Oberfläche der Rohbodenplatte. Um Setzungsschäden zu vermeiden, darf der Rohrgraben andererseits nicht tiefer als die Fundamentsohle liegen, es sei denn, der Rohrgraben liegt außerhalb des Druckausbreitungsbereichs der Fundamente.

Kontrollschächte und Vorflut

Bei Richtungswechseln – also in der Regel an den Gebäudeecken – und bei Dränlängen über 50 m sind Kontroll- und Spülmöglichkeiten vorzusehen, die üblicherweise aus PVC-Standrohren bestehen. Allerdings kann die Anzahl von Spül- und Kontrollschächten bei heutigen Hochdruckspülschläuchen sowie Inspektionskameras, die auch bei Kanalanlagen eingesetzt werden, reduziert werden. Sie müssen nicht an jedem Richtungswechsel angeordnet werden, wie früher, als die Leitungen mit Spiegeln inspiziert wurden. Daher sind die Leitungen mit Biegeradien zu verlegen, so dass die Inspektions- oder Spülschläuche an den Richtungswechseln durchgeführt werden können.

Die Übergabestelle zur Vorflut sollte als Schacht mit einem für Zugänglichkeit von Personen ausreichendem Durchmesser von mindestens 1 m hergestellt werden, der zugleich als Zugangsstelle zur Wartung des Dränsystems dient.

Grundsätzlich ist auf die Rückstausicherheit des Dränsystems zu achten. Dränleitungen dürfen nicht unmittelbar an Grundleitungen unterhalb der Rückstauebene angeschlossen werden, da sonst die Gefahr von Rückstauereignissen besteht und dadurch eine Wassereinwirkung provoziert wird, die durch Dränanlagen vermieden werden soll. Rückstauklappen sind zwar grundsätzlich denkbar, laufen aber Gefahr, im Laufe der Jahre z.B. wegen Verschmutzungen auszufallen Sie sind deswegen nicht zu empfehlen. Pumpensümpfe sind regelmäßig mit Hebeanlagen zu versehen, die unterbrechungsfrei arbeiten müssen, also ggf. mit zweizügigen Hebeanlagen, Alarmgeber und Stromversorgung auszustatten sind.

Wechselwirkung Dränwasser und Baugrund

Wie bereits ausgeführt, soll die durch Dränanlagen abzuleitende Wassermenge möglichst gering gehalten werden. Dabei geht es nicht nur um die Begrenzung der Wassermenge in die Vorflut, sondern auch um die Gefahr der Wechselwirkung zwischen Wasser und der Beschaffenheit des Bodenmaterials unter der Gründung.

Dränungen werden regelmäßig in gering durchlässigem Baugrund vorgesehen, der feinkörnig und damit gegen wechselnde Wassergehalte nur bedingt formbeständig ist. Es ist allgemein bekannt, dass lehmiger Boden matschig wird, wenn Wasser zugeleitet wird. Das passiert auch am unteren Ende einer senkrechten Dränanlage, da der Ringdrän Wasser nur ableitet, aber nicht absaugt. In horizontaler Richtung wird Wasser überwiegend durch das hydraulische Gefälle gegen den Durchdringungswiderstand des Kieses sickern können, so dass unterhalb von Dränleitungen mit stehendem Wasser zu rechnen ist (solange Niederschlagswasser über Flächendräne vor den Außenwänden an deren Fußpunkte gelangt).

Wenn Wasser bis unter die lastableitende Gründung gelangt, kann dort feinkörniger Boden aufweichen. Liegt zwischen der Unterkante der Gründung und dem feinkörnigen Boden grobkörniges Material, z.B. aus Kies, und ist dieser nicht durch ein Geotextil vom Boden getrennt, kann aufgeweichter Boden in die Hohlräume des Kieses ausweichen.

Daher sollte auch der Aspekt der Wechselwirkung und der Formbeständigkeit des Bodens unter Berücksichtigung der durch die Dränung zugeleiteten Wassermenge berücksichtigt werden. Ob die in DIN 4095 [22] geforderte Maßnahme genügt, den Drängraben nicht tiefer als die Fundamentsohle zu legen, hängt von der zufließenden Wassermenge ab. Ist diese gering, genügt sie. Bei (unzulässigerweise) durch Oberflächenwasser und Schichtenwasser größeren Mengen besteht aber die Gefahr, dass das Erdreich auch unterhalb der Gründung aufweicht. Um sicher zu gehen, sollten Drängräben nicht nur nicht tiefer als Fundamentsohlen liegen, sondern höher, damit vor den Fundamenten ein Puffer für Feuchtigkeit verbleibt. Entgegen DIN 4095 [22] können Dränleitungen auch höher als die Bodenplatte gelegt werden, wenn die erdberührten Bauteile bis auf die Höhe, an der Druckwasser anstehen kann, gegen Druckwasser abgedichtet werden oder aus gegen Druckwasser bemessenen wasserundurchlässigen Betonkonstruktionen bestehen. Auch dadurch erhöht sich die Sicherheit gegen Wechselwirkungen aus Sickerwasser und aufweichendem Boden unter einer Gründung. Damit relativiert sich zwar die Bedeutung von Dränanlagen. Diese können aber noch immer sinnvoll sein, z.B. wenn Fensteröffnungen in Untergeschossen vor Stauwasser geschützt werden sollen. Bei umlaufenden Gräben, die unterhalb der Brüstungshöhe bleiben, können alternativ zur Dränung Bodenabläufe eingesetzt werden, die Niederschlagswasser unmittelbar aufnehmen und ableiten.

7. Innenraumabdichtungen

Aus KS-Mauerwerk errichtete Wände von Innenräumen mit Duschen oder Badewannen brauchen im üblichen Wohnungsbau nicht zwingend eine Abdichtung, solange neben dem KS-Mauerwerk auch die übrigen Materialien des Wandquerschnitts, z.B. der Putz, feuchtebeständig sind und die Wassereinwirkung so gering ist, dass ggf. vom Untergrund aufgenommenes Wasser wieder schadensfrei austrocknen kann. Die neue DIN 18534 [34] fasst seit langem in der Praxis erprobte, aber auch vergleichsweise neue, jedoch ebenfalls schon bewährte Bauweisen von Innenraumabdichtungen zusammen. Kalksandstein-Mauerwerk mit feuchteunempfindlichen Putzen, z.B. Kalkzementputzen, zählen zu Untergründen, auf denen bei üblichen Wassereinwirkungen im Wohnungsbau sogar an Wandflächen in Duschen (Wassereinwirkungsklassen W0-I bis W1-I) unter bestimmten Voraussetzungen auf eine Innenraumabdichtung verzichtet werden kann. Dazu dürfen keine feuchteempfindlichen Stoffe vorhanden sein, die durch in den Untergrund eindringendes Wasser geschädigt werden können.

In Badezimmern im Wohnungsbau werden immer häufiger niveaugleiche Duschen eingebaut oder gar private „Wellnessoasen“ eingerichtet. Damit wird die Wassereinwirkung an der Bodenfläche erheblich größer. Hier sind die Fußbodenbereiche abzudichten, die dann der Wassereinwirkungsklasse W2-I zuzuordnen sind.

Innenraumabdichtungen sind mit den seit langem üblichen, flüssig zu verarbeitenden Abdichtungen im Verbund mit Fliesen- und Plattenbelägen möglich. Diese werden als AIVF bezeichnet. Üblich sind z.B. kunststoffmodifizierte, mineralische Dichtungsschlämmen, auf die Fliesenbeläge unmittelbar aufgeklebt werden. Diese Bauart wurde um bahnenförmige (AIV-B) und plattenförmige Verbundabdichtungen (AIV-P) erweitert.

Literatur

[1] DIN 18531-1:2017-07 Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen – Teil 1: Nicht genutzte und genutzte Dächer – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze

[2] DIN 18531-2:2017-07 Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen – Teil 2: Nicht genutzte und genutzte Dächer – Stoffe

[3] DIN 18531-3:2017-07 Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen – Teil 3: Nicht genutzte und genutzte Dächer – Auswahl, Ausführung und Details

[4] DIN 18531-4:2017-07 Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen – Teil 4: Nicht genutzte und genutzte Dächer – Instandhaltung

[5] DIN 18531-5:2017-07 Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen – Teil 5: Balkone, Loggien und Laubengänge

[6] DIN 18532:2017-07 Abdichtung von befahrbaren Verkehrsflächen aus Beton

[7] DIN 18533-1:2017-07 Abdichtung von erdberührten Bauteilen – Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze

[8] DIN 18533-2:2017-07 Abdichtung von erdberührten Bauteilen – Teil 2: Abdichtung mit bahnenförmigen Abdichtungsstoffen

[9] DIN 18533-3:2017-07 Abdichtung von erdberührten Bauteilen – Teil 3: Abdichtung mit flüssig zu verarbeitenden Abdichtungsstoffen

[10] DIN 18534-1:2017-07 Abdichtung von Innenräumen – Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze

[11] DIN 18534-2:2017-07 Abdichtung von Innenräumen – Teil 2: Abdichtung mit bahnenförmigen Abdichtungsstoffen

[12] DIN 18534-3:2017-07 Abdichtung von Innenräumen – Teil 3: Abdichtung mit flüssig zu verarbeitenden Abdichtungsstoffen im Verbund mit Fliesen und Platten (AIV-F)

[13] DIN 18534-4:2017-07 Abdichtung von Innenräumen – Teil 4: Abdichtung mit Gussasphalt oder Asphaltmastix

[14] DIN 18534-5:2017-07 Abdichtung von Innenräumen – Teil 5: Abdichtung mit bahnenförmigen Abdichtungsstoffen im Verbund mit Fliesen und Platten (AIV-B)

[15] DIN 18534-6:2017-07 Abdichtung von Innenräumen – Teil 6: Abdichtung mit plattenförmigen Abdichtungsstoffen im Verbund mit Fliesen und Platten (AIV-P)

[16] DIN 18535:2017-07 Abdichtung von Behältern und Becken – Teil 1 bis 3

[17] DIN 18195:2017-07: Abdichtung von Bauwerken – Begriffe

[18] DIN 18195 Beiblatt 2:2017-07 Abdichtung von Bauwerken – Beiblatt 2: Hinweise zur Kontrolle und Prüfung der Schichtdicken von flüssig verarbeiteten Abdichtungsstoffen

[19] DIN SPEC 20000-201:2015-08 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 201: Anwendungsnorm für Abdichtungsbahnen nach Europäischen Produktnormen zur Verwendung in Dachabdichtungen

[20] DIN SPEC 20000-202:2016-03 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 202: Anwendungsnorm für Abdichtungsbahnen nach Europäischen Produktnormen zur Verwendung als Abdichtung von erdberührten Bauteilen, von Innenräumen und von Behältern und Becken

[21] DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie), Ausgabe November 2003 (erhältlich seit Mai 2004), Deutscher Ausschuss für Stahlbeton im Deutschen Institut für Normung e.V., Berlin; Erläuterungen zur DAfStb-Richtlinie; Schriftenreihe Heft 555, 1. Auflage Juli 2006

[22] DIN 4095:1990-6 Dränung zum Schutz baulicher Anlagen, Planung, Bemessung und Ausführung

[23] DIN EN 1996-2:2010-12 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk; Deutsche Fassung EN 1996-2:2006 + AC:2009

[24] DIN EN 1996-2/NA:2012-01 Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk

[25] BWK Merkblatt M 8 Ermittlung des Bemessungsgrundwasserstandes für Bauwerksabdichtungen. Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau – (BWK) e.V., Sindelfingen/Aachen

[26] DIN 18130-1:1998-05 Baugrund, Untersuchung von Bodenproben, Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts – Teil 1: Laborversuche

[27] Über die tatsächliche Durchlässigkeit von Baugrund und daraus zu ziehenden Schlussfolgerungen zur Wassereinwirkung auf erdberührte Bauteile siehe das Referat von Prof. Dr. Wolfgang Krajewski auf den Aachener Bausachverständigen Tagen 2017: Krajewski, W.: Welche Wassereinwirkung liegt tatsächlich an der Unterseite von Bodenplatten in gering durchlässigem Baugrund vor? Referat auf den Aachener Bausachverständigentagen 2017

[28] Sous, S.; Wilmes, K.; Zöller, M.: Dauerhaftigkeit von Abdichtungen auf nicht-massiven Untergründen im Sockelbereich. Forschungsbericht AIBau Aachener Institut für Bauschadensforschung gGmbH, März 2016, www.aibau.de

[29] DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten

[30] DIN EN 13969:2007-03 Abdichtungsbahnen – Bitumenbahnen für die Bauwerksabdichtung gegen Bodenfeuchte und Wasser – Definitionen und Eigenschaften, Deutsche Fassung EN 13969:2004+A1:2006

[31] DIN 18336:2016-09 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Abdichtungsarbeiten

[32] DIN EN 14909:2012-07 Abdichtungsbahnen – Kunststoff- und Elastomer-Mauersperrbahnen – Definitionen und Eigenschaften

[33] DIN EN 14967:2006-08 Abdichtungsbahnen – Bitumen-Mauersperrbahnen – Definitionen und Eigenschaften

[34] DIN 18534 Abdichtung von Innenräumen – Teile 1 bis 4 Ausgabe Juli 2017, Teile 5 und 6 August 2017

Bildnachweise

Bild S. 216, Bild S. 221, Bild 6: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.



Kapitel 10

WINTERLICHER WÄRMESCHUTZ

Prof. Dr.-Ing. Martin H. Spitzner, Hochschule Biberach und Ingenieurbüro für Energie Bauphysik Projekte, München,
Dipl.-Ing. Christoph Sprengard,
Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V., München

Stand: 01/2018

1. Überblick

Der Wärmeschutz von Gebäuden verdient aus vielfältigen Gründen besondere Beachtung. Ein energieeffizientes Haus benötigt im Vergleich mit einem unsanierten Altbau bis zu 80 % oder 90 % weniger Energie und schont damit nicht nur die Umwelt, sondern spart damit seinen Bewohnern viel Geld. Wird weniger Energie verbraucht, entstehen weniger CO_2 und andere schädliche Emissionen wie Ruß und Feinstaub. Wärmeschutz ist hier gleichzeitig auch Klimaschutz und hilft, die Energiesparziele der Bundesregierung zu erreichen. Energieeffiziente Gebäude verbrauchen wenig, sind jedoch höchst behaglich und bieten ein gutes Wohnklima. In den privaten Haushalten in Deutschland wird etwa ein Viertel des Gesamtenergieverbrauchs in Deutschland aufgewendet (Bild 1). Von diesen 636 TWh entfallen 70 % auf die Raumheizung und weitere 13 % auf die Warmwasserbereitung. Die Haushalte sind damit ein wichtiger Sektor hinsichtlich Energieeinsparung und Emissionsverminderung.

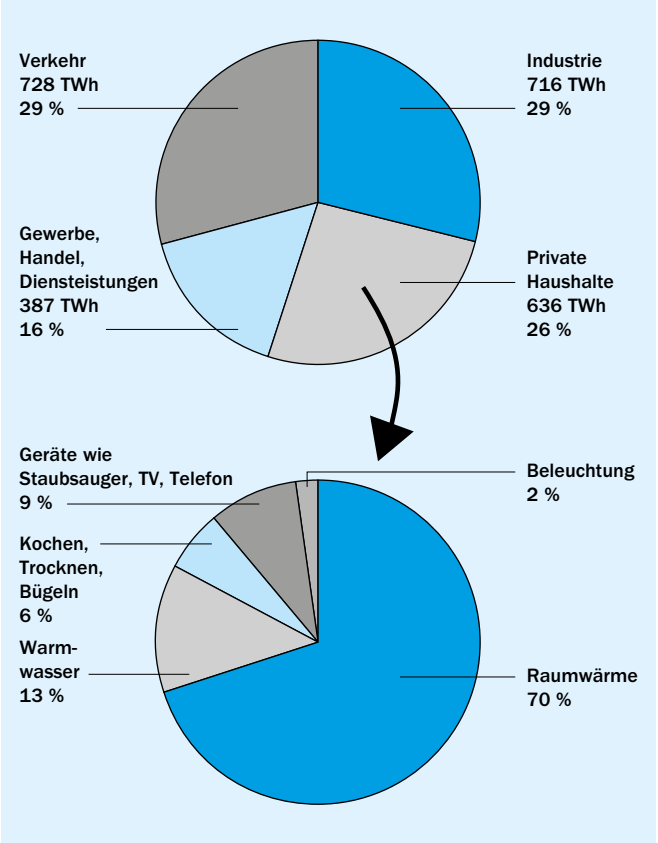


Bild 1 **Endenergiebedarf in Deutschland nach Sektoren [1] und für Wohnen in privaten Haushalten [2] im Jahr 2015**

Bei kluger Planung ist es sehr gut erreichbar – eigentlich fast unvermeidbar –, gleichzeitig mit der Verbesserung des Wärmeschutzes und der Energieeffizienz auch die Behaglichkeit und den Nutzwert für die Bewohner zu steigern. Darüber hinaus ist sicherzustellen, dass die Gebäude auch in Zukunft energie- und kostensparend genutzt werden können.

Eine Anzahl von Normen sowie die Energieeinsparverordnung (EnEV) bzw. deren Nachfolger stellen ein einzuhaltendes Mindestniveau des baulichen Wärmeschutzes und der Energieeinsparung in Gebäuden sicher. Empfehlenswert ist es aber, deutlich über diese Mindestanforderungen hinauszugehen, um zukunftstaugliche Gebäude mit hohem Effizienzniveau zu realisieren. Gleichzeitig sind Bauprodukte und Haustechnikkomponenten verfügbar, die es erlauben, ohne aufwändige Spezialmaßnahmen solche Gebäude zu realisieren.

Die energiesparrechtlichen Mindestanforderungen, die in der Energieeinsparverordnung verankert sind, beziehen sich auf das Gebäude als Ganzes, d.h. auf die Kombination aus Gebäudehülle und Anlagentechnik. Rein bauteilbezogene Anforderungen, z.B. an den Dämmwert, werden in der EnEV nur noch bei der Sanierung einzelner Bauteile in Bestandsimmobilien gestellt. Die Mindestanforderungen der Energieeinsparverordnung werden in der Fachbroschüre „Kalksandstein Energieeinsparverordnung 2016“ [3] dargestellt.

Im Gegensatz zur EnEV, die auf das komplette Gebäude einschließlich Haustechnik zielt, betrachtet der bauliche Wärmeschutz einzelne Bauteile (z.B. Wände, Decken, Fenster, Boden, Dach) und ist vor allem hygienisch begründet. Hier geht es in erster Linie um die Vermeidung von Tauwasser und Schimmelpilzwachstum, sowie um den hygienischen und thermischen Schutz der Nutzer. Der bauliche Mindestwärmeschutz ist über bauaufsichtlich verpflichtend eingeführte Normen geregelt, und damit unumgänglich und in jedem Fall geschuldet. Zumindest bei flächigen Außenbauteilen wird er in der Praxis ohnehin meist deutlich übertroffen, weil die Bauteile anderenfalls gar nicht den heutigen Ansprüchen an die Energieeinsparung, dem modernen Komfortbedürfnis und der aktuell üblichen Bauqualität genügen würden.



2. Normen zum baulichen Wärmeschutz

Die beiden wichtigsten deutschen Normenreihen zum baulichen Wärme- und Feuchteschutz und zur Energieeinsparung in Gebäuden sind die Normenreihen DIN 4108 und DIN V 18599. Daneben sind viele der grundlegenden bauphysikalischen Berechnungsverfahren für die Gebäudehülle in internationalen Normen beschrieben, auf die von den deutschen Normen nur noch verwiesen wird.

Die wichtigsten Normen und physikalischen Größen rund um bauliche Wärmedämmung und klimabedingten Feuchteschutz in Gebäuden mit Formelzeichen und Einheiten sind im Anhang zusammengestellt (Tafeln A1 und A2).

2.1 Normenreihe DIN 4108 „Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden“

Die einzelnen Teile der eher bauteilbezogenen Normenreihe DIN 4108 konzentrieren sich auf verschiedene bauphysikalische Aspekte der Gebäudehülle. Dafür legen sie Grundlagen, Anforderungswerte und teilweise auch die erforderlichen Nachweisverfahren fest:

- DIN 4108-2 beschreibt die Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz. Diese betreffen sowohl flächige Bauteile als auch den Bereich von Wärmebrücken. In diesem Normenteil werden die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz sowie ein zugehöriges vereinfachtes Nachweisverfahren definiert.

- DIN 4108-3 behandelt den klimabedingten Feuchteschutz, das so genannte Glaser-Verfahren sowie zugehörige Anforderungen und Rechenverfahren.

- DIN 4108-4 tabelliert wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte, die für Berechnungen zu verwenden sind. Für den Fall, dass Nennwerte nach europäischen Produktnormen, nationalen oder europäischen Produktzulassungen vorliegen, werden in DIN 4108-4 Vorgaben zur Umrechnung der Nennwerte in Bemessungswerte gegeben. International vereinheitlichte Materialkennwerte finden sich in DIN EN ISO 10456.

- DIN 4108-6 stellt, zusammen mit DIN V 4701-10 und deren Beiblatt 1, ein alternatives energetisches Bewertungsverfahren für Wohngebäude zur Verfügung. Für die Zwecke der EnEV soll es in absehbarer Zeit durch ein ähnliches Tabellenverfahren, nämlich DIN V 18599 Beiblatt 3, abgelöst werden.

- DIN 4108-7 gibt Anforderungen und Ausführungshinweise zur Luftdichtheit der Gebäudehülle.

- DIN-Fachbericht 4108-8 erläutert verschiedene Aspekte und Zusammenhänge zur Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden.

- DIN 4108-10 enthält die Anwendungstypen von Dämmstoffen inklusive zugeordneter Piktogramme, und listet je nach Dämmstoff und Anwendungstyp die dafür erforderlichen Eigenschaftswerte der Dämmstoffe auf. Die Norm dient den Dämmstoffherstellern als Grundlage zur Einstufung ihrer Produkte in die jeweiligen Anwendungstypen. Für den Bauanwender eines Dämmstoffes sind vor allem die Anwendungstypen (inklusive deren Untergruppen) und die korrespondierenden Piktogramme von Bedeutung.

- DIN 4108-11 wird zukünftig Anforderungen an bauliche Klebebänder und Klebemassen und die zugehörigen Prüfverfahren beschreiben.

- DIN 4108 Beiblatt 2 beschäftigt sich mit der Vermeidung von Wärmebrücken. Im Rahmen des EnEV-Nachweises stellt das Beiblatt dar, welche konstruktiven oder zahlenmäßigen Anforderungen von Bauteilanschlüssen einzuhalten sind, damit beim Wärmedurchgang durch die Gebäudehülle ein verminderter pauschaler Wärmebrückenzuschlag angesetzt werden darf. Seit 2018 gibt es zwei verminderte pauschale Wärmebrückenzuschläge, den bisherigen 0,05 W/(m^2·K) für die Kategorie A (Merkhilfe: A wie „alt“) und einen noch weiter verminderten von 0,03 W/(m^2·K) für die neu eingeführte Kategorie B (Merkhilfe: B wie „besser“).

2.2 Normenreihe DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“

Die Vornormenreihe DIN V 18599 beschäftigt sich mit der energetischen Bewertung des gesamten Gebäudes, von den Grundlagen und der Beschreibung der Bilanzierung in Teil 1 über die energetische Bewertung der Gebäudehülle in Teil 2, der Heizungs-, Warmwasser-, Lüftungs- und Klimatechnik sowie der Beleuchtung in den Teilen 3 bis 9 sowie 11. Teil 10 der Normenreihe legt die anzusetzenden Nutzungsprofile für Gebäude und Anlagentechnik fest. Die Normenreihe wird ergänzt durch derzeit drei Beiblätter.

Die frühere inhaltliche und begriffliche Konzentration im Normenwerk auf den Wärmeverlust im Winter ist sprachlich inzwischen ersetzt durch den allgemeineren Bezug auf Wärmetransport oder Wärmetransfer, um die Normen auch für den sommerlichen Wärmeeintrag anwenden zu können. Formulierungen, Formelzeichen und viele Gleichungen gelten dann sowohl für winterliche Wärmeausträge als auch für sommerliche Wärmeeinträge. In der Normenreihe DIN V 18599 werden (erwünschte und unerwünschte) Wärmeeinträge in den Raum als Wärmequellen, (erwünschte und unerwünschte) Wärmeausträge aus dem Raum als Wärmesenken bezeichnet. Dies gewährleistet eine wertungsfreie, durchgehend logische Begrifflichkeit.

Die grundlegenden Berechnungs- und Bewertungsverfahren der DIN V 18599 sind zu einem Teil bereits in CEN- bzw. ISO-Normen aufgenommen, z.B. in die neue ISO-Normenreihe 52000ff. übertragen worden. Die Verfahren und Bewertungsansätze der DIN V 18599-Reihe sind allerdings nicht 1:1 in die ISO-Normenreihe übertragen, in einigen Bereichen weicht die Vorgehensweise der internationalen Norm sogar grundlegend von der DIN V 18599 ab. Deshalb kann bei Anwendung dieser ISO-Normenreihe keine Identität des Ergebnisses und der Bewertung mit der EnEV erreicht werden, und die ISO-Normenreihe kann derzeit nicht für den EnEV-Nachweis in Deutschland verwendet werden.

Eine genauere Beschreibung der Normenreihe DIN V 18599 erfolgt in der Fachbroschüre „KALKSANDSTEIN Energieeinsparverordnung 2016“ [3].

2.3 Grundlegende ISO-Berechnungsnormen für die Gebäudehülle

Die grundlegenden bauphysikalischen Berechnungsverfahren für die Gebäudehülle sind seit vielen Jahren in internationalen ISO-Normen verankert, die als DIN EN ISO vom Deutschen Institut für Normung übernommen sind und von den deutschen Normen in Bezug genommen werden, z.B.:

- DIN EN ISO 6946: U-Wert von opaken Bauteilen
- DIN EN ISO 10211: Numerische Berechnung von Wärmebrücken
- DIN EN ISO 10077-1 und -2: U-Wert von Fenstern, Türen und Abschlüssen
- DIN EN ISO 12631: U-Wert von Vorhangfassaden
- DIN EN ISO 13370: Wärmeübertragung über das Erdreich (Alternativ zum Verfahren der DIN EN ISO 13370 kann der vereinfachte nationale Ansatz mit Temperaturkorrekturfaktoren F_x verwendet werden, wie er sich sowohl in DIN 4108-6 als auch in DIN V 18599-2 und in den vereinfachten Randbedingungen nach DIN 4108 Beiblatt 2 wiederfindet.)

2.4 Beheizter Bereich und thermische Gebäudehülle

Für den baulichen Wärmeschutz sind nur die wärmeübertragenden Bauteile der Gebäudehülle relevant. Das umfasst alle Innen- und Außenbauteile, die das beheizte Gebäudevolumen gegen die Außenluft oder gegen unbeheizte Dachböden und Keller, Garagen, unbeheizte Anbauten, oder andere Bereiche mit deutlich verschiedenen Innentemperaturen abgrenzen. Die thermische Gebäudehülle umgibt das beheizte Gebäudevolumen lückenlos. (Ausnahme: Haustrennwände und -decken zwischen gleichartig beheizten Bereichen werden nicht in der thermischen Hüllfläche berücksichtigt, da ohne Temperaturunterschied kein Wärmeverlust durch diese Bauteile auftritt.)

Alle beheizbaren Räume, auch wenn sie tatsächlich nur gelegentlich oder gar nicht beheizt werden wie Gästezimmer, Hobbyraum etc., zählen nach DIN 4108-2 zum beheizten Bereich. Die Einstufung „beheizt“ gilt immer dann, wenn im betrachteten Raum eine Heizeinrichtung oder eine Heizfläche eingebaut ist oder eine Beheizung über Raumverbund möglich ist. Als Raumverbund definiert DIN 4108-2 einen offenen Verbund der aneinandergrenzenden Räume, z.B. bei zum Wohnbereich offenen Treppenräumen und Treppenabgängen. Offenstehende aber schließbare (und erst recht geschlossene) Türen zählen ausdrücklich nicht als Raumverbund. Vollständig innenliegende Räume (innenliegende Abstellkammern, innenliegendes WC etc.) sind über die Bauteile, die sie vom beheizten Bereich trennen, indirekt beheizt und zählen ebenfalls zum beheizten Volumen. Ein zum Wohnbereich abgeschlossenes Treppenhaus ohne Heizkörper kann wahlweise als indirekt beheizt (über die umschließenden Bauteile – dann gehört es zum beheizten Bereich) oder als nicht beheizt (dann liegt es außerhalb der thermischen Hülle) eingestuft werden. Hat das Treppenhaus einen Heizkörper, dann zählt es zum beheizten Bereich. Anbauten oder vorgelagerte Räume, die weder direkt noch über den Raumverbund beheizt werden können, wie z.B. Garage, Schuppen, nicht beheizbarer Glasvorbau (durch Türen vom beheizten Gebäudevolumen getrennt), sind „nicht beheizt“ und liegen außerhalb der thermischen Hüllfläche. Die Überlegungen zur thermischen Gebäudehülle gelten in gleicher Weise für die Hüllfläche, die im Sommer einen gekühlten Bereich gegen Außenluft bzw. gegen angrenzende, nicht gekühlte Bereiche abgrenzt.

3. Von der Wärmeleitfähigkeit zum U-Wert

In diesem Abschnitt werden die relevanten Größen rund um die Wärmedämmung von Bauteilen beschrieben. Die international normierte Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) in DIN EN ISO 6946 wird in einem Beispiel dargestellt. Für U- und Ψ-Werte (Psi-Wert, linearer Wärmedurchgangskoeffizient) anderer spezieller Bauteile, wie z.B. Fenster, Vorhangfassaden und Wärmebrücken existieren ebenfalls genauere Berechnungsverfahren (DIN EN ISO 10211 bzw. DIN EN ISO 10077). In der Energieeinsparverordnung (EnEV) werden diese Normen als Berechnungsvorschrift in Bezug genommen. Alle wärmetechnischen Kennwerte für EnEV-Nachweise sind hiernach zu bestimmen. Abweichungen von diesen Berechnungsverschriften stellen einen Planungsfehler dar. Eine Ausnahme ist nur der „konstruktive Wärmedurchgangskoeffizient“ von erdberührten Bauteilen: Er wird nicht nach der eigentlich für erdberührte Bauteile zuständigen DIN EN ISO 13370 berechnet, sondern nach DIN EN ISO 6946 – die laut ihrer eigenen Aussage nicht für erdberührte Bauteile gilt; weshalb der konstruktive U-Wert auf einer entsprechenden Sonderregelung im deutschen Normenwerk beruht.

3.1 Wärmestrom, Widerstand

Der stationäre Wärmedurchgang (Transmission) durch ein einschichtiges Bauteil besteht aus drei Phasen (Bild 2):

- Wärmeübergang aus der Raumluft (mittels Luftströmung und Wärmeleitung) und von den umgebenden Bauteiloberflächen (mittels Wärmestrahlung zwischen den umgebenden Raumoberflächen und der betrachteten Fläche),
- Wärmetransport (bestehend aus den Transportphänomenen Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung; zusammengefasst als Wärmeleitung) durch die Baustoffschicht selbst und
- Wärmeübergang (Wärmeabgabe) von der Außenoberfläche an die Außenluft, wiederum mittels Konvektion und Wärmeleitung, und an umgebende Oberflächen mittels Wärmestrahlung.

In allen Phasen wird der Wärme (= Energie) ein gewisser Widerstand entgegengesetzt, den sie überwinden muss: den Wärmeübergangswiderstand auf der Innenseite (R_{si}), den Wärmedurchlasswiderstand der Baustoffschicht (R_i), den Wärmeübergangswiderstand auf der Außenseite (R_{se}). Es handelt sich um eine Reihenschaltung von Widerständen. Wie beim elektrischen Strom ist der Gesamtwiderstand die Summe der Einzelwiderstände, in der Wärmelehre bezeichnet als Wärmedurchgangswiderstand, mit dem Formelzeichen R_T mit dem Index T für Transmission.

Bauteile bestehen häufig aus mehreren Schichten (i = 1, 2, 3 ... n), deren individuelle Wärmedurchlasswiderstände R_i alle in Reihe geschaltet sind; ihre Summe nennt man den Wärmedurchlasswiderstand R des Bauteils (von Oberfläche zu Oberfläche). Sind die Schichten in sich jeweils homogen, d.h. innerhalb einer Schicht ändern sich die thermischen Eigenschaften nicht, dann errechnet sich der Wärmedurchlasswiderstand jeder Baustoffschicht als Quotient ihrer Schichtdicke (in Metern) und der Wärmeleitfähigkeit des Materials (in W/(m·K)), aus dem sie besteht:

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \quad [\mathrm{m^2 \cdot K/W}] \text{ für die i-te Schicht und} \qquad (3.1)$$

$$R = \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} \quad [\mathrm{m^2 \cdot K/W}] \text{ für die Summe aller Schichten von Oberfläche zu Oberfläche.} \qquad (3.2)$$

R ist flächenspezifisch, mit der Einheit m²·K/W. Die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} sind in DIN EN ISO 6946 tabelliert. Bei direktem Kontakt zwischen zwei Schichten tritt kein Übergangswiderstand auf, z.B. zwischen der Außenseite der Kellerwand und dem Erdreich; dort ist $R_{se} = 0$. Der gesamte Wärmedurchgangswiderstand R_T eines Bauteils ergibt sich zu:

$$R_T = R_{si} + \sum_i R_i + R_{se} = R_{si} + \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se} \quad [\mathrm{m^2 \cdot K/W}] \qquad (3.3)$$

Je größer der Wärmedurchlasswiderstand bzw. der Wärmedurchgangswiderstand ist, desto größer ist die Dämmwirkung der Baustoffschicht bzw. des Bauteils.

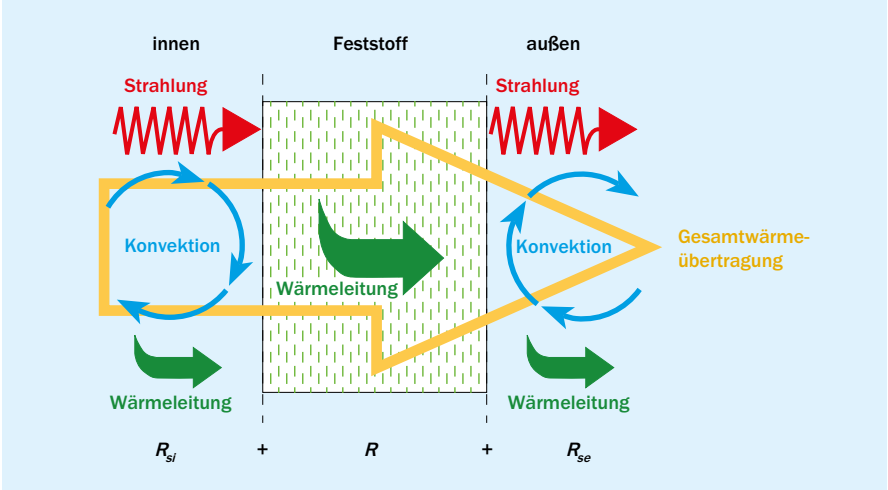


Bild 2 Wärmedurchgang durch ein Bauteil

Die Vorgänge beim Wärmetransport lassen sich gut mit der Analogie zum elektrischen Strom verdeutlichen: Der elektrische Strom entspricht dem Wärmestrom, der elektrische Widerstand dem Wärmedurchlasswiderstand einer einzelnen Baustoffschicht oder dem Wärmedurchgangswiderstand des ganzen Bauteils als Reihenschaltung von Widerständen. Die elektrische Spannung entspricht der Temperaturdifferenz zwischen der warmen und der kalten Seite. Sie stellt das treibende Potenzial dar, aufgrund dessen es überhaupt zum Wärmetransport kommt: Herrscht auf beiden Seiten des Bauteils die gleiche Temperatur, findet kein Wärmetransport statt.

3.2 Wärmedurchgangskoeffizient, U-Wert

Üblich ist im Bauwesen die Verwendung des Wärmedurchgangskoeffizienten U (U-Wert) des Bauteils; er ist der Kehrwert des Wärmedurchgangswiderstands (Tafel 1):

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}} \quad [\mathrm{W/(m^2 \cdot K)}] \qquad (3.4)$$

Der U-Wert wird berechnet, indem die Wärmedurchlasswiderstände der einzelnen Schichten (jeweils Dicke geteilt durch die Wärmeleitfähigkeit) aufsummiert werden. Zur Summe werden die Wärmeübergangswiderstände auf beiden Seiten des Bauteils (Wärmestromrichtung!) addiert, und vom Ergebnis wird der Kehrwert gebildet (Tafel 2).

INFO

Der U-Wert gibt an, wie groß der Wärmedurchgang in Wattstunden pro Stunde und pro Quadratmeter des Bauteils ist, wenn sich die Lufttemperaturen zu beiden Seiten um 1 Kelvin (entspricht 1 °C) unterscheiden. Je kleiner der U-Wert ist, umso besser ist die Dämmwirkung des Bauteils.

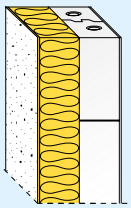
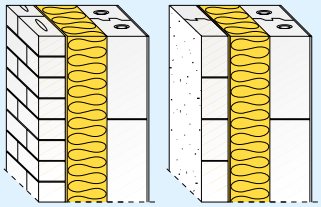
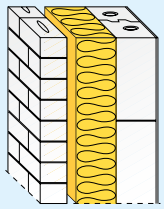
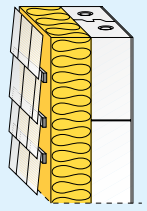
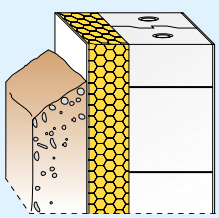
Als Endergebnis ist der U-Wert auf zwei wertanzeigende Stellen zu runden, in der Regel zwei Nachkommastellen (z.B. 0,23 W/(m²·K)). Dies entspricht der Genauigkeit der Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit. Zwischenergebnisse, mit denen weitergerechnet wird, etwa für die Berechnung eines Ψ-Werts, können mit drei wertanzeigenden Stellen angegeben werden (z.B. 0,230 W/(m²·K) bzw. 0,231 W/(m²·K)).

Das Produkt aus dem U-Wert und der der Fläche ergibt den spezifischen Transmissionswärmetransferkoeffizient H_T für die Fläche (ohne Wärmebrücken):

$$H_T = U \cdot A \quad [\mathrm{W/K}] \qquad (3.5)$$

Tafel 1 stellt U-Werte von typischen KS-Außenwänden zusammen. Tafel 2 gibt Beispiele für die Berechnung des U-Werts von Mauerwerk aus homogenen Schichten.

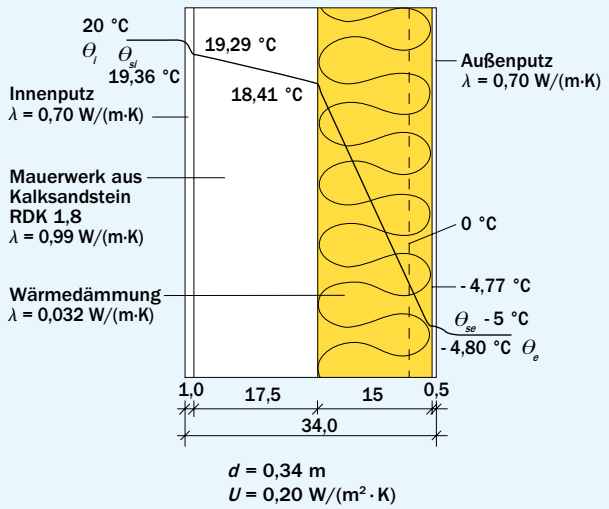
Tafel 1 U-Werte von KS-Außenwänden (Beispiele)

	Dicke des Systems [cm]	Dicke der Dämmschicht [cm]	U [W/(m²·K)] λ [W/(m·K)] 0,022	0,024	0,032	0,035	Wandaufbau
	29,5	10	0,20	0,22	0,29	0,31	**Einschalige KS-Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Wärmedämmstoff Typ WAP 0,01 m Außenputz λ = 0,70 W/(m·K) R_{se} = 0,04 (m²·K)/W
	33,5	14	0,15	0,16	0,21	0,23	
	35,5	16	0,13	0,14	0,19	0,20	
	39,5	20	0,11	0,11	0,15	0,16	
	43,5	24	0,09	0,10	0,13	0,14	
	49,5	30	0,07	0,08	0,10	0,11	
	41,0	10	0,19	0,21	0,27	0,29	**Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Wärmedämmstoff Typ WZ 0,01 m Fingerspalt R = 0,15 (m²·K)/W 0,115 m[2] KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0)[1] oder verputzte KS-Vormauerschale λ = 1,1 W/(m·K) R_{se} = 0,04 (m²·K)/W
	43,0	12	0,16	0,18	0,23	0,25	
	45,0	14	0,14	0,16	0,20	0,22	
	47,0	16	0,13	0,14	0,18	0,19	
	49,0	18	0,11	0,12	0,16	0,17	
	51,0	20	0,10	0,11	0,15	0,16	
	55,0	24	0,09	0,09	0,12	0,13	
	44,0	10	0,20	0,22	0,28	0,30	**Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung und Luftschicht** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Wärmedämmstoff Typ WZ R_{se} = 0,13 (m²·K)/W ≥ 0,04 m Luftschicht 0,115 m[2] KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0)
	46,0	12	0,17	0,18	0,24	0,26	
	48,0	14	0,15	0,16	0,21	0,22	
	50,0	16	0,13	0,14	0,18	0,20	
	52,0	18	0,12	0,13	0,16	0,18	
	54,0	20	0,10	0,11	0,15	0,16	
	31,5	10	–	–	0,28	0,30	**Einschalige KS-Außenwand mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Nichtbrennbarer Wärmedämmstoff WAB R_{se} = 0,13 (m²·K)/W 0,02 m Hinterlüftung 0,01 m Fassadenbekleidung
	33,5	12	–	–	0,24	0,26	
	37,5	16	–	–	0,18	0,20	
	41,5	20	–	–	0,15	0,16	
	45,5	24	–	–	0,13	0,14	
	51,5	30	–	–	0,10	0,11	
	47,5	10	–	–	–	0,34	**Einschaliges KS-Kellermauerwerk mit außen liegender Wärmedämmung (Perimeterdämmung)** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,365 m Kalksandstein (RDK 1,8)[1] λ = 0,99 W/(m·K) Perimeterdämmung[3] Typ PW R_{se} = 0 (m²·K)/W
	51,5	14	–	–	–	0,26	
	53,5	16	–	–	–	0,24	
	57,5	20	–	–	–	0,20	
	61,5	24	–	–	–	0,18	
	47,5	10	–	–	–	0,32	**Einschaliges KS-Kellermauerwerk mit außen liegender Wärmedämmung (Perimeterdämmung)** R_{si} = 0,13 (m²·K)/W 0,01 m Innenputz λ = 0,70 W/(m·K) 0,365 m Kalksandstein (RDK 1,4)[1] λ = 0,70 W/(m·K) Perimeterdämmung[3] Typ PW R_{se} = 0 (m²·K)/W
	51,5	14	–	–	–	0,25	
	53,5	16	–	–	–	0,23	
	57,5	20	–	–	–	0,20	
	61,5	24	–	–	–	0,17	

Zur Berechnung der U-Werte sind ausschließlich Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ_B anzusetzen.
[1] Bei anderen Dicken oder Steinrohdichteklassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.
[2] 9 cm möglich, nach DIN EN 1996-2/NA
[3] Der Zuschlag ΔU = 0,04 W/(m·K) nach allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen ist bereits berücksichtigt.

Tafel 2 **Berechnung des U-Werts von Außenwänden aus homogenen Schichten (Beispiele)**

a) Einschaliges KS-Mauerwerk mit WDVS

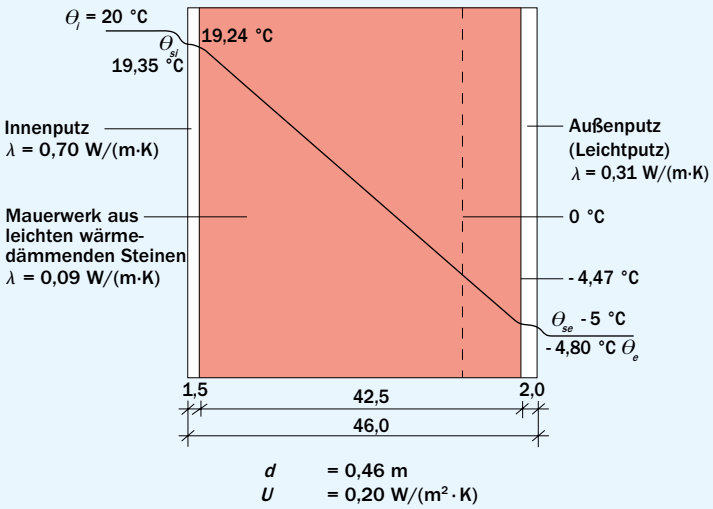


d = 0,34 m
U = 0,20 W/(m² · K)

Aufbau von innen nach außen:

1 cm	Gipsputz (λ = 0,70 W/(m·K))
17,5 cm	Kalksandstein-Mauerwerk der RDK 1,8 (λ = 0,99 W/(m·K))
15 cm	WDVS (Polystyrol EPS 032) (λ = 0,032 W/(m·K))
0,5 cm	Außenputz (λ = 0,70 W/(m·K))

b) Monolithische Außenwand



d = 0,46 m
U = 0,20 W/(m² · K)

Aufbau von innen nach außen:

1,5 cm	Gipsputz (λ = 0,70 W/(m·K))
42,5 cm	Mauerwerk aus leichten wärmedämmenden Steinen mit Leicht- oder Dünnbettmörtel (λ = laut abZ 0,09 W/(m·K))
2,0 cm	Faserleichtputz ≤ 700 kg/m³ (λ = 0,31 W/(m·K))

Berechnung des U-Werts durch Einsetzen in die Formel:

Wand a)
$$U = \frac{1}{0{,}13\ \frac{m^2\cdot K}{W} + \frac{0{,}01\ m}{0{,}70\ \frac{W}{m\cdot K}} + \frac{0{,}175\ m}{0{,}99\ \frac{W}{m\cdot K}} + \frac{0{,}15\ m}{0{,}032\ \frac{W}{m\cdot K}} + \frac{0{,}005\ m}{0{,}70\ \frac{W}{m\cdot K}} + 0{,}04\ \frac{m^2\cdot K}{W}} = 0{,}198\ \frac{W}{m^2\cdot K} \approx 0{,}200\ \frac{W}{m^2\cdot K}$$

Wand b)
$$U = \frac{1}{0{,}13\ \frac{m^2\cdot K}{W} + \frac{0{,}015\ m}{0{,}70\ \frac{W}{m\cdot K}} + \frac{0{,}425\ m}{0{,}09\ \frac{W}{m\cdot K}} + \frac{0{,}02\ m}{0{,}31\ \frac{W}{m\cdot K}} + 0{,}04\ \frac{m^2\cdot K}{W}} = 0{,}201\ \frac{W}{m^2\cdot K} \approx 0{,}20\ \frac{W}{m^2\cdot K}$$

Berechnung des U-Werts mit Hilfe einer geeigneten Arbeitshilfe (z.B. [4])

Einschalige KS-Außenwand mit WDVS

	RDK [–]	d [cm]	λ [W/(m·K)]	d/λ [W/(m²·K)]	θ 20,0
Wärmeübergangswiderstand R_{si} =				0,13	19,36
Innenputz		1,0	0,70	0,014	19,29
Kalksandstein	1,8	17,5	0,99	0,177	18,41
Wärmedämmung		15	0,032	4,688	-4,77
Außenputz		0,5	0,70	0,007	-4,80
Wärmeübergangswiderstand R_{se} =				0,04	-5,0

R = 5,056
U = **0,198**

Monolithische Außenwand

	RDK [–]	d [cm]	λ [W/(m·K)]	d/λ [W/(m²·K)]	θ 20,0
Wärmeübergangswiderstand R_{si} =				0,13	19,35
Innenputz		1,5	0,70	0,021	19,24
Mauerwerk	0,6	42,5	0,09	4,722	-4,47
Außenputz		2,0	0,31	0,065	-4,80
Wärmeübergangswiderstand R_{se} =				0,04	-5,0

R = 4,978
U = **0,201**

Endergebnis: U = 0,198 W/(m²·K)

Endergebnis: U = 0,201 W/(m²·K)

3.3 Wärmemenge, Abschätzung der Brennstoffeinsparung durch energetische Bauteilsanierung

Um den stationären Wärmestrom Φ durch ein Bauteil zu berechnen, wird H mit der Temperaturdifferenz zwischen der Lufttemperatur innen θ_i und der Lufttemperatur außen θ_e multipliziert. Der Bezug des Wärmestroms auf 1 m² durchströmte Bauteilfläche ist die Wärmestromdichte q. Sie ist bei stationären Verhältnissen in jeder Schicht des Bauteils gleich.

$$q = U \cdot (\theta_i - \theta_e) \text{ [W/m²]} \quad (3.6)$$

Das Produkt aus U-Wert, Bauteilfläche, Lufttemperaturdifferenz und Zeitdauer t (in h) ergibt die Wärme- oder Energiemenge Q mit der Einheit Wh oder kWh, die in dieser Zeit durch das Bauteil transportiert wird:

$$Q = U \cdot A \, (\theta_i - \theta_e) \cdot t \text{ [Wh] oder [kWh]} \quad (3.7)$$

Den Ausdruck $(\theta_i - \theta_e) \cdot t$ kann man für alle Tage der Heizperiode, an denen die mittlere Außentemperatur so niedrig liegt, dass geheizt werden muss, aufsummieren und in einem so genannten Gradtagzahlfaktor F_{Gt} ausdrücken. Seit der Energieeinsparverordnung 2007 beträgt für Gebäude F_{Gt} etwa 66.300 Kh/a ≈ 66 kKh/a. In schlechter gedämmten Gebäuden muss an mehr Tagen im Jahr geheizt werden und die Länge der Heizperiode steigt, deshalb ist F_{Gt} für schlechter gedämmte Gebäude größer. Sehr energieeffiziente Gebäude können eine niedrigere Heizgradtagzahl aufweisen. Für Vergleichszwecke wird derzeit noch die Heizgradtagzahl 66 kKh/a verwendet, die zukünftig angepasst werden könnte. Die Anpassung wird auch die schon erfolgte Änderung des Referenzorts von bisher Würzburg auf zukünftig Potsdam berücksichtigen. Bei Sanierungen wird aus diesem Grund die überschläglich ermittelte Energieeinsparung derzeit noch etwas überschätzt.

Zur vereinfachten Abschätzung der Endenergiemenge, die durch eine energetische Sanierung eines Bauteils gegen Außenluft pro Jahr eingespart werden kann, bietet sich die folgende Faustformel an:

$$\text{Brennstoffeinsparung} \approx \Delta U \cdot A \cdot F_{Gt} / (H_i \cdot \eta) \quad (3.8)$$

in Liefereinheiten pro Jahr (z.B. Liter Öl/a bzw. m³ Erdgas/a)

mit

$$\Delta U = U_{vorher} - U_{nachher} \text{ [W/(m²·K)]} \quad (3.9)$$

A = Zu sanierende Bauteilfläche

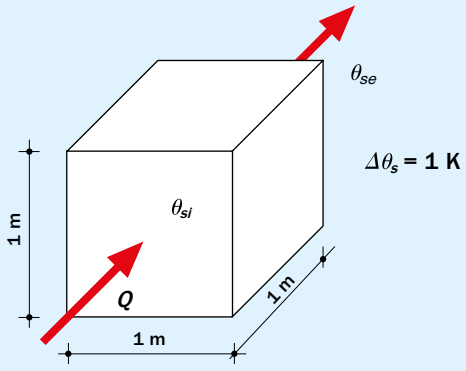
F_{Gt} = Gradtagzahlfaktor; hängt vom Dämmniveau des Gebäudes ab, weil in schlechter gedämmten Gebäuden länger geheizt werden muss. Für Gebäude mit heute üblichem Dämmniveau ist F_{Gt} ca. 66 kKh/a. Für ältere Gebäude, deren Dämmniveau in etwa der WSVO 95 entspricht, kann ein F_{Gt}-Wert von etwa 75 kKh/a angesetzt werden; für Gebäude, die dem Dämmniveau der WSVO 82 oder etwas schlechter entsprechen, ein F_{Gt} von etwa 84 kKh/a.

H_i = Heizwert (Energieinhalt; frühere Bezeichnung: unterer Heizwert H_u) des Energieträgers: z.B. für leichtes Heizöl EL ca. 10 kWh/l, für Erdgas H ca. 10 kWh/m³; für Holzpellets ca. 5 kWh/kg

η = Jahreswirkungsgrad der Heizanlage, wobei mit folgenden Werten gerechnet werden kann: Öl- oder Gasheizung 0,9; Fernwärme 1,0; Holzpelletsheizung 0,8

Beispiel:
Nachträgliche Wärmedämmung von 48 m² Außenwand (36,5 cm Kalksandsteine der RDK 1,4; λ = 0,70 W/(m·K)) mit 14 cm WDVS. U-Wert der Altwand im Ausgangszustand: U_{vorher} = 1,4 W/(m²·K). U-Wert mit zusätzlich 14 cm WDVS und 1 cm Putz: $U_{nachher}$ = 0,21 W/(m²·K). Dämmniveau WSVO 82, Heizung Erdöl bzw. Erdgas. Die mögliche Brennstoffeinsparung durch diese energetische Sanierung ergibt sich überschläglich zu:

Brennstoffeinsparung
≈ (1,38 W/(m²·K) - 0,21 W/(m²·K)) ·
48 m² · 84 kKh/a / (10 kWh/l · 0,9)
≈ 520 Liter Öl bzw. m³ Gas pro Jahr. (3.10)



Die Wärmeleitfähigkeit λ eines Stoffes gibt an, wie viel Wärme pro Zeiteinheit durch 1 m² einer 1 m dicken Schicht des Stoffes strömt, wenn der Unterschied zwischen den Oberflächentemperaturen zu beiden Seiten 1 K beträgt. Je kleiner die Wärmeleitfähigkeit, umso besser dämmt das Material.

mit
θ_{si} = ϑ_{si}: Temperatur der wärmeren Oberfläche
θ_{se} = ϑ_{se}: Temperatur der kälteren Oberfläche
$\Delta\theta_s$ = $\Delta\vartheta_s$: Temperaturdifferenz zwischen den beiden Oberflächen
Q: Wärmestrom

Bild 3 Wärmeleitfähigkeit

3.4 Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit λ eines Stoffes gibt an, wie viel Wärme pro Zeiteinheit durch 1 m² einer 1 m dicken Schicht des Stoffes strömt, wenn der Temperaturunterschied zwischen den Oberflächentemperaturen zu beiden Seiten 1 K beträgt. Sie ist abhängig von Temperatur, Dichte, Feuchte und Struktur des untersuchten Stoffes. Im Bauwesen wird die Wärmeleitfähigkeit für definierte Bedingungen als Stoffkonstante betrachtet. Je kleiner seine Wärmeleitfähigkeit, umso besser dämmt ein Material (Bild 3).

Alle im Rahmen dieses Fachbuchs angegebenen Wärmeleitfähigkeiten sind Bemessungswerte, wenn nicht explizit anders angegeben.

Tafel 3 **Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit und Richtwerte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl von ausgewählten Stoffen nach DIN 4108-4 und DIN EN ISO 10456**

Stoff	Rohdichte[1] ρ [kg/m³]	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m·K)]	Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl[2] μ [–]
1. Kalksandstein-Mauerwerk und Kalksandstein-Produkte			
1.1. Mauerwerk aus Kalksandsteinen und Mauerwerk aus Kalksandsteinen nach EN 771-2 in Verbindung mit DIN V 20000-402	1.200 1.400	0,56 0,70	5/10
	1.600 1.800 2.000 2.200 2.400 2.600	0,79 0,99 1,1 1,3 1,6 1,8	15/25
1.2 Wärmetechnisch optimierte Kalksandsteine (KS-Wärmedämmsteine) nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung	1.000 1.200	0,27 0,33	5/10
2. Putze, Mörtel und Estriche aus DIN 4108-4 und Beton aus DIN EN ISO 10456			
2.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	1.800	1,0	15/35
2.2 Putzmörtel aus Kalkgips, Gips, Anhydrit und Kalkanhydrit	1.400	0,70	10
2.3 Leichtputz	≤ 700 ≤ 1.000 ≤ 1.300	0,25 0,38 0,56	15/20
2.4 Gipsputz ohne Zuschlag	1.200	0,51	10
2.5 Normalmauermörtel NM	1.800	1,2	15/35
2.6 Leichtmauermörtel nach DIN EN 1996-1-1, DIN EN 1996-2	≤ 700 ≤ 1.000	0,21 0,36	15/35
2.7 Dünnbettmörtel DM	1.600	1,0	15/35
2.8 Zementestrich	2.000	1,4	15/35
2.9 Anhydritestrich	2.100	1,2	15/35
2.10 Stahlbeton Bewehrungsgrad 1 % Bewehrungsgrad 2 %	 2.300 2.400	 2,3 2,5	 80/130 80/130
3. Sonstige Stoffe			
3.1 Trockene, ruhende Luft	1,23	0,025	1
3.2 Bauglas (Natronglas einschließlich Floatglas)	2.500	1,0	dampfdicht
3.3 Aluminium und Aluminiumlegierungen	2.800	160	≥ 50 µm dampfdicht
3.4 Stahl	7.800	50	≥ 50 µm dampfdicht
3.5 Edelstahl	7.900	17	≥ 50 µm dampfdicht
3.6 Konstruktionsholz	500 700	0,13 0,18	20/50 50/200
3.7 OSB Platten	650	0,13	30/50
3.8 Spanplatten	600	0,14	15/50

4. Wärmedämmstoffe nach DIN 4108-4

	Typischer Rohdichtebereich[3] ρ [kg/m³]	Typische Wärmeleitfähigkeit[3] Nennwert λ_D [W/(m·K)]	Typische Wärmeleitfähigkeit[3] Bemessungswert λ_B [W/(m·K)]	Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl[2] μ [–]
4.1 Mineralwolle (MW) nach DIN EN 13162	20 – 200	0,031 – 0,034	0,032 – 0,035	1
4.2 Expandiertes Polystyrol (EPS) n. DIN EN 13163	15 – 30	0,031 – 0,034	0,032 – 0,035	20/100
4.3 Extrudiertes Polystyrol (XPS) nach DIN EN 13164	20 – 45	0,034 – 0,039	0,035 – 0,040	80/250
4.4 Polyurethan-Hartschaum (PUR) nach DIN EN 13165[3]	30 – 100	0,021 – 0,029	0,022 – 0,030	40/200
4.5 Phenolharz-Hartschaum (PF) nach DIN EN 13166	40	0,021 – 0,023	0,022 – 0,024	10/60
4.6 Schaumglas (CG) nach DIN EN 13167	90 – 220	0,047 – 0,053	0,048 – 0,055	dampfdicht
4.7 Holzwolle-Leichtbauplatten (WW) nach DIN EN 13168	350 – 600	0,060 – 0,10	0,063 – 0,105	2/5
4.8 Blähperlit (EPB) nach DIN EN 13169	90 – 490	0,045 – 0,070	0,046 – 0,072	5
4.9 Expandierter Kork (ICB) nach DIN EN 13170	10 – 220	0,040 – 0,055	0,049 – 0,068	5/10
4.10 Holzfaserdämmstoff (WF) nach DIN EN 13171	30 – 230	0,037 – 0,043	0,039 – 0,045	5

[1] Die bei den Steinen genannten Rohdichten sind die oberen Grenzwerte aus den Produktnormen.
[2] Beim Nachweis des klimabedingten Feuchteschutzes ist jeweils der für die Baukonstruktion ungünstigere Wert einzusetzen. Anwendung der μ-Werte und Berechnungsverfahren siehe DIN 4108-3.
[3] Werte marktüblicher Produkte [5]

Zur Berechnung des U-Werts werden für die Wärmeleitfähigkeit der Baustoffe nicht Messwerte oder Nennwerte verwendet, sondern so genannte Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit. Sie gelten für den langfristigen Gebrauchszustand des Baustoffes und für baupraktisch zu erwartende Feuchtegehalte. Messwerte hingegen werden an fabrikfrischem und trockenem Material ermittelt.

Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit beinhaltet einen Zuschlag zur Berücksichtigung des praktischen Feuchtegehalts des Materials und des Alterungsverhaltens des Materials, sowie ggf. Sicherheitszuschläge. Bemessungswerte bzw. der Weg zu ihrer Ermittlung werden offiziell festgelegt und veröffentlicht. Die Verwendung von Mess- oder Nennwerten stellt einen Planungsfehler dar. Tafel 3 listet eine Auswahl von Bemessungswerten der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Stoffe und Richtwerte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl der Stoffe auf.

Die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit für die Anwendung in Deutschland sind nach folgenden Dokumenten zu ermitteln:

- Für Bauprodukte mit CE-Zeichen: Die Umrechnung der vom Hersteller deklarierten Nennwerte (siehe z.B. Etikett) in Bemessungwerte erfolgt anhand der Vorgaben in DIN 4108-4: 2017-03.
- Für Bauprodukte ohne CE-Zeichen werden die Bemessungswerte entnommen aus
  - einer Zustimmungen im Einzelfall (Z.i.E., sofern erteilt) der Obersten Baubehörde des Bundeslandes,
  - einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ; sofern erteilt) oder einer Bauartgenehmigung (sofern erteilt) des DIBt,
  - einer europäischen technischen Zulassungen (ETA; sofern erteilt),
  - einem begleitenden Übereinstimmungszertifikat einer anerkannten Stelle (sofern erteilt),
  - oder den Tabellen in DIN 4108-4 und DIN EN ISO 10456.

3.5 Wärmeleitfähigkeit von Kalksandstein-Mauerwerk nach harmonisierten europäischen Normen

Die Bemessungswerte für Mauerwerk aus Kalksandsteinen sind in DIN 4108-4 tabelliert und können wie dort angegeben verwendet werden. Eine weitere Umrechnung durch den Planer ist nicht erforderlich.

Für KS-Wärmedämmsteine sind die deklarierten Nennwerte der Wärmeleitfähigkeit nach den Verfahren der DIN EN 1745 in Verbindung mit der Produktnorm DIN EN 771-2 zu bestimmen. Die Umrechnung des Nennwerts der Wärmeleitfähigkeit von KS-Wärmedämmsteinen in den Bemessungswert erfolgt gemäß DIN 4108-4 Anhang A und DIN EN 1745. Üblicherweise geben die Hersteller von KS-Wärmedämmsteinen aber den Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit mit an, eine weitere Umrechnung durch den Planer ist dann nicht erforderlich.

Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von KS-Wärmedämmsteinen beträgt üblicherweise 0,33 W/(m·K).

INFO

Die Bemessungswerte für Mauerwerk aus Kalksandsteinen sind in DIN 4108-4 tabelliert. Eine weitere Umrechnung durch den Planer ist nicht erforderlich.

3.6 Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen nach den harmonisierten europäischen Normen DIN EN 13162 bis DIN EN 13171

In DIN 4108-4 ist beschrieben, wie bei Dämmstoffen für den Hochbau nach harmonisierten europäischen Produktnormen der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit für die Anwendung in Deutschland festgelegt wird.

3.6.1 Nennwert der Wärmeleitfähigkeit

Der Nennwert der Wärmeleitfähigkeit (declared value mit Index „D“) wird nach europäisch standardisierten Mess- und Statistikverfahren aus einzelnen Labormesswerten der Wärmeleitfähigkeit bestimmt und vom Hersteller oder von einem Prüfinstitut festgelegt. Er stellt die vom Hersteller zugesicherte Eigenschaft des gehandelten Dämm- oder Baustoffes dar, unter den in den Messvorschriften genannten Laborbedingungen und für neues, trockenes Material. Er ist immer auf dem Dämmstoffetikett bzw. in der Leistungserklärung des Herstellers angegeben.

3.6.2 Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit

Die „Einsatztemperatur“ und bei vielen Stoffen auch die Material- und Umgebungsfeuchte können einen deutlichen Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit haben, weshalb das spätere Dämmverhalten des Materials im Gebäude schlechter als der deklarierte Nennwert sein kann. Der U-Wert eines Bauteils soll aber dem langjährigen Gebrauchszustand des Dämm- oder Baustoffes im tatsächlichen Gebäude entsprechen. Deshalb wird der Nennwert auf einen gebrauchstypischen Zustand umgerechnet, den so genannten Bemessungswert. Ausschließlich dieser Wert ist für wärmeschutztechnische Bemessungen heranzuziehen – daher der Name Bemessungswert. Im Rahmen der Energieeinsparverordnung werden U-Werte immer mit Bemessungswerten der Wärmeleitfähigkeit berechnet.

Nachdem der Hersteller aber nicht unbedingt weiß, unter welchen klimatischen Bedingungen sein Produkt eingesetzt wird, vor allem bei international gehandelten Dämmstoffen für unterschiedliche Einsatzbereiche, muss er in seiner Leistungserklärung nur den Nennwert zusichern. Sofern möglich, darf er den zugehörigen Bemessungswert auf dem Dämmstoffetikett und in seiner Technischen Dokumentation mit angeben. Ist der Bemessungswert nicht angegeben, wäre es Aufgabe und Verantwortung des Planers, aus dem deklarierten Nennwert den für das jeweilige Material und den jeweiligen Einsatzort (geographisch und im Gebäude) zutreffenden Bemessungswert zu ermitteln, bevor er damit U-Wert- oder Energiebedarfsberechnungen durchführt. Es ist aber davon auszugehen, dass die Hersteller zumindest in ihrer technischen Dokumentation, überwiegend aber auch auf dem Etikett den Bemessungswert an-

geben – dann kann der Bemessungswert ohne weitere eigene Umrechnung direkt verwendet werden.

3.6.3 Zulassung versus Bauartgenehmigung

Die deutschen Rechtsvorschriften sehen seit Januar 2018 eine strikte Abgrenzung zwischen nationalen Anforderungen an Bauprodukte – soweit europarechtlich zulässig – und nationalen Regelungen für das Zusammenfügen von Bauprodukten zu baulichen Anlagen, so genannte Bauarten, vor [6].

INFO

Europäisch harmonisierte Bauprodukte haben ihre produktbezogenen Anforderungen in der jeweiligen europäischen Produktnorm geregelt, tragen ein CE-Zeichen und erhalten keine zusätzliche allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) oder Zustimmung im Einzelfall (Z.i.E.) mehr.

Europäisch harmonisierte Bauprodukte und Wärmedämmstoffe werden seit Januar 2018 nur noch nach den Vorgaben ihrer europäischen Produktnorm geregelt. Ihr Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit errechnet sich aus dem (vom Hersteller deklarierten) Nennwert der Wärmeleitfähigkeit (Tafeln 3 und 4).

Diese Vorgehensweise ist baurechtlich verankert in der der Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), und gilt ab Einführung der jeweiligen Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VV TB) im jeweiligen Bundesland. Die VV TB soll spätestens im Laufe des Jahres 2018 in allen Bundesländern eingeführt werden. Bis dahin besteht 2018 eine Art Doppelzustand: In jenen Bundesländern, welche die VVTB schon eingeführt haben, gelten die oben genannten Regelungen, und der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit errechnet sich gemäß DIN 4108-4 aus dem Nennwert (Tafel 4). In jenen Bundesländern, in welchen die VV TB noch nicht eingeführt ist, gelten übergangsweise und wie bisher die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen weiter, inklusive der darin festgelegten Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit. In der Praxis wird es kaum zu Konflikten mit Bemessungswert-Unterschieden zwischen beiden Verfahren kommen, weil es sich bei den überwiegend eingesetzten Dämmstoffen um nicht-hygroskopische Materialien handelt und bei diesen auch bisher schon derselbe Aufschlag vom Nenn- zum Bemessungswert verwendet wurde wie jetzt in DIN 4108-4.

Nationale Anforderungen an europäisch nicht harmonisierte Wärmedämmstoffe, also solche ohne CE-Zeichen, werden weiterhin in einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) oder in einer Zustimmung in Einzelfall geregelt (Z.i.E.). Anforderungen an die Bauart, d.h. an das Zusammenfügen mehrerer Bauprodukte zu einem Bauteil, werden in allgemeinen oder einzelfallbezogenen Bauartgenehmigungen gestellt. Beide Funktionen können in einem gemeinsamen Bescheid des DIBt zusammengefasst werden, der dann eine Doppelfunktion hat. Bestehende allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen von vor Mitte Juli 2017, die neben bauproduktbezogenen Regelungen auch bauartbezogene Regelungen beinhalten, erhalten diese Doppelfunktion automatisch, ohne dass „Bauartgenehmigung“ in der Zulassung explizit auftauchen muss.

Tafel 4 Umrechnung von Nenn- zum Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von europäisch harmonisierten Dämmstoffen (Dämmstoffe mit CE-Zeichen) nach DIN 4108-4:2017-03 [7]

Dämmstoffe bzw. Dämmschichten in Mehrschichtplatten	Umrechnungsfaktor vom Nennwert λ_D auf Bemessungswert λ_B	Mindestzuschlag (resultierender Mindestzuschlag) [W/(m·K)]	Wertebereich für Nennwert λ_D [W/(m·K)]	Wertebereich für Bemessungswert λ_B [W/(m·K)]	Zeilennummern in DIN 4108-4: 2017-03, Tabelle 2
Nicht-hygroskopische Dämmstoffe: ■ Mineralwolle ■ EPS ■ XPS ■ PU ■ PF-Schaum ■ Schaumglas ■ Blähperlit	$\lambda_B = 1{,}03 \cdot \lambda_D$	0,001	0,020–0,070	0,021–0,072	5.1–5.6, 5.8, 5.13, 5.14, 5.17
Hygroskopische Dämmstoffe: ■ Holzfaser ■ Holzwolle ■ Blähton	$\lambda_B = 1{,}05 \cdot \lambda_D$	0,002	0,032–0,13	0,034–0,14	5.7.1, 5.10, 5.15
PU-Ortschaum PIR-Ortschaum	$\lambda_B = 1{,}10 \cdot \lambda_D$	0,003	0,020–0,040	0,023–0,044	5.12, 5.19
Holzwolle-Deckschicht in Holzwolle-mehrschichtplatten ■ Vermiculit ■ PE-Schaum	$\lambda_B = 1{,}20 \cdot \lambda_D$	(0,007)	0,035–0,14	0,042–0,17	5.7.2, 5.16, 5.18
Expandierter Kork	$\lambda_B = 1{,}23 \cdot \lambda_D$	(0,009)	0,040–0,055	0,049–0,068	5.9

3.6.4 Umrechnung des Nennwerts in einen Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit

Die DIN 4108-4 nennt in ihrer Tabelle 2, Wärmedämmstoffe nach harmonisierten Europäischen Normen, als Ausgangswert den in den europäischen Dämmstoffnormen definierten Nennwert der Wärmeleitfähigkeit λ_D. Er wird vom Hersteller deklariert und basiert auf eigenen Messungen des Herstellers (Eigenüberwachung) und fremden Messungen (Prüf- und Überwachungsstelle), einer anschließenden statistischen Auswertung zum so genannten $\lambda_{90/90}$-Wert, und einer Rundung auf zwei kennzeichnende Stellen.

Auf diesen Nennwert λ_D wird jeweils ein stoffgruppenspezifischer Zuschlag aufgeschlagen, um vom Nennwert zum Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit zu kommen. Nachdem der Einfluss der Materialfeuchte auf den Wärmedurchgang erheblich ist, orientiert sich die Unterscheidung zwischen den Dämmstoffgruppen schwerpunktmäßig an der Frage, wie hygroskopisch der Stoff ist, aber auch z.B. an Überlegungen zur erreichbaren Gleichmäßigkeit der Herstellung. Den Zuschlägen liegen umfangreiche Studien und Auswertungen mehrerer Eigen- und Fremdüberwacher von insgesamt mehr als 10.000 Messwerten verschiedener Hersteller zugrunde. Tafel 4 stellt die zu verwendende Umrechnung nach DIN 4108-4:2017-03 dar und gibt typische Wertebereiche der Nenn- und Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit für die verschiedenen Dämmstoffe an.

Gibt es für einen Dämmstoff eine harmonisierte europäische Produktnorm, dann tragen die Produkte ein CE-Zeichen und der Hersteller gibt den Nennwert λ_D der Wärmeleitfähigkeit in der Leistungserklärung bzw. auf dem Dämmstoffetikett an. Gibt er außerdem den Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit an, kann dieser vom Planer so übernommen und ohne weitere Umrechnung weiterverwendet werden. Gibt der Hersteller den Bemessungswert nicht an, sondern nur den Nennwert, ist für die Umrechnung vom Nenn- zum Bemessungswert der Planer, Bauunternehmer oder Bauherr zuständig. Der Nennwert muss mit dem passenden Zuschlagsfaktor aus Tafel 4 multipliziert werden (bzw. um den Mindestzuschlag erhöht werden, wenn der Umrechnungsfaktor zu einer geringeren Erhöhung als der Mindestzuschlag führen sollte).

INFO

Die Verwendung von Nennwerten statt Bemessungswerten der Wärmeleitfähigkeit von Wärmedämmstoffen für wärmeschutztechnische Berechnungen stellt einen Planungsfehler dar.

3.7 Perimeterdämmung

Als Perimeterdämmung wird die außenseitige Wärmedämmung von erdberührten Bauteilen, wie Kellerwänden und Kellerböden bezeichnet. Dabei wird der Wärmedämmstoff auf der Außenseite des Bauteils außerhalb der Bauwerksabdichtung angebracht. Der Wärmedämmstoff ist in dieser Anwendung ständig in Kontakt mit dem anstehenden Erdreich, mit Erdfeuchte und Niederschlagswasser, dem Erddruck und bei manchen Anwendungsfällen auch mit dem Grundwasser. Deshalb werden an die Dämmstoffe für diese Anwendung hohe Anforderungen gestellt [5]. Der Vorteil der Perimeterdämmung ist, dass Tauwasserausfall auf der Innenseite der Kellerwand und des Kellerbodens verhindert, die Bauwerksabdichtung mechanisch geschützt, Wärmebrücken vermieden und die Energieverluste gesenkt werden. Perimeterdämmungen sind unter bestimmten Randbedingungen genormt oder in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) bzw. Europäischen Technischen Zulassungen (ETA) sowie Bauartgenehmigungen geregelt.

In ständig drückendem Wasser dürfen derzeit nur Schaumglas (bis 12 m Tiefe) und XPS (bis 7 m Tiefe) eingesetzt werden. Außer bei Schaumglas muss der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit für Perimeterdämmung feuchtekorrigiert werden, um den Feuchteeinfluss auf die Dämmung zu berücksichtigen. Bei expandiertem Polystyrol (EPS) und Polyurethan (PU) muss der Feuchteeinfluss immer berücksichtigt werden, bei XPS nur beim Einsatz im Grundwasser. Weitergehende Festlegungen finden sich in den entsprechenden Technischen Baubestimmungen der Produkte und Bauarten.

Unter der tragenden Gründungsplatte dürfen nur spezielle Qualitäten von Schaumglas, XPS-Hartschaum und EPS-Hartschaum eingesetzt werden, die dafür geeignet und bauaufsichtlich zugelassen sind. Unter Streifenfundamenten darf keine Dämmung angeordnet werden, da die Dämmstoffe dafür nicht ausreichend tragfähig sind. Die senkrechte Perimeterdämmung der erdberührten Außenwand und die waagerechte Perimeterdämmung unter einer lastabtragenden Bodenplatte/Sohlplatte können lückenlos ineinander übergehen, d.h. das Prinzip „durchgehende Dämmebene“ zur Verminderung von Wärmebrücken kann für so geplante Neubauten gut eingehalten werden. Die Wärmeverluste an solchen lückenlosen Anschlüssen sind deutlich geringer als bei perimetergedämmten Bodenplatten auf Streifenfundamenten, bei denen das Streifenfundament notwendigerweise die (im anderen Fall durchgehende) Dämmhülle unterbricht.

3.8 Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten

Zur Berechnung des U-Werts eines Bauteils werden nicht nur Wärmedurchlasswiderstände von Materialschichten, sondern auch von innenliegenden Luftschichten angesetzt. Tabellen und Formeln dazu finden sich in DIN EN ISO 6946. Die Norm differenziert Lufträume in Bauteilen nach ihren Abmessungen:

- Luftschichten, deren Breite und Länge jeweils mehr als das Zehnfache ihrer in Wärmestromrichtung gemessenen Dicke beträgt, und diese wiederum in
  - ruhende Luftschichten,
  - schwach belüftete Luftschichten,
  - stark belüftete Luftschichten
- Luftspalten, deren Breite oder Länge mit ihrer Dicke vergleichbar ist

Sehr schmale Luftspalte in Wärmestromrichtung, wie beispielsweise die kleinen Spalte in der Nut-und-Federausbildung von Mauersteinen, mit Breite oder Länge deutlich kleiner als die Dicke, werden von DIN EN ISO 6946 nicht erfasst.

Luftschichten werden in DIN EN ISO 6946 nach der Art ihrer Belüftung unterschieden.

3.8.1 Ruhende Luftschicht, z.B. Fingerspalt in zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung

Eine ruhende Luftschicht ist von der Umgebung so abgeschlossen, dass der Querschnitt eventuell vorhandener Öffnungen 500 mm² pro Meter Länge nicht überschreitet und kein Luftstrom durch die Schicht möglich ist. Einzelne unvermörtelte Stoßfugen als Entwässerungsöffnungen in Vormauerschalen erfüllen diese Forderungen. Sind sie die einzigen Öffnungen in der Vormauerschale, gilt die Luftschicht dahinter als ruhend und darf bei der Ermittlung des U-Werts vollständig angesetzt werden. Der Fingerspalt bei der Wärmedämmung wird in der Regel als ruhende Luftschicht ausgebildet und trägt einen Wärmedurchlasswiderstand von $R = 0{,}15$ m²·K/W (bei 10 mm Dicke entspricht das der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit 0,067 W/(m·K)) zum U-Wert der wärmegedämmten Wand bei. Der Wärmedurchlasswiderstand ruhender Luftschichten ist je nach Dicke, Neigung und Wärmestromrichtung unterschiedlich. Neigungen von über 60° gegenüber der Waagerechten zählen als senkrechte, geringere Neigungen als waagerechte Luftschicht. Die in der Norm tabellierten Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit von Luftschichten berücksichtigen neben dem Wärmetransport in der stehenden Luft selbst auch den Wärmetransport durch Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) und durch Luftbewegung (Eigenkonvektion) innerhalb des Hohlraums. Wenn in einem Berechnungsprogramm für den U-Wert nur die Wärmeleitfähigkeit der Schichten eingegeben werden kann, muss diese „rückwärts“ als Quotient aus ihrer Dicke d und ihrem Wärmedurchlasswiderstand R berechnet werden:

$$\lambda_{eq,i} = d_i / R_i \ [\mathrm{W/(m \cdot K)}] \qquad (3.11)$$

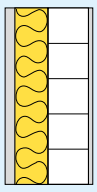
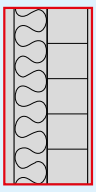
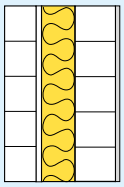
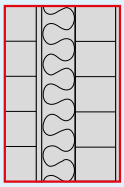
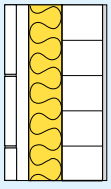
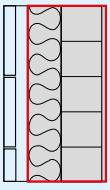
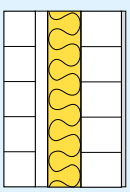
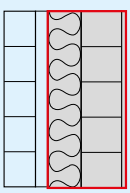
Bereits ausgerechnete Werte sind in Tafel 5 angegeben.

Tafel 5 Bemessungswerte des Wärmedurchlasswiderstandes R und der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit λ_{eq} von ruhenden Luftschichten nach DIN EN ISO 6946, für angrenzende Oberflächen aus üblichen Baustoffen (Emissionskoeffizienten $\varepsilon = 0{,}9$ beider angrenzenden Oberflächen)

Dicke der Luftschicht [mm]	Richtung des Wärmestroms					
	aufwärts		horizontal		abwärts	
	R [m²·K/W]	λ_{eq} [W/(m·K)]	R [m²·K/W]	λ_{eq} [W/(m·K)]	R [m²·K/W]	λ_{eq} [W/(m·K)]
0	0,00	–	0,00	–	0,00	–
5	0,11	0,045	0,11	0,045	0,11	0,045
7	0,13	0,054	0,13	0,054	0,13	0,054
10	0,15	0,067	0,15	0,067	0,15	0,067
15	0,16	0,094	0,17	0,082	0,17	0,082
25	0,16	0,16	0,18	0,14	0,19	0,13
50	0,16	0,31	0,18	0,28	0,21	0,24
100	0,16	0,63	0,18	0,56	0,22	0,45
300	0,16	1,88	0,18	1,67	0,23	1,30

Für Luftschichtdicken zwischen den angegebenen Werten darf linear interpoliert werden.

Tafel 6 Thermisch wirksame Schichten und Wärmeübergangswiderstände verschiedener Außenwandkonstruktionen

Bauteil	Systemskizze	Thermisch wirksame Schichten	Wärmeübergangswiderstand außen R_{se}	Wärmeübergangswiderstand innen R_{si}	Luftschicht
KS-Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem			0,04	0,13	–
Zweischalige KS-Außenwand mit Fingerspalt oder stehender Luftschicht			0,04	0,13	ruhend
Hinterlüftete KS-Außenwand nach DIN 18516-1			0,13	0,13	stark belüftet
Zweischalige KS-Außenwand mit Hinterlüftung nach den Regeln der alten DIN 1053-1			0,13	0,13	stark belüftet

3.8.2 Schwach belüftete Luftschicht

Schwach belüftete Luftschichten haben Öffnungen zwischen 5 und 15 cm² je Meter Länge. Die Belüftung der Schicht hängt direkt mit der Größe und der Verteilung der Öffnungen zusammen. Näherungsweise kann der Wärmedurchlasswiderstand eines Bauteils mit einer solchen Luftschicht nach der folgenden Formel berechnet werden:

$$R_T = \frac{1.500 - A_V}{1.000} \cdot R_{T,u} + \frac{A_V - 500}{1.000} \cdot R_{T,v} \text{ [W/(m²·K)]} \quad (3.12)$$

mit

A_V Querschnittsfläche der Öffnung in mm², zwischen 500 und 1.500 mm²

$R_{T,u}$ Wärmedurchlasswiderstand des gesamten Bauteils mit einer ruhenden Luftschicht (R-Wert siehe Tafel 5)

$R_{T,v}$ Wärmedurchlasswiderstand des gesamten Bauteils mit einer stark belüfteten Luftschicht (siehe folgenden Abschnitt 3.8.3)

Damit nimmt die leicht belüftete Luftschicht als Grenzfall entweder die Wärmeleitfähigkeit einer nicht belüfteten Luftschicht an (bei Öffnungsfläche 500 mm²; siehe 3.8.1) oder wird als anderer Grenzfall inklusive der weiter außen liegenden Schichten nicht weiter berücksichtigt (bei Öffnungsfläche 1.500 mm²; siehe 3.8.3) Als gute Näherung für den Wärmedurchlasswiderstand einer schwach belüfteten Luftschicht kann alternativ ein Wert verwendet werden, der halb so groß ist wie für eine ruhende Luftschicht. Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit beträgt damit das Doppelte wie für eine ruhende Luftschicht gleicher Dicke.

3.8.3 Stark belüftete Luftschicht

Wenn der Querschnitt der Öffnungen 15 cm² je Meter Länge überschreitet, gelten Luftschichten als stark belüftet. Beispiele hierfür sind Luftschichten hinter vorgehängten hinterlüfteten Fassaden (VHF), Luftschichten in zweischaligen Wänden mit Wärmedämmung oder Hinterlüftungsebenen im Dach. Solche Luftschichten sowie alle Bauteilschichten, die außerhalb (kaltseitig) dieser Schicht angeordnet sind, werden bei der Berechnung des U-Werts nicht weiter berücksichtigt. Stattdessen wird für den äußeren Wärmeübergangswiderstand R_{se} – an der Warmseite der Hinterlüftungsebene – der Wert für ruhende Luft verwendet, also der Wert des raumseitigen Wärmeübergangswiderstandes R_{si} (Tafel 6).

3.9 Wärmeübergangswiderstände

Bei der U-Wert-Berechnung werden für die Wärmeübergangswiderstände an der inneren Bauteiloberfläche (R_{si}) und der äußeren Bauteiloberfläche (R_{se}) die tabellierten Bemessungswerte aus DIN EN ISO 6946 verwendet. Dabei wird nach der Richtung des Wärmestroms unterschieden. Geneigte Bauteile und Dächer mit einer Neigung kleiner als 60° gegenüber der Waagerechten werden wie waagerechte Bauteile behandelt. Ist die Neigungen 60° oder größer, dann werden sie wie senkrechte Bauteile behandelt. Tafel 7 sowie Bild 4 zeigen die Zuordnung der jeweils zu verwendenden Werte für einzelne Bauteile, abhängig von der baulichen Situation für den Winterfall (Wärmestromrichtung von innen nach außen). Für Bauteile im Inneren des Gebäudes, die Teil der thermischen Gebäudehülle sind, wird auf beiden Seiten der gleiche Wärmeübergangswiderstand R_{si} angesetzt. Gleiches gilt für stark belüfteten Luftschichten.

Tafel 7 Bemessungswerte der Wärmeübergangswiderstände für die Berechnung des U-Werts nach DIN EN ISO 6946 für verschiedene Bauteile, für den Winterfall (Wärmestromrichtung von innen nach außen)

Zeile	Bauteil	Wärmeübergangswiderstand	
		innen R_{si} [m²·K/W]	außen R_{se} [m²·K/W]
1	Außenwände (ausgenommen Außenwände aus Zeile 2); nicht hinterlüftete geneigte Dächer mit Neigung ≥ 60°	0,13	0,04
2	Außenwände mit einer hinterlüfteten Bekleidung, Abseitenwände zum ungedämmten Dachraum; hinterlüftete geneigte Dächer mit Neigung ≥ 60°	0,13	0,13
3	Wohnungstrennwände, Treppenhauswände, Wände zwischen unabhängigen Räumen, Trennwände zu dauernd unbeheizten Räumen, Abseitenwände zu gedämmten Dachräumen	0,13	0,13
4	Außenwände, die an das Erdreich grenzen	0,13	0
5	Decken oder geneigte Dächer mit einer Neigung < 60°, die Aufenthaltsräume gegen Außenluft abgrenzen; unbelüftete Flachdächer	0,10	0,04
6	Decken unter Spitzböden und nicht ausgebauten Dachräumen; Decken unter belüfteten Räumen	0,10	0,10
7	Wohnungstrenndecken und Decken zwischen unabhängigen Räumen Wärmestromrichtung nach oben Wärmestromrichtung nach unten	 0,10 0,17	 0,10 0,17
8	Kellerdecken	0,17	0,17
9	Decken, die Räume nach unten gegen Außenluft abgrenzen	0,17	0,04
10	An das Erdreich grenzender unterer Abschluss eines Aufenthaltsraums	0,17	0

Für die Überprüfung eines Bauteils hinsichtlich Kondensat- oder Tauwasserausfall nach DIN 4108-3 (klimabedingter Feuchteschutz) bzw. DIN 4108-2 Abschnitt 6 (Wärmebrücken) gelten jeweils die dort angegebenen Wärmeübergangswiderstände.
Für Bauteile mit wechselnder Wärmestromrichtung (z.B. bei einer dynamischen Gebäudesimulation für den Sommerfall) oder für Bauteile, deren Einbaulage nicht vorab bekannt ist, wird empfohlen, die Wärmeübergangswiderstände wie für Wände zu verwenden.

Hier darf an der Außenseite der letzten wärmetechnisch wirksamen Schicht (d.h. an der Warmseite der Hinterlüftungsebene) der Wärmeübergangswiderstand der Innenoberfläche angesetzt werden; alle weiteren kaltseitigen Schichten bleiben unberücksichtigt.

Für Flächen gegen Erdreich und andere Flächen mit direktem Kontakt zu Feststoffen beträgt der Wärmeübergangswiderstand 0 (Null). Für wechselnde Wärmestromrichtungen (z.B. bei einer dynamischen Gebäudesimulation für den Sommerfall) oder für den U-Wert von Bauteilen, deren Einbaulage nicht vorab bekannt ist, wird empfohlen, die Werte wie für senkrechte Wände zu verwenden. Für die Überprüfung eines Bauteils auf Kondensat- oder Tauwasserausfall nach DIN 4108-3 (klimabedingter Feuchteschutz) bzw. DIN 4108-2 Abschnitt 6 (Wärmebrücken) gelten jeweils die dort angegebenen Wärmeübergangswiderstände. Zum direkten Vergleich der Dämmleistung von Bauteilen empfiehlt es sich, statt des U-Werts den Wärmedurchlasswiderstand der Bauteile zu verwenden, da er unabhängig von der Wärmestromrichtung ist.

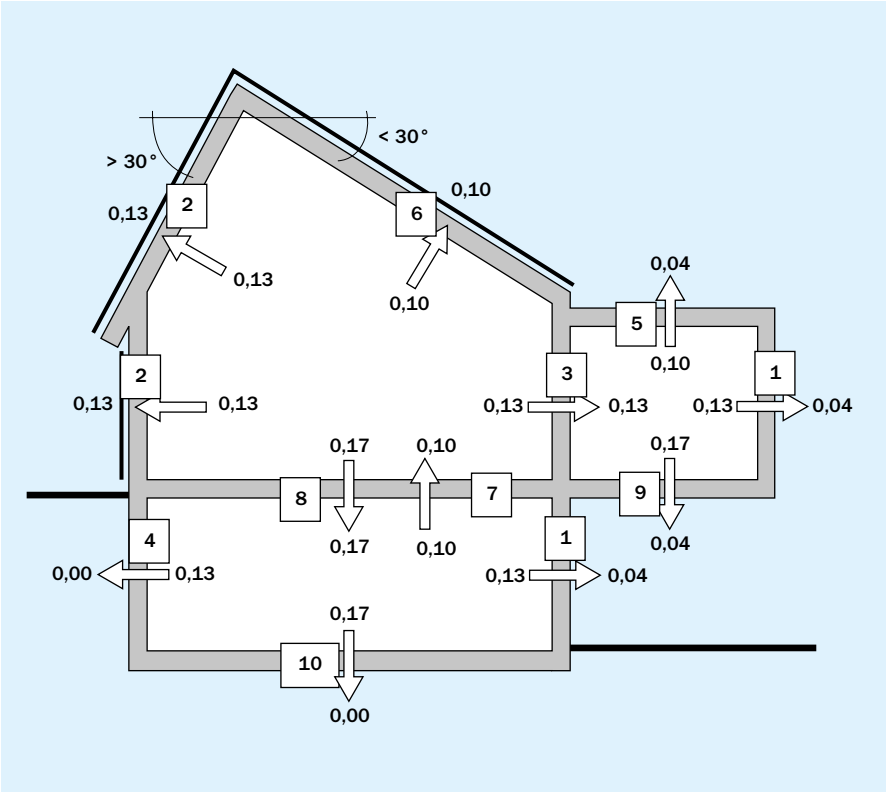


Bild 4 **Bemessungswerte der Wärmeübergangswiderstände für die Berechnung des U-Werts nach DIN EN ISO 6946 für verschiedene Bauteile (Wärmestromrichtung von innen nach außen). Die Zahlen in den Kästchen verweisen auf die Zeilennummern aus Tafel 7.**

3.10 U-Wert von Bauteilen aus homogenen und inhomogenen Schichten

Besteht das Bauteil aus homogenen und inhomogenen Schichten, bzw. hat es unterschiedliche nebeneinanderliegende Bereiche (z.B. Sparren und Gefach bei Dachstühlen; Betonstützen in einer Mauerwerkswand), muss zur Berechnung des U-Werts das so genannte „vereinfachte Verfahren“ nach DIN EN ISO 6946 angewendet werden. Die früher übliche, flächenanteilige Mittelung der U-Werte nebeneinanderliegender Bereiche ist nicht zulässig und stellt einen Planungsfehler dar: die flächenanteilige Mittelung z.B. bei Sparren oder Stützen liefert zu niedrige und damit zu günstige U-Werte.

Der Ablauf des vereinfachten Verfahrens ist wie folgt:

- Berechnung eines flächenanteilig gemittelten R-Werts des Bauteils, aus den jeweiligen R-Werten der nebeneinanderliegenden Bereiche, als obere Grenze des „wahren“ R-Werts, d.h. die Querwärmeleitung zwischen den benachbarten Bereichen wird vollständig vernachlässigt

- Berechnung des R-Werts des Bauteilaufbaus, wobei die Wärmeleitfähigkeiten der nebeneinanderliegenden inhomogenen Bereiche innerhalb der jeweiligen Schicht flächenanteilig gemittelt werden, als untere Grenze des „wahren“ R-Werts, d.h. die Querwärmeleitung zwischen den benachbarten Bereichen wird maximiert.

- Mittelwertbildung zwischen der unteren und oberen Grenze

- Kehrwertbildung liefert den zutreffenden U-Wert des Bauteils

Die Berechnung des U-Werts eines zusammengesetzten Bauteils bzw. eines Bauteils aus homogenen und inhomogenen Schichten nach DIN EN ISO 6946 erfolgt sinnvollerweise mit einer Tabellenkalkulation oder einem Berechnungsprogramm [4, 8]. Das vereinfachte Verfahren der Norm ist auf den ersten Blick zwar nicht wirklich „einfach“, aber es ist sehr wohl erheblich vereinfacht im Vergleich zu einer genauen, zwei- oder dreidimensionalen Wärmebrückenberechnung, welche ansonsten zur Bestimmung des U-Werts eines solchen Bauteils eingesetzt werden müsste. Nicht anwendbar ist das vereinfachte Verfahren, wenn die Dämmschichten eine Wärmebrücke aus Metall enthalten oder nebeneinanderliegende Bereiche sehr unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten besitzen (z.B. Betonstützen zwischen Wärmedämmung). Genauere Werte des Wärmedurchgangskoeffizienten erhält man durch numerische Verfahren nach DIN EN ISO 10211. Solche computergestützten Berechnungen sind zur Ermittlung der Oberflächentemperaturen an Wärmebrücken und somit zur Bewertung des Kondensat- und Schimmelrisikos erforderlich.

3.11 U-Wert-Korrekturen

Der berechnete Wärmedurchgangskoeffizient U ist entsprechend der nachfolgenden Formel aus DIN EN ISO 6946 zu erhöhen, um die Einflüsse der Luftspalte in der Dämmebene (Index g für gaps), mechanischen Befestigungselementen (Index f für fasteners) und Unterlaufen von Umkehrdämmungen durch Regen (Index r für rain) zu berücksichtigen. Für die Berechnung des Energiebedarfs wird dann der U-Wert U_C inklusive der Korrekturen verwendet. Die Korrekturen treten in der Regel nicht gleichzeitig für dasselbe Bauteil auf, sondern kommen meist in unterschiedlichen Bauteilsituationen zum Tragen. Ist die Gesamtkorrektur für alle drei Aspekte zusammen geringer als 3 % des U-Werts im ungestörten Bereich, so braucht nicht korrigiert zu werden.

$$U_c = U + \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r \ [\mathrm{W/(m^2 \cdot K)}] \qquad (3.13)$$

3.11.1 U-Wert-Korrektur für mechanische Befestiger und punktuelle Wärmebrückeneinflüsse

Das U-Wert-Korrekturverfahren für punktförmige mechanische Befestiger und andere punktförmige Wärmebrücken kommt in Deutschland kaum zur Anwendung, z.B. weil deren Einfluss numerisch bestimmt und dann mittels Befestigeranzahl mal χ-Wert eingerechnet wird, oder einzelne punktförmige Wärmebrücken beim EnEV-Nachweis vernachlässigt werden dürfen. Genaueres hierzu erläutert Abschnitt 6. Hinweise zu den im Energiebedarf vernachlässigbaren, punktförmigen Wärmebrücken finden sich in Abschnitt 5 sowie in DIN 4108 Beiblatt 2 [9].

3.11.2 U-Wert-Korrektur für Luftspalte in der Dämmebene

Die Korrektur für Luftspalte in der Dämmebene kommt nicht zum Tragen, wenn keine oder nur kleine, vereinzelte Luftspalte zwischen den Dämmplatten oder zwischen den Dämmplatten und den angrenzenden Baustoffen vorhanden sind. Dies ist u.a. dann anzunehmen, wenn

- einlagig verlegte Dämmplatten mit Stufenfalzen oder Nut-und-Feder-Verbindungen oder abgedichteten Fugen versehen sind, oder wenn
- einlagig verlegte Dämmplatten mit stumpfen Stößen so verlegt sind, dass nur Spalten von weniger als 5 mm Breite zwischen den Dämmplatten auftreten (oder eventuell auftretende, breitere Spalten mit Dämmstoff verfüllt werden), oder wenn
- die Dämmung mehrlagig mit versetzten Fugen verlegt ist, und in allen Fällen die Dämmung guten Kontakt zum Bauwerk aufweist.

Bei der Planung von Gebäuden darf davon ausgegangen werden, dass die spätere Ausführung fachgerecht (d.h. spaltenfrei) erfolgt. Bei fachgerechter Ausführung von Dämmarbeiten werden üblicherweise die vorgenannten Bedingungen eingehalten; somit ist in der Planung keine Korrekturnotwendigkeit für Luftspalte gegeben. Eine nachträgliche Korrektur des U-Werts ist dann durchzuführen, wenn die Ausführung in dieser Hinsicht nicht fachgerecht erfolgte.

3.11.3 U-Wert-Korrektur bei Umkehrdächern

Die Korrektur für das Unterlaufen der Umkehrdämmung durch Regenwasser erfolgt nur dann, wenn der Effekt nicht schon im Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes enthalten ist. Abweichend vom Korrekturverfahren der DIN EN ISO 6946 erfolgt in Deutschland die Bestimmung des Bemessungswerts des Wärmedurchgangskoeffizienten nach den Festlegungen in den technischen Spezifikationen des betreffenden Dämmstoffes bzw. Dachaufbaus, z.B. in einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung oder Bauartgenehmigung bzw. nach DIN 4108-2 Abschnitt 5.3.3.

3.11.4 R_{se} - bzw. R_{si} - Korrektur bei Vorsprüngen

Nach DIN EN ISO 6946 dürfen Vorsprünge in ansonsten ebenen Oberflächen (z.B. überstehende Pfeiler) bei der Berechnung des Wärmedurchgangswiderstandes vernachlässigt werden, wenn sie aus einem Material mit einer Wärmeleitfähigkeit von höchstens 2,5 W/(m·K) bestehen (entspricht Beton mit 2 % Bewehrung). Ist die Wärmeleitfähigkeit des Vorsprungs größer und das Bauteil nicht wärmegedämmt, wird der Vorsprung übermessen, aber dafür an der betroffenen Fläche der Wärmeübergangswiderstand mit dem Verhältnis aus der projizierten Fläche und der abgewickelten Fläche des Vorsprungs multipliziert.



4. Hygienischer Mindestwärmeschutz

Generell sind Gebäude so zu planen und zu bauen, dass ein ausreichender Mindestwärmeschutz flächiger Bauteile und an Wärmebrücken gegeben ist. Die einzuhaltenden Anforderungen sind in der bauaufsichtlich eingeführten technischen Baubestimmung DIN 4108-2 fixiert. Der bauliche Mindestwärmeschutz soll die Gesundheit der Bewohner bzw. Gebäudenutzer durch ein hygienisches Raumklima schützen und die Baukonstruktion vor Feuchteschäden bewahren. Dafür sind eine ausreichende Beheizung und ein hygienisch definierter Mindestluftwechsel zum Abtransport der im Innenraum freigesetzten Feuchte sicherzustellen. Angesichts heutiger Ansprüche an Wohnkomfort, Hygiene, Schimmelfreiheit und Energieeinsparung ist aber ohnehin ein deutlich besserer baulicher Wärmeschutz anzustreben. Dieser wird bei funktionsgetrennter Bauweise immer durch dickere Dämmschichten bzw. durch Dämmschichten mit niedrigerer Wärmeleitfähigkeit erreicht.

4.1 Vermeiden von Schimmelpilzwachstum

Zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum auf Innenoberflächen von Bauteilen ist es vor allem wichtig, dass die Kondensatfreiheit der Konstruktion gegeben ist und kritische Oberflächenfeuchten vermieden werden. Schon ab einer relativen Luftfeuchte von 80 % in der Luftschicht unmittelbar an der Bauteiloberfläche kann es zur Kondensation von Wasser in den feinen Kapillaren des Baustoffes kommen. Diese Kapillarkondensation liefert bereits eine für Schimmelpilzwachstum ausreichende Menge Feuchtigkeit.

Ausgehend von vereinfachenden bauphysikalischen Modellbetrachtungen kann Schimmelpilzwachstum bereits auftreten, wenn an mindestens fünf aufeinanderfolgenden Tagen die relative Luftfeuchte an der Bauteiloberfläche einen Wert von mehr als 80 % aufweist und dieser Zustand mindestens zwölf Stunden am Tag gegeben ist. Bei höheren Luftfeuchten sind kürzere Zeiträume ausreichend. Das Vorliegen von flüssigem Wasser auf der Bauteiloberfläche ist nicht erforderlich. Schimmel benötigt für sein Wachstum einen Nährboden mit passendem pH-Wert, das so genannte Substrat, sowie moderate Temperaturen und genügend Feuchte. Die genauen Wachstumsgrenzen unterscheiden sich etwas von Schimmelart zu Schimmelart. Da eine geeignete Temperatur und ein passendes Substrat in der Regel in beheizten Gebäuden immer vorhanden sind, bleibt als Maßnahme zur Schimmelvermeidung nur die Vermeidung von (Oberflächen-)Feuchte und Kapillarkondensation (Bild 5).

4.2 Mindestwärmeschutz flächiger Bauteile bei normal beheizten Gebäuden

DIN 4108-2 fordert die in Tafel 8 angegebenen Mindest-Wärmedurchlasswiderstände für wärmeübertragende flächige Massivbauteille mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse von ≥ 100 kg/m², zusammen mit einer ausreichenden Beheizung und Belüftung des Gebäudes bzw. der Bauteile. Diese Mindestanforderungen gelten für alle direkt oder über Raumverbund beheizten Räume, die auf übliche (≥ 19 °C) oder niedrige (≥ 12 °C und < 19 °C) Innentemperaturen beheizt (d.h. beheizbar) sind. Weitere Festlegungen der DIN 4108-2 zum einzuhaltenden Mindestwärmeschutz der wärmeübertragenden Bauteile der thermischen Hüllfläche für alle auf ≥ 12 °C beheizten (d.h. beheizbaren) Räume bzw. Gebäude sind:

- Der Mindestwärmeschutz muss überall eingehalten sein. Das gilt besonders auch für wärmeschutztechnisch geschwächte Querschnitte wie Heizkörpernischen und Fensterstürze.
- Leichte Bauteile müssen einen erhöhten Wärmeschutz aufweisen. Aufgrund ihrer geringen Masse können sie im Sommer nur wenig Speichermasse zur Verfügung stellen, um rasch ansteigende Innenraumtemperaturen in ihren Spitzenwerten zu dämpfen. Aus diesem Grund muss der Wärmeeintrag durch diese Bauteile stärker reduziert werden als bei speicherfähigeren Bauteilen. Als Unterscheidungskriterium zwischen leichten und schweren Bauteilen wird eine flächenbezogene Masse von 100 kg/m² herangezogen. Der Mindestwert des Wärmedurchlasswiderstandes leichter Bauteile muss $R \geq 1{,}75$ m²·K/W betragen. Bei Rahmen- und Skelettbauten, Holzständerbauten und Fassaden als Pfosten-Riegel-Konstruktion gilt dieser Wert nur für den Gefachbereich, jedoch muss das gesamte Bauteil zusätzlich einen mittleren Wärmedurchlasswiderstand von ≥ 1,0 m²·K/W einhalten.

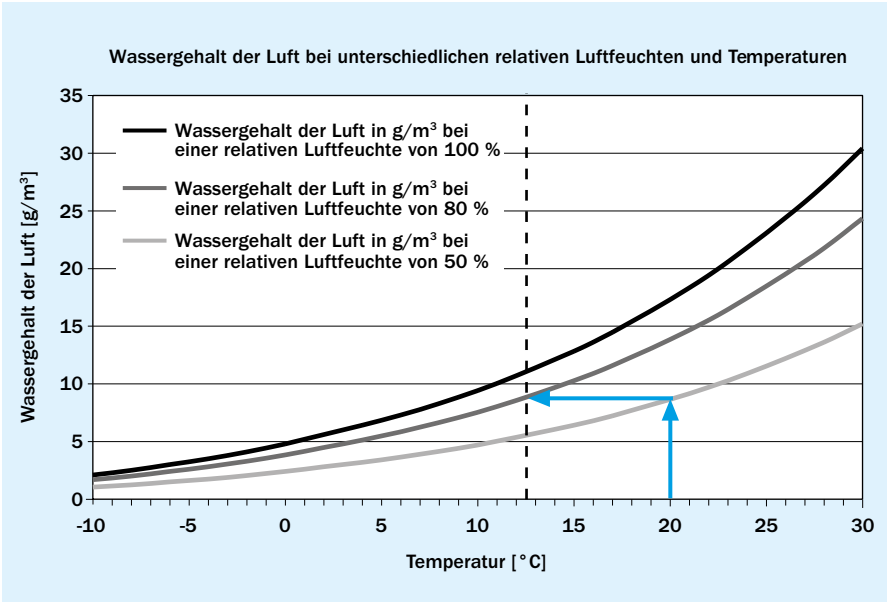


Bild 5 Zusammenhang zwischen Lufttemperatur, relativer Luftfeuchte (r.F.) und absoluter Luftfeuchte (Wassergehalt der Luft in g Wasser pro m³ Luft). Blaue Pfeile: bei Abkühlung von Luft mit 20 °C (z.B. an der Wandoberfläche) steigt die relative Luftfeuchte auf 80 %.

Tafel 8 **Mindestwerte des Wärmedurchlasswiderstandes flächiger Bauteile mit einer flächenbezogenen Masse ≥ 100 kg/m², aus DIN 4108-2 [10]**

Bauteile	Beschreibung	Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils[1] R in m²·K/W
Wände beheizter Räume	gegen Außenluft, Erdreich, Tiefgaragen, nicht beheizte Räume (auch nicht beheizte Dachräume oder nicht beheizte Kellerräume außerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche)	1,2[2]
Dachschrägen beheizter Räume	gegen Außenluft	1,2
Decken beheizter Räume nach oben und Flachdächer		
	gegen Außenluft	1,2
	zu belüfteten Räumen zwischen Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,90
	zu nicht beheizten Räumen, zu bekriechbaren oder noch niedrigeren Räumen	0,90
	zu Räumen zwischen gedämmten Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,35
Decken beheizter Räume nach unten		
	gegen Außenluft, gegen Tiefgarage, gegen Garagen (auch beheizte), Durchfahrten (auch verschließbare) und belüftete Kriechkeller[3]	1,75
	gegen nicht beheizten Kellerraum	0,90
	unterer Abschluss (z.B. Sohlplatte) von Aufenthaltsräumen unmittelbar an das Erdreich grenzend bis zu einer Raumtiefe von 5 m	
	über einem nicht belüfteten Hohlraum, z.B. Kriechkeller, an das Erdreich grenzend	
Bauteile an Treppenräumen		
	Wände zwischen beheiztem Raum und direkt beheiztem Treppenraum, Wände zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum, sofern die anderen Bauteile des Treppenraums die Anforderungen der Tafel erfüllen	0,07
	Wände zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum, wenn nicht alle anderen Bauteile des Treppenraums die Anforderungen der Tafel erfüllen	0,25
	oberer und unterer Abschluss eines beheizten oder indirekt beheizten Treppenraums	wie Bauteile beheizter Räume
Bauteile zwischen beheizten Räumen		
	Wohnungs- und Gebäudetrennwände zwischen beheizten Räumen	0,07
	Wohnungstrenndecken, Decken zwischen Räumen unterschiedlicher Nutzung	0,35

[1] Bei erdberührten Bauteilen: konstruktiver Wärmedurchlasswiderstand
[2] Bei niedrig beheizten Räumen 0,55 m²·K/W
[3] Vermeidung von Fußkälte

- Bei transparenten und teiltransparenten Bauteilen (z.B. Vorhangfassaden, Pfosten-Riegel-Konstruktionen, Glasdächer, Fenster, Fenstertüren und Fensterwände) müssen opake Ausfachungen und Paneele mindestens einen Wärmedurchlasswiderstand $R \geq 1{,}2$ m²·K/W haben (d.h. $U_p \leq 0{,}73$ W/(m²·K)). Die Rahmen dürfen höchstens einen U_f-Wert von $U_f \leq 2{,}9$ W/(m²·K) haben. Alle Gläser sind mindestens als Isolierglas oder mit zwei Glasscheiben (z.B. Verbundfenster, Kastenfenster) auszuführen.

- Die tabellierte Mindestanforderung von $R \geq 0{,}90$ m²·K/W für Sohlplatten und erdberührte Kellerfußböden unter beheizten Aufenthaltsräumen gilt nur für die äußeren 5 m der Bodenplatte. Der weiter innen liegende Mittelbereich der Bodenplatte kann ungedämmt bleiben, da sich weiter innen ein so genannter Wärmesee unter dem Gebäude ausbildet und der Wärmeverlust über das Erdreich an die Außenluft auch bei einem ungedämmten Mittelbereich der Bodenplatte gering ist. Das Weglassen der Wärmedämmung im Mittelbereich der Bodenplatte ist vor allem interessant bei großen, niedrig beheizten Gebäuden wie z.B. Industrie- und Lagerhallen, während bei normal beheizten Gebäuden häufig die gesamte Bodenplatte durchgehend gedämmt wird, weil die Verlegung einfacher ist und die fraglichen Flächen klein sind.

5. Wärmeschutz und Schimmelpilzvermeidung bei Wärmebrücken

Wärmebrücken sind Stellen in der thermischen Gebäudehülle, an denen es zu einem örtlich erhöhten Wärmedurchgang durch die Konstruktion kommt. Daraus resultieren örtliche Unterschiede in der Temperatur der Innen- und der Außenoberflächen der Konstruktion. Im Winter kommt es an Wärmebrücken zu einem erhöhten Wärmeverlust. Zusätzlich kann es zu deutlich verringerten Innenoberflächentemperaturen kommen, und in der Folge zu Tauwasser- und Schimmelpilzbildung. Dies gilt in gleicher Weise für Wärmebrücken. Deshalb sind sie aus energetischer Sicht, vor allem aber aus Bauqualitäts- und Hygienegesichtspunkten zu vermeiden oder möglichst in ihrem Einfluss zu begrenzen. Mit steigendem Dämmstandard kommt den Wärmebrücken im Planungsprozess und bei der Bewertung eines Gebäudes eine zunehmende Bedeutung zu. Wärmebrücken können sehr unterschiedliche Ursachen haben, die auch in Kombination miteinander auftreten können:

- Stoffbedingte Wärmebrücken ergeben sich aus einem Wechsel der Baustoffe nebeneinanderliegender Bereiche, z.B. Betonstütze in einer Mauerwerkswand.
- Geometriebedingte Wärmebrücken finden sich beispielsweise an jeder Gebäudekante.

Oft findet sich auch eine Kombination mehrerer Ursachen (Traufanschluss, Deckeneinbindung). Üblich ist deswegen die Unterteilung entsprechend ihrer Geometrie in punkt-, linien- und flächenförmige Wärmebrücken. Geometriebedingte Wärmebrücken lassen sich nicht ganz vermeiden, aber in ihrer Auswirkung deutlich verringern. Zur Verminderung von Wärmebrücken gilt generell die Empfehlung, die dämmende Schicht so vollständig und lückenlos wie möglich um das beheizte Gebäudevolumen zu legen. Die dämmenden Schichten benachbarter Bauteile sollten lückenlos und ohne Dickenverminderung ineinander übergehen. Das Konstruktionsprinzip der durchgehenden Dämmebene kann bei Neubauten mit Kalksandstein und vorausschauender Planung gut eingehalten werden. Bei der Bestandssanierung ist dies häufig nur mit erhöhtem Aufwand oder mitunter gar nicht mehr nachträglich möglich. Hier sind entsprechend angepasste Lösungen erforderlich.

5.1 Energetische Charakterisierung von Wärmebrücken

In energetischer Hinsicht werden linienförmige Wärmebrücken durch den linearen Wärmedurchgangskoeffizienten (Ψ-Wert) charakterisiert. Er gibt den Wärmedurchgang pro Meter Länge der Wärmebrücke und pro Kelvin Temperaturdifferenz an, der zusätzlich zum Wärmedurchgang durch die benachbarten flächigen Bauteile auftritt. Der Ψ-Wert (Psi-Wert) ist das längenbezogene Pendant zum U-Wert der flächigen Bauteile. Für punktförmige Wärmebrücken wird der χ-Wert (Chi-Wert) verwendet.

Zur Ermittlung des linearen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ wird zunächst mittels einer zweidimensionalen numerischen Berechnung der stationäre Wärmedurchgang Q im gesamten Bereich der Wärmebrücke ermittelt (Bild 6). Die Division des Wärmedurchgangs durch die angesetzte Temperaturdifferenz ergibt den thermischen Leitwert L. Hiervon wird der Wärmedurchgang im Bereich der angrenzenden flächigen „Regelbauteile“ ($U_i \cdot A_i$) abgezogen. Der verbleibende Betrag ist der lineare Wärmedurchgangskoeffizient Ψ, welcher den durch den Wärmebrückeneffekt zusätzlich auftretenden Wärmedurchgang kennzeichnet.

INFO

Mit zunehmender Wärmedämmung kommt der Planung und Verminderung von Wärmebrücken eine wachsende Bedeutung zu.

Längenbezogene Wärmebrücken treten an den Anschlussstellen zwischen benachbarten Bauteilen auf. Je nach Bauweise können sie sich deutlich bemerkbar machen, vor allem wenn auf die Verminderung der Wärmebrückenwirkung nicht besonders geachtet wird. Die Bilder 7 und 8 vergleichen den Wärmedurchgang im Bereich einer einbindenden Decke zwischen der KS-Funktionswand mit Wärmedämmverbundsystem und einer monolithischen Bauweise. Der Vergleich erfolgt für zwei Konstruktionen mit annähernd identischem U-Wert der Außenwand. Deutlich erkennbar ist die geringere Wärmebrückenwirkung bei der KS-Funktionswand.

5.2 Verminderung des Wärmebrückenverlusts nach DIN 4108 Beiblatt 2

Im Gegensatz zu flächigen Bauteilen werden an Wärmebrücken keine allgemeingültigen energetischen Mindestanforderungen gestellt; es gibt auch keine verbindlichen Höchstgrenze für Ψ-Werte (eine *hygienische* Mindestanforderung wird sehr wohl gestellt, nämlich die Pflicht zum Einhalten des Schimmelpilzkriteriums $f_{Rsi} \geq 0{,}70$ der DIN 4108-2!). Dennoch ergeben sich in der Regel „freiwillig“ eingegangene energetische Mindestanforderungen daraus, dass im EnEV-Nachweis und/oder in der Baubeschreibung bestätigt wird, die relevanten Wärmebrücken würden dem Wärmebrückenbeiblatt DIN 4108 Beiblatt 2 bzw. dessen Kategorie A oder B entsprechen. Dieses Beiblatt gibt in Prinzipskizzen Planungs- und Ausführungsempfehlungen, wie der Einfluss von Wärmebrücken energetisch und thermisch vermindert werden kann. Dafür werden zwei Kategorien im Sinne von Niveaus definiert, wobei die Kategorie A dem bisherigen Beiblatt 2 entspricht (Merkhilfe: A wie „alt“) und die Kategorie B einer weiter verbesserten Wärmebrückenvermeidung (Merkhilfe: B wie „besser“). Bezieht sich der Planer im EnEV-Nachweis oder in der Baubeschreibung auf Kategorie A oder B des Beiblatts, wird das dort definierte Niveau der Wärmebrückenverminderung verbindlich.

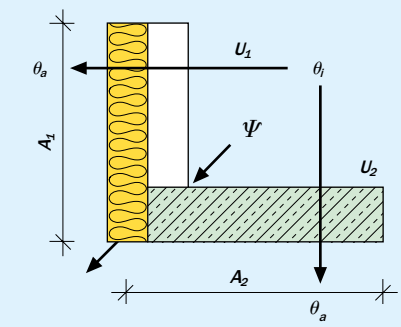
Generell muss ein Planer gemäß EnEV den Einfluss konstruktiver Wärmebrücken auf den Jahres-Heizwärmebedarf nach den Regeln der Technik und den im jeweiligen Einzelfall wirtschaftlich vertretbaren Maßnahmen so gering wie möglich halten. Der zusätzliche Wärmedurchgang durch alle relevanten Wärmebrücken eines Gebäudes wird mittels eines Zuschlags auf den U-Wert aller Hüllflächen des Gebäudes (ΔU_{WB}) berücksichtigt. Dies kann im EnEV-Nachweis wahlweise detailliert oder pauschalisiert erfolgen:

- Pauschale Berücksichtigung: ohne weiteren Nachweis darf ein pauschaler Zuschlag von ΔU_{WB} = 0,10 W/(m²·K) abgesetzt werden, was einer generellen Erhöhung der U-Werte aller Hüllflächenbauteile um 0,10 W/(m²·K) entspricht. Diese Variante überbetont den Wärmebrückeneinfluss. Bei Bestandsgebäuden mit Innendämmung an mehr als 50 % der Außenwand und einbindenden Massivdecken beträgt der Zuschlag sogar ΔU_{WB} = 0,15 W/(m²·K).

- Reduzierter pauschaler Zuschlag: ein verringerter pauschaler Zuschlag von ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²·K) bzw. 0,03 W/(m²·K) ist zu wählen, wenn die relevanten Wärmebrücken der Kategorie A bzw. B aus DIN 4108 Beiblatt 2 entsprechen. Durch die Wahl dieser Variante wird die entsprechende Kategorie aus dem Beiblatt für die betreffenden Wärmebrücken verbindlich.

- Kombinierter Zuschlag: Ist nicht für alle gewählten Bauteilanschlüsse der jeweils gewählten Kategorie A oder B ein Gleichwertigkeitsnachweis möglich, so kann der Einfluss dieser nicht gleichwertigen Bauteilanschlüsse zum pauschalen Zuschlag addiert werden (Tafel 9). Dabei wird die Differenz zwischen dem tatsächlichen Ψ-Wert und dem Referenz-Ψ-Wert mit der Länge der jeweiligen Wärmebrücke multipliziert, durch die Hüllfläche geteilt, und das Ergebnis zum pauschalen Zuschlag 0,05 bzw. 0,03 W/(m²·K) hinzugerechnet. Analog kann der zusätzliche Einfluss von Wärmebrücken, die gar nicht im Beiblatt 2 enthalten sind, anhand deren Ψ-Wert, ihrer Länge und der Hüllfläche berechnet und auf den pauschalen Zuschlag addiert werden.

- Detaillierter Wärmebrückenzuschlag: die Ψ- bzw. χ- Werte der linien- bzw. punktförmigen Wärmebrücken werden detailliert ermittelt. Der detaillierte individuelle Wärmebrückenzuschlag ist die Summe aus Länge der Wärmebrücken bzw. χ-Wert mal Anzahl der punktförmigen Wärmebrücken, geteilt durch die gesamte Hüllfläche des Gebäudes bzw. der Zone. Zahlenwerte für Ψ und χ können auch der Literatur oder Wärmebrückenkatalogen, z.B. dem KS-Wärmebrückenkatalog [11], entnommen werden.



$$L = \frac{Q}{\Delta\vartheta} \qquad \Psi = L - U_1 \cdot A_1 - U_2 \cdot A_2$$

L:	Thermischer Leitwert
U:	U-Wert
A:	Fläche
Q:	Wärmestrom
$\Delta\theta = \Delta\vartheta$:	Lufttemperaturdifferenz zwischen außen und innen

Bild 6 Skizze zur Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ

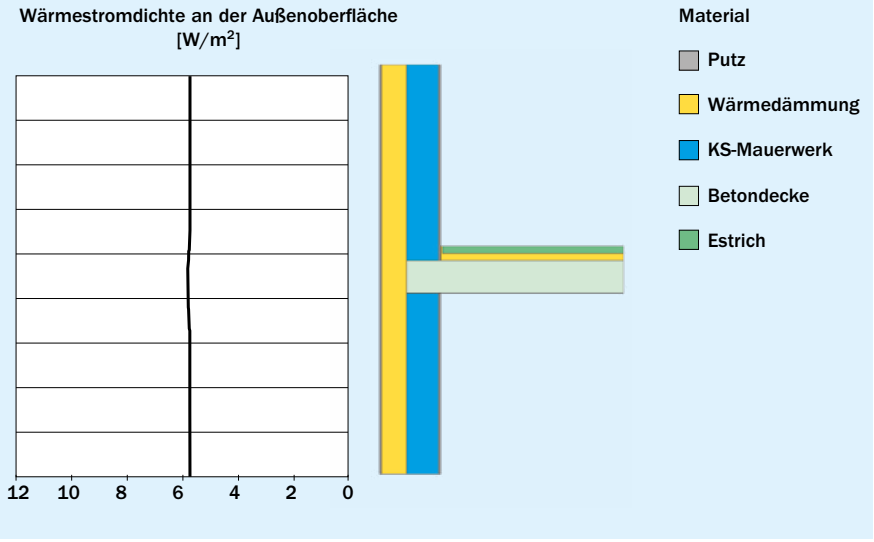


Bild 7 Wärmestromdichten (nach links abgetragen) an der Außenoberfläche bei KS-Funktionswand mit WDVS im Bereich der einbindenden Decke

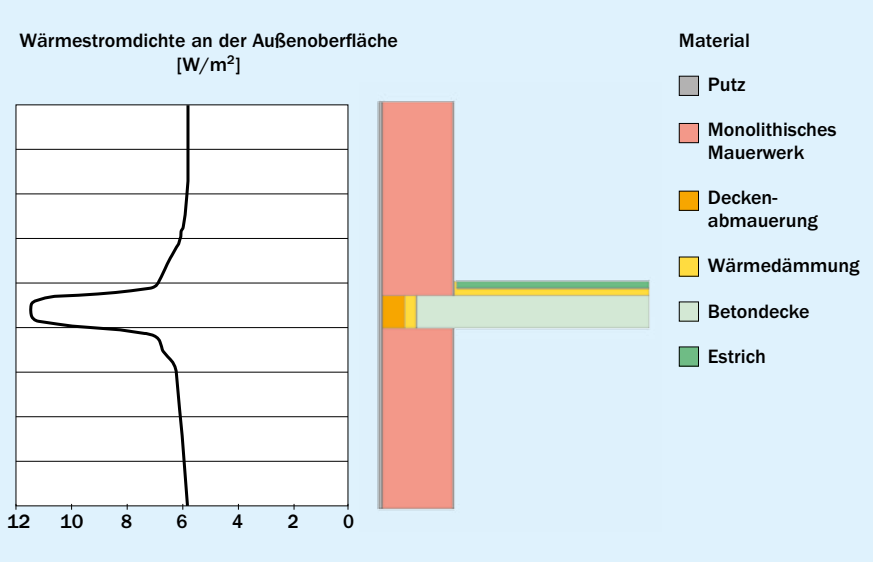


Bild 8 Wärmestromdichten (nach links abgetragen) an der Außenoberfläche bei monolithischer Bauweise im Bereich der einbindenden Decke

Tafel 9 **Möglichkeiten zur Berücksichtigung des zusätzlichen Wärmedurchgangs durch alle relevanten Wärmebrücken eines Gebäudes (ΔU_{WB}) im EnEV-Nachweis**

Pauschaler Zuschlag **ΔU_{WB} = 0,15 W/(m²·K)**	Für Bestandsgebäude Nur wenn mehr als 50 % der Außenwand mit einer innen liegenden Dämmschicht versehen ist und einbindende Massivdecken vorliegen
Pauschaler Zuschlag **ΔU_{WB} = 0,10 W/(m²·K)**	Dieser pauschale Zuschlag entspricht einer Erhöhung der U-Werte aller Hüllflächenbauteile um jeweils 0,10 W/(m²·K). Überbetont in aller Regel den Wärmebrückeneinfluss
Reduzierter pauschaler Zuschlag **ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²·K)**	Alle relevanten Wärmebrücken entsprechen mindestens Kategorie A aus DIN 4108 Beiblatt 2.
Reduzierter pauschaler Zuschlag **ΔU_{WB} = 0,03 W/(m²·K)**	Alle relevanten Wärmebrücken entsprechen Kategorie B aus DIN 4108 Beiblatt 2.
Kombinierter Zuschlag (pauschal + individuell) **ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²·K) + $\Delta\Psi \cdot \ell_i / \Sigma A$**	Nicht alle relevanten Wärmebrücken entsprechen mindestens Kategorie A aus DIN 4108 Beiblatt 2. Die Wärmebrücken, die ungünstiger als Kategorie A sind, werden mit der Differenz $(\Psi - \Psi_{Ref,\ Kat.A}) \cdot \ell$ zwischen dem tatsächlichen Ψ-Wert und dem Referenzwert für Kategorie A, multipliziert mit ihrer Länge ℓ, in ΔU_{WB} eingerechnet. Relevante Wärmebrücken, die gar nicht im Beibatt 2 enthalten sind, werden mit $\Psi \cdot \ell$ in ΔU_{WB} eingerechnet.
Kombinierter Zuschlag (pauschal + individuell) **ΔU_{WB} = 0,03 W/(m²·K) + $\Delta\Psi \cdot \ell_i / \Sigma A$**	Nicht alle relevanten Wärmebrücken entsprechen Kategorie B aus DIN 4108 Beiblatt 2. Die Wärmebrücken, die ungünstiger als Kategorie B sind, werden mit der Differenz $(\Psi - \Psi_{Ref,\ Kat.B}) \cdot \ell$ zwischen dem tatsächlichen Ψ-Wert und dem Referenzwert für Kategorie B, multipliziert mit ihrer Länge ℓ, in ΔU_{WB} eingerechnet. Relevante Wärmebrücken, die gar nicht im Beiblatt 2 enthalten sind, werden mit $\Psi \cdot \ell$ in ΔU_{WB} eingerechnet.
Detailliert ermittelter Zuschlag	Ψ- bzw. χ- Werte der linien- bzw. punktförmigen Wärmebrücken werden detailliert ermittelt. Wärmebrückenzuschlag $\Delta U_{WB} = [\Sigma(\Psi_i \cdot \ell_i) + \Sigma(\chi_j \cdot n_j)] / \Sigma A$ Zahlenwerte für Ψ können selbst berechnet oder der Literatur oder Wärmebrückenkatalogen [11] entnommen werden. ΣA ist die gesamte Hüllfläche des Gebäudes bzw. der Zone. Die abgemessene Länge der längenbezogenen Wärmebrücken ist ℓ_i. Die Anzahl, wie oft die jeweilige punktförmige Wärmebrücke auftritt, ist n_j.

Welche Wärmebrücken im Rahmen des energetischen Nachweises zu berücksichtigen sind, regelt die EnEV; Hinweise gibt ebenfalls DIN V 18599-2:2016-10; eine detaillierte Auflistung der zu berücksichtigenden und der vernachlässigbaren Wärmebrücken enthält DIN 4108 Beiblatt 2:2018. Mindestens für die Wärmebrücken Gebäudekanten, Laibungen (umlaufend) von Fenstern und Türen, Decken- und Wandeinbindungen und Deckenauflager muss die Gleichwertigkeit der individuellen Lösung mit der Beispiellösung im Beiblatt gegeben sein, je nach gewähltem pauschalen Zuschlag der Kategorie A oder B. Die Gleichwertigkeit ist einzuhalten. Eine Pflicht, dies nachzuweisen, gibt es aber für den öffentlich-rechtlichen Nachweis nicht. Balkonplatten dürfen nur noch wärmetechnisch entkoppelt ausgeführt werden. Andere linienförmige sowie nur einzeln auftretende punktförmige Wärmebrücken brauchen im Wärmebrückennachweis im Rahmen der EnEV nicht berücksichtigt zu werden. Erläuterungen zu den zu berücksichtigenden und der vernachlässigbaren Wärmebrücken finden sich auch in [9].

Für Neubauten wird derzeit noch überwiegend das pauschale Verfahren mit reduziertem Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} = 0,05 W/(m·K) genutzt. Die Konstruktionsbeispiele im Beiblatt 2 sind als Empfehlungen sowie als Arbeitserleichterung für den bildlichen Gleichwertigkeitsnachweis gedacht und stellen keine Festlegungen im Sinne des Baurechts dar. Auch wenn die Beispiele in erster Linie auf den Neubau abzielen, geben die dargestellten Prinzipien wertvolle Hinweise für die Wärmebrückenverminderung bei der Bestandssanierung.

INFO

Bauteilanschlüsse bei funktionsgetrennter KS-Bauweise erfüllen problemlos die verbesserte Kategorie B. Die Empfehlung ist, für alle Wärmebrücken des Gebäudes die Einhaltung der Kategorie B anzustreben.

5.3 Gleichwertigkeitsnachweis

Für den Nachweis, dass eine konkret geplante oder ausgeführte Anschlussausbildung zwischen Bauteilen gleichwertig ist zu den Planungs- und Ausführungsempfehlungen der jeweiligen Kategorie in DIN 4108 Beiblatt 2, gibt es zwei prinzipielle Vorgehensweisen: den bildlichen und den rechnerischen Nachweis.

Beim bildlichen Nachweis vergleicht der Planer seine Detailplanung visuell mit den Beispielzeichnungen im Beiblatt und

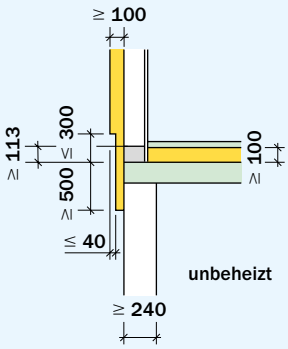
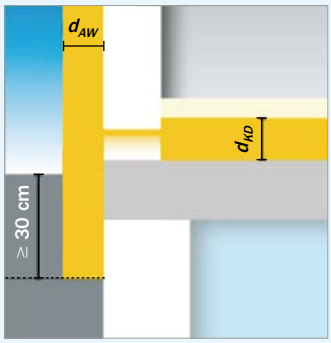
prüft, ob das konstruktive Grundprinzip der Wärmebrückenvermeidung und die Schichtdicken bzw. Wärmedurchlasswiderstände der dafür wichtigen Baustoffschichten (Dämmstoffe, Massivbaustoffe) eingehalten sind. Dabei geht man gedanklich die möglichen Wege der Wärme von innen nach außen ab und prüft, ob die Wärme auf diesen Wegen mindestens so viel Wärmedurchlasswiderstand in Form von Dämmschichten oder dämmenden Baustoffen überwinden muss, wie in der Beispielzeichnung dargestellt, und es keine „Abkürzungen" für die Wärme gibt. Ist dies gegeben, ist der Gleichwertigkeitsnachweis für diesen Anschlusspunkt erbracht.

Sind das konstruktive Grundprinzip und/oder die Wärmedurchlasswiderstände der Schichten nicht eingehalten, oder weicht die Detailplanung grundlegend von der Darstellung im Beiblatt 2 ab, muss ein rechnerischer Nachweis erfolgen. Dafür wird der Ψ-Wert aus Wärmebrückenkatalogen [11] entnommen oder die individuelle Wärmebrücke zweidimensional berechnet. Der so ermittelte Ψ-Wert darf nicht größer sein als der Referenzwert für diese Anschluss-Situation für die jeweils gewählte Kategorie A oder B in DIN 4108 Beiblatt 2. Die Referenzwerte sind nicht die Ψ-Werte der danebenstehenden Beispieldarstellungen, sondern die errechneten Höchstwerte bei Variation der Parameter (Bauteildicken, Wärmeleitfähigkeitsspannen) der Beispieldarstellungen.

Beide Nachweisvarianten sind gleichberechtigt und gleichwertig, und können vom Planer für jede Wärmebrücke frei gewählt werden. Solange eines der beiden Nachweisverfahren eingehalten ist, ist die Gleichwertigkeit gegeben. Eine Verpflichtung, dass sowohl der bildliche als auch der rechnerische Nachweis eingehalten sein müssen, besteht nicht und wäre nicht sinnvoll. Lässt sich weder bildlich noch rechnerisch die Gleichwertigkeit einer Anschlusslösung darstellen, ist das geplante Anschlussdetail wärmetechnisch zu verbessern, bis die Gleichwertigkeit gegeben ist, oder es ist im EnEV-Nachweis ein alternativ nach Tafel 9 ermittelter, kombinierter Wärmebrückenzuschlag zu verwenden.

Ein Beispiel für den rechnerischen Gleichwertigkeitsnachweis für Kategorie B der DIN 4108 Beiblatt 2 für den Sockelanschluss an den unbeheizten Keller bei einer KS-Funktionswand mit KS-Wärmedämmstein, mit Hilfe des Wärmebrückenkatalogs Kalksandstein, zeigt Tafel 10.

Tafel 10 **Beispiel für den rechnerischen Gleichwertigkeitsnachweis für Kategorie B nach DIN 4108 Beiblatt 2**

Bauteilanschluss: Sockelanschluss an den unbeheizten Keller			
		DIN 4108 Beiblatt 2	**Kalksandstein-Wärmebrückenkatalog**
Bildlicher Nachweis			
	Überprüfung:		
	Dämmdicke Außenwand	≥ 100 mm	= 180 mm
	Dämmdicke Kellerdecke	≥ 100 mm	= 120 mm
	Länge flankierender Dämmung	≥ **500 mm**	**= 300 mm**
	Höhe KS-Wärmedämmstein	≥ 113 mm	= 113 mm
	Dicke Kellerwand	≥ 240 mm	= 300 mm
		→ Die Länge der flankierenden Dämmung auf der Kelleraußenwand ist geringer als in der Beispielskizze aus DIN 4108 Beiblatt 2 → Bildlicher Gleichwertigkeitsnachweis ist nicht eingehalten.	
Rechnerischer Nachweis		$\Psi_{Ref,Kat.B}$ = 0,15 W/(m·K)	Ψ = 0,038 W/(m·K)
		→ Der individuelle Ψ-Wert des Bauteilanschlusses ist geringer als der Referenzwert Ψ_{Ref} nach DIN 4108 Beiblatt 2 für die Kategorie B → Rechnerischer Gleichwertigkeitsnachweis ist eingehalten. Das Detail entspricht nach DIN 4108 Beiblatt 2 der Kategorie B.	
		→ Im EnEV-Nachweis darf ein pauschaler Wärmebrückenzuschlag von 0,03 W/(m²·K) angesetzt werden, sofern alle anderen relevanten Wärmebrücken ebenfalls der Kategorie B entsprechen.	

5.4 Hygienische Mindestanforderung an die Oberflächentemperatur bei Wärmebrücken (f_{Rsi})

Bei Anschlussdetails zwischen Bauteilen muss der Oberflächentemperaturfaktor f_{Rsi} im Bereich der Wärmebrücke beim zwei- oder dreidimensionalen rechnerischen Nachweis mindestens 0,70 betragen. f_{Rsi} wird aus den angesetzten Lufttemperaturen innen und außen und der berechneten Temperatur an der kältesten Stelle der Innenoberfläche bestimmt:

$$f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si} - \theta_e)}{(\theta_i - \theta_e)} \geq 0{,}70 \qquad [-] \qquad (5.1)$$

Bei den Standard-Randbedingungen nach DIN 4108-2 (innen 20 °C und 50 % relative Luftfeuchte (r.F.); außen -5 °C, Wärmeübergangswiderstand innen 0,25 m²·K/W und außen 0,04 m²·K/W) entspricht dies einer kritischen Oberflächentemperatur von 12,6 °C. Diese Temperatur darf an der ungünstigsten Stelle nicht unterschritten werden. Der erhöhte Wärmeübergangswiderstand innen, R_{si} = 0,25 m²·K/W anstelle der üblichen Werte, bildet den behinderten Wärmeübergang von der Raumluft auf die Wandoberfläche in der Nähe der Raumkante oder hinter leichten Gardinen ab. Innerhalb der Fläche von Fenstern, Fenstertüren, Türen etc. bleibt R_{si} gemäß DIN EN ISO 13788 bei 0,13 m²·K/W, weil von ungehinderter Luftzirkulation ausgegangen wird.

Unter stationären Verhältnissen hat die Raumluft überall den gleichen absoluten Feuchtegehalt und die Luft unmittelbar an der Wandoberfläche nimmt die Temperatur der Wandoberfläche an. Wenn aber Raumluft von 20 °C und 50 % r.F. an der kältesten Stelle der Innenoberfläche auf 12,6 °C abgekühlt wird, stellt sich dort eine relative Luftfeuchte von 80 % ein (Bild 5). Dieser Wert gilt gerade noch als unkritisch hinsichtlich Schimmelpilzwachstum. Der dimensionslose Temperaturfaktor f_{Rsi} stellt die einzuhaltende Anforderungsgröße der DIN 4108-2 für den Mindestwärmeschutz im Bereich von Wärmebrücken dar. Er gilt nur für den rechnerischen Wärmebrückennachweis unter den vorgenannten, stationären Annahmen.

Bei einem Oberflächentemperaturfaktor von mindestens 0,70 entfallen mindestens 70 % des Temperaturabfalls zwischen Innen- und Außenluft auf den Temperaturunterschied zwischen Innenoberfläche und Außenluft, bzw. höchstens 30 % auf den Temperaturunterschied zwischen Innenluft und Innenoberfläche. Dabei wird an der Innenoberfläche sicherheitshalber mit einem erhöhten Wärmeübergangswiderstand von 0,25 m²·K/W gerechnet statt der üblichen Werte, um den in der Nähe der Raumkante oder hinter Gardinen behinderten Wärmeübergang auf die Wandoberfläche abzubilden (Tafel 11).

Die Forderung $f_{Rsi} \geq 0{,}70$ der DIN 4108-2 gilt für linienförmige Wärmebrücken zwischen zwei Bauteilen („Kanten“) und für punktförmige Wärmebrücken („Ecken“ zwischen drei flächigen Bauteilen; kleinflächige Durchdringungen der Dämmebene).

Bei Einhalten der Empfehlungen der DIN 4108 Beiblatt 2, Kategorie A oder B, für die linienförmigen Wärmebrücken („Kanten“) kann man davon ausgehen, dass diese thermisch optimierten Wärmebrücken bei sachgemäßer Nutzung des Gebäudes schimmelfrei bleiben. Ein gesonderter Nachweis muss nicht erfolgen. Gleiches gilt für Kanten zwischen Außenbauteilen mit gleichartigem Aufbau, die den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 bzw. nach Tafel 8 einhalten.

Ecken können ohne weiteren Nachweis als unbedenklich hinsichtlich Schimmelpilzbildung angesehen werden, wenn sie aus Kanten gebildet werden, die ihrerseits unbedenklich hinsichtlich Schimmelpilzbildung sind (also obige Bedingungen einhalten – anderenfalls ist die betroffene Kante ohnehin unzulässig), und die Dämmschichten im Bereich der Ecke unterbrechungsfrei geführt sind. Erst wenn als viertes Element eine Störung oder Unterbrechung der Dämmebene hinzukommt, wird ein numerischer f_{Rsi}-Nachweis für die Ecke erforderlich, z.B. bei einer Eckstütze gegen Außenluft unter einem vorspringenden, unterseitig gedämmten Obergeschoss: Die Stütze durchdringt die Dämmebene und ist in diesem Fall als „Störstelle“ anzusehen.

INFO

Neben der Einhaltung von f_{Rsi} zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung ist für eine gleichmäßige Beheizung zu sorgen, sowie eine ausreichende Belüftung der Räume und eine ausreichende Belüftung der Innenoberfläche der Außenbauteile sicherzustellen.

An Fenstern und Pfosten-Riegel-Konstruktionen ist Tauwasser in geringen Mengen und kurzzeitig zulässig. Dies gilt, falls die Oberfläche die Feuchtigkeit nicht absorbiert und verhindert werden kann, dass angrenzende Bereiche durchfeuchtet werden. Deshalb gilt die Forderung $f_{Rsi} \geq 0{,}70$ nicht innerhalb des Fensterelements, wohl aber an der Einbaufuge des Fensters zum Baukörper und in der Fensterlaibung.

Bei Innendämmungen ist eine gründliche Vorab-Analyse der Feuchtesituation Pflicht. Innendämmungen sollten nicht ohne Konsultation eines versierten Bauphysikers eingebaut werden.

Durch schwere Vorhänge, Möblierung, Einbauschränke etc. wird der Wärmeübergang auf die raumseitige Außenwandoberfläche reduziert. Es kommt zu einem größeren Wärmeübergangswiderstand R_{si} und einer niedrigeren Innenoberflächentemperatur; die Gefahr der Tauwasserbildung steigt.

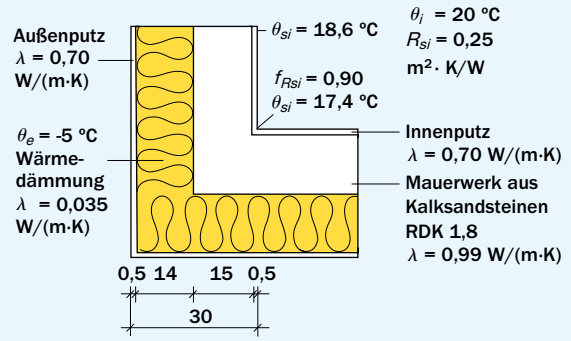
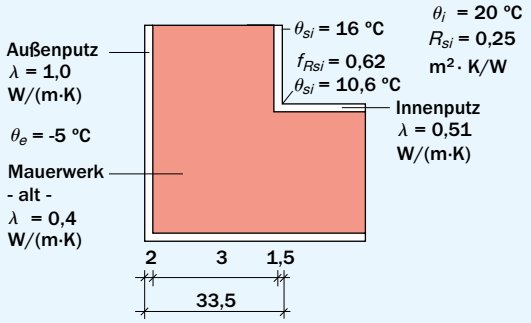
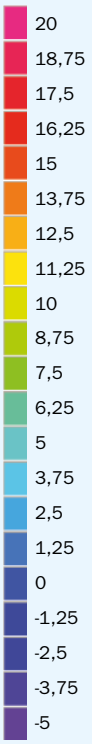
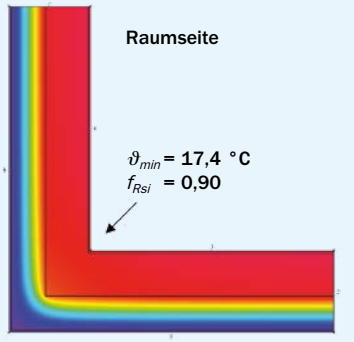
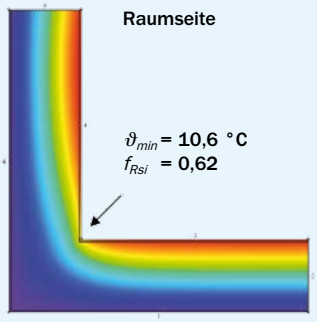
INFO

Das Risiko der Schimmelpilzbildung an Wärmebrücken ist umso geringer, je besser die flächigen Bauteile wärmegedämmt sind.

Dieser Einfluss von Schränken kann gemäß den Empfehlungen des DIN-Fachberichts 4108-8 „Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden“ mittels eines größeren, äquivalenten Wärmeübergangswiderstand $R_{si,äq.}$ abgebildet werden. Er beinhaltet den normalen Wärmeübergang und den Wärmedurchlasswiderstand des Schranks, und kann anstelle des üblichen Wärmeübergangswiderstandes R_{si} für thermische Berechnungen verwendet werden:

- hinter freistehenden Schränken: $R_{si,äq.}$ = 0,5 m²·K/W
- hinter Einbauschränken: $R_{si,äq.}$ = 1 m²·K/W

Tafel 11 **Zweidimensionale Berechnung der Temperaturverteilung in der Raumecke bei KS-Funktionswand (Neubau) und monolithischer Bauweise (Altbau im unsanierten Zustand); Berechnung von f_{Rsi}**

Temperaturverteilung in der Raumecke bei KS-Funktionswand (Neubau)	Temperaturverteilung in der Raumecke bei monolithischer Bauweise (Altbau im unsanierten Zustand)	Temperatur [°C]
		
		
Aufbau von innen nach außen: 0,5 cm Dünnlagenputz (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,70 W/(m·K)) 15 cm KS-Mauerwerk der RDK 1,8 (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,99 W/(m·K)) 14 cm WDVS (Polystyrol EPS 035) (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(m·K)) 0,5 cm Kunstharzputz (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,70 W/(m·K))	**Aufbau von innen nach außen:** 1,5 cm Gipsputz (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,51 W/(m·K)) 30 cm „Altes“ Mauerwerk (angenommener Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,4 W/(m·K)) 2 cm Kalk-Zementputz (Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 1,0 W/(m·K))	
Randbedingungen nach DIN 4108-2 (ϑ_i = 20 °C, ϑ_e = -5 °C; R_{si} = 0,25 m²·K/W)		

Beispiel: Eine Wand mit Mindestwärmeschutz $R = 0{,}90$ m² K/W hat nach DIN 4108-2 in den freien Wandbereichen ($R_{si} = 0{,}25$ W/(m²·K)) eine Oberflächentemperatur der Innenseite von 15,8 °C und damit kein Schimmelrisiko. Hinter einem Einbauschrank (mit $R_{si,äq.}$ = 1 m²·K/W statt R_{si} = 0,25 W/(m²·K)) beträgt die rechnerische Wandoberflächentemperatur nur noch 8,8 °C – dort besteht ein hohes Schimmelrisiko!

Grundsätzlich ist f_{Rsi} zum Nachweis mittels zwei- oder dreidimensionaler Wärmebrückenberechnung gedacht, mit den oben genannten stationären Randbedingungen. Die Messung von f_{Rsi} im realen Gebäude führt wegen der sich in Wirklichkeit zeitlich ändernden Verhältnisse (Tagesgang von Wetter, Solarstrahlung, Beheizung, Nutzung; „thermisches Gedächtnis“ des Gebäudes etc.) je nach zufälligem Messzeitpunkt zu Ergebnissen, die signifikant vom (wahren) Rechenergebnis abweichen, ohne dass dies in den Messergebnissen erkennbar wäre. Deshalb kann f_{Rsi} nicht mit der Infrarotkamera nachgewiesen werden, sondern nur mit Langzeitmessung über mindestens zwei (!) Wochen! Genauere Hinweise hierzu siehe [12].

5.5 Rollladenkästen

Einbau- und Aufsatz-Rollladenkästen weisen einen örtlich etwas erhöhten Wärmeverlust gegenüber einer Bauweise ohne Rollladenkasten auf. Ähnliches gilt für Vorsatzkästen, wenn dafür ein breiteres oberes Fensterprofil oder eine Rahmenverbreiterung eingesetzt wird, sowie für Mini-Aufsatzkästen. Rollladenkästen werden beim wärmeschutztechnischen Nachweis in der Regel übermessen und ihre Fläche, je nach Kastenart, der Wandfläche (Einbaukasten, Sturzkasten, Aufsatzkasten) oder der Fensterfläche (Mini-Aufsatzkasten, Vorsatzkasten, teilweise auch Aufsatzkasten) zugeschlagen. Eine Rahmenverbreiterung bei Vorsatzkästen sowie der Einfluss von Mini-Aufsatzkästen und Aufsatzkästen (wenn diese dem Fenster zugeschlagen werden) ist im U-Wert des Fensterelements zu berücksichtigen, der dann entsprechend anzupassen ist.

An jeder Stelle des Kastens, beim Anschluss an den Blendrahmen sowie beim Sturzanschluss ist $f_{Rsi} \geq 0{,}70$ einzuhalten. Zusätzlich ist in der Referenz-Einbausituation gemäß DIN 4108-2 Beiblatt 2 der Referenz-Ψ-Wert für die Kategorie A oder B einzuhalten, wenn im EnEV-Nachweis ein pauschaler ΔU_{WB} angesetzt werden soll.

Wärmetechnisch günstige Rollladenkästen haben in der Regel eine möglichst dicke bzw. effektive Wärmedämmung zwischen Rollraum und Decke/Sturz, am Innenschenkel und über dem Blendrahmen des Fensters, wobei die Dämmung den Blendrahmen möglichst weit überdecken sollte. Die Einbausituation von Rollladenkästen im Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS) ist in der Regel etwas günstiger zu bewerten als die Einbausituation im monolithischen Mauerwerk. Meistens ist aufgrund der Dämmdicke des WDVS eine außenseitige Überdämmung des Kastens gewährleistet bzw. der Rollraum kann so weit nach außen rutschen, dass die Dämmung der Innenschürze recht dick ausfallen kann. Die Wärmebrückenwirkung der einbindenden Decke wird durch das WDVS stark vermindert. Auf eine ausreichende Dämmdicke des Kastens nach oben zur Betondecke ist zu achten, um die Wärmeverluste an dieser Stelle zu minimieren.

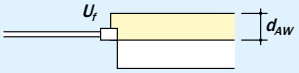
Analoges gilt für Rollladenkästen in zweischaligem Mauerwerk, wobei hier die Dämmschicht in der Regel nicht über die Außenseite des Kastens geführt wird. Bei schlanker tragender Innenschale und kleiner Dämmdicke steht für den Kasten allerdings nur wenig Platz zur Verfügung – entsprechend dünn muss dann die Dämmung am Innenschenkel sein. Wärmetechnisch günstiger ist in diesem Fall die Verwendung eines Vorsatzkastens, der als so genannter Linksroller eingebaut wird. Der Vorsatzkasten tritt als gestalterisches Element in der Fassade auf.

5.6 Einbaulage von Fenstern

Generell ist es wärmetechnisch vorteilhaft, wenn das Prinzip der durchgehenden Dämmebene gleichmäßig überall eingehalten wird. Für den Fenstereinbau bedeutet dies bei KS-Funktionswänden mit Wärmedämmverbundsystem bzw. zweischalige KS-Außenwänden mit Wärmedämmung, dass das Fenster außen vor der tragenden Wand – d.h. in der Dämmebene – montiert wird (Bild 9). Dabei ist es ausreichend, wenn die Innenseite des Fensters flächenbündig mit der Außenseite der tragenden Wand ist. Als Befestigung am tragenden Mauerwerk kommen Laschen und/oder Winkel zum Einsatz. Außenseitig wird der Blendrahmen überdämmt. Diese Einbaulage reduziert die Wärmebrücken in der Fensterlaibung erheblich. An der KS-Tragschale kann die Befestigung der Winkel oder Konsolanker einfach, sicher und wärmetechnisch optimiert erfolgen. Hierfür gibt es auch justierbare Lösungen, bei denen das Ausrichten der Fenster in allen Raumrichtungen erfolgen kann. Die Einbauebene ist frei wählbar. Auskragungen bis 150 mm sind möglich. Die nachfolgenden Dichtungsmaßnahmen zwischen Blendrahmen und Mauerwerk werden durch die Montageschienen nicht behindert.

Energetisch etwas ungünstiger als die Montage des Fensters in der Dämmebene ist die Montage des Fensters innerhalb der Rohbauöffnung (Bild 10). Diese Fensterlage lässt jedoch eine einfache, sichere und dauerhafte Befestigung in der Rohbauöffnung mittels handelsüblicher Rahmendübel zu. Zu beachten ist hier, dass das Aussehen der Fassade durch die nur teilweise sichtbaren Blendrahmen beeinflusst wird. Die Befestigung der Fenster mittels Rahmendübel in der Rohbauöffnung ist bei Hochlochziegeln mit dünnen Querstegen und großen Kammern unter Umständen nur mit langen Spezialschrauben möglich.

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient Ψ [W/(m·K)]



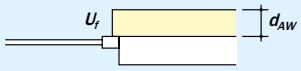
		Rahmendicke d_f			
		≤ 70 mm	80 mm	90 mm	≥ 120 mm
		entspricht typischem U_f-Wert [W/(m²·K)]			
		1,4 oder größer	1,3–1,2	1,1–1,0	0,9 oder kleiner
Dicke der Außenwanddämmung d_{AW} [cm]	10	0,000	0,000	0,001	–
	14	0,002	0,001	0,001	0,000
	18	0,004	0,004	0,003	0,001
	24	0,008	0,008	0,007	0,004
	30	0,012	0,011	0,010	0,008

Hinweise

- Die Fensteröffnung ist mindestens 30 mm zu überdämmen (Überdämmung der Montagefuge 1 cm, Überdämmung des Blendrahmens 2 cm).
- Der Ψ-Wert hängt in erster Linie von der Rahmendicke d_f ab. Ist diese bekannt, wird Ψ ohne Berücksichtigung von U_f oder U_w für diese Rahmendicke abgelesen. Ist die Rahmendicke nicht bekannt, wird ersatzweise vom U_f-Wert des Rahmens ausgegangen. Ist dieser ebenfalls unbekannt, kann er mit der Faustformel $U_f \approx U_w + 0{,}4$ W/(m²·K) aus dem U_w-Wert des Fensters abgeschätzt werden. Alternativ kann U_f mit der genauen Formel nach DIN EN ISO 10077-1 berechnet werden.
- Gilt für alle Dicken und alle Rohdichteklassen des KS-Mauerwerks

Bild 9 Fenster in der Dämmebene (WDVS) – KS-Wärmebrückenkatalog, Detail 2.6.1.1

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient Ψ [W/(m·K)]



		Rahmendicke d_f			
		≤ 70 mm	80 mm	90 mm	≥ 120 mm
		entspricht typischem U_f-Wert [W/(m²·K)]			
		1,4 oder größer	1,3–1,2	1,1–1,0	0,9 oder kleiner
Dicke der Außenwand-dämmung d_{AW} [cm]	10	0,023	0,029	0,033	0,044
	14	0,028	0,033	0,038	0,049
	18	0,032	0,038	0,042	0,054
	24	0,036	0,042	0,047	0,059
	30	0,040	0,046	0,051	0,063

Hinweise

- Die Fensteröffnung ist mindestens 30 mm zu überdämmen (Überdämmung der Montagefuge 1 cm, Überdämmung des Blendrahmens 2 cm).
- Der Ψ-Wert hängt in erster Linie von der Rahmendicke d_f ab. Ist diese bekannt, wird Ψ ohne Berücksichtigung von U_f oder U_w für diese Rahmendicke abgelesen. Ist die Rahmendicke nicht bekannt, wird ersatzweise vom U_f-Wert des Rahmens ausgegangen. Ist dieser ebenfalls unbekannt, kann er mit der Faustformel $U_f \approx U_w + 0{,}4$ W/(m²·K) aus dem U_w-Wert des Fensters abgeschätzt werden. Alternativ kann U_f mit der genauen Formel nach DIN EN ISO 10077-1 berechnet werden.
- Gilt für alle Dicken und alle Rohdichteklassen des KS-Mauerwerks

Bild 10 Fenster in Mauerwerksebene (WDVS) – KS-Wärmebrückenkatalog, Detail 2.7.1.1

6. Wärmebrücken in Kalksandstein-Mauerwerk

6.1 Verringerung der Wärmebrückenwirkung durch KS-Wärmedämmsteine

Etwa 140 Detaillösungen mit zahlreichen Varianten für die Verminderung von Wärmebrücken in Kalksandstein-Mauerwerk finden sich im Wärmebrückenkatalog Kalksandstein [11]. Der Wärmebrückenkatalog ist unter www.ks-waermebruecken.de abrufbar. Dort ist ebenso eine detaillierte Berechnung des Wärmebrückenzuschlags ΔU_{WB} möglich.

Der Unterschied in der Wärmebrückenwirkung – mit und ohne Verwendung eines KS-Wärmedämmsteins als erster Steinlage auf der Kellerdecke – ist hier beispielhaft für den Kellerdeckenanschluss dargestellt.

Durch die Verwendung des KS-Wärmedämmsteins, der gleichzeitig die für Kalksandstein übliche hohe Druckfestigkeit aufweist, kann das Prinzip der umlaufenden Dämmebene am Kellerdeckenanschluss auch bei großen Gebäuden annähernd eingehalten werden (Bild 11). Dies führt zu einer deutlichen Reduzierung der Wärmeverluste an der Wärmebrücke (Bild 12). Ohne KS-Wärmedämmstein entspricht der Anschluss der Kategorie A aus DIN 4108 Beiblatt 2. Mit KS-Wärmedämmstein fällt der Anschluss in die Kategorie B aus DIN 4108 Beiblatt 2 – und der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient Ψ wird von 0,066 W/(m·K) ohne KS-Wärme-

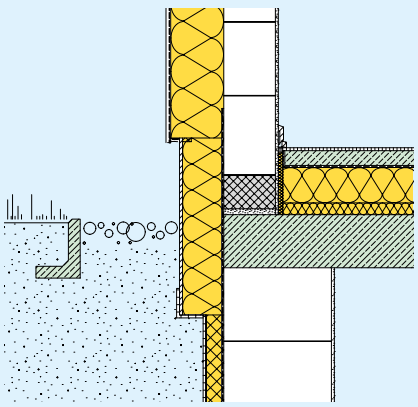
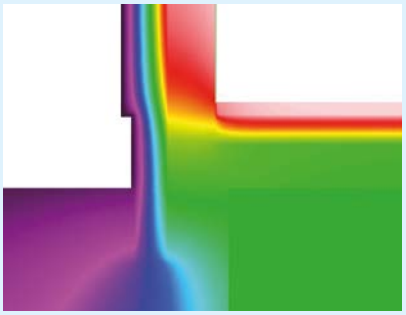


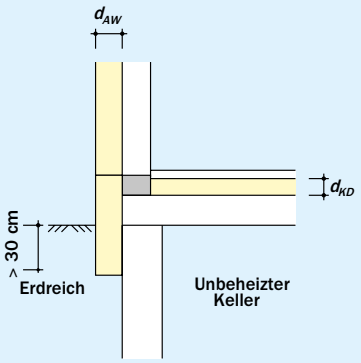
Bild 11 Konstruktionszeichnung aus KS-Detailsammlung, Detail 2.2.3



Rote Farben entsprechen hohen Temperaturen, blaue und violette niedrigen.

Bild 12 Temperaturverlauf am Anschlussdetail von Bild 11

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient Ψ [W/(m·K)]



		Dicke der Kellerdeckendämmung d_{KD} [cm]			
		8	12	16	24
Dicke der Außenwand-dämmung d_{AW} [cm] (Sockeldämmung 0 bis 4 cm dünner)	10	0,098	0,090	0,084	0,071
	14	0,056	0,060	0,063	0,063
	18	0,026	0,038	0,047	0,056
	24	-0,010	0,011	0,026	0,044
	30	-0,042	-0,013	0,007	0,032

Hinweise

- Die deckenstirnseitige Sockeldämmung ist in einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda \leq 0{,}035$ W/(m·K) auszuführen, bis höchstens 30 cm über Geländeoberkante.
- Ein eventueller Rücksprung der Sockeldämmung gegenüber dem WDVS beträgt höchstens 4 cm.
- Die Sockeldämmung ist bis mindestens 30 cm unter Geländeoberkante herabzuführen.
- Die Dicke d_{BP} der Bodenplattendämmung bezieht sich auf die Summe der Dicken der Wärme- und der Trittschalldämmung.
- Der Ψ-Wert darf in der EnEV-Berechung nicht mit dem F_x-Wert für den unteren Gebäudeabschluss beaufschlagt werden.
- Gilt für Dicken ≤ 17,5 cm und für Rohdichteklassen ≤ 2,0 des KS-Mauerwerks oberhalb des Kellers und für alle Dicken und alle Rohdichten des KS-Mauerwerks im Keller.

Bild 13 Sockeldetail (WDVS) – KS-Wärmebrückenkatalog, Detail 2.2.3

dämmstein auf 0,038 W/(m·K) verbessert, dies ist eine Reduktion um gut 40 %.

Bild 12 zeigt den Temperaturverlauf an der Anschlussstelle, Bild 13 die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten für den Kellerdeckenanschluss mit KS-Wärmedämmstein für verschiedene Kombinationen aus Dicke der Außenwand- und Kellerdämmung.

6.2 Einfluss von mechanischen Befestigungsmitteln und Mauerwerksankern

Werden mechanische Befestigungselemente verwendet, z.B. Anker zwischen Mauerwerksschalen (Bild 14), ist ggf. eine Korrektur des U-Werts erforderlich. Dies ist vor allem bei gut gedämmten Konstruktionen der Fall (Tafel 12). Im Anhang der DIN EN ISO 6946 findet sich ein einfaches Näherungsverfahren für diese Korrektur. Bei Befestigungselementen, die an beiden Enden an Metallteile angrenzen, kann dieses Verfahren jedoch nicht eingesetzt werden. In solchen Fällen muss der Einfluss der Befestigungsteile mittels dreidimensionaler Wärmebrückenberechnungen nach DIN EN ISO 10211 untersucht werden. Numerische Verfahren werden auch empfohlen, wenn höhere Anforderungen an die Genauigkeit bestehen. Keine Korrektur ist erforderlich für

- Mauerwerksanker, die eine leere Luftschicht überbrücken,
- Mauerwerksanker zwischen einer Mauerwerkschale und einem Holzständer,
- oder wenn die Wärmeleitfähigkeit eines Teils oder des ganzen Befestigungsteils kleiner als 1 W/(m·K) ist.

Das bedeutet, dass bei zweischaligem Mauerwerk mit Wärmedämmung ohne und mit Hinterlüftungsebene bzw. mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade (VHF) der U-Wert um den Verankerungseinfluss korrigiert werden muss. Die Luftschichten (Fingerspalt bzw. Hinterlüftungsebene) werden nicht zur Dicke der Dämmschicht hinzugezählt. Vor allem bei großen Dämmdicken im zweischaligen Mauerwerk steigt die Ankeranzahl pro m² und damit der Wärmeverlust durch die Summe der Anker an. Tafel 12 listet am Beispiel von Ankern mit einem punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten $\chi = 0{,}00075$ W/K auf, bis zu welcher Anzahl an Luftschichtankern pro m² Wandfläche keine Korrektur des U-Werts erforderlich ist.

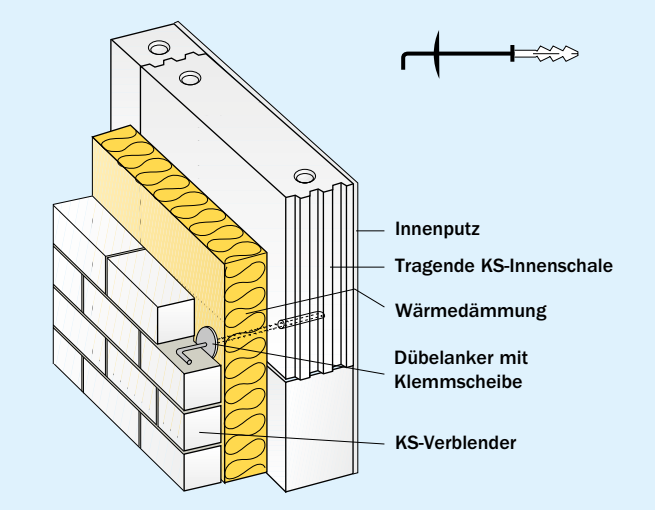


Bild 14 Systemaufbau für zweischaliges Mauerwerk mit Wärmedämmung

Tafel 12 Ankerdichte, die ohne U-Wert-Korrektur für den Ankereinfluss möglich ist, für verschiedene U-Werte der ungestörten Wand. Bei einer höheren Ankerdichte oder bei Ankern mit höherem λ-Wert ist der Einfluss der Anker im U-Wert zu berücksichtigen.

U-Wert der Wand (ungestörter Bereich) [W/(m²·K)]	Wärmebrückeneinfluss durch die Luftschichtanker ohne U-Wert-Korrektur bis zu (max. 3 % des U-Werts der ungestörten Wand) [W/(m²·K)]	Ankerdichte[1] ohne U-Wert-Korrektur bis zu [Stück/m²]
≥ **0,125**	0,0038	5
≥ **0,150**	0,0045	6
≥ **0,175**	0,0053	7
≥ **0,200**	0,0060	8
≥ **0,225**	0,0068	9

[1] Anzahl an Luftschichtankern pro m² bei zweischaligem Mauerwerk (Edelstahlanker, d = 4 mm mit χ-Wert 0,00075 W/K).

6.3 Wärmebrückenwirkung von Konsolen und Ankern bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden

Bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden (VHF) wird die Dämmschicht in regelmäßigen Abständen von den Befestigungsteilen der vorgehängten Fassade durchstoßen. Je nach Art der Fassade und Ausbildung der Befestigungsteile können dadurch nennenswerte Wärmebrückeneffekte entstehen. Bereits wenige Anker pro m² können eine Erhöhung des U-Werts um 0,1 bis 0,2 W/(m²·K) oder mehr zur Folge haben. Generell ist zu empfehlen, thermisch getrennte Befestigungsteile einzusetzen oder beim Anbringen der Befestigungsteile dafür zugelassene thermische Trennlagen zwischen Konsole und Wand einzulegen. Die Wärmebrücken durch Konsolen und Anker sind in

Tafel 13 Vergleich von Konstruktionen mit punktförmigen Wärmebrücken: Einfluss auf den U-Wert

Konstruktion	Dämmstoffdicke (λ = 0,032 W/(m·K)) [cm]	U-Wert[1] ohne Wärmebrücken [W/(m²·K)]	Ankeranzahl n [1/m²]	χ-Wert eines Ankers/Dübels [W/K]	Wärmebrückeneinfluss ΔU (= $n \cdot \chi$) [W/K]	[%]	U-Wert[1] mit Wärmebrücken [W/(m²·K)]
a) **Zweischaliges Mauerwerk mit Edelstahl-Dübelanker, d = 4 mm (außenseitig 11,5 cm KS-Verblender mit λ = 1,1 W/(m·K))**	20	0,15 (0,149)	9	0,00075	0,007	4,7	0,16 (0,156)
b) **Geklebtes Wärmedämm-Verbundsystem (außenseitig 0,5 cm Außenputz mit λ = 0,70 W/(m·K))**	20	0,15 (0,151)	0	–	–	–	0,15 (0,151)
c) **Gedübeltes Wärmedämm-Verbundsystem mit Kunststoffdübeln χ = 0,002 W/K (außenseitig 0,5 cm Außenputz mit λ = 0,70 W/(m·K))**	20	0,15 (0,151)	4,5	0,002	0,009	6,0	0,16 (0,160)
d) **Vorgehängte hinterlüftete Fassade – verzinkter Stahl (außenseitig 2 cm Hinterlüftung und 4 cm Naturstein mit λ = 3,5 W/(m·K))**	20	0,15 (0,150)	1,78	0,018	0,032	21	0,18 (0,182)
e) **Vorgehängte hinterlüftete Fassade – Aluminium (außenseitig 2 cm Hinterlüftung und 4 cm Naturstein mit λ = 3,5 W/(m·K))**	20	0,15 (0,150)	1,78	0,040	0,071	47	0,22 (0,221)

Wandaufbau: 1 cm Innenputz mit λ = 0,51 W/(m·K); 17,5 cm KS-Tragschale RDK 2,0 mit λ = 1,1 W/(m·K); 20 cm Wärmedämmung mit λ = 0,032 W/(m·K); außenseitig KS-Verblender bzw. Putz bzw. hinterlüftete Natursteinfassade

[1] U-Werte werden als Endergebnis auf zwei wertanzeigende Stellen gerundet. Als Zwischenergebnis (z.B. für die Berechnung von ψ-Werten) erfolgt zusätzlich die Angabe der U-Werte mit drei wertanzeigenden Stellen in Klammern.

den U-Wert der Wandfläche mit der vorgehängten hinterlüfteten Fassade einzurechnen, damit der Wärmebedarf des Gebäudes zutreffend berechnet werden kann. Die Berücksichtigung im U-Wert der Wand mit VHF kann explizit mittels der Anzahl der Verankerungen und deren χ- bzw. Ψ-Werten erfolgen, sofern die punktuellen bzw. längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der Befestigungsteile bekannt sind oder vom Hersteller angegeben werden.

Die Richtlinie „Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden“ [13] stellt entsprechende Werte für typische Verankerungssysteme zur Verfügung und bietet Bemessungsdiagramme zur Berücksichtigung verschiedener Verankerungssysteme.

6.4 Vergleich der Wärmebrückenwirkung der Befestigung bei typischen Wandaufbauten

Ausgangspunkt für den Vergleich der Wärmebrückenwirkungen der Befestigungen ist jeweils eine sehr gut wärmegedämmte Kalksandstein-Konstruktion, die aus einer tragende Innenschale aus Kalksandsteinen hoher Rohdichte (Dicke 17,5 cm, RDK = 2,0, λ = 1,1 W/(m·K)) und einer 20 cm dicken Wärmedämmung mit einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von 0,032 W/(m·K) besteht. Eine Unterscheidung erfolgt für den äußeren Aufbau und für die Befestigungsteile.

a) Zweischaliges Mauerwerk:
Betrachtet wird ein Aufbau mit Kalksandstein-Verblendmauerwerk der Dicke 11,5 cm mit Wärmedämmung (ohne Hinterlüftung der Außenschale). Pro m² werden neun Drahtanker aus Edelstahl in die tragende Wand gesetzt. Die Anker haben den Durchmesser 4 mm und werden in beiden Mauerwerksschalen mit einer Einbindetiefe von jeweils 50 mm verankert.

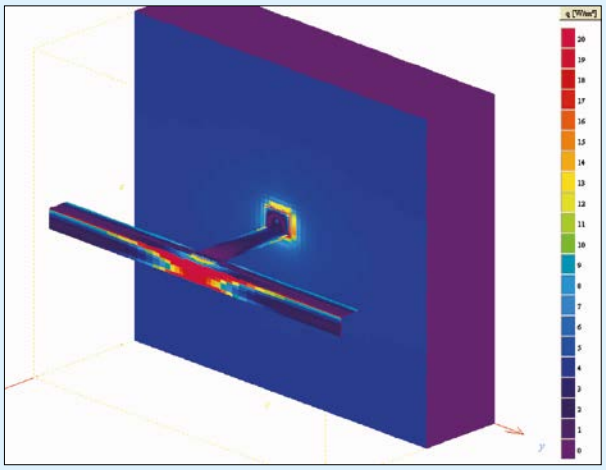
b) Geklebtes Wärmedämm-Verbundsystem:
Bei tragfähigem, ebenen Untergrund (Ebenheitsabweichung bis 1 cm) ist der Einsatz ausschließlich geklebter Systeme möglich. Dies ist nicht nur besonders wirtschaftlich, sondern vermeidet auch Wärmebrücken durch Befestigungselemente.

INFO

Ein ausschließlich geklebtes Wärmedämm-Verbundsystem, wie es üblicherweise auf KS-Mauerwerk ausgeführt wird, weist keine punktförmigen Wärmebrücken auf.

c) Gedübeltes Wärmedämm-Verbundsystem:
Das berechnete Wärmedämm-Verbundsystem ist ein gedübeltes System mit handelsüblichen Kunststoffdübeln mit einem Einstufungswert für χ von 0,002 W/K. Da für die Einstufung von Dübeln der höchste χ-Wert bei verschiedenen WDVS-Dicken herangezogen wird, kann der tatsächlich für eine Dämmdicke von 20 cm vorliegende Wärmeverlust eines Dübels geringer sein als der Einstufungswert. Die mit dem Einstufungswert berechneten, zusätzlichen Wärmeverluste liegen demnach auf der sicheren Seite. Angenommen wird eine mittlere Dübelanzahl von 4,5 Dübeln pro m².

d) + e) Vorgehängte hinterlüftete Fassade:
Es werden zwei Systeme betrachtet – eines mit einer Tragkonstruktion aus verzinktem Stahl (d) = und eines mit einer Aluminium-Tragkonstruktion (e). Beide Systeme werden für das Rastermaß 0,75 · 0,75 m berechnet, das entspricht einer mittleren Befestigeranzahl von 1,78 Stück pro m². Die Konsole wird durch ein L-Profil gebildet und ist 60 mm lang. Die Schenkellänge beträgt 50 mm an der Wandoberfläche und 190 mm in der Dämmebene. Außenseitig befindet sich ein Winkelprofil zur Befestigung der Fassadenplatten. Die Schenkellänge beträgt beidseitig 45 mm. Dieses Profil wird als durchgehendes Profil betrachtet, was bedeutet, dass sich an der Fassade alle 75 cm ein Winkelprofil befindet, das horizontal verläuft. Außenseitig wird auf diesem Profil eine Natursteinfassade der Dicke 4 cm angebracht. Zwischen Konsole und Wandoberfläche wird eine thermische Trennung der Dicke 6 mm angeordnet. Die thermische Trennung besteht aus einem druckfesten und geschlossenzelligen PVC-Hartschaum und wird nur durch die zur Befestigung der Konsole notwendige Schraube unterbrochen. Eingesetzt werden Schrauben M8 aus Edelstahl mit der Verankerungslänge 50 mm. Die beiden Systeme unterscheiden sich nicht nur in ihrem konstruktiven Material, sondern auch in der Dicke der eingesetzten Profile. Die Aluminiumkonsole ist 4 mm dick, die Stahlkonsole hingegen nur 2 mm. An den Winkelprofilen ist der Unterschied mit 1,5 mm bei Stahl gegenüber 2 mm bei Aluminium nicht sehr groß. Zu beachten ist jedoch die bei Aluminium mit 160 W/(m·K) gegenüber Stahl mit 50 W/(m·K) deutlich größere Wärmeleitfähigkeit.



Rote und gelbe Farben zeigen eine hohe örtliche Wärmestromdichte an, blaue und violette Farben eine niedrige. Nicht dargestellt sind die Dämmschicht und die Fassadenplatten aus Naturstein. Trotz der Hinterlüftung fließt auch durch die Natursteinfassade ein nennenswerter Wärmestrom ab. Deutlich sichtbar werden die sehr hohen Wärmestromdichten in der Metallkonstruktion, z.B. dort, wo sie die Konstruktion verlassen (vor allem am Winkelprofil). Die Fassade wirkt somit als Kühlkörper für die punktförmigen Wärmebrücken durch die Befestiger und verstärkt deren Wirkung.

Bild 15 Vorgehängte hinterlüftete Fassade mit Aluminiumschienen Wärmestromdichten an der Aluminiumschiene und an der tragenden Innenschale aus Kalksandsteinen

In Tafel 13 sind für die Dämmdicke 20 cm die U-Werte der verschiedenen Konstruktionen mit und ohne punktförmige Wärmebrücken aufgetragen. Der angegebene Unterschied ΔU ist die aufgrund der Wärmebrückeneffekte der Befestigungsmittel auftretende Erhöhung des (ungestörten) Wärmedurchgangskoeffizienten U. Diese Erhöhung ist im U-Wert zu berücksichtigen, wenn sie größer als 3 % des U-Werts ohne Befestigungsmittel ist.

Bild 15 zeigt die Wärmestromdichten an den Profilen bei der berechneten VHF-Konstruktion mit Aluminiumprofilen. Das ausschließlich geklebte Wärmedämm-Verbundsystem weist keine punktförmigen Wärmebrücken auf, daher ist keine Korrektur für Befestigungsteile erforderlich. Wie zu erwarten, ergibt sich bei den Konstruktionen mit Befestigungselementen für die Luftschichtanker der geringste Einfluss auf den U-Wert (hier: +4,7 %). Doch auch hier ist bereits das 3%-Kriterium der DIN EN ISO 6946 überschritten, bis zu dem der Ankereinfluss vernachlässigt werden darf. Ursache dafür ist der niedrige U-Wert der Ausgangswand sowie die hohe Dübelanzahl. Die U-Wert-Erhöhung ist mit 0,007 W/(m²·K) allerdings so gering, dass sie in einigen Fällen – je nach U-Wert der Ausgangswand, aber nicht im gezeigten Beispiel – innerhalb der Rundungsgenauigkeit liegt. Damit würde sich selbst bei Berücksichtigung des Wärmebrückeneinflusses kein anderer U-Wert ergeben. Beim gedübelten WDVS mit 4,5 Dübeln pro m² beträgt die U-Wert-Erhöhung mit hier 6 % etwas mehr als bei den Luftschichtankern. Besser eingestufte Dübel für WDVS würden zu einem geringeren Wärmebrückeneinfluss führen.

Sehr deutlich erhöhen die beiden Tragkonstruktionen für die vorgehängte hinterlüftete Natursteinfassade den U-Wert der ungestörten Bauteilfläche: Die Stahl-Tragkonstruktion erhöht den U-Wert hier um gut 20 % von 0,15 auf 0,18 W/(m²·K). Aluminium als Material für die Tragkonstruktion erhöht den U-Wert hier um gut 45 % auf 0,22 W/(m²·K). Die Beispiele dokumentieren klar, welchen Einfluss die konstruktionsbedingten Wärmebrücken haben. Bereits kleine χ-Werte punktueller Wärmebrücken und niedrige Anker- bzw. Dübeldichten können zu einem nennenswerten Anstieg des Wärmetransports führen. Vor allem bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden ist der Wärmebrückeneinfluss der Befestigungen im U-Wert der Wandfläche zu berücksichtigen, um den Wärmebedarf des Gebäudes mit zutreffenden U-Werten richtig berechnen zu können.

7. Klimabedingter Feuchteschutz

Aus hygienischen Gründen und aus Komfortgründen sind behagliche, trockene Räume anzustreben. Feuchte Wände und Decken können zu Schimmelpilzwachstum führen, was nicht nur unschön, sondern auch aufgrund der möglichen toxischen Wirkungen und Allergien zu vermeiden ist. In Räumen mit feuchten Bauteilen ist ein behagliches Raumklima kaum erreichbar. Deshalb ist der Schutz der Außenbauteile gegen Feuchtigkeit eine wichtige bauphysikalische Aufgabe:

- Die Baukonstruktion muss über einen ausreichenden konstruktiven Schutz vor Regen oder Schlagregen und vor aufsteigender Feuchte verfügen.
- Der Schutz gegen Oberflächenkondensat auf der Raumseite erfolgt durch einen ausreichenden Wärmeschutz in der Fläche und im Bereich von Wärmebrücken.
- Der Schutz gegen unzulässige Tauwasserbildung infolge von Wasserdampf im Inneren des Bauteils erfolgt konstruktiv z.B. durch eine angepasste Schichtenfolge oder durch raumseitig diffusionshemmende Schichten.
- Die luftdichte Ausführung der Bauteile und Anschlusspunkte stellt sicher, dass es nicht zu einer Durchströmung der Konstruktion mit warmer, feuchter Raumluft und zu Kondensatbildung im Bauteilinneren kommt.
- Bei Neubauten muss eventuell vorhandene Baufeuchte in der Anfangsphase durch erhöhtes Heizen und Lüften abgeführt werden, um Tauwasser oder Schimmelpilzbildung zu vermeiden. Üblicherweise rechnet man mit einer Zeitdauer von etwa zwei Jahren, bis die Baufeuchte aus massiven Bauteilen ausgetrocknet ist.

INFO

Zweischaliges KS-Mauerwerk mit Wärmedämmung oder mit Wärmedämmung und Luftschicht und einschaliges KS-Mauerwerk mit WDVS oder hinterlüfteter Außenwandbekleidung sind ohne weiteren Nachweis für alle Schlagregenbeanspruchungsgruppen der DIN 4108-3 geeignet.

7.1 Diffusion von Wasserdampf

In bewohnten Räumen wird der Luft durch die Nutzer ständig Feuchte zugeführt. Die Raumluftfeuchte hängt wesentlich von der Zahl der Bewohner, von der Wohnungsgröße und von der Wohnungsnutzung ab. Hohe Belegungsdichte, freies Wäschetrocknen, viele Pflanzen, viele Haustiere etc. führen zu einer hohen Raumluftfeuchte. Bei üblichem Wohnverhalten können in Abhängigkeit von der Haushaltsgröße und der Nutzung täglich zwischen etwa zwei und neun Liter Wasser als Wasserdampf pro Wohnung freigesetzt werden (Bild 16).

INFO

Außenwände, die atmen, gibt es nicht. Die anfallende nutzungsbedingte Feuchte muss durch Lüftung abgeführt werden. Im Vergleich zur Lüftung ist der Feuchtetransport durch die Außenwände infolge Diffusion verschwindend gering und trägt zur Feuchteabfuhr nur unwesentlich bei (einige wenige Prozent selbst bei sehr diffusionsoffener Bauweise, Bild 17).

Unter Wasserdampfdiffusion ist der Transport gasförmigen Wassers durch den Feststoff von Bauteilen zu verstehen. Antreibendes Potenzial sind die unterschiedlichen Wasserdampfteildrücke zu beiden Seiten der Bauteile, die durch die verschiedenen klimatischen Bedingungen innen und außen entstehen. Wasserdampfdiffusion erfolgt in der Regel vom beheizten Bereich nach außen. Obwohl die Massenströme klein sind, kann es bei ungünstiger Schichtenfolge oder fehlenden diffusionshemmenden Schichten auf der Warmseite der Dämmebene zu einem Tauwasserausfall innerhalb der Konstruktion kommen, der sich über die Winterperiode zu unzulässiger Größe aufsummiert. Der Nachweis des ausreichenden Schutzes gegen Tauwasserbildung im Bauteilinneren erfolgt nach dem so genannten „Glaser“-Verfahren der DIN 4108-3. Dabei wird ein Blockklima mit dreimonatiger Tau- bzw. Verdunstungsperiode mit jeweils konstanten, speziell festgelegten Klimaannahmen angesetzt, und über diese beiden Perioden die Tauwasserbilanz gebildet. Das Verfahren ist auf eindimensionale Problemstellungen beschränkt. Das Glaser-Verfahren der DIN 4108-3 hat sich als einfaches, „auf der sicheren Seite“ liegendes Bewertungsverfahren bewährt, insbesondere bei Bauteilen und Baustoffen, bei denen Sorptions- und Kapillareffekte keine besondere Rolle spielen. Die Standardrandbedingungen sind der DIN 4108-3 zu entnehmen.

Die europäische DIN EN 13788 bietet ein analoges Verfahren an, allerdings mit monatsweiser Berechnung bei monatsweise konstanter Klimaannahme und Tauwasserbilanzierung über den ganzen Jahresverlauf. Weil bisher für dieses Verfahren keine Klimarandbedingungen festgelegt sind, die für die Verwendung in Deutschland anzusetzen wären, kann das Verfahren der DIN EN 13788 für Deutschland noch nicht für den baurechtlichen Nachweis des klimabedingten Feuchteschutzes verwendet werden.

In den letzten Jahren hat sich die feuchtetechnische Bewertung von Konstruktionen mit Hilfe von realitätsnahen, instationären Simulationsprogrammen durchgesetzt. Diese Programme bilden den Wärme- und Feuchtetransport durch die Bauteile gekoppelt ab und berücksichtigen auch die Kapillarwirkung der Bauteile. Viele übliche Konstruktionen, wie z.B. Innendämmungen mit kapillaraktiven Systemen, können mittels des Glaser-Verfahrens gar nicht abgebildet werden. Solche Konstruktionen sind mittels instationärer Simulation zu untersuchen und spezifisch für die Ausrichtung des Bauteils und den Standort des Gebäudes zu bewerten.

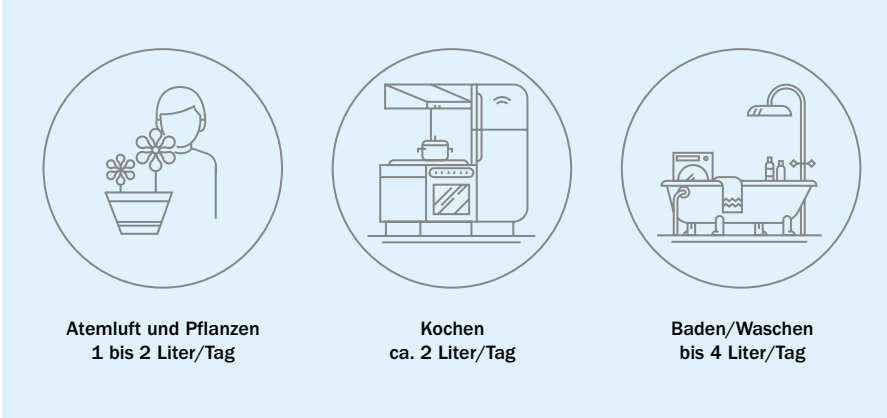


Bild 16 Entstehung von Wasserdampf in einem Vier-Personen-Haushalt



Bild 17 Feuchtetransport aus Räumen findet zu 98 % über Lüftung und nur zu 2 % durch Diffusion statt.

7.2 Kennwerte für die Wasserdampfdiffusion

Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ: Der Widerstand, den ein Baustoff der Diffusion von Wasserdampf entgegensetzt, wird durch die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ beschrieben. Sie gibt an, um wie viel höher der Widerstand eines Stoffes gegenüber Wasserdampfdiffusion ist als der Widerstand einer gleich dicken, ruhenden Luftschicht. Die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ ist bei definierten Bedingungen eine Stoffkonstante. Richtwerte für μ finden sich in DIN 4108-4 und in DIN EN ISO 10456. Sind zwei μ-Werte angegeben, ist der für die Tauperiode ungünstigere μ-Werte zu verwenden, d.h. der, bei dem sich die höhere Tauwassermenge ergibt.

Dieser μ-Wert ist dann auch für die Verdunstungsperiode beizubehalten (Bild 18).

Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d: Das Verhalten von Baustoffschichten hinsichtlich Wasserdampfdiffusion wird durch die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d charakterisiert. Sie drückt aus, wie dick eine ruhende Luftschicht sein müsste, um den gleichen Widerstand gegen Wasserdampfdurchgang zu haben wie die betrachtete Bauteilschicht (Bild 19). Der s_d-Wert ist das Produkt aus der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ des Materials und der Dicke d der betrachteten Schicht, und ist damit keine Materialeigenschaft, sondern eine Eigenschaft der konkreten Materialschicht. Die Norm unterteilt Materialschichten in folgende Kategorien:

- Diffusionsoffene Schicht: Bauteilschicht mit einem s_d-Wert von weniger als 0,5 m
- Diffusionshemmende Schicht: Bauteilschicht mit einem s_d-Wert zwischen 0,5 und 1.500 m
- Diffusionsdichte Schicht: Bauteilschicht mit einem s_d-Wert größer als 1.500 m

Die früher üblichen bzw. umgangssprachlichen Bezeichnungen „Dampfbremse“ und „Dampfsperre“ sind nicht mehr normkonform. Für mehrschichtige, ebene Bauteile können die s_d-Werte der einzelnen hintereinanderliegenden Schichten addiert werden, um den s_d-Wert des ganzen Bauteils zu bestimmen. Die Wasserdampf-Übergangswiderstände an den Bauteiloberflächen sind so klein, dass sie vernachlässigt werden. Die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke einer Wärmedämmschicht liegt in der Größenordnung der einer massiven Holzwand (Bild 19).

Für außenseitig auf Bauteilen bzw. außenseitig von Wärmedämmungen vorhandene Schichten (z.B. Bahnen, Papiere etc.) mit messtechnisch ermittelten s_d-Werten ≤ 0,10 m wird in der Berechnung als s_d-Wert 0,10 m angesetzt, um eine mögliche Messunsicherheit bei so kleinen s_d-Werten aufzufangen.

7.3 Bauteile, für die kein rechnerischer Tauwassernachweis erforderlich ist

In DIN 4108-3 sind Wand- und Dachbauteile angegeben, deren feuchtetechnische Funktionsfähigkeit aus der Erfahrung bekannt ist und für die kein weiterer Nachweis des ausreichend niedrigen Tauwasserausfalls erforderlich ist.

Außenwände (Auswahl):

- Außenwände aus einschaligem Mauerwerk, verputzt
- Außenwände aus zweischaligem Mauerwerk, mit Wärmedämmung oder Wärmedämmung und Luftschicht oder nur mit Luftschicht
- Außenwände aus Mauerwerk, raumseitig verputzt, mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung
- Außenwände aus Mauerwerk, verputzt, mit WDVS
- Außenwände aus Mauerwerk, verputzt, außenseitig mit angemörtelten Bekleidungen mit mindestens 5 % Fugenanteil
- Perimetergedämmte Kelleraußenwände aus Beton oder einschaligem Mauerwerk
- Perimetergedämmte Bodenplatten mit Abdichtung nach DIN 18195 bzw. DIN 18533, wenn die raumseitigen Schichten nicht mehr als 20 % des gesamten Wärmedurchlasswiderstandes des Bauteils ausmachen
- Wände in Holzbauart mit Mauerwerk-Vorsatzschale und raumseitiger Schicht mit $s_d \geq 2$ m

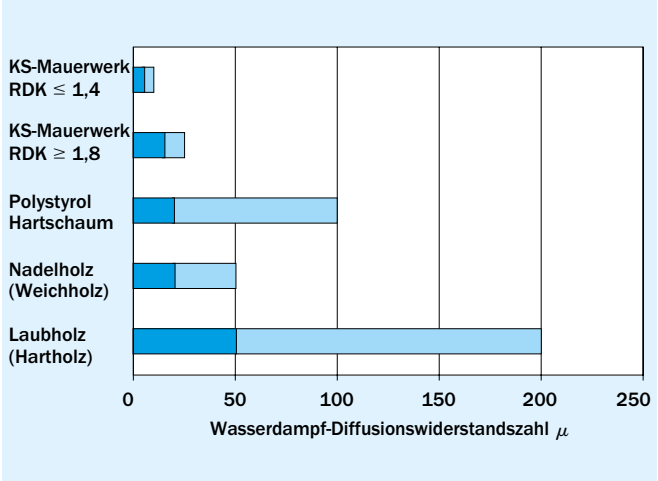


Bild 18 Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen ausgewählter Materialien, angegeben sind jeweils Kleinst- und Größtwert nach DIN 4108-4 bzw. nach DIN EN 12524.

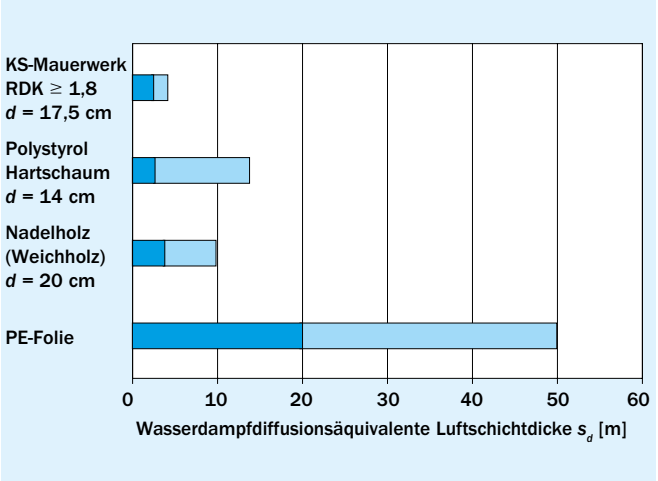


Bild 19 Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d ausgewählter Baustoffdichten, jeweils für den Kleinst- und den Größtwert des μ-Werts nach DIN V 4108-4 bzw. nach DIN EN 12524.

INFO

Zweischalige KS-Außenwände mit Wärmedämmung, KS-Außenwände mit WDVS und KS-Kellerwände mit Perimeterdämmung sind hinsichtlich der Wasserdampfdiffusion unkritisch und bedürfen keines Nachweises für den Tauwasserausfall im Inneren des Bauteils (DIN 4108-3).

Dächer (Auswahl):

- Nicht belüftete Dächer mit einer belüfteten Dachdeckung und einer Wärmedämmung zwischen, unter und/oder über den Sparren bedürfen keines rechnerischen Tauwassernachweises, wenn die s_d-Werte der Schichten auf der Innen- und der Außenseite der Wärmedämmung in folgenden Verhältnissen zueinander stehen:

  $s_{d,e} \leq 0{,}1$ m und $s_{d,i} \geq 1{,}0$ m
  $s_{d,e} \leq 0{,}3$ m und $s_{d,i} \geq 2{,}0$ m
  $s_{d,e} > 0{,}3$ m und $s_{d,i} \geq 6 \cdot s_{d,e}$

Dabei bezeichnet $s_{d,e}$ die Summe der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken aller Schichten zwischen der Kaltseite der Wärmedämmung und der äußeren Hinterlüftung und $s_{d,i}$ die Summe der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken aller Schichten zwischen der Warmseite der Wärmedämmung und der Raumluft.

INFO

Bei nicht belüfteten Dächern mit belüfteter oder nicht belüfteter Dachdeckung und äußeren diffusionshemmenden Schichten mit $s_{d,e} \geq 2$ m trocknet erhöhte Baufeuchte oder später z.B. durch Undichtheiten eingedrungene Feuchte nur schlecht oder gar nicht aus. Es ist bei diesen Konstruktionen zu beachten, dass zwischen den inneren diffusionshemmenden Schichten ($s_{d,i}$) und den äußeren diffusionshemmenden Schichten ($s_{d,e}$) bzw. der äußeren Dachabdichtung Holz oder Holzwerkstoffe nur bis zu der jeweiligen zulässigen Materialfeuchte eingebaut werden.

7.4 Konstruktive Hinweise

Überschlägig orientiert man sich an der Grundregel, dass der s_d-Wert der Baustoffschichten eines Bauteils von innen nach außen abnehmen soll, um die Diffusion von Wasserdampf im Bauteilquerschnitt nicht zu behindern. Wärmedämmverbundsysteme weichen von dieser Grundregel ab. Die Systemkomponenten von Wärmedämmverbundsystemen sind allerdings so aufeinander abgestimmt, dass die Diffusion im Bauteilquerschnitt nur geringfügig und unbedenklich behindert wird. Die feuchtetechnische Funktionsfähigkeit von verputztem Kalksandstein-Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem ist aus mehr als 40-jähriger Erfahrung hinreichend bekannt. Dementsprechend ist diese Bauweise in DIN 4108-3 in die Liste der Bauteile aufgenommen, für die hinsichtlich der Wasserdampfdiffusion kein weiterer rechnerischer Tauwassernachweis erforderlich ist.

Werden diffusionshemmende Bahnen oder Schichten verwendet, z.B. im Dach, sollte der s_d-Wert der raumseitigen Bahn sechs- bis zehn Mal so groß sein wie der s_d-Wert der außenseitigen Bahn.

Wird statt der Außen- eine Innendämmung verwendet, befindet sich die Innenseite der tragenden Wandschale bereits fast auf Außentemperaturniveau. Es besteht ein hohes Risiko, dass Wasserdampf, der auf dem Wege der Diffusion (oder gar der Konvektion durch eine Luftundichtheit) durch die Konstruktion zur tragenden Wand gelangt, dort als Tauwasser innerhalb der Konstruktion ausfällt. Als Abhilfe sind ausreichend diffusionshemmende Dämmstoffe oder raumseitige diffusionshemmende Bekleidungen erforderlich. Vor allem an durchdringenden Bauteilen sind letztere oft nur mit Aufwand luft- und diffusionsdicht anzuschließen. Alternativ können auch spezielle, kapillarleitende Dämmstoffe in dünnen Schichtdicken verwendet werden. In energetischer Hinsicht wirken sich bei einer Innendämmung die zahlreichen Wärmebrücken an den Durchdringungen der raumseitigen Innendämmung durch einbindende Massivbauteile ungünstig aus.

Sowohl aus Gründen der Wasserdampfdiffusion als auch für die Wärmebrückenvermeidung ist es deshalb unbedingt empfehlenswert, zusätzliche Wärmedämmschichten, soweit möglich, nicht auf der Innenseite, sondern auf der Außenoberfläche von Massivbauteilen oder als Kerndämmung im äußeren Teil des Wandquerschnitts anzubringen. Diese Schichtenfolge ist bei Verwendung eines angepassten diffusionsoffenen Außenputzsystems unkritisch hinsichtlich der Wasserdampfdiffusion. Die tragende Konstruktion wird vor Temperaturwechselbeanspruchungen von außen geschützt. Und die außenseitige Dämmung bildet eine durchgehende Dämmschicht, die Wärmebrücken durch innenseitig einbindende Bauteile vermeidet.

7.5 Austrocknungsverhalten von Mauerwerkswänden

Das Austrocknungsverhalten von Baustoffschichten und Bauteilen ist insbesondere dann wichtig, wenn die betreffende Baustoffschicht für die Wärmedämmung des Bauteils von Bedeutung ist. Bei monolithischem Mauerwerk ist der Wärmeschutz der Außenwand überwiegend von den Mauersteinen abhängig. Wird ein solches Mauerwerk in der Bauphase durchnässt oder durchfeuchtet, wird der geplante Wärmeschutz erst dann erreicht, wenn die Wände bis zur Ausgleichsfeuchte ausgetrocknet sind. Rechnerische Untersuchungen zeigen, dass dies bis zu zwei bis drei Jahre dauern kann. Der Heizwärmebedarf eines Raums kann in dieser Zeit, je nach Durchfeuchtung des Mauerwerks und Austrocknungsverhalten, um bis zu 30 % höher sein als im ausgetrockneten Zustand [14].

Bei Kalksandstein-Außenwandkonstruktionen wird der wesentliche Teil der Wärmedämmung von den zusätzlichen Wärmedämmschichten auf der Außenseite der Tragschale erbracht. Die dafür empfohlenen Dämmstoffe (z.B: EPS-Hartschaum oder hydrophobierte Mineralwolleplatten) nehmen praktisch kein Wasser auf.

INFO

Der Wärmeschutz von funktionsgetrennten KS-Außenwänden ist von Anfang an in vollem Umfang gewährleistet.

Künzel untersucht in [15] die Austrocknungszeit verschiedener Wandkonstruktionen mit WDVS. Dabei kommt er zu folgenden Ergebnissen:

- Die Austrocknungszeit von wenig dämmenden Wandbildnern wie Kalksandsteinen liegt beim WDVS mit EPS-Dämmung im Bereich von monolithischen Wänden. Bei Verwendung von Mineralwolle liegt sie noch darunter.
- Da das Kalksandstein-Mauerwerk selbst nur wenig zur Wärmedämmung der Wand beiträgt, stellt eine eventuell lang anhaltende Baufeuchte im Kalksandstein-Mauerwerk in der Regel kein Problem dar, solange sie nicht über Anschlüsse oder Einbindungen in feuchteempfindliche Bereiche eindringt.
- Bei dämmenden Wandbildnern wie z.B. Porenbeton (Ähnliches gilt auch für porosierte Ziegel oder Leichtbetone) sind WDVS mit wasserdampfdiffusionshemmender Wirkung, wie z.B. mit EPS-Hartschaum, ungünstig. Die geringe Trocknungsmöglichkeit nach außen kann zu länger erhöhter Baufeuchte im Mauerwerk führen, was den Wärmedurchlasswiderstand der Wand reduziert. Ein WDVS auf Mineralwollebasis führt zu Austrocknungszeiten, wie sie bei Wänden ohne Außendämmung erreicht werden.

INFO

Generell ist in der Austrocknungsphase zu beachten, dass ein erheblicher Teil der Baufeuchte nicht an die Außenluft, sondern an den Innenraum abgegeben wird. In dieser Zeit ist es deshalb unbedingt erforderlich, verstärkt zu lüften (und im Winter ggf. verstärkt zu heizen), um die austrocknende Baufeuchte mittels Lüftung nach außen abzuführen.

Für die Austrocknung von KS-Innenwänden können aus Versuchen unter ungünstigen Klimarandbedingungen (20 °C, 65 % r.F.) näherungsweise folgende Anhaltswerte für die Zeit bis zum Erreichen der Ausgleichsfeuchte abgeleitet werden:

- Wände der Dicke 11,5 cm: etwa drei bis sechs Monate
- Wände der Dicke 24 cm: bis etwa zwölf Monate
- Bei Lochsteinen sowie bei praxisgerechten Klimarandbedingungen sind deutlich kürzere Austrocknungszeiten zu erwarten [16].

8. Luftdichtheit

Eine möglichst luftdichte Ausführung der Gebäudehülle ist vor allem aus Feuchteschutzgründen wichtig. Anderenfalls kann warme, feuchte Raumluft durch Undichtheiten der Gebäudehülle nach außen strömen. Dabei kann es an kalten Stellen innerhalb der Konstruktion zu Kondensatbildung und Schimmelpilzwachstum kommen. Dies kann letztlich zur Schädigung oder gar Zerstörung von Konstruktionsteilen führen.

Aber auch unter dem Aspekt der Energieeinsparung ist die Luftdichtheit der Gebäudehülle zu sehen. Bei freier Lüftung (Fensterlüftung) beträgt der Lüftungswärmeverlust bei gut gedämmten Neubauten zwischen 30 und etwa 50 % der gesamten Wärmeverluste. Ähnlich wie bei den Wärmebrücken gilt auch hier, dass der prozentuale Anteil der Lüftungswärmeverluste mit zunehmender energetischer Qualität der Gebäudehüllfläche ansteigt. Dementsprechend ist darauf zu achten, dass die Gebäudehülle möglichst wenig ungeplante Undichtheiten enthält, durch die ein unkontrollierbarer Luftwechsel stattfindet. Lüftungsanlagen (ohne, vor allem aber mit Wärmerückgewinnung) können die Lüftungswärmeverluste reduzieren bei gleichzeitiger Sicherstellung einer guten Raumluftqualität und hohem Nutzerkomfort.

Hervorzuheben ist, dass die erforderliche Lüftung eines Gebäudes planmäßig über natürliche Lüftung (Fensterlüftung), durch Lüftungseinrichtungen (z.B. Außenwanddurchlass, Lüftungsgitter) oder durch mechanische Lüftung erfolgt. Der Luftdurchgang durch mehr oder weniger zufällige Undichtheiten ist zu stark abhängig von der momentanen Wind- und Luftdrucksituation, als dass eine sichere, ausreichende, energieeffiziente Lüftung sichergestellt wäre.

Hinsichtlich der Luftdichtheit ist der Mauerwerksbau mit Kalksandstein aufgrund seiner einfacheren und weniger fehleranfälligen Details im Vorteil gegenüber Leichtbauweisen. Besonders hinzuweisen ist im Zusammenhang mit der Luftdichtheit auf folgende Details:

- Alle Bauteilanschlüsse im Dach- und Fensterbereich
- Alle Durchdringungen im Dach
- Abschlüsse von Mauerkronen (Abdeckelung von Lochsteinen durch Mörtelauflage oder Verwendung gedeckelter Steine)
- Alle offen zutage tretenden Lochkanäle der Mauersteine (z.B. an Mauerkronen und unter Fensterbrettern) sind durch eine Mörtelauflage abzudeckeln.

INFO

Kalksandsteine – auch als Lochsteine – werden grundsätzlich mit geschlossenem Deckel hergestellt. Dies ist vorteilhaft hinsichtlich der Verarbeitung (vollflächiger Mörtelauftrag) und Luftdichtheit (keine durchgehenden Lochkanäle). Werden so genannte KS -E-Steine mit durchgehenden Lochungen für die Elektroinstallation verwendet, so sind die Kanäle am Wandkopf zu schließen und die eingesetzten Steckdosen luftdicht anzuschließen, z.B. durch Einsetzen in einen Gipsbatzen oder durch Verwendung spezieller Steckdoseneinsätze.

Mauerwerksbereiche hinter abgehängten Decken, Spülkästen, Fußbodenleisten, Estrichaufbauten etc. sind vor Anbringen der Einbauten zu verputzen bzw. die Fugen sind zu verspachteln, um die Luftdichtheit zu gewährleisten. Steckdosen in Mauerwerk mit durchgehenden Elektrokanälen sind luftdicht einzusetzen. Es empfiehlt sich, die Anschlüsse von Luftdichtheitsfolien an aufgehende Wandbereiche mechanisch zu sichern, z.B. durch eine Anpressleiste mit untergelegtem Kompriband, oder die Folie mit Rippenstreckmetall auf der Wand zu fixieren und einzuputzen (Bild 20).

INFO

KS-Mauerwerk selbst ist luftdicht. Dies gilt bereits bei Verwendung von einseitigem Dünnlagenputz (mittlere Dicke 5 mm) oder bei Vermörtelung der Stoß- und Lagerfugen. Der Innenputz ist von Oberkante Rohdecke bis Unterkante Rohdecke zu führen.

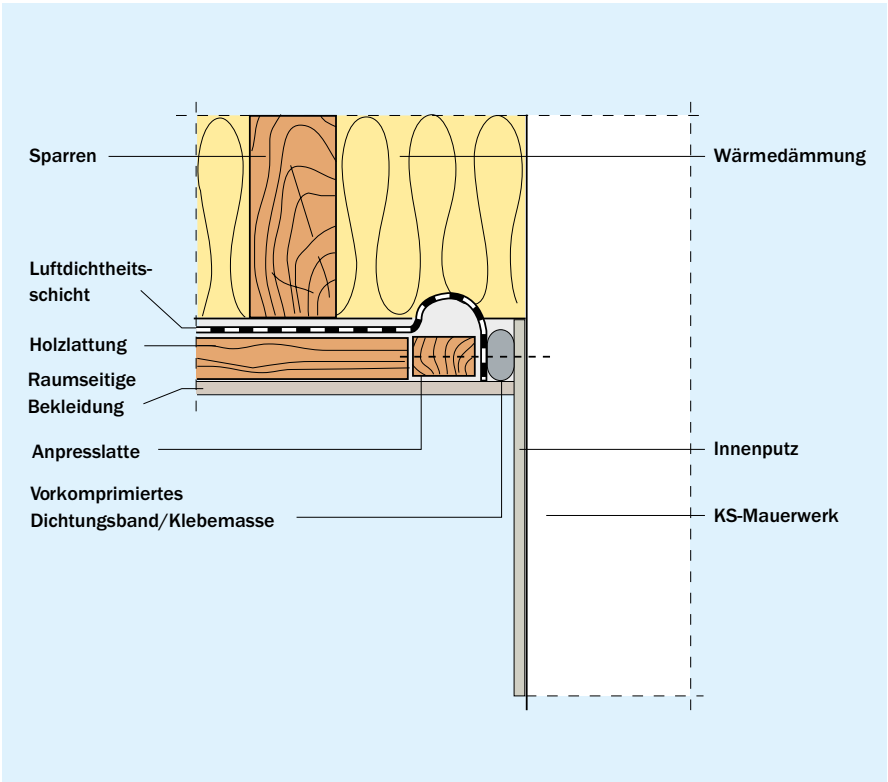


Bild 20 Luftdichter Anschluss an eine verputzte KS-Wand nach DIN 4108-7 [18]

Ausführungsempfehlungen und -hinweise für Bauteile und Bauteilanschlüsse werden exemplarisch in DIN 4108-7 gegeben, was den Planer jedoch nicht von der Pflicht zu eigenverantwortlichem Nachdenken und Entscheiden entbindet. Es ist wichtig, dass der Planer die Luftdichtheit als eigenständige Planungsleistung begreift und entsprechend sorgfältig plant. Selbstverständlich ist auch auf eine handwerklich gute Ausführung zu achten. Diese sollte während der Bauphase intensiv kontrolliert und anschließend mittels einer Differenzdruckmessung (Blower-Door) nachgewiesen werden.

INFO

Bei Sichtmauerwerk sind die Stoßfugen zu vermörteln, und das Mauerwerk selbst ist sorgfältig zu erstellen.

Die Durchführung dieser Luftdichtheitsprüfung wird von der EnEV nicht gefordert, jedoch ist die ausreichende Luftdichtheit eines Gebäudes eine vom Bauausführenden geschuldete Eigenschaft des Gebäudes. Das Nachweisverfahren der EnEV sieht, sozusagen als Bonus, reduzierte rechnerische Lüftungswärmeverluste vor, wenn später eine Luftdichtheitsprüfung durchgeführt und bestanden wird. Generell ist anzuraten, frühzeitig die ausreichende Luftdichtheit der Gebäudehülle nachzuweisen – also zu einem Zeitpunkt, zu dem noch Nachbesserungen an der Luftdichtheitsebene möglich sind. Voraussetzung für die Luftdichtheitsmessung ist aber, dass die luftdichte Schicht innerhalb der thermischen Gebäudehülle fertiggestellt ist. Die Messung erfolgt hinsichtlich der Fenster, Türen und sonstiger Öffnungen im späteren Gebrauchszustand. Das heißt, dass die in der thermischen Gebäudehülle liegenden Fenster und Außentüren geschlossen werden und nutzungsbedingte Öffnungen offen bleiben. Eine Hilfestellung für die fachlich einwandfreie Vorbereitung eines Gebäudes für eine Luftdichtheitsmessung gibt beispielsweise der Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen in [17].

Die Überprüfung der Luftdichtheit der Gebäudehülle erfolgt mit dem Differenzdruckverfahren nach DIN EN ISO 9972 (Blower-Door). Es gelten die folgenden Mindestanforderungen an den auf 50 Pa Druckdifferenz bezogenen Prüfwert n_{50}:

- Für Gebäude ohne raumlufttechnische Anlagen: $n_{50} \leq 3{,}0\ h^{-1}$
- Für Gebäude mit raumlufttechnischen Anlagen: $n_{50} \leq 1{,}5\ h^{-1}$

Angestrebt werden sollten allerdings n_{50}-Werte von nicht mehr als 2,0 h^{-1} für Gebäude ohne und nicht mehr als 1,0 h^{-1} für Gebäude mit raumlufttechnischen Anlagen, bei guten Niedrigenergiehäusern und Passivhäusern Werte in der Größenordnung von 0,6 h^{-1} und darunter.

9. Wärmeübertragung über das Erdreich

Die Bedeutung von Kellerräumen hat sich schon durch steigende Grundstückspreise grundlegend verändert. War der Keller früher als Vorratslager und Abstellfläche genutzt, wird er heute insbesondere im Einfamilienhausbau mehr und mehr in den eigentlichen Wohnbereich mit einbezogen. Grundvoraussetzung dafür sind trockene Wand- und Deckenflächen. Diese müssen dauerhaft gegen von außen einwirkendes Wasser und Feuchtigkeit von innen geschützt werden. Mit der Nutzung als Aufenthaltsraum steigen auch die Ansprüche des Bauherrn an den Wohnkomfort und das Raumklima im Untergeschoss des Gebäudes. In diesem Fall müssen Außenwände und Bodenplatte einen entsprechenden Wärmeschutz aufweisen.

Für einzelne beheizte oder nur gelegentlich genutzte Räume bietet sich aus wirtschaftlichen Gründen eine auf den einzelnen Raum beschränkte Innendämmung an. Auch als Nachrüstlösung bei Nutzungsänderungen ist diese Ausführungsvariante prädestiniert, häufig als Ausbaureserve. Soll der größte Teil des Kellers beheizt werden, ist eine Kelleraußendämmung (Perimeterdämmung in Wand und Boden) sinnvoll. Der Vorteil der Perimeterdämmung ist, dass Tauwasserausfall auf der Innenseite der Kellerwand und des Kellerbodens verhindert und die Bauwerksabdichtung mechanisch geschützt wird, Wärmebrücken vermieden bzw. vermindert werden, und die Dämmung in größeren Dicken dimensionierbar ist, da im Kellerraum kein Platz verlorengeht. Auch, wenn zu Beginn keine hochwertige Kellernutzung geplant ist, ist es empfehlenswert, beim Bau des Gebäudes von vorneherein eine Perimeterdämmung einzubauen. Spätere Nutzungsänderungen sind dann problemlos möglich.

Der Wärmeverlust eines beheizten Kellers an das umliegende Erdreich stellt einen viel komplexeren Vorgang dar als der Wärmeverlust der übrigen Außenbauteile eines Gebäudes an die Außenluft. Die Wärmeverluste hängen ab von der Beschaffenheit des Erdreichs (bindiger bzw. nichtbindiger Boden), dem Wärmeschutz der Außenbauteile, der Grundwassertiefe, der Kellertemperatur und den Abmessungen des Kellers. Neben allgemeinen zwei- und dreidimensionalen numerischen Rechenverfahren (DIN EN ISO 10211) können die winterlichen Wärmeverluste des Kellers ausreichend genau nach den Verfahren in DIN V 4108-6, DIN V 18599-2 und DIN EN ISO 13370 berechnet werden (Bild 21).

Für die tägliche Praxis hat sich das vereinfachte Verfahren mit Temperaturkorrekturfaktoren F_x durchgesetzt, wie es in DIN V 4108-6 und DIN V 18599-2 enthalten ist. Dafür wird der U-Wert des erdberührten Bauteils als so genannter „konstruktiver U-Wert“ einfach aus Schichtenfolge des Bauteils, unter Vernachlässigung des Erdreichs, bestimmt. Der äußere Wärmeübergangswiderstand ist Null, da direkter Kontakt zum Erdreich besteht. Der Wärmetransport durch das Bauteil wird dann mittels tabellierter Faktoren auf die äquivalente durchschnittliche Temperaturdifferenz korrigiert. Die Geometrie des beheizten Kellerbereichs geht über das charakteristische Bodenplattenmaß B' ein. B' ist das Verhältnis aus beheizter Kellerbodenfläche zum Umfang dieser Fläche.

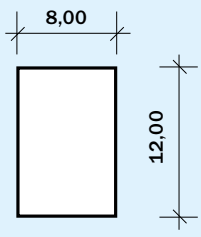
Ebenfalls wird vereinfachend für verschiedene Dämmsituationen unterschieden. So wird im Heizperiodenbilanzverfahren der EnEV für alle Bauteile des unteren Gebäudeabschlusses der F_x-Wert 0,6 angesetzt. Vereinfacht darf nach DIN V 18599-2 ein Wert von 0,7 verwendet werden. Die F_x-Werte sind generell nicht zutreffend und damit nicht anwendbar, wenn der sommerliche Wärmeeintrag berechnet werden soll, d.h. bei gekühlten Gebäuden. Hier sind für erdberührte Bauteile die U-Werte und Verfahren nach DIN EN ISO 13370 zu verwenden.

Die Temperaturkorrekturfaktoren F_x sind aus DIN V 18599-2: 2016-10 [19] und aus [3] ersichtlich.

Aufgrund der geringeren wirksamen Temperaturdifferenz bei erdberührten Bauteilen im Vergleich zu Bauteilen an Außenluft, die sich ja in den F_x-Werten ausdrückt, ist die Wärmedämmung des Untergeschosses weniger ergiebig als die gleiche Wärmedämmung bei Bauteilen an Außenluft. Als Kompromiss aus Energieeinsparung, Komfort und Kosten werden derzeit Perimeterdämmungen von etwa 12 cm Dicke als sinnvoll angesehen – bei Passivhäusern werden Perimeterdämmungen mit 20 bis 25 cm Dicke ausgeführt. Besondere Beachtung sollte der Reduzierung von Wärmebrücken im Bereich von Deckenauflagern und Fundamenten durch geschickte Lösungen zukommen. Eine Hilfe dazu gibt Beiblatt 2 zu DIN 4108 mit Prinzipskizzen und Planungs- und Ausführungsempfehlungen.

Dem Umstand der verminderten Wärmeübertragung von Bodenplatten über das Erdreich an die Außenluft trägt auch die Festlegung in DIN 4108-2 Rechnung, dass für unmittelbar an das Erdreich grenzende Bodenplatten normal und niedrig beheizter Räume nur bis zu einer Raumtiefe von 5 m eine zusätzliche Wärmedämmung erforderlich ist. Dies kommt vor allem bei größeren Hallen und Produktionsgebäuden zum Tragen. Im Wohnungsbau sind die Bodenplattenabmessungen oftmals nicht ausreichend, um diesen Effekt auszunutzen.

Beispiel Einfamilienhaus

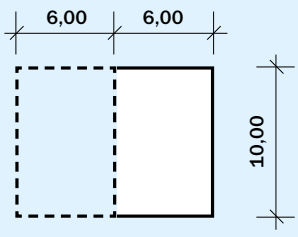


Grundfläche:
$A = 8{,}00 \cdot 12{,}00 = 96\ m^2$

Perimeterlänge:
$P = 2 \cdot (8{,}00 + 12{,}00) = 40\ m$

Charakteristisches Bodenplattenmaß:
$B' = A / (0{,}5 \cdot P) = 96 / (0{,}5 \cdot 40) = 4{,}8\ m$

Beispiel Doppelhaushälfte (getrennter Nachweis je Wohneinheit)



Grundfläche:
$A = (6{,}00 + 6{,}00) \cdot 10{,}00 = 120\ m^2$

Perimeterlänge:
$P = 2 \cdot (6{,}00 + 6{,}00 + 10{,}00) = 44\ m$

Charakteristisches Bodenplattenmaß:
$B' = A / (0{,}5 \cdot P) = 120 / (0{,}5 \cdot 44) = 5{,}45\ m$

Bild 21 Bestimmung des charakteristischen Bodenplattenmaßes B' (Beispiele)

Anhang

Tafel A1 Die wichtigsten Normen rund um den baulichen Wärme- und Feuchteschutz

Nummer der Norm	Titel	Inhalt und Hinweise
Grundlagennormen		
DIN 4108-2	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Mindestanforderungen an den Wärmeschutz	Mindestanforderungen an den Wärmeschutz von flächigen Bauteilen und von Wärmebrücken (bauaufsichtlich eingeführt), Nachweisverfahren für den sommerlichen Wärmeschutz (durch die EnEV in Bezug genommen)
DIN 4108-3	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Klimabedingter Feuchtschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung	Wasserdampfdiffusion, Glaserverfahren, Tauwasserberechnung, Ausnahmeregelungen (bauaufsichtlich eingeführt)
DIN 4108-4	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte	Zu verwendende Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit (für europäisch nicht-harmonisierte Dämmstoffe) bzw. Umrechnung vom Nennwert zum Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit (für europäisch harmonisierte Dämmstoffe) sowie Richtwerte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen von Bau- und Dämmstoffen (weitere Werte siehe DIN EN ISO 10456). Alternativ dürfen Bemessungswerte aus allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für den EnEV-Nachweis verwendet werden.
DIN EN ISO 10456	Baustoffe und Bauprodukte – Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte	Internationale „Schwester“-Norm zu DIN V 4108-4; enthält u.a. die λ-Werte für Beton, Holz, Holzprodukte
DIN V 4108-10	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Anwendungsbezogene Anforderungen an Dämmstoffe – Werksmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe	Anwendungstypen von genormten Dämmstoffen und dafür erforderliche Mindesteigenschaften. Alternative Festlegungen werden in produkt- oder bauartspezifischen Technischen Bestimmungen getroffen.
Ausführungsnormen		
DIN 4108-7	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele	Anforderungen und Prinzipskizzen zur luftdichten Ausführung der Gebäudehülle
DIN 4108 Beiblatt 2	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele	Prinzipskizzen für den bildlichen Nachweis sowie λ-Referenzwerte für den rechnerischen Nachweis der Gleichwertigkeit von linienförmigen Wärmebrücken, nur bei Verwendung eines reduzierten pauschalen Wärmebrückenzuschlags
DIN-Fachbericht 4108-8	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 8: Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden	Planungs- und Nutzungshinweise zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum (Neubau, Bestand) für wohnungsübliche bzw. wohnungsähnliche Nutzung; Hinweise für die Planung und Nutzung von Heizungs- und Lüftungssystemen; Vermeidung von Schimmel unter ganzheitlicher Beachtung der Zusammenhänge (Bauphysik, Baukonstruktionen, Heizung, Lüftung, Nutzung).

Tafel A1 **Die wichtigsten Normen rund um den baulichen Wärme- und Feuchteschutz** *Fortsetzung*

Nummer der Norm	Titel	Inhalt und Hinweise
Berechnungsnormen für Bauteile		
DIN EN ISO 6946	Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren	Standardwerte für R_{si} und R_{se}, Formeln für R und U, Behandlung von Luftschichten, Berücksichtigung niedrigemittierender Oberflächen bei Luftschichten, Korrekturwerte für den U-Wert
DIN EN ISO 10211	Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen	Vorgehensweise bei numerischen Berechnungen von zwei- und dreidimensionalen Wärmebrücken, Randbedingungen
DIN EN ISO 13370	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich – Berechnungsverfahren	Detaillierte Berücksichtigung des Wärmetransports über das Erdreich (im Gegensatz zur vereinfachten Berücksichtigung über F_x-Werte, die aber nur für den Heizfall verwendet werden dürfen)
DIN EN ISO 13789	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient – Berechnungsverfahren	Wärmetransferkoeffizienten, detaillierte Berücksichtigung einiger Wärmetransportpfade
DIN EN ISO 10077-1	Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Vereinfachtes Verfahren	Rechnerische Bestimmung des U-Werts von Fenstern
Berechnungsnormen für Gebäude		
DIN EN ISO 10077-2	Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Numerisches Verfahren für Rahmen	Rechnerische Bestimmung des U-Werts von Fensterrahmen; enthält u.a. auch Gleichungen für den Wärmedurchlasswiderstand von schmalen Luftspalten
DIN V 4108-6	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs	Enthält u.a. das Monatsbilanzverfahren für die EnEV-Bilanzierung von Wohngebäuden sowie in Anhang D die dafür zu verwendenden Randbedingungen
DIN V 4701-10	Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen – Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung	Berechnung der Anlagenaufwandszahl für Heizung, Lüftung und Warmwasser für Wohngebäude im EnEV-Nachweis, primärenergetische Bewertung
DIN 4701-10 Beiblatt 1	Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen – Diagramme und Planungshilfen für ausgewählte Anlagensysteme mit Standardkomponenten	Diagramme für 71 Anlagenkombinationen zur Bestimmung der Anlagenaufwandszahl für Heizung, Lüftung und Warmwasserbereitung für Wohngebäude im EnEV-Nachweis
DIN EN 13790	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heizenergiebedarfs	Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung, Nachfolger der zurückgezogenen DIN EN 832
DIN V 18599-1 bis 11	Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Teile 1 bis 11	Berechnung des Energiebedarfs von Wohn- und Nichtwohngebäuden für die energetische Bewertung im Rahmen der EnEV
Messnormen für Gebäude		
DIN EN ISO 9972	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren	Messverfahren für die Luftdichtheit der Gebäudehülle („Blower-Door"-Messung); Nachfolgenorm für DIN EN 13829

Tafel A2 **Die wichtigsten physikalischen Größen, Formelzeichen und Einheiten rund um bauliche Wärmedämmung und klimabedingten Feuchteschutz**

Physikalische Größe	Symbol	Einheit
Länge	l, ℓ	m
Breite	b	m
Dicke	d	m
Höhe	h	m
Fläche	A	m^2
Volumen	V	m^3
Masse	m	kg
Dichte	ρ	kg/m^3
Celsius-Temperatur	θ, ϑ	°C
Thermodynamische Temperatur	T	K
Wärmemenge	Q	J = Ws
Spezifische Wärmekapazität	c	J/(kg·K)
Wirksame Wärmespeicherfähigkeit	C_{wirk}	Wh/K
Wärmestrom	$\Phi, \dot{Q}$	Ws/s = Wh/h = W
Wärmestromdichte	q	W/m^2
Wärmeleitfähigkeit	λ	W/(m·K)
Thermischer Leitwert	L	W/(m·K)
Wärmedurchlasswiderstand	R	m^2·K/W
Wärmeübergangswiderstand innen/außen	R_{si}, R_{se}	m^2·K/W
Wärmedurchgangswiderstand	R_T	m^2·K/W
Wärmeübergangskoeffizient	h	$W/(m^2·K)$
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)	U	$W/(m^2·K)$
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient („Psi-Wert“)	Ψ	W/(m·K)
Punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient („Chi-Wert“)	χ	W/K
Temperaturfaktor an der Innenoberfläche	f_{Rsi}	–
Hemisphärischer Emissionsgrad	ε	–
Strahlungsaustauschgrad	E	–
Luftwechsel	n	h^{-1}
Wasserdampfteildruck	p	Pa
Wasserdampfsättigungsdruck	p_S	Pa
Relative Luftfeuchte	φ	%
Massebezogener / Volumenbezogener Feuchtegehalt	u_m, u_V	M.-% / Vol.-%
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl	μ	–
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke	s_d	m
Tauwassermasse, flächenbezogen	m_c	kg/m^2
Verdunstungsmasse, flächenbezogen	m_{ev}	kg/m^2
Wasseraufnahmekoeffizient	w	$kg/(m^2·h_{0,5})$
Wasserdampf-Diffusionskoeffizient	D	m^2/h
Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand	Z	m^2·h·Pa/kg
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte	g	$kg/(m^2·h)$

Literatur

[1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Energiedaten: Gesamtausgabe, Mai 2017

[2] Statistisches Bundesamt, www.destatis.de, 2017

[3] Maas, A.: Kalksandstein Energieeinsparverordnung 2016, Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V., Hannover 2016

[4] Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.): KS-EnEV-Nachweisprogramm für Wohngebäude, Hannover 2018 (kostenfreier Download unter www.kalksandstein.de)

[5] Pfundstein, M.; Gellert, R.; Spitzner, M. H.; Rudolphi, A.: Dämmstoffe – Grundlagen, Materialien, Anwendungen. Edition Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München 2008

[6] DIBt-Information, DIBt Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, 07.07.2017

[7] DIN 4108-4:2017-03: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte

[8] FIW München: U-Werte zusammengesetzter Bauteile nach DIN EN ISO 6946. Berechnungsprogramm. Download unter: www.fiw-muenchen.de. München 2012

[9] DIN 4108 Beiblatt 2:2006-03 und E DIN 4108 Beiblatt 2:2017-11: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele

[10] DIN 4108-2:2013-02: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz

[11] Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.): KS-Wärmebrückenkatalog online (kostenfreier Download unter www.ks-waermebruecken.de)

[12] DIN-Fachbericht 4108-8:2010-09: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 8: Vermeidung von Schimmelwachstum in Gebäuden

[13] FVHF-Richtlinie: Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden, Berlin 1998

[14] Holm, A.; Sedlbauer, K.; Radon, I.; Künzel H. M.: Einfluss der Baufeuchte auf das hygrothermische Verhalten von Gebäuden, IBP Mitteilung 29, 2002

[15] Künzel H. M.: Austrocknung von Wandkonstruktionen mit Wärmedämm-Verbundsystemen. In: Bauphysik 20 (1998), Heft 1, Seite 18–23

[16] Schubert, P: Zur rißfreien Wandlänge von nichttragenden Mauerwerkwänden. Berlin: Ernst & Sohn. In: Mauerwerk-Kalender 13 (1988), S. 473–488

[17] Beiblatt zur DIN EN 13829, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren, Ausgabe 4/Mai 2015. Hrsg.: Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e.V., Kassel 2015

[18] DIN 4108-7:2011-01: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele

[19] DIN V 18599-2: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen

Bildnachweise

Bild S. 240, Bild S. 255: Atelier Kinold;
Bild 17: Netter BauArt/Gerhard Illig/KS-ORIGINAL

Bild S. 241: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.



Kapitel 11

SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ

Prof. Dr.-Ing. Martin H. Spitzner, Hochschule Biberach und
Ingenieurbüro für Energie Bauphysik Projekte, München

Stand: 01/2018

1. Einleitung

Ein behagliches Raumklima wird neben der Raumluftqualität vor allem durch einen Faktor bestimmt – die Temperatur. Der Begriff, der in diesem Zusammenhang verwendet wird, ist die thermische Behaglichkeit. Sie stellt das Hauptkriterium für ein behagliches Raumklima dar und ist somit ein wesentliches Qualitätsmerkmal von Aufenthaltsräumen in Wohn- und Nichtwohngebäuden.

Eine angemessene thermische Behaglichkeit im Winter wird bereits seit etlichen Jahren über die Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz und die Anforderungen an den energiesparenden Wärmeschutz der Wärmeschutzverordnung bzw. der Energieeinsparverordnung sichergestellt.

Die thermische Behaglichkeit in den Sommermonaten ist mit Anforderungen und Nachweisverfahren für den sommerlichen Wärmeschutz hingegen erst seit der EnEV 2007 Bestandteil des Ordnungsrechts. Das Bewusstsein für die Erfordernisse des sommerlichen Wärmeschutzes sowie die Notwendigkeit, diesen bereits von Beginn der Planung an zu berücksichtigen, ist vor diesem Hintergrund bei den am Bau Beteiligten nicht in gleichem Maße vorhanden wie im Falle des winterlichen Wärmeschutzes.

Angesichts des sich abzeichnenden Klimawandels, welcher voraussichtlich zu einer weiteren Zunahme von Extremwetterereignissen wie sommerlichen Hitzeperioden führen wird, ist abzusehen, dass die Bedeutung des sommerlichen Wärmeschutzes weiter zunehmen wird.

Vor diesem Hintergrund wird dem Thema des sommerlichen Wärmeschutzes im vorliegenden Planungshandbuch erstmals ein eigenes Kapitel gewidmet. Zunächst werden die grundlegenden Zusammenhänge und Einflussparameter dargestellt und die Nachweisverfahren erläutert. Darauf aufbauend wird anhand von Berechnungsbeispielen die Anwendung der Nachweisverfahren veranschaulicht und der Einfluss verschiedener Parameter, wie z.B. der Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile, anschaulich dargestellt.

2. Sommerlicher Wärmeschutz von Aufenthaltsräumen

Das sommerliche Temperaturverhalten eines nicht klimatisierten Aufenthaltsraums, z.B. Wohnzimmer, Schlafzimmer oder Büroräume, wird maßgeblich von folgenden Faktoren bestimmt:

- Außenklima
- Sonneneinstrahlung
- Fensterfläche, -orientierung und -neigung
- Gesamtenergiedurchlassgrad der Fenster inklusive deren Sonnenschutz
- Lüftungs- und Wohnverhalten der Nutzer: Um das Raumklima behaglich kühl zu halten, müssen die Wärmezufuhr von außen (Nutzung der Verschattungseinrichtungen bei Sonnenschein) und der Wärmegewinn in den Räumen (Abwärme von Geräten, Belegungsdichte) möglichst gering sowie die Wärmeabfuhr nach außen (über erhöhte Nachtlüftung) möglichst groß gehalten werden.
- Wärmespeicherverhalten des betrachteten Raums: Es sollten Speichermassen (mit direktem Kontakt zur Raumluft) zur Verfügung stehen, um tagsüber den Anstieg der Raumtemperatur wirksam zu begrenzen.
- Baulicher Wärmeschutz (U-Wert) der Außenbauteile

Diese Aspekte sind vom Planer in der Gebäudekonzeption und der Planung zu berücksichtigen, und es sind entsprechende Vorkehrungen zu treffen, um möglichst durch bauliche Maßnahmen einen angenehmen thermischen Komfort im Sommer im Gebäude zu ermöglichen, und einen Kühlenergiebedarf zu vermeiden oder gering zu halten.

INFO

Gemäß EnEV ist der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 für alle beheizten Gebäude zu führen.

Im Rahmen des Nachweises nach Energieeinsparverordnung (EnEV) ist bei beheizten Gebäuden der Nachweis eines ausreichenden sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 zu führen. Dafür steht in der Norm mit dem so genannten Sonneneintragskennwertverfahren ein einfaches Handrechenverfahren zur Verfügung, welches auch die Berücksichtigung verschieden schwerer Bauweisen, erhöhter Nachtlüftung und passiver Kühlung gestattet. Dieses Handrechenverfahren ist ein einfacher ingenieurmäßiger Nachweis unter Berücksichtigung der wichtigsten Einflussfaktoren. Er soll sicherstellen, dass im Sommer in Gebäuden auch ohne Kühlmaßnahmen keine unzumutbar hohen Temperaturen über längere Zeiträume auftreten. Das Verfahren kann nicht zur Auslegung einer Klimaanlage herangezogen werden.

Alternativ kann im Zuge der detaillierten Planung des Gebäudes eine genaue Berechnung der zu erwartenden sommerlichen Raumtemperaturen mittels einer dynamischen Gebäudesimulation vorgenommen werden. Soll damit auch der Nachweis des ausreichenden sommerlichen Wärmeschutzes gemäß DIN 4108-2 bzw. EnEV erfolgen, sind die in der Norm aufgelisteten, standardisierten Berechnungsrandbedingungen und Annahmen zu verwenden, damit die Rechenergebnisse mit den zahlenmäßigen Mindestanforderungen der Norm verglichen werden können. Bei Wohngebäuden mit einem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil des kritischen Raums ≤ 35 % und Rollläden an den Ost-, Süd- und Westfenstern kann generell auf eine Nachweisführung verzichtet werden. Der sommerliche Mindestwärmeschutz gilt dort pauschal als eingehalten.

Die Begrenzung der direkten Sonneneinstrahlung in den Raum ist die wichtigste Maßnahme zur Wahrung einer angenehmen Raumtemperatur im Sommer. Dies ist bereits bei der Grundkonzeption des Gebäudeentwurfs vom Planer zu berücksichtigen. Am einfachsten ist dies durch angemessene (nicht zu große) Fensterflächen und außenliegende Sonnenschutzvorrichtungen zu erreichen.

Besonders gefährdet hinsichtlich sommerlicher Überhitzung sind Räume, bei denen eine starke Sonneneinstrahlung (z.B. große Süd- bis Westfenster) und geringe Speichermassen (z.B. Großraumbüros, Räume mit abgehängter Decke, Räume mit weniger oder leichten Innenbauteilen, Räume im Dachgeschoss) zusammenkommen. Bei innengedämmten Bauteilen wird die Wärmespeicherfähigkeit des Bauteils durch die Innendämmung vom Raum abgekoppelt, das Bauteil steht nicht mehr als Wärmepuffer im Raum zur Verfügung. Abgehängte Decken, dicke Teppiche etc. haben einen ähnlichen Effekt. Es sollte darauf geachtet werden, dass genügend schwere Bauteile mit direkter Raumanbindung als Speichermasse verbleiben.

Einen praktisch vernachlässigbaren Einfluss auf die sommerliche Raumtemperatur hat die Materialart der Wärmedämmung. Der Einfluss beträgt im Massivbau nur wenige Zehntel Grad und im Leichtbau bis zu etwa ein Grad. Dies liegt darin begründet, dass der Energieeintrag durch die (gut gedämmten) opaken Bauteilflächen völlig unerheblich ist gegenüber jenem durch die Fenster.

Im sommerlichen Wärmeschutz liegen klare Vorteile der KS-Funktionswand mit außenliegender Wärmedämmung. Aufgrund der viel größeren Speichermasse der KS-Außen- und Innenwände kommt es im Sommer in Gebäuden in Massivbauweise signifikant seltener, oder gar nicht, zu unangenehmen Überhitzungserscheinungen als in Gebäuden in Leichtbauweise.

INFO

Hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes kann die Massivbauweise mit schweren Wänden (RDK ≥ 1,8) in Kombination mit Betondecken pauschal als „schwere Bauweise“ nach DIN 4108-2 bewertet werden. Die schwere KS-Bauweise wirkt sich hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes positiv aus, erleichtert die Nachweisführung deutlich und trägt erheblich zur Steigerung der thermischen Behaglichkeit bei.

3. Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes mit dem Sonneneintragskennwertverfahren nach DIN 4108-2

3.1 Überblick

Für den Nachweis steht in der Norm ein einfaches Handrechenverfahren, das so genannte Sonneneintragskennwertverfahren, zur Verfügung, welches trotz seiner Einfachheit eine gute Übereinstimmung mit einer aufwändigeren Gebäudesimulation aufweist. Es handelt sich um ein Nachweisverfahren mit standardisierten Randbedingungen.

Es ist anwendbar für übliche Raumsituationen in Wohngebäuden und typische Aufenthaltsräume in Nichtwohngebäuden. Nicht anwendbar ist das Sonneneintragskennwertverfahren, wenn die nachzuweisenden Räume oder Raumbereiche in Verbindung mit Doppelfassaden oder transparenten Wärmedämmsystemen (TWD) stehen. Auch im Fall von sehr hohen Räumen (z.B. Hallen) oder mehrgeschossigen, nicht abgetrennten Raumsituationen kann die Anwendung nicht empfohlen werden. Für solche Situationen kann der sommerliche Wärmeschutznachweis mittels einer dynamischen Gebäudesimulation erfolgen. Dafür listet die Norm zu verwendende, standardisierte Rechenrandbedingungen auf.

Für den Nachweis wird generell nur der kritische Raum betrachtet. Ist dort die Anforderung eingehalten, gilt die Einhaltung auch für alle anderen Räume des Gebäudes. Bestehen Zweifel, welcher der Räume der kritische ist, weist man die zwei oder drei ungünstigsten Räume nach.

Das vereinfachte Verfahren beruht auf dem Vergleich eines so genannten vorhandenen Sonneneintragskennwerts S_{vorh} mit einem zulässigen Höchstwert S_{zul}. Der vorhandene Sonneneintragskennwert wird in Abhängigkeit von der Fensterfläche, dem Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung, der Abminderung durch Verschattungseinrichtungen, und der Grundfläche des Raums bestimmt. Für S_{zul} werden Teilkennwerte für verschiedene Aspekte des betrachteten Raums addiert. Das Verfahren kann verschieden hohe Nachtlüftungen sowie den Einfluss von passiver Kühlung abbilden.

INFO

Ein Nachweisprogramm zum sommerlichen Wärmeschutz findet sich unter www.kalksandstein.de/downloads

Der Nachweis des sommerlichen Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108-2 kann einfach mit Hilfe des KS-Nachweisprogramms zum sommerlichen Wärmeschutz [1] geführt werden.

3.2 Ausnahmen von der Nachweisführung

Bei Wohngebäuden mit einem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil des kritischen Raums ≤ 35 % und Rollläden an den Ost-, Süd- und Westfenstern darf generell auf einen rech-

nerischen Nachweis verzichtet werden. Ähnliches gilt für Räume hinter unbeheizten, zum Aufenthaltsraum hin abgeschlossenen Glasanbauten, wenn der unbeheizte Glasvorbau einen Sonnenschutz mit einem Abminderungsfaktor $F_C \leq 0{,}35$ und Lüftungsöffnungen im obersten und untersten Glasbereich hat, die zusammen mindestens 10 % der Glasfläche ausmachen, und der dahinterliegende nachzuweisende Raum nur über den Glasvorbau belüftet wird.

Nicht geführt werden kann der Nachweis nach dem vereinfachten Verfahren bei Räumen mit Doppelfassaden oder transparenten Wärmedämmsystemen (TWD).

3.3 Ablauf des Verfahrens

Der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} des ungünstigsten Raums darf den zulässigen Wert S_{zul} für diesen Raum nicht überschreiten, d.h. die Einhaltung folgender Forderung ist nachzuweisen:

$$S_{vorh} \leq S_{zul} \tag{3.1}$$

Der Nachweis ist erbracht, wenn $S_{vorh} \leq S_{zul}$ zutrifft. Werden im Rahmen des sommerlichen Wärmeschutznachweises die Planungsdaten des Gebäudes geändert, wie z.B. g-Werte oder Fenstergrößen, müssen diese Änderungen auch in die Berechnung des Energiebedarfs im Winter (EnEV-Nachweis) übernommen werden.

Für die Nachweisführung des sommerlichen Wärmeschutzes mit dem Sonneneintragskennwertverfahren kann wie folgt vorgegangen werden:

- Fensterflächen und Nettogrundfläche des Raums ermitteln
- g- und F_C-Werte festlegen oder aus Herstellerangaben entnehmen
- S_{vorh} bestimmen
- Klimaregion festlegen
- Einstufung der Bauart (leicht/mittel/schwer) entweder pauschal oder rechnerisch vornehmen
- S_{zul} unter Berücksichtigung der weiteren Einflussgrößen (Art der Nachtlüftung, Vorliegen passiver Kühlung oder Sonnenschutzverglasung etc.) bestimmen
- Einhaltung von $S_{vorh} \leq S_{zul}$ prüfen

3.4 Vorhandener Sonneneintragskennwert

Der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} wird bestimmt durch:

- Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil f_{WG}: das Verhältnis der Fensterflächen A_W (ggf. inklusive Dachflächenfenster) zur Nettogrundfläche A_G des betrachteten Raums oder Raumbereichs

Tafel 1 **Typische Standardwerte und Spannen für den Gesamtenergiedurchlassgrad von Gläsern, für die Vordimensionierung (Die Verwendung produktspezifischer Werte wird empfohlen, vor allem bei Sonnenschutzglas.)**

Glas	g-Wert Standardwert	g-Wert Spanne ca.
Einfachglas	0,87	–
Doppelverglasung mit Luftzwischenraum	0,75	–
Zweischeiben-Isolierglas	0,60	0,53 bis 0,72
Dreischeiben-Isolierglas	0,50	0,46 bis 0,55
Sonnenschutzglas zweifach	0,40	0,27 bis 0,48
Sonnenschutzglas dreifach	0,25	0,16 bis 0,34

- Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung g: gemäß Herstellerangabe ($g = g_{\perp}$); übliche Standardwerte für eine überschlägige Abschätzung finden sich in Tafel 1.
- Abminderungsfaktor F_C der Verschattungseinrichtung: Anhaltswerte für die Abminderungsfaktoren F_C von fest installierten Verschattungseinrichtungen werden in Tabelle 7 der DIN 4108-2 (Tafel 2) genannt; Vorsprünge und bauliche Verschattungen dürfen alternativ nach DIN V 18599-2 berücksichtigt werden.
- Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot}: fasst den Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasungen g und den Abminderungsfaktor F_C der Verschattungseinrichtungen zusammen; $g_{tot} = g \cdot F_C$. Anstelle der Anhaltswerte für g und F_C können produktspezifische Herstellerangaben für g_{tot} verwendet werden.

Mit diesen Angaben ergibt sich der vorhandene Sonneneintragskennwert:

$$S_{vorh} = \frac{\Sigma\,(A_{W,j} \cdot g_{tot,j})}{A_G} \tag{3.2}$$

mit:
$A_{W,j}$: Fensterflächen des betrachteten Raums
$g_{tot,j}$: Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasungen einschließlich Sonnenschutz des betrachteten Raums
A_G: Nettogrundfläche des betrachteten Raums oder Raumbereichs.

3.5 Zulässiger Sonneneintragskennwert

Demgegenüber ergibt sich der zulässige Sonneneintragskennwert als Summe von verschiedenen anteiligen Sonneneintragskennwerten S_1 bis S_x, die, je nach Sommerklimaregion, in der das Gebäude steht, tabelliert sind, siehe Tafel 3.

$$S_{zul} = \Sigma\, S_x \tag{3.3}$$

mit:
S_x: Anteiliger Sonneneintragskennwert nach Tafel 3

Tafel 2 Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_c von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit vom Glaserzeugnis nach DIN 4108-2 [2] Tabelle 7

Sonnenschutzvorrichtung[1]	F_c		
	g ≤ 0,40 (Sonnenschutzglas)	g > 0,40	
	zweifach	dreifach	zweifach
Ohne Sonnenschutzvorrichtung	1,00	1,00	1,00
Innenliegend oder zwischen den Scheiben[2]			
Weiß oder hoch reflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz[3]	0,65	0,70	0,65
Helle Farben oder geringe Transparenz[4]	0,75	0,80	0,75
Dunkle Farben oder höhere Transparenz	0,90	0,90	0,85
Außenliegend mit Fensterläden, Rollläden			
Fensterläden, Rollläden, ¾ geschlossen	0,35	0,30	0,30
Fensterläden, Rollläden, geschlossen[5]	0,15[5]	0,10[5]	0,10[5]
Außenliegend mit Jalousie und Raffstore, drehbaren Lamellen			
Jalousie und Raffstore, drehbare Lamellen, 45° Lamellenstellung	0,30	0,25	0,25
Jalousie und Raffstore, drehbare Lamellen, 10° Lamellenstellung[5]	0,20[5]	0,15[5]	0,15[5]
Außenliegend mit Markisen, parallel zu Verglasung[4]	0,30	0,25	0,25
Außenliegend mit Vordächern, Markisen allgemein, freistehenden Lamellen[6]	0,55	0,50	0,50

[1] Die Sonnenschutzvorrichtung muss fest installiert sein. Übliche dekorative Vorhänge gelten nicht als Sonnenschutzvorrichtung.
[2] Für innen- und zwischen den Scheiben liegende Sonnenschutzvorrichtungen ist eine genaue Ermittlung zu empfehlen.
[3] Hoch reflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz: Transparenz ≤ 10 %. Reflexion ≥ 60 %
[4] Geringe Transparenz: Transparenz < 15 %
[5] F_c-Werte für geschlossenen Sonnenschutz dienen der Information und sollten für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nicht verwendet werden. Ein geschlossener Sonnenschutz verdunkelt den dahinterliegenden Raum stark und kann zu einem erhöhten Energiebedarf für Kunstlicht führen, da nur ein sehr geringer bis kein Einfall des natürlichen Tageslichts vorhanden ist.
[6] Dabei muss sichergestellt werden, dass keine direkte Besonnung des Fensters erfolgt. Dies ist näherungsweise der Fall, wenn
– bei Südorientierung der Abdeckwinkel $\beta \geq 50°$ ist;
– bei Ost- und Westorientierung der Abdeckwinkel $\beta \geq 85°$ ist, $\gamma \geq 115°$ ist.
Der F_c-Wert darf auch für beschattete Teilflächen des Fensters angesetzt werden. Dabei darf F_S nach DIN V 18599-2:2011-12, A.2 nicht angesetzt werden. Zu den jeweiligen Orientierungen gehören Winkelbereiche von 22,5°. Bei Zwischenorientierungen ist der Abdeckwinkel $\beta \geq 80°$ erforderlich.
Der Abdeckwinkel ist der Winkel vom Rand der Glasfläche zur äußersten Spitze des Vordachs/des Vorsprungs/der Markise.

Tafel 3 Anteilige Sonneneintragskennwerte zur Bestimmung des zulässigen Sonneneintragskennwerts nach DIN 4108-2 [2] Tabelle 8

Anteiliger Sonneneintragskennwert S_x nach Klimaregionen in Wohngebäuden					
S_x	Bedingungen		Klimaregion		
	Nachtlüftung nach Bauart	Bauart	A	B	C
S_1	Ohne	Leicht	0,071	0,056	0,041
		Mittel	0,080	0,067	0,054
		Schwer	0,087	0,074	0,061
	Erhöhte Nachtlüftung mit $n \geq 2h^{-1}$	Leicht	0,098	0,088	0,078
		Mittel	0,114	0,103	0,092
		Schwer	0,125	0,113	0,101
	Hohe Nachtlüftung mit $n \geq 5h^{-1}$	Leicht	0,128	0,117	0,105
		Mittel	0,160	0,152	0,143
		Schwer	0,181	0,171	0,160
S_2	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil f_{WG}				
	$S_2 = a - (b \cdot f_{WG})$	a	0,060		
		b	0,231		
S_3	Sonnenschutzglas				
	Fenster mit Sonnenschutzglas mit $g \leq 0,4$		0,03		
S_4	Fensterneigung				
	0° ≤ Neigung ≤ 60° (gegenüber der Horizontalen)		$-0,035 f_{neig}$		
S_5	Orientierung				
	Nord-, Nordost und Nordwest-orientierte Fenster soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen > 60° ist sowie Fenster, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind		$+0,10 f_{nord}$		
S_6	Einsatz passiver Kühlung nach Bauart	Bauart			
		Leicht	0,02		
		Mittel	0,04		
		Schwer	0,06		

3.5.1 Klimaregion

DIN 4108-2 enthält eine Klimakarte zur Zuordnung des Standorts zu einer der Sommerklimaregionen, welche auf den aktuellen Testreferenzjahren basiert. Die Sommerklimaregionen werden mit A, B und C bezeichnet. Kann die Zuordnung aus der Karte nicht eindeutig erkannt werden, wird die höhere der beiden fraglichen Klimaregionen genommen (B statt A, C statt A oder B). Die Karte beruht auf dem Zusammenwirken der Einflussgrößen Lufttemperatur und solare Einstrahlung und berücksichtigt die Adaption des Menschen an das in seiner Gegend vorherrschende Sommerklima (Bild 1).

3.5.2 Bauart

Einstufung der Bauart hinsichtlich ihrer Wärmespeicherfähigkeit

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes wird pauschal mit „leichter Bauart“ geführt, sofern die Bauart nicht individuell durch Ermittlung der auf die Nettogrundfläche (A_G) bezogenen wirksamen Wärmespeicherfähigkeit (C_{wirk}) nach DIN V 4108-6 eingestuft wird, oder die Bauart nicht pauschal nach Tabelle 8 Fußnote b der DIN 4108-2 eingestuft werden kann. Ein Beispiel für die individuelle Ermittlung von C_{wirk}/A_G und die Einstufung der Bauart findet sich in Abschnitt 4.

Pauschale Ermittlung der Bauweise

DIN 4108-2 definiert entsprechende Kriterien, nach denen eine einfache Einstufung der Bauart erfolgen kann, ansonsten ist standardmäßig (auf der sicheren Seite liegend) eine leichte Bauart anzunehmen. Räume mit Innendämmung oder abgehängten Decken, sowie hohe Räume (> 4,5 m, wie z.B. Turnhallen, Museen) gelten ebenfalls als leichte Bauweise.

Von einer mittelschweren Bauart darf pauschal ausgegangen werden, wenn die folgenden Kriterien erfüllt sind:

- Stahlbetondecke
- Außen- und Innenbauteile mit einer flächenanteilig gemittelten Rohdichte ≥ 600 kg/m³
- Keine hohen Räume und keine abgehängte oder thermisch getrennte Decke

Eine schwere Bauart darf pauschal angesetzt werden, wenn die folgenden Kriterien erfüllt sind:

- Stahlbetondecke
- Keine hohen Räume und keine abgehängte oder thermisch getrennte Decke
- Massive Außen- und Innenbauteile mit einer flächenanteilig gemittelten Rohdichte ≥ 1.600 kg/m³

Gebäude mit Innen- und Außenwänden aus Kalksandstein-Mauerwerk mit Stahlbetondecken weisen vielfach flächenanteilig gemittelte Rohdichten von über 1.800 kg/m³ auf; sie gelten somit als schwere Bauart.

INFO

Gebäude aus Kalksandstein-Vollsteinen mit Stahlbetondecken sind generell als schwere Bauart einzustufen.



Bild 1 Sommerklimaregionen nach DIN 4108-2

Rechnerische Ermittlung der Bauweise

Sind die oben genannten Kriterien zur pauschalen Einstufung der Bauweise nicht eingehalten, ist eine genaue rechnerische Ermittlung in Abhängigkeit von der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} der geplanten Bauteile des Raums erforderlich, sofern nicht die leichte Bauweise angesetzt werden soll. Dabei geht die spezifische Wärmekapazität der Baustoffe ein. In Tafel 4 ist die spezifische Wärmekapazität üblicher Bau- und Dämmstoffe dargestellt. Detaillierte Angaben finden sich in DIN EN ISO 10456.

Generell tragen nur die raumnahen Schichten der Bauteile zum Puffern solarer Energie im Tagesgang bei. Die tiefer im Bauteil liegenden Bereiche wirken sich aufgrund der thermischen Trägheit praktisch nicht bei der Pufferung aus.

Wärmedämmschichten (z.B. auf abgehängten Decken) schotten dahinter liegende Speichermassen ab. Zur genauen Berechnung werden die nutzbaren Wärmespeicherfähigkeiten für alle Bauteilinnenflächen des Raums summiert, wobei gilt:

- Von Außenbauteilen werden nur die raumseitigen 10 cm als maximal wirksame Dicke berücksichtigt (Bild 2).
- Innenbauteile, die weniger als 20 cm Dicke aufweisen und an Nachbarräume grenzen, werden bis zur Wandmitte berücksichtigt.
- Von Innenbauteilen, die mehr als 20 cm Dicke aufweisen und an Nachbarräume grenzen, werden nur die raumseitigen 10 cm als maximal wirksame Dicke berücksichtigt.
- Bei Innenbauteilen, die ganz innerhalb des betrachteten Raums liegen, werden beide Seiten wie Innenbauteile zu anderen Räumen behandelt.
- Bei Dämmschichten mit $\lambda < 0{,}10$ W/(m·K) in den ersten 10 cm des Bauteils werden nur die Schichten zwischen der Raumluft und der ersten Dämmschicht im Bauteil berücksichtigt.

Für alle berücksichtigungsfähigen Schichten werden jeweils Dicke, Rohdichte, spezifische Wärmekapazität und Fläche multipliziert, und für alle Raumumschließungsflächen aufsummiert. Die so ermittelte wirksame Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} des Raums wird auf die Nettogrundfläche A_G des Raums bezogen, um die Bauart des Raums einzustufen, siehe Tafel 5.

3.5.3 Nachtlüftung

Bei Ein- und Zweifamilienhäusern kann standardmäßig die Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung angenommen werden. Ist eine Lüftungsanlage vorhanden, so kann die erhöhte Nachtlüftung angesetzt werden, wenn ein nächtlicher Luftwechsel von $n = 2\ h^{-1}$ sichergestellt ist.

Besteht die Möglichkeit eine geschossübergreifende Nachtlüftung zu nutzen, z.B. über ein angeschlossenes Atrium, Treppenhaus oder eine Galerieebene, kann eine hohe Nachtlüftung angesetzt werden. Ist eine Lüftungsanlage vorhanden, so kann die hohe Nachtlüftung angesetzt werden, wenn ein nächtlicher Luftwechsel von $n = 5\ h^{-1}$ sichergestellt ist.

Tafel 4 Spezifische Wärmekapazität c von Baustoffen

Material/Baustoff	Spezifische Wärmekapazität c [J/(kg·K)]
Kalksandstein	1.000
Beton	1.000
Anorganische Dämmstoffe	1.000
Organische Dämmstoffe	1.300 bis 1.800
Holz und Holzwerkstoffe	1.600 bis 1.700
Kunststoffe	900 bis 2.200

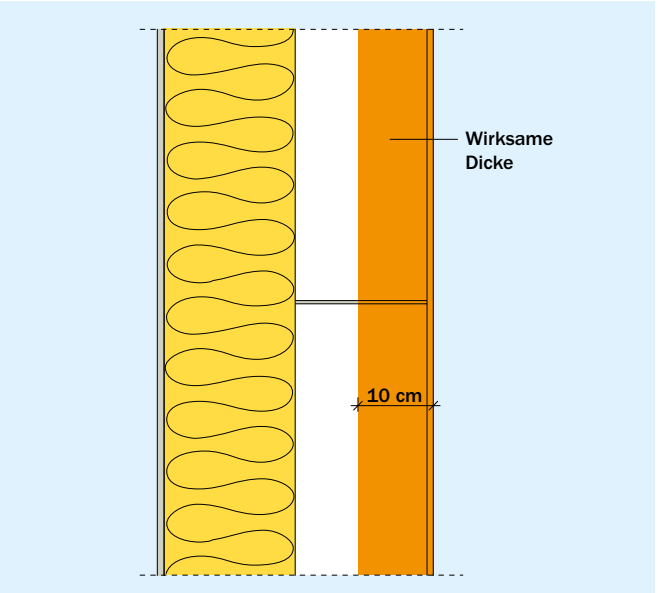


Bild 2 Wirksame Dicke für die Ermittlung der Wärmespeicherfähigkeit

Tafel 5 Einstufung der Bauart in Abhängigkeit von der Speicherfähigkeit des Raums

Bauart	Wirksame Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} / Nettogrundfläche A_G
Leichte Bauart	$C_{wirk} / A_G < 50$ Wh/(m²·K)
Mittlere Bauart	$C_{wirk} / A_G = 50$–130 Wh/(m²·K)
Schwere Bauart	$C_{wirk} / A_G > 130$ Wh/(m²·K)

3.5.4 Weitere Fenstereigenschaften

In S_{zul} werden als weitere Fenstereigenschaften des kritischen Raums das eventuelle Vorhandensein von Sonnenschutzglas mit $g \geq 0{,}40$, einer Fensterneigung zwischen 0° und 60° gegenüber der Horizontalen sowie einer Fensterausrichtung nach Norden berücksichtigt. Sind in dem nachzuweisenden Raum Fenster mit unterschiedlicher Verglasung, Fensterneigung und -orientierung vorhanden, so kann nach DIN 4108-2 Tabelle 8 eine flächenanteilige Ermittlung erfolgen. Für vom Gebäude selbst verschattete Fenster ist gemäß DIN 4108-2 Tabelle 8 eine Bestimmung der F_S-Werte nach DIN V 18599-2:2011-12 möglich.

Für die Bestimmung des anteiligen Sonneneintragskennwerts der Fensterneigung und -orientierung ist die Bestimmung der Faktoren f_{neig} und f_{nord} erforderlich:

$$f_{neig} = \frac{A_{W,neig}}{A_{W,gesamt}} \quad (3.4)$$

mit:
$A_{W,neig}$: Geneigte Fensterfläche des Raums
$A_{W,gesamt}$: Gesamte Fensterfläche des Raums

$$f_{nord} = \frac{A_{W,nord}}{A_{W,gesamt}} \quad (3.5)$$

mit:
$A_{W,nord}$: Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fensterfläche (Neigung > 60°) sowie Fensterflächen, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind
$A_{W,gesamt}$: Gesamte Fensterfläche des Raums

3.5.5 Passive Kühlung

Sofern vorhanden, kann beim Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes eine passive Kühlung berücksichtigt werden. Hierunter versteht die Norm eine Kühlung, bei welcher ein Energieaufwand praktisch nur für den Transport des Kühlmediums anfällt (z.B. Bauteilaktivierung in Kombination mit Erdwärmetauscher oder ähnliche Systeme), aber nicht für die Kühlung des Mediums (z.B. maschinelle Kühlung mittels Kühlturm, Kälteaggregat, Eisspeicher etc.)

4. Beispiel: Vergleichsrechnungen zum sommerlichen Wärmeschutz

4.1 Beispielräume

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes wird für ein Wohn- und ein Arbeitszimmer im Dachgeschoss eines Mehrfamilienwohnhauses aus Kalksandstein mit Flachdach, das sich in der Klimaregion B befindet, durchgeführt (Bild 3). Der Nachweis erfolgt sowohl mittels Sonneneintragskennwertverfahren als auch mittels thermisch-dynamischer Gebäudesimulation und bei beiden Nachweisverfahren für die drei unterschiedlichen Bauarten schwer, mittel und leicht. Außerdem wird die Art der Nachtlüftung variiert (ohne Nachtlüftung, erhöhte Nachtlüftung).

Die **Flächenermittlung** für den Raum Wohnen erfolgt in Tafel 6. Die Flächenermittlung für das Arbeitszimmer erfolgt analog (nicht dargestellt).

Variantenvergleich Bauart

Zum Vergleich wird der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes für die beiden Räume für jeweils drei Bauart-Varianten geführt:

- schwer (Variante I, Bauteilaufbauten siehe Tafel 7)
- mittel (Variante II, Bauteilaufbauten siehe Tafel 8)
- leicht (Variante III, Bauteilaufbauten siehe Tafel 9)

Die Ermittlung der raumflächenbezogenen wirksamen Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk}/A_G für die drei Varianten für das Wohnzimmer erfolgt in Tafel 10. Zur besseren Vergleichbarkeit werden für den Variantenvergleich nur die Wand- und Dachaufbauten variiert, und es wird jeweils mit gleichen Innenraummaßen gerechnet.

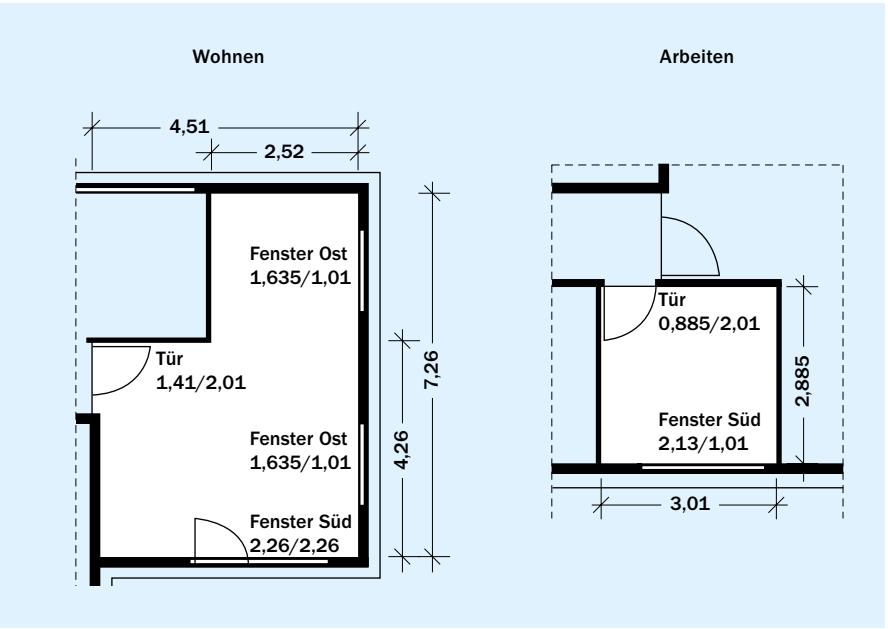


Bild 3 **Beispielräume für den sommerlichen Wärmeschutznachweis (Wohnen und Arbeiten)**

Tafel 6 Flächenermittlung für den Raum Wohnen

Bauteil			[m]	Teilfläche [m²]	Fläche [m²]
1) Außenwände	Außenwand Nord	Länge	2,52		
		Höhe (lichte Höhe)	2,50		
		Länge · Höhe		6,30	
	Außenwand Ost	Länge	7,26		
		Höhe (lichte Höhe)	2,50		
		Länge · Höhe		18,15	
		Abzüglich Fenster = 1,63 · 1,01 · 2		-3,30	
	Außenwand Süd	Länge	4,51		
		Höhe (lichte Höhe)	2,50		
		Länge · Höhe		11,28	
		Abzüglich Fenster = 2,26 · 2,26		-5,11	
					27,31
2) Innenwände	Innenwand West	Länge	7,26		
		Höhe (lichte Höhe)	2,50		
		Länge · Höhe		18,15	
		Abzüglich Tür = 1,41 · 2,01		-2,83	
	Innenwand Nord	Länge	1,99		
		Höhe (lichte Höhe)	2,50		
		Länge · Höhe		4,98	
					20,29
3) Boden		Fläche (Innenmaß)		26,77	**26,77**
4) Dach		Fläche (Innenmaß)		26,77	**26,77**
5) Tür		Breite	1,41		
		Höhe	2,01		
		Fläche		2,83	**2,83**

Tafel 7 Beschreibung der Bauteile für Variante I, KS-Außenwände mit KS-Innenwänden und Stahlbetondecken (schwere Bauart)

Schwere Bauart = $(c \cdot \rho \cdot d_{wirk}) \cdot 1.000/\ 3.600$		d [m]	λ [W/(m·K)]	c [kJ/kg·K]	ρ [kg/m³]	d_{wirk} [m]	$C_{wirk} / A_{Bauteil}$ [Wh/(m²·K)]
Bauteil 1: Außenwand (Nord, Ost und Süd)	Gipsputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,01	3,89
	KS-Mauerwerk, RDK 1,8	0,175	0,990	1,0	1.700	0,09	42,50
	PS-Hartschaum	0,200	0,035	1,5	20	0,00	0,00
	Außenputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,00	0,00
		0,395				**0,10**	**46,39**
Bauteil 2: Innenwände	Gipsputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,01	3,89
	KS-Mauerwerk, RDK 1,8	0,115	0,990	1,0	1.700	0,06	27,15
	Gipsputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,00	0,00
		0,135				**0,07**	**31,04**
Bauteil 3: Boden	Fliesen	0,020	1,000	1,0	2.000	0,02	11,11
	Estrich	0,040	1,100	1,0	1.900	0,04	21,11
	Trittschalldämmung	0,060	0,040	1,5	20	0,00	0,00
	Beton	0,200	2,000	1,0	2.400	0,00	0,00
	Innenputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,00	0,00
		0,330				**0,06**	**32,22**
Bauteil 4: Betondecke	Beton	0,200	2,000	1,0	2.400	0,10	66,67
	PS-Hartschaum	0,200	0,035	1,5	20	0,00	0,00
		0,400				**0,10**	**66,67**
Bauteil 5: Tür	Holz	0,040	0,13	1,6	500	0,02	4,44
						0,02	**4,44**
Summe							**180,76**

Tafel 8 Beschreibung der Bauteile für Variante II, KS-Außenwände mit leichten Innenbauteilen und Holzbalkendecken (mittlere Bauart)

Mittlere Bauart = $(c \cdot \rho \cdot d_{wirk}) \cdot 1.000/\ 3.600$		d [m]	λ [W/(m·K)]	c [kJ/kg·K]	ρ [kg/m³]	d_{wirk} [m]	$C_{wirk} / A_{Bauteil}$ [Wh/(m²·K)]
Bauteil 1: Außenwand (Nord, Ost und Süd)	Gipsputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,01	3,89
	KS-Mauerwerk, RDK 1,8	0,175	0,990	1,0	1.700	0,09	42,50
	PS-Hartschaum	0,200	0,035	1,5	20	0,00	0,00
	Außenputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,00	0,00
		0,395				**0,10**	**46,39**
Bauteil 2: Innenwände	Gipsfaserplatte	0,013	0,320	1,1	1.000	0,01	3,82
	Mineralwolle	0,075	0,035	1,0	16	0,00	0,00
	Gipsfaserplatte	0,013	0,320	1,1	1.000	0,00	0,00
		0,100				**0,01**	**3,82**
Bauteil 3: Boden	Fliesen	0,020	1,000	1,0	2.000	0,02	11,11
	Estrich	0,040	1,100	1,0	1.900	0,04	21,11
	Trittschalldämmung	0,060	0,040	1,5	20	0,00	0,00
	Beton	0,200	2,000	1,0	2.400	0,00	0,00
	Innenputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,00	0,00
		0,330				**0,06**	**32,22**
Bauteil 4: Decke	Gipsfaserplatte	0,13	0,320	1,1	1.000	0,01	3,82
	Holz + Spanplatte	0,040	0,130	1,6	500	0,00	0,00
	Mineralwolle	0,220	0,035	1,0	16	0,00	0,00
	Holzfaserdämmplatte	0,022	0,045	2,1	250	0,00	0,00
		0,295				**0,01**	**3,82**
Bauteil 5: Tür	Holz	0,040	0,130	1,6	500	0,02	4,44
						0,02	**4,44**
Summe							**90,69**

Tafel 9 Beschreibung der Bauteile für Variante III, leichte Außen- und Innenbauteile mit Holzbalkendecken (leichte Bauart)

Leichte Bauart = $(c \cdot \rho \cdot d_{wirk}) \cdot 1.000/\ 3.600$		d [m]	λ [W/(m·K)]	c [kJ/kg·K]	ρ [kg/m³]	d_{wirk} [m]	$C_{wirk} / A_{Bauteil}$ [Wh/(m²·K)]
Bauteil 1: Außenwand (Nord, Ost und Süd)	Gipsfaserplatte	0,013	0,320	1,1	1.000	0,01	3,82
	Mineralwolle	0,040	0,035	1,0	16	0,00	0,00
	Gipsfaserplatte	0,015	0,320	1,1	1.000	0,00	0,00
	Mineralwolle	0,240	0,035	1,0	16	0,00	0,00
	MDF-Wolle	0,015	0,120	1,7	600	0,00	0,00
		0,323				**0,01**	**3,82**
Bauteil 2: Innenwände	Gipsfaserplatte	0,013	0,320	1,1	1.000	0,01	3,82
	Mineralwolle	0,075	0,035	1,0	16	0,00	0,00
	Gipsfaserplatte	0,013	0,320	1,1	1.000	0,00	0,00
		0,100				**0,01**	**3,82**
Bauteil 3: Boden	Fliesen	0,020	1,000	1,0	2.000	0,02	11,11
	Estrich	0,040	1,100	1,0	1.900	0,04	21,11
	Trittschalldämmung	0,060	0,040	1,5	20	0,00	0,00
	Beton	0,200	2,000	1,0	2.400	0,00	0,00
	Innenputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,00	0,00
		0,330				**0,06**	**32,22**
Bauteil 4: Decke	Gipsfaserplatte	0,013	0,320	1,1	1.000	0,01	3,82
	Holz + Spanplatte	0,040	0,130	1,6	500	0,00	0,00
	Mineralwolle	0,220	0,035	1,0	16	0,00	0,00
	Holzfaserdämmplatte	0,022	0,045	2,1	250	0,00	0,00
		0,295				**0,01**	**3,82**
Bauteil 5: Tür	Holz	0,040	0,130	1,6	500	0,02	4,44
						0,02	**4,44**
Summe							**48,13**

Tafel 10 Ermittlung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit für den Raum Wohnen

	Variante I			Variante II			Variante III		
	$\sum C_{wirk} / A_{Bauteil}$ [Wh/(m²·K)]	A [m²]	$C_{wirk,\ 10cm}$	$\sum C_{wirk} / A_{Bauteil}$ [Wh/(m²·K)]	A [m²]	$C_{wirk,\ 10cm}$	$\sum C_{wirk} / A_{Bauteil}$ [Wh/(m²·K)]	A [m²]	$C_{wirk,\ 10cm}$
Außenwände	46,39	27,31	1.267	46,39	27,31	1.267	3,82	27,31	104
Innenwände	31,04	19,27	598	3,82	19,27	74	3,82	19,27	74
Boden	32,22	26,77	863	32,22	26,77	863	32,22	26,77	863
Decke	66,67	26,77	1.785	3,82	26,77	102	3,82	26,77	102
Tür	4,44	4,04	18	4,44	4,04	18	4,44	4,04	18
		Summe	**4.530**		**Summe**	**2.323**		**Summe**	**1.161**
		A_G	26,77		A_G	26,77		A_G	26,77
		C_{wirk}/A_G	169		C_{wirk}/A_G	87		C_{wirk}/A_G	43
	> 130 Wh/(m²·K): **schwere Bauart**			> 50 < 130 Wh/(m²·K): **mittlere Bauart**			< 50 Wh/(m²·K): **leichte Bauart**		

4.2 Nachweis mit dem vereinfachten Sonneneintragskennwertverfahren

Für das betrachtete Beispielgebäude in Klimaregion B wird eine Berechnung für alle Bauartvarianten nach dem vereinfachten Sonneneintragskennwertverfahren gemäß DIN 4108:2013-02 mit Hilfe des KS-Nachweisprogramms zum sommerlichen Wärmeschutz [1] durchgeführt.

Die angesetzten Randbedingungen für die Berechnung nach dem vereinfachten Sonneneintragskennwertverfahren werden im Folgenden exemplarisch für das untersuchte Wohnzimmer aufgezeigt.

Der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} ergibt sich aus Gleichung (3.2), Abschnitt 3.4 in Abhängigkeit von

- Fensterflächen (unterschieden nach der Orientierung, siehe Bild 3 und Tafel 6),
- Gesamtenergiedurchlassgrad g des jeweiligen Glases (g = 0,58),
- Abminderungsfaktor F_C für Sonnenschutzeinrichtungen des jeweiligen Fensters (F_C = 0,5),
- Netto-Grundfläche A_G (Bild 3)

zu 0,091 für das Wohnzimmer und 0,072 für das Arbeitszimmer.

Der zulässige Sonneneintragskennwert wird in Tafel 11 für den Fall ohne erhöhte Nachtlüftung ermittelt (je nach Bauartvariante und Raum zwischen 0,043 und 0,077). In Tafel 12 werden vorhandener und zulässiger Sonneneintragskennwert gegenübergestellt.

4.3 Nachweis mittels thermisch-dynamischer Gebäudesimulation

Bei der thermisch-dynamischen Gebäudesimulation wird die Höhe und Häufigkeit der Überschreitung einer Bezugstemperatur in Stundenschritten für das ganze Jahr ermittelt und zur Kenngröße Übertemperaturgradstunden aufsummiert. Die Bezugstemperatur ist für jede Sommerklimaregion Deutschlands unterschiedlich (Bild 1). Die ermittelten Übertemperaturgradstunden werden einem Anforderungswert nach DIN 4108-2 ge-

Tafel 11 Ermittlung des zulässigen Sonneneintragskennwerts S_{zul} anhand der anteiligen Sonneneintragskennwerte S_x

Nutzung: Wohngebäude, Klimaregion B	S_x	Variante I schwere Bauart		Variante II mittlere Bauart		Variante III leichte Bauart	
		Wohnen	Arbeiten	Wohnen	Arbeiten	Wohnen	Arbeiten
Klimaregion B, ohne Nachtlüftung	S1	0,074	0,074	0,067	0,067	0,056	0,056
Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	S2	-0,013	0,003	-0,013	0,003	-0,013	0,003
Sonnenschutzglas	S3	0	0	0	0	0	0
Fensterneigung	S4	0	0	0	0	0	0
Orientierung	S5	0	0	0	0	0	0
Einsatz passiver Kühlung	S6	0	0	0	0	0	0
	S_{zul}	0,061	0,077	0,054	0,070	0,043	0,059

Tafel 12 Gegenüberstellung von vorhandenem und zulässigem Sonneintragskennwert

Nutzung: Wohngebäude, Klimaregion B	S_x	Variante I schwere Bauart		Variante II mittlere Bauart		Variante III leichte Bauart	
		Wohnen	Arbeiten	Wohnen	Arbeiten	Wohnen	Arbeiten
Vorhandener Sonneneintragskennwert	S_{vorh}	0,091	0,072	0,091	0,072	0,091	0,072
Zulässiger Sonneneintragskennwert, ohne erhöhte Nachtlüftung	$S_{zul,\ ohne\ Nachtl}$	0,061	0,077	0,054	0,070	0,043	0,059
Zulässiger Sonneneintragskennwert, mit erhöhter Nachtlüftung	$S_{zul,\ mit\ Nachtl}$	0,100	0,116	0,090	0,106	0,075	0,091

= erfüllt
= nicht erfüllt

genübergestellt. Bei Wohngebäuden darf ein Anforderungswert von 1.200 Kh/a und bei Nichtwohngebäuden von 500 Kh/a nicht überschritten werden.

Dem Gebäudestandort Sommerklimaregion B ist als Bezugswert die operative Innentemperatur 26 °C zugeordnet. Für die Simulation wird für die Klimaregion B das Testreferenzjahr TRY-Zone 4 (2011) als Normaljahr zugrunde gelegt [3]. Im Zuge der thermisch-dynamischen Simulation erfolgt die Berechnung der sich im Raum einstellenden operativen Innenraumtemperatur stundenweise für den Verlauf eines Jahres in Abhängigkeit des Außenklimas, des Sonnenstandes und der Fassadenorientierung, der Sonnenschutzeinrichtungen, der thermischen Speichermassen, des Luftwechsels und der internen Wärmelasten.

Randbedingungen

Der Nachweis wird für folgende Randbedingungen geführt:

- Netto-Grundfläche A_G (Bild 3)
- Klimazone B, z.B. für Standort München
- Fenster mit Gesamtenergiedurchlassgrad $g = 0{,}58$
- Die Geschosshöhe beträgt 2,80 m. Die lichte Raumhöhe ergibt sich zu 2,50 m (Geschosshöhe abzüglich 20 cm Betondecke, 4 cm Estrich, 6 cm Trittschalldämmung).
- An den Fenstern der beiden Räume wird als geregelter außenliegender Sonnenschutz eine Markise mit Abminderungsfaktor $F_C = 0{,}5$ vor den Fenstern angeordnet, die ab einer Grenzbestrahlungsstärke von 300 W/m² (Direkt- plus Diffusstrahlung) auf die jeweilige Fassadenfläche herunterfährt.
- Bezüglich der Nachtlüftung werden alternativ die Fälle „ohne Nachtlüftung“ und „erhöhte Nachtlüftung“ betrachtet.
- Die Einstufung der Bauart erfolgt durch detaillierten Nachweis der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk}, siehe Tafel 10.
- Erhöhter Tagluftwechsel wird angesetzt: Überschreitet die Raumlufttemperatur 23 °C und liegt die Raumlufttemperatur über der Außenlufttemperatur, wird der Luftwechsel während der täglichen Aufenthaltszeit (06:00 bis 23:00 Uhr) auf $n = 3\ h^{-1}$ erhöht.
- Weitere für die thermisch-dynamische Simulation relevante Randbedingungen entsprechen den Vorgaben der DIN 4108-2:2013-02, Abschnitt 8.4 „Anforderungen an Randbedingungen für thermische Gebäudesimulationen“.

Tagesverlauf der Innenraumtemperatur

Die Verläufe der berechneten operativen Innenraumtemperaturen und der Außentemperatur für die drei Bauartvarianten als Ergebnis der thermisch-dynamischen Gebäudesimulation sind in Bild 4 für das betrachtete Wohnzimmer ohne und mit erhöhter Nachtlüftung dargestellt. Hier ist aus dem errechneten Temperaturverlauf des gesamten Jahres eine sommerheiße Periode herausgegriffen (14. bis 18. August), da diese die auftretenden Maximaltemperaturen enthält.

Anhand der Temperaturverläufe in Bild 4 ist zu erkennen, dass sich Bauweisen mit hohen wirksamen Speichermassen positiv auf den sommerlichen Wärmeschutz auswirken. Durch die Wahl massiver Konstruktionen, bestehend aus KS-Außenwänden mit hoher Rohdichte, massiven Geschossdecken und schweren Innenwänden, wird eine hohe wirksame Speichermasse erreicht. Bei der Wahl solcher Konstruktionen darf gemäß DIN 4108-2 automatisch – ohne eine exakte Ermittlung der raumflächenbezogenen wirksamen Wärmespeicherkapazität eines Raums C_{wirk}/A_G – von einer schweren Bauweise ausgegangen werden. Es wird deutlich, dass durch die gezielte Wahl einer massiven Konstruktion die operative Raumtemperatur im vorliegenden Beispiel um bis zu ca. 6 °C unter der operativen Temperatur der leichten Variante liegt, womit eine deutlich bessere thermische Behaglichkeit über einen längeren Zeitraum für die Nutzer gewährleistet wird.

INFO

In vielen Fällen kann bei schwerer Bauart und erhöhter Nachtlüftung eine hohe thermische Behaglichkeit auch ohne kostenintensive Klimatisierung sichergestellt werden.

Übertemperaturgradstunden ohne und mit erhöhter Nachtlüftung

Die Balkendiagramme in den Bildern 5 und 6 stellen für beide Räume die Übertemperaturgradstunden für die drei Bauarten mit und ohne Nachtlüftung dar. Der Bereich oberhalb des maximal zulässigen Anforderungswerts ist rot markiert. Die Bilder zeigen einerseits, wie deutlich sich die Bauart auf die

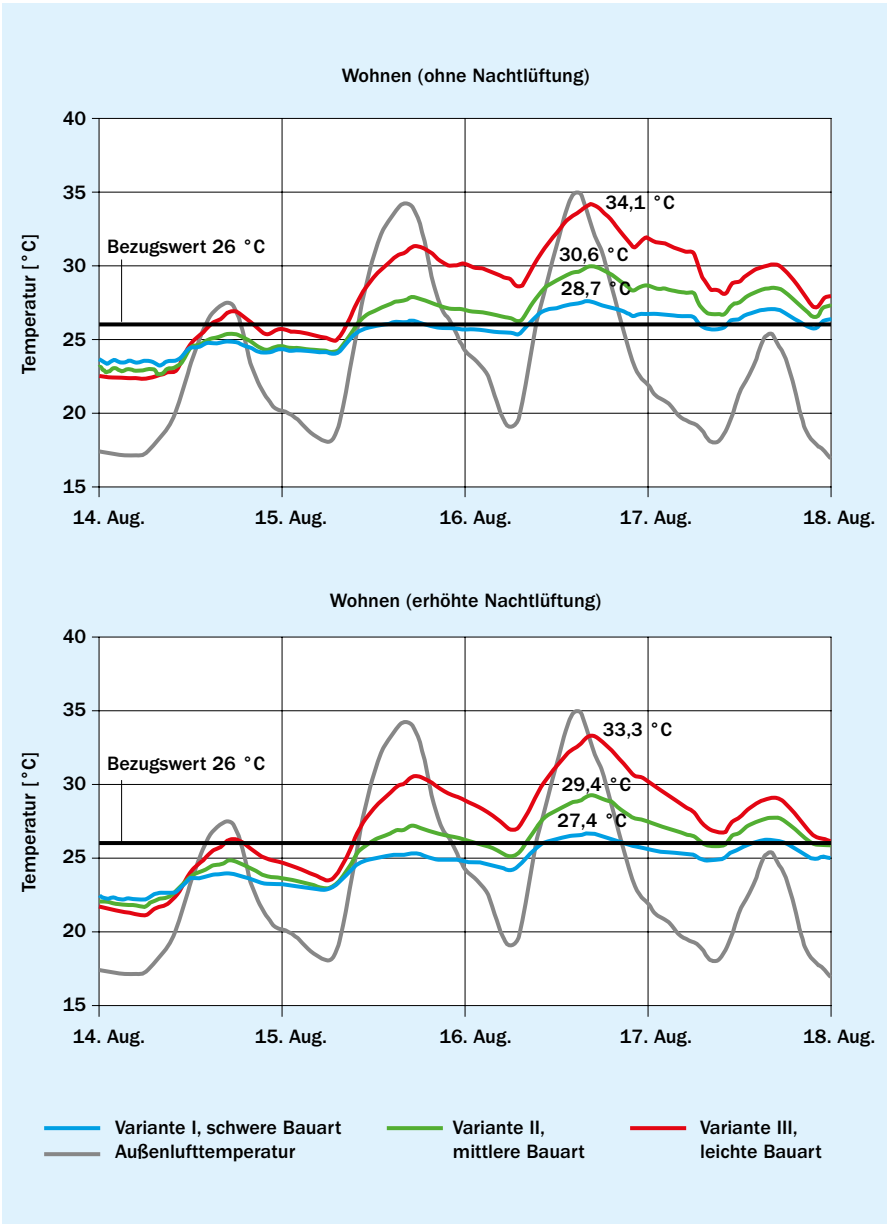


Bild 4 Verlauf von Außentemperatur, Bezugstemperatur und operativer Raumtemperatur der Varianten I bis III mit und ohne Berücksichtigung einer erhöhten Nachtlüftung für den Wohnbereich über eine sommerheiße Periode [3]

auftretenden Übertemperaturgradstunden auswirkt. Der Vergleich von Bild 5 mit Bild 6 zeigt andererseits, dass durch erhöhte Nachtlüftung die auftretenden Übertemperaturgradstunden deutlich reduziert werden können. Bei schwerer Bauart und erhöhter Nachtlüftung tritt im Raum Wohnen nur noch eine sehr geringe Überschreitung der Bezugstemperatur auf (Nulllinie hier bei 1.200 Kh/a). Im Arbeitszimmer überschreitet die operative Temperatur die Bezugstemperatur zu keinem Zeitpunkt. Das verdeutlicht den Vorteil hoher Speichermassen. Je massiver die Konstruktion ist, desto geringer sind die Übertemperaturgradstunden.

Tafel 13 stellt die vorhandenen und die zulässigen Übertemperaturgradstunden gegenüber. Die Gegenüberstellung verdeutlicht nochmals den Vorteil hoher Speichermassen und einer erhöhten Nachtlüftung für die sommerliche thermische Behaglichkeit.

4.4 Vergleich der Ergebnisse

Die Zusammenstellung aller Berechnungsergebnisse ist in Tafel 14 enthalten. Im Vergleich zwischen den beiden Nachweisverfahren liefert das vereinfachte Sonneneintragskennwertverfahren hinsichtlich der Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes eher strenge Beurteilungen. Somit ist sichergestellt, dass Beurteilungen des sommerlichen Wärmeschutzes nach dem vereinfachten Nachweisverfahren „auf der sicheren Seite“ liegen.

Tafel 13 Gegenüberstellung von berechneten und zulässigen Übertemperaturgradstunden

Nutzung: Wohngebäude, Klimaregion B	Einheit	Variante I schwere Bauart		Variante II mittlere Bauart		Variante III leichte Bauart	
		Wohnen	Arbeiten	Wohnen	Arbeiten	Wohnen	Arbeiten
Zulässige Übertemperaturgradstunden	Kh/a	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Vorhandene Übertemperaturgradstunden, ohne erhöhte Nachtlüftung	Kh/a	338	35	790	376	1.638	762
Vorhandene Übertemperaturgradstunden, mit erhöhter Nachtlüftung	Kh/a	57	0	285	118	882	322

□ = erfüllt
□ = nicht erfüllt

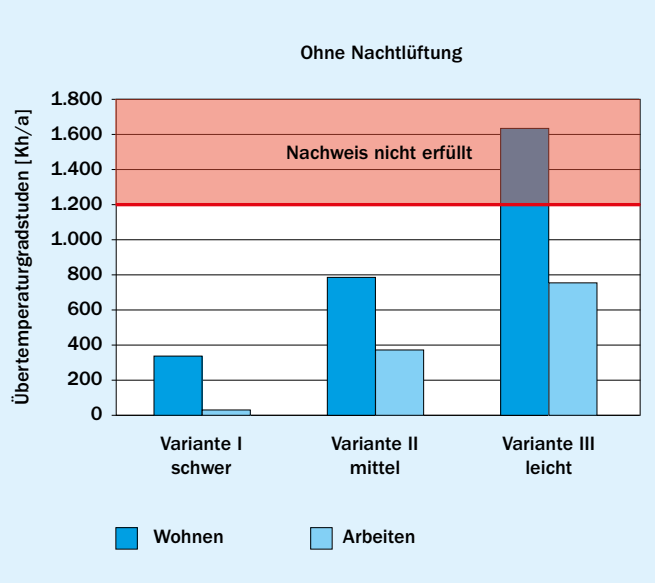


Bild 5 Übertemperaturgradstunden für die betrachteten Räume und Bauart-Varianten ohne Nachtlüftung

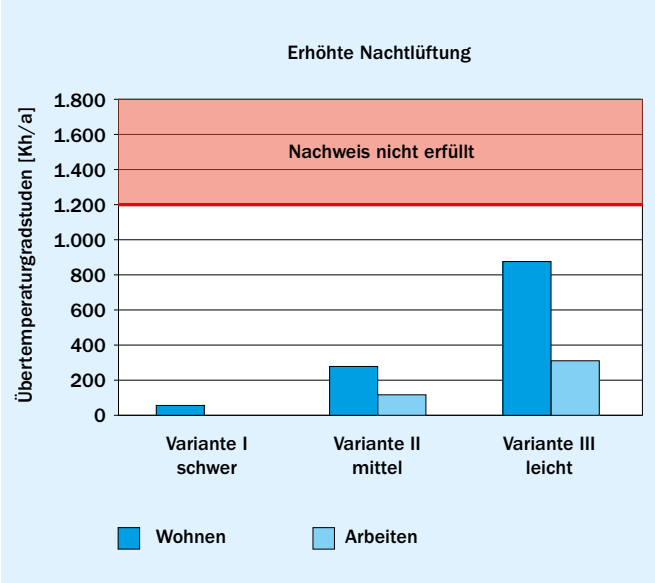


Bild 6 Übertemperaturgradstunden für die betrachteten Räume und Bauart-Varianten mit erhöhter Nachtlüftung

Tafel 14 Gegenüberstellung der Berechnungsergebnisse der thermischen Simulation sowie der Berechnung nach dem vereinfachten Verfahren und Beurteilung nach DIN 4108-2:2013 [3]

OHNE NACHTLÜFTUNG			
Anforderung DIN 4108-2	**Bauart**		
	Variante I schwer	**Variante II mittel**	**Variante III leicht**
Wohnen	S_{vorh} = (8,41 • (0,58 • 0,5)) / 26,77 = 0,091		
Vereinfachtes Verfahren: Eintragskennwerte $S_{vor} < S_{zul}$	nicht erfüllt 0,091 > 0,061	nicht erfüllt 0,091 > 0,054	nicht erfüllt 0,091 > 0,043
Thermische Simulation: Grenzwert max. 1.200 Kh/a	erfüllt 338 Kh/a	erfüllt 790 Kh/a	nicht erfüllt 1.638 Kh/a
Arbeiten	S_{vorh} = (2,15 • (0,58 • 0,5)) / 8,68 = 0,072		
Vereinfachtes Verfahren: Eintragskennwerte $S_{vor} < S_{zul}$	erfüllt 0,072 < 0,077	nicht erfüllt 0,072 > 0,070	nicht erfüllt 0,072 > 0,059
Thermische Simulation: Grenzwert max. 1.200 Kh/a	erfüllt 35 Kh/a	erfüllt 376 Kh/a	erfüllt 762 Kh/a

ERHÖHTE NACHTLÜFTUNG			
Anforderung DIN 4108-2	**Bauart**		
	Variante I schwer	**Variante II mittel**	**Variante III leicht**
Wohnen	S_{vorh} = (8,41 • (0,58 • 0,5)) / 26,77 = 0,091		
Vereinfachtes Verfahren: Eintragskennwerte $S_{vor} < S_{zul}$	erfüllt 0,091 < 0,100	nicht erfüllt 0,091 > 0,090	nicht erfüllt 0,091 > 0,075
Thermische Simulation: Grenzwert max. 1.200 Kh/a	erfüllt 57 Kh/a	erfüllt 285 Kh/a	erfüllt 882 Kh/a
Arbeiten	S_{vorh} = (2,15 • (0,58 • 0,5)) / 8,68 = 0,072		
Vereinfachtes Verfahren: Eintragskennwerte $S_{vor} < S_{zul}$	erfüllt 0,072 < 0,116	erfüllt 0,072 < 0,106	erfüllt 0,072 < 0,091
Thermische Simulation: Grenzwert max. 1.200 Kh/a	erfüllt 0 Kh/a	erfüllt 118 Kh/a	erfüllt 322 Kh/a

5. Beispiel EFH in unterschiedlichen Bauarten und unterschiedlichem energetischen Niveau

An einem weiteren Beispiel wird der Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit auf die sommerliche thermische Behaglichkeit demonstriert [4]. Es handelt sich um ein Einfamilienhaus mit elf Räumen, welches für zwei Bauarten (schwer, Kalksandstein; leicht, Holzbau) und jeweils drei energetische Niveaus (EnEV 2016, KfW-Effizienzhaus 55 und KfW-Effizienzhaus 40) mittels dynamischer Gebäudesimulation verglichen wird. Parameter und Nutzungsrandbedingungen entsprechen wie oben denen der DIN 4108-2 bzw. der DIN V 18599, Standort (Klimadatei) ist Potsdam.

Die schwere Bauweise wirkt sich deutlich positiv aus: Die Übertemperaturgradstunden bleiben bei schwerer Ausführung signifikant niedriger, und generell unter 200 Kh/a, was einem guten thermischen Komfort entspricht (Bild 7). Die Werte bei leichter Bauweise liegen, bei ansonsten gleichen Bedingungen, durchweg höher. Sie erreichen bzw. überschreiten in einigen Räumen und Varianten den zulässigen Grenzwert der Norm. Die Spitzentemperatur (Bild 8) liegt im Falle der schweren Bauweise in allen Räumen und bei allen betrachteten energetischen Niveaus im Bereich zwischen 25 und 28 °C. (Der Bezugswert 26 °C für Klimaregion B ist ja kein Grenzwert, sondern darf überschritten werden, aber das Produkt aus Überschreitungshöhe und Überschreitungsdauer darf im Wohnbau 1.200 Kh/a und im Nichtwohnbau 500 Kh/a nicht überschreiten.) Bei fehlender Speichermasse ergeben sich in einigen Räumen im Obergeschoss Spitzentemperaturen von unangenehmen 34 bis 35 °C!

In allen, selbst den kritischen Räumen ist bei schwerer Bauart ein überdurchschnittlicher thermischer Komfort praktisch ganzjährig gegeben, während bei leichter Bauart unter sonst gleichen Randbedingungen die Komfortgrenzen vergleichsweise häufig deutlich überschritten werden [4].

Soll der sommerliche Wärmeschutz in einem Gebäude höheren Ansprüchen genügen als nur die Mindestanforderungen gemäß DIN 4108-2 einzuhalten, kann eine Komfortbewertung auf Stundenbasis gemäß DIN EN ISO 15251 erfolgen. Bei dieser werden drei verschiedene Komfortniveaus definiert. Die in Bild 9 dargestellten, mit dem gleitenden Mittelwert der Außentemperatur ansteigenden Linien definieren diese drei Niveaus. Die im Rahmen einer thermisch-dynamischen Simulation ermittelten, operativen Temperaturen auf Stundenbasis sind für alle betrachteten Räume des Einfamilienhauses als Punktwolken (blau = schwere KS-Bauweise, rot = leichte Bauweise) dargestellt. Der auf diese Weise besonders anschauliche Komfortvergleich zeigt, dass auch in den kritischen Räumen bei massiver Bauweise ein überdurchschnittlicher Komfort gemäß Kategorie I praktisch ganzjährig gegeben ist, während bei leichter Bauart unter sonst gleichen Randbedingungen die Komfortgrenzen sehr häufig deutlich überschritten werden.

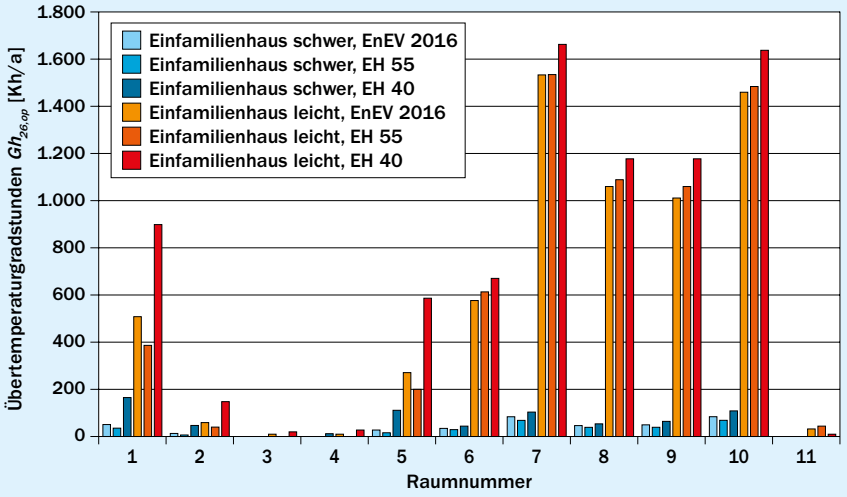


Bild 7 **Beispiel: berechnete Übertemperaturgradstunden (Bezugswert 26 °C) für alle elf Räume des Beispiel-Einfamilienhauses, für zwei Bauarten (schwer, mit Kalksandstein und leicht, z.B. Holzbau) und jeweils drei energetische Niveaus (EnEV 2016, KfW-Effizienzhaus 55 und KfW-Effizienzhaus 40) nach [4]**

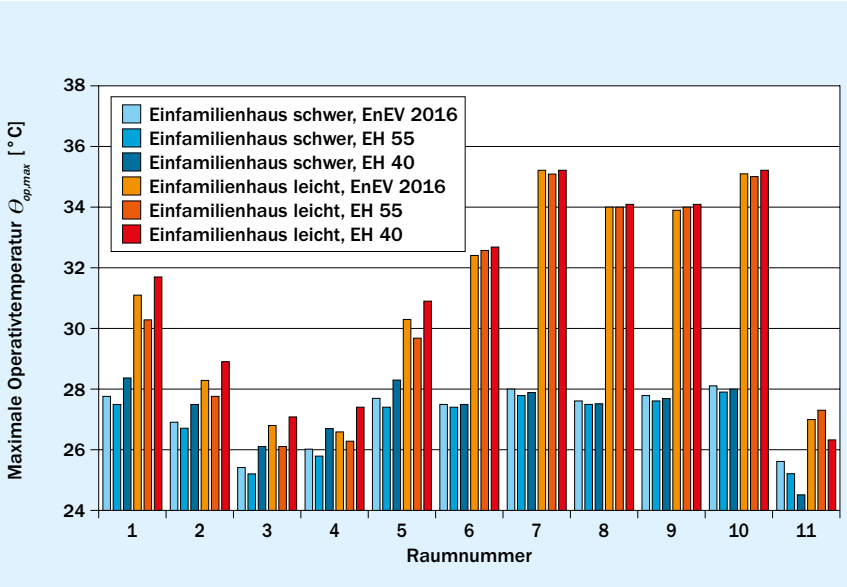


Bild 8 **Beispiel: berechnete maximale Operative Temperatur für alle elf Räume des Beispiel-Einfamilienhauses, für zwei Bauarten (schwer, mit Kalksandstein und leicht, z.B. Holzbau) und jeweils drei energetische Niveaus (EnEV 2016, KfW-Effizienzhaus 55 und KfW-Effizienzhaus 40) nach [4]**

Neben dem betrachteten Einfamilienhaus wurde in [4] auch ein dreigeschossiges Mehrfamilienhaus betrachtet. Die dafür erzielten Berechnungsergebnisse decken sich weitestgehend mit denen für das Einfamilienhaus und bestätigen ebenfalls den sehr positiven Einfluss einer schweren Bauweise auf den sommerlichen Wärmeschutz.

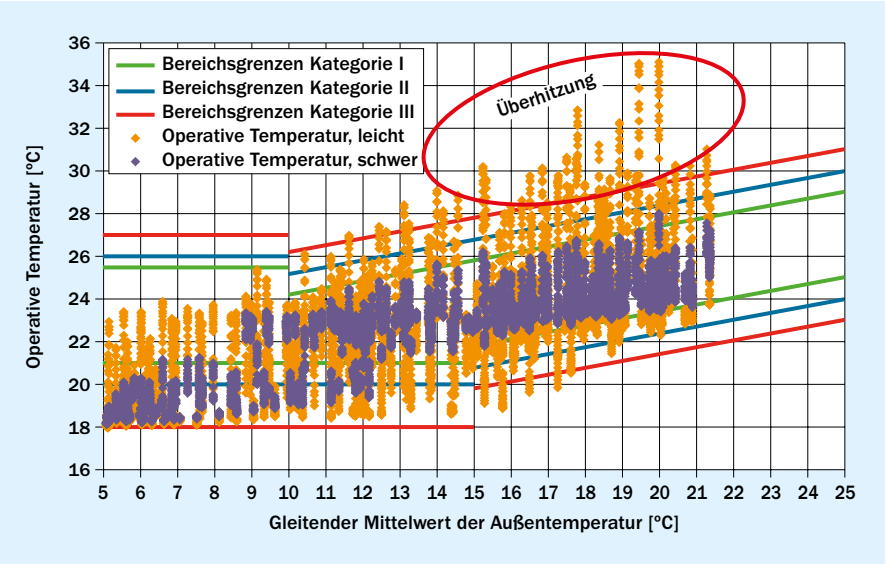


Bild 9 **Beispiel: Komfortbewertung auf Stundenbasis gemäß DIN EN ISO 15251 für alle elf Räume des Beispiel-Einfamilienhauses, für zwei Bauarten (schwer, mit Kalksandstein und leicht, z.B. Holzbau) und jeweils drei energetische Niveaus (EnEV 2016, KfW-Effizienzhaus 55 und KfW-Effizienzhaus 40) nach [4]**

6. Zusammenfassung

Bestimmend für den sommerlichen Wärmeschutz ist die direkte Sonneneinstrahlung in den Raum; sie hängt von der Fensterfläche, dem Sonnenschutz, und von der Ausrichtung und Konzeption des Gebäudes ab.

INFO

Bauweisen mit hohen wirksamen Speichermassen und eine erhöhte Nachtlüftung wirken sich positiv auf den sommerlichen Wärmeschutz aus und können die thermische Behaglichkeit für die Nutzer erheblich verbessern.

Im üblichen Geschosswohnungsbau ist die Nachweisführung mit dem vereinfachten Sonneneintragskennwertverfahren vollkommen ausreichend. Wird dabei der Nachweis erst einmal nicht eingehalten, empfehlen sich Maßnahmen wie z.B. eine erhöhte Nachtlüftung oder der Einsatz einer Glas-Sonnenschutz-Kombination mit niedrigem g_{tot}-Wert, um das vereinfachte Nachweisverfahren doch zu bestehen. Hierdurch wird gleichzeitig der sommerliche Wärmeschutz für die Benutzer verbessert. Bei Nichteinhaltung der zu vergleichenden Sonneneintragskennwerte kann über eine thermisch-dynamische Gebäudesimulation ein günstigeres Bewertungsergebnis erzielt werden. Im Vergleich zum vereinfachten Nachweisverfahren ist die Simulation aufwändiger sowie zeit- und kostenintensiver. Dafür erlaubt sie, Einflussfaktoren genauer abzubilden, und gestattet eine detaillierte sommerliche Komfortbewertung.

Literatur

[1] Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.), KS-Nachweisprogramm zur Berechnung des sommerlichen Wärmeschutzes (kostenfreier Download über die KS-Homepage www.kalksandstein.de)

[2] DIN 4108-2:2013-02 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz

[3] Fux, V.; Schäfers, M.; Pekrul, O.: Neufassung von DIN 4108-2 – Sommerlicher Wärmeschutz mit Konstruktionen aus Kalksandstein. In: Mauerwerk 17 (2013), Heft 2, S. 77–87

[4] Schlitzberger, S; Kempkes, C.; Maas, A.; Schäfers, M.: Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit auf Heizwärmebedarf und thermischen Komfort. In: Baupyhsik 39 (2017), Heft 1, S. 57–63

Bildnachweis

Bild S. 280: photographee.eu/AdobeStock



Kapitel 12

BRANDSCHUTZ

Dipl.-Ing. Christiane Hahn,
ö.b.u.v. Sachverständige für Brandschutz, Braunschweig/Hamburg

Stand: 01/2018

1. Einleitung

1.1 Bedeutung des Brandschutzes

Der Brandschutz wird ausführlich in allen 16 Landesbauordnungen (LBO) geregelt. Die generelle Forderung der Musterbauordnung (MBO [1]) lautet:

„Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass

- *der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und*
- *bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie*
- *wirksame Löscharbeiten möglich sind.“*

In einzelnen Abschnitten der LBO werden dann die brandschutztechnischen Anforderungen an die Bauteile und Baustoffe – heute Bauprodukte – geregelt. Im Rahmen dieses Beitrages werden alle Forderungen insbesondere an Wände aus Kalksandstein-Mauerwerk erläutert.

Eine häufige Frage ist: „warum Brandschutz, der kostet doch nur…“ Durch die Umsetzung der bauaufsichtlichen Brandschutzanforderungen sollen aber die oben genannten Forderungen erfüllt werden, die dazu dienen, Menschenleben zu retten, Nachbarn gegen Brand zu schützen und der Feuerwehr Löscharbeiten zu ermöglichen. Der Brand soll möglichst auf einen Brandabschnitt, eine Nutzungseinheit, begrenzt werden. Die Verhinderung eines Brandes ist kaum möglich. Das Schutzziel der bauaufsichtlichen Anforderungen ist der Personenschutz und nicht der Sachschutz. Sachschutz kann aber von der Sachversicherung bei Sonderbauten gefordert werden.

1.2 Sicherheitskonzept

In der Vergangenheit wurde von der Bauaufsicht ein Sicherheitskonzept nicht ausdrücklich definiert. Erst im Rahmen der europäischen Normung mit Einführung des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts in DIN EN 1991-1-2 [N10, N11] wurden hierzu Untersuchungen durchgeführt und ausführlich diskutiert.

Das bauordnungsrechtliche Schutzziel wurde mit folgender Wertigkeit definiert:

1. Menschenrettung
2. Nachbarschutz
3. Löschmöglichkeiten
4. Standsicherheit der Bauteile
5. Raumabschluss von Bauteilen
6. Anlagentechnik

Standsicherheit von tragenden Bauteilen im Brandfall bedeutet, dass ein Bauteil ab der dem Klassifizierungszeitpunkt folgenden Minute versagen darf, z.B. in der 91. Minute der Anforderung bei feuerbeständig. Anlagentechnik (z.B. Löschanlagen) wird in der Regel baurechtlich als zusätzlicher Schutz eingestuft bzw. bei Sonderbauten zur Reduzierung des Risikos einer Brandweiterleitung eingesetzt. Bei der Anlagentechnik wird aber auch als Restrisiko und frühzeitigem Löschen akzeptiert, dass eine Anlage nicht 100 %ig funktioniert. Eine 100 %ige Funktionssicherheit wäre nur durch die Ausführung von redundanten Anlagen möglich. Statistisch gesehen haben z.B. Sprinkleranlagen eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 3 bis 5 %.

Versicherungen setzen voraus, dass die baurechtlichen Brandschutzanforderungen erfüllt sind und fordern dann ggf. zusätzliche Maßnahmen, um Sachschäden bei einem Risiko zu minimieren und damit die Sachkosten im Brandfall zu senken. Dies gilt insbesondere für eine Nutzung mit hohen Risiken und hohen Sachwerten, z.B. im Industriebau.

1.3 Brandschäden

Statistisch gesehen brennt es in jeder Nutzungseinheit alle 50 Jahre. In Bild 1 sind die Hauptursachen für eine Brandentstehung dargestellt. In Großstädten, wie z.B. Hamburg oder Berlin muss mit 1 Brandtoten pro ca. 80.000 Einwohner und Jahr gerechnet werden. Insgesamt gab es im Jahr 2010 laut Aufstellungen der Versicherer 150 Brandtote. Diese relativ geringe Zahl ist u.a. in dem guten baulichen Brandschutz in Deutschland begründet.

Die Schadenssummen aus Brandschäden belaufen sich pro Jahr auf ca. 3 Milliarden Euro. Davon sind in der Regel 150 Großschäden ab 500.000 Euro pro Jahr. Der größte Einzelschaden belief sich bisher auf 300 Millionen Euro. In Tafel 1 sind beispielhaft Brandhäufigkeiten von Wohngebäuden in Hamburg dargestellt. Die Brandhäufigkeit hängt auch von der Nutzungsart eines Gebäudes ab.

Im Rahmen der Auswertungen der Brandentstehungshäufigkeit wurde bestätigt, dass insbesondere die Bauart der Wohnungstrennwände entscheidenden Einfluss auf die Feuerwiderstandsdauer hat. In Tafel 2 sind die Schlussfolgerungen zur Brandent-

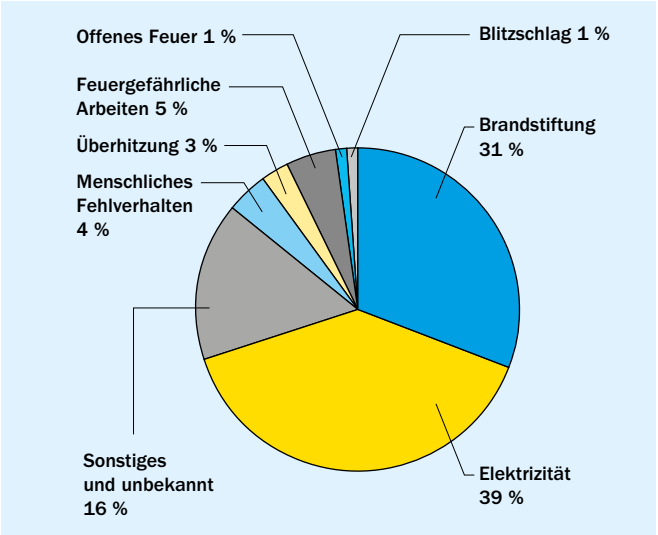


Bild 1 Schadensursachen [2]

Tafel 1 **Statistische Auswertung der Brandentstehungshäufigkeit in Wohngebäuden aus der Einsatzstatistik der Berufsfeuerwehr Hamburg in Anlehnung an [3]**

Brandhäufigkeiten am Beispiel von Wohngebäuden in Hamburg			
Anzahl der Wohnungen Gesamtwohnfläche Anzahl der Gebäude	783.116 62.649.280 196.967	**Anzahl der Brände**	
		In Wohnungen Außerhalb von Wohnungen	1.117 923
Statistische Häufigkeit von Bränden (Mittelwert)			
In Wohnungen je 1.000 Wohnungen und Jahr	1,43	In Wohnungen je 1.000 m²	0,0178
Außerhalb von Wohnungen je 1.000 Wohngebäuden	4,68	–	–

Tafel 2 **Schlussfolgerungen aus der statistischen Auswertung der Brandentstehungshäufigkeit in Wohngebäuden nach Tafel 1**

Bauart		Zulässige Brandabschnittsgröße [m²]
Wände	**Decken**	
Feuerbeständige Kalksandsteinwände (F 90-A)	Feuerbeständige Decken (F 90-A)	10.000
Feuerbeständige Kalksandsteinwände (F 90-A)	Holzbalkendecken	1.800
Holzwände	Holzbalkendecken	400[1)]

[1)] HBauO 2018: Brandabschnitt (BA) ≤ 800 m², Nutzungseinheit (NE) ≤ 200 m², Holzmassivbauweise F90-B

stehungshäufigkeit in Abhängigkeit von der Bauart und deren Auswirkung auf zulässige Brandabschnittsgrößen zusammengefasst. Der Feuerwiderstand und der Raumabschluss brennbarer Wohnungstrennwände haben damit entscheidenden Einfluss auf die Brandweiterleitung.

Kalksandstein-Mauerwerk ist nichtbrennbar. Es begrenzt Brände und trägt selbst nicht zum Brand bei. Hölzerne Dachstühle brennen solange weiter bis alles Holz verbrannt ist. Ebenso verhalten sich Holzbalkendecken. Die Feuerwehr hat dann keine Möglichkeit, das Feuer rechtzeitig zu löschen. Daher gab es im Mittelalter und in der Neuzeit große Stadtbrände – London 1666, Hamburg 1842 – bis die Aufsichtsbehörden Mauerwerk als Brandmauern zur Behinderung der Brandweiterleitung vorschrieben. Erst mit der zunehmenden Verwendung von Mauerwerk wurden Großbrände in engen Bebauungen reduziert.

INFO

Kalksandstein-Mauerwerk ist nichtbrennbar.

Man muss nur einem Brand zugesehen haben, um zu begreifen, welche Macht das Feuer hat und wie ausgeliefert man sein kann, auch wenn man selbst Hab und Gut nicht verloren hat. Die Versicherung kann zwar den materiellen Schaden weitgehend ausgleichen, sie kann aber nicht Erinnerungsstücke ersetzen und insbesondere keine Personenschäden ungeschehen machen. Bei Personenschäden ermittelt immer auch die Staatsanwaltschaft und prüft, ob gegen geltende Vorschriften verstoßen wurde und ob es dafür Verantwortliche gibt.

1.4 Haustechnik

Brandschutz funktioniert nur, wenn frühzeitig eine Koordination zwischen den Bauteilen und der Haustechnik – elektrische Leitungsanlagen, sanitäre Anlagen, Lüftungsleitungen, etc. – erfolgt und erforderliche Brandschutzmaßnahmen konsequent umgesetzt werden. Ebenso muss regelmäßig gemäß Wartungsanleitung gewartet werden. Dies gilt nicht nur während der Errichtung eines Gebäudes, sondern insbesondere auch während der Lebensdauer eines Gebäudes. Gebäude werden länger genutzt als die enthaltene Haustechnik. Sie muss erneuert und dem jeweiligen Standard angepasst werden. Mauerwerk und Haustechnik lassen sich planerisch einfach koordinieren und einfach in Brandschutzmaßnahmen umsetzen, im Gegensatz zur Haustechnik beim Trockenbau. Weitere Angaben sind im Abschnitt 4.9 enthalten.

1.5 Kalksandstein-Mauerwerk

Bei Verwendung von Kalksandstein-Mauerwerk ist der Brandschutz automatisch enthalten und damit sichergestellt. Kalksandstein-Mauerwerk ist aufgrund seiner Herstellung und Zusammensetzung nichtbrennbar und hat hinsichtlich der Tragfähigkeit – Standsicherheit im Brandfall – und des Raumabschlusses ein sehr günstiges Brandverhalten. Versicherungen legen aus diesem Grund den Standardsatz bei der Verwendung von Mauerwerk zugrunde oder rabattieren in Verbindung mit dem jeweiligen Gebäude sogar. Ein Risikoaufschlag erfolgt nicht, weil das günstige Brandverhalten von Mauerwerk geschätzt wird. Bei Holzbauten oder im Trockenbau kann hingegen ein Risikozuschlag erfolgen, der im Einzelfall geprüft wird.

Mauerwerk ist in brandschutztechnischer Sicht nachhaltig und stellt passiven und wirksamen Brandschutz dar. Es ist keine regelmäßige Überprüfung oder Wartung wie beim aktiven Brandschutz, den Ausbauten (z.B. Brandschutztüren) oder der Haustechnik erforderlich.

2. Bauaufsichtliche Anforderungen

2.1 Grundlagen

Die folgenden Ausführungen können nur einen Überblick zu den brandschutztechnischen Grundlagen und Anforderungen geben. Weitere Details sind der Fachliteratur und den jeweiligen Landesbauordnungen sowie Vorschriften, Verordnungen, Richtlinien, insbesondere zu Sonderbauten, zu entnehmen. Die wesentlichen Brandschutzanforderungen werden anhand der neuen Musterbauordnung (MBO Fassung Mai 2016) und der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB 2017/1) einschließlich der mitgeltenden Muster-Richtlinien und -Verordnungen zum Brandschutz erläutert. Insbesondere die MVV TB enthält zusätzliche bauaufsichtliche Anforderungen an Bauwerke, welche die Schutzziele und damit auch das nationale Sicherheitsniveau betreffen. Diese wirken sich direkt auch auf Baustoffe und Bauteile aus.

2.2 Musterbauordnung (MBO)

Die Generalklausel des Brandschutzes und damit das baurechtliche Schutzziel wurden bereits im Abschnitt 1 erläutert. Sie ist in ähnlicher Fassung in allen Landesbauordnungen enthalten.

Um diese Grundsatzanforderung der MBO zu erfüllen, werden an Bauteile sowie Baustoffe (Bauprodukte) zahlreiche Einzelanforderungen gestellt.

Für **Bauteile** unterscheiden die bauaufsichtlichen Anforderungen u.a.

- feuerhemmend,
- hochfeuerhemmend,
- feuerbeständig,
- Brandwand oder Bauart Brandwand.

Für **Baustoffe** werden Zusatzanforderungen gestellt die z.B. mit

- nichtbrennbar,
- im Wesentlichen nichtbrennbar,
- mindestens schwerentflammbar,
- mindestens normalentflammbar

umschrieben werden.

Weitere Angaben zu Baustoffen, sind in Abschnitt 2.5 enthalten.

Die Grundlagen bauaufsichtlicher Brandschutzanforderungen sind in den jeweils geltenden Landesbauordnungen und der zugehörigen Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen sowie in den mitgeltenden Verordnungen und Richtlinien enthalten. Obwohl die Landesbauordnungen auf der von den Ländern in der Fachkommission Bautechnik gemeinsam erarbeiteten Musterbauordnung (MBO) basieren, ist es bis heute nicht gelungen, einheitliche Bauordnungen über Brandschutzanforderungen in Deutschland zu schaffen. Alle Landesbauordnungen sollten im Wesentlichen die MBO zugrunde legen, haben aber aufgrund von regionalen Eigenheiten oder politischen Vorgaben immer wieder Änderungen vorgenommen.

Mit Geltung der aufgrund des EuGH Urteils vom Oktober 2014 grundlegend geänderten MBO im formalen Nachweis wurden auch die Bauregellisten und die Liste der Technischen Baubestimmungen durch die neue Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) ersetzt. Der jeweils aktuelle Stand der MBO und der MVV TB sowie weiterer Mustervorschriften ist unter www.is-argebau.de einsehbar. Aufgrund verwaltungstechnischer Verzögerungen wurden die Bauämter in der Übergangsphase von alter zu neuer MBO angewiesen, die bisherigen Verwendbarkeitsnachweise auch bei Ablauf der Gültigkeit weiter anzuerkennen. Dem Wunsch der Brandschutzexperten und der Praxis, die Brandschutzvorschriften in den Bauordnungen auf die „Generalklausel“ zu beschränken und zusätzlich nur dadurch zu ergänzen, dass Gebäude im Brandfall standsicher sein müssen, wurde bisher nicht entsprochen. Technische Regeln lassen sich leichter der Baupraxis anpassen als Bauordnungen oder Verwaltungsvorschriften.

2.3 Definition Gebäude

2.3.1 Grundlagen

Alle Landesbauordnungen, die dazugehörenden Durchführungsverordnungen bzw. die Verwaltungsvorschriften, unterscheiden

- Gebäude normaler Art und Nutzung (z.B. Wohngebäude und Gebäude vergleichbarer Nutzung einschließlich einfache Büro- und Verwaltungsgebäude),
- Gebäude besonderer Art oder Nutzung – Sonderbauten (z.B. Versammlungsstätten, Verkaufsstätten, Hotels, Gaststätten, Schulen, Krankenhäuser, Hochhäuser oder Industriebauten usw.).

2.3.2 Gebäude normaler Art und Nutzung

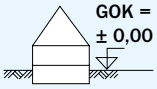
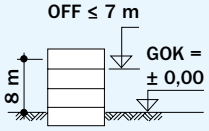
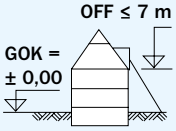
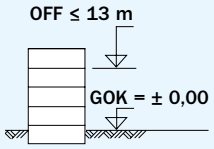
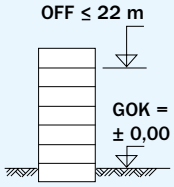
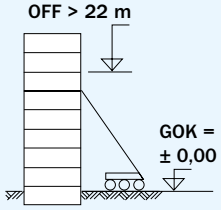
Im Bereich der Gebäude normaler Art und Nutzung wird nach Gebäudearten bzw. Gebäudeklassen unterschieden. Nach einheitlich geltendem Baurecht erfolgt die Einteilung der Gebäude nach Vollgeschossen. Die Brandschutzanforderungen werden in Abhängigkeit von der Anzahl der Geschosse festgelegt. Diese Einteilung ist in Abhängigkeit von der Anleiterbarkeit bei einem Feuerwehreinsatz definiert. Dazu werden die Begriffe Vollgeschoss und Höhe herangezogen. Teilweise werden an Hochhäuser (OFF ≥ 22 m) Brandschutzanforderungen getrennt über eine „Hochhausrichtlinie“ gestellt.

INFO

Maßgebend ist immer die jeweils gültige Landesbauordnung.

Bei den geltenden Bauordnungen auf der Grundlage der MBO sind die Gebäude normaler Art und Nutzung in 5 Gebäudeklassen unterteilt (Tafel 4). Im Höhenbereich zwischen 7 und 22 m erfolgte eine zusätzliche neue Unterteilung. Außerdem erfolgt auch eine Unterteilung in Abhängigkeit von der Anzahl und Größe der Nutzungseinheiten (NE). Hierbei wird als Grenze für die Grö-

Tafel 3 Erläuterung der Gebäudeklassen nach Musterbauordnung

Gebäudeklassen					
1 Gebäude, freistehend	**2** Gebäude	**3** Sonstige Gebäude	**4** Gebäude	**5** Sonstige Gebäude, einschließlich unterirdische Gebäude	
OFF[1] ≤ 7 m	OFF ≤ 7 m	OFF ≤ 7 m	> 7 m OFF ≤ 13 m	OFF > 7 m[2]	
2 NE[3] Σ 400 m²	2 NE[3] Σ 400 m²	–	je NE[3] < 400 m²	–	
Feuerwehreinsatz mit Steckleitern Fensterbrüstung < 8 m			Feuerwehreinsatz mit Drehleiter alternativ: zweiter baulicher Rettungsweg		
					Hochhäuser[1] mind. 1 Aufenthaltsraum > 22 m über OFF 

[1] Oberkante Fertigfußboden
[2] Siehe Tafel 4
[3] Nutzungseinheit

Tafel 4 Gebäudeklassen nach Musterbauordnung MBO

Gebäudeklasse[1]	Beschreibung
1	Freistehende Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m mit nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt ≤ 400 m²
	Freistehende landwirtschaftlich genutzte Gebäude
2	Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m mit maximal zwei Nutzungseinheiten von insgesamt ≤ 400 m²
3	Sonstige Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m
4	Gebäude mit einer Höhe > 7 m bis zu 13 m und Nutzungseinheiten mit jeweils ≤ 400 m²
5[1]	Sonstige Gebäude einschließlich unterirdischer Gebäude

[1] In einigen Landesbauordnungen ist eine Höhenbegrenzung OFF < 22 m bzw. ≤ 22 m aufgenommen. Hochhäuser sind Sonderbauten.

Nach MBO ist mit „Höhe" gemeint: das Maß der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum möglich ist, über der Geländeoberfläche im Mittel.

Nach MBO ist mit den Flächenangaben gemeint: Die Grundflächen der Nutzungseinheiten sind die Brutto-Grundflächen; bei der Berechnung der Brutto-Grundflächen bleiben Flächen in Kellergeschossen außer Betracht.

ße eine Fläche von 400 m² gesetzt (Tafel 3). Die Fläche ist als Brutto-Grundfläche (BGF) definiert. Die Höhe ist das Maß der Fußbodenoberkante (OFF) des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum möglich ist, über der Geländeoberfläche im Mittel. Der Bezugspunkt der Geländeoberfläche ist in den Bundesländern unterschiedlich. Die Bruttogrundfläche BGF und Höhe *h* sind in Tafel 4 definiert.

2.3.3 Gebäude besonderer Art oder Nutzung (Sonderbauten)

In den Landesbauordnungen werden die baulichen Anlagen besonderer Art oder Nutzung nur im Grundsatz behandelt.

In der MBO werden Sonderbauten wie folgt definiert:

„Sonderbauten sind Anlagen und Räume besonderer Art oder Nutzung, die einen der nachfolgenden Tatbestände erfüllen:

1. *Hochhäuser (Gebäude mit einer Fußbodenhöhe des obersten Aufenthaltsraums über Gelände von mehr als 22 m)*
2. *Bauliche Anlagen mit einer Höhe von mehr als 30 m*
3. *Gebäude mit mehr als 1.600 m² Grundfläche des Geschosses mit der größten Ausdehnung, ausgenommen Wohngebäude und Garagen*
4. *Verkaufsstätten, deren Verkaufsräume und Ladenstraßen eine Grundfläche von insgesamt mehr als 800 m² haben*
5. *Gebäude mit Räumen, die einer Büro- oder Verwaltungsnutzung dienen und einzeln eine Grundfläche von mehr als 400 m² haben*
6. *Gebäude mit Räumen, die einzeln für die Nutzung durch mehr als 100 Personen bestimmt sind*
7. *Versammlungsstätten*
   a) mit Versammlungsräumen, die insgesamt mehr als 200 Besucher fassen, wenn diese Versammlungsräume gemeinsame Rettungswege haben
   b) im Freien mit Szenenflächen sowie Freisportanlagen, jeweils mit Tribünen, die keine fliegenden Bauten sind und insgesamt mehr als 1.000 Besucher fassen

8. *Schank- und Speisegaststätten mit mehr als 40 Gastplätzen in Gebäuden oder mehr als 1.000 Gastplätzen im Freien, Beherbergungsstätten mit mehr als 12 Betten und Spielhallen mit mehr als 150 m² Grundfläche*

9. *Gebäude mit Nutzungseinheiten zum Zwecke der Pflege oder Betreuung von Personen mit Pflegebedürftigkeit oder Behinderung, deren Selbstrettungsfähigkeit eingeschränkt ist, wenn die Nutzungseinheiten*
   a) einzeln für mehr als 6 Personen
   oder
   b) für Personen mit Intensivpflegebedarf bestimmt sind,
   oder
   c) einen gemeinsamen Rettungsweg haben und für insgesamt mehr als 12 Personen bestimmt sind

10. *Krankenhäuser*

11. *Sonstige Einrichtungen zur Unterbringung von Personen sowie Wohnheime*

12. *Tageseinrichtungen für Kinder, Menschen mit Behinderung und alte Menschen, ausgenommen Tageseinrichtungen einschließlich Tagespflege für nicht mehr als zehn Kinder*

13. *Schulen, Hochschulen und ähnliche Einrichtungen*

14. *Justizvollzugsanstalten und bauliche Anlagen für den Maßregelvollzug*

15. *Camping- und Wochenendplätze*

16. *Freizeit- und Vergnügungsparks*

17. *Fliegende Bauten, z.B. Zelte, soweit sie einer Ausführungsgenehmigung bedürfen*

18. *Regallager mit einer Oberkante Lagerguthöhe von mehr als 7,50 m*

19. *Bauliche Anlagen, deren Nutzung durch Umgang oder Lagerung von Stoffen mit Explosions- oder erhöhter Brandgefahr verbunden ist*

20. *Anlagen und Räume, die in den Nummern 1 bis 19 nicht aufgeführt und deren Art oder Nutzung mit vergleichbaren Gefahren verbunden sind“*

Für diverse Sonderbauten wurden und werden Muster-Sondervorschriften erarbeitet (Tafel 5). Die Richtlinien/Verordnungen berücksichtigen jeweils die besonderen Gegebenheiten.

Da die Mustervorschriften im Internet unter www.is-argebau.de veröffentlicht und damit allgemein verfügbar sind, stellen sie den Stand der Technik dar. Trotzdem führen einzelne Bundesländer auch diese Regeln wiederum einzeln ein und nehmen zusätzlich Änderungen bzw. Modifikationen vor. Maßgebend ist daher zunächst immer die eingeführte Regel des Bundeslandes; der Rest liegt im Ermessen der örtlichen Bauaufsichtsbehörde. Bei veralteten Regeln sollte es leicht sein, den Stand der Technik – Mustervorschrift – umzusetzen. Dies sollte man auch unbedingt dann tun, wenn die Mustervorschrift höhere Anforderungen stellt, weil damit der Stand der Technik abgedeckt wird und die Entwicklung gerade in diesem Bereich weiter fortschreitet. Beispielsweise haben Sonderbauten gegenüber früher einen wesentlich höheren Installationsgrad im Bereich der Lüftung und Elektrotechnik. Damit wurde das Brandrisiko vergrößert. Außerdem werden zunehmend verschiedene Nutzungen in einem Gebäude zusammengefasst, so dass auch hierdurch das Brandrisiko anders und komplexer zu beurteilen ist.

Als Beispiel sei die Muster-Industriebau-Richtlinie (Fassung Juli 2014) in Verbindung mit DIN 18230-1:2010-09 – Baulicher Brandschutz im Industriebau – erwähnt. Die Norm DIN 18230 ermöglicht die Brandschutzbemessung von Industriebauten für den konkreten Einzelfall. Mit Hilfe der Norm werden die tatsächlich anzusetzenden Brandlasten aufgrund der Nutzung für ein konkretes Industriegebäude in Abhängigkeit von den Abmessungen des Gebäudes und der Ventilation sowie der abwehrenden Brandschutzmaßnahmen bestimmt. Mit den Ergebnissen werden dann die Brandschutzanforderungen an Bauteile festgelegt. Es wird die „rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer (erf t_F)“ ermittelt, aus der sich die „Brandschutzklassen I bis V“ ergeben. Innerhalb eines umfassenden Brandschutzkonzepts werden insbesondere brandschutztechnische Anforderungen an Wände ermittelt, die das Industriegebäude in Brandabschnitte (BA) und auch in Brandbekämpfungsabschnitte (BBA) unterteilen. Das kann zu feuerhemmenden Wänden, zu feuerbeständigen oder auch zu Brandwänden führen. Im Bereich der Brandwände (im Prinzip: feuerbeständig bzw. F 90-A mit Stoßbeanspruchung) gibt es die Besonderheit, dass für Brandwände auch die Eigenschaften feuerhemmend (F 30) oder F 120, jedoch mit Stoßbeanspruchung, gefordert werden kann. Gemäß Landesbauordnungen und der nationalen DIN 4102-3 sind Brandwände feuerbeständig (F 90). Daraus

Tafel 5 **Muster-Richtlinien und -Verordnungen für Sonderbauten (Stand: September 2017)**

Hochhäuser MHHR	Versammlungsstätten (MVStättVO)[1)]	Beherbungsstätten (MBeVO)[1)]	Krankenhäuser[2)]	Verkaufsstätten (MVkVO)[3)]	Garagen (MGarVO)	Schulbau Richtlinie	Industriebau Richtlinie (MIndBau RL)
04.2008/ 05.2012	06.2005/ 07.2014	12.2000/ 05.2014	12.1976	09.1995/ 07.2014	05.2008/ 10.2008	04.2009	07.2014

[1)] Ersetzt GastVO (alt)
[2)] Zurückgezogen
[3)] Ersetzt Geschäftshäuser (alt)

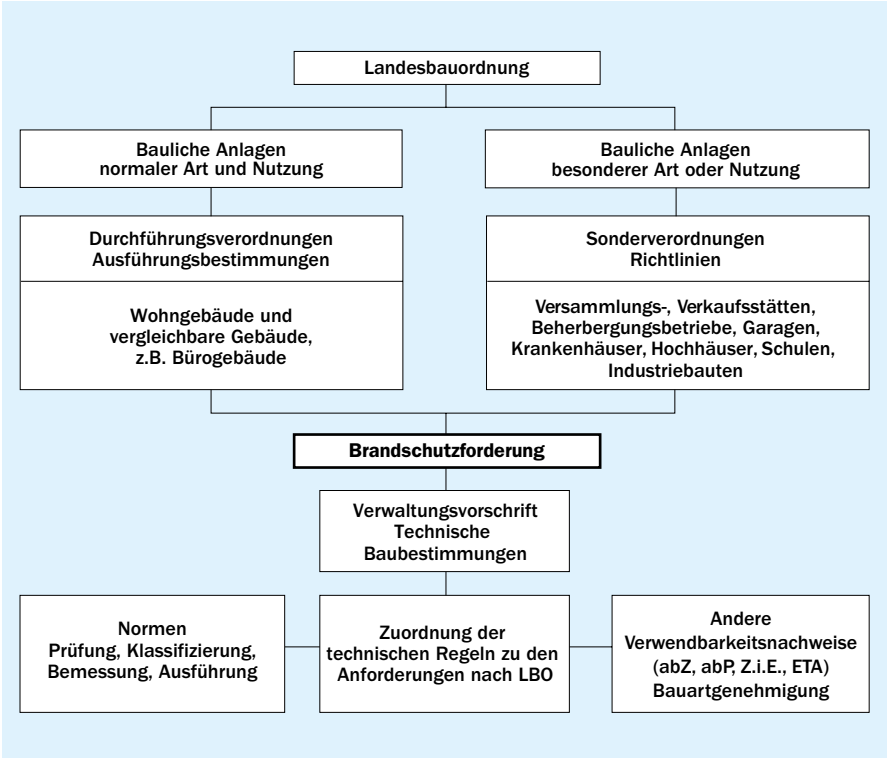


Bild 2 Überblick über die Zusammenhänge der bauaufsichtlichen Brandschutzvorschriften

folgt, dass Brandwände, geprüft nach DIN 4102-3, immer die Anforderung feuerhemmend (F 30) weit auf der sicheren Seite liegend erfüllen. Allerdings ist eine Reduzierung der Wanddicke trotzdem meist nicht möglich, weil überwiegend die Stoßbeanspruchung für die Bemessung maßgebend ist. Die Erfüllung der Anforderung „Brandwand mit der Feuerwiderstandsklasse F 120“ ist jedoch gesondert nachzuweisen, siehe auch Abschnitt 4.6.

In Anlehnung an DIN 18230 können auch für andere Gebäude als Industriebauten Brandlasten ermittelt werden und im Rahmen von Brandschutzkonzepten tatsächlich erforderliche Feuerwiderstandsdauern von Bauteilen ermittelt werden. Der Weg führt immer mehr zu einer ingenieurmäßigen Bemessung von Bauteilen im Brandfall, weil für die heutigen modernen Sonderbauten die Brandschutzanforderungen mit Einzelvorschriften nicht mehr zu regeln sind.

Als Beispiel eines komplexen Sonderbaues kann ein Einkaufszentrum mit Versammlungsstätte im Bereich von Gastronomischen Bereichen sowie mit Großgarage und Büro-/Verwaltungseinheiten genannt werden.

Bei einer Zusammenstellung der Richtlinien und Verordnungen für Sonderbauten der Bundesländer wird deutlich, dass es wichtig ist, die richtige bzw. maßgebende Brandschutzanforderung zu bestimmen und damit wirtschaftliches Bauen zu ermöglichen.

Die Zusammenhänge zwischen Bauordnung und Brandschutzforderung werden in Bild 2 verdeutlicht.

2.4 Bauprodukte – Wände

2.4.1 Bauaufsichtliche Anforderungen

Baustoffe werden nach den Anforderungen an ihr Brandverhalten unterschieden – nichtbrennbar, schwerentflammbar, normalentflammbar. Baustoffe, die leichtentflammbar sind, dürfen nicht verwendet werden. Dies gilt nicht, wenn sie in Verbindung mit anderen Baustoffen nicht leichtentflammbar sind.

Bauteile werden grundsätzlich nach den Anforderungen an ihre Feuerwiderstandsfähigkeit unterschieden – feuerbeständig, hochfeuerhemmend, feuerhemmend. Sie werden aber auch nach dem Brandverhalten ihrer Baustoffe unterschieden:

- Bauteile aus nichtbrennbaren Baustoffen
- Bauteile, deren tragende und aussteifende Teile aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen und die bei raumabschließenden Bauteilen zusätzlich eine in Bauteilebene durchgehende Schicht aus nichtbrennbaren Baustoffen haben
- Bauteile, deren tragenden und aussteifenden Teile aus brennbaren Baustoffen bestehen und die allseitig eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen (Brandschutzbekleidung) und Dämmstoffe aus nichtbrennbaren Baustoffen haben

2.4.2 Wände (allgemein)

In Tafel 6 sind wesentliche Brandschutzanforderungen nach MBO für Wände zusammengefasst – unterteilt nach Gebäudeklassen gemäß Tafel 4 soweit tabellarisch möglich. Ergänzende Erläuterungen und Ausnahmen sind in Fußnoten angegeben.

Gebäudeabschlusswände stellen für den Mauerwerksbereich ein wichtiges Anwendungsgebiet dar. Es ist zu beachten, dass der Begriff „Gebäudeabschlusswand“ nicht in allen Bundesländern ausdrücklich definiert wird. In einigen Fällen wird der Anwendungsbereich im Bereich der Brandwände oder Außenwände umschrieben.

2.4.3 Erläuterungen zu Außenwänden

Die Beurteilung von Außenwänden führt immer wieder zu Problemen in der Praxis. Sie werden daher in der MBO § 28 entsprechend definiert.

(1) **Außenwände (tragend und nicht tragend)** – und (nicht tragende) Außenwandteile tragender Außenwände wie Brüstungen und Schürzen – sind so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist.

Diese Anforderung gilt als erfüllt wenn alle Baustoffe in den genannten Bauteilen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen und keine Hohlräume aufweisen.

(2) **Nicht tragende Außenwände und nicht tragende Teile tragender Außenwände** müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen; sie sind aus brennbaren Baustoffen zulässig, wenn sie als raumabschließende Bauteile feuerhemmend sind, d.h. W 30 nach DIN 4102-3.

Dies gilt nicht für

- Türen und Fenster,
- Fugendichtungen,
- brennbare Dämmstoffe in nichtbrennbaren geschlossenen Profilen der Außenwandkonstruktionen,
- die Gebäudeklassen 1 bis 3.

(3.1) **Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen** müssen aus schwerentflammbaren Baustoffen bestehen, die nicht brennend abfallen oder abtropfen.

Dies gilt auch für

- Balkonbekleidungen, die über die erforderliche Umwehrungshöhe hinaus hochgeführt werden,
- mehr als zwei Geschosse überbrückende Solaranlagen an Außenwänden.

Dies gilt nicht für die Gebäudeklassen 1 bis 3.

(3.2) **Dämmstoffe und Unterkonstruktionen in Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen** müssen aus schwerentflammbaren Baustoffen bestehen. Unterkonstruktionen aus normalentflammbaren Baustoffen sind zulässig, wenn die Anforderungen nach Absatz (1) erfüllt sind.

Dies gilt nicht für die Gebäudeklassen 1 bis 3.

(4) Bei Außenwandkonstruktionen mit **geschossübergreifenden Hohl- oder Lufträumen sowie hinterlüfteten Außenwandbekleidungen** sind gegen die Brandausbreitung besondere Vorkehrungen zu treffen.

Dies gilt auch für

- Doppelfassaden (nicht für Gebäudeklassen 1 und 2),
- den Hohlraum beim zweischaligen Mauerwerk mit belüftetem oder nicht belüftetem Hohlraum.

Dies gilt nicht für die Gebäudeklassen 1 bis 3, sowie unabhängig von der Gebäudeklasse für zweischaliges Mauerwerk mit Schalenfuge ausgefüllt mit nichtbrennbarem Dämmstoff.



Tafel 6 Brandschutzanforderungen an Wände und Decken nach MBO (Stand: Mai 2016)

Gebäudeklasse		1	2	3	4	5
		OFF ≤ 7 m			OFF ≤ 13 m	
Anzahl Nutzungseinheiten		≤ 2 NE				
Brutto-Geschossfläche		Für alle NE: BGF ≤ 400 m²			Für jede NE: BGF ≤ 400 m²	
Gebäudeart		Freistehende Gebäude, freistehende land- oder forstwirtschaftliche Gebäude	–	Sonstige Gebäude	–	Sonstige Gebäude, inkl. unterirdischer Gebäude
Bauteile – Baustoffe						
Tragende und aussteifende Wände, Pfeiler	Keller	F 30-B	F 30-B	F 90-AB	F 90-AB	F 90-AB
	Sonstige Geschosse, ausgenommen KG, DG, Balkone[14)]	–	F 30-B	F 30-B	F 60-BA	F 90-AB
	Dach	–	–	–	–	–
		–	F 30-B[1)]	F 30-B[1)]	F 60-BA[1)]	F 90-AB[1)]
Außenwände	Nicht tragende u. nicht tragende Teile tragender Außenwände[2)]	–	–	–	A	A
		–	–	–	W 30	W 30
Oberflächen und Außenwandbekleidungen inkl. Dämmstoffe, Unterkonstruktion		–	–	–	B1[3)4)]	B1[3)4)]
Brandwände[11)] als	Gebäudeabschluss	BW[7)]	BW	BW	BW	BW
	Unterteilung in Brandabschnitte von ≤ 40 m	F 60-BA	F 60-BA	F 60-BA	F 60-BA + M	BW
						F 90-A[10)]
	Unterteilung in Brandabschnitte mit BGF ≤ 10.000 m³	BW	–	–	–	–
		F 90-AB[11)]				
Notwendige Treppenräume[11)]	Außenwände	–	–	F 30-B[8)]	F 60-BA + M[8)]	Bauart BW[8)]
	Sonstige Geschosse	–	–	F 30-B	F 60-BA + M	Bauart BW
	Bekleidung, Einbauten, Dämmstoffe, Putze, Unterdecken	A	A	A	A	A
	Bodenbeläge ohne Gleitschutzprofile	B1	B1	B1	B1	B1
	Sicherheitstreppenraum	–	–	–	Bauart BW + A	Bauart BW + A
Notwendiger Flur[5)12)]	Außenwände	–	–	–	–	–
	Keller[6)]	F 90-AB	F 90-AB	F 90-AB	F 90-AB	F 90-AB
	Sonstige Geschosse	–	–	F 30-B	F 30-B	F 30-B
	Bekleidung, Dämmstoffe, Unterdecken, Putze	A	A	A	A	A
	Bodenbeläge ohne Gleitschutzprofile	–	–	–	–	–

(Fortsetzung der Tafel und Fußnoten siehe folgende Seite)

Tafel 6 **Brandschutzanforderungen an Wände und Decken nach MBO (Stand: Mai 2016)** *Fortsetzung*

Gebäudeklasse		1	2	3	4	5
		OFF ≤ 7 m			OFF ≤ 13 m	
Anzahl Nutzungseinheiten		≤ 2 NE				
Brutto-Geschossfläche		Für alle NE: BGF ≤ 400 m²			Für jede NE: BGF ≤ 400 m²	
Gebäudeart		Freistehende Gebäude, freistehende land- oder forstwirtschaftliche Gebäude	–	Sonstige Gebäude	–	Sonstige Gebäude, inkl. unterirdischer Gebäude
Bauteile – Baustoffe						
Decken[13]	Keller	F 30-B	F 30-B	F 90-AB	F 90-AB	F 90-AB
	Sonstige Geschosse, ausgenommen KG, DG, Balkone[14]	F 90-AB[7]	F 30-B	F 30-B	F 60-BA	F 90-AB
		F 90-A[10]	F 90-A[10]	F 90-A[10]	F 90-A[10]	F 90-A[10]
	Dach	–	–	–	–	–
		–	F 30-B[1]	F 30-B[1]	F 60-BA[1]	F 90-AB[1]
	unter/über Räumen mit erhöhter Explosions- und Brandgefahr	F 90-AB[5]	F 90-AB[5]	F 90-AB	F 90-AB	F 90-AB
Trennwände[5] zwischen NE sowie NE und anders genutzten Räumen	Sonstige Geschosse, ausgenommen KG, DG, Balkone[6] [14]	–	–	F 30-B	F 60-BA	F 90-AB
	Dach	–	–	F 30-B	F 30-B	F 30-B
Trennwände[5] raumabschließend	zw. Keller und Aufenthaltsräumen[6]	–	–	F 30-B	F 30-B	F 30-B
	als Abschluss von Räumen mit Explosions- und erhöhter Brandgefahr	F 90-AB	F 90-AB	F 90-AB	F 90-AB	F 90-AB
Fahrschachtwände, raumabschließend [15] außerhalb von notwendigen Treppenräumen und Wände von Triebwerksräumen		–	–	F 30-B	F 60-BA	F 90-A

Allgemeine Hinweise:
Gebäude einer Höhe ≥ 22 m sind Hochhäuser und den Sonderbauten zuzuordnen.
Bauaufsichtliche Benennungen siehe Tafel 8

NE: Nutzungseinheiten
WE: Wohneinheiten
M: Auch unter zusätzlicher mechanischer Beanspruchung
BW: Brandwand
BGF: Bruttogeschossfläche

Anforderungen:
1) Wenn darüber Aufenthaltsräume möglich sind
2) Ausgenommen: Fensterprofile, Fugendichtung, brennbare Dämmstoffe in nichtbrennbaren geschlossenen Profilen der Außenwandkonstruktionen
3) Einschließlich Unterkonstruktionen und Dämmstoffen; mit geeigneten Maßnahmen auch in normalentflammbar möglich
4) Für Außenwandkonstruktionen mit geschossübergreifenden Hohl- und Lufträumen und hinterlüftete Außenwandbekleidungen müssen gesonderte Maßnahmen getroffen werden.
5) Ausgenommen sind Wohngebäude der Gebäudeklasse 1 und 2
6) Maßgebend sind tragende und aussteifende Bauteile
7) Nur zwischen landwirtschaftlich genutztem Teil und Wohnteil
8) Ausgenommen sind nichtbrennbare Außenwände von Treppenräumen und die, die an diese Außenwände anschließende Gebäudeteile nicht gefährden.
9) Wenn der umbaute Raum des landwirtschaftlich genutzten Gebäudes und Gebäudeteiles ≤ 2.000 m³ ist
10) Wände geschossweise versetzt zulässig, wenn in Verbindung mit Decken in F 90-A und ohne Öffnungen und unterstützende Bauteile in F 90-A und Außenwände in der Breite des Versatzes ober- oder unterhalb F 90-AB und keine senkrechte Brandübertragung in andere Brandabschnitte möglich ist
11) Ohne Öffnungen, ausgenommen in inneren Brandwänden mit Einschränkungen, M = Stoßbeanspruchung 3.000 Nm
12) Nicht innerhalb von Wohnungen oder NE mit einer Grundfläche ≤ 200 m² bzw. innerhalb von Büro- oder Verwaltungsnutzung mit einer Grundfläche ≤ 400 m²
13) Öffnungen sind zulässig in Wohngebäuden der Gebäudeklasse 1 und 2; innerhalb derselben NE ≤ 400 m² und ≤ 2 Geschosse; auf die Nutzung erforderliche Zahl sowie Größe beschränkt und Abschlüsse entsprechend der Feuerwiderstandsfähigkeit der Decke
14) Ausgenommen offene Gänge als notwendige Flure und Balkone als Bestandteil des zweiten Rettungswegs
15) Fahrschachtwände mit brennbaren Baustoffen benötigen eine schachtseitige Bekleidung aus A in ausreichender Dicke; Öffnungen sind so herzustellen, dass eine Brandausbreitung in andere Geschosse ausreichend lange verhindern wird.
16) Gilt nur für Räume, die nicht an andere Räume oder Rettungswege angrenzen; nicht in Treppenräumen

2.5 Verwendbarkeitsnachweise

2.5.1 Grundlagen

In der MBO werden folgende Definitionen für Bauprodukte und Bauarten festgelegt.

INFO

Für die Verwendung von Bauprodukten und Bauarten in Deutschland gelten grundsätzlich die nationalen Regeln.

Die europäischen Prüf- und Klassifizierungsnormen dienen in erster Linie dazu, erforderliche Prüfungen in Europa zu vereinheitlichen und damit die Anzahl der Prüfungen zu reduzieren. Das nationale Sicherheitsniveau wird jedoch derzeit nicht harmonisiert. Die nationalen Brandschutzanforderungen an Bauwerke sind in der MVV TB festgelegt.

Weitere Erläuterungen hinsichtlich Brandschutz sind den folgenden Abschnitten zu entnehmen.

2.5.1.1 Definition Bauprodukte – Bauart

Bauprodukte sind

1. Baustoffe, Bauteile und Anlagen, die hergestellt werden, um dauerhaft in bauliche Anlagen eingebaut zu werden,

und

2. aus Baustoffen und Bauteilen vorgefertigte Anlagen, die hergestellt werden, um mit dem Erdboden verbunden zu werden wie Fertighäuser, Fertiggaragen und Silos.

Bauart ist das Zusammenfügen von Bauprodukten zu baulichen Anlagen oder Teilen von baulichen Anlagen.

Bauprodukte dürfen für die Errichtung, Änderung und Instandhaltung baulicher Anlagen nur verwendet werden, wenn sie für den Verwendungszweck

1. den Vorschriften der Bauproduktenverordnung (BauPVO) [4] entsprechen

oder

2. von den (nationalen) technischen Regeln (z.B. bauaufsichtlich eingeführte DIN-Normen) nicht oder nicht wesentlich abweichen.

2.5.1.2 Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen

Die Landesbauordnungen schreiben vor, dass die von den obersten Bauaufsichtsbehörden der Länder durch öffentliche Bekanntmachung eingeführten technischen Regeln zu beachten sind. Das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) macht im Einvernehmen mit der obersten Bauaufsichtsbehörde die Technischen Baubestimmungen als Verwaltungsvorschrift (MVV TB) bekannt.

Die MVV TB fasst nunmehr die früher in den Bauregellisten und in der Liste der Technischen Baubestimmungen enthaltenen technischen Regeln zusammen. Sie erläutert zudem alle in der MBO definierten Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen und zur Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen und klärt damit die Aufgaben und Schutzziele.

Bauprodukte, die von den technischen Regeln in der Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) wesentlich abweichen oder für die es allgemein anerkannte Regeln der Technik nicht gibt (nicht geregelte Bauprodukte), müssen

1. eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) MBO § 18 oder

2. ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP) MBO § 19 oder

3. eine Zustimmung im Einzelfall (Z.i.E.) MBO § 20

als Verwendbarkeitsnachweis haben. Davon ausgenommen sind Bauprodukte nach MVV TB Teil D.

Bauarten, die von Technischen Baubestimmungen wesentlich abweichen oder für die es allgemein anerkannte Regeln der Technik nicht gibt (nicht geregelte Bauarten), dürfen bei der Errichtung, Änderung und Instandhaltung baulicher Anlagen nur angewendet werden, wenn für sie gemäß MBO § 16a

1. eine allgemeine Bauartgenehmigung durch das Deutsche Institut für Bautechnik

oder

2. eine vorhabenbezogene Bauartgenehmigung durch die oberste Bauaufsichtsbehörde erteilt worden ist.

Weitere Angaben können der MBO und der MVV TB entnommen werden. Die MVV TB wird mindestens jährlich aktualisiert. Die jeweils aktuelle Fassung steht unter www.dibt.de zur Verfügung.

2.5.1.3 DIN EN 1996 (Eurocode 6) und DIN 4102-4

Bei Mauerwerk erfolgt gemäß MVV TB die Tragwerksbemessung für den Brandfall nach Teil 1-2 des Eurocode 6 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang:

- DIN EN 1996-1-2:2011-04 – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall
- DIN EN 1996-1-2/NA:2013-06 – Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerkbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall

Für spezielle Ausbildungen (z.B. Anschlüsse, Fugen etc.) sind zusätzlich die Anwendungsregeln nach DIN 4102-4 ab 2016 zu beachten, sofern der Eurocode 6 dazu keine Angaben enthält.

2.5.2 Verwendbarkeitsnachweise im nationalen Verfahren

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ)

Das DIBt erteilt eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für nicht geregelte Bauprodukte ohne CE-Kennzeichnung, wenn deren Verwendbarkeit im Sinne des § 16b Abs. 1 (MBO) nachgewiesen ist. Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung wird widerruflich und für eine bestimmte Frist erteilt, die in der Regel fünf Jahre beträgt. Die Zulassung kann mit Nebenbestimmungen erteilt werden, die bei der Ausführung zu beachten sind.

Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP)

Bauprodukte, die nach allgemein anerkannten Prüfverfahren beurteilt werden, bedürfen anstelle einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung nur eines allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses. Diese Bauprodukte werden in Teil C der MVV TB bekannt gemacht. Ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis wird von einer anerkannten Prüfstelle erteilt, wenn die Verwendbarkeit durch Prüfungen nachgewiesen ist.

Nachweis der Verwendbarkeit von Bauprodukten im Einzelfall (Z.i.E.)

Mit Zustimmung der obersten Bauaufsichtsbehörde im Einzelfall dürfen Bauprodukte auch verwendet werden, wenn ihre Verwendbarkeit im Sinne der MBO nachgewiesen ist.

Wenn Gefahren (s. MBO) nicht zu erwarten sind, kann die oberste Bauaufsichtsbehörde im Einzelfall erklären, dass ihre Zustimmung nicht erforderlich ist. Hierfür gibt es das Verfahren der nicht wesentlichen Abweichung. Dieses wird Länderweise unterschiedlich gehandhabt.

Tafel 7 **Bauaufsichtliche Benennungen für Baustoffe und Klassifizierungen nach DIN EN 13501-1 bzw. DIN 4102-1**

Bauaufsichtliche Anforderung		Nationale Klasse nach DIN 4102-1	Europäische Klasse nach DIN EN 13501[1)2)]		Zusatzanforderungen	
			Bauprodukte, ausgenommen lineare Rohrdämmstoffe	Lineare Rohrdämmstoffe	Kein Rauch	Kein brennendes Abfallen/Abtropfen
Nichtbrennbare Baustoffe	Nicht-brennbar	A A 1 A 2	A1	$A1_L$	X	X
			A2 – s1,d0	$A2_L$ – s1, d0	X	X
Brennbare Baustoffe	Schwer-entflammbar	B	B – s1,d0 C – s1,d0	B_L – s1,d0 C_L – s1,d0	X	X
		B 1	A2 – s2,d0 A2 – s3,d0 B – s2,d0 B – s3,d0 C – s2,d0 C – s3,d0	$A2_L$ – s2,d0 $A2_L$ – s3,d0 B_L – s2,d0 B_L – s3,d0 C_L – s2,d0 C_L – s3,d0	–	X
		B 1	A2 – s1,d1 A2 – s1,d2 B – s1,d1 B – s1,d2 C – s1,d1 C – s1,d2	$A2_L$ – s1,d2 $A2_L$ – s1,d2 B_L – s1,d1 B_L – s1,d2 C_L – s1,d1 C_L – s1,d2	X	–
		B 1	A2 – s3,d2 B – s3,d2 C – s3,d2	$A2_L$ – s3,d2 B_L – s3,d2 C_L – s3,d2	–	–
	Normal-entflammbar	B 2	D – s1,d0 D – s2,d0 D – s3,d0 E	D_L – s1,d0 D_L – s2,d0 D_L – s3,d0 E_L	–	X
		B 2	D – s1,d1 D – s2,d1 D – s3,d1 D – s1,d2 D – s2,d2 D – s3,d2	D_L – s1,d1 D_L – s2,d1 D_L – s3,d1 D_L – s1,d2 D_L – s2,d2 D_L – s3,d2	–	–
		B 2	E – d2	E_L – d2	–	–
	Leicht-entflammbar	B 3	F	F_L	–	–

[1)] In den europäischen Prüf- und Klassifizierregeln ist das Glimmverhalten von Baustoffen nicht erfasst. Für Verwendungen, in denen das Glimmverhalten erforderlich ist, ist das Glimmverhalten nach nationalen Regeln nachzuweisen.

[2)] Mit Ausnahme der Klasse A1 (ohne Anwendung der Fußnote c zu Tabelle 1 der DIN EN 13501-1) und E kann das Brandverhalten von Oberflächen von Außenwänden und Außenwandbekleidungen (Bauarten) nach DIN EN 13501-1 nicht abschließend klassifiziert werden,

Übereinstimmungsnachweis

Bauprodukte bedürfen einer Bestätigung ihrer Übereinstimmung mit den technischen Regeln nach MBO § 85a Abs. 2, den abZ, den abP oder den Z.i.E.; als Übereinstimmung gilt auch eine Abweichung, die nicht wesentlich ist.

Die Bestätigung der Übereinstimmung erfolgt durch

1. Übereinstimmungserklärung des Herstellers (MBO § 22) oder
2. Übereinstimmungszertifikat (MBO § 23).

Die Verknüpfung der Klassifizierung von Bauarten und Bauprodukten erfolgt im Brandschutz über die Regelungen, die in der MVV TB enthalten sind.

Der Nachweis des Brandschutzes war für den Praktiker in der Vergangenheit schon relativ unübersichtlich. Durch die europäische Harmonisierung in Verbindung mit der Bauproduktenverordnung wurden die Landesbauordnungen mehrfach geändert. Die Verwendbarkeitsnachweise für Bauprodukte wurden neu definiert und in der MVV TB niedergeschrieben.

Zum Nachweis des Brandschutzes muss für genormte Bauprodukte und genormte Bauarten im Mauerwerksbau

- der Nachweis nach DIN EN 1996-1-2/NA geführt werden.

Bei nicht genormten Bauprodukten muss entweder

- eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) oder
- ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP) oder
- eine Zustimmung im Einzelfall (Z.i.E.),

bei Bauarten entweder

- eine allgemeine Bauartgenehmigung oder
- eine vorhabenbezogene Bauartgenehmigung

vorgelegt werden.

2.5.3 Verknüpfung bauaufsichtlicher Benennungen mit Klassifizierungen von Baustoffen, Bauteilen

In der MVV TB erfolgt auch die Verknüpfung der Brandschutzanforderungen der Bauordnungen mit den nationalen und europäischen Brandschutzklassifizierungen. Diese Klassifizierungen dürfen parallel verwendet werden. Sie sind aber nicht gleichwertig. Im Einzelfall ist daher bei Verwendung von europäischen Klassifizierungen zu prüfen, ob wirklich die Brandschutzanforderung gemäß deutschem Baurecht in allen Punkten erfüllt wird, s.a. Abschnitt 3.

Tafel 8 Bauaufsichtliche Benennung für Bauteile und Klassifizierung gemäß DIN 4102-2

Bauaufsichtliche Benennung	Kurzbezeichnung	Benennung nach DIN 4102
Feuerhemmend	F 30-B	Feuerwiderstandsklasse F 30
Feuerhemmend und in den tragenden Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen	F 30-AB	Feuerwiderstandsklasse F 30 und in den wesentlichen Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen
Hochfeuerhemmend	F 60-BA[1)]	Feuerwiderstandsklasse F 60 und in den tragenden Teilen aus brennbaren Baustoffen mit brandschutztechnisch wirksamer Bekleidung
Feuerbeständig	F 90-AB	Feuerwiderstandsklasse F 90 und in den wesentlichen Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen
Feuerbeständig und aus nichtbrennbaren Baustoffen	F 90-A	Feuerwiderstandsklasse F 90 und aus nichtbrennbaren Baustoffen

[1)] Brandschutztechnisch wirksame Bekleidung bedeutet, nichtbrennbare Bekleidung K 60 nach DIN EN 13501-2. Am Holz dürfen nicht mehr als 300 °C auftreten, damit es nicht zu brennen anfängt.

Tafel 9 Bauaufsichtliche Benennung von Sonderbauteilen und Klassifizierung gemäß DIN 4102

Bauaufsichtliche Benennung	Bauteile	Benennung	Bauaufsichtlicher Nachweis
Feuerhemmend Feuerbeständig	nicht tragende Außenwände	W 30 W 90	abP[1)]
Feuerhemmend Feuerbeständig	Türen, Tore	T 30 T 90	abZ ETA, DIN EN
Vorkehrungen gegen Übertragung von Feuer und Rauch	Lüftungsleitungen	L 30, L 60, L 90, L 120	abP
Vorkehrungen gegen Übertragung von Feuer und Rauch	Klappen in Lüftungsleitungen	K 30, K 90	abZ, ETA
Feuerhemmend Feuerbeständig	Verglasungen – undurchlässig	F 30 F 90	abZ
Keine gesonderte Benennung	Verglasungen – durchlässig	G 30, G 60, G 90, G 120	abZ
Vorkehrungen gegen Übertragung von Feuer und Rauch	Rohrabschottungen – brennbar – nichtbrennbar	R 30, R 60, R 90, R 120	abZ/abP
Vorkehrungen gegen Übertragung von Feuer und Rauch	Kabelabschottungen	S 30, S 60, S 90, S 120	abZ
Vorkehrungen gegen Übertragung von Feuer und Rauch	Installationsschächte, -kanäle	I 30, I 60, I 90, I 120	abP, ETA
Funktionserhalt	Funktionserhalt von elektrischen Kabelanlagen	E 30, E 60, E 90, E 120	abP, ETA

abP: allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis, erstellt durch eine anerkannte Zertifizierungsstelle
abZ: allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, erstellt durch das DIBt
ETA: European Technisch Approval
KS normativ geregelt (sonst abP)
[1)] KS-Wände mit F 30- oder F 90-Klassifizierung erfüllen auch die Anforderungen der entsprechenden W-Klassifizierung.

In Tafel 7 erfolgt die Gegenüberstellung der bauaufsichtlichen Benennung für Baustoffe mit DIN 4102-1 und nach DIN EN 13501-1.

In Tafel 8 erfolgt die bekannte Verknüpfung der bauaufsichtlichen Benennungen für Bauteile mit DIN 4102 und in Tafel 9 für Sonderbauteile. In Tafel 10 sind Erläuterungen der europäischen Klassifizierungskriterien für Bauteile und der zusätzlichen Angaben zur Klassifizierung zusammengefasst. In Tafel 11 erfolgt die Verknüpfung der bauaufsichtlichen Benennungen für Wände mit DIN 13501-2 und in Tafel 12 für Sonderbauteile.

Da in Deutschland weiterhin neben der europäischen Klasse die nationale Klasse verwendet werden darf, werden zunehmend die bauaufsichtlichen Begriffe verwendet.

Tafel 10 Erläuterungen der Klassifizierungskriterien und der zusätzlichen Angaben zur Klassifizierung des Feuerwiderstands nach DIN EN 13501-2, DIN EN 13501-3 und DIN EN 13501-4

Herstellung des Kurzzeichens	Kriterium	Anwendungsbereich
R (Résistance)	Tragfähigkeit	Zur Beschreibung der Feuerwiderstandsfähigkeit
E ((Etanchéité)	Raumabschluss	
I (Isolation)	Wärmedämmung (unter Brandeinwirkung) – Temperaturkriterium auf der feuerabgewandten Wandoberfläche	
W (Radiation)	Begrenzung des Strahlungsdurchtritts	
M (Mechanical)	Mechanische Einwirkung auf Wände (Stoßbeanspruchung)	
S_m ($Smoke_{max,\ leakage\ rate}$)	Begrenzung der Rauchdurchlässigkeit (Dichtheit, Leckrate), erfüllt die Anforderungen sowohl bei Umgebungstemperatur als auch bei 200 °C	Rauchschutztüren (als Zusatzanforderung auch bei Feuerschutzabschlüssen), Lüftungsanlagen einschließlich Klappen
S (Smoke)	Rauchdichtheit (Begrenzung der Rauchdurchlässigkeit)	Entrauchungsleitungen, Entrauchungsklappen, Brandschutzklappen
C (Closing)	Selbstschließende Eigenschaft (ggf. mit Anzahl der Lastspiele), einschließl. Dauerfunktion	Rauchschutztüren, Feuerschutzabschlüssen (einschließlich Abschlüsse für Förderanlagen)
C_{xx}	Dauerhaftigkeit der Betriebssicherheit (Anzahl der Öffnungs- und Schließzyklen)	Entrauchungsklappen
P	Aufrechterhaltung der Energieversorgung und/oder Signalübermittlung	Elektrische Kabelanlagen allgemein
G	Rußbeständigkeit	Schornsteine
K_1, K_2	Brandschutzvermögen	Wand- und Deckenbekleidungen (Brandschutzbekleidungen)
I_1, I_2	Unterschiedliche Wärmedämmungskriterien	Feuerschutzabschlüsse (einschließlich Abschlüsse für Förderanlagen)
$i \rightarrow o$ $i \leftarrow o$ $i \leftrightarrow o$ (in – out)	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer	Nicht tragende Außenwände, Installationsschächte/-kanäle, Lüftungsanlagen/-klappen
a ↔ b (above – below)	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer	Unterdecken
v_e, h_o (vertical, horizontal)	Für vertikalen/horizontalen Einbau klassifiziert	Lüftungsleitungen, Brandschutzklappen, Entrauchungsleitungen
v_{ew}, h_{ow}	Für vertikalen/horizontalen Einbau in Wände klassifiziert	Entrauchungsklappen
v_{ed}, h_{od}	Für vertikalen/horizontalen Einbau in Leitungen klassifiziert	Entrauchungsklappen
v_{edw}, h_{odw}	Für vertikalen/horizontalen Einbau in Wände und Leitungen klassifiziert	Entrauchungsklappen
U/U (uncapped/uncapped)	Rohrende offen innerhalb des Prüfofens/Rohrende offen außerhalb des Prüfofens	Rohrabschottungen
C/U (capped/uncapped)	Rohrende geschlossen innerhalb des Prüfofens/Rohrende offen außerhalb des Prüfofens	Rohrabschottungen
U/C	Rohrende offen innerhalb des Prüfofens/Rohrende geschlossen außerhalb des Prüfofens	Rohrabschottungen
MA	Manuelle Auslösung (auch automatische Auslösung mit manueller Übersteuerung)	Entrauchungsklappen
multi	Eignung, einen oder mehrere feuerwiderstandsfähige Bauteile zu durchdringen bzw. darin einzubauen	Entrauchungsleitungen, Entrauchungsklappen

Tafel 11 Bauaufsichtliche Benennung und Klassifizierung von Wänden nach DIN EN 13501-2

Bauaufsichtliche Benennung	Tragende Wände		Nicht tragende Innenwände	Nicht tragende Außenwände	Wände mit Stoßbeanspruchung tragend/nicht tragend
	nichtraumabschließend	raumabschließend			
Feuerhemmend	R 30	REI 30	EI 30	E 30 (i → o) und E 30-ef (i ← o)	REI-M 30[1)] EI-M 30[1)]
Hochfeuerhemmend	R 60	REI 60	EI 60	E 60 (i → o) und E 60-ef (i ← o)	REI-M 60[1)] EI-M 60[1)]
Feuerbeständig	R 90	REI 90	EI 90	E 90 (i → o) und E 90-ef (i ← o)	–
Brandwand	–	–	–	–	REI-M 90 EI-M 90
Feuerwiderstandsdauer 120 min.	R 120	REI 120	EI 120[1)]	–	REI-M 120[1)] EI-M 120[1)]

[1)] Nach Industriebaurichtlinie

2.6 Rauchdichte Bauteile

Trotz der Anforderung in der MBO über die „Ausbreitung von Feuer und Rauch“ ist festzustellen, dass es keine rauchgasdichten Bauteile gibt. In den Bauordnungen gibt es lediglich Anforderungen an dichte Türen oder rauchdichte Türen oder Rauchschutztüren. Die Definitionen sind in den einzelnen Bundesländern teilweise unterschiedlich. Unter dichten Türen werden in der Regel lediglich Türen mit Doppelfalz und dreiseitiger Dichtung verstanden. Unter rauchdichten Türen werden Rauchschutztüren nach DIN 18095 verstanden. Für Rauchschutztüren nach DIN 18095 wird nachgewiesen, dass bestimmte Grenzwerte einer Leckrate bis zu einer Temperaturbeanspruchung von 200 °C nicht überschritten werden. Die Klassifizierung lautete bisher „RS“, die neue ist jetzt „S_M-C“, siehe Tafel 12. Das Schutzziel ist, dass ein Mensch hinter einer derartigen Tür ohne Atemgerät mindestens 10 min. überleben kann. Also auch diese Türen sind nicht „dicht“ gegen Rauchgase. Normale Brandschutztüren T 30 oder T 90 erfüllen keine Anforderungen hinsichtlich einer Rauchdichtigkeit. Sie erfüllen nur dann diese Anforderungen, wenn sie zusätzlich nach DIN 18095 geprüft wurden. Europäisch werden in DIN EN 14600 die Anforderungen und Klassifizierungen geregelt. Die Prüfung erfolgt nach DIN EN 1634-3.

Wände ebenso wie Decken sind nicht rauchdicht, weil die Leistungskriterien in DIN EN 13501 bzw. DIN 4102 keine direkten Beurteilungskriterien für diesen Gesichtspunkt enthalten. Die Forderungen der Landesbauordnungen, der Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch vorzubeugen, werden durch die Leistungskriterien der Normen erfüllt, d.h. mit einer Klassifizierung nach DIN EN 13501 oder DIN 4102 wird auch die Anforderung, dem Durchtritt von Rauch vorzubeugen, nachgewiesen. Dies gilt damit auch für unvermörtelte Stoßfugen gemäß DIN EN 1996-1-1/NA. Zudem kann aufgrund von Prüferfahrungen festgestellt werden, dass beidseitig mit mindestens 10 mm dickem Putz verputzte Mauerwerkswände hinsichtlich der Rauchgase bessere Werte zur Leckrate erzielen als Rauchschutztüren. Durch beim Brand auftretende Risse werden jedoch immer Rauchgase in einem gewissen Umfang durchtreten.

INFO

Für eine geforderte Rauchgasdichtigkeit, z.B. für Computerräume mit Datensicherung, müssen im Einzelfall gesonderte konstruktive Maßnahmen und Beurteilungen erfolgen.

2.7 Brandschutznachweise, Brandschutzkonzepte

Im Rahmen von Baugenehmigungsverfahren werden mittlerweile in den meisten Bundesländern Brandschutznachweise bzw. Brandschutzkonzepte gefordert. In fast allen Bundesländern werden Sonderbauten ohne Brandschutzkonzepte nicht mehr genehmigt. Dies ist dort bereits in den Bauordnungen bzw. Bauvorlagenverordnungen geregelt. In diesen Ländern ist auch geregelt, was ein Brandschutzkonzept enthalten soll.

Brandschutzkonzepte werden in vielen Beiträgen, u.a. in [5, 6], vorgestellt und ausführlich erläutert. Daher werden an dieser Stelle nur die wesentlichen Punkte zusammengefasst. Brandschutzkonzepte werden in der Regel für Sonderbauten und für Gebäude mit Abweichungen von den bauaufsichtlichen Vorschriften erarbeitet.

Ein **Brandschutzkonzept** berücksichtigt in Abstimmung mit dem Architekten, dem Bauherren, der Bauaufsicht, der Feuerwehr und ggf. dem Versicherer:

- die Nutzung (hohe Brandlasten, geringe Brandlasten, erforderliche Rettungswege in Abhängigkeit von den Personen)

und

- die Bauweise (z.B. brennbar oder nichtbrennbare Baustoffe bzw. Massivbau oder Leichtbau).

Wesentlich ist immer der Nachweis des Personenschutzes. Mit einem objektspezifischen Brandschutzkonzept wird für das jeweilige Einzelgebäude die objektiv wirtschaftlichste Brandschutzlösung ermöglicht. Für die Erarbeitung dieser wirtschaftlichen Lösungen sind jedoch langjährige und intensive Kenntnisse sowohl des baulichen als auch des abwehrenden Brandschutzes und selbstverständlich der Vorschriften erforderlich. Der **Brandschutznachweis** wird nach Definition der Bauaufsicht immer dann erstellt, wenn keine Abweichungen erforderlich sind und nur die Erfüllung der Brandschutzanforderungen nachgewiesen wird. Auch im vereinfachten Genehmigungsverfahren ist ein Papier zum Brandschutz als Dokumentation zu erstellen. **Im genehmigungsfreien Bereich**, insbesondere des Wohnungsbaus, bestätigt der Architekt (Entwurfsverfasser) durch seine Unterschrift, dass der Brandschutz den gesetzlichen Vorschriften entspricht. Er steht damit in der Verantwortung, sofern kein Brandschutzsachverständiger beauftragt wird.

Tafel 12 Bauaufsichtliche Benennung von Sonderbauteilen und Klassifizierung gemäß DIN EN 13501-2 – Auszug aus der Bauregelliste 2012/2

Sonderbauteil														
Bauaufsichtliche Anforderungen	Feuerschutzabschlüsse		Rauchschutztüren[1]	Kabelabschottungen	Rohrabschottungen	Lüftungsleitungen	Brandschutzklappen in Lüftungsleitungen	Entrauchungsleitung	Entrauchungsklappe	Installationsschächte und -kanäle	Elektrische Leitungsanlagen mit Funktionserhalt	Abgasanlagen	Brandschutzverglasungen[2]	Fahrschachttüren in feuerwiderstandsfähigen Fahrschachtwänden[6]
	ohne Rauchschutz	mit Rauchschutz												
Feuerhemmend	$EI_2$30-C..[1]	$EI_2$30-C..S_m[1]		EI 30	EI 30-U/U[3] EI 30-C/U[4]	EI 30 ($v_e h_0 i \leftrightarrow o$)-S	EI 30 ($v_e h_0 i \leftrightarrow o$)-S	EI 30 (v_e-h_0) S,*[7] multi	EI 30 (v_e[8]- h_0[9], i ↔ o) S,*[7] C_{xx}[10] MA[11] multi	EI 30 ($v_e h_0 i \leftrightarrow o$)	P 30	EI 30 (i ↔ o)-O oder EI 30 (i ↔ o) und G_{xx}[5]	E 30	E 30
Hochfeuerhemmend	$EI_2$60-C..[1]	$EI_2$60-C..S_m[1]		EI 60	EI 60-U/U[3] EI 60-C/U[4]	EI 60 ($v_e h_0 i \leftrightarrow o$)-S	EI 60 ($v_e h_0 i \leftrightarrow o$)-S	EI 60 (v_e-h_0) S,*[7] multi	EI 60 (v_e[8]- h_0[9], i ↔ o) S,*[7] C_{xx}[10] MA[11] multi	EI 60 ($v_e h_0 i \leftrightarrow o$)	P 60	EI 60 (i ↔ o)-O oder EI 60 (i ↔ o) und G_{xx}[5]	E 60	E 60
Feuerbeständig	$EI_2$90-C..[1]	$EI_2$90-C..S_m[1]		EI 90	EI 90-U/U[3] EI 90-C/U[4]	EI 90 ($v_e h_0 i \leftrightarrow o$)-S	EI 90 ($v_e h_0 i \leftrightarrow o$)-S	EI 90 (v_e-h_0) S,*[7] multi	EI 90 (v_e[8]- h_0[9], i ↔ o) S,*[7] C_{xx}[10] MA[11] multi	EI 90 ($v_e h_0 i \leftrightarrow o$)	P 90	EI 90 (i ↔ o)-O oder EI 90 (i ↔ o) und G_{xx}[5]	E 90	E 90
Feuerwiderstandsdauer 120 min.	–	–		EI 120	EI 120-U/U[3] EI 120-C/U[4]	–	–	–	–	–			–	–
Rauchdicht und selbstschließend			S_m-C..[1]					–	–					–

[1] Festlegungen zur Lastspielzahl für die Dauerfunktionsprüfungen werden noch getroffen.
[2] Brandschutzverglasungen nach dieser Tabelle sind nicht als feuerhemmend, hochfeuerhemmend oder feuerbeständig zu verwenden; Brandschutzverglasungen, bei denen eine Übertragung von Feuer und Wärme über eine bestimmte Dauer (Feuerwiderstandsdauer) verhindert wird, werden gesondert klassifiziert.
[3] Für die Abschottung von brennbaren Rohren oder Rohren mit einem Schmelzpunkt < 1.000 °C; für Trinkwasser-, Heiz- und Kälteleitungen mit Durchmessern ≤ 110 mm ist auch die Klasse EI…-U/C zulässig.
[4] Für die Abschottung mit nichtbrennbaren Rohren mit einem Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C
[5] Anwendung der Klasse in Verbindung mit G nur bei festen Brennstoffen; Rußbrandbeständigkeit G mit Angabe eines Abstandes in mm zu brennbaren Baustoffen (gemäß Prüfung)
[6] Fahrschachtabschlüsse nach dieser Tafel zum Einbau in feuerhemmende, hochfeuerhemmende oder feuerbeständige Fahrschachtwände erfüllen die Anforderungen an den Raumabschluss und sind nach DIN EN 81-58 zu klassifizieren; eine Übertragung von Wärme wird nicht behindert; die konstruktiven Randbedingungen nach Bauregelliste A Teil 1, Anlage 6.1 sind sinngemäß zu beachten.
[7] Je nach vorgesehener Verwendung: 500 Pa, 1.000 Pa oder 1.500 Pa
[8] Je nach vorgesehener Verwendung: v_{ew}, ve_{dw}, v_{ed}
[9] Je nach vorgesehener Verwendung: h_{ow}, ho_{dw}, h_{od}
[10] Je nach vorgesehener Verwendung: c_{300}, $c_{10.000}$
[11] Die Anwendung ist in Entrauchungsanlagen zulässig, die manuell ausgelöst oder entsprechend DIN EN 12101-8, Abschnitt 3.26 automatisch ausgelöst und manuell übersteuert werden.

3. Brandschutznormen

3.1 Grundlagen und Verwendbarkeitsnachweise

Gemäß MVV TB dürfen für die Erstellung von Verwendbarkeitsnachweisen sowohl nationale als auch europäische Brandprüfungen zugrunde gelegt werden. Entscheidend ist jedoch, dass in der Baupraxis Verwendbarkeitsnachweise für die geweilige Bauart vorliegen.

Verwendbarkeitsnachweise im Mauerwerksbau können die Angaben und Regelungen in den folgenden Dokumenten sein:

- DIN EN 1996-1-2/NA,
- DIN 4102-4,
- Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ),
- Allgemeines bauaufsichtliche Prüfzeugnis (abP),
- Zustimmung im Einzelfall (Z.i.E.),
- Allgemeine Bauartgenehmigung,
- Vorhabenbezogene Bauartgenehmigung.

Wenn die Baustoffe und Bauarten in den Normen nicht geregelt sind und auch in den dann erforderlichen Verwendbarkeitsnachweisen keine Regeln zum Brandschutz enthalten sind, dürfen diese Bauarten nur dort eingesetzt werden, wo keine Anforderungen an den Brandschutz gestellt werden, z.B. Gebäudeklasse 1. Es reicht nicht, nur Prüfberichte oder Datenblätter vorzulegen. Zudem sind nach Erstellung auch Erklärungen zur Übereinstimmung der Ausführung mit den Verwendbarkeitsnachweisen durch die ausführenden Firmen zur Dokumentation einzureichen. Damit ist dann eindeutig die Verantwortlichkeit und Haftung geregelt. Vorlagen derartiger Erklärungen können den einschlägigen Fachinformationen entnommen werden.

3.2 Nationale Prüfnormen

3.2.1 Grundlagen

Die für Mauerwerk nach Eurocode 6 nicht mehr gültige Gesamtnorm DIN 4102 enthält die Grundlagen für die Definition der bauaufsichtlichen Begriffe hinsichtlich Brandschutz sowie die sich daraus ergebenen Anforderungen. DIN 4102 setzt sich aus etwa 20 Teilen zusammen und ist im Wesentlichen eine Prüfnorm. Hiervon ausgenommen ist DIN 4102-4, die genormte und klassifizierte Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile zusammenfasst und mögliche Anwendungen sowie Ausführungsdetails in brandschutztechnischer Hinsicht darstellt. DIN 4102-4:2016 gilt hinsichtlich der Ausführungsdetails ergänzend zum Eurocode 6 auch für Mauerwerk.

3.2.2 Baustoffe

Nicht harmonisierte Baustoffe (Bauprodukte) werden national gemäß DIN 4102-1 in die Baustoffklassen A (nichtbrennbar) und Baustoffklasse B (brennbar) klassifiziert. Die einzelnen Klassen werden noch weiter unterteilt, siehe Tafel 7. Bauaufsichtlich wird die Baustoffklasse A nicht unterteilt. Brandschutztechnisch werden jedoch die Baustoffklassen A 1 und A 2 unterschieden. Die Baustoffklasse A 1 charakterisiert die klassischen Baustoffe, die nicht brennen, z.B. Kalksandsteine. In die Baustoffklasse A 2 werden diejenigen Baustoffe eingereiht, die den klassischen Baustoffen ähneln, aber einen gewissen Anteil brennbarer Bestandteile enthalten, z.B. EPS-Leichtbetone. Als Grenzwert zwischen den beiden Klassen wird die Entflammung zugrunde gelegt.

3.2.3 Bauteile

Als Bauteile (Bauprodukte) im Sinne der Norm gelten Wände, Decken, Stützen (Pfeiler), Unterzüge, Treppen, Unterdecken, usw.

Als Sonderbauteile (Bauprodukte) gelten Brandwände, nicht tragende Außenwände, Feuerschutzabschlüsse (Türen, Tore), Lüftungsleitungen, Brandschutzklappen, Kabelabschottungen, Installationskanäle, Installationsschächte (Schachtabmauerungen), Rohrabschottungen, Kabelanlagen, Verglasungen usw.

Bauteilen und Sonderbauteilen wird in DIN 4102-2 der Begriff der Feuerwiderstandsklasse zugeordnet. Feuerwiderstandsklassen werden in Abhängigkeit von der Zeit (30 min. bis 180 min.) definiert, in der Bauteile die Anforderungen an den Brandschutz – Tragfähigkeit, Raumabschluss, Temperaturkriterium – erfüllen. Bauteile werden Feuerwiderstandsklassen F 30 bis F 180 zugeordnet. Für Bauteile und Sonderbauteile gelten unterschiedliche Abkürzungen, siehe Tafel 9.

Für einige Sonderbauteile, wie z.B. Brandwände, gibt es keine Abkürzungen. Komplextrennwände werden lediglich in einer Fußnote von DIN 4102-3 erwähnt, weil derartige Anforderungen nur im Versicherungsbereich und nicht bauaufsichtlich erhoben werden.

3.3 Europäische Prüfnormen

3.3.1 Baustoffe

Für den Nachweis des Brandverhaltens harmonisierter Baustoffe (Bauprodukte) wie Kalksandsteine und damit der Baustoffklassen gelten die europäischen Prüfverfahren, weil die bisherigen Prüfverfahren in den einzelnen europäischen Ländern sehr unterschiedlich waren. Die Prüfungen erfolgen nach unterschiedlichen Normen, die Bezeichnungen der Baustoffklassen (Euroklassen) sind in Tafel 7 zusammengefasst.

Kalksandsteine und Mörtel (mit organischen Bestandteilen bis zu 1 M.-%) wurden gemäß Entscheidung der Europäischen Kommission in die höchste europäische Klasse A 1 nach DIN EN 13501-1 eingestuft.

3.3.2 Bauteile und Sonderbauteile

Auch für die Prüfung des Brandverhaltens von Bauteilen gelten in Europa andere Prüfverfahren. In Tafel 13 ist der derzeitige Stand der Normen zusammengefasst und den vergleichbaren nationalen Normen gegenübergestellt.

Europäische Prüfnormen enthalten in der Regel für die Prüfergebnisse nur einen direkten Anwendungsbereich, der sehr eingeschränkt ist. Eine Extrapolation der Prüfergebnisse sowie ein erweiterter Anwendungsbereich sind nur möglich, wenn eine so genannte EXAP-Norm erstellt wurde, d.h. Extrapolationsregeln

Tafel 13 Europäische Prüfnormen mit Gegenüberstellung der vergleichbaren Norm nach DIN 4102 (Stand: September 2013)

Feuerwiderstandsprüfung	Europäische Prüfnorm	Inhalt	Entsprechende deutsche Norm
Grundnorm	DIN EN 1363-1	Allgemeine Anforderungen	DIN 4102-2
	DIN EN 1363-2	Alternative und ergänzende Verfahren	DIN 4102-2 und DIN 4102-3
Klassifizierungen	DIN EN 13501-1	Klassifizierung Brandverhalten (Baustoffe)	DIN 4102-1
	DIN EN 13501-2	Klassifizierung Feuerwiderstand (Bauteile)	DIN 4102-2
	DIN EN 13501-3	Leitungen und Brandschutzklappen	DIN 4102-5
	DIN EN 13501-4	Anlagen zur Rauchfreihaltung	keine
	DIN EN 13501-5	Bedachungen	DIN 4102-7
	DIN EN 13501-6	Kabelanlagen	DIN 4102-12
Nicht tragende Bauteile	DIN EN 1364-1	Wände inklusive Verglasungen	DIN 4102-2
	DIN EN 1364-2	Decken und Dächer	
	DIN EN 1364-3	Vorhangfassaden – Gesamt	keine
	DIN EN 1364-4	Vorhangfassaden – Teilbereich	DIN 4102-3
Tragende Bauteile	DIN EN 1365-1	Wände inklusive Verglasungen	DIN 4102-2
	DIN EN 1365-2	Decken und Dächer	DIN 4102-2
	DIN EN 1365-3	Balken	
	DIN EN 1365-4	Stützen	
	DIN EN 1365-5	Balkone und Laubengänge	
	DIN EN 1365-6	Treppen	
Dächer	DIN CEN/TS 1187	Dächer von außen	DIN 4102-7
Installationen	DIN EN 1366-1	Leitungen	DIN 4102-11
	DIN EN 1366-2	Brandschutzklappen	DIN 4102-6
	DIN EN 1366-3	Abschottungen	DIN 4102-9
	DIN EN 1366-4	Abdichtungssysteme für Fugen	DIN 4102-2
	DIN EN 1366-4/A1		
	DIN EN 1366-5	Installationskanäle	DIN 4102-11
	DIN EN 1366-6	Doppel- und Hohlraumböden	DIN 4102-2 und Prüfgrundsätze
	DIN EN 1366-7	Feuerschutzabschlüsse bahngebundener Förderanlagen	DIN 4102-5
	DIN EN 1366-8	Entrauchungsleitungen	keine
	DIN EN 1366-9	Entrauchungsleitungen/Einzelabschnitt	keine
	DIN EN 1366-10	Entrauchungsklappen	keine
	DIN EN 1366-11	Funktionserhalt von Kabelanlagen	DIN 4102-12
Bekleidungen	DIN EN 13381-1	Horizontal angeordnete Brandschutzbekleidungen	DIN 4102-2
	DIN EN 13381-2	Vertikale Bekleidungen	
	DIN EN 13381-3	Beton	
	DIN EN 13381-4	Stahl	
	DIN EN 13381-5	Verbund	
	DIN EN 13381-6	Holz	
	DIN EN 13381-7	Holzbauteile	
Türen	DIN EN 1634-1	Feuerschutzabschlüsse	DIN 4102-5
	DIN EN 1634-2	Türbeschläge für Feuerschutzabschlüsse	keine
	DIN EN 1634-3	Rauchschutzabschlüsse	DIN 18095

für den erweiterten Anwendungsbereich vorhanden sind. Für tragende Mauerwerkswände muss daher DIN EN 15080-12 angewendet werden, wenn der Anwendungsbereich des Eurocode 6 nicht eingehalten ist und allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen mit vergleichbaren Regeln erforderlich sind.

3.3.3 Erläuterung der Prüf- und Klassifizierungsnormen

DIN EN 1363 beinhaltet die Grundlagen zur Durchführung von Brandprüfungen an Bauteilen, u.a. die Brandraumkurven. Diese entsprechen den bisher in Deutschland verwendeten Prüfkurven, siehe Bild 3. Lediglich die Bezeichnungen haben sich geändert, aus Brandbeanspruchung wurde Einwirkung und die Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) heißt jetzt „ISO-Curve“.

Ein Feuer wird im Allgemeinen durch vier Brandphasen charakterisiert, der Zündphase, und dem Schwelbrand, d.h. der Brandentstehung sowie dem „flash over“ und der Erwärmungsphase, d.h. dem Vollbrand. Der Entstehungsbrand wird maßgeblich durch das Baustoffverhalten beeinflusst und entwickelt sich bis etwa 300 °C.

INFO

Kalksandsteine beteiligen sich nicht am Entstehungsbrand. Sie sind nichtbrennbar und entsprechen der europäischen Klasse A1.

Der Vollbrand ist maßgebend für das Bauteilverhalten. Wann bei einem Naturbrand ein „flash over“ – Durchzünden – zum Vollbrand entsteht, hängt wesentlich von der vorhandenen Brandlast und den Ventilationsverhältnissen, dem zur Verfügung stehenden Sauerstoff, ab. Bei einem Naturbrand kann der Schwelbrand Stunden dauern, wenn nicht genug Sauerstoff zur Verfügung steht. Wenn dann jemand z.B. die Feuerwehr, die Tür öffnet, kann das Feuer sofort durchzünden und zum Vollbrand führen. Ein Feuer kann aber auch nach der Entstehung bei guten Luftverhältnissen sofort zum Vollbrand übergehen. Dann können Temperaturen zwischen 1.000 °C und 1.200 °C entstehen, die dann wieder abfallen.

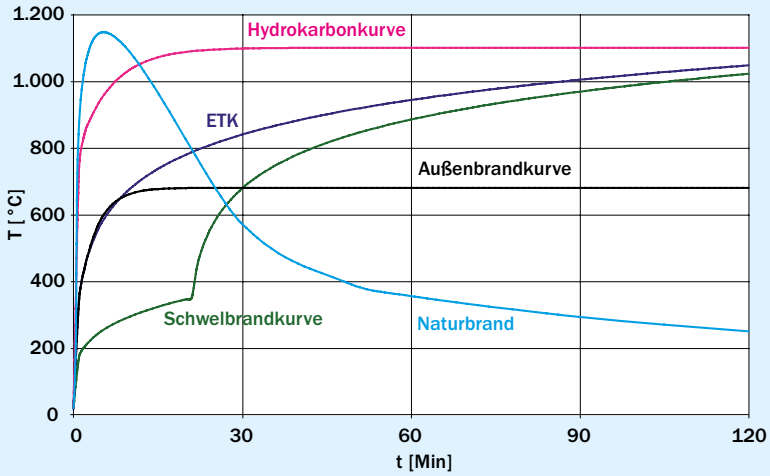


Bild 3 Temperaturprüfkurven – Brandeinwirkungen

Als Prüfkurve für die Brandprüfungen an Bauteilen mit üblicher Gebäudenutzung ist weltweit die ISO-Kurve festgelegt worden. Sie entspricht der ETK nach DIN 4102-2. Die Brandraumtemperatur geht bis 30 min. auf ca. 850 °C und dann weiter bis 90 min. auf etwa 1.050 °C. Für Ölbrände sowie Tunnelbrände wurde u.a. die Hydrocarbonkurve bis 1.100 °C festgelegt.

DIN EN 1364-1 regelt die speziellen Anforderungen zur Prüfdurchführung von nicht tragenden Wänden und DIN EN 1365-1 von tragenden Wänden. Im (deutschen) bauaufsichtlichen Verfahren darf entweder nach deutscher oder europäischer Prüfnorm geprüft werden. Wird nach nationaler (deutscher) Prüfnorm geprüft, darf das Prüfergebnis allerdings nur national weiter verwendet werden. Die europäischen Prüfnormen für Mauerwerkswände unterscheiden sich von DIN 4102 nur wenig. Die Unterschiede haben bei der Prüfung von Mauerwerkswänden keinen wesentlichen Einfluss auf die Prüfergebnisse und damit auch keinen maßgebenden Einfluss auf die Klassifizierung.

DIN EN 1363-2 enthält das Prüfverfahren zum Nachweis von Brandwänden.

DIN EN 15254-2:2009 für nicht tragende Wände und DIN EN 15080-12:2011 für tragende Wände wurden als so genannte EXAP-Regeln erarbeitet und veröffentlicht. Beide Normen enthalten Extrapolationsregeln für Prüfergebnisse von Wänden aus Mauerwerk.

DIN EN 13501 mit den Teilen 1 und 2 ist die europäische Klassifizierungsnorm. Diese ist Grundlage der brandschutztechnischen Klassifizierung von Mauerwerk nach Eurocode 6 und darf im bauaufsichtlichen Verfahren alternativ zu den Klassifizierungen von DIN 4102-2 angewendet werden.

3.4 Bauteil-Klassifizierungen nach DIN EN 13501-2 (Kurzbezeichnungen)

Die Kurzbezeichnungen für die Klassifizierungen von Bauteilen nach DIN EN 13501-2 haben sich gegenüber den nationalen Bezeichnungen geändert. Für jedes Prüfkriterium wird ein eigener Buchstabe verwendet. Die Bezeichnung setzt sich aus mehreren Buchstaben sowie der Prüfdauer zusammen. Die Bezeichnungen wurden aus dem Französischen und Englischen abgeleitet. Die Bedeutung der Abkürzungen ist in Tafel 10 zusammengefasst.

In Tafel 11 sind Beispiele für Wände nach den europäischen Bezeichnungen zusammengestellt. Es wird deutlich, dass zwischen den einzelnen Wandarten deutlicher unterschieden wird. Damit werden zwar umfangreichere Benennungen erforderlich, aber es gibt in der Praxis weniger Missverständnisse, weil jeder eindeutig zum Ausdruck bringen muss, welche Wandart gemeint ist. Das heißt aber auch, es muss in der Baupraxis sorgfältig geprüft werden, ob die richtige Wandart ausgeschrieben und ausgeführt wird.

3.5 Brandschutzbemessung nach DIN EN 1996-1-2/NA

Die Bemessungsnorm von Mauerwerk für den Brandfall ist der Eurocode 6 in Verbindung mit dem zugehörigen Nationalen Anhang (DIN EN 1996-1-2/NA). Der Nationale Anhang enthält auch die bekannten Bemessungstabellen zur Ermittlung der Mindestwanddicke in Abhängigkeit der Stein-Mörtel-Kombination und der Feuerwiderstandsdauer.

Für Kalksandstein-Mauerwerk wurden im Vorfeld der Erarbeitung des Nationalen Anhangs diverse neue Brandprüfungen nach europäischer Prüfnorm DIN EN 1365-1 mit erhöhten Belastungen und auch erhöhten Mauerwerksfestigkeiten durchgeführt. Da die tatsächliche Auflast maßgebend für das Brandverhalten von tragenden Mauerwerkwänden ist, waren diese Brandprüfungen erforderlich, um die Tabellenwerte für DIN EN 1996-1-2/NA mit den teilweise deutlich höheren zulässigen Auflasten festzulegen. Zudem darf bei Kalksandstein-Mauerwerk mit bestimmten Stein-Mörtel-Kombinationen nunmehr auf die Ermittlung des Ausnutzungsfaktors verzichtet werden. Die erforderliche Mindestwanddicke kann direkt aus den Tabellen abgelesen werden.

Die Tragwerksbemessung von Mauerwerk im Brandfall ist wie bei allen Eurocodes auch im Mauerwerksbau theoretisch nach drei Verfahren möglich:

- Nachweis durch Tabellenwerte
- Rechnerischer Nachweis an Modellen für bestimmte Bauteile
- Rechnerischer Nachweis als globale Tragwerksanalyse

In Deutschland ist nach DIN EN 1996-1-2/NA aber ausschließlich das bekannte und bewährte Tabellenverfahren anzuwenden. Hierbei muss für tragende Wände und Pfeiler im Allgemeinen zunächst ein Ausnutzungsfaktor ermittelt werden, der in Abhängigkeit von der Schlankheit mit den Gleichungen (3.1 und 3.2) berechnet wird.

Für $10 \le \frac{h_{ef}}{t} \le 25$ gilt:

$$\alpha_{6,fi} = \omega \cdot \frac{15}{25 - \frac{h_{ef}}{t}} \cdot \frac{N_{Ed,fi}}{l \cdot t \cdot \frac{f_k}{k_0} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{mk,fi}}{t}\right)} \qquad (3.1)$$

für $\frac{h_{ef}}{t} < 10$ gilt entsprechend:

$$\alpha_{6,fi} = \omega \cdot \frac{N_{Ed,fi}}{l \cdot t \cdot \frac{f_k}{k_0} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{mk,fi}}{t}\right)} \qquad (3.2)$$

Dabei ist:

$N_{Ed,fi}$ der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft im Brandfall: $N_{Ed,fi} = \eta_{fi} \cdot N_{Ed} = 0{,}7 \cdot N_{Ed}$ mit $\eta_{fi} = 0{,}7$ (DIN EN 1996-1-2)

N_{Ed} der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft aus der Kaltbemessung

h_{ef} die Knicklänge der Wand

t die Wanddicke

l die Wandlänge

f_k die charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit

k_0 ein Faktor zur Berücksichtigung von Wandquerschnitten $< 0{,}1\ m^2$ mit $k_0 = 1{,}25$; sonst gilt $k_0 = 1{,}0$

$e_{mk,fi}$ die planmäßige Ausmitte von $N_{Ed,fi}$ in halber Geschosshöhe (inkl. Kriechen); bei voll aufliegender Decke und Bemessung nach DIN EN 1996-3/NA gilt $e_{mk,fi} = 0$

ω der Anpassungsfaktor nach Tafel 14

Nur bei Kalksandstein-Mauerwerk aus Voll- und Blocksteinen (auch als Plansteine) sowie Planelementen darf nach DIN EN 1996-1-2/NA auf die Ermittlung des Ausnutzungsfaktors $\alpha_{6,fi}$ verzichtet werden. Die Norm gibt hier alternativ den Ausnutzungsfaktor α_{fi} an, der nicht größer als 0,7 sein darf. In diesem Fall gilt:

$$\alpha_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} \qquad (3.3)$$

Daraus berechnet sich mit $N_{Ed,fi} = \eta_{fi} \cdot N_{Ed} = 0{,}7 \cdot N_{Ed}$

$$\alpha_{fi} = 0{,}7 \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \qquad (3.4)$$

Da bei der Kaltbemessung grundsätzlich $N_{Ed}/N_{Rd} \le 1{,}0$ nachgewiesen werden muss, ergibt sich generell $\alpha_{fi} \le 0{,}7$. Der Ausnutzungsfaktor α_{fi} kann somit nicht größer als 0,7 werden, was der vollen Ausnutzung bei der kalten Bemessung nach Eurocode 6 entspricht. Die für die jeweilige Feuerwiderstandsklasse erforderliche Mindestwanddicke kann daher für die genannten Stein-Mörtel-Kombinationen direkt aus den Tabellen abgelesen werden.

INFO

Tragende, raumabschließende Wände (REI) aus Kalksandstein-Mauerwerk mit Voll- oder Blocksteinen (auch als Plansteine) sowie Planelementen können nach DIN EN 1996-1-2/NA unter voller Ausnutzung der Tragfähigkeit nach Eurocode 6 mit einer Feuerwiderstandsdauer von ≥ 90 min. ohne weiteren Aufwand bemessen werden.

Die Tabellen für die Brandschutzbemessung von Kalksandstein-Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-2/NA sind in Abschnitt 5 zusammengestellt.

Tafel 14 Anpassungsfaktor ω

Steine	Mörtel	ω
KS-Lochsteine KS-Hohlblocksteine	NM	2,2
KS-Vollsteine KS-Blocksteine	NM II	3,3
	NM IIa	3,0
	NM III, IIIa	2,6
KS-Plansteine KS-Fasensteine KS-Planelemente	DM	2,2
KS-Plansteine (SFK ≥ 28) KS-Fasensteine (SFK ≥ 28) KS-Planelemente (SFK ≥ 28)	DM	2,6

4. Baulicher Brandschutz mit Kalksandstein-Mauerwerk

4.1 Grundlagen

4.1.1 Definitionen nach dem Baurecht für Wandarten

Im Sinne des Baurechts und auch nach DIN EN 1996-1-2, werden die in einem Bauwerk vorhandenen Wände brandschutztechnisch in verschiedene Arten eingeteilt. Neben der Unterscheidung in tragend und nicht tragend erfolgt die Trennung in raumabschließend und nichtraumabschließend:

- Tragende, raumabschließende Wände sind überwiegend auf Druck beanspruchte Bauteile, die im Brandfall die Tragfähigkeit gewährleisten müssen und außerdem die Brandübertragung von einem Raum zum anderen verhindern, z.B. Treppenraumwände, Wohnungstrennwände, Wände zu Rettungswegen oder auch Brandabschnittstrennwände. Sie werden im Brandfall nur einseitig vom Brand beansprucht.

- Tragende, nichtraumabschließende Wände sind überwiegend auf Druck beanspruchte Bauteile, die im Brandfall ausschließlich die Tragfähigkeit gewährleisten müssen, z.B. tragende Innenwände innerhalb eines Brandabschnittes (einer Wohnung), Außenwandscheiben mit einer Breite ≤ 1,0 m oder Mauerwerkspfeiler sowie kurze Wände. Sie werden im Brandfall zwei-, drei- oder vierseitig vom Brand beansprucht.

- Nicht tragende Wände sind Bauteile, die auch im Brandfall überwiegend nur durch ihr Eigengewicht beansprucht werden und auch nicht der Knickaussteifung tragender Wände dienen; sie müssen aber auf ihre Fläche wirkende Windlasten auf die tragenden Bauteile abtragen. Nicht tragende Wände sind zur Klassifizierung in brandschutztechnischer Hinsicht grundsätzlich raumabschließend.

- Stürze über Wandöffnungen sind für eine dreiseitige Brandbeanspruchung zu bemessen.

- Brandwände und Komplextrennwände sind raumabschließende Bauteile, an die erhöhte Anforderungen hinsichtlich des Brandschutzes gestellt werden.

In Bild 4 werden die einzelnen Wandarten anhand von Gebäudegrundrissen verdeutlicht.

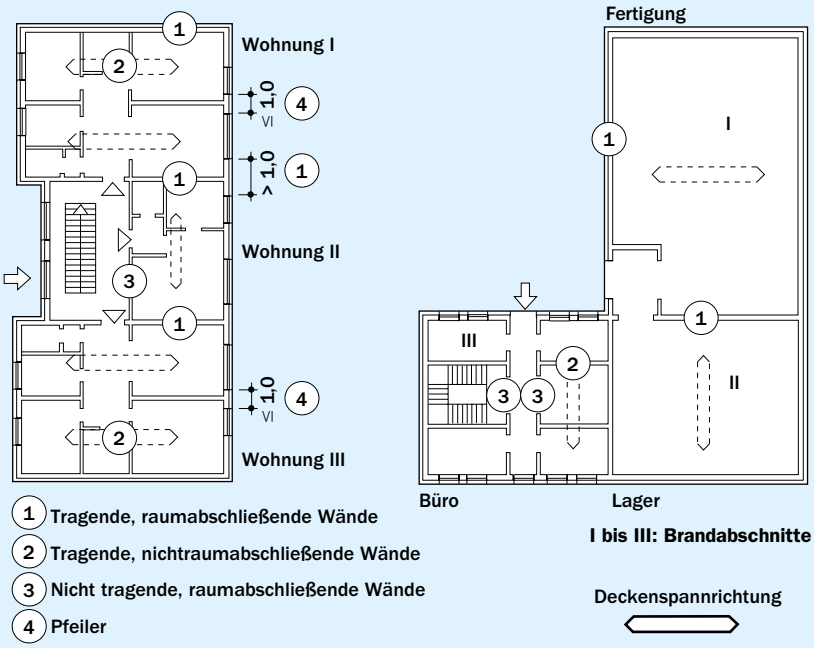


Bild 4 Wandarten im Wohnungsbau sowie Industriebau – Beispiele

4.1.2 Baustoffverhalten im Brandfall

Umfangreiche Brandprüfungen und Forschungen belegen, dass sich Kalksandstein in brandschutztechnischer Hinsicht vorteilhaft verhält. Kalksandstein-Mauerwerk hat im Brandfall eine hohe Feuerwiderstandsfähigkeit. Brandfälle aus der Praxis bestätigen dieses sehr eindrucksvoll.

Das vorteilhafte Verhalten von Kalksandstein-Mauerwerk im Brandfall ergibt sich aus dem Baustoff und dem Herstellungsverfahren der Kalksandsteine. Wände aus Kalksandsteinen haben einen vergleichsweise hohen Kristallwassergehalt. In den hydraulischen Reaktionsprodukten, die während des Härtungsprozesses von Kalksandsteinen in Dampf-Härtekesseln entstehen, wird Kristallwasser in den chemischen Bindungen eingebunden. Aufgrund der Porenstruktur von Kalksandstein wird außerdem freies, nicht gebundenes Wasser eingelagert.

In Kalksandsteinwänden stellt sich beim Austrocknen, abhängig von der Nutzung und den klimatischen Bedingungen, ein relativ geringer Restfeuchtegehalt ein. Im Brandfall werden bei Kalksandstein das freie und das gebundene Kristallwasser abgebaut, bevor die Baustoffstrukturen angegriffen werden. Im Temperaturbereich zwischen 300 °C bis 500 °C ergibt sich im Brandfall sogar eine Zunahme der Festigkeit. Ein wesentlicher Eingriff in die Kalksandstein-Struktur erfolgt im Laufe eines Brandes erst bei Temperaturen ab 600 °C.

INFO

Kalksandsteine verbrauchen im Brandfall freies und gebundenes Kristallwasser bevor die Baustoffstrukturen angegriffen werden. Zunächst ergibt sich im Brandfall sogar eine Zunahme der Festigkeit.

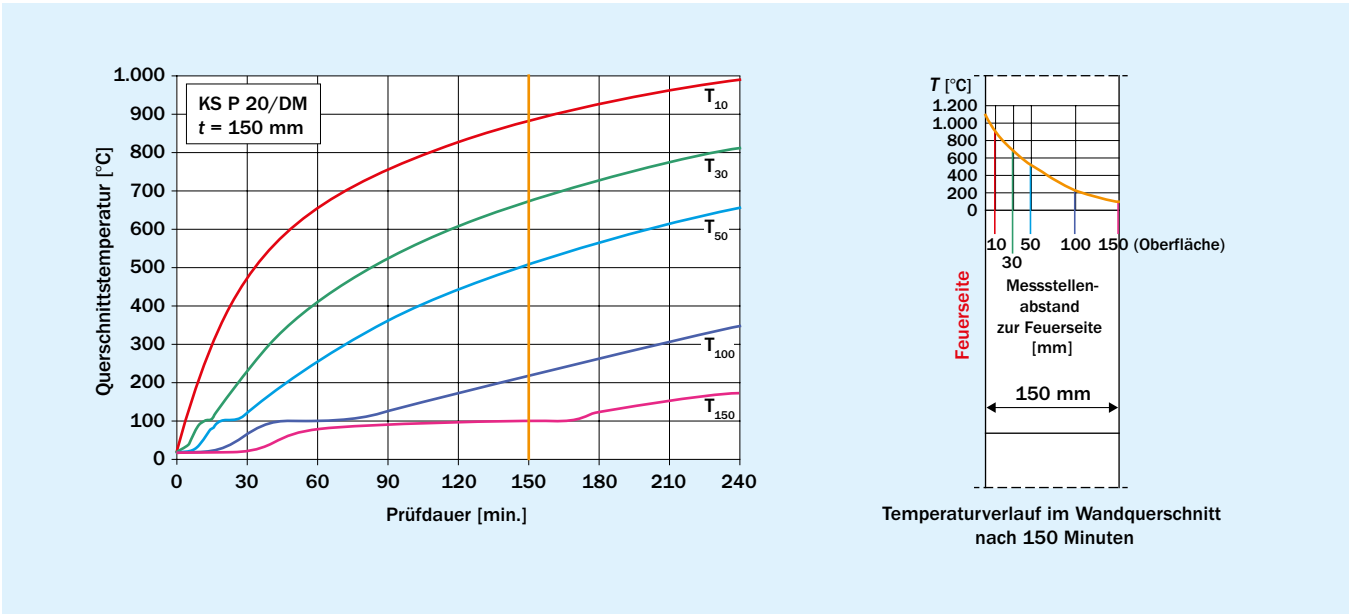


Bild 5 Temperaturverlauf im Wandquerschnitt einer Kalksandsteinwand im Brandversuch

4.1.3 Bauteilverhalten im Brandfall

Das Brandverhalten von Mauerwerk hängt von der Steinart, dem Mörtel, der Schlankheit und der Auflast ab. Bei Kalksandstein ist zwischen Voll- und Lochsteinen sowie Planelementen zu unterscheiden. Dünnbettmörtel hat einen positiven Einfluss auf das Brandverhalten von Kalksandstein-Mauerwerk. Die Kalksandsteinindustrie hat frühzeitig das Ziel verfolgt, für schlanke Wände mit hohen Auflasten das Brandverhalten nachzuweisen. So wurden auch zusätzliche Brandprüfungen in einem europäischen Forschungsvorhaben der Kalksandsteinindustrie mit Auflasten nach dem Eurocode 6 durchgeführt [7]. Aufgrund des Baustoffverhaltens von Kalksandstein wurden Prüfergebnisse erzielt, die zeigen, dass auch die deutlich höheren Auflasten nach Eurocode 6 im Brandfall problemlos aufgenommen werden können.

Alle im Eurocode 6 geregelten Ausführungen, z.B. großformatiges Mauerwerk, Dünnbettmörtel, Wände ohne Stoßfugenvermörtelung, Verwendung von höheren Steinfestigkeiten und größeren zulässigen Spannungen, wurden für Kalksandstein-Konstruktionen auch in brandschutztechnischer Hinsicht nachgewiesen [8].

Das europäische Forschungsvorhaben ergab zudem vielfältige Erkenntnisse zum Brandverhalten von Kalksandsteinwänden. Bild 5 zeigt den Temperaturverlauf in einer 150 mm dicken Kalksandsteinwand im Brandversuch über die Prüfdauer von 240 min. Es wird deutlich, dass die Temperatur der Wand im Versuchsverlauf nahe an der Feuerseite relativ schnell zunimmt, während der Temperaturanstieg im Wandquerschnitt mit zunehmender Entfernung deutlich geringer ausfällt. Die Oberflächentemperatur (Messstelle T_{150}) auf der feuerabgewandten Seite verharrt auch nach 150 min. noch bei 100 °C, da das kristallgebundene Wasser in dieser Querschnittstiefe noch immer nicht vollständig verdampft ist. Das besonders vorteilhafte Brandverhalten von Kalksandstein-Mauerwerk wird hierdurch eindrucksvoll bestätigt.

4.2 Tragende Wände

4.2.1 Tragende, raumabschließende Wände

Tragende, raumabschließende Wände können zur Trennung von Brandabschnitten sowie Nutzungseinheiten verwendet werden. Sie unterscheiden sich nur durch ihre Tragfunktion von nicht tragenden, raumabschließenden Wänden. Aufgrund dieser Tragfunktion sind größere Mindestwanddicken erforderlich. Da das Brandverhalten der Wände auch von der Auflast abhängt, sind in einigen Fällen auch Ausnutzungsfaktoren zu ermitteln. Bei geringeren Ausnutzungsfaktoren ergeben sich teilweise auch geringere Wanddicken. Hiermit wird in Abhängigkeit von den Anwendungsbereichen der Praxis wirtschaftlicheres Bauen ermöglicht.

Die meisten Brandprüfungen an Kalksandsteinwänden wurden an tragenden, raumabschließenden Wänden durchgeführt. Diese Kalksandsteinwände wurden mit verschiedenen Dicken, unterschiedlichen Festigkeiten und Rohdichten sowie den verschiedenen Mörtel- und Steinarten nachgewiesen. Die Ergebnisse sind in DIN EN 1996-1-2/NA Tabelle NA.B.2.2 eingeflossen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens der europäischen Kalksandsteinindustrie [7] wurden schlanke Kalksandsteinwände mit hohen Mauerwerksfestigkeiten und hohen Auslastungen im Hinblick auf die Feuerwiderstandsfähigkeit untersucht. Hierbei wurde auch der Einfluss der Kopfhalterung im Prüfaufbau untersucht. Die früheren Prüfungen wurden im Bereich der Lasteinleitung ausschließlich mit einer Zentrierleiste durchgeführt. Bei schlanken Wänden, $d \leq 150$ mm, wirkt diese Zentrierleiste aber wie ein Gelenk und die Wände sind damit nicht mehr praxisgerecht eingebaut, da in der Praxis die Geschossdecken flächig auflagern und damit den Wandkopf einspannen.

Die Ergebnisse wurden umfangreich ausgewertet und sind auch in DIN EN 1996-1-2/NA Tabelle NA.B.2.2 eingeflossen. Neben dem Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi}$ wurde **nur** für Kalksandstein-Mau-

erwerk zudem der Ausnutzungsfaktor α_{fi} für Voll- und Blocksteine sowie Planelemente eingeführt. Der Ausnutzungsfaktor α_{fi} deckt eine volle kalte Bemessung nach DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-3 ab, siehe auch Abschnitt 3.5.

INFO

Kalksandstein-Mauerwerk aus Voll- und Blocksteinen (auch als Plansteine) sowie Planelementen deckt brandschutztechnisch alle Belastungsfälle nach DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-3 ab.

Raumabschließende Wände können in einigen Bundesländern auch als Gebäudeabschluss- bzw. Gebäudetrennwand anstelle einer Brandwand eingesetzt werden, siehe auch Abschnitte 4.5 und 4.6.

4.2.2 Tragende, nichtraumabschließende Wände

Tragende, nichtraumabschließende Wände sind tragende Innenwände innerhalb eines Brandabschnittes. Diese Wände werden häufig brandschutztechnisch nicht beachtet. Sie sind für die Tragfähigkeit eines Gebäudes im Brandfall jedoch entscheidend. Diese Wände werden im Brandfall zweiseitig vom Brand beansprucht. Sie weisen nach DIN EN 1996-1-2/NA eine definierte Breite (Länge) $b \geq 1{,}0$ m auf.

An derartige Wände werden keine Anforderungen hinsichtlich des Raumabschlusses gestellt, so dass auch an die Fugendichtung keine zusätzlichen Anforderungen gestellt werden.

Im Rahmen des europäischen Forschungsvorhabens wurden zusätzliche Pfeilerprüfungen mit vierseitiger Brandbeanspruchung durchgeführt, die dann auf Wände mit zweiseitiger Brandbeanspruchung extrapoliert wurden, um auch für diese Wände die volle Auflast nach Eurocode 6 im Brandfall regeln zu können.

4.2.3 Tragende Pfeiler bzw. tragende, nichtraumabschließende Wandabschnitte

Tragende Pfeiler in Außenwänden, z.B. Fensterpfeiler, werden im Brandfall mehrseitig (bis zu vierseitig) beansprucht. DIN EN 1996-1-2/NA definiert außerdem Außenwandabschnitte mit einer Breite (Länge) < 1,0 m als nichtraumabschließend. Es wird davon ausgegangen, dass im Brandfall das Feuer z.B. aus Fenstern schlägt und derartige Wandabschnitte daher mehrseitig brandbeansprucht werden.

Da es sich um tragende Bauteile handelt, muss die Standsicherheit auch im Brandfall gewährleistet werden. Aufgrund der mehrseitigen Brandbeanspruchung werden brandschutztechnisch die höchsten Anforderungen gestellt.

Es wurden zahlreiche Kalksandsteinpfeiler mit unterschiedlichen Lastniveaus vierseitig brandbeansprucht geprüft.

Die Ergebnisse sind in DIN EN 1996-1-2/ NA Tabelle NA.B.2.4 zusammengefasst.

4.3 Nicht tragende Trennwände

4.3.1 Nicht tragende, raumabschließende Wände

Nicht tragende, raumabschließende Kalksandsteinwände können

- zur Trennung von Brandabschnitten (BA),
- zur Bildung von Brandbekämpfungsabschnitten (BBA),
- zur Kapselung von Räumen mit erhöhter oder besonderer Brandgefahr,
- zur Sicherung von Rettungswegen im Bereich von Flurwänden notwendiger Flure oder notwendiger Treppenräume

eingesetzt werden.

Da raumabschließende Wände zur Klassifizierung per Definition nur einseitig vom Brand beansprucht werden, müssen Durchführungen bzw. Öffnungen brandschutztechnisch verschlossen werden.

Die Angaben gelten für Kalksandsteinwände, die von Rohdecke bis Rohdecke spannen. Werden raumabschließende Wände z.B. an Unterdecken angeschlossen, so muss auch für diesen Anschluss und die Unterdecke ein brandschutztechnischer Verwendbarkeitsnachweis vorliegen.

DIN EN 1996-1-2/NA enthält wenig zu nicht tragenden Wänden, weil DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-3 sich vorwiegend mit tragendem Mauerwerk befassen. So ist lediglich die Tabelle NA.B.2.1 mit den Werten für die EI-Klassifizierungen 30 bis 180 min. enthalten. Die Werte gelten für Wandhöhen $h \leq 6$ m und für Schlankheiten $\lambda_c = h_{ef} / t_{ef} \leq 40$ nicht tragender Wände.

INFO

Raumabschließende Kalksandsteinwände, tragend oder nicht tragend, erfüllen die raumabschließende Wirkung auch mit unvermörtelten Stoßfugen.

Die unvermörtelten Stoßfugen dürfen gemäß DIN EN 1996-1-2 bei Steinen mit Nut-Feder-Ausbildung eine Breite bis zu 5 mm haben, ohne dass in brandschutztechnischer Hinsicht ein Putz erforderlich ist.

Bei Wänden aus Steinen mit glatten, unvermörtelten Stoßfugen darf auf einen Putz ebenfalls verzichtet werden, wenn die Stoßfugenbreite höchstens 2 mm beträgt. Nur Wände mit unvermörtelten, glatten Stoßfugen mit einer Breite von mehr als 2 mm und weniger als 5 mm müssen mindestens einseitig mit 1 mm dickem Putz versehen werden, um die Feuerwiderstandsdauer hinsichtlich des Raumabschlusses zu erfüllen.

In der Praxis werden nicht tragende Wände aus architektonischen, Montage- und Kostengründen gern mit Stahlstützen oder Stahlprofilen ausgesteift. DIN 4102-4 regelt ergänzend zu DIN EN 1996-1-2/NA weiterhin, dass die aussteifenden Bauteile in ihrer aussteifenden Wirkung mindestens der entsprechenden Feuerwiderstandsklasse angehören müssen. In Bild 6

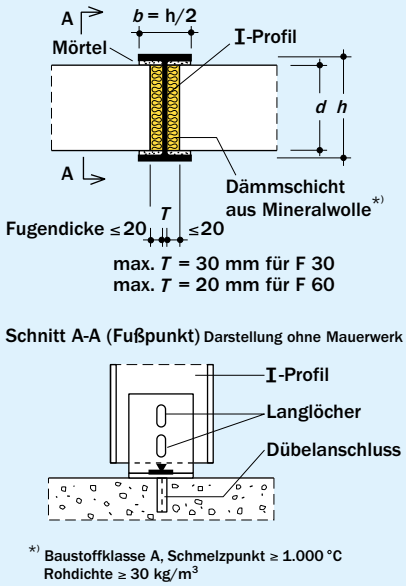


Bild 6 **Anschluss nicht tragender Kalksandsteinwand an nicht tragende Stahl-Aussteifungsstütze für die Feuerwiderstandsklassen feuerhemmend (F 30) und hochfeuerhemmend (F 60)**

wird hierfür eine Lösungsmöglichkeit, die nur in Verbindung mit Kalksandsteinwänden gilt, vorgestellt. Für die Feuerwiderstandsklasse F 90 (= feuerbeständig) sind im Bereich der Stahlbauteile in brandschutztechnischer Hinsicht Zusatzmaßnahmen erforderlich. Einerseits können die Stahlprofile thermisch getrennt werden oder andererseits ist eine Bekleidung der Stahlprofile mit Brandschutzplatten möglich.

INFO

Bei Steinen mit Nut-Feder-Ausbildung gelten alle Klassifizierungen – Tabellenwerte – auch für unvermörtelte Stoßfugen bis 5 mm Breite.

4.3.2 Schachtwände

Schachtwände zur Abtrennung von Leitungsschächten können mit Kalksandstein-Mauerwerk ohne Probleme verschlossen werden. Sie sind in der Regel nicht tragende Wände, die nach Abschluss der Installationsarbeiten gesetzt werden. Wichtig ist hierbei zu klären, welche haustechnischen Anlagen – Kabel, Rohre, Lüftung – in dem Schacht verlaufen und ob die Brandschutzmaßnahmen horizontal mittels Abschottung oder vertikal mittels qualifizierten Schachtwänden erstellt werden. Durchführungen durch die Wände sind entweder mit Abschottungsmaßnahmen nach abZ oder gemäß Leitungsanlagen-Richtlinie (LAR) zu verschließen, siehe Abschnitt 4.3.3. Bei Lüftungsleitungen, die mit einer Brandschutzklappe aus dem Schacht geführt werden, sind die Schachtwände, insbesondere die erforderliche Dicke, in Abhängigkeit von der tatsächlichen Brandschutzklappe festzulegen. In Abhängigkeit vom Fabrikat und damit von der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) der Brandschutzklappe bzw. CE gekennzeichneten Klappe variieren die Anforderungen an die Wand hinsichtlich Dicke und Feuerwiderstandsklasse.

Alternativ werden Kabelanlagen separat vor den Wänden angeordnet und dann mit nachgewiesenen Schachtwänden abgeschottet. Sie können auch mit nicht tragenden Kalksandsteinwänden der entsprechenden Feuerwiderstandsklasse verschlossen werden, in die ggf. Feuerschutzabschlüsse – z.B. T 30- bzw. T 90-Türen oder -Klappen – eingebaut werden. Die Feuerwiderstandsklasse der Abschlüsse hängt von der Gebäudeklasse ab sowie von der Planung offen durchgehender Schächte durch alle Geschosse oder geschossweise horizontaler Abschottung.

Insbesondere in Rettungswegen – Fluren und Treppenräumen – ist auf die brandschutztechnisch richtige Ausführung zu achten, da in der Regel die Forderung besteht, dass nur nichtbrennbare Baustoffe bzw. Wandverkleidungen eingesetzt werden. In diesem Bereich wurden durch die neuen Muster-Richtlinien für Leitungsanlagen die brandschutztechnischen Anforderungen teilweise erhöht, d.h. der offene Einbau von elektrischen Kabeln ist, ausgenommen für direkte Beleuchtung, untersagt, siehe auch Abschnitt 4.9.

Im Bereich von Sonderbauten, z.B. Hotels, Verkaufsstätten etc., gibt es häufig Probleme, da Installationsschächte und deren Revisionsöffnungen, auch zu Sanitäreinrichtungen, überwiegend in Fluren angeordnet werden. Bei rechtzeitiger Planung lassen sich derartige Installationsschächte jedoch problemlos und fachgerecht ohne Mehraufwand errichten. Dies gilt besonders für den Mauerwerksbau.

4.3.3 Einbauten in Trennwänden

Abgesehen von den im Folgenden aufgeführten Ausnahmen beziehen sich die Feuerwiderstandsklassen klassifizierter Wände stets auf Wände ohne Einbauten.

Türen

Die erforderliche Feuerwiderstandsklasse für die Einbauten ist im Einzelfall zu überprüfen. Beispielsweise werden für raumabschließende feuerbeständige Wände in der Regel nur feuerhemmende Türen gefordert. Im Einzelfall werden auch keine Anforderungen gestellt, z.B. bei den früheren feuerbeständigen Flurwänden in Hamburg.

Im Industriebau wird dagegen immer die gleiche Anforderung der Trennwand auch an den Verschluss von Öffnungen gestellt. Dies gilt auch für Türen, d.h. feuerbeständige Wand mit feuerbeständiger Tür, hochfeuerhemmende Wand mit hochfeuerhemmender Tür und feuerhemmende Wand mit feuerhemmender Tür. Aber auch hier gibt es wiederum eine Ausnahme: Für hochfeuerbeständige (oder feuerbeständig mit 120 min. Feuerwiderstand) Wände und Wände mit 180 min. Feuerwiderstand werden nur feuerbeständige Türen gefordert, weil es bei der Erarbeitung der Richtlinie keine entsprechenden Türen gab. Brandschutztüren in Schachtwänden müssen die gleiche Brandschutzqualität wie die Wand aufweisen. Bei Schächten ohne horizontale Abschottung müssen die Türen vierseitig umlaufende Dichtungen aufweisen.

Elektroinstallationen

Zu den Einbauten zählen aber auch z.B. Schlitze, Nischen für Rohre, Schaltschränke und Elektro-Installationen. Schlitze und Aussparungen in tragenden Wänden, die nach EN 1996-1-1 ohne gesonderten rechnerischen Nachweis zulässig sind, reduzieren die in den Tabellen angegebenen Feuerwiderstandsdauern nicht.

INFO

Bei vertikalen Schlitzen und Aussparungen in nicht tragenden Wänden sollte die Rest-Wanddicke einschließlich eventueller brandschutztechnischer Bekleidungen, wie z.B. Putz, mindestens 2/3 der erforderlichen Mindestdicke der Wand und nicht weniger als 60 mm betragen.

Bei horizontalen und schrägen Schlitzen und Aussparungen in nicht tragenden Wänden sollte die Rest-Wanddicke einschließlich eventueller brandschutztechnischer Bekleidungen, wie z.B. Putz, mindestens 5/6 der erforderlichen Mindestdicke der Wand, und nicht weniger als 60 mm betragen. Horizontale und schräge Schlitze und Aussparungen sollten nicht im mittleren Drittel der Wandhöhe ausgeführt werden. Die Breite einzelner Schlitze und Aussparungen sollte nicht größer als die doppelte Mindestdicke der Wand, einschließlich eventueller brandschutztechnischer Bekleidungen, wie z.B. Putz, sein.

Bei anderen Einbauten ist der Brandschutz gesondert nachzuweisen. Der Restquerschnitt einer Wand muss dann auch im Bereich von Schlitzen die geforderte Mindestwanddicke für eine bestimmte Feuerwiderstandsklasse besitzen oder es sind Sondermaßnahmen durchzuführen. Beispielsweise ist es ausreichend, wenn einzelne Kabel in Schlitzen verlegt und verputzt werden oder wenn die Schlitze mit entsprechenden nichtbrennbaren Brandschutzplatten ausreichender Dicke verschlossen werden. Auch Schalterkästen können mit entsprechenden nichtbrennbaren Brandschutzplatten, z.B. Kalzium-Silikat- oder Gips-Feuerschutz- bzw. Gipsfaser-Platten, etc. verschlossen werden. Für diesen Bereich gibt es bereits zahlreiche Brandschutznachweise für so genannte „Revisionsöffnungen“ oder für Schaltschränke.

Steckdosen, Schalterdosen, Verteilerdosen

Steckdosen, Schalterdosen, Verteilerdosen dürfen in der Regel bei raumabschließenden Wänden nicht unmittelbar gegenüber liegend eingebaut werden. Bei Wänden aus Mauerwerk mit einer Gesamtdicke ≥ 140 mm gilt diese Einschränkung nicht. In 100 mm oder 115 mm dicken Kalksandsteinwänden dürfen nur einseitig Steckdosen eingebaut werden. Beim Bohren muss dabei sichergestellt werden, dass das Loch nur auf Dosentiefe und nicht durch die gesamte Wanddicke gebohrt wird und dass abschließend die Dosen eingeputzt werden. Beim Einbau von Elektrodosen in 115 mm dicke KS -E-Steine ist sicherzustellen, dass die Dosen mit einem Gipsbatzen eingesetzt werden. Sonst ist der Restquerschnitt aufgrund der vorhandenen Lochreihe mit nur 35 mm zu gering. Bei Dosenreihen kann es aber bei tragenden Wänden allein schon hinsichtlich der Standsicherheit Probleme geben, so dass hier im Einzelfall entschieden werden muss, ob der Einbau von mehreren Dosen neben- oder untereinander möglich ist, vergleiche DIN EN 1996-1-1/NA Tabellen NA.19 und NA.20. Bei Wanddicken < 60 mm sind nur Aufputzdosen erlaubt. Diese Einschränkung ist insbesondere bei Ausfachungs- und Schachtwänden zu beachten, da hier häufig schlankere Wände zur Ausführung kommen.

Kabelbündel, Rohrleitungen, Lüftungsleitungen

Für die Durchführung von Kabelbündeln, Rohrleitungen oder Lüftungsleitungen etc. durch raumabschließende Wände sind brandschutztechnische Maßnahmen – z.B. Abschottungen, Rohrmanschetten, Brandschutzklappen – erforderlich, deren Verwendbarkeit u.a. durch bauaufsichtliche Zulassungen (abZ) nachgewiesen sein muss.

Verglasungen, Feuerschutzabschlüsse

Wenn in raumabschließenden Wänden mit bestimmter Feuerwiderstandsklasse Verglasungen oder Feuerschutzabschlüsse (Türen oder Tore) eingebaut werden sollen, so wird auch diese Einbaumaßnahme in der Regel durch bauaufsichtliche Zulassungen geregelt. Diese Bauteile dürfen jeweils nur in bestimmte Wände – Mindestdicke, Mindestfestigkeit – eingebaut werden. Außerdem sind bestimmte konstruktive Details zu beachten, z.B. die Verankerung einer feuerbeständigen Tür im Mauerwerk, die sich je nach Zulassung unterscheiden können. Für Verankerungen liegen mittlerweile die verschiedensten Nachweise vor. Dübelbefestigung und Maueranker sind ebenso in Zulassungen enthalten wie nachträglicher Einbau über Stahlrahmen oder Sonderlösungen. Für den Einbau von Feuerschutzabschlüssen in schlanke Wände, z.B. 11,5 cm dicke Kalksandsteinwände, liegen ebenfalls zahlreiche Nachweise vor.

INFO

Querschnittsabdichtungen

Sperrschichten, z.B. Bitumenbahnen R 500 oder mineralische Dichtungsschlämme, gegen aufsteigende Feuchtigkeit beeinflussen die Feuerwiderstandsklasse und Benennung nicht.

4.3.4 Anschlüsse von Kalksandsteinwänden an angrenzende Bauteile

Zahlreiche Ausführungsdetails sind DIN 4102-4 zu entnehmen, weil DIN EN 1996-1-2 in Anhang E nur die wenigen Standard-Wandanschlüsse an angrenzende Bauteile enthält. Weitere Ausführungsdetails in Verbindung mit Mauerwerkswänden werden regelmäßig im Mauerwerk-Kalender [5] veröffentlicht. Anschlüsse von Kalksandstein-Mauerwerk an angrenzendes Mauerwerk können als Verbandsmauerwerk oder auch als Stumpfstoß ausgeführt werden. Ebenso können Anschlüsse tragender und nicht tragender Kalksandsteinwände gemäß Tafel 16 und 17 ausgeführt werden. Hierbei sind die Angaben zum Verschluss der Fugen zu beachten.

Dämmschichten in Anschlussfugen, die aus brandschutztechnischen Gründen angeordnet werden, müssen aus nichtbrennbarer Mineralwolle bestehen, Baustoffklasse A nach DIN 4102-1 oder den entsprechenden Klassen nach DIN EN 13501-1 angehören, einen Schmelzpunkt > 1.000 °C besitzen und eine Rohdichte ≥ 30 kg/m^3 aufweisen. Wichtig ist, dass die Fugen wirklich stramm und dicht ausgefüllt werden. Häufig wird aber auf der Baustelle der Dämmstreifen nur lose aufgelegt, so dass er teilweise herausrutscht. Zur Lagesicherung empfiehlt es sich z.B., den Dämmstreifen mit Dünnbettmörtel anzukleben. Wei-

tere Anschlussmöglichkeiten wurden in [9] bearbeitet. Diese sind inzwischen ebenfalls normativ in DIN 4102-4 geregelt.

4.3.5 Stürze und Ringbalken

Stürze werden aus KS -U-Schalen, überwiegend jedoch als KS-Flachstürze oder als KS-Fertigteilstürze eingebaut. Der brandschutztechnische Nachweis für vorgefertigte Stürze wurde für die Feuerwiderstandsklassen F 30 bis F 90 und teilweise F 120 erbracht.

INFO

Die Feuerwiderstandsklasse F 90 ist bereits ab einer Sturzbreite von 115 mm möglich.

Die genauen Abmessungen und Nachweise – passend zu den in brandschutztechnischer Hinsicht erforderlichen Wanddicken – sind für KS-Fertigteil- und Flachstürze in Abhängigkeit der Zuggurthöhe, der Betondeckung und der Schalendicke den jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen zu entnehmen. Ausbetonierte KS -U-Schalen sind in DIN 4102-4:2016 geregelt. DIN EN 1996-1-2 enthält keine Angaben zu Stürzen. Die Feuerwiderstandsdauer von ausbetonierten KS -U-Schalen nach DIN 4102-4 und die üblichen Werte für Zuggurte von KS-Flachstürzen nach den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen sind in Abhängigkeit der Abmessungen, Schalendicken und Betondeckung in Tafel 15 dargestellt.

4.4 Außenwände

4.4.1 Grundlagen

Außenwände können tragende und nicht tragende Außenwände sein. Baurechtlich werden im Wesentlichen Anforderungen an Gebäude der Gebäudeklassen 4 und 5 gestellt, die in einigen Bundesländern unterschiedlich sein können.

Bei Hochhäusern müssen nichtbrennbare Baustoffe verwendet werden. Ebenso werden auf Brandwänden, bei geringeren Grenzabständen oder bei aneinander gereihten Gebäuden im Bereich der Haustrennwände nichtbrennbare Baustoffe gefordert. Bei Sonderbauten – z.B. Krankenhäuser, Verkaufsstätten – werden ebenfalls nichtbrennbare Baustoffe in Fassadenbereichen gefordert. Wichtig ist es, die Anforderungen hinsichtlich von Oberflächen und von Außenwandbekleidungen zu beachten, siehe Abschnitt 4.4.4.

4.4.2 Nicht tragende Außenwände und nicht tragende Teile tragender Außenwände

Für nicht tragende Außenwände der Feuerwiderstandsklassen E 30 bis E 90 (i ↦ o) und bei abgeminderter Außenbrandkurve e_f (o ↦ i) können ohne jeden weiteren Nachweis die Angaben von nicht tragenden Kalksandsteinwänden der Feuerwiderstandsklassen EI 30 bis EI 90 nach DIN EN 1996-1-2/NA zugrunde gelegt werden. Die Planungssicherheit ist damit in jedem Fall gegeben, weil nach DIN EN 1363-2 geringere Temperaturen an der Außenseite gefordert werden, vergleiche Bild 3.

4.4.3 Tragende Außenwände

Für tragende Außenwände gelten die Angaben für tragende Kalksandsteinwände in Abhängigkeit der raumabschließenden Funktion (siehe Abschnitt 4.2.1).

Kalksandsteinwände der Feuerwiderstandsklasse REI nach DIN EN 1996-1-2/NA erfüllen immer die entsprechenden Anforderungen an tragende Außenwände.

4.4.4 Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen

Putz

Bei Außenwänden kann der eventuell brandschutztechnisch erforderliche Putz – ()-Werte in den Tafeln 22 bis 28 – durch eine Vormauerschale ersetzt werden. Bei Verwendung eines Wärmedämm-Verbundsystems (WDVS) darf der Aufbau mit

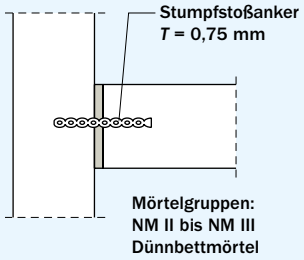
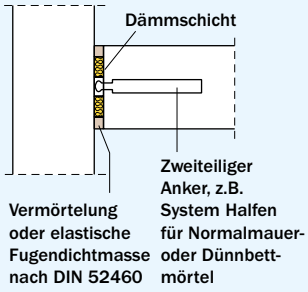
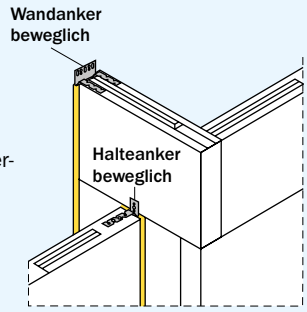
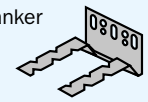
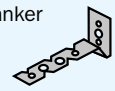
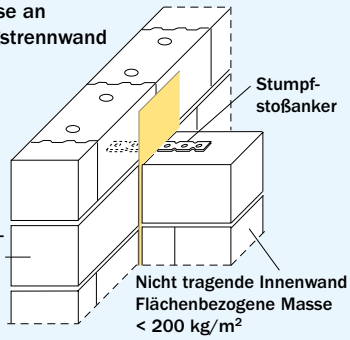
- einer Dämmschicht aus brennbaren Baustoffen – z.B. Baustoffklasse B nach DIN 4102-1 – nicht als Putz angesetzt werden und
- einer Dämmschicht aus nichtbrennbaren Baustoffen – z.B. Baustoffklasse A nach DIN 4102-1 (z.B. Mineralwolleplatten) – als Putz angesetzt werden.

Tafel 15 Feuerwiderstandsdauer von ausbetonierten KS -U-Schalen und KS-Flachstürzen

Sturzkonstruktion (Mauerwerk)	Mindest-Höhe h [mm]	Mindest-Schalendicke s_{min} [mm]	Mindest-Betondeckung c_{min} [mm]	Mindestbreite b [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse[3] F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A
Ausbetonierte KS -U-Schalen[1]	240	25	15	115	115	175	–
Zuggurte von KS-Flachstürzen[2]	113	25	20	115	115	115	175
	71	25	15	115	115	175 (115)	– (175)
	71	20	20	115	115	175 (115)	– (175)

[1] Nach DIN 4102-4
[2] Übliche Werte nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung
[3] Die ()-Werte gelten für Stürze mit 3-seitigem Putz. Auf den Putz an der Sturzunterseite kann bei vermörtelten Stahl- oder Holzzargen verzichtet werden

Tafel 16 Seitliche Wandanschlüsse für nicht tragende Innenwände unter Berücksichtigung von Statik, Brand- und Schallschutz

Anschlussdetail Fuge	Statik	Schallschutz	Brandschutz[1)]
Anschlüsse im eigenen Wohnbereich  	**Starr gehalten** durch Maueranker und vollflächig satt vermörtelte Anschlussfuge mit NM oder DM	**Schalltechnisch biegesteif und dicht** Bei Baustoffen mit unterschiedlichem Verformungsverhalten oder nicht vollflächiger Vermörtelung ist ggf. eine Entkopplung und Undichtigkeit anzunehmen.	**Anschlussfuge voll vermörtelt mit NM oder DM** EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
Anschlüsse im eigenen Wohnbereich  	**Gelenkig gehalten** durch in Ankerschiene eingelegte Maueranker	**Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt** bei Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe[2)] **Schalltechnisch dicht** mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
Anschlüsse im eigenen Wohnbereich  	**Gelenkig gehalten** durch Wandanker  durch Halteanker 	**Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt** bei Halteankern und Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe[2)] **Schalltechnisch dicht** mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
Anschlüsse an Wohnungstrennwand  	**Gelenkig gehalten** durch Mauerwerksanker und nachgiebiger Füllung mit Mineralfaserstreifen des Stumpfstoßanschlusses	**Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt** bei Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe[2)] **Schalltechnisch dicht** mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60

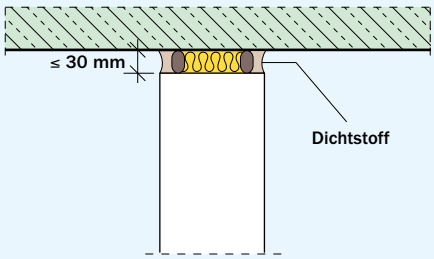
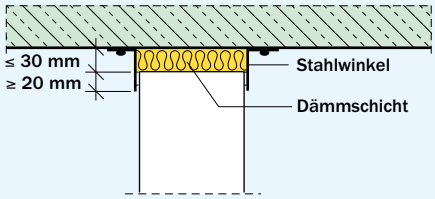
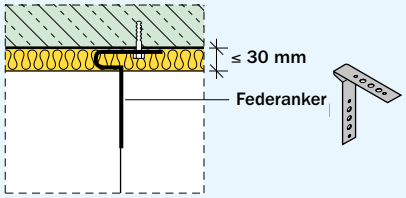
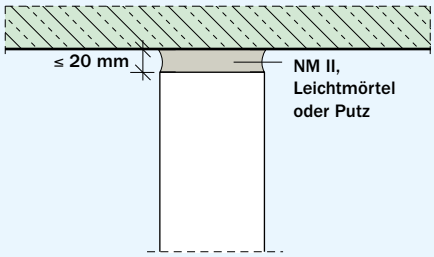
[1)] Die Klassifizierung des Wandanschlusses entspricht der Klassifizierung der Wand, wenn die angegebenen Bedingungen eingehalten werden. Nicht tragende raumabschließende Wände EI nach DIN EN 13501-2

[2)] Der Putz ist bei entkoppelten Anschlüssen mit einem Kellenschnitt zu trennen und nachträglich z.B. mit Acryl zu schließen.

Empfehlungen für die Ausführung von nicht tragenden Innenwänden:

- Wände grundsätzlich auf eine Trennschicht (z.B. R 500) stellen
- Seitliche Anschlüsse an Treppenhaus- und Wohnungstrennwände akustisch entkoppelt ausführen, wenn die flächenbezogene Masse der nicht tragenden Trennwände < 200 kg/m² beträgt
- Seitliche Anschlüsse untereinander vermörtelt, schalltechnisch biegesteif (kraftschlüssig) ausführen
- Bei kraftschlüssiger Ausführung der oberen Anschlussfuge ist Mörtel geringer Festigkeit (z.B. Leichtmörtel oder Putz) zu wählen.

Tafel 17 Obere Wandanschlüsse für nicht tragende Innenwände unter Berücksichtigung von Statik, Brand- und Schallschutz

Anschlussdetail Fuge	Statik	Schallschutz	Brandschutz [1]
	**Oberer Rand nicht gehalten** die Wand ist 3-seitig zu halten die Stoßfugen sind grundsätzlich zu vermörteln	**Schalltechnisch entkoppelt und dicht** mit beidseitigem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung durch Dichtstoff, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60 Die Fugen müssen dicht ausgestopft werden. Für EI 30 mind. 50 mm; für EI 60 mind. 60 mm und für EI 90 und „Brandwände“ mind. 100 mm Breite der jeweiligen Wanddicke.
	**Oberer Rand gehalten** die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand	**Schalltechnisch entkoppelt und nicht dicht** Als trennendes Bauteil nur geeignet mit zusätzlichem Fugendichtstoff in der Anschlussfuge	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung durch Stahlwinkel, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
 Die Stoßfugen mit Federanker sind zu vermörteln.	**Oberer Rand gehalten** die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand	**Schalltechnisch entkoppelt und dicht** mit beidseitigem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
	**Oberer Rand gehalten** mit Auflast infolge Kriechen und Schwinden der Stahlbetondecke [2] die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand Anschlussfuge vollständig durch NM II, Leichtmörtel oder Putz ausgefüllt	**Schalltechnisch biegesteif und dicht** Bei Wänden mit Schallschutzanforderungen sollte diese Ausführungsvariante gewählt werden.	EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60

[1] Nicht tragende raumabschließende Wände EI nach DIN EN 13501-2

[2] Bei Wandlängen > 5 m sollte dieser Anschluss mit dem Tragwerksplaner abgestimmt werden.

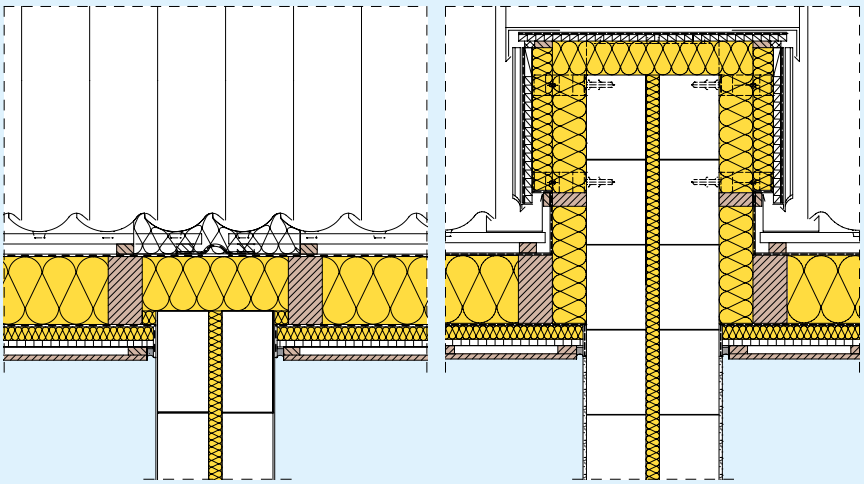
Empfehlungen für die Ausführung von nicht tragenden Innenwänden:

- Wände grundsätzlich auf eine Trennschicht (z.B. R 500) stellen
- Seitliche Anschlüsse an Treppenhaus- und Wohnungstrennwände akustisch entkoppelt ausführen, wenn die flächenbezogene Masse der nicht tragenden Trennwände < 200 kg/m² beträgt
- Seitliche Anschlüsse untereinander vermörtelt, schalltechnisch biegesteif (kraftschlüssig) ausführen
- Bei kraftschlüssiger Ausführung der oberen Anschlussfuge ist Mörtel geringer Festigkeit (z.B. Leichtmörtel oder Putz) zu wählen.

Wärmedämm-Verbundsysteme

Wenn bei Außenwänden Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) verwendet werden, ist die jeweilige LBO zu beachten. In Abhängigkeit von den Gebäudeklassen bzw. Vollgeschossen dürfen entweder schwerentflammbare Dämmschichten – z.B. Baustoffklasse B 1 nach DIN 4102-1 – oder müssen nichtbrennbare Dämmschichten – z.B. Baustoffklasse A nach DIN 4102-1 – eingesetzt werden (Ausnahmeregelung bis zu zwei Vollgeschosse: normalentflammbar). In der Regel müssen bei Gebäuden außer Hochhäusern und einigen Sonderbauten die Dämmschichten oder Außenwandbekleidungen aus mindestens schwerentflammbaren Baustoffen bestehen, vergleiche auch Abschnitt 2.5.3.

Zu den Wärmedämm-Verbundsystemen gehören grundsätzlich allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (abZ), in denen in Abhängigkeit von der Dämmart und der Dämmschichtdicke u.a. für den Sturzbereich spezielle brandschutztechnische Ausführungen oder zusätzlich Brandriegel gefordert werden können.



a) Zweischalige Gebäudetrennwand mit nichtbrennbarer Dämmschicht auf den Sparren (über dem Wandkopf bis unter die Dachpfannen)

b) Zweischalige Gebäudetrennwand über Dach geführt

Bild 7 Gebäudeabschlusswand aus Kalksandstein-Mauerwerk im Dachbereich

4.4.5 Zweischalige Außenwände

Aufgrund der höheren Wärmeschutzanforderungen nach der EnEV werden zunehmend zweischalige Kalksandsteinwände mit Dämmschichtdicken > 100 mm ausgeführt. In der Regel ist der Schalenzwischenraum heute ganz mit Dämmstoff (ggf. mit Fingerspalt) ausgefüllt. In Zusammenarbeit mit der Bauaufsicht wurden hierzu Regeln für Gebäude der Gebäudeklassen 4 und 5 erarbeitet, wenn insbesondere brennbare Dämmungen verwendet werden. Die im Einzelfall einzuhaltenden Regelungen sind DIN 4102-4 bzw. den geltenden bauaufsichtlichen Regelungen (MVV TB, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen) zu entnehmen.

4.5 Gebäudetrennwände – Gebäudeabschlusswände

4.5.1 Grundlagen

Die Begriffe Gebäudeabschluss- und Gebäudetrennwand sind in den Landesbauordnungen erläutert. Gebäudetrennwände sind in ausgedehnten Gebäuden alle 40 m zu errichten, um Brandabschnitte (BA) zu bilden. Gebäudeabschlusswände sind bei Gebäuden, die weniger als 2,5 m von der Grundstücksgrenze entfernt errichtet werden, und bei aneinander gereihten Gebäuden auf demselben Grundstück herzustellen.

Gebäudetrennwände sind in der Regel als Brandwände mit feuerbeständigen Türen auszubilden. In Ausnahmefällen dürfen in einigen Bundesländern feuerbeständige Wände der Feuerwiderstandsklasse REI 90 oder EI 90 nach DIN EN 1996-1-2/NA oder sogar nur hochfeuerhemmende Wände eingesetzt werden.

Gebäudeabschlusswände müssen nach den bauaufsichtlichen Bestimmungen je nach Lage der Gebäude, Anzahl der Geschosse und Nutzung einer bestimmten Feuerwiderstandsklasse entsprechen. Häufig sind Brandwände oder feuerbeständige Wände bzw. hochfeuerhemmende Wände zu errichten. Es gibt die Möglichkeit, anstelle von feuerbeständigen Wänden sogar die Kombination feuerbeständig + feuerhemmend (F 90-AB + F 30-B) einzusetzen.

Kalksandsteinwände lassen sich in den hier beschriebenen Anwendungsfällen vorteilhaft und wirtschaftlich einsetzen. Der brandschutztechnisch erforderliche Putz – ()-Wert der Tafeln 22 bis 28 – ist bei zweischaligen Trennwänden jeweils nur auf den Außenseiten der Schalen, nicht zwischen den Schalen, erforderlich. In Bild 7 sind zwei Beispiele zur möglichen Ausführung der Wandarten dargestellt.

4.5.2 Reihenhäuser

Aus Schallschutzgründen werden bei Reihenhäusern zweischalige Haustrennwände hoher Rohdichte mit durchgehender Trennfuge gebaut.

Aus brandschutztechnischer Sicht werden bei derartigen Wänden je nach Lage im Gebäude und nach Landesbauordnung unterschiedliche Anforderungen gestellt. Es können Gebäudetrennwände zur Bildung von 40 m langen Brandabschnitten oder Gebäudeabschlusswände gefordert werden.

Zweischalige Haustrennwände/Gebäudeabschlusswände aus Mauerwerk mit oder ohne Dämmschicht/Luftschicht sind Wände, die nicht miteinander verbunden sind und daher keine Anker besitzen. Bei tragenden Wänden bildet jede Schale für sich jeweils das Endauflager einer Decke/eines Daches, siehe auch Bild 7.

Für Wohngebäude mit nicht mehr als zwei Wohnungen und bis zu zwei Vollgeschossen in offener Bauweise bzw. für Wohngebäude geringer Höhe sind anstelle von Brandwänden oder feuerbeständigen Wänden – je nach Landesbauordnung – auch Gebäudeabschlusswände zulässig, die von innen nach außen feuerhemmend und von außen nach innen feuerbeständig sein müssen.

Bei versetzter Gebäudeanordnung werden in den nicht überlappenden Bereichen der Gebäude an der Grundstücksgrenze Brandwände oder feuerbeständige Wände jeweils mit feuerbeständiger Aussteifung gefordert. Auf der Grundlage der alten Richtlinien für die Verwendung brennbarer Baustoffe im Hochbau mussten bei derartigen Gebäuden

- nicht bekleidete Bauteiloberflächen,
- Außenwandbekleidung,
- großflächige Unterkonstruktionen,
- Dämmschichten unter Bekleidungen

in bestimmten Bereichen der unmittelbar aneinander grenzenden Gebäude aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen, siehe Bild 8.

Die Regeln der Richtlinie wurden in die Landesbauordnungen überführt. Es ist jeweils im Einzelfall zu klären, welche Anforderung tatsächlich maßgebend ist. Aufgrund der Landesbauordnungen muss darauf hingewiesen werden, dass der Entwurfsverfasser mit seiner Unterschrift auch für den gesetzlich erforderlichen Brandschutz verantwortlich ist bzw. die Verantwortung übernommen hat.

Für Reihenhaustrennwände können sowohl tragende als auch nicht tragende Kalksandsteinwände eingebaut werden. In der Regel werden diese zweischalig ausgeführt. Die Feuerwiderstandsklasse muss in Abhängigkeit von der Gebäudeklasse der Anforderung der jeweiligen Landesbauordnung entsprechen. Die Regeln zur nichtbrennbaren Dämmung im Bereich der Gebäudetrennwände sind Länderweise unterschiedlich geregelt, und zwar von nur 10 cm bis zu 1 m Breite.

4.5.3 Grenzbebauung

Bei einer Grenzbebauung sind die Anforderungen an die Ausführungsdetails von Brandwänden im Dachbereich üblicherweise bekannt und bautechnisch relativ einfach lösbar. Bei Reihenhäusern mit übergreifenden Dächern, versetzten Höhen, durchlaufenden Ortgängen oder giebelständig angeordneten Reihenhäusern müssen die Ausführungsdetails rechtzeitig geplant werden. Auf diese Details wurde früher häufig nicht geachtet. Dies hat bei Bränden dazu geführt, dass das Feuer auf die unmittelbar angrenzenden Gebäude übergegriffen hat.

Das Ziel muss sein, dass das Feuer von einem Gebäude nicht zum angrenzenden, nächsten überspringt oder weitergeleitet wird. Problematisch ist auch, wenn Dächer belüftet werden und die Lüftungsschlitze sich aufgrund von Dachüberständen bereits auf dem anderen Grundstück befinden, weil die Außenwand auf der Grenze steht. Der gemäß Bauordnung festgeschriebene Nachbarschutz muss brandschutztechnisch sichergestellt werden.

INFO

Alle Anforderungen einer Grenzbebauung können mit Kalksandsteinwänden erfüllt werden. Je nach Gebäudeklasse müssen hochfeuerhemmende, feuerbeständige Kalksandsteinwände oder Kalksandstein-Brandwände ausgeführt werden.

In Bild 9 sind Beispiele für Anschlüsse von Brandwänden an Dächer dargestellt. Weitere Beispiele sind der Literatur, z.B. [10], [11], zu entnehmen.

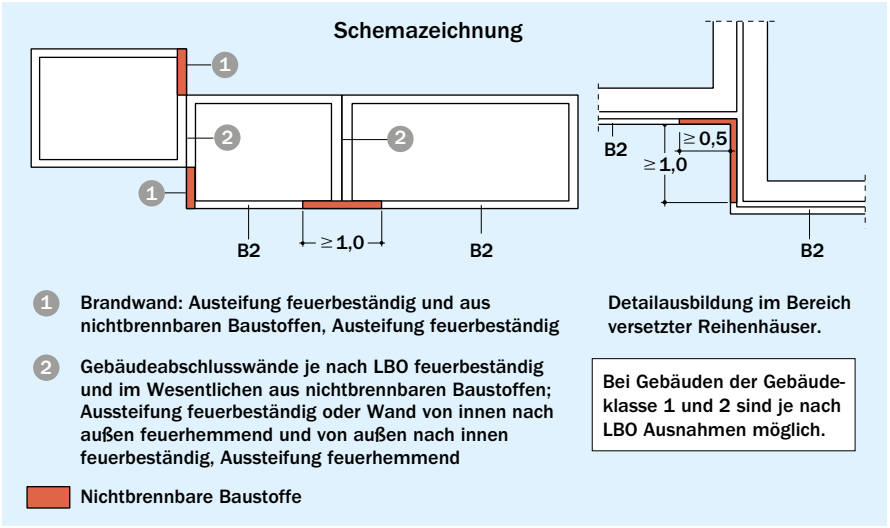


Bild 8 Beispiele für Regeln im Bereich der Gebäudetrennwände

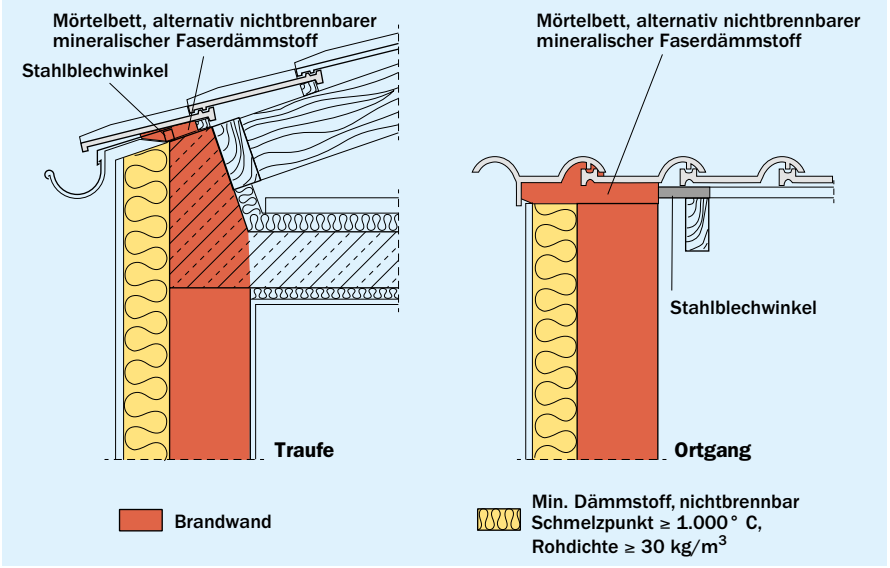


Bild 9 Dachanschlüsse – Traufe, Ortgang – bei Gebäudeabschlusswänden bei Grenzbebauung (Beispiele)

4.6 Brandwände

4.6.1 Grundlagen

Brandwände werden nach DIN EN 1364-1 oder DIN EN 1365-1 in Verbindung mit DIN EN 1363-2 geprüft und sind damit nachgewiesen. Weitere Nachweise, z.B. rechnerische Nachweise hinsichtlich der Stoßbeanspruchung, sind nicht erforderlich und auch nicht zulässig.

Brandwände müssen nach nationalem Baurecht folgende erhöhte Anforderungen erfüllen:

- Sie müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen.
- Sie müssen mindestens die Anforderungen feuerbeständig – Feuerwiderstandsdauer 90 Minuten – erfüllen.



Bild 10 **Durch Brand verformte Stahlkonstruktion vor unversehrter Kalksandsteinwand**



Bild 11 **Durch einen Brand verkohlte Holzkonstruktion vor einer unversehrten Kalksandsteinwand; wegen ungetrennten Dachanschlüssen wurde das Feuer weitergeleitet.**

Tafel 18 **Bauaufsichtliche Anforderungen an Brandwände**

Bauteile	Bauaufsichtliche Anforderungen	Anforderungen nach	
		DIN 4102	DIN EN 13501-2
Brandwände	feuerbeständig + nichtbrennbar + Stoßbeanspruchung 3 · 3.000 Nm	Brandwand	REI-M 90 nbb[1)] EI-M 90 nbb[1)]
Tragende und aussteifende Bauteile	feuerbeständig	F 90-AB	REI 90 im Wesentlichen nbb
Anzahl von Öffnungen	unbegrenzt		
Verschluss von Öffnungen	feuerbeständige Feuerschutzabschlüsse – Türen, Tore, Förderbahnabschlüsse, etc. (selbstschließend) feuerbeständige Brandschutzverglasungen feuerbeständige Kabelabschottungen feuerbeständige Rohrabschottungen feuerbeständige Brandschutzklappen	T 90 F 90 S 90 R 90 L 90	$EI_2$90-C.. EI 90 EI 90 EI 90-U/U EI 90($v_e h_o i \leftrightarrow o$)-S
Anordnung von Brandwänden	an der Nachbargrenze zwischen aneinander gereihten Gebäuden innerhalb ausgedehnter Gebäude in Abhängigkeit von der Gebäudehöhe und Dacheindeckung[2)]: ≤ 3 Vollgeschosse bis unter die Dachhaut > 3 Vollgeschosse mindestens 30 cm über Dach weiche Bedachung mindestens 50 cm über Dach Bauteile dürfen soweit eingreifen, wenn der Restquerschnitt der Wände feuerbeständig dicht und standsicher bleibt.	–	–

[1)] nbb = nichtbrennbar
[2)] Siehe auch Landesbauordnung

- Brandwände müssen unter einer dreimaligen Stoßbeanspruchung – Pendelstöße mit 3.000 Nm Stoßarbeit (200 kg Bleischrotsack) – standsicher und raumabschließend bleiben.
- Brandwände müssen die vorstehend genannten Anforderungen auch ohne Bekleidung erfüllen.

Ganz wichtig ist hierbei, dass die Stoßbeanspruchung ein reines Prüfkriterium ist, siehe auch Bild 12. Diese Stoßbeanspruchung muss nicht durch einen zusätzlichen statischen Nachweis belegt werden. Die Wand ist durch Prüfung und Klassifizierung „Brandwand“ nachgewiesen und erfüllt damit das Stoßkriterium. Dies gilt auch für dreiseitig gehaltene nicht tragende Wände mit freiem oberen Rand. Nur die statisch-konstruktiv zur Halterung der Ränder erforderlichen angrenzenden Bauteile müssen die Anforderung „feuerbeständig“ (Feuerwiderstandsdauer 90 Minuten) erfüllen.

4.6.2 Anforderungen an Brandwände nach den Landesbauordnungen

Für Brandwände ist nicht nur entscheidend, dass sie den Prüfanforderungen entsprechen, sondern auch, dass sie in der Praxis richtig angeordnet und ausgeführt werden. Brandwände werden u.a. auf Grundstückgrenzen, zur Trennung bestimmter Gebäude, z.B. „sonstige Gebäude“ oder zur Bildung von Brandabschnitten in bestimmten Abständen, erforderlich.

In Bild 13 wird anhand eines Gebäudegrundrisses (Beispiel) dargestellt, wo Brandwände gefordert werden.

Da Brandwände brandschutztechnisch eine sehr wesentliche Funktion haben, werden zusätzliche erhöhte Anforderungen im Bereich der Brandwände gestellt, z.B. an den Verschluss von Öffnungen. In Tafel 18 sind die wesentlichen brandschutztechnischen Anforderungen im Bereich von Brandwänden zusammengefasst.

Die Normen unterscheiden nicht zwischen tragenden und nicht tragenden Brandwänden. Bild 15 zeigt eine Kalksandstein-Brandwand nach einem Brand. Abgesehen von Einbaumängeln im Bereich des Dachanschlusses sowie bei Durchführungen hat die Kalksandsteinwand einwandfrei ihre Anforderung beim tatsächlichen Brand erfüllt und dies so-

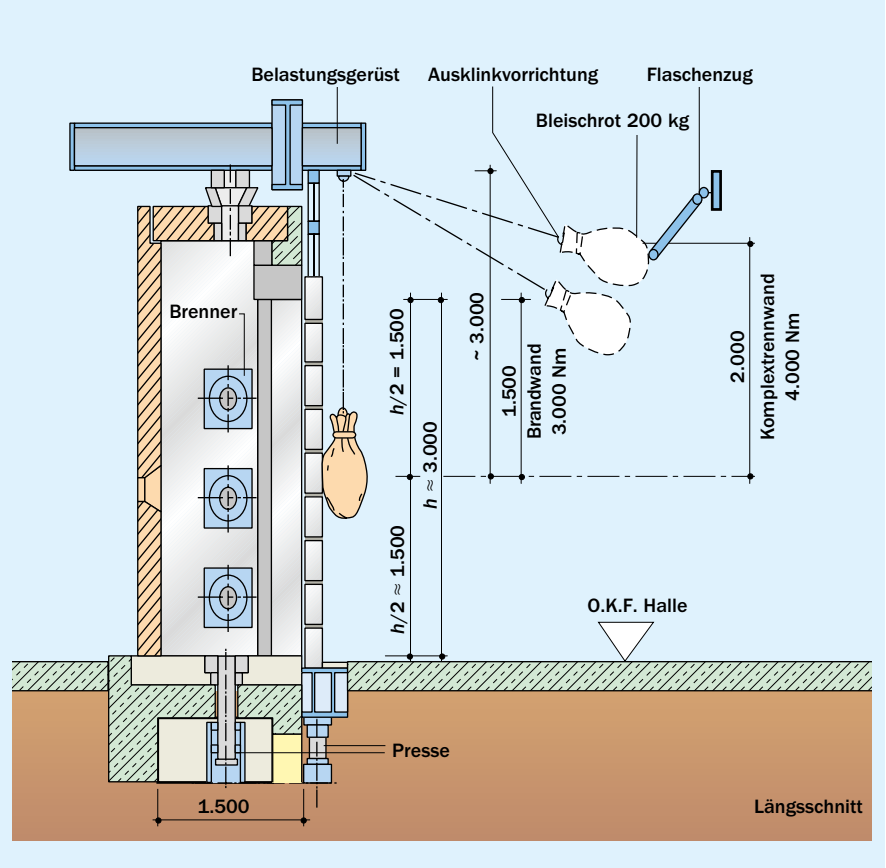


Bild 12 Prüfanordnung für Brandwände und Komplextrennwände nach den Prüfnormen

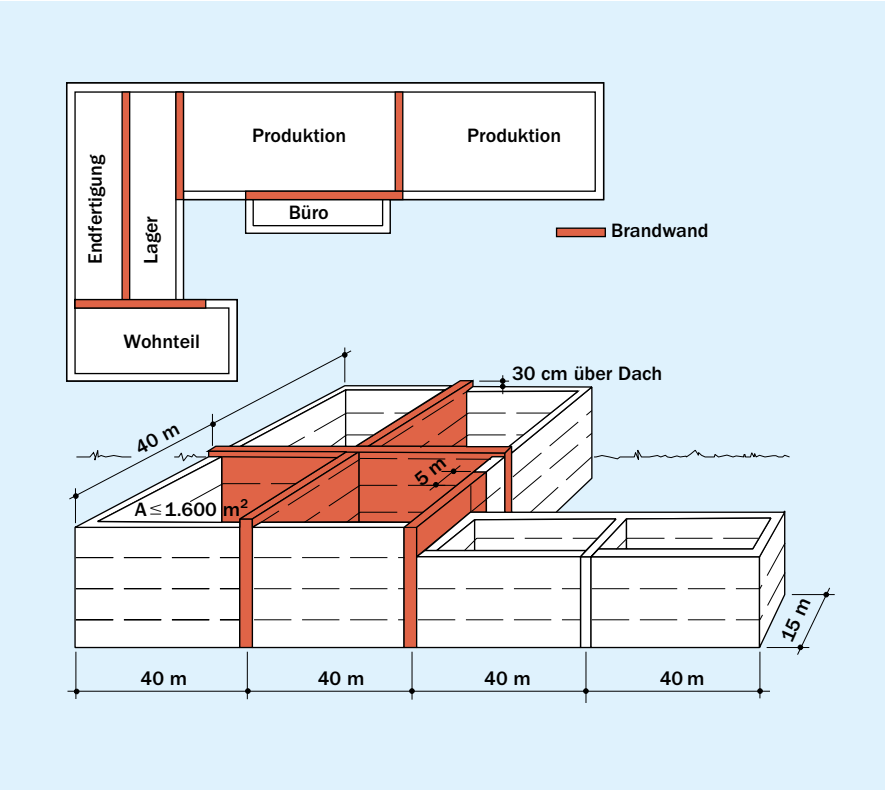


Bild 13 Anordnung von Brandwänden innerhalb von Gebäuden (Beispiel)

gar bei einer außerplanmäßigen, nicht gewollten zweiseitigen Brandbeanspruchung sowie mit Sicherheit bei einer längeren Brandbeanspruchung als 90 min.

Auch beim Einbau von KS-Wärmedämmsteinen am Wandfuß und Wandkopf geht die Klassifizierung von KS-Brandwänden nicht verloren. Dies wurde in [12] nachgewiesen und in den früher für diese Steine erforderlichen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen entsprechend bestätigt. Heute erfüllen auch KS-Wärmedämmsteine alle Anforderungen nach DIN EN 771-2 bzw. DIN 20000-402 und dürfen daher wie alle anderen Kalksandsteine ohnehin im gesamten Anwendungsbereich von DIN EN 1996 verwendet werden.

4.6.3 Anschlüsse von Brandwänden

Alle in DIN 4102-4 Abschnitt 9.8 aufgeführten Anschlüsse dürfen auch bei tragenden und nicht tragenden Brandwänden ausgeführt werden. Entsprechend DIN 4102-4 ist es ausreichend, wenn die Anschlussfugen vollfugig mit Mörtel nach DIN EN 1996-1-1 bzw. DIN EN 1996-3 oder Beton nach DIN EN 1992-1-1 verfüllt werden.

Für Anschlüsse von Kalksandstein-Brandwänden an angrenzende Massivbauteile können auch die in Tafel 16 und 17 dargestellten und aus DIN 4102-4 übernommenen Anschlüsse verwendet werden. Brandwände aus Mauerwerk müssen sowohl im nationalen als auch europäischen Prüfverfahren beim 3. Stoß immer frei stehen, so dass auch Anschlüsse nur für den Raumabschluss ausreichend sind, wenn aus statisch-konstruktiver Sicht keine weiteren Anforderungen gestellt werden, vergleiche auch Bild 16.

In den Bildern 7, 9, 16 bis 18 und den Tafeln 16 sowie 17 sind die empfohlenen Ausführungsdetails im Dachbereich sowie zu Bauteilabschlüssen gezeigt. Diese sind zu beachten, da gerade hier häufig Fehler gemacht werden. Weitere Anschlüsse können DIN 4102-4 entnommen werden. In Bild 15 sind die Auswirkungen falscher Ausführung von Anschlüssen im Bereich von Kalksandsteinwänden deutlich erkennbar. In Bild 19 sind Beispiele von Bauteilanschlüssen dargestellt, die zu beachten sind.

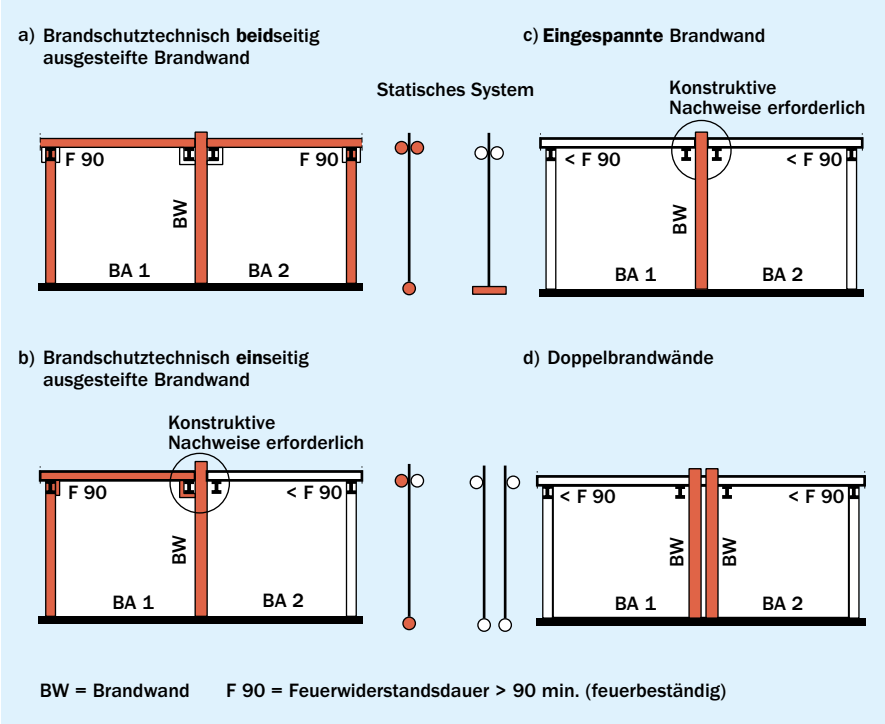


Bild 14 Aussteifungsmöglichkeiten von Brandwänden (Beispiele)



Bild 15 Eine Brandwand aus Kalksandstein-Mauerwerk hat die Brandausbreitung auf weitere Gebäudeteile verhindert.

4.6.4 Öffnungen in Brandwänden

Nach den Landesbauordnungen sind Öffnungen in Brandwänden unzulässig. Dies gilt insbesondere für Außenwände auf Grundstücksgrenzen.

Wenn die Nutzung des Gebäudes oder notwendige Rettungsmaßnahmen es erfordern, können Öffnungen in inneren Brandwänden erlaubt oder verlangt werden. Die Öffnungen müssen mit selbstschließenden, feuerbeständigen Abschlüssen, z.B. Türen T 90, Lüftungsleitungen L 90, Klappen in Lüftungsleitungen K 90 oder Abschottungen von Kabeldurchführungen S 90 und von Rohrdurchführungen R 90 nach DIN 4102 oder den entsprechenden zahlreichen europäischen Prüfnormen verschlossen werden. Die Wände und Decken anschließender Räume müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen hergestellt werden.

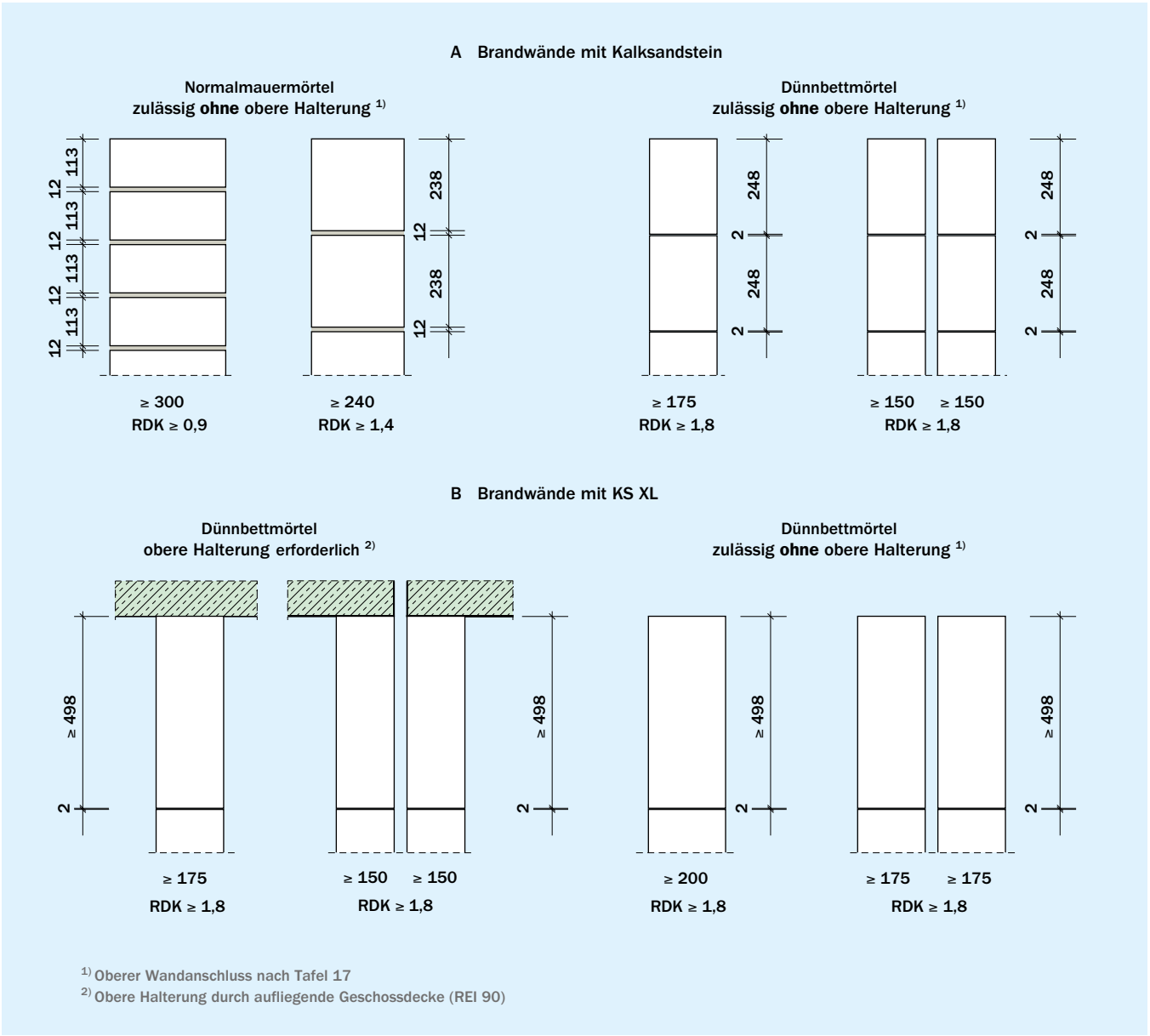


Bild 16 Halterungen von Brandwänden aus Kalksandstein-Mauerwerk

Dehnungsfugen in Brandwänden sind so zu verschließen, dass Bewegungen der einzelnen Bauteile möglich sind. Die raumabschließende Funktion der Brandwand muss jedoch voll erhalten bleiben. Die Fugen sind, ausgenommen die äußere Versiegelung, in voller Fugentiefe mit nichtbrennbarem Material bzw. mit nach DIN 4102-2 oder DIN EN 1366-4 nachgewiesenen Fugenabdichtungen zu verschließen. Brennbare bituminöse Weichfaserplatten dürfen in Brandwänden nicht verwendet werden.

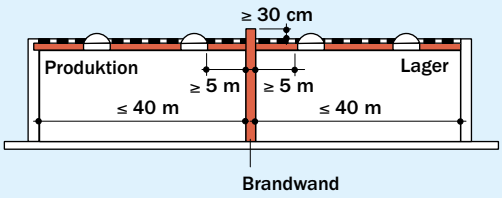
Die Errichtung einer Brandwand an brandschutztechnisch sinnvoller Stelle stellt heute kein größeres Problem dar, da für fast alle gewünschten betriebstechnischen Öffnungen und Durchlässe zahlreiche feuerbeständige Abschlüsse zur Auswahl stehen.

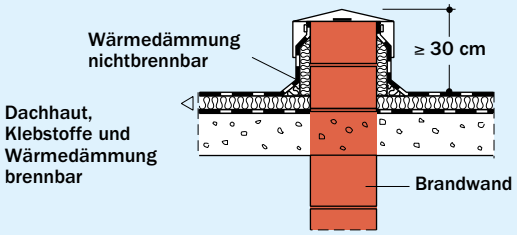
Mindestabmessungen von Brandwänden nach DIN EN 1996-1-2/NA sind in Tafel 29 zusammengefasst.

4.6.5 Aussteifung von Brandwänden

Eine sehr wesentliche Anforderung an Brandwände ist die Aussteifung. Nach DIN EN 1996-1-2 muss die Aussteifung von Brandwänden – z.B. aussteifende Querwände, Decken, Riegel, Stützen oder Rahmen – mindestens die gleiche Feuerwiderstandsdauer wie die Wand (90 Minuten) haben. Unabhängig davon, in welchem Brandabschnitt der Brand auftritt, muss gemäß LBO die Aussteifung der Brandwände über einen Zeitraum vom mindestens 90 min. gewährleistet werden. Diese Forderung führt zu Schwierigkeiten in der Ausführung, insbesondere bei Industriebauten oder Dachgeschossen im Wohnungsbau sowie auch bei nachträglichen baulichen Erweiterungen, weil an die angrenzenden Bauteile geringere oder auch gar keine brandschutztechnischen Anforderungen gestellt werden bzw. wurden.

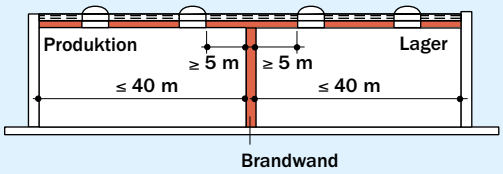
Gebäude mit feuerbeständigen Dachkonstruktionen und unbekiester Bedachung

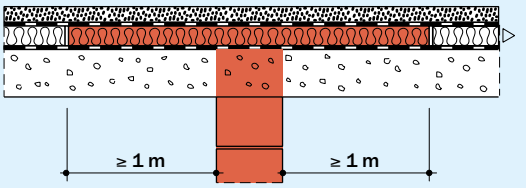




Brennbare Dachbahnen und andere brennbare Bauteile dürfen nicht in die Brandwand eingreifen oder über diese hinwegführen.

Gebäude mit feuerbeständigen Dachkonstruktionen und bekiester Bedachung

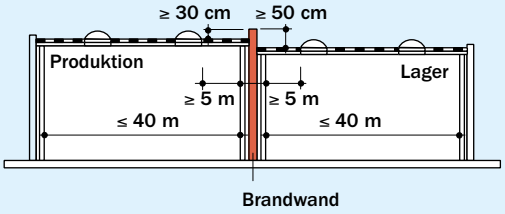


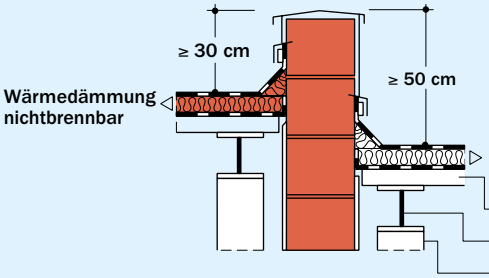


Dachhaut, Klebstoffe und Wärmedämmung brennbar

Wärmedämmung auf einer Breite von mind. 1 m beidseits der Brandwand nichtbrennbar

Gebäude mit unbekiesten Trapezblechdächern

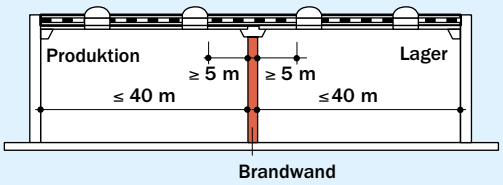


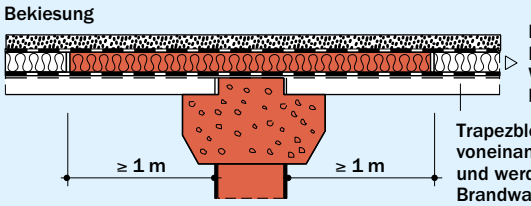


Brennbare Dachbahnen und andere brennbare Bauteile dürfen nicht in die Brandwand eingreifen oder über diese hinwegführen.

Wärmedämmung brennbar

Gebäude mit bekiesten Trapezblechdächern



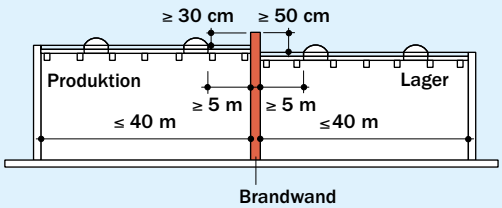


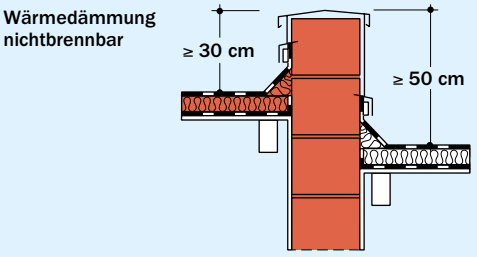
Dachhaut, Klebstoffe und Wärmedämmung brennbar

Trapezbleche liegen voneinander getrennt und werden von der Brandwand unterbrochen.

Wärmedämmung auf einer Breite von mind. 1 m beidseits der Brandwand nichtbrennbar

Gebäude mit Papp- oder gleichwertigen Bahnendächern





Brennbare Dachbahnen und andere brennbare Bauteile dürfen nicht in die Brandwand eingreifen oder über diese hinwegführen.

Wärmedämmung brennbar

Gebäude mit weicher Bedachung

Als weich gilt jede brennbare Bedachung, für die nicht der Nachweis erbracht ist, dass sie gegen Flugfeuer und strahlende Wärme widerstandsfähig ist.

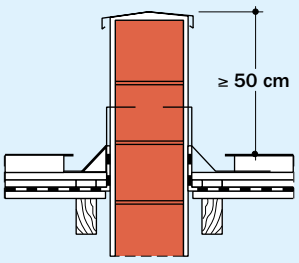
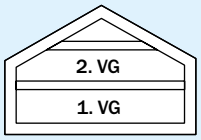
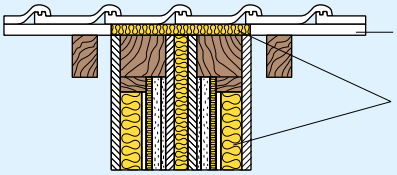


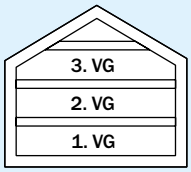
Bild 17 Brandwände im Dachbereich – Industriebau; Auszug aus: Bayerische Versicherungskammer München, Brandwände und Öffnungen in Brandwänden, Anforderungen und Ausführung

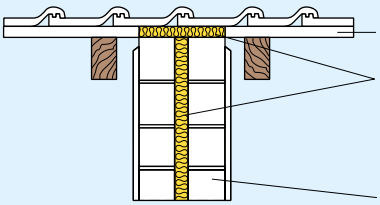
Wohngebäude ≤ 2 VG ≤ 2 Whg.
mit höchstens zwei Wohnungen und bis zu zwei Vollgeschossen in offener Bauweise.
Wände ohne Öffnungen, die vom Gebäudeinneren die Anforderung der Feuerwiderstandsklasse F 30-B und vom Gebäudeäußeren die der Feuerwiderstandsklasse F 90-B erfüllen.



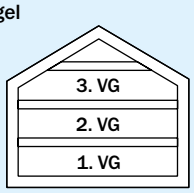


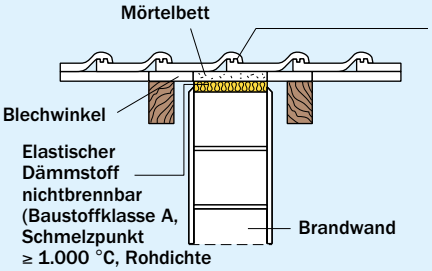
Wohngebäude ≤ 3 VG
mit bis zu drei Vollgeschossen.





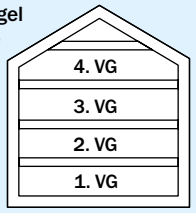
Gebäude (keine Wohngebäude) ≤ 3 VG
mit bis zu drei Vollgeschossen, ausgenommen Gebäude mit erhöhter Brandgefahr.
Als erhöht brandgefährlich gelten in der Regel Industriegebäude (abhängig von der Art der Produktion oder Lagerung).

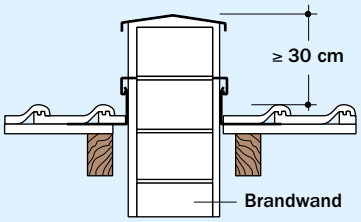




Gebäude > 3 VG
mit mehr als drei Vollgeschossen
Gebäude mit erhöhter Brandgefahr.
Als erhöht brandgefährlich gelten in der Regel Industriegebäude (abhängig von der Art der Produktion oder Lagerung).







Gebäude ...
mit Dachaufbauten
(z.B. Dachgauben)
oder Öffnungen
(z.B. Dachfenster
in der Dachhaut)
(s. LBO)

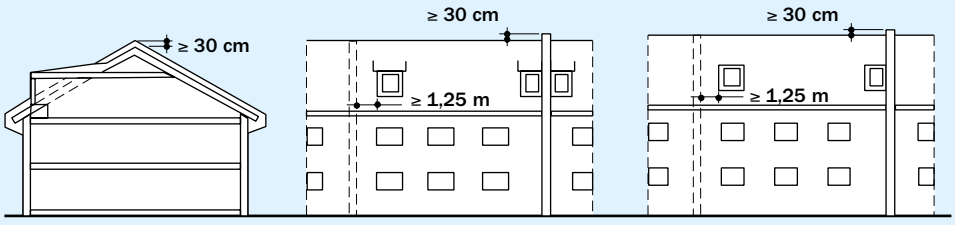
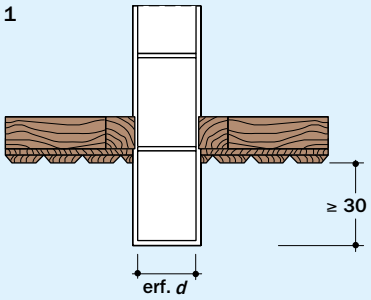


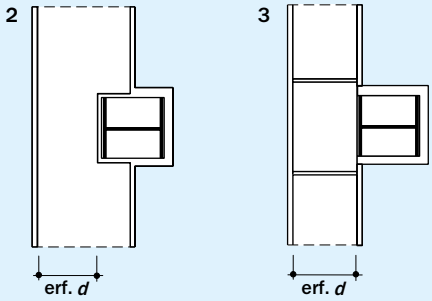
Bild 18 Brandwände im Dachbereich – Wohnungsbau (Länderunterschiede möglich), Auszug aus: Bayerische Versicherungskammer München, Brandwände und Öffnungen in Brandwänden, Anforderungen und Ausführung

Brandwände zwischen Holzaußenwänden



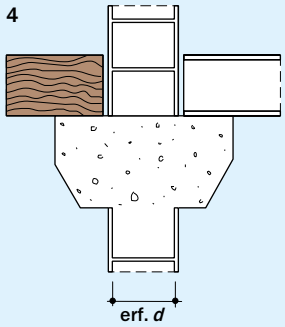
Bauteile aus brennbaren Baustoffen dürfen nicht in Brandwände eingreifen oder Brandwände überbrücken. Brandwände müssen bei Gebäuden mit Außenwänden aus brennbaren Baustoffen 30 cm vor der Außenwand geführt werden.

Stahlstützen an und in Brandwänden



Stahlstützen, die unmittelbar vor oder in einer Brandwand stehen, sind feuerbeständig zu ummanteln, damit sie im Brandfall ihre aussteifende Funktion gewährleisten.

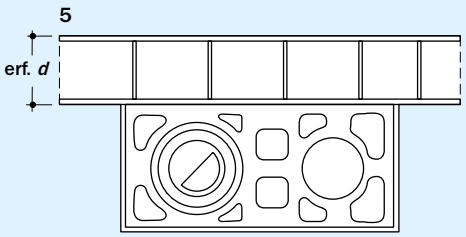
Trennung von Längspfetten



Längspfetten aus Holz oder Stahl dürfen nicht in Brandwände eingreifen.

erf. *d* gemäß Tafel 29

Schornsteine an Brandwänden



Beim Anschluss von Schornsteinen an Brandwände darf aus Gründen der Standsicherheit die Mindestwanddicke der Brandwände nicht verringert werden. Das Gleiche gilt auch für Nischen, Einbauten etc.

Bild 19 Bauteilanschlüsse an Brandwände

Tafel 19 Versicherungstechnische Anforderungen an Komplextrennwände

Bauteile	Anforderungen
Komplextrennwände	F 180-A + Stoßbeanspruchung 3 · 4.000 Nm
Tragende und aussteifende Bauteile	F 180-A
Anzahl von Öffnungen	max. vier pro Geschoss, Gesamtfläche ≤ 22 m², Beschränkung auf unbedingt notwendiges Maß
Verschluss von Öffnungen	feuerbeständige Feuerschutzabschlüsse – Türen, Tore, Förderbahnabschlüsse etc. (selbstschließend) feuerbeständige Brandschutzverglasungen nur in zwingenden Ausnahmefällen
Anordnung von Komplextrennwänden	unversetzt durch alle Geschosse mind. 50 cm über Dach des höheren Gebäudes Bauteile dürfen weder in Komplextrennwände eingreifen, noch diese überbrücken.

In Bild 14 werden Lösungsmöglichkeiten am Beispiel von Industriebauten vorgestellt, die Brandwände ausreichend aussteifen:

a) Brandschutztechnisch beidseitig ausgesteifte Brandwände sind der bekannte Regelfall. Es werden ohne besonderen Nachweis oben und unten gelenkig gelagerte Brandwände in ein Bauwerk integriert und die aussteifende Tragkonstruktion auf beiden Seiten der Wände wird feuerbeständig – Feuerwiderstandsdauer 90 Minuten – ausgelegt.

b) Brandschutztechnisch einseitig ausgesteifte Brandwände können ausgeführt werden, wenn ein konstruktiver Nachweis vorgelegt wird, der gewährleistet, dass im Brandfall bei einem Versagen der Tragkonstruktion mit einer Feuerwiderstandsdauer < 90 min. die Standsicherheit der Brandwand durch einstürzende Bauteile nicht gefährdet wird.

c) Bei im Fußpunkt eingespannten Brandwänden ist sicherzustellen, dass die Anschlüsse der Tragkonstruktionen mit Feuerwiderstandsdauern < 90 min. so ausgebildet werden, dass einstürzende Bauteile keine Zwangskräfte auf die Brandwand ausüben, die zum vorzeitigen Einsturz führen können.

d) Bei Doppelbrandwänden (zwei komplette Brandwände nebeneinander gesetzt) können beidseitig Tragkonstruktionen ohne brandschutztechnische Anforderungen anschließen, da bei dem Einsturz eines Brandabschnittes mit der dazugehörigen Brandwand die zweite Brandwand ohne weiteren Nachweis stehen bleibt und durch die Bauteile des nicht brandbeanspruchten Brandabschnittes ausgesteift wird.

Anders sind zweischalige Brandwände REI-M bzw. EI-M zu betrachten. Sie dürfen nicht mit den Doppelbrandwänden verwechselt werden. Die zweischaligen Brandwände müssen grundsätzlich beidseitig brandschutztechnisch ausgesteift werden, weil nur beide Schalen zusammen die Anforderung Brandwand erfüllen.

Bei Brandwänden in Dachgeschossen im Wohnungsbau wird es als ausreichend betrachtet, dass bei gemeinsamer Brandwand die dem Feuer abgelegene Seite

als ausreichende Aussteifung angesetzt wird, weil der Holzdachstuhl im Brandbereich verbrennt. Damit wirken im Brandfall keine zusätzlichen Zwangskräfte auf die Brandwand. Die nur einseitig durch den Holzdachstuhl im nicht Brandbereich gehaltene Giebelwand bleibt stehen, d.h. die Standsicherheit und der Raumabschluss wird gewährleistet. Nachgewiesen ist dies durch den 3. Stoß der Stoßbeanspruchung auf die freistehende Wand in der Brandprüfung. Außerdem wurde für 6 m hohes, nicht tragendes Kalksandstein-Mauerwerk sogar mit mehr als vier Stößen auf die freistehende Wand die Standsicherheit und der Raumabschluss nachgewiesen. In der Praxis wurde diese Funktionstüchtigkeit auch bei den großen Stadtbränden sowie im 2. Weltkrieg in den Städten nachgewiesen.

Zur Aussteifung von Brandwänden können feuerbeständige Kalksandsteinwände eingesetzt werden. Alternativ kann die Aussteifung durch feuerbeständige Stahlbetonstützen oder feuerbeständige, bekleidete Stahlstützen erfolgen.

4.7 Komplextrennwände

4.7.1 Grundlagen

Komplextrennwände sind Wände, die versicherungstechnisch definiert sind. Die Bestimmungen der Sachversicherer sind in Tafel 19 zusammengefasst. Besonders ist zu beachten, dass die Feuerwiderstandsdauer von 180 min. auch für die aussteifenden Bauteile gefordert wird und damit das gesamte Gebäude eine Feuerwiderstandsdauer von 180 min. aufweisen muss. Komplextrennwände müssen zudem unversetzt durch alle Geschosse gehen. Bauteile dürfen in diese Wände weder eingreifen noch diese überbrücken.

Die vorstehenden Anforderungen werden häufig nicht beachtet. Dann ist die Wand selbst von ihrer Ausführung her zwar eine Komplextrennwand, aber das Gesamtsystem funktioniert nicht. Damit ist dann auch der Versicherungsschutz verloren bzw. besteht erst gar nicht.

Da Komplextrennwände im Baurecht nicht aufgeführt sind, werden sowohl in DIN 4102-4 als auch in DIN EN 1996-1-2/NA keine Angaben zu derartigen Bauteilen gemacht. Auch europäisch existiert eine solche Anforderung nicht. Lediglich das Prüfverfahren ist in einer Fußnote der deutschen Norm DIN 4102-3 beschrieben. Daher gibt der Verband der Sachversicherer (VdS) Broschüren heraus [10], aus denen von den Versicherern anerkannte Nachweise entnommen werden können.

4.7.2 Komplextrennwände aus Kalksandstein-Mauerwerk

Nach den Angaben der Sachversicherer [10] werden derzeit 36,5 cm (einschalig) bzw. 2 x 24 cm (zweischalig) dicke Kalksandsteinwände mit Normalmauermörtel II, IIa oder III auch ohne Vermörtelung der Stoßfugen als Komplextrennwände eingestuft. Außerdem wurden 24 cm dicke, nicht tragende Kalksandsteinwände, Rohdichte ≥ 1,6, mit Dünnbettmörtel in den Lagerfugen, bis zu einer Wandhöhe von 6 m als Komplextrennwände geprüft und eingestuft. Weitere Nachweise sind [13] zu entnehmen.

4.7.3 Öffnungen in Komplextrennwänden

Öffnungen in Komplextrennwänden sind auf das für die Nutzung des Gebäudes unbedingt notwendige Maß zu beschränken.

Pro Geschoss dürfen nicht mehr als vier Öffnungen (einschließlich Schlupftüren) mit insgesamt 22 m² Fläche vorhanden sein. Feuerbeständige Brandschutzverglasungen sollen nur dann eingebaut werden, wenn dies aus zwingenden Gründen für einen Betriebsablauf erforderlich ist, da die Stoßfestigkeit 200mal geringer als bei Komplextrennwänden ist.

Ansonsten wurde von den Versicherungen akzeptiert, dass nur feuerbeständige Türen oder Tore eingebaut werden, weil es bisher keine Zulassungen für Feuerschutzabschlüsse mit 180 min. Feuerwiderstand gibt. Da also bisher keine Anforderung bestand, wurde von den Türherstellern auch nicht geprüft. Bei höheren Brandlasten werden jetzt jedoch vereinzelt hochfeuerbeständige Türen oder Tore bzw. solche mit einer Feuerwiderstandsdauer von 120 min. gefordert. Dies wird im Einzelfall in Abstimmung mit der Versicherung festgelegt.

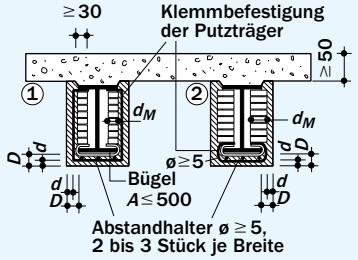
4.8 Sonstige Anwendungen mit Kalksandstein

4.8.1 Bekleidungen aus Kalksandstein-Mauerwerk für Stahlbauteile

DIN 4102-4 enthält Angaben zu Bekleidungen für Stahlbauten u.a. aus Mauerwerk.

Die Angaben in Tafel 20 gelten für statisch bestimmt oder unbestimmt gelagerte, auf Biegung beanspruchte, bekleidete Stahlträger nach DIN EN 1993-1-1 mit maximal dreiseitiger Brandbe-

Tafel 20 **Mindestdicke d_M in mm in der Ausmauerung von Stahlträger mit Putzbekleidung der Untergurte[1] nach DIN 4102-4**

Platten oder Hohldielen nach DIN 4102-4 Abschnitt 5.4 bis 5.6	Mindestdicke d_M[2][3] der Ausmauerung für die Feuerwiderstandsklasse-Benennung				
Mauerwerk nach DIN EN 1996-2 aus Kalksandsteinen nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN 20000-402	F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A	F 180-A
	50	50	50	70	115
					

[1] Die Mindestputzdicken d und D für den Bereich der Untergurte sind den Angaben nach DIN 4102-4, Tabelle 90 zu entnehmen.
[2] Bei hohen Trägern können aus Gründen der Standsicherheit ggf. größere Dicken notwendig werden.
[3] Lochungen von Steinen dürfen nicht senkrecht zum Trägersteg verlaufen.

Tafel 21 Mindestbekleidungsdicke *d* in mm von Stahlstützen mit U/A ≤ 300 m^{-1} mit einer Bekleidung aus KS-Mauerwerk nach DIN 4102-4

Bekleidung aus	Feuerwiderstandsklasse-Benennung				
	F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A	F 180-A
Mauerwerk nach DIN EN 1996-2 unter Verwendung von Kalksandsteinen nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN 20000-402	50 (50)	50 (50)	70 (50)	70 (70)	115 (70)

Die ()-Werte gelten für Stützen aus Hohlprofilen, die vollständig ausbetoniert sind, sowie für Stützen mit offenen Profilen, bei denen die Flächen zwischen den Flanschen vollständig ausbetoniert, vermörtelt oder ausgemauert sind.

anspruchung. Eine dreiseitige Brandbeanspruchung liegt vor, wenn die Oberseite der Träger durch Stahlbetonplatten oder Hohldielen mit jeweils der mindestens geforderten Feuerwiderstandsklasse vollständig abgedeckt ist.

Die Angaben in Tafel 21 gelten für bekleidete Stahlstützen nach DIN EN 1993-1-1 mit weniger als vierseitiger Brandbeanspruchung. Bekleidungen aus Kalksandstein-Mauerwerk müssen im Verband errichtet werden und die angegebenen Mindestdicken besitzen. Lochungen von Steinen dürfen nicht senkrecht zur Stützenlängsachse verlaufen. Die Bekleidung darf unmittelbar am Stahl anliegen. Die Bekleidungen sind durch eingelegte Stahlbügel mit einem Durchmesser ≥ 5 mm mindestens in Abständen von 250 mm in der Bekleidungsmitte zu bewehren. Diese Bewehrung ist nicht erforderlich, wenn die Stützen in ganzer Höhe in Wände nach DIN EN 1996-1-2/NA eingebaut werden und die an den Stützen vorbeigeführten Wandteile mit der in Tafel 21 angegebenen Mindestdicke durch Verband mit den angrenzenden Wandteilen verbunden sind.

4.8.2 Kalksandstein-Ausfachungswände

Für Ausfachungswände gelten die Anforderungen an nicht tragenden Wände.

4.9 Haustechnische Aspekte

Im Wohnungsbau sind haustechnische Aspekte relativ einfach zu lösen – solange es sich um Massivbauten wie mit Kalksandstein – handelt. Hier sind lediglich Rohrleitungen für Sanitär und Heizung und Elektroleitungen für Beleuchtung und Steckdosen zu führen. Bei den Rohrleitungen handelt es sich bisher in der Regel um nichtbrennbare Rohre, ausgenommen Abwasserleitungen, die teilweise aus Kunststoffen errichtet werden. Bei den Elektroleitungen handelt es sich um vergleichsweise wenige Leitungen. Anders sieht es schon bei den vergleichbaren Gebäuden, den Bürogebäuden aus. Hier wird heute sehr viel Haustechnik, insbesondere Lüftungstechnik sowie Elektrokabel und Datenleitungen, verlegt. Damit wächst das Brandrisiko einerseits durch die Brandlast und andererseits durch die Brandweiterleitung, wenn keine fachgerechte Bildung von Brandabschnitten mit Abschottungen erfolgt. Bei einer Massivbauweise, wie mit Kalksandsteinen, ist es relativ einfach, fachgerechte Anschlüsse und Abschottungen zu bauen.

Bei Sonderbauten spielt sich der Brandschutz mittlerweile im Wesentlichen im Ausbau ab, weil der Massivbau leider reduziert wird und der Trockenbau sowie die Haustechnik immer umfangreicher werden. Diesem Umstand haben auch die Bauaufsichten der Länder Rechnung getragen, weitere Vorschriften in der ARGEBau entwickelt und als Muster-Richtlinien veröffentlicht:

- Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Leitungsanlagen (Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie MLAR). Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz
- Muster-Richtlinie über die brandschutztechnischen Anforderungen an Lüftungsanlagen (MLüAR)
- Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Hohlraumestriche und Doppelböden (HohlrER).
- Richtlinie über automatische Schiebetüren in Rettungswegen (AutSchR)
- Richtlinie über elektrische Verriegelungssysteme von Türen in Rettungswegen(EltVTR)

Diese Richtlinien wurden als Muster-Richtlinien in den Mitteilungsblättern des DIBt veröffentlicht, werden jetzt im Internet unter www.is-argebau.de in der jeweils aktuellen Fassung zur Verfügung gestellt und sind damit Stand der Technik. Von den meisten Bundesländern wurden diese Vorschriften durch Einführungserlass eingeführt – teilweise lediglich durch den Hinweis, dass die Muster-Richtlinie anzuwenden ist – oder sie werden in einigen Punkten oder Details geändert und dann als eigene Richtlinie eingeführt.

Als Grundsatzregel gilt, dass alle Durchführungen, die durch eine Trennwand – eine raumabschließende Wand mit Brandschutzanforderungen – geführt werden, entsprechend der Wandqualität abgeschottet werden müssen. Dies gilt für brennbare und nichtbrennbare Rohre, Kabelanlagen – Elektrokabel, Datenleitungen, Kabel mit verbessertem Brandverhalten, etc. – sowie Lüftungsleitungen. Aber wie immer hat jede Regel eine Ausnahme, so dürfen z.B. in Hamburg nichtbrennbare Lüftungsleitungen durch feuerbeständige oder feuerhemmende Flurtrennwände ohne Brandschutzklappen geführt werden, wenn an die Türen des jeweiligen Raums keine Anforderungen gestellt werden und von der Lüftung keine Auslässe im Flur sind.

Außerdem gilt seit 2000 grundsätzlich, dass in Rettungswegen (notwendigen Fluren) keine Brandlasten ohne Brandschutzmaßnahmen verlegt werden dürfen. Hiervon ausgenommen sind die Kabel, die für die unmittelbare Beleuchtung des Flures erforderlich sind. Weitere Ausnahmen sind möglich. Bei sonstigen Brandlasten sind daher grundsätzlich feuerhemmende Unterdecken – z.B. F 30 allein nach DIN 4102-2 bzw. EI 30(a ↔ b)

nach DIN EN 13501-2 – oder feuerhemmende Kabelkanäle – I 30 nach DIN 4102-11 bzw. EI 30($v_e h_o$i ↔ o) – einzubauen.

Neben den bereits beschriebenen Brandschutzmaßnahmen gibt es außerdem Kabelkanäle oder -schächte zum Funktionserhalt von Kabelanlagen. Diese Kabel dienen zum Betreiben von Sicherheitsanlagen im Brandfall, z.B. Sicherheitsbeleuchtung, Druckerhöhungspumpe von Steigleitungen der Löschwasserversorgung oder Sprinkleranlagen, zum Betrieb von Entrauchungsanlagen etc. Schächte können mit Kalksandstein-Mauerwerk erstellt werden. Hier muss nur sichergestellt werden, dass auf der Rückseite nicht mehr als 80 °C Temperaturerhöhung auftritt. Dies wird z.B. für 90 min. mit einer 150 mm dicken Kalksandsteinwand sichergestellt.

Bei Rohrleitungen ist ganz wesentlich, dass zwischen brennbaren und nichtbrennbaren Rohren unterschieden wird. Brennbare Rohre müssen ab Durchmesser DN 50 mit Rohrmanschetten gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen (abZ) abgeschottet werden. Derartige Rohrmanschetten quetschen im Brandfall das weich werdende Kunststoffrohr zusammen und der Restquerschnitt wird zugeschäumt. Bei nichtbrennbaren Rohren müssen ab Durchmesser DN 100 Rohrummantelungen eingebaut werden, um die Temperaturweiterleitung zu verringern und damit die Brandweiterleitung auf angrenzende Brand- oder Brandbekämpfungsabschnitte über 30 min., 60 min. oder 90 min. zu verhindern. Derartige Rohrummantelungen bestehen in der Regel aus nichtbrennbarer Steinwolle mit einem Schmelzpunkt > 1.000 °C. Die erforderliche Dämmdicke hängt von dem jeweiligen Rohrmaterial, dem Durchmesser sowie der Wandungsdicke ab. Die Werte sind dem allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnis (abP) zu entnehmen.

Ganz wichtig ist im Bereich der Haustechnik, dass rechtzeitig eine Gewerke übergreifende Planung in brandschutztechnischer Hinsicht erfolgt, weil die erforderlichen Brandschutzmaßnahmen sehr komplex und umfangreich geworden sind – insbesondere, wenn im Ausbau überwiegend Trockenbau zum Einsatz kommt. Hier kann es erforderlich sein, für jede Abschottungsmaßnahme separate andere Anschlüsse herzurichten. Bei der Verwendung von Kalksandstein-Mauerwerkswänden muss lediglich die Größe der Aussparung ausreichend sein, denn Massivwände haben keine Hohlräume, die Zusatzmaßnahmen erfordern. Alternativ werden die Leitungen gemäß der LAR eingebaut und der Restquerschnitt in einer Kalksandsteinwand nur vermörtelt, siehe auch Bild 20. Außerdem ist der Brandschutz von massiven Kalksandsteinwänden höher als erforderlich. Noch wichtiger als die Gewerke übergreifende Planung ist die brandschutztechnische Baubegleitung während der Ausführung, um brandschutztechnische Mängel schon bei Erstellung des Gebäudes zu verhindern. Eine nachträgliche Beseitigung von Brandschutzmängeln oder das Nachrüsten von Brandschutzmaßnahmen ist wesentlich kostenintensiver als die Berücksichtigung der notwendigen Maßnahmen bei Planung und Ausführung.

4.10 Versicherungstechnische Aspekte

Die gesetzlichen, bauaufsichtlichen Forderungen zum Brandschutz haben als wesentliches Ziel ausschließlich den Personenschutz. Ein Sachwertschutz ist nur in der Hinsicht enthalten, dass der Nachbar vor einem Brandübergriff geschützt werden soll und dass ein Brand auf eine bestimmte Fläche 40 m · 40 m = 1.600 m² (Abstand von Brandwänden) begrenzt werden soll. Hiermit sollen der Feuerwehr Rettungs- und Löscharbeiten ermöglicht werden.

Den Versicherungen geht es dagegen vordringlich um den Sachschutz, zur Begrenzung des Schadenvolumens.

INFO

Die Versicherungen setzen voraus, dass zunächst alle gesetzlichen Anforderungen erfüllt sind. Bei Schadenfällen wird diese Voraussetzung auch überprüft und bei Mängeln kann der Versicherungsnehmer, der gesetzlich für die Einhaltung der erforderlichen Brandschutzmaßnahmen verantwortlich ist, mit in die Verantwortung genommen werden. Das kann zu reduzierten Zahlungen der Versicherungen führen.

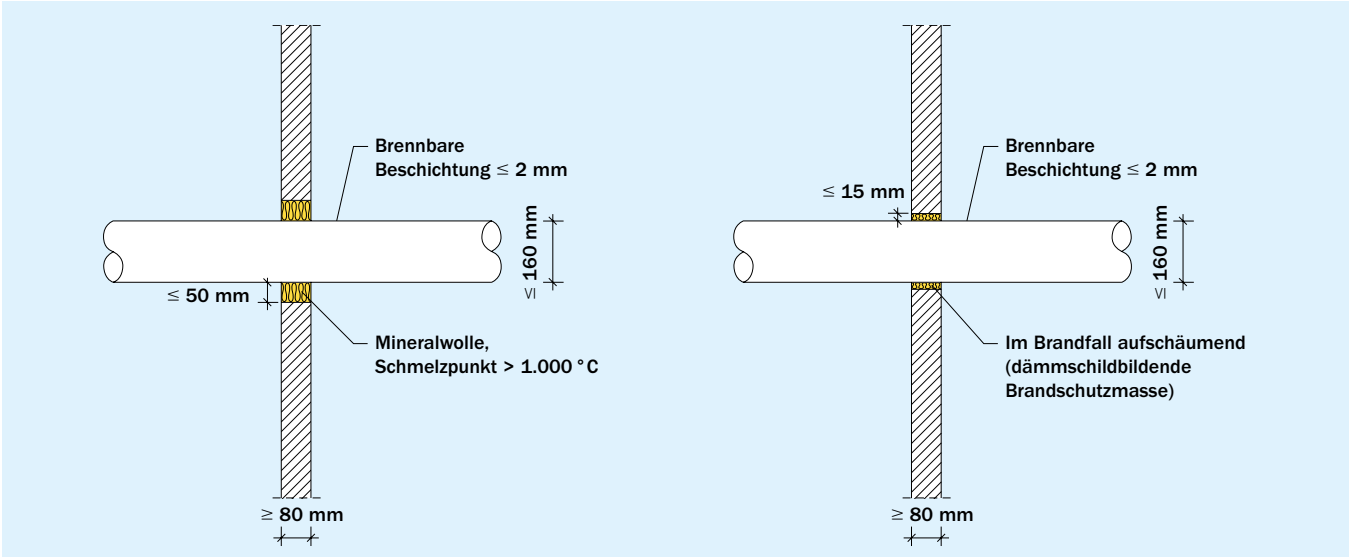


Bild 20 Regeldetails zur Durchführung von nichtbrennbaren Rohren auf der Grundlage M-LAR

Zum Abschluss der Sachversicherung und ggf. auch der Betriebsunterbrechung wird das jeweilige Brandrisiko abgeschätzt, welches die Prämie beeinflusst. Das Brandrisiko setzt sich zusammen aus der Nutzung sowie dem Gebäude selbst. Die Nutzung ist kaum zu beeinflussen, weil dem Mieter einer Wohnung nicht vorgeschrieben werden kann, welche Einrichtung – Möbel, Gardinen etc. – er verwenden darf. In einem Industriebetrieb ergibt sich die Nutzung ohnehin aus dem jeweiligen Gewerbe. Hier haben die Versicherungen lediglich Einfluss darauf, wie groß Abschnitte mit besonders gefährlichen Stoffen hinsichtlich Brandentstehung, Brandlasten, Brandweiterleitung oder auch explosiven Stoffen sein können.

Beim Bauwerk ist zu beachten, dass die im Gebäude vorhandenen Baustoffe – brennbar/nichtbrennbar – hinsichtlich des Brandverhaltens einen wesentlichen Einfluss auf das Brandrisiko haben. Das im Gebäude vorhandene Brandrisiko ist primär abhängig von den Brandlasten und die Brandlasten bestimmen maßgeblich den Brandverlauf hinsichtlich

- Brandentstehung bzw. Brandentwicklung,
- Brandausbreitung,
- Entstehung eines „flashovers“ (schlagartige Entzündung aller brennbaren Materialien), d.h. Vollbrand.

Internationale Untersuchungen bestätigen, dass das Brandgeschehen umso kritischer ist, je größer der Anteil der brennbaren und brandschutztechnisch ungeschützten Bauteile im Gebäude ist. In Bild 21 ist die Zusammensetzung der Brandlastanteile in einem Gebäude dargestellt.

Im Wohnungsbau stellt die bauweisenspezifische Brandlast einen wesentlichen Anteil dar. In einem mehrgeschossigen Wohnungsbau mit einer durchschnittlichen Wohnnutzfläche von etwa 800 m^2 kann sich die Brandlast bei unterschiedlichen Konstruktionsarten bis zum Faktor 4 unterscheiden. So sind in einem Massivbau die zwei- bis vierfach geringeren Mengen an brennbaren Stoffen gegenüber einem Holzbau möglich [14] und [15].

Durch die Bauweise wird nicht nur die Höhe der Brandlasten und damit das Brandrisiko wesentlich beeinflusst, sondern auch die Sanierungskosten. Ein Massivbau hat in der Regel geringere Sanierungskosten, weil nach einem Brandfall wesentliche Teile weiter bzw. wieder verwendet werden können. Außerdem wird der Brand allein durch die Massivbauweise begrenzt.

Ein weiterer Gesichtspunkt ist, dass die Eintrittshäufigkeit eines Brandes neben der mobilen Brandlast ebenfalls von der Bauweise abhängt. Insgesamt betrachtet ist somit der Werterhalt einer Massivbauweise günstig. Die Versicherungen haben früher bei der Massivbauweise wesentliche Rabatte in den Prämiensätzen gewährt. Nach Öffnung des Versicherungsmarktes fielen diese Anreize durch Rabattierung aber weg, weil eine Massivbauweise ohnehin als Standard vorausgesetzt wurde. Mittlerweile setzt jedoch wieder ein Umdenken ein, weil gemäß dem aktuellen Bauordnungsrecht bauliche Erleichterungen im Brandschutz ermöglicht werden. Damit wird das Brandrisiko wieder größer und die Schadensminimierung wird in den Verantwortungsbereich der Versicherungen verschoben. Die Bauordnungen geben nur noch Mindeststandards vor, so dass der bewährte deutsche Sicherheitsstandard eindeutig reduziert wird. Die Massivbauweise und damit auch die Kalksandstein-Bauweise gewährt weiterhin den bisherigen, gewohnt sicheren Standard, so dass damit zukünftig auch wieder Rabatte möglich werden könnten.

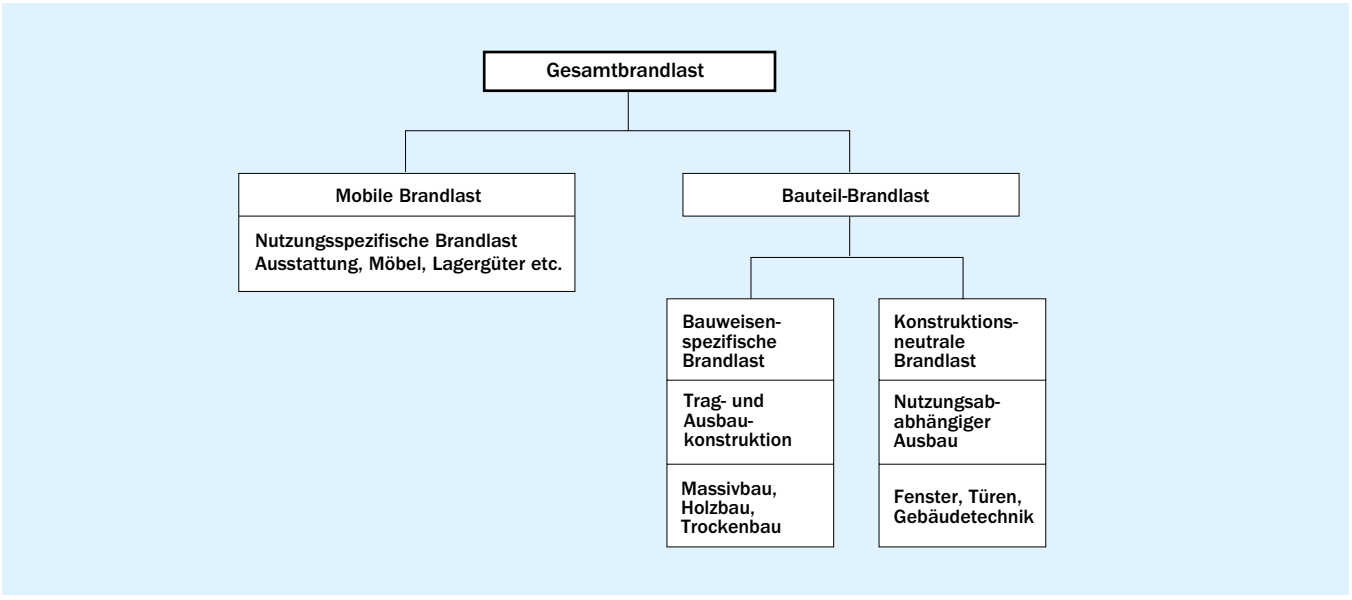


Bild 21 Zusammensetzung der Brandlastanteile in einem Gebäude

5. Zusammenfassung des tabellarischen Brandschutznachweises von KS-Konstruktionen

5.1 Grundlagen

Im Folgenden sind die tabellarischen Brandschutznachweise nach DIN EN 1996-1-2/NA zusammengefasst. Die Tabellenwerte gelten für Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN 20000-402. Bei Verwendung von KS-Fasensteinen gelten die Werte für die Aufstandsbreite (Wanddicke abzüglich Fase).

Bei Ansatz einer verputzten Wandfläche – ()-Werte in den Tabellen – ist ein geeigneter Putz mit einer Mindestdicke von 10 mm auf beiden Seiten einer einschaligen Wand bzw. auf der Außenseite einer zweischaligen Wand aufzutragen. Es können z.B. Gipsputzmörtel B 1 bis B 6 nach DIN EN 13279-1, Kalk- und Kalk-Zementputze aus Werktrockenmörtel nach DIN EN 998-1 oder Wärmedämmputzmörtel nach DIN EN 998-1 verwendet werden.

5.2 Nicht tragende Wände

Die für die jeweilige Feuerwiderstandsklasse erforderlichen Mindestwanddicken nach Tafel 22 gelten gemäß DIN EN 1996-1-2/NA für Wandhöhen $h \leq 6$ m und Schlankheiten $l_c = h_{ef}/t \leq 40$.

5.3 Tragende Wände ohne Nachweis des Ausnutzungsfaktors

Da der Ausnutzungsfaktor α_{fi} nicht größer als 0,7 werden kann (siehe Abschnitt 3.5), darf die für die jeweilige Feuerwiderstandsklasse erforderliche Mindestwanddicke für die genannten Stein-Mörtel-Kombinationen direkt aus den Tafeln 23 bis 25 abgelesen werden.

Tafel 22 Nicht tragende, raumabschließende Wände (EI)

Steine Mörtel	Mindestwanddicke [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse				
	EI 30	EI 60	EI 90	EI 120	EI 180
KS-Lochsteine[1)] KS-Hohlblocksteine[1)] KS-Vollsteine[1)] KS-Blocksteine[1)] NM, DM	115 (115)			115 (115)	175 (140)[3)]
KS-Fasensteine[2)] KS-Planelemente DM	100 (100)				175 (115)
KS-Bauplatten DM	70 (50)	70 (70)	100 (70)		

Die ()-Werte gelten für Wände mit geeignetem beidseitigem Putz
[1)] Auch als Plansteine
[2)] Abzüglich Fase
[3)] Bei Planstein-Mauerwerk mit Putz beträgt die Mindestwanddicke 115 mm

Tafel 23 Tragende, raumabschließende Wände (REI) ohne Nachweis des Ausnutzungsfaktors

Steine Mörtel	Mindestwanddicke [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse					
	REI 30	REI 60	REI 90	REI 120	REI 180	REI 240
KS-Vollsteine[1)] KS-Blocksteine[1)] KS-Planelemente NM, DM	150 (115)		150 (150)	175 (150)	240 (175)	–
	Bei flächig aufgelagerten Massivdecken (Auflagertiefe = Wanddicke)					
	115 (115)		150[2)] (115)	150 (115)	150 (115)	175 (150)

Die ()-Werte gelten für Wände mit geeignetem beidseitigem Putz
[1)] Auch als Plan- und Fasensteine (abzüglich Fase)
[2)] Bei $\alpha_{fi} \leq 0{,}6$ beträgt die Mindestwanddicke 115 mm

Tafel 24 Tragende, nichtraumabschließende Wände $L \geq 1{,}0$ m (R) ohne Nachweis des Ausnutzungsfaktors

Steine Mörtel	Mindestwanddicke [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse				
	R 30	R 60	R 90	R 120	R 180
KS-Plansteine KS-Fasensteine[1)] KS-Planelemente DM	150	175	200	240	300

[1)] Abzüglich Fase

Tafel 25 Tragende, nichtraumabschließende Pfeiler und Wände $L < 1{,}0$ m (R) ohne Nachweis des Ausnutzungsfaktors

Steine Mörtel	Wanddicke [mm]	Mindestwandlänge [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse				
		R 30	R 60	R 90	R 120	R 180
KS-Planelemente DM	115	–[1)]	–[1)]	–[1)]	–[1)]	–[1)]
	150	(897)	(897)	–[1)]	–[1)]	–[1)]
	175	615	730	(897)	–[1)]	–[1)]
	240	365	490	(615)	(730)	(897)

Die ()-Werte gelten für Wände mit geeignetem beidseitigem Putz
[1)] Mindestwandlänge > 1,0 m (Bemessung von Außenwänden als raumabschließende Wand nach Tafel 23, sonst als nichtraumabschließende Wand $L \geq 1{,}0$ m nach Tafel 24)

5.4 Tragende Wände mit Nachweis des Ausnutzungsfaktors $\alpha_{6,fi}$

Wenn die Mindestwanddicke ohne Nachweis nicht eingehalten werden kann oder die Ermittlung für die vorhandene Stein-Mörtel-Kombination mit den Tafeln 23 bis 25 nicht möglich ist, muss der Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi}$ nach Abschnitt 3.5 ermittelt und die Mindestwanddicke mit den Tafeln 26 bis 28 bestimmt werden.

Tafel 26 Tragende, raumabschließende Wände (REI) mit Nachweis des Ausnutzungsfaktors $\alpha_{6,fi}$

Steine Mörtel	Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi}$	Mindestwanddicke [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse				
		REI 30	REI 60	REI 90	REI 120	REI 180
KS-Lochsteine[1)] KS-Hohlblocksteine[1)] NM, DM	≤ 0,15	115 (115)			115 (115)	175 (140)
	≤ 0,42				140 (115)	200 (140)
	≤ 0,70				200 (140)	240 (175)
KS-Vollsteine[1)] KS-Blocksteine[1)] KS-Planelemente NM, DM	≤ 0,15	115 (115)			115 (115)	150 (140)
	≤ 0,42				140 (115)	175 (140)
	≤ 0,70				150 (140)	200 (175)

Die ()-Werte gelten für Wände mit geeignetem beidseitigem Putz
[1)] Auch als Plan- und Fasensteine (abzüglich Fase)

Tafel 27 Tragende, nichtraumabschließende Wände $L \geq 1{,}0$ m (R) mit Nachweis des Ausnutzungsfaktors $\alpha_{6,fi}$

Steine Mörtel	Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi}$	Mindestwanddicke [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse				
		R 30	R 60	R 90	R 120	R 180
KS-Lochsteine KS-Hohlblocksteine KS-Vollsteine KS-Blocksteine NM	≤ 0,15	115 (115)		115 (115)	140 (115)	150 (140)
	≤ 0,42			140 (115)	150 (115)	150 (140)
	≤ 0,70				150 (150)	175 (150)
KS-Plansteine KS-Fasensteine[1)] KS-Planelemente DM	≤ 0,15	115 (115)			140 (115)	150 (140)
	≤ 0,42				150 (115)	150 (140)
	≤ 0,70				150 (150)	175 (150)

Die ()-Werte gelten für Wände mit geeignetem beidseitigem Putz
[1)] Abzüglich Fase

Tafel 28 Tragende, nichtraumabschließende Pfeiler und Wände $L < 1{,}0$ m (R) mit Nachweis des Ausnutzungsfaktors $\alpha_{6,fi}$

Steine Mörtel	Ausnutzung $\alpha_{6,fi}$	Wanddicke [mm]	Mindestwandlänge [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse				
			R 30	R 60	R 90	R 120	R 180
alle KS-Steine NM, DM	≤ 0,42	115	365	490	(615)	(990)	–[3)]
		150	300			365	898
		175	240			240	365
		240	175			175	300
	≤ 0,70	115	(365)	(490)	(730)	–[3)]	–[3)]
		150	300			490	–[3)]
		175	240		300[1),2)]	300[2)]	490
		240	175		240	240	365

Die ()-Werte gelten für Wände mit geeignetem beidseitigem Putz
[1)] Bei $h_{ef}/t_{ef} \leq 10$ beträgt die Mindestwandlänge 240 mm
[2)] Bei $h_{ef}/t_{ef} \leq 15$ und DM beträgt die Mindestwandlänge 240 mm
[3)] Mindestwandlänge > 1,0 m (Bemessung von Außenwänden als raumabschließende Wand nach Tafel 26, sonst als nichtraumabschließende Wand $L \geq 1{,}0$ m nach Tafel 27)

5.5 Brandwände

Die Mindestwanddicke von Brandwänden nach DIN EN 1996-1-2/NA kann für Kalksandstein-Mauerwerk in Abhängigkeit der Steinrohdichte mit Tafel 29 ermittelt werden. Hierbei ist zwischen ein- und zweischaligen Brandwänden zu unterscheiden.

5.6 Komplextrennwände

Komplextrennwände sind nicht in DIN EN 1996-1-2 geregelt. Die Mindestwanddicken und weitere einzuhaltende Randbedingungen ergeben sich aus dem jeweils aktuellen Merkblatt der Sachversicherer. Ergänzend wurden für 240 mm dicke Komplextrennwände aus Kalksandstein-Mauerwerk weitergehende Untersuchungen durchgeführt und mit entsprechenden Gutachten hinterlegt.

Tafel 29 Tragende und nicht tragende, raumabschließende Brandwände (REI-M, EI-M)

Steine Mörtel	Stein- rohdichteklasse	Mindestwanddicke [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklassen REI-M 30, REI-M 60, REI-M 90, EI-M 30, EI-M 60, EI-M 90	
		1-schalige Ausführung	2-schalige Ausführung
KS-Lochsteine[1)] KS-Hohlblocksteine[1)] KS-Vollsteine[1)] KS-Blocksteine[1)] NM, DM	≥ 0,9	300	2 x 200 (2 x 175)
	≥ 1,4	240	2 x 175
KS-Plansteine DM	≥ 1,8	175	2 x 150
KS-Planelemente DM	≥ 1,8	200	2 x 175
		mit aufliegender Geschossdecke (mindestens REI 90) als obere Halterung	
		175	2 x 150
Die ()-Werte gelten für Wände mit geeignetem beidseitigem Putz [1)] Auch als Plan- und Fasensteine (abzüglich Fase)/Planelemente			

Tafel 30 Komplextrennwände (F 180 + Stoßbelastung 4.000 Nm)

Steine Mörtel	Weitere Anforderungen	Mindestwanddicke [mm] zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse F 180 + Stoßbelastung 4.000 Nm	
		1-schalige Ausführung	2-schalige Ausführung
alle KS-Steine ≥ NM II	keine	365	2 x 240
KS-Vollsteine KS-Blocksteine NM III	SFK ≥ 12 RDK ≥ 1,8	240	–
KS-Plansteine KS-Planelemente DM	SFK ≥ 12 RDK ≥ 1,6	240	–

Normen

[N1] DIN 4102-2:1977-09 – Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen

[N2] DIN 4102-3:1977-09 – Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Brandwände und nichttragende Außenwände, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen

[N3] DIN 4102-4:2016-05 – Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile

[N4] DIN EN 1363-1:2012-10: Feuerwiderstandsprüfungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 1363-1:2012

[N5] DIN EN 1363-2:1999-10: Feuerwiderstandsprüfungen – Teil 2: Alternative und ergänzende Verfahren; Deutsche Fassung EN 1363-2:1999

[N6] DIN EN 1364-1:2015-09 - Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile – Teil 1: Wände; Deutsche Fassung EN 1364-1:2015

[N7] DIN EN 1365-1:2013-08: Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile – Teil 1: Wände; Deutsche Fassung EN 1365-1:2012 + AC:2013

[N8] DIN EN 1366-4:2010-08: Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen – Teil 4: Abdichtungssysteme für Bauteilfugen; Deutsche Fassung EN 1366-4:2006 + A1:2010

[N9] DIN EN 1634-3:2005-01: Prüfungen zum Feuerwiderstand und zur Rauchdichte für Feuer- und Rauchschutzabschlüsse, Fenster und Beschläge – Teil 3: Prüfungen zur Rauchdichte für Rauchschutzabschlüsse; Deutsche Fassung EN 1634-3:2004

[N10] DIN EN 1991-1-2:2013-08: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung EN 1991-1-2:2002

[N11] DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke– Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen– Brandeinwirkungen auf Tragwerke

[N12] DIN EN 1996-1-1:2013-02: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; Deutsche Fassung EN 1996-1-1:2005 + A1:2012

[N13] DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05: Nationaler Anhang– National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk, Änderung A1 2013-07

[N14] DIN EN 1996-3:2012-12: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten; Deutsche Fassung EN 1996-3:2006 + AC:2009

[N15] DIN EN 1996-3/NA:2012-01: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten

[N16] DIN EN 1996-1-2:2011-04: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall

[N17] DIN EN 1996-1-2/NA:2013-06: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall

[N18] DIN EN 13501-1:2010-01: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten; Deutsche Fassung EN 13501-1:2007 + A1:2009

[N19] DIN EN 13501-2:2010-02: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen; Deutsche Fassung EN 13501-2:2007 + A1:2009

[N20] DIN EN 14600:2006-03: Tore, Türen und zu öffnende Fenster mit Feuer- und/oder Rauchschutzeigenschaften – Anforderungen und Klassifizierung; Deutsche Fassung EN 14600:2005

[N21] DIN EN 15080-12:2011-04: Erweiterter Anwendungsbereich der Ergebnisse aus Feuerwiderstandsprüfungen – Teil 12: Tragende Mauerwerkswände; Deutsche Fassung EN 15080- 12:2011

[N22] DIN EN 15254-2:2009-10:Erweiterter Anwendungsbereich der Ergebnisse aus Feuerwiderstandsprüfungen – Nichttragende Wände – Teil 2: Mauersteine und Gips-Wandbauplatten; Deutsche Fassung EN 15254-2:2009

[N23] DIN 18550-1:2018-01 – Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 1: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-1:2016-09 für Außenputze

[N24] DIN 18550-2:2018-01 – Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 2: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-2:2016-09 für Innenputze

[N25] DIN EN 771-2:2015-11 – Festlegungen für Mauersteine – Teil 2: Kalksandsteine; Deutsche Fassung EN 771-2:2011+A1:2015

[N26] DIN 20000-402:2017-01 – Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 402: Regeln für die Verwendung von Kalksandsteinen nach DIN EN 771-2:2015-11

Literatur

[1] Musterbauordnung – MBO (Fassung November 2002, zuletzt geändert 13.05.2016)

[2] Voigtländer, R.: Brandursachenermittlungen und andere technische Fragen in der Sachversicherung, Schadenprisma 4/2003

[3] Hosser, D., Schneider, U.: Statistische Ermittlung der Brandhäufigkeit in mehrgeschossigen Wohngebäuden, Forschungsbericht T 1292, IRB Verlag 1984

[4] Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates

[5] Hahn, Chr.: Mauerwerk-Kalender ab 1995

[6] Hahn, Chr.: Brandschutzplanung – Lästiges Übel oder Beitrag zum kostengünstigen Bauen? – In: BBauBl 44 (1995) 10

[7] HAHN Consult: Forschungsbericht Nr. 28049.1 – Hn/Br/Ma Brandschutz mit Kalksandstein-Mauerwerk Nachweis für KS-Wände und KS-Pfeiler bei Bemessung nach DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-3 ohne Berücksichtigung eines nationalen Anhangs ECSPA European Calcium Silicate Producers Association, September 2012

[8] HAHN Consult: Schlussbericht zum Forschungsvorhaben Nr. 25004 – Hn/Br – Validierung des Eurocodes EC 6-1-2 – Bemessung von Mauerwerk im Brandfall – zum Nachweis des deutschen Sicherheitsniveaus unter Berücksichtigung bauaufsichtlicher Erfordernisse April 2013, DIBt, Berlin

[9] HAHN Consult: Gutachtliche Stellungnahme Nr. 28092 a-Hn zum Brandverhalten von Anschlüssen nichttragender Brandwände und nichttragender F30-F90-Wände aus Kalksandsteinmauerwerk an Massivdecken (30.10.08)

[10] VdS 2234:2012-07: Brandwände und Komplextrennwände – Merkblatt für die Anordnung und Ausführung. Hrsg. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GdV)

[11] Brandschutzatlas. FeuerTRUTZ GmbH, Köln

[12] HAHN Consult: Gutachtliche Stellungnahme Nr. 20006 zum Brandverhalten von Kalksand-Wandkonstruktionen unter Verwendung von KS-ISO-Kimmsteinen (21.12.01)

[13] HAHN Consult: Gutachtliche Stellungnahme Nr. 11078 – Hn/Ma zum Nachweis der Eignung von Mauerwerkswänden aus Kalksand-Vollsteinen als Komplextrennwände (15.03.2013)

[14] The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 2nd Edition, ISBN 0-87765-354-2

[15] Wilmot, R.T.D.: United Nations Fire Statistics Study. World Fire Statistics Centre Bulletin, Geneva Association, Genf Sept. 1999

Bildnachweise

Bild S. 303: Heidelberger Kalksandstein GmbH

Bild S. 296, Bild 10, Bild 11, Bild 15: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.



Kapitel 13

SCHALLSCHUTZ

Stand: 01/2018

Prof. Dr.-Ing. Heinz-Martin Fischer

1. Einleitung



„Eines Tages werden wir den Lärm bekämpfen müssen wie die Pest“. Was derart vor etwa hundert Jahren von Robert Koch (1843–1910) prophezeit wurde, ist heute bittere Realität geworden. Über 70 % der Bevölkerung fühlen sich durch Lärm gestört. Wissenschaftlich ist belegt, dass Lärm nicht nur belästigt, sondern auch gesundheitlich belastet und zu chronischen Erkrankungen führen kann. Zumindest für die eigenen vier Wände wird erwartet, dass der lärmgeplagte Mensch noch die erwünschte Ruhe findet.

Im Bauwesen wurde schon früh erkannt, dass die Menschen in ihren Wohnungen durch richtig ausgewählte Bauteile vor Schalleinwirkungen geschützt werden können. Bereits ab 1938 wurden in DIN 4110 [1] für den baulichen Schallschutz Mess- und Bewertungsverfahren und Anforderungen als DIN-Norm herausgegeben. 1944 erschien erstmals die DIN 4109. Bei dieser Norm wurde von Anfang an zwar von „Schallschutz“ gesprochen, tatsächlich war bei den Nachweisen und Anforderungen aber immer die Schalldämmung R'_w der trennenden Bauteile gemeint. Ebenso war es noch bis zur DIN 4109:1989 [2] Tradition, im Massivbau die Schallübertragung über Nebenwege nicht gesondert zu betrachten.

Erst mit der Verabschiedung der europäischen Berechnungsverfahren für den baulichen Schallschutz in DIN EN 12354-1 [3] ab dem Jahr 2000 und der darin enthaltenen konsequenten Trennung der einzelnen Schallübertragungswege wurde bezüglich der Flankenübertragung Klarheit geschaffen. Die daran anschließende Forschung für den Massivbau in Deutschland, begonnen von der Kalksandsteinindustrie [4], führte zu messtechnisch abgesicherten Erkenntnissen, die mit DIN 4109-2 [5] und DIN 4109-32 [6] in die neue DIN 4109:2016-07 einflossen. Damit wurden mit diesem neuen Regelwerk für die bauakustische Planung und die schalltechnischen Nachweise die Voraussetzungen geschaffen, dass nicht mehr nur die trennenden Bauteile im Vordergrund stehen, sondern nun auch die Schallübertragung über Flankenbauteile und Stoßstellen ausdrücklich zu betrachten und schalltechnisch zu dimensionieren ist.

INFO

Für den baulichen Schallschutz sind flankierende Außen- und Innenbauteile und die Ausbildung der dazugehörigen Stoßstellen genauso wichtig wie Wohnungstrennwände und Wohnungstrenndecken.

Die Entwicklung der Regelwerke für den baulichen Schallschutz findet in einer Zeit sich ständig ändernder Randbedingungen statt. Die Erwartungen an den Schallschutz steigen. Der Kostendruck nimmt zu. Anforderungen an den Wärmeschutz steigen und tangieren die Belange des Schallschutzes. Diskussionen über den rechtlich geschuldeten Schallschutz führen zu weiterer Verunsicherung.



Schallschutz kann nicht unabhängig von all diesen Fragestellungen behandelt werden. Doch beinhalten Herausforderungen immer auch Chancen. Der vorliegende Beitrag zeigt, dass es Wege aus der „Lärmfalle“ gibt. Hintergründe und schalltechnische Problembereiche werden beleuchtet und Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt. Die Palette der verfügbaren Mittel reicht vom schalltechnischen Gesamtkonzept bis zu Lösungen im Detail.

INFO

Schallschutz ist baubar – allerdings nur, wenn er von Anfang an in die Gesamtplanung integriert ist.

2. Schalltechnische Grundlagen

2.1 Grundbegriffe

Unter Schall werden mechanische Schwingungen verstanden, die sich in gasförmigen, festen oder flüssigen Medien ausbreiten. Hörbarer Schall liegt im Frequenzbereich zwischen etwa 16 Hz und 20 kHz, wobei die Frequenz die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde angibt und mit Hz [1/s] bezeichnet wird. Die Bauakustik berücksichtigt den Frequenzbereich zwischen 50 Hz und 5 kHz. Bei der Schallausbreitung in Luft spricht man von **Luftschall**. Das ist die am häufigsten betrachtete Form, da sie direkt vom Gehör wahrgenommen werden kann und für die Wahrnehmung von Geräuschen und für Lärmbelästigungen verantwortlich ist. In der Bauakustik spielt der **Körperschall** eine wichtige Rolle, da die Schallübertragung zwischen zwei Räumen maßgeblich über den Baukörper (trennende und flankierende Bauteile) erfolgt. Die Schwingungen der Bauteile führen zur Abstrahlung von Luftschall, so dass auch Körperschall zu einem Hörereignis führt. Für die Ausbreitung des Körperschalls sind die Bauteileigenschaften und Bauteilverbindungen ausschlaggebend. So gilt im Massivbau, dass schwere Bauteile schwerer zu Schwingungen angeregt werden können und deshalb schalltechnisch günstiger sind als leichte Bauteile. **Fluidschall** tritt in der Bauakustik innerhalb flüssigkeitsgefüllter Rohrleitungen auf und ist z.B. bei der Übertragung von Geräuschen der Sanitärinstallation oder von Heizungsanlagen zu berücksichtigen.

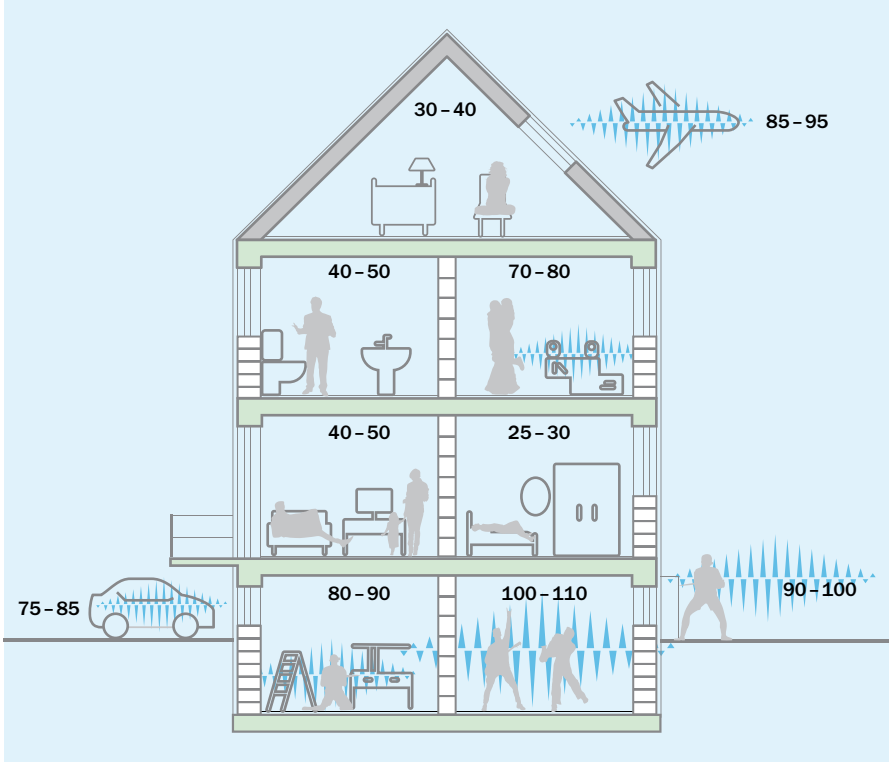


Bild 1 Schalleinwirkungen im Gebäude; A-bewertete Schallpegel [dB]



Bild 2 A-bewertete Schallpegel verschiedener Verursacher und Umgebungssituationen

Der **bauliche Schallschutz** berücksichtigt alle Schalleinwirkungen, die im Gebäude zu Störungen führen können. Nach Bild 1 umfasst er innerhalb des Gebäudes die Übertragung von Luftschall (z.B. Sprache, Radio- und Fernsehgeräte) und Trittschall sowie die Geräusche gebäudetechnischer Anlagen und von Betrieben im selben Gebäude. Von außerhalb ist vor allem die Lärmeinwirkung durch Verkehr (Straßen-, Schienen- und Flugverkehr) sowie Industrie und Gewerbe zu beachten.

Die physikalische Stärke von Geräuschen wird durch den **Schallpegel** L angegeben, der mit der Einheit Dezibel [dB] bezeichnet wird. Werden die Pegel so erfasst, wie es (näherungsweise) vom menschlichen Gehör geschieht, so handelt es sich um **A-bewertete Pegel** L_A, die ebenfalls in dB angegeben werden. Schallpegel für typische Geräusche innerhalb des menschlichen Hörbereichs, der von der Hörgrenze bis zur Schmerzgrenze reicht, werden in Bild 2 dargestellt. Schallpegel werden zur Festlegung von Anforderungen an den Schallschutz herangezogen, wenn die Schalleinwirkung in einem schutzbedürftigen Raum eine bestimmte Grenze nicht überschreiten darf. Schallpegel dienen auch zur Ermittlung der bauakustischen Kenngrößen für die Luft- und Trittschalldämmung.

2.2 Schalldämmung und Schallschutz

Die Schalldämmung beschreibt, wie stark Schall, der auf ein Bauteil auftrifft, von diesem auf der lärmabgewandten Seite abgestrahlt werden kann. Die kennzeichnende Größe dafür ist das Schalldämm-Maß *R*, das gemäß Bild 3 messtechnisch wie folgt bestimmt wird:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg(S/A) \qquad (2.1)$$

mit

L_1 Schallpegel im lauten Raum (Senderaum)
L_2 Schallpegel im leisen Raum (Empfangsraum)
S Fläche des trennenden Bauteils
A Äquivalente Absorptionsfläche, mit der die im Empfangsraum vorhandene Absorption beschrieben wird

Der Messaufbau im Labor muss in Übereinstimmung mit der Mess-Norm DIN EN ISO 10140 [7] so gewählt werden, dass die Schallübertragung nur über das trennende Bauteil erfolgen kann. Damit ist sichergestellt, dass ausschließlich die schalltechnische Leistungsfähigkeit des Bauteils charakterisiert wird, ohne dass zusätzliche Übertragungswege das Ergebnis beeinflussen.

Gegenüber der beschriebenen Laborsituation muss bei realen Gebäuden beachtet werden, dass die Schallübertragung zwischen zwei Räumen (Bild 4) nicht mehr nur über das trennende Bauteil selbst (Direktübertragung), sondern auch über die flankierenden Bauteile stattfindet (flankierende Übertragung, auch Schalllängsleitung genannt). Im Gegensatz zur Laborprüfung wird hier das so genannte **Bauschalldämm-Maß *R'*** ermittelt. Es berücksichtigt alle an der Schallübertragung beteiligten Wege und charakterisiert damit die resultierende Schalldämmung im Gebäude. Die Messung erfolgt nach DIN EN ISO 16283-1 [8].

Aus der genannten Übertragungssituation ergeben sich folgende Konsequenzen für die Planung:

- Schall wird nicht nur über das trennende Bauteil übertragen.
- Die Gesamt-Schalldämmung setzt sich aus den Anteilen aller Übertragungswege zusammen.
- Die flankierende Übertragung begrenzt die erreichbare Schalldämmung.
- Die Anforderungen der DIN 4109-1:2016 richten sich nicht an das trennende Bauteil allein, sondern an die Gesamtübertragung aller beteiligten Bauteile.

Nicht ohne Grund weist deshalb schon die DIN 4109:1989 [2] in Abschnitt 3.1 ausdrücklich auf diesen Umstand hin:

„Die für die Schalldämmung der trennenden Bauteile angegebenen Werte gelten nicht für diese Bauteile allein, sondern für die resultierende Dämmung unter Berücksichtigung der an der Schallübertragung beteiligten Bauteile und Nebenwege im eingebauten Zustand; dies ist bei der Planung zu berücksichtigen.“

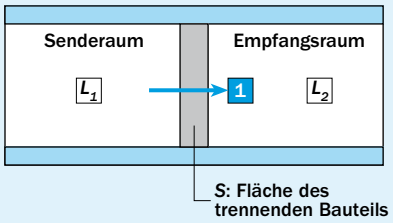


Bild 3 Messung des Schalldämm-Maßes im Labor

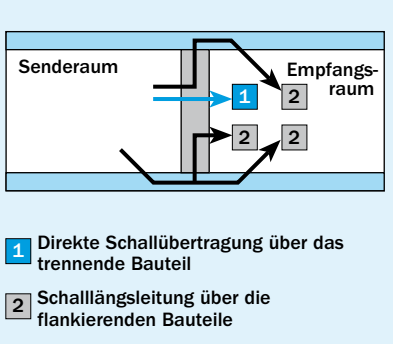


Bild 4 Schallschutz im Gebäude – direkte und flankierende Schallübertragung

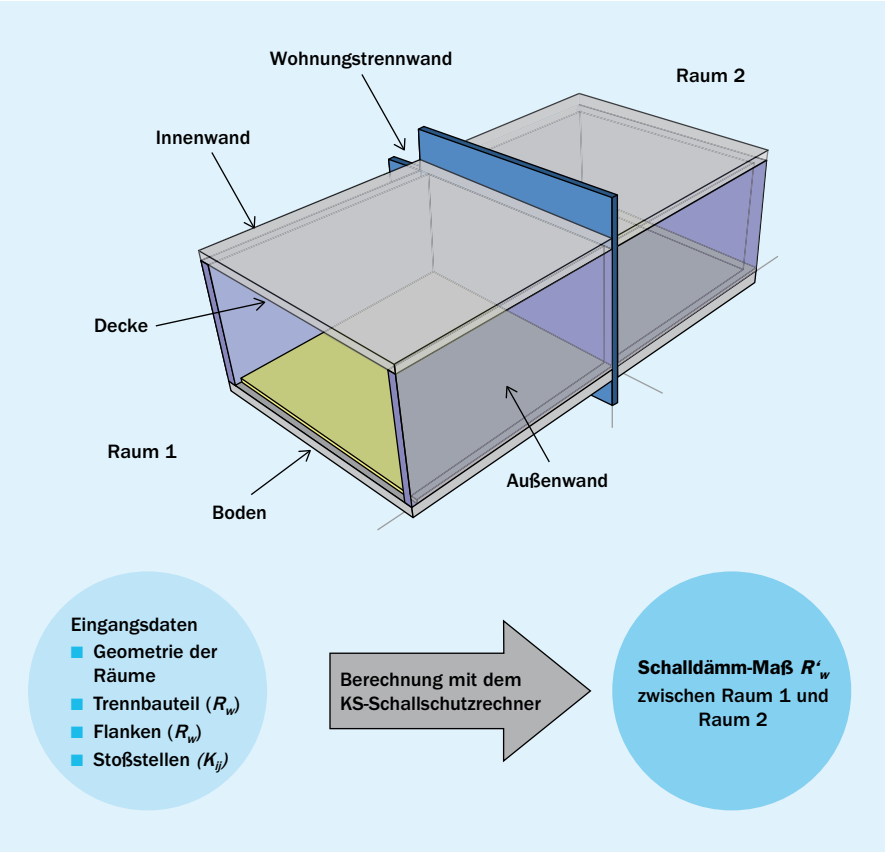


Bild 5 Von der Bauteileigenschaft R_w zur Gebäudeeigenschaft R'_w

Die Messungen werden frequenzabhängig durchgeführt. In der Planungspraxis und für die schalltechnische Beurteilung von Bauteilen werden zur Vereinfachung in der Regel jedoch so genannte **Einzahlwerte** verwendet. Die Ermittlung der Einzahlwerte beruht auf dem Bezugskurvenverfahren, das für die Luftschalldämmung in DIN EN ISO 717-1 [9] beschrieben wird. Die gemessenen Terz- oder Oktavwerte der Kenngröße werden mit der Bezugskurve verglichen. Diese repräsentiert aus der historischen Entwicklung heraus ursprünglich die Schalldämmung einer 25 cm dicken Vollsteinwand. Bei Messungen in Terzbändern werden für den Vergleich die Werte von 100 bis 3.150 Hz herangezogen. Die aus dem Vergleich ermittelte Einzahlangabe trägt zur Unterscheidung von den frequenzabhängigen Größen stets den Index *w*. So ergibt sich aus dem frequenzabhängigen Schalldämm-Maß R das **bewertete Direktschalldämm-Maß R_w** und aus R' das **bewertete Bauschalldämm-Maß R'_w**.

INFO

Mit R_w und R'_w wird eine eindeutige Trennung zwischen Bauteil- und Gebäudeeigenschaften vorgenommen.

R_w (bewertetes Direktschalldämm-Maß) berücksichtigt nur die direkte Übertragung über ein trennendes Bauteil und ist als *Bauteileigenschaft* somit ein Maß für dessen schalltechnische Leistungsfähigkeit. Dies ist die maßgebliche Kenngröße für die Berechnung.

R'_w (bewertetes Bauschalldämm-Maß) berücksichtigt alle in Frage kommenden Übertragungswege zwischen zwei Räumen und beschreibt somit die resultierende Schalldämmung als *Gebäudeeigenschaft*. Es ist die maßgebende Kenngröße für die schalltechnische Auslegung des Baukörpers.

Die grundlegenden Zusammenhänge sind in den Bildern 5 und 11 dargestellt.

In Tafel 1 werden zur Erläuterung dieses Sachverhaltes die Direktschalldämm-Maße von KS-Wohnungstrennwänden mit den resultierenden Schalldämm-Maßen in einer bauüblichen Situation verglichen.

Während beim Schalldämm-Maß R und R' die Schallübertragung auf die Fläche des trennenden Bauteils bezogen wird (siehe Gleichung (2.1)), berücksichtigt die **Standard-Schallpegeldifferenz D_{nT}** nur die auf die Nachhallzeit bezogene Pegeldifferenz zwischen zwei Räumen.

Dafür gilt:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \lg(T/T_0) \text{ [dB]} \quad (2.2)$$

mit

L_1 Schallpegel im lauten Raum (Senderaum)
L_2 Schallpegel im leisen Raum (Empfangsraum)
T Nachhallzeit
T_0 Bezugs-Nachhallzeit (für Wohn- und Arbeitsräume gilt $T_0 = 0{,}5$ s)

Auch hier kann nach DIN EN ISO 717-1 [9] der Einzahlwert, der **bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$** heißt, ermittelt werden. $D_{nT,w}$ kann als Maß für den Schallschutz zwischen Räumen betrachtet werden, da hier die erreichte Pegeldifferenz zwischen zwei Räumen – und nicht ein trennendes Bauteil – in Bezug genommen wird. R'_w und $D_{nT,w}$ können folgendermaßen ineinander umgerechnet werden:

$$D_{nT,w} = R'_w + 10 \lg(0{,}32\ V/S) \text{ [dB]} \quad (2.3)$$

mit

V Volumen des Empfangsraums
S Fläche des trennenden Bauteils

Für quaderförmige, nicht gegeneinander versetzte Räume kann dafür auch vereinfachend geschrieben werden:

$$D_{nT,w} = R'_w + 10 \lg(0{,}32 \cdot l) = R'_w - 10 \lg(3{,}1/l) \text{ [dB]} \quad (2.4)$$

mit

l Raumtiefe des Empfangsraums

Für unterschiedlich große Volumina der Empfangsräume kann sich bei gleicher Schalldämmung der Bauteile eine sehr unterschiedliche Schallpegeldifferenz ergeben, so dass auch der realisierte Schallschutz unterschiedlich wahrgenommen wird (Bild 6).

INFO

Für den subjektiv wahrnehmbaren Schallschutz ist nicht die Schalldämmung R'_w einer Bauteilkombination, sondern die Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ zwischen zwei Räumen maßgebend.

In realen Grundriss-Situationen kann die gemeinsame Trennfläche zwischen zwei Räumen kleiner als 10 m² werden, insbesondere bei versetzten Räumen. Bei diagonaler Schallübertragung existiert keine gemeinsame Trennfläche. Mit Bezug auf DIN 4109-1 muss in solchen Fällen die **bewertete Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,w}$** ermittelt werden.

Tafel 1 **Vergleich der Direktschalldämmung R_w verschiedener Wohnungstrennwände und der resultierenden Schalldämmung R'_w derselben Wände in einer bauüblichen Situation**

Wohnungstrennwand			R_w [1]	R'_w [2]
Wanddicke d [cm]	RDK	Flächenbezogene Masse m' [kg/m²]	[dB]	[dB]
20	**2,0**	400	58,2	55,4
24	**1,8**	428	59,1	56,2
24	**2,0**	476	60,5	57,2
24	**2,2**	524	61,8	58,2
30	**2,0**	590	63,4	59,4

Bausituation: horizontale Übertragung; Wohnungstrennwand: nach Tabelle; Decken: 20 cm Stahlbeton mit schwimmendem Estrich $f_0 < 80$ Hz; Außenwand mit 17,5 cm Kalksandstein (RDK 1,8); Innenwand mit 11,5 cm Kalksandstein (RDK 1,8); inkl. Putz

[1] R_w-Werte nach Massekurve für Kalksandstein
[2] Berechnungen nach DIN 4109-2 mit dem KS-Schallschutzrechner. Zum Vergleich von R_w und R'_w wurde kein Sicherheitsabschlag (früher: Vorhaltemaß) auf das Berechnungsergebnis vorgenommen.

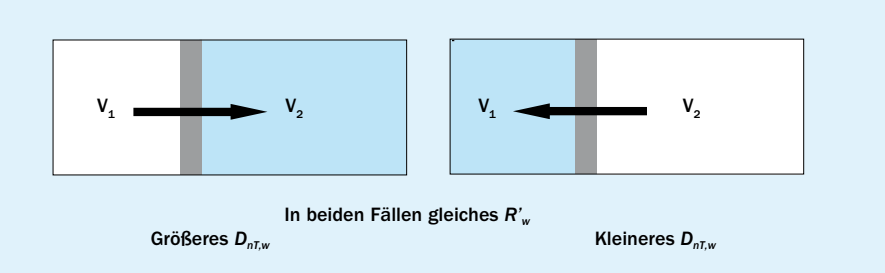


Bild 6 **Abhängigkeit der Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ vom Volumen des Empfangsraums**

Messtechnisch wird die Norm-Schallpegeldifferenz D_n in den einzelnen Frequenzbändern folgendermaßen ermittelt:

$$D_n = L_1 - L_2 + 10 \lg(A_0/A) \text{ [dB]} \quad (2.5)$$

mit
L_1 Schallpegel im lauten Raum (Senderaum)
L_2 Schallpegel im leisen Raum (Empfangsraum)
A Äquivalente Absorptionsfläche des Empfangsraums
A_0 Äquivalente Bezugs-Absorptionsfläche mit $A_0 = 10$ m²

Nach DIN EN ISO 717-1 ergibt sich daraus als Einzahlwert die bewertete Norm- Schallpegeldifferenz $D_{n,w}$.

R'_w und $D_{n,w}$ können folgendermaßen ineinander umgerechnet werden:

$$D_{n,w} = R'_w - 10 \lg(S/10 \text{ m}^2) \text{ [dB]} \quad (2.6)$$

mit
S Fläche des trennenden Bauteils

Tafel 2 **Spektrum-Anpassungswerte zur Berücksichtigung verschiedener Lärmquellen**

Spektrum-Anpassungswerte nach DIN EN ISO 717-1	
C Mittlere und höhere Frequenzen betont	
Zu-treffend für	Wohnaktivitäten (Reden, Musik…)
	Schienenverkehr mit mittlerer und hoher Geschwindigkeit
	Autobahnverkehr > 80 km/h
	Düsenflugzeuge in kleinem Abstand
	Betriebe, die überwiegend mittel- und hochfrequenten Lärm abstrahlen
C_{tr} Tiefere Frequenzen betont	
Zu-treffend für	städtischen Straßenverkehr
	Schienenverkehr mit geringer Geschwindigkeit z.B. Straßenbahnverkehr
	Propellerflugzeug
	Düsenflugzeug in großem Abstand
	Discomusik
	Betriebe, die überwiegend tief- und mittelfrequenten Lärm abstrahlen

2.3 Spektrum-Anpassungswerte

Zusätzlich zu den genannten Einzahlwerten wurden in DIN EN ISO 717-1 [9] so genannte **Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr}** definiert, die es erlauben, die Schalldämmung oder den Schallschutz hinsichtlich unterschiedlicher Geräuscharten zu bewerten. Den Spektrumanpassungswerten liegen Pegeldifferenzen bestimmter A-bewerteter Geräusche zugrunde. Sie werden zum betreffenden Einzahlwert addiert, so dass sich für die Schalldämmung oder den Schallschutz ein neuer Zahlenwert ergibt, beispielsweise $R_w + C_{tr}$ oder $D_{nT,w} + C$. Anwendungsfälle für die Anpassungswerte werden in Tafel 2 dargestellt. Spektrumanpassungswerte können für verschiedene Frequenzbereiche definiert werden.

Der **Anpassungswert C** kann z.B. für übliche Wohngeräusche oder für Verkehrsgeräusche bei hohen Geschwindigkeiten herangezogen werden. C_{tr} dagegen steht für eher tieffrequent orientierte Geräusche wie z.B. innerstädtischen Straßenverkehr.

In den Schallschutzanforderungen der DIN 4109-1 werden Spektrum-Anpassungswerte zurzeit nicht berücksichtigt. Sie können aber bei der schalltechnischen Planung angewendet werden, um eine situationsbezogene Auslegung des Schallschutzes, z.B. beim Außenlärm, vorzunehmen. Eine ausführliche Behandlung der Spektrum-Anpassungswerte und ihrer Anwendung findet sich in [10].

Außer für die Luftschalldämmung gibt es auch Kenngrößen für die Trittschalldämmung und solche, die für die Beschreibung der schalltechnischen Eigenschaften von Bauteilen und Gebäuden verwendet und im Rahmen der schalltechnischen Nachweise benötigt werden. Eine Zusammenstellung dieser Größen findet sich in den Tafeln 3 bis 5.

2.4 Schalltechnisches Verhalten massiver Bauteile

2.4.1 Einschalige massive Bauteile

Das schalltechnische Verhalten einschaliger Bauteile kann durch das so genannte Massegesetz einfach beschrieben werden. Dieses besagt, dass die Schalldämmung mit der flächenbezogenen Masse m', die in kg/m² angegeben wird, zunimmt. In seiner physikalischen Form besagt das Massegesetz außerdem, dass die Schalldämmung mit wachsender Frequenz steigt. Die erreichbare Schalldämmung ist also umso besser, je schwerer das (einschalige) Bauteil und je höher die Frequenz des zu dämmenden Geräuschs ist. Für die frequenzabhängigen Dämmeigenschaften ist noch die so genannte Koinzidenz (auch Spuranpassung genannt) von Bedeutung. Diese beschreibt das Phänomen, dass die Wellenlängen des Luftschalls und des Körperschalls auf dem Bauteil übereinstimmen und deshalb eine besonders gute Anregung des Bauteils durch Luftschall und eine besonders gute Abstrahlung von Luftschall durch dieses Bauteil erfolgt. Daraus ergibt sich im betroffenen Frequenzbereich insgesamt eine gegenüber dem Massegesetz stark verminderte Schalldämmung. Die Frequenz, bei der das Maximum des Dämmungseinbruchs liegt, wird Koinzidenzgrenzfrequenz

Tafel 3 **Kennzeichnende Größen zur Beschreibung der schalltechnischen Eigenschaften von Bauteilen (Luftschall-, Trittschall- und Flankendämmung)**

Kenngröße		Bauteil	Messnorm
R_w	Bewertetes Schalldämm-Maß	Trennbauteile (Wände, Decken)	DIN EN ISO 10140 Teile 1, 2, 4, 5 [7]
		Fenster, Fassadenelemente, Türen, Verglasungen	
$D_{n,e,w}$	Bewertete Element-Norm-Schallpegel-differenz	Elemente, z.B. Rollladen-kästen, Lüftungskanäle, Lüftungselemente	DIN EN ISO 10140 Teile 1, 2, 4, 5 [7]
ΔR_w	Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes	Vorsatzschalen, Wärmedämm-Verbundsysteme, schwimmende Estriche	DIN EN ISO 10140 Teile 1, 2, 4, 5 [7]
$D_{n,f,w}$	Bewertete Norm-Flankenschallpegel-differenz	Mehrschalige, leichte Flankenbauteile	DIN EN ISO 10848 Teile 1 – 4 [11]
$L_{n,w}$	Bewerteter Norm-Tritt-schallpegel	Decken, Treppen, Podeste	DIN EN ISO 10140 Teile 1, 3, 4, 5 [7]
ΔL_w	Bewertete Trittschall-minderung	Deckenauflagen, z.B. schwim-mende Estriche, Bodenbeläge	DIN EN ISO 10140 Teile 1, 3, 4, 5 [7]
K_{ij}	Stoßstellendämm-Maß	Bauteilverbindungen	DIN EN ISO 10848 Teile 1 – 4 [11]

Tafel 4 **Kennzeichnende Größen zur Beschreibung der schalltechnischen Gebäudeeigenschaften (Luft- und Trittschalldämmung)**

Kenngröße		Übertragung über	Messnorm
R'_w	Bewertetes Bauschalldämm-Maß	Trennbauteile (Wände, Decken)	DIN EN ISO 16283-1 [8]
$R'_{45°,w}$	Bewertetes Bauschalldämm-Maß	Fassaden, Fassadenbauteile, Fenster	DIN EN ISO 16283-3
$L'_{n,w}$	Bewerteter Norm-Trittschallpegel	Decken, Treppen, Podeste	DIN EN ISO 16283-2 [12]

Tafel 5 **Kennzeichnende Größen zur Beschreibung des Schallschutzes im Gebäude**

Kenngröße		Schutz gegen:	Messnorm
$D_{nT,w}$	Bewertete Standard-Schallpegeldifferenz	Luftschallübertragung innerhalb des Gebäudes	DIN EN ISO 16283-1 [8]
		Luftschallübertragung von außen (Außenlärm)	DIN EN ISO 16283-3
$L'_{nT,w}$	Bewerteter Standard-Trittschallpegel	Trittschallübertragung	DIN EN ISO 16283-2 [12]
$D_{n,w}$	Bewertete Norm-Schallpegeldifferenz	Luftschallübertragung innerhalb des Gebäudes bei Trennflächen < 10 m²	DIN EN ISO 16283-1 [8] in Zusammenhang mit DIN 4109-4 [32]

genannt. Sie hängt von der flächenbezogenen Masse und der Biegesteifigkeit des Bauteils ab. Wenn die Grenzfrequenz unterhalb von etwa 200 Hz liegt, spricht man von biegesteifen Bauteilen, falls sie oberhalb von etwa 1.600 Hz liegt, von biegeweichen Bauteilen. Wände aus Kalksandstein zählen zu den biegesteifen Bauteilen.

INFO

Für die schalltechnische Dimensionierung mit Einzahlwerten kann das bewertete Schalldämm-Maß R_w einschaliger Bauteile in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse angegeben werden. Diese ist somit die maßgebliche Größe für die akustischen Eigenschaften massiver Bauteile.

In einer so genannten **Massekurve** kann dieser Zusammenhang für Mauerwerk aus Kalksandstein dargestellt werden. Zu berücksichtigen ist dabei die gesamte flächenbezogene Masse der Wand, die sich aus der Rohdichteklasse, der Art der Vermauerung und den aufgebrachten Putzschichten ergibt.

2.4.2 Zweischalige massive Bauteile

Mit zweischaligen Bauteilen kann gegenüber einschaligen Bauteilen gleicher flächenbezogener Masse eine deutlich höhere Schalldämmung erreicht werden. Zweischalige Konstruktionen eignen sich deshalb besonders für solche Bereiche, in denen hohe Schalldämm-Maße erreicht werden sollen. Bei **Haustrennwänden** sind zweischalige Konstruktionen mit biegesteifen Schalen und **durchgehenden Trennfugen** die übliche Ausführung, da sie bei fehlerfreier Ausführung sehr hohe Schalldämm-Maße ermöglichen.

Bei **zweischaligen Außenwänden** sind die Schalen wegen der nach DIN EN 1996/NA einzubauenden Luftschichtanker zwar nicht vollständig getrennt, dennoch erreichen solche Wände eine deutlich höhere Schalldämmung als einschalige Außenwände.

Zweischalige Wände ohne durchgehende Trennfuge (z.B. bei durchlaufenden Decken) sind zu vermeiden. Insbesondere bei dünneren biegesteifen Einzelschalen (z.B. 11,5 cm) wird der resultierende Schallschutz nicht höher, sondern eher niedriger als bei einer gleich schweren einschaligen Wand.

3. Schallschutz zwischen Wunsch und Wirklichkeit

3.1 Die Erwartungen der Bewohner

Lärm belästigt und belastet. Je nach Art, Intensität und Einwirkungsdauer des Lärms ergeben sich unterschiedliche Lärmwirkungen, die von der zeitweiligen Belästigung bis hin zur dauerhaften gesundheitlichen Beeinträchtigung führen können (Bild 7).

In einer zunehmend von Lärm erfüllten Umwelt steigt das Bedürfnis, zumindest in den eigenen vier Wänden noch seine Ruhe finden zu können. Werden Bauherren danach befragt, welche Anforderungen eine Wohnung erfüllen soll, dann wird regelmäßig ein guter Schallschutz ganz an vorderer Stelle genannt. Dieses elementare Anliegen findet regelmäßig seinen Niederschlag in Untersuchungsergebnissen, wenn Bewohner zum erwünschten Schallschutz ihrer Wohnungen befragt werden. So zeigt eine Trendbefragung aus dem Jahr 2008 [13] dass über 70 % der Bevölkerung sich in ihrer Wohnung durch Lärm gestört fühlen (Bild 8) und für 61 % Lärmbelästigungen sogar ein Umzugsgrund sind (Bild 9).

Mehrere Untersuchungen unter Bewohnern verschiedener europäischer Länder ergaben, dass erst ein deutlich höherer Schallschutz, als er in den Mindestanforderungen festgelegt ist, als zufriedenstellend oder gut empfunden wird.

3.2 Der eigene Wohnbereich

Wenn von baulichem Schallschutz die Rede ist, wird zuerst an den Schallschutz gedacht, wie er in den (verbindlichen) Anforderungen der DIN 4109-1 formuliert wird. Gemeint sind dort Geräusche, die außerhalb des eigenen Wohnbereichs entstehen (z.B. Luft- und Trittschall der Nachbarn) und gegen die der eigene Bereich geschützt werden soll. Unbestritten besteht aber auch ein großes Bedürfnis nach einem angemessenen Schallschutz im eigenen Wohnbereich. Dieser ist zwar normativ nicht geregelt, jedoch werden in anderen Regelwerken (z.B. DIN 4109 Beibl. 2:1989, DEGA-Memorandum BR 0104) Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohnbereich ausgesprochen. Daher sollte er in einem vollständigen Schallschutzkonzept Berücksichtigung finden und als Planungsziel eindeutig festgelegt werden.

3.3 Objektive Kriterien für den Schallschutz

3.3.1 Grundlagen und Zusammenhänge

Im Gegensatz zur DIN 4109 mit ihrem quasi historisch überlieferten Schallschutzniveau können durchaus nachvollziehbare Kriterien für die Festlegung von Anforderungen benannt werden. Objektiv quantifizierbar ist der Schutz der Vertraulichkeit. Wenn das gesprochene Wort im Nachbarbereich verstanden wird (oder man selbst ungewollt die Worte der Nachbarn versteht), ist die Vertraulichkeit nicht mehr gegeben. Die Sprachverständlichkeit ist somit ein wichtiges Kriterium zur Festlegung und Beurteilung eines ausreichenden Schallschutzes. In der VDI-Richtlinie 4100 erfolgt deshalb die Bestimmung des notwendigen Schallschutzes zwischen Räumen aufgrund von Sprachverständlichkeitskriterien.

Tafel 6 zeigt beispielhaft die Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit von der vorhandenen Schalldämmung. Weitere objektive Kriterien, die in der VDI-Richtlinie 4100 genannt werden, sind die Hörbarkeit von Geräuschen und deren Störwirkung.

Der Zusammenhang zwischen der Sprachverständlichkeit und den maßgeblichen Einflussgrößen (Schallpegel der Sprache, Fläche des Trennbauteils, Volumen und Halligkeit des Empfangsraums, Grundgeräuschpegel im Empfangsraum) kann nach [15] analytisch hergeleitet und dargestellt werden. Von besonderer Bedeutung ist dabei der Einfluss des Grundgeräuschs.

INFO

Je geringer das aus der Umgebung vorhandene Grundgeräusch ist (z.B. bei ruhigen Wohnlagen), desto leichter kann Sprache verstanden werden und desto höher muss die notwendige Schalldämmung sein.

Derselbe Schallschutz kann also in unterschiedlich lauter Umgebung zu unterschiedlichen Vorgaben an die benötigte Schalldämmung führen. Als Beispiel zeigt Tafel 7, wie sich der Grundgeräuschpegel auf die Sprachverständlichkeit auswirkt. Während bei einer recht guten Schalldämmung von 57 dB und einem A-bewerteten Grundgeräuschpegel von 30 dB Sprache

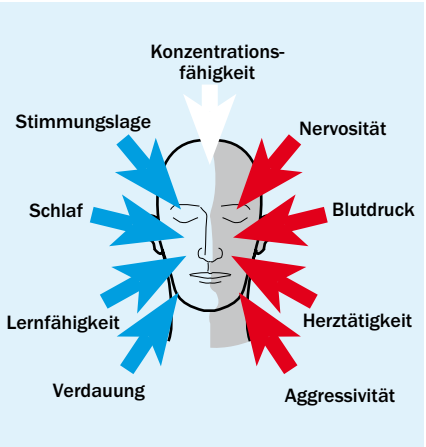


Bild 7 Auswirkungen und Störungen bei zu viel Lärm

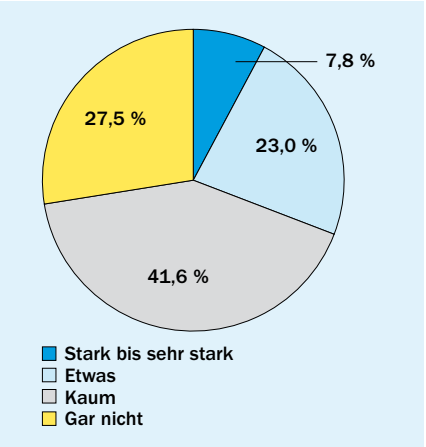


Bild 8 Wie sehr fühlen Sie sich in Ihrer Wohnung/Ihrem Haus durch Lärm belästigt? [13]

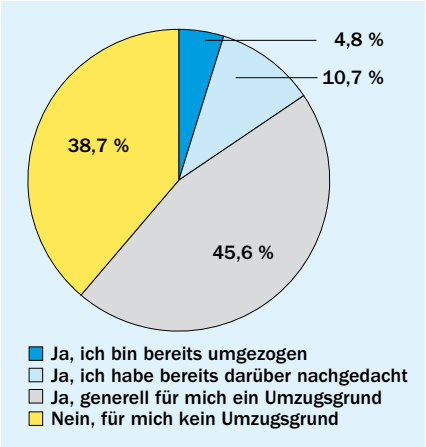


Bild 9 Würden Sie aufgrund von Lärmbelästigung einen Umzug in Erwägung ziehen? [13]

Tafel 6 Wahrnehmung von Sprache aus der Nachbarwohnung bei unterschiedlicher Schalldämmung zwischen den Wohnungen, abendlicher A-bewerteter Grundgeräuschpegel 20 dB, üblich große Aufenthaltsräume (nach [20])

Bewertetes Bauschalldämm-Maß zwischen den Wohnungen		Sprache mit angehobener Sprechweise		
		im Allgemeinen verstehbar	im Allgemeinen nicht verstehbar	nicht verstehbar
R'_w [dB]	horizontal	53	56	59
	vertikal	54	57	60

Tafel 7 Bewertetes Schalldämm-Maß R'_w und das Durchhören von Sprache, (nach [16])

Sprachverständlichkeit	Erforderliches bewertetes Schalldämm-Maß R'_w [dB]	
	A-bewerteter Grundgeräuschpegel 20 dB	A-bewerteter Grundgeräuschpegel 30 dB
Nicht zu hören	67	57
Zu hören, jedoch nicht zu verstehen	57	47
Teilweise zu verstehen	52	42
Gut zu verstehen	42	32

nicht mehr zu hören ist, führt dieselbe Schalldämmung bei einem Grundgeräuschpegel von nur noch 20 dB dazu, dass die Sprache nun zu hören aber nicht zu verstehen ist. 20 dB entsprechen einem üblichen Grundgeräuschpegel in Wohnungen zur ruhigen Abendzeit.

Typische A-bewertete Grundgeräuschpegel liegen nach [17] bei folgenden Werten:

- Nachtgrundpegel in Mehrfamilienhäusern mit hohem Schallschutz in ruhiger Wohnlage: 15 bis 20 dB
- Tagesgrundpegel in Mehrfamilienhäusern mit hohem Schallschutz in ruhiger Wohnlage: 20 bis 25 dB
- Nachtgrundpegel in Wohnungen mit erhöhter Außenlärmbelastung: 25 bis 30 dB
- Nachtgrundpegel in Wohnungen mit hoher Außenlärmbelastung: 30 bis 40 dB

3.3.2 Wirksame Unterschiede im Schallschutz

Wenn gegenüber dem Mindestschallschutz ein so genannter erhöhter Schallschutz festgelegt werden soll, z.B. die Schallschutzstufen I bis III in der VDI-Richtlinie 4100 oder Schallschutzklassen im Rahmen des DEGA-Schallschutzausweises [18], muss der Unterschied zwischen Stufen oder Klassen zu einer wirksamen Erhöhung des Schallschutzes führen.

INFO

Grundsätzlich gilt: Der Wechsel zwischen zwei Stufen muss von den Bewohnern auch tatsächlich als ein wahrnehmbarer Unterschied in der schalltechnischen Qualität empfunden werden. Bei der Luftschalldämmung sollte der Unterschied zum Mindestschallschutz mindestens 3 dB betragen.

So wird es auch vom BGH formuliert, wenn in [19] gesagt wird: *„Ein die Mindestanforderungen überschreitender Schallschutz muss deutlich wahrnehmbar einen höheren Schutz verwirklichen."* Offensichtlich handelt es sich hier um eine eher komplexe Fragestellung mit psychoakustischem Hintergrund. Neben der absoluten Höhe des Ausgangsniveaus hängt die Wahrnehmbarkeit eines verbesserten Schallschutzes auch von der Höhe des jeweils vorliegenden Grundgeräuschpegels ab.

In Zusammenhang mit [17] kommen entsprechende Untersuchungen in [14] zu dem Ergebnis, dass beim Luftschallschutz eine Abstufung nicht unterhalb von 3 dB und bei einer sehr hohen angestrebten Schallschutzqualität deutlich über 3 dB liegen sollte.

Diesem Ansatz folgt z.B. die VDI-Richtlinie 4100 von 2007 [20], deren Schallschutzstufen für den erhöhten Schallschutz sich beim Luftschallschutz um 3 bzw. 6 dB von den Mindestanforderungen der DIN 4109 unterscheiden. Auch die VDI-Richtlinie von 2012 [21] verfolgt bei den ersten beiden Stufen des erhöhten Schallschutzes diese Abstufung, allerdings auf der Basis von Standard-Schallpegeldifferenzen $D_{nT,w}$. In der dritten Stufe des erhöhten Schallschutzes wird dann ein Unterschied von 5 dB vorgesehen.

Für den DEGA-Schallschutzausweis werden gleich von Anfang an größere Abstufungen gewählt: 4 dB mehr gegenüber den Mindestanforderungen der DIN 4109 und danach 5-dB-Stufen für die nachfolgenden Schallschutzklassen.

INFO

Je höher die angestrebte Schallschutzqualität ist, desto größer sollten die Stufen gewählt werden.

Die deutliche Abstufung der in den genannten Regelwerken betrachteten Qualitätsstufen findet sich auch in der Baupraxis wieder. In einer Untersuchung von insgesamt über 1.000 Datensätzen [22], die durch Messungen im Geschosswohnungsbau ermittelt wurden, wird festgestellt, dass sich eine Einteilung der Wohnqualität in „Standard", „Komfort" und „Luxus" auch erkennbar in der Schallschutzqualität der Wohnungen niederschlägt. Die Untersuchung kommt zum Ergebnis, *„dass sich üblicherweise Wohnungen hinsichtlich ihrer offensichtlichen qualitativen Ausstattung auch in Bezug auf den Schallschutz unterscheiden. Eine Standardwohnung ohne zusätzliche Ansprüche an den Komfort entspricht schalltechnisch im Wesentlichen den Mindestanforderungen der DIN 4109. Gegenüber dem Standard hat eine Wohnung mit gehobener Ausstattung im Mittel einen deutlich wahrnehmbar höheren Luftschallschutz von ca. 3 dB (ca. 5 dB beim Trittschallschutz). Luxuswohnungen zeigen bei der durchgeführten Auswertung nochmals die gleiche Verbesserung gegenüber der gehobenen Ausstattung. Die ermittelten Unterschiede im Schallschutz in den drei Ausstattungskategorien Standard, Gehoben und Luxus entsprechen näherungsweise auch*

den in VDI 4100 und im DEGA Schallschutzausweis verwendeten Abstufungen zwischen den Schallschutzstufen.“

3.4 Anforderungen und Empfehlungen

Hinsichtlich der im baulichen Schallschutz gestellten Anforderungen entstehen immer wieder Unsicherheiten, wenn es um den geforderten Schallschutz und die Abgrenzung zwischen „normalem“ und erhöhtem Schallschutz geht. Im Einzelnen werden die Anforderungen und Empfehlungen vorhandener Regelwerke in Abschnitt 4 erläutert.

Grundsätzlich sind zu beachten:

- DIN 4109 Schallschutz im Hochbau:
  In jahrzehntelanger Tradition finden sich die Anforderungen an den baulichen Schallschutz in der DIN 4109. Nach der Überarbeitung der DIN 4109 aus dem Jahr 1989 [2, 23–25] finden sich die aktuellen Anforderungen in DIN 4109-1:2016 und 2018 [26, 35].
- VDI 4100 Schallschutz von Wohnungen:
  Ziel der VDI-Richtlinie 4100 ist die schalltechnische Klassifizierung von Wohnungen für die Planung und Bewertung des Schallschutzes. Die Fassung der VDI 4100 aus dem Jahre 2007 [20] wurde vollständig überarbeitet und 2012 als Neufassung [21] herausgegeben. Während die 2007er Fassung in der SSt I noch mit DIN 4109:1989-11 übereinstimmte, wurde in der 2012er Fassung auch die SSt I nur noch für den erhöhten Schallschutz ausgelegt. Beide Fassungen sind bezüglich der Schallschutzstufen damit nicht direkt vergleichbar (Tafel 8).
- Veröffentlichungen der Deutschen Gesellschaft für Akustik (DEGA):
  Über die Normen und Regelwerke hinaus gibt es einige Schriften, die Stellung zum baulichen Schallschutz beziehen: Me-

Tafel 8 Anforderungen und Empfehlungen zum baulichen Schallschutz [dB]

			DIN 4109-1:2016	DIN 4109:1989	DIN 4109: 1989, Beiblatt 2	Empfehlung Kalksandsteinindustrie[1]	VDI 4100:2007			VDI 4100:2012		
							SSt I	SSt II	SSt III	SSt I	SSt II	SSt III
Randbedingungen		Anwendungsgebiet	Mindestschallschutz Bauaufsichtlich relevante Anforderungen		Empfehlungen für einen erhöhten Schallschutz (Vorschläge für vertragliche Vereinbarungen)							
		Schutzbedürftige Räume	Aufenthaltsräume							Räume mit Grundflächen ≥ 8 m²		
		Anforderungskenngrößen	R'_w / $L'_{n,w}$ / $L_{AF,max,n}$							$D_{nT,w}$ / $L'_{nT,w}$ / $L_{AF,max,nT}$		
Anforderungen/Empfehlungen	Mehrfamilienhaus	Luftschallübertragung horizontal	53	53	55	56	53	56	59	56	59	64
		Luftschallübertragung vertikal	54	54	55	57	54	57	60			
		Trittschallübertragung Decken	50	53	46	46	53	46	39	51	44	37
		Trittschallübertragung Treppen	53	58	46	46	58	53	46			
		Luftschallübertragung Tür: Treppenhaus – Flur	27[2]	27[2]	37[2]	32[2]	–	–	–	–	–	–
		Luftschallübertragung Tür: Treppenhaus – Aufenthaltsraum	37[2]	37[2]	–	–[3]	–	–	–	–	–	–
		Gebäudetechnische Anlagen	30	30	–	27	30	30	25	30	27	24
		Luftschallübertragung horizontal im eigenen Wohnbereich (Wände ohne Türen)	–	–	40/47	47	–	–	–	48[5]	52[5]	–
	Reihen-/Doppelhaus	Luftschallübertragung (unterstes Geschoss)	59	57	67	67	57	63	68	65	69	73
		Luftschallübertragung (alle anderen Geschosse)	62									
		Trittschallübertragung Decken	41	48	38	38	48	41	34	46	39	32
		Trittschallübertragung Bodenplatte	46			41						
		Trittschallübertragung Treppen	46	53	46	46[4]	53	46	39			
		Gebäudetechnische Anlagen	30	30	–	25	30	25	20	30	25	22
		Luftschallübertragung horizontal im eigenen Wohnbereich (Wände ohne Türen)	–	–	40/47	47	–	–	–	48[5]	52[5]	–

[1] Für den Schutz gegen Außenlärm werden die Anforderungen von DIN 4109 empfohlen. Für den erhöhten Schallschutz raumlufttechnischer Anlagen wird für den Geräuscherzeuger $L_{AFeq,nT} \leq 22$ dB empfohlen.
[2] Schalldämm-Maß R_w
[3] Bei erhöhten Anforderungen an den Schallschutz wird diese Art der Grundrissgestaltung nicht empfohlen.
[4] Mit schalltechnisch entkoppelten Treppen sind deutlich geringere Werte möglich.
[5] SSt EB1 bzw. SSt EB2, die Empfehlungen in VDI 4100:2012 zum verbesserten Schallschutz innerhalb des eigenen Wohnbereichs sind ggf. unabhängig von den weiteren Empfehlungen der Richtlinie separat zu vereinbaren.

Tafel 9 Festlegungen zum baulichen Schallschutz, Geltungsbereich der Regelwerke

	Fremder Wohn- und Arbeitsbereich		Eigener Wohn- und Arbeitsbereich	
	öffentlich-rechtlich	zivilrechtlich	öffentlich-rechtlich	zivilrechtlich
Mindestanforderungen	DIN 4109-1	–	–	–
Erhöhter Schallschutz	–	■ Beiblatt 2 zu DIN 4109:1989 ■ VDI 4100 ■ DEGA-Empfehlung 103	–	■ Beiblatt 2 zu DIN 4109:1989 ■ VDI 4100 ■ DEGA-Empfehlung 103 ■ DEGA-Memorandum BR 0104

morandum der DEGA BR 0101 [37], in welchem zum Verhältnis von DIN 4109 und den anerkannten Regeln der Technik Stellung genommen wird, und DEGA-Empfehlung 103: Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis [18].

Die aktuelle Situation belegt, dass die Festlegung von Schallschutzanforderungen kontrovers und mit unterschiedlicher Intention gesehen wird. Einen Überblick über den Geltungsbereich einzelner Regelwerke enthält Tafel 9.

3.5 Zahlenmäßige Festlegungen des Schallschutzes

Die zahlenmäßigen Festlegungen der DIN 4109-1 und der VDI-Richtlinie 4100 betreffen die Luft- und Trittschalldämmung, die Geräusche haustechnischer Anlagen und Betriebe sowie die Außengeräusche. In DIN 4109-1 werden je nach Nutzungszweck (Wohngebäude, Beherbergungsstätten, Krankenhäuser, Schulen) unterschiedliche Festlegungen getroffen.

Die VDI 4100 beschäftigt sich nur mit Wohngebäuden. Für Wohngebäude vergleicht die tabellarische Zusammenstellung (Tafel 8) die Werte des Mindestschallschutzes nach DIN 4109-1 mit dem erhöhten Schallschutz nach VDI 4100:2007 und VDI 4100:2012.

Zum Vergleich zeigt Tafel 10 die Abstufung der Kennwerte für die sieben Schallschutzklassen des DEGA-Schallschutzausweises. Schallschutzklasse D entspricht beim Luft- und Trittschall im Wesentlichen den Anforderungen der DIN 4109:1989 für Mehrfamilienhäuser.

3.6 Schallschutz und Rechtsprechung

3.6.1 Grundsätzliches

Ca. 20 % aller Baustreitigkeiten vor Gericht werden im Bereich des Schallschutzes ausgetragen. Die Gründe hierfür sind:

- Die Vereinbarungen über den geschuldeten Schallschutz sind unklar.
- Die Anforderungen an den Schallschutz nach DIN 4109 stimmen mit der Erwartungshaltung der Bewohner nicht überein.
- Fehler werden in Planung und Ausführung gemacht, z.B. ungünstige Anordnung von schutzbedürftigen und nichtschutzbedürftigen Räumen, falsche Dimensionierung der flankierenden Bauteile, Körperschallbrücken bei zweischaligen Haustrennwänden und schwimmenden Estrichen.

Gerichtsurteile, juristische Kommentare und Sachverständigenaussagen zeigen, dass eine einheitliche Darstellung der Rechtslage nicht erwartet werden kann. Die nachfolgenden Ausführungen können und wollen deshalb keine juristisch abgerundete Darstellung sein, sondern lediglich die Problematik anhand solcher rechtlichen Aspekte aufzeigen, die im Bereich des baulichen Schallschutzes immer wieder für Diskussionen sorgen.

3.6.2 Öffentlich rechtliche Anforderungen (DIN 4109)

Die DIN 4109 definiert ihre Zielsetzungen in der Einleitung zu DIN 4109-1 mit Bezug auf die europäische Bauprodukten-Verordnung (2011) [38] wie folgt:

„Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass der von den Bewohnern oder von in der Nähe befindlichen Personen wahrgenommene Schall auf einem Pegel gehalten wird, der nicht gesundheitsgefährdend ist und bei dem zufriedenstellende Nachtruhe-, Freizeit- und Arbeitsbedingungen sichergestellt sind.“

Zur Konkretisierung werden folgende Schallschutzziele genannt:

- Gesundheitsschutz
- Vertraulichkeit bei normaler Sprechweise
- Schutz vor unzumutbaren Belästigungen

Damit folgt die DIN 4109-1:2016 den Intentionen der DIN 4109:1989, die das in ähnlicher Art und Weise formuliert hat. Im

Tafel 10 Anforderungen Luft- und Trittschall der DEGA-Empfehlung 103 für die einzelnen Schallschutzklassen

		Schallschutzklasse						
		F	E	D	C	B	A	A*
Luftschall	**Wände/Decken R'_w [dB]**	< 50	≥ 50	≥ 53/54	≥ 57	≥ 62	≥ 67	≥ 72
Trittschall	**Decken, Treppen, Balkone $L'_{n,w}$ [dB]**	> 60	≤ 60	≤ 53	≤ 46	≤ 40	≤ 34	≤ 28

Unterschied zur Vorgängernorm benennt DIN 4109-1:2016 explizit schon im Titel („Schallschutz im Hochbau – Mindestanforderungen"), dass es in dieser Norm um Mindestanforderungen geht.

INFO

Aus bauaufsichtlicher Sicht ist die Situation eindeutig: Geschuldet werden die (Mindest-) Anforderungen der DIN 4109. Also: kein erhöhter Schallschutz und kein Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich.

Privatrechtlich wird hingegen die Ordnungsgemäßheit der Leistung geschuldet.

3.6.3 Privatrechtliche Anforderungen

Allgemein anerkannte Regeln der Technik (a.a.R.d.T.)

Hinweise zu den privatrechtlichen Anforderungen gibt die Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) Teil B [39] in:

- § 4 Nr. 2 (1): *„Der Auftragnehmer hat die Leistung unter eigener Verantwortung nach dem Vertrag auszuführen. Dabei hat er die anerkannten Regeln der Technik und die gesetzlichen und behördlichen Bestimmungen zu beachten."*
- § 13 Nr. 1: *„Der Auftragnehmer hat dem Auftraggeber seine Leistung zum Zeitpunkt der Abnahme frei von Sachmängeln zu verschaffen. Die Leistung ist zur Zeit der Abnahme frei von Sachmängeln, wenn sie die vereinbarte Beschaffenheit hat und den anerkannten Regeln der Technik entspricht. Ist die Beschaffenheit nicht vereinbart, so ist die Leistung zur Zeit der Abnahme frei von Sachmängeln,*
  - *wenn sie sich für die nach dem Vertrag vorausgesetzte, sonst*
  - *für die gewöhnliche Verwendung eignet und eine Beschaffenheit aufweist, die bei Werken der gleichen Art üblich ist und die der Auftraggeber nach der Art der Leistung erwarten kann."*

In erster Linie wird sich die Ordnungsgemäßheit der Leistung an den vertraglichen Regelungen orientieren. Erfahrungsgemäß fehlen diese im Bereich des baulichen Schallschutzes oft oder sind unbestimmt. Es gilt dann: Geschuldet wird eine Planung und Ausführung nach den a.a.R.d.T.. Diese können schriftlich fixiert sein, müssen es aber nicht. Auch müssen sie nicht zwangsläufig mit geltenden DIN-Normen oder anderweitigen Regelwerken übereinstimmen. Im Zweifelsfall hat, mit Hilfe von Sachverständigen, das Gericht den geschuldeten Schallschutz nach den a.a.R.d.T. festzusetzen.

INFO

Gewährleistungsfälle treten immer wieder auf, wenn für Wohnobjekte mit gehobenem Komfort („Komfortwohnungen", „gehobene Ansprüche", „qualitativ hochwertige Ausstattung" etc.) lediglich der Mindest-Schallschutz nach DIN 4109 eingehalten wird. Hier geht es um die Frage, ob stattdessen ein erhöhter Schallschutz zu erbringen sei und wie hoch dieser ggf. anzusetzen wäre.

Schallschutz für Komfortwohnungen

Die Einhaltung der (Mindest-) Anforderungen nach DIN 4109 schließt nicht grundsätzlich ein, dass in jedem Fall auch den Ansprüchen der a.a.R.d.T. Rechnung getragen wurde.

So wird im Urteil des OLG München vom 19.05.2009 [40] bestätigt, dass es (im vorliegenden Fall einer Doppelhaushälfte) nicht genügt, wenn für ein als attraktiv und komfortabel deklariertes Objekt lediglich die Mindestanforderungen der DIN 4109 von 1989 eingehalten werden. In DIN 4109-1:2016 wurden deshalb die Anforderungswerte für Reihen- und Doppelhäuser in Anlehnung an die im DEGA-Memorandum [37] genannten Anforderungswerte angepasst.

Schallschutz durch vereinbarte Bauweisen

Erhöhter Schallschutz kann auch durch die Vereinbarung bestimmter Bauweisen bzw. Baukonstruktionen vereinbart sein.

Der Bundesgerichtshof (BGH) führt in einem Urteil vom 14.06.2007 [19] zum vertraglich geschuldeten Schallschutz beim Bau einer Doppelhaushälfte hierzu aus:

„Können durch die vereinbarte Bauweise bei einwandfreier, den anerkannten Regeln der Technik hinsichtlich der Bauausführung entsprechender Ausführung höhere Schallschutzwerte erreicht werden, als sie sich aus den Anforderungen der DIN 4109 ergeben, sind diese Werte unabhängig davon geschuldet, welche Bedeutung den Schalldämm-Maßen der DIN 4109 sonst zukommt."

In den letzten Jahren haben sich für einige Bereiche der Bautechnik standardmäßige Grundkonstruktionen durchgesetzt. Der Einsatz dieser Konstruktionen kann als üblich erwartet werden und kann bewirken, dass höhere Schalldämmwerte erreicht werden, als in der DIN 4109 gefordert sind. Dies betrifft vor allem den Einsatz zweischaliger Haustrennwände (siehe z.B. [37] oder [40]). Da der Einsatz derartiger Konstruktionen mittlerweile als allgemein anerkannte Regel der Technik betrachtet wird, gelten auch die mit ihnen zu erreichenden schalltechnischen Kennwerte als allgemein anerkannte Regel der Technik.

Wenn also z.B. eine zweischalige Haustrennwand (Kalksandstein, 2 · 20 cm, RDK 2,0) als Konstruktion vereinbart wurde, ist diese in der Lage, mängelfrei (bei vollständiger Trennung der Schalen) ein Schalldämm-Maß R'_w = 72 dB zu erbringen. Falls sie lediglich R'_w = 67 dB erreicht, erfüllt sie zwar den erhöhten Schallschutz nach dem noch nicht zurückgezogenen Beiblatt 2 [24] zu DIN 4109:1989, ist aber dennoch nicht mängelfrei.

Zusätzlichen Diskussionsstoff liefert das schon genannte BGH-Urteil vom 14.06.2007, wenn es feststellt, die DIN 4109:1989 definiere lediglich Mindestanforderungen des Schallschutzes und entspreche nicht den anerkannten Regeln der Technik. Kann der Erwerber einer Wohnung nach dem Vertrag eine Ausführung erwarten, die einem üblichen Qualitäts- und Komfortstandard entspricht, dann ist nicht auf die Schalldämm-Maße der DIN 4109 abzustellen, da diese eben nicht den heute üblichen Qualitäts- und Komfortstandard wiedergeben, sondern lediglich Mindestanforderungen zur Vermeidung unzumutbarer Belästigungen.

Weiterhin heißt es vom BGH zum Mindestschallschutz der DIN 4109:1989 (mit Bezug auf den Mehrgeschoss-Wohnungsbau)

in einem Urteil aus dem Jahr 2009 [41], dass *„…diese Werte in der Regel keine anerkannten Regeln der Technik für die Herstellung des Schallschutzes in Wohnungen sind, die üblichen Qualitäts- und Komfortansprüchen genügen.“*

Eigener Wohn- und Arbeitsbereich

Mit Bezug auf die a.a.R.d.T. ist auch klar, dass der von den bauaufsichtlichen Vorgaben nicht tangierte eigene Wohn- und Arbeitsbereich schalltechnisch kein rechtsfreier Raum ist, in welchem nichts geschuldet wird. Privatrechtlich kann der Bauherr in jedem Fall eine mängelfreie Leistung verlangen, deren Ausführung den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht. Dies erfordert, dass mindestens die üblichen Maßnahmen für den Schallschutz ausgeführt werden. Zur Festlegung des Schallschutzes werden Hinweise gegeben in Beiblatt 2 zu DIN 4109:1989, VDI 4100 und der DEGA-Empfehlung 103 (siehe Tafel 19). Dazu kommt seit Februar 2015 das DEGA-Memorandum BR 0104 „Schallschutz im eigenen Wohnbereich“ [42].

3.7 Die Umsetzung von Schallschutz-Anforderungen

3.7.1 Erreichbarer Schallschutz

Grundsätzlich ist bei der Festlegung des vereinbarten Schallschutzes die Frage zu beantworten, welcher Schallschutz mit der gewählten Bauweise erreicht werden kann.

INFO

Mit den neuen Planungsinstrumenten der DIN 4109 (Berechnungsverfahren in DIN 4109-2 und Bauteilkatalog in DIN 4109-31 bis -36) und deren Umsetzung in Berechnungsprogrammen (KS-Schallschutzrechner) kann bereits jetzt der Schallschutz wesentlich genauer und detaillierter geplant werden, so dass man sich ein verlässliches Bild vom erreichbaren Schallschutz machen kann.



Leicht können mit den neuen Berechnungsverfahren auch Planungsvarianten durchgespielt werden, aus denen sich die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen erkennen lässt.

3.7.2 Grenzen des bauüblichen Schallschutzes

Für konventionelle Massivbauweise (einschalige, massive Bauteile) ist die resultierende Luftschalldämmung zwischen Wohnungen auf ca. 57 bis 58 dB begrenzt. Gründe sind die Schalllängsleitung über flankierende Bauteile und bauüblich ausgebildete Stoßstellen, die ohne zusätzliche Gegenmaßnahmen keine höheren Werte erlauben.

Höherer Schallschutz ($R'_w \geq 60$ dB) muss konstruktiv umgesetzt werden: mehrschalige Konstruktionen, getrennte Bauteile wie z.B. zweischalige Wohnungstrennwände mit getrennten Flanken (Wände und Decken) und körperschalldämmende Bauteilverbindungen sind ohne Fachplaner in der Regel nicht zu bewältigen. Für diese Bauarten sind nicht nur höhere Kosten, sondern auch ein erhöhter Aufwand bei der Bauausführung und -überwachung einzuplanen.

INFO

Grundsätzlich gilt, dass bei höheren Anforderungen die schalltechnisch richtige Planung der Wohnungsgrundrisse von Beginn an bei der Entwurfsplanung berücksichtigt werden muss. Je höher die Anforderungen, desto sorgfältiger müssen die Flankenwege geplant werden.

Es wird geraten, Anforderungen, die über die Schallschutzstufe II der VDI 4100:2007 bzw. Schallschutzstufe I der VDI 4100:2012 hinausgehen, nur dann vertraglich zu vereinbaren, wenn bereits im Planungsstadium die sichere konstruktive Umsetzung aufgezeigt werden kann.

3.8 Kosten des Schallschutzes

Immer wieder wird behauptet, dass der bauliche Schallschutz ein „Kostentreiber“ sei. Tatsächlich ist Schallschutz nur dann teuer, wenn er falsch oder gar nicht geplant wurde, wenn er erst nachträglich realisiert wird oder gar erst durch „Reparaturmaßnahmen“ zustande kommt. Das kann aber nicht der Maßstab für eine sachgerechte Beurteilung sein.

Keine, geringe oder vertretbare Mehrkosten entstehen, wenn der Schallschutz bereits integraler Bestandteil der Planung ist! Erhöhter Schallschutz und kostengünstiges Bauen können miteinander verbunden werden.

Bei erfahrenen Beratenden Ingenieuren wird dieser Ansatz schon längst in die Praxis umgesetzt. Eine allgemein gültige Aussage zur Kostenfrage ist an dieser Stelle allerdings nicht möglich, da sie von den gegebenen Umständen (Ausgangssituation, gewählte Bauweise, angestrebtes Schallschutzniveau) abhängt.

Verwiesen sei auf entsprechende Studien, die sich bei differenzierter Betrachtung dieser Frage angenommen haben, z.B.

[43], [44]. Im Wesentlichen kann jedoch davon ausgegangen werden, dass im Massivbau ein Schallschutzniveau

- entsprechend Beiblatt 2 zu DIN 4109: 1989 ohne Mehrkosten und
- die Schallschutzstufe II der VDI 4100: 2007 mit geringen Mehrkosten gegenüber den Mindestanforderungen der DIN 4109 realisiert werden kann.

In der ganzen Kostendiskussion hat sich allerdings noch nicht ausreichend herumgesprochen, dass zu einer guten Wohnung auch ein guter Schallschutz gehört. Hellhörige Wohnungen lassen sich schon jetzt schlecht vermieten oder verkaufen. Guter Schallschutz muss deshalb als eine wertsteigernde und zukunftssichere Investition betrachtet werden.

Diese Ansicht hat sich aber noch nicht generell durchgesetzt. So wird zwar bei vielen Kostenbetrachtungen ein möglicher Wohnflächenverlust mit „spitzem Griffel“ erfasst und in die Schallschutzkosten mit eingerechnet, auf der Habenseite fehlt aber oft die Wertsteigerung, die durch höheren Schallschutz entsteht. Bewusstseinsbildung tut hier Not.

INFO

Die Schallschutzqualität muss zu einem zentralen Wertgegenstand des Wohneigentums werden.

80 % aller Mieter sind bereit, in einen besseren Schallschutz mehr zu investieren, wenn sie überprüfbare Qualitätsstandards vorfinden. Vor diesem Hintergrund ist aufmerksam zu beobachten, wie sich Akzeptanz und Verbreitung des DEGA-Schallschutzausweises [18] entwickeln.

4. Anforderungen an den baulichen Schallschutz

4.1 Regelwerke

Grundsätzlich muss bei Regelwerken unterschieden werden, ob sie Anforderungen an den Schallschutz oder Nachweisverfahren enthalten. Beispielsweise ist die harmonisierte europäische Schallschutznorm **EN 12354-1** ein Regelwerk, das keine Anforderungen an den Schallschutz enthält, sondern nur Nachweisverfahren festlegt. Dies ist auch richtig so, weil Anforderungen national gestellt werden. Weiterhin gibt es Regelwerke wie z.B. die **VDI-Richtlinie 4100**, die zwar Anforderungen enthalten, aber keine Nachweise selbst regeln, sondern dazu auf andere Regelwerke verweisen. Die **DIN 4109** ist das klassische Beispiel für ein Regelwerk, welches sowohl Anforderungen als auch Nachweisverfahren regelt und damit den Schallschutz komplett behandelt.

Den Geltungsbereich der jeweiligen Regelwerke enthält Tafel 9. Vergleichende Zahlenwerte der Anforderungen enthält die Tafel 8. Die Anforderungen aus der DEGA Empfehlung 103 enthält Tafel 10.

4.1.1 Festlegung von Anforderungen in DIN 4109-1

Die DIN 4109 ist nicht das einzige Regelwerk für den baulichen Schallschutz, aber sie ist das einzige Regelwerk, das die bauaufsichtlichen Anforderungen und Nachweise festlegt. Hinzu kommt, dass sie über den bauaufsichtlichen Bereich hinaus noch das maßgebende Instrument für die bauakustische Planung darstellt.

Anwendungsbereich und Zweck

In der DIN 4109-1 werden Anforderungen festgelegt, die zur Wahrung des Gesundheitsschutzes notwendig sind. Sie gelten für den Schallschutz in Gebäuden, die ganz oder teilweise dem Aufenthalt von Menschen dienen und für den Schallschutz von schutzbedürftigen Räumen in Kommunal- und anderen Zweckbauten. Die Anforderungen dieser Norm an zu schützende Räume berücksichtigen die Vertraulichkeit bei normaler Sprechweise und den Schutz vor unzumutbaren Belästigungen.

Die Anforderungen innerhalb eines Gebäudes gelten nur dem Schutz vor Schallübertragung aus einem fremden Wohn- oder Arbeitsbereich. Der eigene Wohn- oder Arbeitsbereich ist nicht Gegenstand der Anforderungen. Eine Ausnahme sind in DIN 4109-1 die Anforderungen an maximal zulässige A-bewertete Schalldruckpegel in schutzbedürftigen Räumen in der eigenen Wohnung, erzeugt von raumlufttechnischen Anlagen im eigenen Wohnbereich. Ergänzend zu dieser Regelung werden in einem informativen Anhang Empfehlungen für maximal zulässige Schalldruckpegel im eigenen Wohnbereich gestellt, die von heiztechnischen Anlagen im eigenen Bereich erzeugt werden.

Vorgesehenes Schallschutzniveau

In DIN 4109-1 heißt es: *„Es kann nicht erwartet werden, dass Geräusche von außen oder aus benachbarten Räumen nicht mehr bzw. als nicht belästigend wahrgenommen werden, auch wenn die in dieser Norm festgelegten Anforderungen erfüllt werden. Daraus ergibt sich insbesondere die Notwendigkeit, gegenseitig Rücksicht zu nehmen.“*

Mit dieser Formulierung und der Absicht, den Gesundheitsschutz sicherzustellen, Vertraulichkeit bei normaler Sprechweise zu wahren und unzumutbare Belästigungen zu vermeiden, ist offensichtlich, dass der Schallschutzanspruch der DIN 4109 ein Niveau definiert, das nicht grundsätzlich ungestörtes Wohnen gewährleistet.

INFO

Durch ihre bauaufsichtliche Einführung regelt die DIN 4109 rechtsverbindlich u.a. den Schutz gegen Schallübertragung aus fremden Wohn- und Arbeitsräumen.

Anforderungen

Durch die bauaufsichtliche Einführung der Schallschutzanforderungen der DIN 4109 sind diese öffentlich-rechtlich geschuldete Eigenschaften. Sie sind als Mindestanforderungen zu verstehen, die nicht unterschritten werden dürfen. DIN 4109-1:2016 trägt dem dadurch Rechnung, dass sie im Titel nun explizit „Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen“ heißt.

Außerhalb des bauaufsichtlichen Bereichs enthält Beiblatt 2 zur alten DIN 4109:1989 Vorschläge für den erhöhten Schallschutz und Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohnbereich. Als Beiblatt gehört es nicht zum Normenwerk. Im Rahmen der neuen DIN 4109 ist dafür derzeit kein Nachfolgedokument vorgesehen.

Beim Schallschutz innerhalb eines Gebäudes mit Wohnungen und Arbeitsräumen geht es in DIN 4109-1 ausdrücklich nur um den Schutz gegen Schallübertragung aus einem fremden Wohn- oder Arbeitsbereich. Der eigene Wohn- und Arbeitsbereich ist nicht Gegenstand der Anforderungen. Als einzige Ausnahme von diesem Prinzip sind in DIN 4109-1 zum ersten Mal Anforderungen an die maximalen Schallpegel raumlufttechnischer Anlagen im eigenen Wohnbereich festgelegt worden. Schutzbedürftige Räume sind Aufenthaltsräume wie z.B. Wohnräume (einschließlich Wohndielen und Wohnküchen), Schlafräume (einschließlich Übernachtungsräumen in Beherbergungsstätten), Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien, Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen, Büroräume, Praxisräume, Sitzungsräume und ähnliche Arbeitsräume. Nicht zu den schutzbedürftigen Räumen zählen Küchen, Bäder, Toiletten, Flure oder Haustechnikräume. Darüber hinaus regelt die DIN 4109-1 die schalltechnischen Anforderungen an Beherbergungsstätten (Hotels), Schulen sowie Krankenanstalten und Sanatorien.

Für die in den letzten Jahren zunehmend errichteten „Seniorenheime“ bleibt es in der DIN 4109-1 offen, welche Anforderungen gestellt werden. In [45] wird dazu folgendermaßen Stellung genommen:

„Die in DIN 4109:1989-11, Tab. 3 gestellten Anforderungen decken bereits eine Vielzahl von Situationen ab, können jedoch niemals vollständig sein und alle denkbaren, unterschiedlichen Situationen erfassen. Durch Vergleich der unbekannten Situation mit der bekannten Situation lässt sich die passende Anforderung ermitteln.

Die Bewohner von Seniorenwohnungen wohnen langfristig (also nicht nur Tage oder Wochen) in ihren Wohnungen im Seniorenwohnheim und wollen dort ebenso vor unzumutbaren Belästigungen durch Schallübertragung geschützt sein und erwarten die gleiche Vertraulichkeit, wie die Bewohner in einem Mehrfamilienhaus. Dies gilt auch und besonders für Pflegezimmer, deren pflegebedürftige Bewohner besonders benachteiligt sind, da sie dem Lärm nicht ausweichen und in ein anderes Zimmer wechseln können. Insofern sind hier auch die gleichen Anforderungen wie an Wohnungstrennwände zu stellen. Dagegen sind Krankenräume nur für einen befristeten Aufenthalt (für Kurzzeit oder Tagespflege) vorgesehen, wofür ein geringerer Schallschutz vertretbar ist.“

4.1.2 Beiblatt 2 zu DIN 4109:1989

Beiblatt 2 zu DIN 4109:1989 [24] enthält über den Geltungsbereich der DIN 4109 hinausgehend „Vorschläge für erhöhten Schallschutz“ und „Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich“. Angesichts des rein zivilrechtlichen Charakters der in Beiblatt 2 vorgeschlagenen Werte heißt es dort: *„Ein erhöhter Schallschutz einzelner oder aller Bauteile nach diesen Vorschlägen muss ausdrücklich zwischen dem Bauherrn und dem Entwurfsverfasser vereinbart werden…“*. Eine gleich lautende Formulierung findet sich auch für den eigenen Wohn- und Arbeitsbereich. Diese Formulierung kann rechtlich allerdings nicht so interpretiert werden, dass ein bestimmter Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich nur dann geschuldet wird, wenn darüber ausdrückliche Vereinbarungen bestehen.

Nach dem heute vorherrschenden Verständnis ist das Beiblatt 2 nicht in der Lage, für den Luftschallschutz in Geschosshäusern mit Wohnungen und Arbeitsräumen einen wirklichen erhöhten Schallschutz zu definieren.

4.1.3 Das Normenpaket der DIN 4109

4.1.3.1 Aktuelle Normungssituation

Infolge der Umsetzung der europäischen Schallschutznormung ist die DIN 4109:1989 komplett überarbeitet worden. Im Juli 2016 wurde die Neufassung des vollständigen Normenpakets der DIN 4109 als Weißdruck veröffentlicht. Aufgrund von Widersprüchen zwischen der neuen Schallschutznorm und der zeitgleich überarbeiteten Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) wurden bereits im Januar 2017 zu DIN 4109-1 und DIN 4109-2 die Änderungsblätter E DIN 4109-1 [33] und E DIN 4109-2 [34] veröffentlicht. Nach Abschluss der Einspruchsphase zu diesen beiden Entwürfen, wurden die Änderungen im Rahmen einer konsolidierten Neufassung der beiden betroffenen Normen als DIN 4109-1:2017-11 [35] und DIN 4109-2:2017-11 [36] neu herausgegeben.

Bei den Anforderungswerten selbst gibt es gegenüber DIN 4109:1989 keine wesentlichen Änderungen. Lediglich beim Trittschall wurde eine geringe Absenkung der Normtrittschallpegel und bei der Luftschalldämmung in Doppel- und Reihenhäusern eine moderate Erhöhung der Werte vorgesehen. Einige Anforderungswerte werden in Tafel 8 dargestellt.

Dass die DIN 4109 lediglich die Mindestanforderungen regelt, ist für das Bauen mit Kalksandstein von untergeordneter Bedeutung, da die verfügbaren bautechnischen Lösungen die Einhaltung unterschiedlichster Schallschutzniveaus erlauben.

4.1.3.2 Struktur der DIN 4109

Die DIN 4109-1 legt Anforderungen fest und definiert, wie die Erfüllung der Anforderungen nachzuweisen ist. Um dieser Auf-

gabe gerecht zu werden, gliedert sich die neue DIN 4109 in folgende vier Teile (Bild 10):

- DIN 4109-1: Mindestanforderungen [35]
- DIN 4109-2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen [36]
- DIN 4109-31 bis DIN 4109-36: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) [6] und [27–31]
- DIN 4109-4: Bauakustische Prüfungen [32]

Jeder Teil dieser Norm behandelt eigenständig und ausschließlich einen bestimmten Aspekt der Schallschutznormung. Nachfolgend werden die Grundzüge der einzelnen Teile vorgestellt.

INFO

Die neue DIN 4109 liefert mit den Teilen 2 und 31 bis 36 auf Grundlage der europäischen Berechnungsverfahren der DIN EN 12354 [3, 46–50] einen systematischen und vollständigen Ansatz für die bauakustische Planung, der weit über die Möglichkeiten der bisherigen DIN 4109:1989 und ihrer Beiblätter hinausgeht und seit langem Stand der Technik ist.

4.1.3.3 Stand der bauaufsichtlichen Einführung der DIN 4109

Die Grundlage für die bauaufsichtliche Einführung technischer Regelwerke bildet die Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), die den Bundesländern als Vorlage für die durch die jeweilige Landesbauordnung eingeführte Verwaltungsvorschrift technische Baubestimmungen (VV TB) dient. In der MVV TB vom 31.08.2017 finden sich unter Abschnitt A5 die Regeln zur Grundanforderung Schallschutz. Dort ist eine bauaufsichtliche Einführung der neuen Schallschutznorm DIN 4109:2016-7 nur für den Teil 1 der Norm „Mindestanforderungen“ vorgesehen. Zum schalltechnischen Nachweis heißt es in Anhang A 5.2/2, dass dieser nach DIN 4109-2 in Zusammenhang mit den zugehörigen Bauteilkatalogen (DIN 4109-31 bis DIN 4109-36) erfolgen kann, oder dass alternativ für Bauteile des Massivbaus Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989-11 herangezogen werden kann, sofern es sich nicht um Mauerwerk aus schalltechnisch ungünstigen Lochsteinen handelt.

Durch diese Festlegung wird DIN 4109:1989 Beiblatt 1 auch weiterhin für die schalltechnischen Nachweise im Massivbau (Luftschall und Trittschall jeweils in Mehrfamilienhäusern und zwischen Reihen- und Doppelhäusern, Außenlärm, gebäudetechnische Anlagen etc.) als alternatives Nachweisverfahren zu DIN 4109-2 zugelassen. Somit stehen für die rechnerischen Nachweise im Massivbau gemäß MVV TB auf breiter Front zwei Möglichkeiten zur Auswahl.

DIN 4109:1989 Beiblatt 1 wurde im Wesentlichen in der Zeit zwischen 1975 und 1985 erarbeitet und war für die Planung damals üblicher Bauweisen (Grundrisssituationen, Baustoffe, Bauelemente etc.) ausgelegt. Sie entspricht in vielen Bereichen nicht mehr dem aktuell anerkannten Stand der Technik und ist für heutige Bauweisen nur eingeschränkt anwendbar. Es ist seit vielen Jahren bekannt, dass die Nachweisverfahren im zurückgezogenen Beiblatt 1 in verschiedenen Situationen zu deutlichen Fehleinschätzungen in der schalltechnischen Dimensionierung von Bauteilen führen (z.B. bei einschaligen Trennbauteilen mit leichten flankierenden Bauteilen oder beim Trittschall von Treppenläufen). Daraus resultieren erhebliche Haftungsrisiken für den Planer, da in privatrechtlicher Hinsicht immer die vereinbarte Beschaffenheit geschuldet ist und diese im Bereich des Schallschutzes im Zweifelsfall mit einer Messung überprüft wird.

Im Gegensatz zu den alten Nachweisverfahren in Beiblatt 1 ermöglichen die aktuellen Nachweisverfahren in DIN 4109-2 zusammen mit dem Bauteilkatalog in DIN 4109-31 bis DIN 4109-36 eine zielgerichtete und wirtschaftliche Dimensionierung aller an der Schallübertragung beteiligten Bauteile. Unter Fachleuten besteht Einigkeit darüber, dass diese Verfahren den aktuell anerkannten Stand der Technik darstellen. Aus diesem Grund werden die Nachweisverfahren aus DIN 4109:1989 nachfolgend nicht weiter behandelt. Von deren Anwendung im Rahmen schalltechnischer Nachweise wird abgeraten.

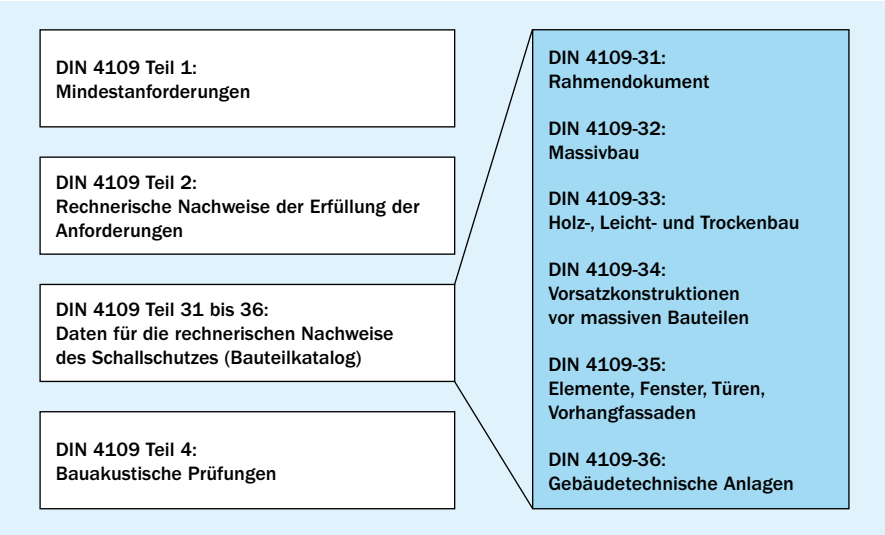


Bild 10 Gliederung der DIN 4109:2016-07

INFO

Die Rechenverfahren nach DIN 4109-2 und DIN 4109-31 bis DIN 4109-36 stellen den aktuellen Stand der Technik dar und ermöglichen eine zielgerechte und wirtschaftliche Schallschutzplanung im Massivbau. Sie sind unter Fachleuten allgemein anerkannt und haben sich bereits seit vielen Jahren in der Planungspraxis etabliert. Deshalb empfiehlt die Kalksandsteinindustrie für bauaufsichtliche Schallschutznachweise zukünftig ausschließlich die Verwendung dieser Verfahren.

4.1.3.4 Anforderungskonzept der DIN 4109

Ein vollständiges Anforderungskonzept kann sich nicht mit der Nennung der Anforderungswerte begnügen. Es muss auch sagen, wie die Erfüllung der Anforderung nachgewiesen werden muss und mit welchen Instrumenten das zu geschehen hat. So gesehen bildet die DIN 4109 mit ihren vier Teilen eine zusammenhängende Einheit, die den gesamten Bereich der Anforderungen und der Nachweise abdeckt.

Wie schon zuvor werden auch in DIN 4109-1 die Anforderungen beim Luftschall durch das bewertete Bauschalldämm-Maß R'_w formuliert. Zumindest gedanklich richtet sich damit der Blick primär immer noch auf die trennenden Bauteile, auch wenn die Anforderungsgrößen R'_w und $L'_{n,w}$ immer alle beteiligten Schallübertragungswege beinhalten.

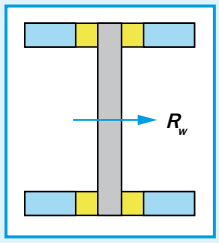
Da die Größen R'_w und $L'_{n,w}$ nicht mehr wie in der alten DIN 4109:1989 auch zur Kennzeichnung von Bauteileigenschaften („mit bauüblichen Nebenwegen“) verwendet werden, ist zu hoffen, dass sie zukünftig nicht mehr mit den Bauteileigenschaften R_w und $L_{n,w}$ verwechselt werden (Bild 11).

INFO

Auch wenn in DIN 4109-1 weiterhin die Anforderungen primär an die trennenden Bauteile gestellt werden, so ändert sich doch im Nachweisverfahren die Bedeutung der flankierenden Bauteile und der Stoßstellen erheblich. Dadurch kann auch die schalltechnische Bemessung der Trennbauteile erheblich beeinflusst werden.

DIN 4109-2:
Direktschalldämm-Maß R_w

R_w (ohne Apostroph) beschreibt die Leistungsfähigkeit eines Bauteils ohne Flankeneinflüsse.



DIN 4109-2:
Bauschalldämm-Maß R'_w

mit Flankeneinflüssen. Das sind die Flanken-Eigenschaften, die Flanken-Übertragung und die Einwirkungen der Stoßstellen.

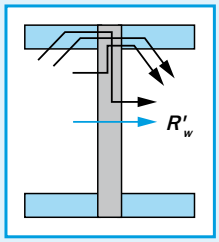


Bild 11 Direktschalldämm-Maß R_w und bewertetes Bauschalldämm-Maß R'_w

4.1.3.5 Anforderungen in DIN 4109-1

Die Anforderungen der DIN 4109-1 decken denselben Umfang wie bislang ab:

- Schutz von Aufenthaltsräumen gegenüber Schallübertragung zwischen unterschiedlichen fremden Nutzungseinheiten (Luft- und Trittschallschutz)
- Schutz gegen Geräusche von Anlagen der Technischen Gebäudeausrüstung (einschließlich der Wasserinstallation)
- Schutz gegen Geräusche aus Gewerbe- und Industriebetrieben im selben oder in baulich damit verbundenen Gebäuden
- Schutz gegen Außenlärm (Verkehrslärm, Lärm aus Gewerbe- und Industriebetrieben)

In Zusammenhang mit ihrer bauaufsichtlichen Einführung sind diese Anforderungen, wie es jetzt auch im Titel der Norm zum Ausdruck gebracht wird, als Mindestanforderungen zu verstehen, die nicht unterschritten werden dürfen.

Einen Auszug der Anforderungen enthält Tafel 8.

4.1.3.6 Berücksichtigung der Unsicherheiten

Prognoserechnungen, wie sie auch im Rahmen der Schallschutznachweise mit den Methoden der DIN 4109-2 durchgeführt werden, sind grundsätzlich immer mit Unsicherheiten behaftet. Im Hinblick auf die Einhaltung geschuldeter Anforderungen ist es deshalb notwendig, Annahmen zur Prognosesicherheit zu treffen.

Hierzu hat DIN 4109-2 ein Sicherheitskonzept zur Berücksichtigung der Unsicherheiten der Eingangsdaten und der Berechnung entwickelt. Die Prognoserechnung wird mit Eingangsdaten ohne jegliche Sicherheitszuschläge oder -abschläge vorgenommen. Das auf die Bauteile angewendete Vorhaltemaß der alten DIN 4109 gibt es also nicht mehr. Zum Vergleich mit den Anforderungen werden das Endergebnis der Prognoserechnung und die dazugehörige Unsicherheit benötigt, die durch einen Sicherheitsbeiwert ausgedrückt wird.

Grundsätzlich werden zwei getrennte Schritte durchgeführt:

- die eigentliche Prognoserechnung und
- die dazugehörige Ermittlung der Unsicherheit der Prognose.

Der erste Schritt liefert die berechneten Größen R'_w oder $L'_{n,w}$. Im zweiten Schritt wird der für die betrachtete Bausituation geltende Sicherheitsbeiwert der Prognose ermittelt. Der Sicherheitsbeiwert wird dem Ergebnis der Prognoserechnung zugeschlagen. Beim Luftschallschutz führt das zu einem Abschlag, der das Berechnungsergebnis von R'_w vermindert, beim Trittschall wird der berechnete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ durch einen Zuschlag erhöht. Diese mit dem Sicherheitsbeiwert versehenen Prognosewerte können nun mit den Anforderungswerten verglichen werden.

Für die Ermittlung der Sicherheitsbeiwerte stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

- Eine detaillierte Unsicherheitsrechnung, die das Zusammenwirken und die Fortpflanzung der einzelnen Unsicherheitsanteile berücksichtigt.
- Eine vereinfachte Ermittlung der Unsicherheit durch Festlegung eines pauschalen Sicherheitsbeiwerts. Beim Luftschallschutz konnte dieser Wert anhand umfangreicher Untersuchungen für übliche Wohngebäude mit 2 dB ermittelt werden. Das berechnete Bauschalldämm-Maß R'_w wird also um 2 dB vermindert, bevor es mit dem Anforderungswert verglichen wird.

INFO

Der Regelfall für die Berücksichtigung der Unsicherheit beim Luftschallschutz in DIN 4109-2 ist ein pauschaler Abschlag von 2 dB auf das Endergebnis der Berechnung.

Die pauschale Festlegung der Unsicherheit stellt im Sicherheitskonzept der neuen DIN 4109 den Regelfall dar und ist auch für die bauaufsichtlichen Nachweise vorgesehen.

4.1.4 VDI-Richtlinie Schallschutz von Wohnungen

4.1.4.1 Allgemeines

Ziel der VDI-Richtlinie 4100 ist die schalltechnische Klassifizierung von Wohnungen für die Planung und Bewertung des Schallschutzes. Sie ist im Rahmen zivilrechtlicher Vereinbarungen anwendbar. Als Adressaten nennt diese Richtlinie Planer, akustische Berater, Bauherren, Vermieter, Mieter, Käufer und Verkäufer von Wohnungen.

Grundlage der festgelegten Schallschutzwerte sind objektivierbare Kriterien wie z.B. das Durchhören von Sprache. Subjektive Vorstellungen können anhand einfacher Entscheidungskriterien präzisiert und in ein entsprechendes Anforderungsniveau umgesetzt werden.

4.1.4.2 VDI-Richtlinie 4100:2007

Unterschieden werden drei Schallschutzstufen (SSt I, II und III). SSt I stimmt mit den Mindestanforderungen der (alten) DIN 4109:1989 überein. Die SSt II nennt Werte, *„bei deren Einhaltung die Bewohner […] im Allgemeinen Ruhe finden […]. Bei Einhaltung der Kennwerte der SSt III können die Bewohner ein hohes Maß an Ruhe finden.“* Die Schallschutzstufen der VDI 4100 schließen auch den eigenen Wohn- und Arbeitsbereich ein.

Die zahlenmäßigen Anforderungen der einzelnen Schallschutzstufen sind in Tafel 8 aufgeführt.

4.1.4.3 VDI-Richtlinie 4100:2012

Nach einer grundlegenden Überarbeitung hat die VDI 4100:2012 das Anforderungskonzept auf so genannte nachhallzeitbezogene Kenngrößen umgestellt (siehe dazu Abschnitte 3.2 und 7.2.2 der Richtlinie) und die Schallschutzstufen (SSt) neu definiert. Es gibt weiterhin drei Schallschutzstufen, die aber in ihren verbalen Schallschutzzuweisungen nicht mehr mit denjenigen der alten Richtlinie übereinstimmen. Während die alte SSt I mit den Mindestanforderungen der alten DIN 4109:1989 übereinstimmte, beschreibt die neue SSt I bereits einen gegenüber der DIN 4109:1989 erhöhten Schallschutz. Somit behandelt die neue VDI-Richtlinie nur noch den erhöhten Schallschutz.

Unterschieden werden drei Schallschutzstufen (SSt I, II und III), die alle einen gegenüber der DIN 4109 erhöhten Schallschutz beschreiben. Während die DIN 4109 und die VDI 4100:2007 ihre Anforderungen auf schutzbedürftige Aufenthaltsräume wie Wohn- und Schlafräume begrenzen, sind bei der VDI 4100:2012 alle Räume einer Wohnung mit mindestens 8 m² Grundfläche einbezogen, also z.B. auch größere Badezimmer.

In SSt I sollen *„Belästigungen in benachbarten Wohnräumen auf ein erträgliches Maß abgesenkt werden. Sie (die SSt I) sollte man bei einer (neu erstellten) Wohnung erwarten können, bei welcher die Ausführung und Ausstattung gegenüber einer einfachsten Ausführung und Ausstattung angehoben ist.“*

Weiterhin heißt es: *„Die Schallschutzstufe SSt II ist beispielsweise bei einer Wohnung zu erwarten, die auch in ihrer sonstigen Ausführung und Ausstattung durchschnittlichen Komfortansprüchen genügt.“*

Die dritte Stufe wird so beschrieben: *„Die Schallschutzstufe SSt III ist beispielsweise bei einer Wohnung zu erwarten, die auch in ihrer sonstigen Ausführung und Ausstattung sowie Lage besonderen Komfortansprüchen genügt.“*

Dass erst der neuen SSt II, die mit ihren Anforderungswerten mit der alten Stufe III vergleichbar ist, *„durchschnittliche Komfortansprüche“* zugesprochen werden und die neue SSt I (vergleichbar mit der alten SSt II) lediglich als *„angehoben gegenüber einer einfachsten Ausführung und Ausstattung“* beschrieben wird, ist kritisch zu bewerten.

Die Schallschutzstufen der VDI 4100:2012 schließen gegenüber der Vorgängerversion den eigenen Wohn- und Arbeitsbereich nicht mehr obligatorisch ein. Für diesen Zweck werden nun die Schallschutzstufen SSt EB I und SSt EB II definiert.

INFO

Die Schallschutzstufen von VDI 4100: 2012 sind nicht vergleichbar mit den Schallschutzstufen von VDI 4100:2007. Sie geben ausschließlich Empfehlungen für den erhöhten Schallschutz.

4.1.5 VDI 2566: Schallschutz bei Aufzugsanlagen

Die VDI-Richtlinie 2566 [51] beschäftigt sich mit den von Aufzugsanlagen ausgehenden Geräuschen in Gebäuden. Behandelt werden sowohl aufzugstechnische als auch bauseitige Aspekte. Da bei der bauakustisch notwendigen Auslegung nach wie vor große Unsicherheiten herrschen, beschränkt sich diese Richtlinie bei den Maßnahmen zum baulichen Schallschutz auf allgemeine Planungsgrundsätze und Vorgaben für die flächenbezogenen Massen von Bauteilen. Weitere Angaben zum Schallschutz bei Aufzugsanlagen finden sich in Abschnitt 6.1.4.

4.1.6 Veröffentlichungen der Deutschen Gesellschaft für Akustik (DEGA)

Über die Normen und Regelwerke hinaus gibt es einige Schriften, die Stellung zum baulichen Schallschutz beziehen:

- Memorandum der DEGA BR 0101 [37], in dem zum Verhältnis von DIN 4109 und den anerkannten Regeln der Technik Stellung genommen wird
- DEGA-Empfehlung 103: Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis [18]
- Memorandum der DEGA BR 0104 [42]: Schallschutz im eigenen Wohnbereich

Die DEGA-Empfehlung 103 wurde 2009 veröffentlicht. Sie beschreibt ein Konzept zur Klassifizierung von Wohneinheiten mittels Schallschutzklassen. Die sieben Schallschutzklassen (Tafel 10) werden als Ergänzung der Schallschutzanforderungen der Norm DIN 4109 definiert. Im Wesentlichen werden folgende Ziele verfolgt:

- Schaffung eines mehrstufigen Systems zur differenzierten Planung und Kennzeichnung des baulichen Schallschutzes zwischen Raumsituationen unabhängig von der Art des Gebäudes
- Entwicklung eines Punktesystems auf dieser Basis zur einfachen Kennzeichnung des Schallschutzes von ganzen Wohneinheiten oder Gebäuden

Die Anforderungen der einzelnen Schallschutzklassen für Luft- und Trittschallschutz enthält Tafel 10. Die aktuelle Situation belegt, dass die Festlegung von Schallschutzanforderungen kontrovers und mit unterschiedlicher Intention gesehen wird.

Da die Frage nach der Auslegung des Schallschutzes im eigenen Wohnbereich zunehmend an Bedeutung gewinnt, hat die DEGA 2015 im Memorandum BR 0104 drei Qualitätsstufen und die zugehörigen Kennwerte für den eigenen Wohnbereich empfohlen, die für verschiedene Raumsituationen angegeben werden. Außerdem enthält dieses Memorandum Planungshinweise für den Schallschutz im eigenen Wohnbereich. Die empfohlenen Werte werden auszugsweise in Tafel 19 genannt.

4.2 Hinweise zur Festlegung des Schallschutzniveaus

Wie das Schallschutzniveau im konkreten Fall festgelegt werden soll, kann nicht allgemeingültig ohne Berücksichtigung der aktuellen Umstände definiert werden. Einige Hinweise können jedoch gegeben werden:

Die gesetzlich festgelegten Anforderungen der DIN 4109 sind Mindestanforderungen, die zufriedenstellende akustische Bedingungen nicht zwangsläufig sicherstellen.

Vor dem Hintergrund der aktuellen Rechtsprechung ist eine schwindende Akzeptanz gegenüber den (Mindest-) Anforderungen der DIN 4109 festzustellen. Das bedeutet aber nicht, dass nun grundsätzlich nicht mehr nach diesen Anforderungen gebaut werden kann. Allerdings ist im Einzelfall zu klären, ob das damit vorgegebene Schallschutzniveau in allen Belangen unstrittig ist. Der auf einem solchen Niveau vorgesehene Schallschutz sollte in eine widerspruchsfreie Vertragsgestaltung eingebunden sein. Im Zweifelsfall sollte ein höherer Schallschutz vorgesehen werden.

Bezüglich des Schallschutzes ist die Beratungspflicht des Planers/Architekten ernst zu nehmen. Bauherrenwünsche, gesetzliche Vorgaben und Wirtschaftlichkeit sind zu erörtern und in die Planung beider Festlegung des Schallschutzes einzubinden. Über die Festlegungen sind klare und widerspruchsfreie vertragliche Vereinbarungen zu treffen.

Insbesonders, wenn nur die Mindestanforderungen der DIN 4109 realisiert werden sollen, sind für das Abweichen von einem üblichen Standard strenge Maßstäbe anzulegen. Vom BGH heißt es dazu [41]: *„Kann der Erwerber nach den Umständen erwarten, dass die Wohnung in Bezug auf den Schallschutz üblichen Qualitäts- und Komfortstandards entspricht, dann muss der Unternehmer, der hiervon vertraglich abweichen will, deutlich hierauf hinweisen und den Erwerber über die Folgen einer solchen Bauweise für die Wohnqualität aufklären.“*

Der heutzutage durchschnittlich erreichte Schallschutz im Wohnungsbau liegt über den Werten der DIN 4109. Um dieser Tatsache und dem Schutzbedürfnis der Bewohner Rechnung zu tragen, sollte ein Schallschutz über dem Standard der DIN 4109 vorgesehen werden.

Erhöhter Schallschutz muss dann realisiert werden, wenn vom Nutzungszweck erkennbar ist, dass es sich um höherwertige Wohnungen, wie z.B. Eigentums- und Komfortwohnungen handelt.

In der Baupraxis kann das höhere Qualitätsniveau einer Wohnung unmittelbar mit einem höheren Schallschutz in Verbindung gebracht werden (siehe [22] und Abschnitt 3.3.2).

Die Festlegung der Zahlenwerte für einen erhöhten Schallschutz kann letztlich nicht allgemeingültig, sondern nur objektbezogen getroffen werden, da der geschuldete Schallschutz aus rechtlicher Sicht stets im Einzelfall zu ermitteln ist. Orientierung können die Vorschläge geben, wie sie z.B.in der VDI 4100 oder der DEGA-Empfehlung 103 veröffentlicht wurden. Auf internationaler Normungsebene wird als ISO-Norm zurzeit ein Klassifizierungsschema für den Schallschutz von Wohnungen erarbeitet, das zukünftig für die Einstufung der Schallschutzqualität herangezogen werden könnte [52]. Ein Schallschutz auf dem Niveau des Beiblatts 2 zu DIN 4109:1989 sollte für einen erhöhten Schallschutz nicht in Betracht gezogen werden, da er sich nach aktueller Einschätzung nicht ausreichend vom Mindestschallschutz unterscheidet. Ein erkennbarer Qualitätsunterschied gegenüber den Anforderungen der DIN 4109 liegt dann vor, wenn der Luftschallschutz um mindestens 3 dB ($R'_w \geq 56$ dB horizontal, $R'_w \geq 57$ dB vertikal) verbessert wird. Dies wird in der Empfehlung der Kalksandsteinindustrie vorgeschlagen (Tafel 8).

Die Höhe des geschuldeten Schallschutzes kann sich auch aus der gewählten Konstruktion ergeben, so dass im Sinne einer mängelfreien Leistung der Schallschutz geschuldet wird, der von der gewählten Konstruktion in fehlerfreiem Zustand erwartet werden kann. Im Urteil des BGH vom 14. Juni 2007

[19] heißt es dazu: *„Ist eine Bauweise nicht vereinbart worden, so kann der Bauunternehmer sich zudem nicht auf Mindestanforderungen nach DIN 4109 zurückziehen, wenn die von ihm gewählte Bauweise bei einwandfreier Ausführung höhere Schalldämm-Maße ergibt."*

Für die Luftschalldämmung bei Reihen- und Doppelhäusern sollte die Abstufung gegenüber dem Mindestschallschutz der DIN 4109 mindestens 5 dB betragen, da sich gezeigt hat, dass die erkennbaren Qualitätsstufen bei höherer Schalldämmung größer anzusetzen sind [14]. Ausgehend von DIN 4109-1 mit $R'_w = 62$ dB für Haustrennwände zu Aufenthaltsräumen, unter denen mindestens ein Geschoss (erdberührt oder nicht) des Gebäudes vorhanden ist, kommt man dadurch als Empfehlung auf $R'_w \geq 67$ dB. Das ist mehr als von der VDI 4100:2012 in der SSt I ($D_{nT,w} \geq 65$ dB) vorgesehen. Gut dimensionierte, ausreichend schwere, zweischalige Haustrennwände sind in der Lage, dieses Niveau zu erreichen oder zu überschreiten. Einschränkungen sind bei nicht unterkellerten Gebäuden im Erdgeschoss zu beachten. Zu berücksichtigen ist aus rechtlicher Sicht, dass diejenige Schalldämmung geschuldet wird, die die vereinbarte Konstruktion mängelfrei erbringen kann. Das können im Einzelfall mehr als die empfohlenen 67 dB sein.

INFO

Zusammengefasste Empfehlungen:

- **DIN 4109 reicht meist nicht aus. Durchschnittlich erreichte Schallschutzwerte im Wohnungsbau liegen heutzutage über DIN 4109.**
- **Erkennbare Qualitätsunterschiede liegen gegenüber DIN 4109 beim Luftschallschutz um mindestens 3 dB höher.**
- **Beratungspflicht des Planers/Architekten ist ernst zu nehmen. Bauherrenwünsche sind zu erörtern.**
- **Erhöhter Schallschutz kommt insbesondere bei Eigentums- und Komfortwohnungen zum Tragen. Bei zweischaligen Reihenhaustrennwänden ist ein R'_w von 67 dB zu empfehlen.**
- **Eine mängelfreie Ausführung ist geschuldet. Das kann im Einzelfall, wenn das Bauteil mehr kann als der vereinbarte Schallschutzwert, zu höheren Anforderungen führen.**
- **Vorzusehender Schallschutz ist in widerspruchsfreie Vertragsgestaltung einzubinden.**
- **Das Planungsziel für den Schallschutz muss für alle Beteiligten, vom Fachingenieur bis zum Makler, eindeutig definiert werden.**

4.3 Planungsgrundlagen des Schallschutzes mit den Kenngrößen R'_w und $D_{nT,w}$

Anforderungsgröße der DIN 4109-1 ist beim Luftschall das bewertete Bauschalldämm-Maß R'_w. In einem informativen Anhang der DIN 4109-1 wird ergänzend auf die so genannten nachhallzeitbezogenen Größen zur Beschreibung des Schallschutzes hingewiesen (beim Luftschall ist das $D_{nT,w}$). In DIN 4109-2 werden ebenfalls in einem informativen Anhang Angaben zur „Ermittlung von Kenngrößen zur Planung des Schallschutzes" gegeben. Damit sind ebenfalls die nachhallzeitbezogenen Größen gemeint. Die VDI 4100:2012 hat diese nachhallzeitbezogenen Größen zur Grundlage ihrer Schallschutzstufen für den erhöhten Schallschutz gemacht. Auch bei der in der Erarbeitung befindlichen ISO-Norm zur Klassifizierung des Schallschutzes von Wohnungen [52] werden diese nachhallzeitbezogenen Größen zugrunde gelegt. Es soll deshalb auf beide Beschreibungsmethoden im Rahmen der bauakustischen Planung eingegangen werden.

Planung mit R'_w

R'_w ist für die Luftschallübertragung die primäre Berechnungsgröße im Berechnungsmodell der DIN 4109-2. Sie ergibt sich direkt als Endergebnis der Prognoseberechnung und steht nach Berücksichtigung eines Sicherheitsabschlags (Vorhaltemaß) unmittelbar zum Vergleich mit den Anforderungen zur Verfügung.

Planung mit $D_{nT,w}$

Die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ als Kenngröße für die Beschreibung des Schallschutzes zwischen zwei Räumen kann im Anschluss an die Berechnung von R'_w aus dieser Größe errechnet werden. Sie muss nicht in einer separaten Prognoserechnung ermittelt werden (siehe Abschnitt 2.2, Gleichung (2.4))

Für unterschiedlich große Volumina der Empfangsräume kann sich bei gleicher Schalldämmung der Bauteile eine sehr unterschiedliche Schallpegeldifferenz ergeben, so dass auch der realisierte Schallschutz unterschiedlich wahrgenommen wird (Bild 6).

Im Planungsprozess geht der Planer den Weg vom Schallschutz zur Gebäudekonstruktion und zur bauakustischen Dimensionierung der einzelnen Bauteile. Er hat die Aufgabe, aus dem erforderlichen $D_{nT,w}$ die erforderlichen schalltechnischen Eigenschaften der Bauteile abzuleiten, um die Erfüllung der Anforderungen sicherzustellen. Er muss deshalb die Schallschutzgröße so „übersetzen", dass sie ihm die erforderliche Schalldämmung liefert, die von den Bauteilen zu erbringen ist. Das notwendige bewertete Bauschalldämm-Maß R'_w, welches der Bauteildimensionierung zugrunde gelegt wird, ergibt sich durch

$$R'_w = \text{erf. } D_{nT,w} + 10 \lg\left(\frac{3{,}1 \cdot S}{V}\right) \text{ [dB]} \qquad (4.1)$$

mit

S Trennwandfläche
V Raumvolumen

Wegen der Volumenabhängigkeit muss dieser Vorgang raumspezifisch erfolgen. Bei gleichem erf. $D_{nT,w}$ ergibt sich für kleine Räume ein größeres notwendiges R'_w als bei großen Räumen.

Die Einhaltung des benötigten R'_w muss planerisch sichergestellt werden durch die Festlegung geeigneter Decken- und Wandkonstruktionen. Dabei muss die (Direkt-) Dämmung des Trennbauteils und die Flankendämmung der flankierenden Bauteile berücksichtigt werden. Dies geschieht mit Hilfe des in Abschnitt 5.2.3 beschriebenen Berechnungsverfahrens, das im

KS-Schallschutzrechner implementiert ist. Analog wird bei der Realisierung des Trittschallschutzes verfahren.

Bei der planerischen Umsetzung des neuen Schallschutzkonzepts sind einige Punkte zu beachten:

- Der vorhandene Schallschutz ($D_{nT,w}$) hängt von der Übertragungsrichtung ab. Die Schalldämmung (R'_w) nicht.
- Bei gleicher Schalldämmung der übertragenden Bauteile ergibt sich je nach Volumen des zu betrachtenden Empfangsraums ein unterschiedliches $D_{nT,w}$. Unterschiedliche $D_{nT,w}$ ergeben sich trotz gleicher Konstruktionen auch dann, wenn sich bei versetzten Räumen die gemeinsame Trennfläche ändert. Tafel 11 zeigt als Beispiel, dass sich für das $D_{nT,w}$ je nach Raumvolumen und Grundrisssituation unterschiedliche Werte zwischen 52 und 58 dB ergeben, obwohl das vorhandene Bauschalldämm-Maß R'_w in allen betrachteten Fällen 53 dB beträgt (Umrechnung mit Gleichung 2.3).
- Im Sinne des Schallschutzes muss der Nachweis für die jeweils ungünstigste Situation erbracht werden: bei Schallübertragung zwischen unterschiedlich großen Räumen vom größeren in den kleineren Raum, bei unterschiedlich lauten Räumen vom lauteren in den leiseren Raum.
- Die Übertragungsrichtung spielt bei der vertikalen Schallübertragung keine große Rolle, da die Räume innerhalb eines Wohngebäudes üblicherweise gleich hoch sind. Bei üblichen Raumhöhen von etwa 2,5 m muss das zu planende R'_w um etwa 1 dB größer als das erforderliche $D_{nT,w}$ sein.
- Diese Aussage gilt allerdings nur bei gleichen übereinanderliegenden Grundrissen. Bei versetzten Räumen können sich je nach Größe der verbleibenden (gemeinsamen) Trennbauteilfläche erhebliche Unterschiede ergeben.
- Bei der horizontalen Übertragung kann als Abschätzung für kleinere Empfangsräume (Raumtiefe etwa 3 m) $D_{nT,w} \approx R'_w$ angesetzt werden. Bei größeren Empfangsräumen (Raumtiefe etwa 6 m) kann $D_{nT,w} \approx R'_w + 3$ dB abgeschätzt werden.

Tafel 11 Vergleich von R'_w und $D_{nT,w}$ bei horizontaler Übertragung für verschiedene Raumsituationen

Raumbeschreibung (Raumhöhe 2,5 m)	Kleiner Empfangsraum, Raumtiefe 2,5 m		Großer Empfangsraum, Raumtiefe 5 m	
	Trennwandlänge 4 m	Versetzter Grundriss	Trennwandlänge 4 m	Versetzter Grundriss
Trennfläche *S*	10 m²	5 m²	10 m²	5 m²
Grundfläche	10 m²	10 m²	20 m²	20 m²
Raumvolumen *V*	25 m³	25 m³	50 m³	50 m³
R'_w	**53 dB**	**53 dB**	**53 dB**	**53 dB**
$D_{nT,w}$	**52 dB**	**55 dB**	**55 dB**	**58 dB**

5. Bemessung des Schallschutzes und der Schalldämmung

5.1 Die Schallschutznorm DIN EN 12354 als Grundlage der Berechnungsverfahren in DIN 4109-2

5.1.1 Einführung

Auch wenn gelegentlich zu hören ist, dass insbesondere für die Berechnungsverfahren auf europäischer Ebene kein Normungsbedarf bestünde, ist hierfür durch die EU-Vereinbarungen ein eindeutiger Normungsauftrag erteilt worden. Dies ist im Sinne eines gemeinsamen Marktes folgerichtig, da Handelshemmnisse nicht nur beim Warenaustausch, sondern auch im Dienstleistungsbereich abgebaut werden sollen. Konsequenterweise sollen deshalb nicht nur die Produkteigenschaften einheitlich gekennzeichnet werden, sondern auch die Berechnungsverfahren über die Grenzen hinweg gemeinsamen Grundsätzen folgen. Für die Prognose des Schallschutzes in Gebäuden wurde das bei CEN zuständige Technische Komitee CEN/TC 126 beauftragt, in sechs Teilen Rechenverfahren für die Prognose des Schallschutzes zu erarbeiten.

- DIN EN 12354-1: Luftschalldämmung zwischen Räumen [3]
- DIN EN 12354-2: Trittschalldämmung zwischen Räumen [46]
- DIN EN 12354-3: Luftschalldämmung gegen Außenlärm [47]
- DIN EN 12354-4: Schallübertragung von Räumen ins Freie [48]
- DIN EN 12354-5: Installationsgeräusche [49]
- DIN EN 12354-6: Schallabsorption in Räumen [50]

Alle Teile liegen in deutscher Übersetzung als DIN EN-Normen der Normenreihe 12354 vor.

5.1.2 Nationale Umsetzung in der DIN 4109

Bei der Umsetzung im Rahmen der DIN 4109:2016 spielten die ersten beiden Teile der DIN EN 12354 die wichtigste Rolle.

Luftschalldämmung

Insbesondere zum Teil 1 (Luftschalldämmung) wurden für den Massivbaubereich umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, die sich mit der Anwendung des Berechnungsverfahrens und der Erarbeitung von Daten für den Bauteilkatalog in DIN 4109-32 beschäftigen. Grundsätzlich wurde die Entscheidung getroffen, dass beim für die DIN 4109 durchzuführenden Schallschutz-

nachweis auf das so genannte „Vereinfachte Modell“ der DIN EN 12354-1 zurückgegriffen wird: Die gesamte Berechnung wird nicht frequenzabhängig (wie im „Detaillierten Modell“), sondern mit Einzahlwerten durchgeführt. Bei den genannten Untersuchungen hat sich herausgestellt, dass für den Massivbau im Vereinfachten Modell eine Prognosegenauigkeit wie im Detaillierten Modell erreicht wird.

Trittschalldämmung

Auch bei der Umsetzung von Teil 2 (Trittschalldämmung) wird auf das Vereinfachte Modell zurückgegriffen. Dieses entspricht im Wesentlichen dem bisherigen Verfahren in Beiblatt 1 der DIN 4109:1989 (äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{n,eq,0,w}$ und bewertete Trittschallminderung ΔL_w), berücksichtigt aber zusätzlich für die flankierende Trittschallübertragung einen Korrekturwert K, der in Abhängigkeit von der mittleren flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile ermittelt wird:

$$L'_{n,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w + K \text{ [dB]} \quad (5.1)$$

Harmonisierte Prüfverfahren und Rechenmethoden berührten Konzept und Inhalt der DIN 4109:1989 und deren Beiblatt 1 so weitgehend, dass eine komplette Überarbeitung notwendig wurde.

Betroffen vom Umstellungsdruck war vor allem der Massivbau, da dort alle bisherigen Bauteildaten auf der Basis von R'_w-Werten nicht mehr verwendet werden konnten und für die Stoßstellendämm-Maße ebenfalls nicht auf Vorhandenes zurückgegriffen werden konnte. Neue Werte mussten in beiden Fällen erst ermittelt und verifiziert werden.

Die für das neue DIN 4109-Konzept benötigten Inhalte der DIN EN 12354 wurden – konform mit europäischen Normungsgepflogenheiten – für die nationale Anwendung aufbereitet und in die einzelnen Teile der DIN 4109 [6, 27–31, 36] eingearbeitet. Die in DIN 4109-2 enthaltenen Rechenverfahren und die im Bauteilkatalog DIN 4109, Teile 31 bis 36, enthaltenen Bauteildaten entsprechen sinngemäß einem „Nationalen Anwendungsdokument (NA)“, wie es von den Eurocodes bekannt ist.

Im Folgenden werden nur noch die in DIN 4109 enthaltenen Angaben behandelt.

5.2 DIN 4109

5.2.1 Normenkonzept der DIN 4109 für die Berechnung des Schallschutzes

Die Überarbeitung der DIN 4109:1989 führte für die Berechnung des Schallschutzes zu einem völlig neuen Normenkonzept. Im Einzelnen liegen mit der DIN 4109:2016 für die rechnerischen Nachweise folgende Normteile vor (Bild 10):

- DIN 4109-2 Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen [36]
- DIN 4109-31; Schallschutz im Hochbau – Teil 31: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Rahmendokument [27]
- DIN 4109-32; Schallschutz im Hochbau – Teil 32: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Massivbau [6]
- DIN 4109-33; Schallschutz im Hochbau – Teil 33: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Holz-, Leicht- und Trockenbau [28]
- DIN 4109-34; Schallschutz im Hochbau – Teil 34: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Vorsatzkonstruktionen vor massiven Bauteilen [29]
- DIN 4109-35; Schallschutz im Hochbau – Teil 35: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Elemente, Fenster, Türen, Vorhangfassaden [30]
- DIN 4109-36; Schallschutz im Hochbau – Teil 36: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Gebäudetechnische Anlagen [31]

Die Teile 2 und 31 bis 36 der DIN 4109 liefern somit einen systematischen und vollständigen Ansatz, der weit über die Möglichkeiten der bisherigen DIN 4109:1989 hinausgeht und nicht nur in der Fachöffentlichkeit seit langem anerkannt ist. Sie stellen für die Bemessung (Prognose) des Schallschutzes grundsätzlich den allgemein anerkannten Stand der Technik dar.

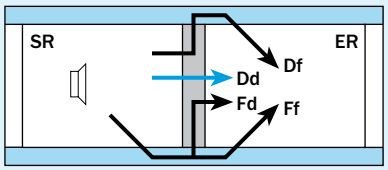
5.2.2 Rechenverfahren für die Luftschalldämmung

Die Rechenverfahren in DIN 4109-2 folgen im Wesentlichen den physikalisch nachvollziehbaren Gegebenheiten [3]. Das Grundprinzip ist einfach: Berücksichtigt werden alle Schallübertragungswege, deren einzelne Beiträge zur gesamten Schallübertragung aufsummiert werden. Jeder Weg kann unabhängig von den anderen Wegen behandelt und berechnet werden. Bild 12 zeigt die zu berücksichtigenden Wege für die Schallübertragung über das Trennbauteil und die flankierenden Bauteile.

Besondere Beachtung wird der flankierenden Übertragung beigemessen. Bild 13 zeigt, dass bei der üblichen Übertragungssituation (ein Trennbauteil, vier flankierende Bauteile) insgesamt dreizehn verschiedene Übertragungswege zu berücksichtigen sind. Davon entfallen zwölf Wege auf die flankierende Übertragung.

Für jeden dieser Übertragungswege kann ein eigenes Schalldämm-Maß ermittelt werden. Die resultierende Schalldämmung R'_w unter Berücksichtigung aller flankierenden Wege ergibt sich dann durch „energetische“ Addition der einzelnen Schalldämm-Maße (Bild 14).

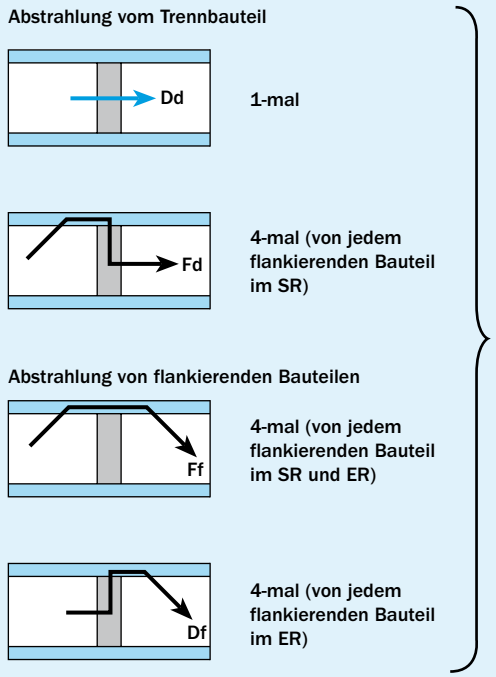
Es ist klar, dass diese Berechnung unter praktischen Bedingungen nicht von Hand, sondern mit Hilfe geeigneter Berechnungsprogramme durchgeführt wird (siehe Abschnitt 5.3). Schon an dieser Stelle zeigt sich, welcher Vorteil sich durch den vorliegenden Berechnungsansatz ergibt: Der Anteil jedes Übertragungsweges an der Gesamt-Schalldämmung kann einzeln betrachtet werden und bezüglich seines Einflusses auf das Endresultat beurteilt werden. Für jeden einzelnen Übertragungs-



SR: Senderaum, ER: Empfangsraum

Bezeichnung der Übertragungswege:
D und d: direkte Übertragung über das Trennbauteil
F und f: flankierende Übertragung über die Flankenbauteile

Bild 12 Zu berücksichtigende Schallübertragungswege beim Vereinfachten Modell



SR: Senderaum, ER: Empfangsraum

Bild 13 Direkte und flankierende Übertragungswege zwischen zwei Räumen

$$R'_w = -10 \lg \left[10^{-R_{Dd,w}/10} + \sum_{F=f=1}^{n} 10^{-R_{Ff,w}/10} + \sum_{f=1}^{n} 10^{-R_{Df,w}/10} + \sum_{F=1}^{n} 10^{-R_{Fd,w}/10} \right] \text{ [dB]} \qquad (5.2)$$

R'_w Bauschalldämm-Maß
$R_{Dd,w}$ Direktschalldämm-Maß des Trennbauteils
$R_{Ff,w}$, $R_{Df,w}$ und $R_{Fd,w}$ Flankenschalldämm-Maße

Bild 14 Berechnung des Bauschalldämm-Maßes R'_w nach DIN 4109-2

weg können nun außerdem bei Bedarf dessen konstruktive Eigenschaften variiert und die Auswirkungen der Änderungen auf den zu planenden Schallschutz beurteilt werden.

Den physikalischen Gegebenheiten folgend werden nicht nur die Eigenschaften der einzelnen Bauteile, sondern auch die akustischen Eigenschaften von Bauteilverbindungen (Stoßstellen) einbezogen. Die neue, dafür benötigte Größe ist das so genannte Stoßstellendämm-Maß K_{ij}, durch welches die Schallübertragung über die Bauteilverbindung hinweg charakterisiert wird.

5.2.3 Schalldämmung einschaliger Wände nach DIN 4109-2 und DIN 4109-32

5.2.3.1 Von DIN EN 12354-1 zu DIN 4109:2016

Schon bald nachdem sich der Überarbeitungsbedarf der DIN 4109:1989 und die Umsetzung der europäischen Normen des baulichen Schallschutzes mit all ihren Konsequenzen abzeichneten, wurde seitens der Kalksandsteinindustrie ein umfangreiches Programm in die Wege geleitet mit dem Ziel, für das Bauen mit Kalksandsteinen die Weichen für die zukünftigen Vorgehensweisen zu stellen. Insbesondere ging es dabei um die folgenden Aufgaben:

- Verifizierung des Rechenverfahrens nach DIN EN 12354-1 für das Bauen mit Kalksandsteinen
- Bereitstellung abgesicherter Eingangsdaten (Direktschalldämm-Maße und Stoßstellendämm-Maße) für die Berechnung
- Erarbeitung von Planungshilfen im Rahmen des neuen Schallschutzkonzepts von DIN 4109

Entsprechende umfangreiche Untersuchungen wurden an der Hochschule für Technik Stuttgart durchgeführt. Endergebnis dieser Untersuchungen [4] sind abgesicherte Bauteil-Kennwerte für Kalksandstein-Mauerwerk, die als realistische und verlässliche Beschreibung der Bauteileigenschaften betrachtet werden können und ein Berechnungsverfahren, das für die Anwendung unter den vorliegenden Massivbaubedingungen mit Kalksandsteinen zur bestmöglichen Prognose führt. Der schalltechnische Nachweis für das Bauen mit Kalksandstein-Mauerwerk kann komplett durch die Angaben im neuen Bauteilkatalog, insbesondere der DIN 4109-32, abgedeckt werden, ohne dass auf Angaben aus Prüfzeugnissen zurückgegriffen werden muss. Für die Durchführung der Berechnungen wurde ein Berechnungsprogramm entwickelt [53] (siehe Abschnitt 5.3).

5.2.3.2 Direktschalldämmung

Allgemeines

Die Direktschalldämmung eines Bauteils ist die maßgebliche Eigenschaft zur Beschreibung seiner schalltechnischen Leistungsfähigkeit (Bild 11). Sie kann entweder direkt aus dem Bauteilkatalog der DIN 4109 (Teile 31 bis 36) oder aus Prüfzeugnissen entnommen werden. Bei Bauteildaten, die nicht aus dem Bauteil-

katalog stammen und für bauaufsichtliche Nachweise verwendet werden sollen, ist ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP) erforderlich. Zu berücksichtigen ist, dass die in den informativen Anhängen der europäischen Berechnungsnormen genannten Daten nicht als verbindliche Angaben zu betrachten sind. Sie haben vielmehr beispielhaften, unverbindlichen Charakter, so dass je nach Anwendungsbereich vom Nutzer selbst definierte oder auf nationaler Ebene vereinbarte Bauteildaten verwendet werden können. Die in DIN 4109-32 enthaltenen Daten für die Schalldämmung massiver Bauteile wurden im Rahmen umfangreicher Forschungsvorhaben (z.B. [4]) ermittelt. Sie sind im Rahmen der Schallschutznachweise der DIN 4109 verbindlich.

Im Massivbau spielt die Direktschalldämmung einschaliger Bauteile eine besondere Rolle, da sie nicht nur zur Beschreibung der direkten Schallübertragung über ein trennendes Bauteil, sondern auch zur Ermittlung der flankierenden Übertragung (siehe hierzu Abschnitt 5.2.3.4) benötigt wird. Außerdem ist sie Ausgangspunkt für die Ermittlung weiterer relevanter Eigenschaften wie der Schalldämmung von Bauteilen mit Vorsatzkonstruktionen oder entkoppelter Bauteile. Auf solche Aspekte wird nachfolgend eingegangen.

Vorsatzkonstruktionen

Häufig werden vor einschaligen Bauteilen Vorsatzkonstruktionen wie z.B. Vorsatzschalen vor einschaligen Wänden, abgehängte Unterdecken unter oder schwimmende Estriche auf massiven Decken angebracht. Solche Vorsatzkonstruktionen verändern die Schalldämmung der einschaligen massiven Grundbauteile. Die Änderungen können je nach akustischer Auslegung in Form von Verbesserungen oder auch Verschlechterungen der Schalldämmung des einschaligen Grundbauteils berücksichtigt werden.

Die Wirkung einer Vorsatzschale wird durch die so genannte Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes ΔR_w beschrieben. Die messtechnische Ermittlung dieser Größe erfolgt nach DIN EN ISO 10140-1/Anhang G [7]. Gegenüber der Handhabung in der bisherigen DIN 4109:1989 kann nun die Schalldämmung der Gesamtkonstruktion gemäß DIN 4109-2 aus dem Schalldämm-Maß der massiven Wand und der Verbesserung ΔR_w additiv zusammengesetzt werden.

Für Vorsatzschalen, die sich auf die Direktschalldämmung eines Trennbauteils auswirken, gilt:

$$R_{w,Dd} = R_w + \Delta R_w \text{ [dB]} \qquad (5.3)$$

mit

$R_{w,Dd}$ Direktschalldämmung des Trennbauteils mit Vorsatzkonstruktion
R_w Schalldämm-Maß der Grundkonstruktion
ΔR_w Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes durch die Vorsatzkonstruktion

Die Vorsatzkonstruktionen können sowohl bei trennenden Bauteilen für die Direktschalldämmung als auch bei flankierenden Bauteilen für die Flankendämmung berücksichtigt werden. Wie Vorsatzschalen zur Verbesserung der Flankendämmung eingesetzt werden können, zeigt Gleichung (5.5). Weitere Ausführungen zur Behandlung von Vorsatzkonstruktionen finden sich in Abschnitt 7.3 (WDVS) und Abschnitt 6.1.3.1 (Vorsatzschalen).

Von Laborbedingungen zu Gebäudebedingungen (In-situ-Korrektur)

Mit der so genannten In-situ-Korrektur (in situ =„am Ort“) wird dem physikalischen Phänomen Rechnung getragen, dass die Direktschalldämmung eines massiven trennenden Bauteils nicht nur von den Bauteileigenschaften selbst abhängt, sondern auch von der Einbausituation des Bauteils. Je nach Art der Ankopplung an benachbarte Bauteile, die von starrer Anbindung bis zu völliger Entkopplung (z.B. durch Trennfugen oder elastische Zwischenschichten) reichen kann, wird vom trennenden Bauteil in unterschiedlichem Maße Schallenergie auf die benachbarten Bauteile weitergeleitet. Durch diese Weiterleitung wird die Luftschallabstrahlung des Bauteils verändert, so dass sich auch seine Direktschalldämmung ändert. Sie wird also von der Einbausituation beeinflusst. Dieser Effekt kann bei völliger Entkopplung eines Bauteils von der umgebenden Gebäudestruktur zu einer Verminderung der Direktschalldämmung bis zu etwa 6 dB führen. Diese Abhängigkeit von der Einbausituation wird durch die so genannte In-situ-Korrektur bei der Berechnung der realen Schalldämmung berücksichtigt.

Im üblichen Massivbau können die Verhältnisse durch eine typische Einbausituation beschrieben werden, die in DIN 4109-32 bereits in den Schalldämm-Maßen der massiven einschaligen Bauteile enthalten ist. Für solche Bauteile muss für übliche Einbausituationen also keine In-situ-Korrektur mehr durchgeführt werden, da sie in den Massekurven bereits berücksichtigt ist. Das gilt auch für die KS-Massekurve, wie sie in Abschnitt 5.2.3.3 und Bild 15 beschrieben wird.

Entkoppelte Bauteile

Eine Ausnahme von diesem vereinfachten Vorgehen bilden diejenigen Einbausituationen, bei denen massive einschalige Bauteile an mehr als einer Kante von den umgebenden Bauteilen

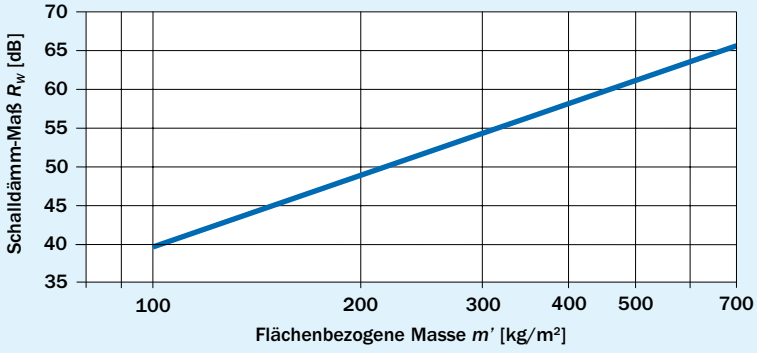


Bild 15 Massekurve für Kalksandstein

entkoppelt sind. Eine Entkopplung liegt z.B. bei Trennfugen vor oder wenn (leichte) massive Bauteile durch Entkopplungsstreifen von den umliegenden Bauteilen entkoppelt werden. Unterschiedliche Fälle von Stoßstellenausbildungen mit Trennfugen/Entkopplungen werden in Tafel 12 dargestellt. Als akustisch entkoppelt ist eine Bauteilkante nur dann zu betrachten, wenn das trennende Bauteil im Bereich der entkoppelten flankierenden Bauteile endet. Durchlaufende Trennbauteile dürfen wie starr angebundene Bauteile behandelt werden. Wenn mindestens zwei solcher entkoppelter Kanten vorliegen, ist das Schalldämm-Maß des trennenden Bauteils nach unten zu korrigieren. Die dafür im Rahmen der DIN 4109-32 vorgesehene Korrektur kann je nach flächenbezogener Masse der entkoppelten Bauteile und der Anzahl der entkoppelten Kanten bis zu 6 dB betragen. Im KS-Schallschutzrechner (Abschnitt 5.3) wird diese Korrektur bereits berücksichtigt.

Eine verminderte Energieweiterleitung tritt auch an Stoßstellen mit Bauteilen in Leicht- oder Holzbauweise auf, so dass die dortigen Bauteilränder ebenfalls wie entkoppelte Kanten zu behandeln sind. Das kann z.B. im Dachgeschoss zu einer Verminderung der Schalldämmung massiver Trennbauteile führen.

5.2.3.3 Massekurve für Kalksandstein-Mauerwerk

Im Bewusstsein der Anwender der DIN 4109:1989 spielt die Tabelle 1 aus Beiblatt 1 der alten DIN 4109 eine zentrale Rolle. Mit Hilfe dieser Tabelle, die auch als „Massetabelle“ bekannt ist, kann aus der flächenbezogenen Masse von einschaligen, biegesteifen Wänden und Decken das bewertete Schalldämm-Maß R'_w (unter Berücksichtigung einer mittleren flankierenden Übertragung) ermittelt werden. Diese Kenngröße ist auf der Basis europäisch harmonisierter Normen aber nicht mehr zulässig. Benötigt wurde also eine neue Massekurve auf der Basis von R_w-Werten (ohne Flankenwege gemessen!). Aufgrund umfangreicher Prüfstandsmessungen wurde eine Datenbasis gewonnen (Tafel 13), aus der eine neue, abgesicherte Massekurve für Kalksandstein-Mauerwerk generiert werden konnte. Die Massekurve in Bild 15 wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$R_w = 30{,}9 \lg\left(\frac{m'_{ges}}{m'_0}\right) - 22{,}2 \text{ [dB]} \qquad (5.4)$$

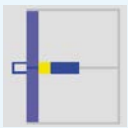
mit der Bezugsgröße $m'_0 = 1$ kg/m²

INFO

Die R_w-Werte dieser Massekurve können nicht mit den R'_w-Werten der bisherigen Massetabelle aus Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989 verglichen werden, da es sich um zwei grundsätzlich unterschiedliche Größen handelt.

Der in Gleichung (5.4) dargestellte Zusammenhang berücksichtigt bereits eine typische Einbausituation, wie sie im üblichen Massivbau anzusetzen ist (siehe Abschnitt 5.2.3.2, In-situ-Korrektur).

Tafel 12 Stoßstellenarten und Auswirkungen auf die flankierende Übertragung

Stoßstelle	T-Stoß	Kreuzstoß (X-Stoß)	Winkelstoß	Hinweise
Beispiel	Trennwand an Außenwand	Innere Trennwand	Versetzte Grundrisse	
1. Schalltechnisch starrer Anschluss				Stumpfstoß[1] und verzahnter Stoß sind in der Berechnung akustisch gleichwertig.
2. Flankierendes Bauteil durchgehend, Trennbauteil einseitig abgekoppelt				Erhöhte Übertragung über das flankierende Bauteil und Trennbauteil
3. Trennbauteil durchgehend, flankierendes Bauteil einseitig abgekoppelt				Erheblich verringerte Übertragung über das flankierende Bauteil
4. Trennbauteil durchgehend, flankierendes Bauteil beidseitig abgekoppelt				Keine Übertragung über das flankierende Bauteil und erhöhte Übertragung über das Trennbauteil

[1] Bei Baustoffen mit unterschiedlichem Verformungsverhalten ist immer ein akustisch wirksamer Trennriss (= Entkopplung) entsprechend den Beispielen 2 bis 4 anzunehmen.

Tafel 13 **Direktschalldämm-Maße R_w (ohne Flankenwege) von Kalksandsteinwänden[1] der RDK 2,0[2] entsprechend Massekurve (Bild 15)**

Wanddicke t [cm]	Flächenbezogene Masse m' [kg/m²]	Direktschall-dämm-Maß R_w [dB]
7	153	45,3
10	210	49,6
11,5	238,5	51,3
15	305	54,6
17,5	352,5	56,5
20	400	58,2
24	476	60,5
30	590	63,4

[1] Jeweils zzgl. 2 · 10 mm Putz (= 2 · 10 kg/m²)
[2] Bei anderen RDK oder Putzdicken ergeben sich abweichende flächenbezogene Massen. Bei RDK 2,2 ergeben sich etwa 1,3 dB höhere Schalldämm-Maße als bei RDK 2,0.

5.2.3.4 Flankenschalldämmung

Durch das Rechenverfahren der DIN 4109-2 rückt die flankierende Schallübertragung in den Mittelpunkt des Interesses. Dies wird allein schon dadurch deutlich, dass von den dreizehn im Regelfall zu berücksichtigenden Übertragungswegen zwölf die flankierende Übertragung betreffen.

Insgesamt lässt sich für jeden der zwölf Flankenwege das Flankenschalldämm-Maß $R_{ij,w}$ für die Übertragung von einem Bauteil (i) auf ein Bauteil (j) wie folgt beschreiben:

$$R_{ij,w} = \frac{R_{i,w}}{2} + \frac{R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij,w} + K_{ij} + 10 \lg \frac{S_s}{l_0 \cdot l_f} \text{ [dB]} \qquad (5.5)$$

mit

$R_{i,w}$ bzw. $R_{j,w}$	Direktschalldämm-Maß des flankierenden Bauteil auf der Sende- bzw. Empfangsseite
$\Delta R_{ij,w}$	Verbesserung der Schalldämmung durch Vorsatzschalen auf den Bauteilen des Flankenweges auf der Sende- und/oder Empfangsseite
K_{ij}	Stoßstellendämm-Maß
S_s	Trennwandfläche
l_f	Gemeinsame Kantenlänge von Trenn- und Flankenbauteil
$l_0 = 1\ m^2$	Bezugslänge

Man erkennt, dass auch bei der Flankendämmung die Direktschalldämmung der beteiligten Bauteile eine wichtige Rolle spielt. Dazu kommt die flankierende Schallübertragung über die Knotenpunkte von Bauteilen hinweg („Stoßstellen"), die durch das so genannte Stoßstellendämm-Maß K_{ij} charakterisiert wird. K_{ij} wird damit zu einer zentralen Größe für die Berechnung der Schallübertragung im Gebäude.

Die zusätzliche Berücksichtigung der Stoßstelleneigenschaften sorgt für eine exaktere Prognose der bauakustischen Eigenschaften eines Gebäudes und liefert der bauakustischen Planung neue Ansätze zur Optimierung des baulichen Schallschutzes.

Die Gleichung (5.5) ist insofern wesentlich, als sie über die reine Berechnung hinaus verdeutlicht, was getan werden muss, um zu einer möglichst hohen Flankenschalldämmung (und damit zu einer geringen flankierenden Übertragung) zu kommen:

- Die (Direkt-)Schalldämmung der flankierenden Wände (R_i und R_j) sollte möglichst hoch sein, da sie unmittelbar in die Flankendämmung eingeht.
- Das Stoßstellendämm-Maß K_{ij} sollte ebenfalls möglichst hoch sein.
- Vorsatzkonstruktionen (z.B. Vorsatzschalen oder schwimmende Estriche) entlang des Flankenweges erhöhen die Flankendämmung um $\Delta R_{ij,w}$ (siehe hierzu auch Gleichung (5.3))

Gleichung (5.5) zeigt aber auch, dass eine kleine Fläche S_s des trennenden Bauteils die Flankendämmung mindert und damit den Anteil der flankierenden Übertragung an der Gesamtdämmung erhöht. Das kann sich bei der Planung der Schalldämmung in Übertragungssituationen mit kleinen Trennflächen als problematisch herausstellen.

DIN 4109-1 schreibt deshalb in den Fällen, bei denen die gemeinsame Trennfläche < 10 m² ist oder es keine gemeinsame Trennfläche (z.B. diagonale Übertragungssituationen) gibt, vor, dass die Anforderung an die bewertete Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,w}$ (siehe Abschnitt 2.2) gestellt wird. Es gelten dafür die Anforderungswerte für R'_w. Bei den rechnerischen Nachweisen in DIN 4109-2 und den messtechnischen Nachweisen in Gebäuden nach DIN 4109-4 wird diese Regelung entsprechend umgesetzt.

INFO

Im Falle gemeinsamer Trennflächen < 10 m² wird die Anforderung in DIN 4109-1:2016-07 an $D_{n,w}$ gestellt, was dem Ansatz einer Mindesttrennbaufläche von 10 m² entspricht.

5.2.4 Schalldämmung zweischaliger Haustrennwände nach DIN 4109-2 und DIN 4109-32

5.2.4.1 Akustisches Verhalten zweischaliger Haustrennwände

Akustisch kann die zweischalige Haustrennwand im einfachsten Fall wie ein Feder-Masse-System betrachtet werden, bei dem die Massen m'_1 und m'_2 durch die beiden Wandschalen und die Feder s' durch die Steifigkeit des Schalenzwischenraums (Dämmschicht) gebildet wird (Bild 16).

Die Resonanzfrequenz f_0 [Hz] dieses Schwingungssystems kann berechnet werden durch

$$f_0 = 160 \sqrt{s' \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \text{ [Hz]} \qquad (5.6)$$

mit

m'_1 und m'_2 Flächenbezogene Massen der Wandschalen in kg/m²

s' Dynamische Steifigkeit der Dämmschicht im Schalenzwischenraum in MN/m³

Der prinzipielle Verlauf der Schalldämmung der zweischaligen Konstruktion mit drei charakteristischen Frequenzbereichen wird in Bild 17 dargestellt und mit der Schalldämmung einer gleichschweren einschaligen Wand verglichen.

Für die Dimensionierung der zweischaligen Wand heißt das demnach: die Resonanzfrequenz f_0 ist so tief wie möglich zu legen, damit der Einbruch der Schalldämmung im interessierenden bauakustischen Frequenzbereich keinen Schaden anrichtet und damit gleichzeitig ein möglichst großer Teil des Frequenzbereichs von der Verbesserung durch die Zweischaligkeit profitiert. Eine übliche Dimensionierung sieht vor, dass $f_0 \leq 80$ Hz gelegt wird.

INFO

Eine hohe flächenbezogene Masse der beiden Wandschalen und eine weiche Zwischenschicht führen zu einer tiefen Lage der Resonanzfrequenz f_0 und somit zu einem hohen Schalldämm- Maß einer zweischaligen Haustrennwand.

Durch die zweischalige Ausführung von Haustrennwänden kann gegenüber gleichschweren einschaligen Wänden eine wesentlich höhere Schalldämmung erreicht werden. Wichtig ist dabei die schalltechnisch richtige Ausführung der massiven zweischaligen Konstruktion. DIN 4109-32 enthält dafür detaillierte Vorgaben, die schon in Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989 enthalten waren und mit denen eine fehlerfreie Ausführung und die Einhaltung der Anforderungen gewährleistet werden soll.

Neben den bisher genannten Einflussgrößen, die sich aus den grundsätzlichen physikalischen Betrachtungen für die zweischalige Konstruktion ergeben, spielen für das praktische Verhalten die konstruktiven Vorgaben des Gebäudes eine wesentliche Rolle. Bild 18 zeigt, dass die Schallübertragung über die Wand allein nur in denjenigen Stockwerken wirklich zum Tragen kommt, in denen keine zusätzliche flankierende Übertragung erfolgt. Im Dachgeschoss muss in diesem Zusammenhang die Übertragung über das Dach und im Fundamentbereich die Übertragung über eine gemeinsame Bodenplatte oder ein gemeinsames Fundament zusätzlich berücksichtigt werden (siehe hierzu die Ausführungen zur Berechnung der Schalldämmung in Abschnitt 5.2.4.3). Oft spielen diese Flankenwege sogar die Hauptrolle und vermindern die Schalldämmung der zweischaligen Konstruktion in den betroffenen Stockwerken erheblich.

5.2.4.2 Geringere Schalldämmung bei unvollständiger Trennung

Im untersten Geschoss wird eine vollständige Trennung der Schalen aus baupraktischen Gründen oft nicht ausgeführt. Durchgehende Bodenplatten, Fundamente oder Außenwände bewirken eine Kopplung der Schalen und vermindern dadurch die bei vollständiger Trennung erreichbare Schalldämmung. Der ungünstigste Fall für die Schalldämmung einer durch Schalen- und Fugenausbildung festgelegten Haustrennwandkonstruktion ergibt sich, wenn der Keller als so genannte „Weiße Wanne“ ausgeführt wird, d.h. Bodenplatte und Kelleraußenwände nicht getrennt sind. In diesem Fall ist sogar die Schalldämmung im Erdgeschoss vermindert.

INFO

In den oberen Geschossen hat die Fundamentausbildung nur einen geringen Einfluss auf das Schalldämm-Maß. Für die Schallübertragung im untersten Geschoss ist die Ausbildung des Fundaments jedoch von entscheidender Bedeutung.

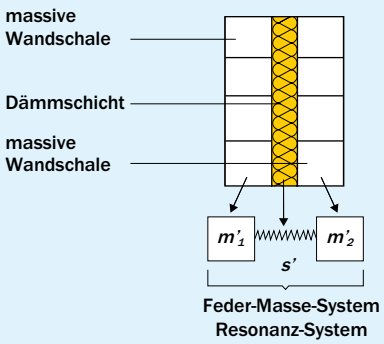
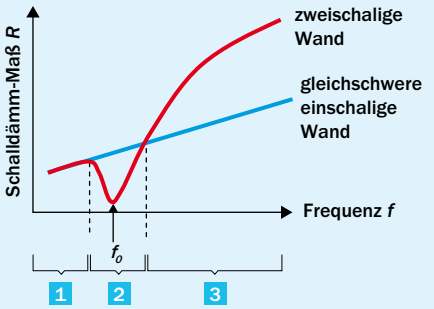


Bild 16 Zweischalige Wand als Feder-Masse-System



1 Der Bereich unterhalb der Resonanzfrequenz, bei dem sich die zweischalige Konstruktion so verhält wie die gleichschwere einschalige. Die Zweischaligkeit bringt hier also keine Vorteile.

2 Der Frequenzbereich um die Resonanzfrequenz f_0 herum: Hier tritt sogar eine deutliche Verschlechterung gegenüber der Schalldämmung der gleichschweren einschaligen Wand auf.

3 Der Frequenzbereich oberhalb der Resonanzfrequenz: Hier wird mit zunehmender Frequenz die Schalldämmung immer besser und erreicht Werte weit über denen der gleich schweren einschaligen Wand.

Bild 17 Schalldämmung einer zweischaligen und einer gleichschweren einschaligen Wand

Im Wesentlichen sind die in Tafel 14 dargestellten Fälle zu unterscheiden:

Fall 1 Durchlaufende Bodenplatte
Fall 2 Getrennte Bodenplatten, gemeinsames Fundament
Fall 3 Getrennte Bodenplatten, getrennte Fundamente
Fall 4 Vollständige Trennung

Unvollständige Trennung liegt dabei für die Fälle 1 bis 3 vor.

5.2.4.3 Prognose des Schalldämm-Maßes zweischaliger Haustrennwände in DIN 4109-2

Das in der bisherigen DIN 4109 Beiblatt 1:1989 angegebene Verfahren für die vereinfachte Prognose von bewerteten Schalldämm-Maßen zweischaliger massiver Haustrennwände wird in DIN 4109-2 in weiterentwickelter Form verwendet. Um die verschiedenen Randbedingungen zu berücksichtigen, wird dabei statt eines pauschalen Zuschlags von 12 dB ein abgestufter Zuschlag (Zweischaligkeitszuschlag $\Delta R_{w,Tr}$) vergeben, der in 3-dB-Stufen die unterschiedlichen Kopplungsbedingungen im Fundamentbereich bei unvollständiger Trennung und unterschiedliche Raumsituationen berücksichtigt. Die berücksichtigten Situationen werden zusammen mit den dafür geltenden Zweischaligkeitszuschlägen in Tafel 14 dargestellt.

Für vollständige Trennung der Schalen (Fall 4) entspricht das Verfahren mit einem Zuschlag von 12 dB dem Vorgehen in Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989. Für nicht vollständige Trennung der Schalen im untersten Geschoss ergeben sich je nach vorliegender Situation Zuschläge von 3, 6 oder 9 dB. Der Ansatz zu diesem Verfahren stützt sich auf einen Vorschlag in [54] und Untersuchungen in [55].

Dieser Dimensionierung liegt ein Schalenabstand von mindestens 30 mm zugrunde. Falls der Schalenabstand mindestens 50 mm beträgt und der Fugenhohlraum mit Mineralwolledämmplatten nach DIN EN 13162, Anwendungskurzzeichen WTH nach DIN 4108-10 ausgefüllt wird, können die Zuschlagswerte $\Delta R_{w,Tr}$ in denjenigen Situationen um 2 dB erhöht werden, in denen die Schallübertragung über Fundament und Bodenplatte keine signifikante Rolle spielt.

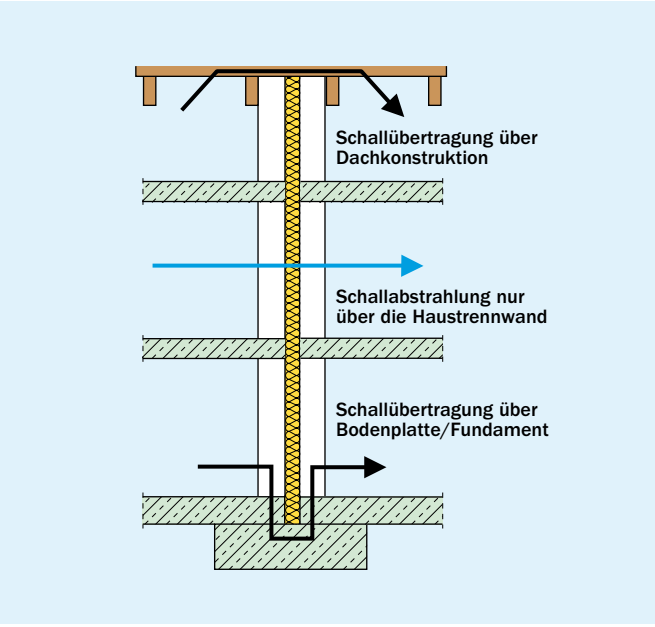


Bild 18 Schallübertragungswege zwischen Doppel- und Reihenhäusern mit zweischaliger Haustrennwand

In DIN 4109-32 wird darauf hingewiesen, dass bei Fugenhohlräumen größer 30 mm eine Dämmstoffdicke von 30 mm ausreichend ist. Ein ungedämmter Fugenhohlraum ist nicht zulässig.

Eine zusätzliche Erweiterung des bisherigen Nachweisverfahrens berücksichtigt den Einfluss flankierender Decken und Wände. Das prognostizierte Schalldämm-Maß ergibt sich damit nach folgender Formel:

$$R'_{w,2} = R'_{w,1} + \Delta R_{w,Tr} - K \text{ [dB]} \quad (5.7)$$

mit

$R'_{w,2}$ Bewertetes Schalldämm-Maß der zweischaligen Haustrennwand
$R'_{w,1}$ Schalldämm-Maß einer gleichschweren einschaligen Wand
$\Delta R_{w,Tr}$ Zweischaligkeitszuschlag in Abhängigkeit von der Kopplung im Fundamentbereich, (siehe Tafel 14)
K Korrekturwert zur Berücksichtigung der Übertragung über flankierende Decken und Wände

$R'_{w,1}$ kann aus der flächenbezogenen Masse m' der gleichschweren einschaligen Wand ermittelt werden:

$$R'_{w,1} = 28 \lg(m') - 18 \text{ dB} \quad (5.8)$$

Da der Korrekturwert K die Schallübertragung flankierender Wände und Decken nur in den Fällen berücksichtigt, in denen die Übertragung im Fundamentbereich vernachlässigt werden kann, muss er nur dort angesetzt werden, wo auch der volle Zweischaligkeitszuschlag von 12 dB gilt. Das ist der Fall bei den Räumen, die nicht mit der Bodenplatte in Verbindung stehen, sich also mindestens eine Etage über dem Fundamentbereich befinden.

Der Korrekturwert wird aus der mittleren flächenbezogenen Masse der auf die Haustrennwand stoßenden massiven flankierenden Bauteile und der flächenbezogenen Masse einer Schale der Haustrennwand berechnet. Er kann bis zu 4 dB betragen und ist umso höher, je leichter die massiven Flankenbauteile gegenüber der Haustrennwand werden. Zu leichte massive Flankenbauteile sind also zu vermeiden. Im KS-Schallschutzrechner wird diese Korrektur berücksichtigt. Bei üblichen KS-Konstruktionen kommt die Korrektur der Flankenübertragung nicht zum Tragen.

Mit dem Korrekturwert wird nur der Einfluss massiver flankierender Bauteile erfasst. Eine mögliche Flankenübertragung über leichte Dachkonstruktionen kann damit nicht berücksichtigt werden. Die mit Gleichung (5.7) berechneten Werte werden in der obersten Etage nur erreicht, wenn die flankierende Übertragung über das Dach keine Rolle spielt. Dafür ist eine ausreichende akustische Trennung der Dachkonstruktion im Bereich der Haustrennwand erforderlich (siehe hierzu Abschnitt 6.2.5 und Bild 18).

5.3 KS-Schallschutzrechner

Angesichts des Umfangs der Berechnungsverfahren für Schallschutznachweise nach DIN 4109-2 ist es naheliegend, dafür ein geeignetes Berechnungsprogramm einzusetzen. Auf der Grundlage der Vorgaben der DIN 4109-2 wurde deshalb für Kalksandstein eine eigene Software – der KS-Schallschutzrechner [53] – entwickelt.

Der KS-Schallschutzrechner ermöglicht neben der Berechnung der Luftschalldämmung in Mehrfamilienhäusern (in horizontaler und vertikaler Richtung) die Berechnung des Trittschallschutzes. Darüber hinaus kann die Luftschalldämmung zweischaliger Haustrennwände sowie der Schallschutz gegenüber Außenlärm berechnet werden. Alle Berechnungen erfolgen mit Einzahlwerten, so wie es im Rahmen der DIN 4109-2 vorgesehen ist. Die Eingangsdaten stammen aus dem Bauteilkatalog der DIN 4109 (Teile 31 bis 36). Der Anwendungsschwerpunkt liegt im Massivbaubereich. Mit Hilfe des KS-Schallschutzrechners können aber auch mehrschalige Leichtbauteile, als Trennbauteil oder als Flanke, in die Berechnung einbezogen werden.

Damit sind Schallschutznachweise nach DIN 4109 für die wesentlichen dort definierten Anforderungskenngrößen sowie die relevanten Gebäudetypen möglich.

INFO

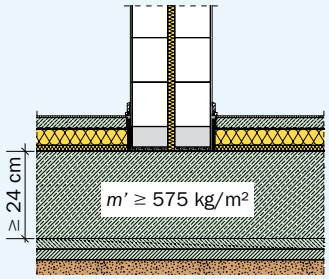
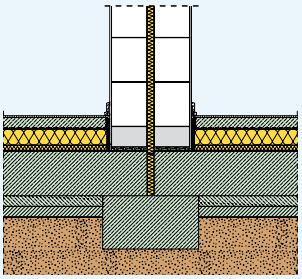
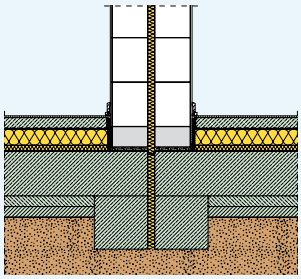
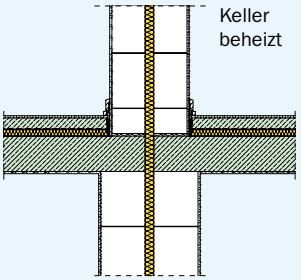
Durch die einfache Handhabung, die exakte Ermittlung der Flankendämmung sowie schnelle Variantenvergleiche mit dem KS-Schallschutzrechner (www.kalksandstein.de) kann ein schneller, sicherer Nachweis mit einer effektiven Schwachstellenanalyse betrieben werden.

Der KS-Schallschutzrechner beinhaltet ein umfangreiches Programmhandbuch (Manual) in dem alle Grundlagen der Rechenmodule sowie deren Handhabung und Bedienung ausführlich erläutert sind.

Beim Nachweis des Luftschallschutzes einschaliger Bauteile ist es von besonderer Bedeutung neben der Schallübertragung in horizontaler Richtung (Wände) immer auch die vertikale Übertragungsrichtung (Geschossdecken) zu berücksichtigen, da diese oft bemessungsrelevant im Hinblick auf die Auslegung der flankierenden Bauteile sind.

Ein Dimensionierungsbeispiel mit dem KS-Schallschutzrechner für den Fall der horizontalen Schallübertragung zeigt Tafel 15. Variiert werden dabei die Eigenschaften des Trennbauteils und der flankierenden Bauteile. Außerdem wird die Bauteilverbindung an der Außenwand alternativ starr oder akustisch entkoppelt betrachtet. Die resultierende Schalldämmung R'_w unterscheidet sich bei den einzelnen Varianten um bis zu 5 dB. Bei den angegebenen R'_w-Werten wurde zur Berücksichtigung der Unsicherheiten vom Berechnungsergebnis ein Abschlag

Tafel 14 **Zweischaligkeitszuschlag $\Delta R_{w,Tr}$ für zweischalige Haustrennwände in Abhängigkeit von der Fundamentausbildung und der Raumsituation (flankierende Bauteile mit mittlerer flächenbezogener Masse $m'_{t,m}$ = 300 kg/m²)**

Fall 1: gemeinsame Bodenplatte	Fall 2: getrennte Bodenplatten, gemeinsames Fundament	Fall 3: getrennte Bodenplatten, getrennte Fundamente	Fall 4: durchgehende Trennfuge bis zum Fundament
Räume direkt über der Bodenplatte	Räume direkt über den Bodenplatten	Räume direkt über den Bodenplatten	Räume mindestens 1 Etage über dem Fundament
$\Delta R_{w,Tr}$ = + 6 dB Bei durchgehenden Außenwänden (m' ≥ 575 kg/m²) im Keller: $\Delta R_{w,Tr}$ = + 3 dB	$\Delta R_{w,Tr}$ = + 6 dB Es konnten deutlich höhere Werte gemessen werden [55], jedoch wurde wegen der noch geringen Datenmenge eine Erhöhung des Zuschlags um 3 dB noch nicht vorgenommen.	$\Delta R_{w,Tr}$ = + 9 dB [1)]	$\Delta R_{w,Tr}$ = + 12 dB [1)] Bei durchgehenden Außenwänden (m' ≥ 575 kg/m²) im Keller: $\Delta R_{w,Tr}$ = + 9 dB [1)]
			

[1)] Bei einem Schalenabstand ≥ 50 mm und Ausfüllung des Schalenzwischenraums mit Mineralwolledämmplatten (Typ WTH gemäß 4108-10) darf der Zuschlagswert $\Delta R_{w,Tr}$ um 2 dB erhöht werden.

Tafel 15 Dimensionierung mit dem KS-Schallschutzrechner, Variationsrechnung horizontale Übertragung

Horizontale Übertragung über Wohnungstrennwand 2,5 m · 5 m = 12,5 m², Werte mit Sicherheitsabschlag von 2 dB									
Wohnungstrennwand[1]		Boden[2] Decke	Außenwand[1]			Innenwand[1]			R'_w [dB]
d [cm]	RDK	d [cm]	d [cm]	RDK	Kopplung	d [cm]	RDK	Kopplung	
24	1,8	18	17,5	1,8	starr	11,5	1,8	starr	**54,0**
24	2,0								**55,1**
24	2,2								**56,1**
30	2,0								**57,3**
24	2,0	24	20	2,0	starr	20	2,0	starr	**56,0**
30	2,0								**58,3**
24	2,0		17,5	1,8	entk.[3]	11,5	1,8		**56,1**
24	2,2								**57,1**
30	2,0					24,0			**59,0**

[1] Inkl. 10 mm Putz
[2] Boden mit 45 mm schwimmendem Estrich
[3] Wohnungstrennwand läuft bis Außenkante durch und die Außenwand ist planmäßig entkoppelt.

von 2 dB vorgenommen. Dies entspricht dem für die DIN 4109 neu eingeführten Konzept zur Berücksichtigung von Unsicherheiten im Prognoseverfahren (siehe Abschnitt 4.1.3.6) und dem dort vorgesehenen pauschalen Sicherheitsbeiwert. Ein zu Tafel 15 analoges Dimensionierungsbeispiel für die Luftschalldämmung in vertikaler Richtung zeigt Tafel 16.

Anhand solcher Berechnungsvarianten lässt sich schnell erkennen, was mit einer bestimmten Auslegung erreicht werden kann und wie eine sinnvolle Schallschutzplanung aussehen muss, um ein gefordertes Schallschutzniveau zu erreichen. Durch die Erweiterung des Schallschutzrechners um eine Funktion zum Variantenvergleich kann die Variante identifiziert werden, die im jeweiligen Fall das Optimum darstellt.

INFO

Mit dem KS-Schallschutzrechner können folgende Berechnungen durchführen werden:

- **Schalldämmung R'_w einschaliger massiver Wände und Decken zwischen zwei Räumen,**
- **Schallschutz $D_{nT,w}$ zwischen zwei Räumen horizontal und vertikal,**
- **Bauteile auch mit Vorsatzschalen oder schwimmenden Estrichen und abgehängten Decken,**
- **frei wählbare Stoßstellenausbildungen bzw. Kopplungen zu Flankenbauteilen,**
- **Schalldämmung bzw. Schallschutz zweischaliger Haustrennwände,**
- **Trittschalldämmung $L'_{n,w}$ bzw. Trittschallschutz $L_{nT,w}$ für Decken,**
- **Schallschutz gegen Außenlärm,**
- **Schallschutz bei Aufzugsanlagen.**

Er ermöglicht die

- **Eingabe mehrschaliger Bauteile (Leichtbau),**
- **Berücksichtigung von Spektrum-Anpassungswerten C oder wahlweise C_{tr}.**

Tafel 16 Dimensionierung mit dem KS-Schallschutzrechner, Variationsrechnung vertikale Übertragung in einem Eckraum (4 x 5 m = 20,0 m²); Werte mit Sicherheitsabschlag von 2 dB

Vertikale Übertragung in einem Eckraum 4 m · 5 m = 20 m², Werte mit Sicherheitsabschlag von 2 dB							
Geschossdecke[1]	Außenwand[2]		Innenwand[2]		Wohnungstrennwand[2]		R'_w
d [cm]	d [cm]	RDK	d [cm]	RDK	d [cm]	RDK	[dB]
18	17,5	1,8	11,5	1,8	24,0	1,8	56,8
18	17,5	2,0	11,5	2,0	24,0	2,0	57,3
24	17,5	2,0	11,5	2,0	24,0	2,0	59,4
24	20,0	2,0	20,0	2,0	24,0	2,0	60,2

[1] Boden mit 45 mm schwimmendem Estrich [2] Inkl. 10 mm Putz

6. Hinweise zur Planung und Ausführung

Ein guter Schallschutz muss planerisch und konstruktiv richtig ausgeführt werden.

Die Hinweise dieses Abschnitts erläutern, welche schalltechnischen Fragestellungen bei Wänden in unterschiedlichen Funktionen (Wohnungstrennwand, Installationswand, Schachtwand von Aufzügen, Außenwand, Haustrennwand) zu lösen sind, wie die flankierende Übertragung beherrscht wird, wie lästige Installationsgeräusche vermieden werden und wie der Schallschutz im eigenen Wohnbereich gestaltet werden kann.

6.1 Einschalige Wände

6.1.1 Einschalige Wohnungstrennwände

Beim Schallschutz zwischen Nachbarräumen steht die Wohnungstrennwand im Mittelpunkt des Interesses. Durch die Vorgehensweise der Berechnungsverfahren in DIN 4109-2 wird nun klar erkennbar, an welcher Stelle deren Bauteileigenschaften und an welcher Stelle die Gebäudeeigenschaften für den resultierenden Schallschutz im Gebäude verantwortlich sind. Eine saubere Trennung der beiden Bereiche gemäß den Ausführungen in Abschnitt 2.2 sorgt für Klarheit bei der schalltechnischen Planung.

6.1.1.1 Schalltechnisches Gesamtkonzept

Schallschutz ist eine Gebäudeeigenschaft. Die Bauteileigenschaften der Trennwand liefern für das resultierende Ergebnis einen wesentlichen, aber nicht den einzigen Beitrag. Beispielhaft zeigt Tafel 15, wie die Direktschalldämmung R_w verschiedener Wohnungstrennwände durch den Einfluss der flankierenden Übertragung gemindert wird und sich im Endergebnis eine niedrigere resultierende Schalldämmung R'_w im Gebäude ergibt. Das erreichte Ergebnis hängt maßgeblich von der Gestaltung der Flankenbauteile ab.

INFO

Die Wohnungstrennwand muss in ein schalltechnisches Gesamtkonzept eingebunden werden und kann nicht isoliert betrachtet werden.

Der Einfluss der Flankenübertragung kann mit Hilfe der erläuterten Rechenverfahren detailliert beschrieben werden. Die Einbindung der Trennwand in das bauakustische Gesamtkonzept lässt sich leicht erkennen, wenn unterschiedliche Varianten für Trennwand und Flankenbauteile durchgespielt werden. Hier ist die Dimensionierung mit dem KS-Schallschutzrechner hilfreich. Ein Beispiel dafür zeigt Tafel 15.

Weitere Beispiele für realisierbaren Schallschutz mit KS-Wänden zeigt Bild 19. In Abhängigkeit von der Wanddicke und der Rohdichteklasse wird für verschiedene Kalksandstein-Konstruktionen der Einsatzbereich anhand des berechneten Schallschutzes aufgezeigt. Für die Beispielrechnung (Bild 19) wurden folgende Bedingungen gewählt:

- Trennwand variabel
- Zwei nebeneinander liegende, nicht versetzte Räume
- Innenwand KS 11,5 cm RDK 2,0
- Außenwand KS 17,5 cm RDK 2,0
- Boden und Decke Normalbeton 24 cm
- Flankenanschlüsse alle starr

Bei der angenommen Raumtiefe (senkrecht zur Trennwand) von 3 m ergeben sich in diesem Fall für R'_w und $D_{nT,w}$ dieselben Zahlenwerte.

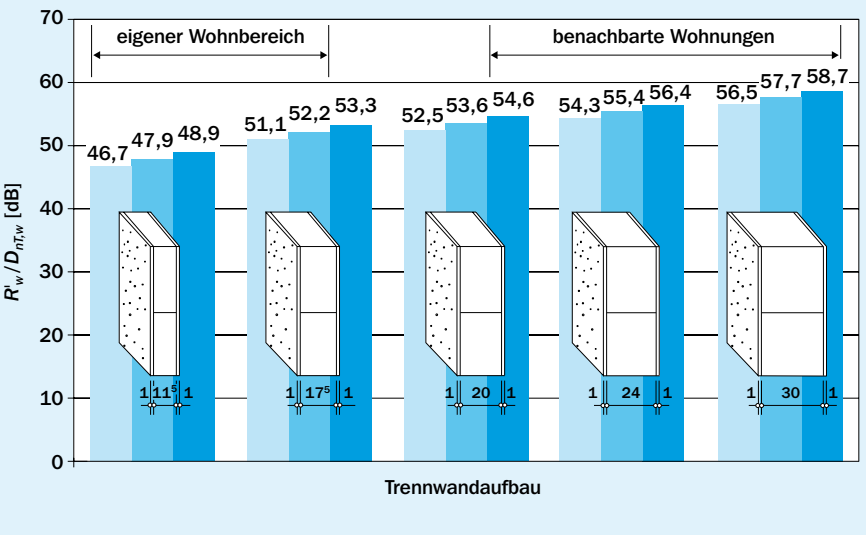
6.1.1.2 Hinweise zur flankierenden Schallübertragung

Die Anforderungen an die Schalldämmung der Flankenwege müssen umso höher sein, je höher das gewählte Schallschutzniveau ist. Die beste Direktschalldämmung einer Wohnungstrennwand nützt nichts, wenn die flankierenden Bauteile die Gesamtdämmung bestimmen.

INFO

Erhöhter Schallschutz erfordert eine konsequente Berücksichtigung der Flankendämmung.

Zwei Einflussgrößen müssen nach Gleichung (5.5) schalltechnisch berücksichtigt werden: die Direktschalldämmung der beteiligten Bauteile und die Stoßstellendämmung. Die grundsätz-



¹⁾ Regionale Lieferprogramme sind zu beachten.

Bild 19 Beispiele für Schalldämm-Maße in Abhängigkeit von Wanddicke und Wandrohdichte

liche Forderung lässt sich aus den dargestellten Verhältnissen ableiten:

- Die flankierenden Bauteile sollen eine hohe Direktschalldämmung aufweisen. Im Massivbau wird eine hohe Direktschalldämmung durch eine große flächenbezogene Masse erreicht. Vorteilhaft sind dabei hohe Rohdichten, um die Wanddicken trotz großer flächenbezogener Massen so klein wie möglich zu halten. Diese Aussage gilt gleichermaßen für Innenwände wie für Außenwände.

- Das Stoßstellendämm-Maß K_{ij} soll möglichst groß werden. Am Knotenpunkt mit einem Flankenbauteil kann das Stoßstellendämm-Maß auf dem Weg Ff erhöht werden, wenn das Flankenbauteil leichter wird. Gleichzeitig sinkt die Direktschalldämmung dieser Bauteile. Beide Effekte kompensieren sich jedoch nicht. Der Einfluss der Direktschalldämmung überwiegt.

6.1.1.3 Stoßstellendämm-Maß und Direktschalldämmung von Flankenbauteilen

Das Stoßstellendämm-Maß K_{ij} ist unter baupraktischen Bedingungen keine unabhängige Größe, sondern wird durch die Wahl der an der Stoßstelle beteiligten Bauteile festgelegt. Vorausgesetzt wird dabei, dass es sich um eine kraftschlüssige (schalltechnisch biegesteife) Verbindung zwischen den Bauteilen handelt. Das Stoßstellendämm-Maß hängt dann vom Verhältnis der flächenbezogenen Massen der beteiligten Bauteile ab.

Für das Beispiel Wohnungstrennwand gilt: Der Weg über die flankierende Innen- oder Außenwand in Bild 12 (Weg Ff) erreicht ein umso höheres Stoßstellendämm-Maß K_{ij}, je leichter das flankierende Bauteil im Verhältnis zur Wohnungstrennwand wird. Es wäre aber konstruktiv die falsche Lösung, aus diesem Grund nun die Flankenbauteile möglichst leicht machen zu wollen.

Die Summe aus den Direktschalldämm- Maßen der beteiligten Bauteile und dem Stoßstellendämm-Maß bestimmt die resultierende Flankendämmung. Es ist bei Variationsberechnungen mit dem KS-Schallschutzrechner sofort erkennbar, dass mit leichteren Flankenbauteilen zwar das Stoßstellendämm-Maß erhöht werden kann, dass aber gleichzeitig (Massegesetz!) die Direktschalldämmung dieser Bauteile sinkt. Berechnungen und die praktische Erfahrung zeigen, dass sich diese beiden gegenläufigen Effekte nicht kompensieren.

Vielmehr wirkt sich in der Gesamtbilanz die erhöhte Direktschalldämmung bei schwereren Flankenbauteilen stärker aus als die verringerte Stoßstellendämmung. Das Planungsziel ist deshalb wie folgt zu formulieren:

- Die flankierenden Bauteile (Außenwände, Innenwände und Decken) ausreichend schwer machen. Wie schwer, muss anhand des gewählten Schallschutzniveaus festgelegt werden.

- Bei horizontaler Übertragung über die Wohnungstrennwand hinweg zusätzlich dafür sorgen, dass die Stoßstelle in der vorgegebenen Bauteilkombination (schwere Wohnungstrennwand, flankierende Außen- oder Innenwand) die maximal mögliche Stoßstellendämmung auch tatsächlich erreicht. Dies setzt eine schalltechnisch biegesteife Verbindung zwischen den Bauteilen voraus.

- Bei vertikaler Übertragung über die Wohnungsdecke hinweg kann das Prinzip der erhöhten Stoßstellendämmung gezielt eingesetzt werden: Wenn die Festlegungen für die flankierenden Außen- und Innenwände getroffen worden sind, kann die flankierende Übertragung über diese Bauteile dadurch zusätzlich vermindert werden, dass die Trenndecke möglichst schwer ausgeführt wird. Eine größere flächenbezogene Masse sorgt hier für eine höhere Stoßstellendämmung (Bild 12: Weg Ff). Als günstig erweisen sich aus schalltechnischer Sicht Stahlbetondecken von mindestens 20 cm Dicke.

Falls die zweite Voraussetzung nicht erfüllt ist (z.B. durchlaufende flankierende Wand und Trennwand mit Trennfuge angeschlossen) ist die „Festhaltefunktion“ der Trennwand nicht mehr gegeben. Die Übertragung über das Flankenbauteil erhöht sich dramatisch. Dies ist ein wichtiger Hinweis für die Ausführung (z.B. bei der Ausführung des Stumpfstoßes).

Die exakte Festlegung der konstruktiven Eigenschaften, insbesondere der flächenbezogenen Massen, richtet sich nach dem gewählten Schallschutzniveau. Hier zeigt sich der Vorteil des KS-Schallschutzrechners, mit welchem leicht verschiedene konstruktive Varianten durchgespielt werden können.

6.1.1.4 Ausführung der Stoßstellen mit Stumpfstoß

Die vorhergehenden Ausführungen haben gezeigt, dass die Stoßstellendämmung für die resultierende Schalldämmung eine bedeutende Rolle spielt. Im Sinne eines schalltechnischen Gesamtkonzepts muss konsequenterweise dafür gesorgt werden, dass die Stoßstelle auch konstruktiv so behandelt wird, dass ihre bauakustisch gewünschten Eigenschaften optimiert und gewährleistet werden.

Wenn Stoßstellen massiver Bauteile mit dem Rechenverfahren nach DIN 4109-2 berechnet werden, wird aus physikalischer Sicht von einer Bauteilverbindung ausgegangen, wie sie typischer Weise durch einen verzahnten Knotenpunkt dargestellt wird. Die aufeinander stoßenden Bauteile werden lediglich durch ihre flächenbezogenen Massen charakterisiert. In der heutigen Praxis des Mauerwerkbaus wird dagegen weitgehend der Stumpfstoß angewendet (Bild 20).

Schalltechnisch sind beide Varianten gleichwertig, wenn die beim Stumpfstoß vorliegende Bauteilverbindung als starr angenommen werden kann. Die Stoßstellendämmung entspricht dann derjenigen des verzahnten Stoßes. Dies konnte durch Messreihen an KS-Wänden mit unterschiedlich gestalteten Knotenpunktausbildungen bestätigt werden [57].

INFO

Damit die geforderte schalltechnisch biegesteife Verbindung beim Stumpfstoß zustande kommt, ist es erforderlich, dass die Stumpfstoßfuge zwischen beiden Wänden vollflächig sorgfältig vermörtelt ist. Wenn dies nicht gewährleistet werden kann, ist bereits in der Schallschutzplanung ein nicht biegesteif verbundener Stoß anzunehmen. Bei reiner Kalksandsteinbauweise bedeutet dies eine Verminderung der Schalldämmung um ca. 1 bis 2 dB. Bei leichten Außenwänden kann diese Verminderung erheblich größer sein.

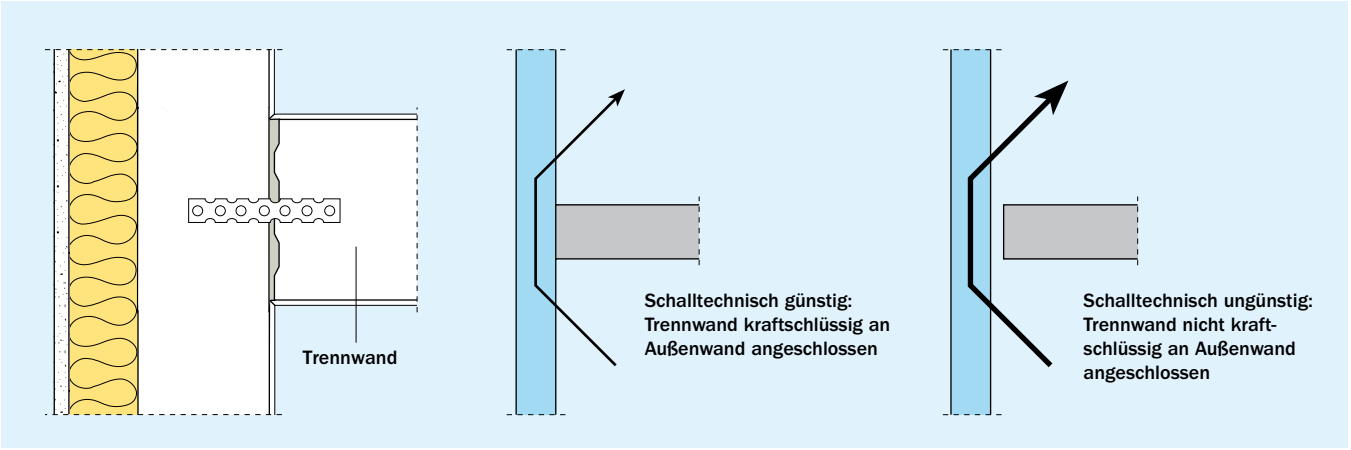


Bild 20 T-Stoß: flankierende Außenwand durchgehend, Trennwand stumpf angeschlossen

Wenn im Gegensatz zur biegesteifen Verbindung gelegentlich versucht wird, den Knotenpunkt als Stumpfstoß mit Trennfuge (und Dämmmaterial in der Fuge) auszuführen, dann handelt es sich um eine schalltechnisch riskante Lösung. Selbst wenn durch vollständige Abdichtung der Fuge eine ausreichende Direktschalldämmung über das trennende Bauteil erreicht wird, ist das Problem in Form der flankierenden Übertragung vorprogrammiert. Die durchlaufende flankierende Wand wird nicht mehr im Knotenpunkt von der Trennwand festgehalten. Die flankierende Übertragung über diese Wand steigt dramatisch an. Dies wird üblicherweise als ein schalltechnischer Schadensfall bezeichnet.

Unter diesem Aspekt ist erkennbar, dass die schalltechnische Funktionsfähigkeit des Stumpfstoßes davon abhängt, dass die schalltechnisch biegesteife Anbindung sorgfältig und dauerhaft hergestellt wurde. Unter baupraktischen Bedingungen wird es aber nicht mit völliger Sicherheit zu vermeiden sein, dass es zum Abreißen zwischen beiden Bauteilen kommt. Wie verschiedene Messungen in Prüfständen und Gebäuden gezeigt haben, muss dann damit gerechnet werden, dass der biegesteife Anschluss nicht mehr ausreichend funktioniert und die Schallübertragung über das flankierende Bauteil zunimmt. Offensichtlich ist es dazu nicht erforderlich, dass die Fuge vollständig getrennt wird.

Aus akustischer Sicht stellt sich die Frage, wie die derzeitige Stumpfstoßkonstruktion noch betriebssicherer und einfacher ausgeführt werden kann. Die Stumpfstoßtechnik, auf die im heutigen Baubetrieb nicht mehr verzichtet werden kann, muss dauerhaft und in allen Situationen anwendungssicher sein. Die vorgesehene Lösung folgt dem in Bild 21 dargestellten Prinzip.

Die Wohnungstrennwand durchstößt die Außenwand vollständig. Für den Wärmeschutz entstehen dabei keine nachteiligen Auswirkungen, da die Außenwand als Kalksandsteinwand stets mit einer außenseitigen Wärmedämmung versehen ist.

Schalltechnisch dagegen entsteht eine gegen Ausführungsfehler und mechanische Belastungen unempfindliche Konstruktion. Wie die Untersuchungen in [57] zeigen, ist auch dieser Stoß schalltechnisch gleichwertig zur biegesteifen Variante aus Bild 20 zu betrachten. Rechnerisch kann er im Rahmen des neuen Berechnungsverfahrens deshalb wie der herkömmliche T-Stoß angesetzt werden. Wenn es bei dieser neuen Stumpfstoßlösung auch zum Abreißen zwischen Außen- und Wohnungstrennwand kommen sollte, verbessert sich die Flankendämmung über die Außenwand sogar, da die Schallübertragung über die abgerissene Verbindung behindert oder sogar verhindert wird.

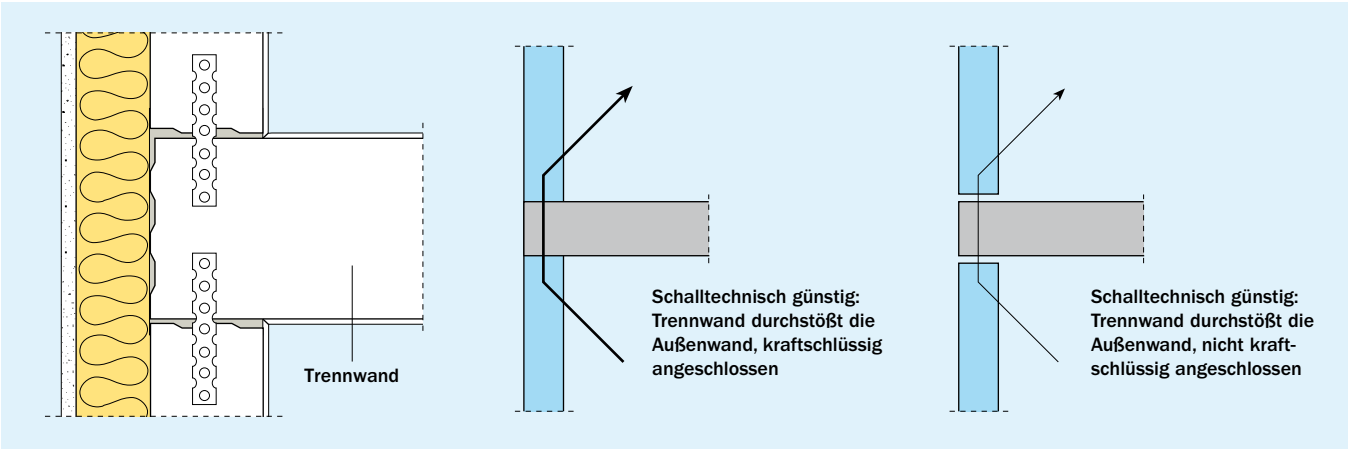


Bild 21 T-Stoß: Trennwände durchgehend, flankierende Wände stumpf angeschlossen

INFO

Die Stumpfstoßlösung, bei der die Wohnungstrennwand die flankierende Wand durchstößt, stellt eine dauerhafte, verlässliche Lösung dar und sorgt damit für Planungs- und Ausführungssicherheit.

Für die Praxis ist zusätzlich wichtig, dass der Stoß für kleine Pfeilerlängen beidseitig der Wohnungstrennwand bis zu einer Gesamtbreite von ≤ 1,25 m auch mit durchlaufender Außenwand ausgeführt werden darf, wie in Bild 22 dargestellt.

6.1.1.5 Flankenübertragung über die Außenwand

Immer wieder zeigt sich in der Baupraxis, dass die Außenwand als kritisches Flankenbauteil in Erscheinung tritt, denn der Schallschutz innerhalb des Gebäudes wird durch die Außenwand maßgeblich beeinflusst. Im Regelfall ist es bei der Außenwand somit nicht der Schutz gegen Außenlärm, der besondere Aufmerksamkeit erfordert, sondern der Luftschallschutz im Gebäudeinneren.

Wie die Außenwand in das schalltechnische Gebäudekonzept eingebunden ist, zeigt Bild 23.

In schalltechnischer Hinsicht interessieren bei Außenwänden somit zwei Eigenschaften:

- Die direkte Schalldämmung: Sie muss beim **Schutz gegen Außenlärm** beachtet werden. Da der Schall in diesem Fall auf seinem Weg von außen nach innen den kompletten Wandaufbau durchläuft, spielen dabei die Eigenschaften der außenliegenden Schichten, z.B. WDVS eine Rolle (siehe dazu Abschnitt 7.4).
- Die Flankendämmung: Sie muss beim Schutz gegen **Schallübertragung innerhalb des Gebäudes** beachtet werden. Dabei müssen die Eigenschaften des WDVS nicht berücksichtigt werden. Darauf wird in den folgenden Erläuterungen eingegangen.

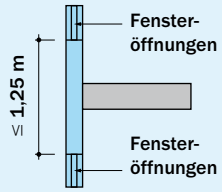
Aus dem in Bild 23 beschriebenen Zusammenhang ist sofort zu erkennen, dass beim Schallschutz im Gebäudeinneren die Außenwände auch in ihrer Funktion als flankierende Bauteile bei der schalltechnischen Planung zu berücksichtigen sind. Dies gilt sowohl in der horizontalen Richtung zwischen nebeneinander liegenden als auch in vertikaler Richtung zwischen übereinander liegenden Wohnungen (Bild 24).

Falls eine Wärmedämmung auf der Wand angebracht ist, ergibt sich je nach Lage der Dämmschicht für die flankierende Übertragung eine unterschiedliche Situation. Die flankierende Übertragung findet bei innen liegender Dämmschicht über die innen liegende Schale statt. Da diese oftmals mit viel zu steifen Dämmschichten ausgebildet wird, sind aufgrund ungünstiger Resonanzschwingungen starke Verschlechterungen der Flankendämmung gegenüber der Wand ohne Dämmsystem möglich.

Im Gegensatz zu innen liegenden Dämmschichten hat die außen liegende Wärmedämmung (z.B. als WDVS oder bei zweischaligem Außenmauerwerk) keine schädlichen Auswirkungen auf die Flankendämmung (Bild 25). Die Eigenschaften der Massivwand können für die Flankendämmung voll ausgeschöpft werden. Vorteilhaft sind dabei grundsätzlich Wände mit hoher flächenbezogener Masse. Während bei der Direktschalldämmung die kleinere Masse des Resonanzsystems (d.h. die Putzschicht) entscheidend ist, kann nun für die Flankendämmung die schwerere Masse der Massivwand genutzt werden.

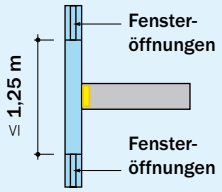
Variante 1: Stumpfstoß, wenn Außenwandlänge ≤ 1,25 m

Variante 1a: Stumpfstoß, akustisch kraftschlüssig



Akustische Trennung ist anzusetzen bei mangelhafter handwerklicher Ausführung und Baustoffen mit unterschiedlichem Verformungsverhalten.

Variante 1b: Stumpfstoß, akustisch entkoppelt

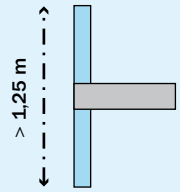


Diese Ausführung ist nicht zu empfehlen. Eine Verschlechterung der Schalldämmung ist möglich.

Bis zu einer Pfeilerlänge der Außenwand von ≤ 1,25 m ist die auf den Nachbarraum übertragene Schallenergie bei nahezu raumhohen Fensteröffnungen gering. Daher können aus baupraktischen Gründen dort Stumpfstöße ausgeführt werden.

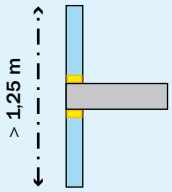
Variante 2: „Durchführen", wenn Außenwandlänge > 1,25 m

Variante 2a: „Durchführen", akustisch kraftschlüssig



Die bauübliche handwerkliche Ausführung neigt zu einem akustischen Abriss
→ Schalltechnische Verbesserung!

Variante 2b: „Durchführen", akustisch entkoppelt



Die planmäßige schalltechnische Entkopplung ist bei hohen Anforderungen (R'_w > 57 dB) zu empfehlen.

Bild 22 Ausführungsvarianten der Stoßstelle zwischen Außenwand und Wohnungstrennwand unter Berücksichtigung der Baupraxis

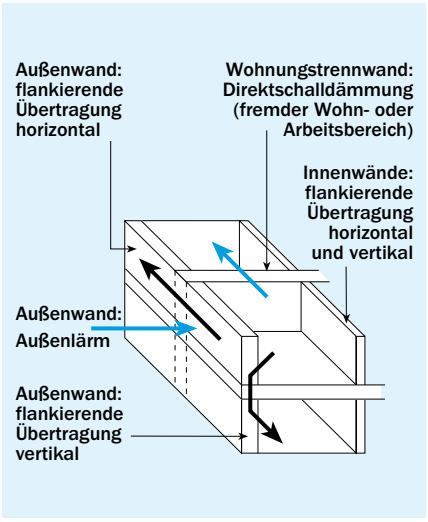


Bild 23 Einbindung der Außenwand in das schalltechnische Gebäudekonzept

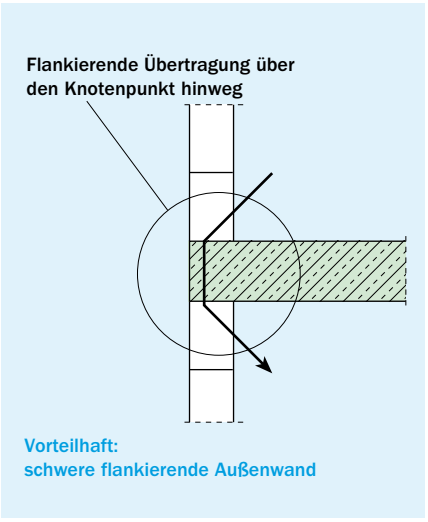


Bild 24 Flankierende Übertragung (vertikal) über die Außenwand

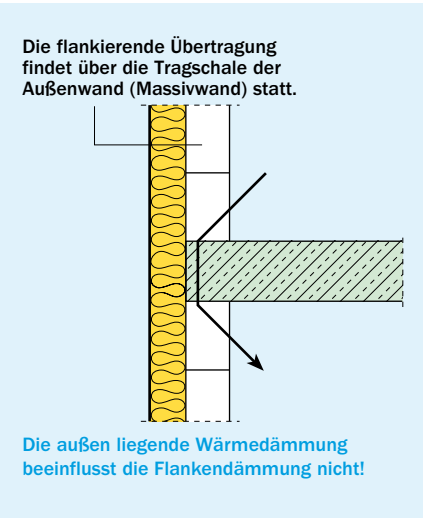


Bild 25 Flankierende Übertragung (vertikal) über die Außenwand mit außenseitiger Wärmedämmung (WDVS)

Die konstruktive Trennung von Wärmeschutz (z.B. WDVS) und Schallschutz (durch die Massivwand) erweist sich schalltechnisch als sinnvoll.

Die massive Wand muss keine wärmedämmende Funktion übernehmen und kann deshalb schwer sein. Für die Flankendämmung kann die gesamte Masse der massiven Wand genutzt werden. Ausreichend schwere Wände mit WDVS oder Verblendschale sind damit in der Lage, auch erhöhten Anforderungen an die Luftschalldämmung und damit auch an die flankierende Übertragung gerecht zu werden.

Der Zielkonflikt zwischen Schall- und Wärmeschutz ist durch die funktionale Trennung beider Bereiche aufgehoben. Während beim Außenlärm eine differenzierte Betrachtung der Verhältnisse erforderlich ist, um richtige Festlegungen für das WDVS zu treffen (siehe Abschnitt 7.4), ist dies bei der flankierenden Schallübertragung nicht erforderlich.

6.1.2 Ausführungsfragen bei einschaligen Wänden mit Schallschutzanforderungen

Bei der Ausführung einschaliger Wände sind wesentliche Aspekte zu berücksichtigen. Das aus der flächenbezogenen Masse zu erwartende Schalldämm-Maß (siehe Massekurve) einer Mauerwerkswand kann nur dann erreicht werden, wenn nicht Installationen, Fugen, Schlitze oder Undichtigkeiten die Schalldämmung verringern.

6.1.2.1 Putzschichten und unvermörtelte Stoßfugen

Immer wieder wird vermutet, dass die Schalldämmung bei offenen Fugen auch deshalb leidet, weil die flächenbezogene Masse der Wand reduziert wird. Falls offene Fugen im Mauerwerk vorhanden sind, verringert sich die flächenbezogene Masse in etwa proportional zum Anteil der Fugenfläche an der Gesamtfläche. Selbst wenn offene Fugenflächen im ungünstigsten Fall einen Flächenanteil von 1 % haben sollten, fällt die Verminderung der flächenbezogenen Masse schalltechnisch nicht ins Gewicht, so dass dadurch keine Minderung der Schalldämmung zu berücksichtigen ist.

Kritisch ist bei offenen Fugen vielmehr der direkte Schalldurchgang, der die Schalldämmung erheblich mindern kann. Der in Gleichung (5.4) angegebene Zusammenhang zwischen flächenbezogener Masse m' und bewertetem Schalldämm-Maß R_w der Wand setzt einen Aufbau voraus, der keine sichtbar bleibenden offenen Fugen aufweist.

Die Wand muss im schalltechnischen Sinne abgedichtet werden, z.B. mit Putz. Zu beachten ist dabei die Vorgabe der Mauerwerksnorm DIN EN 1996/NA, die vorschreibt, dass bei Mauerwerk ohne Stoßfugenvermörtelung bei nicht knirsch verlegten Steinen mit Fugenbreiten > 5 mm die Fugen an der Außenseite beim Mauern mit Mörtel verschlossen werden müssen.

Untersuchungen belegen, dass für eine ausreichende schalltechnische Abdichtung von Wänden mit unvermörtelten Stoßfugen bereits dünne Putze auf beiden Seiten ausreichend sind. In [56] wird anhand von Laboruntersuchungen für eine KS-Wand (17,5 cm KS-Vollsteine, unvermörtelte Stoßfugen mit Nut-Feder-System) gezeigt, dass mit beidseitigem Dünnlagenputz (mittlere Dicke ca. 5 mm) die schalltechnische Dichtigkeit hergestellt werden kann. Bei dickeren Putzschichten steigt die Schalldämmung dann nur noch entsprechend dem Massezuwachs an, ohne dass schalltechnisch die Dichtigkeit weiter erhöht würde.

INFO

Schon ein einseitig aufgetragener Putz mit z.B. 10 mm Dicke erfüllt die schalltechnischen Anforderungen. Der Putz ist bis auf OK Rohdecke zu führen, damit im Fußbodenbereich keine Undichtigkeiten verbleiben.

Bei sichtbar belassenem Mauerwerk müssen die Stoßfugen sorgfältig vermörtelt sein, auch wenn die Stirnseiten der Steine

mit Nut- und Feder-System ausgestattet sind. Falls diese Vermörtelung nicht erfolgt, muss die Wand durch einen vollflächig haftenden Putz bzw. durch eine entsprechende Beschichtung gegen unmittelbaren Schalldurchgang abgedichtet werden.

Wird bei einer schalltechnisch undichten Rohbauwand ein Wand-Trockenputz durch Einbau von Gipskartonplatten mit einzelnen Gipsbatzen oder -streifen an der Wand befestigt, ist mit einer Verringerung der Schalldämmung gegenüber nass verputzten Wänden zu rechnen. Bei Verwendung von Trockenputzen muss die Wand schalltechnisch dicht sein bzw. vor dem Aufbringen des Trockenputzes z.B. durch Zuspachteln der Fugen abgedichtet werden. Trotz dieser Maßnahmen ist bei Trockenputz mit Gipsbatzen oder Ähnlichem mit Verschlechterungen zu rechnen. Vollflächig angesetzter Trockenputz auf schalltechnisch abgedichteten Wänden ist dagegen problemlos.

6.1.2.2 Trennwände mit Installationen und Einbauten

Schlitze und Einbauten wie z.B. Elektroinstallationen verringern die Wanddicke und damit die flächenbezogene Masse der Wand im Bereich der Einbaufläche, so dass die dort verbleibende Restwand eine verringerte Schalldämmung aufweist. Formal kann eine solche Wand mit Einbauten wie ein zusammengesetztes Bauteil mit Teilflächen unterschiedlicher Schalldämmung betrachtet werden, für das die resultierende Schalldämmung berechnet werden kann (siehe Gleichung 7.3).

Steckdosen

Messungen in einem Prüfstand zeigen, dass selbst mehrere Steckdosen aufgrund ihrer kleinen Teilfläche und der ausreichend hohen Restdämmung der hinter dem Dosenbereich verbleibenden Wand bei Wohnungstrennwänden (m' > 410 kg/m^2) die resultierende Schalldämmung nicht verringern.

INFO

Auch bei beidseitiger Installation von Steckdosen muss nicht mit einer Minderung der Schalldämmung gerechnet werden, sofern die Öffnungen für die Steckdosen von beiden Seiten separat ohne durchgehende Bohrung hergestellt werden [58]. Bei Kalksandsteinen mit durchlaufenden Kanälen (KS -E-Steine) sind die Elektrodosen mit Gipsbatzen einzusetzen.

Zählerschränke

Zählerschränke, die z.B. im Geschosswohnungsbau in Treppenraumwände eingebaut werden, führen bei dichter Ausführung der Zählerschranktür nach Untersuchungen von Karl Gösele zu einer Verringerung der Schalldämmung von etwa 1 bis 2 dB. Zur Einhaltung der Anforderung an die Luftschalldämmung kann es erforderlich sein, die Zählerschränke ohne Verringerung des Wandquerschnitts einzubauen oder an anderer Stelle zu planen.

Wasser- und Abwasserleitungen

Falls Wände für die Unterputzverlegung von Rohrleitungen geschlitzt werden, sind die einschlägigen Regeln der Mauerwerksnormen zu berücksichtigen. Dem Schlitzen von Wänden sind damit deutlich engere Grenzen gesetzt, als es in der Praxis immer wieder zu beobachten ist. Lassen sich Schlitze für die Wasserinstallation nicht vermeiden, so müssen die erforderlichen Schlitze bereits bei der Planung berücksichtigt und als gemauerte Schlitze ausgeführt werden. Die Restwand darf nicht beschädigt oder undicht sein. Ihre flächenbezogene Masse zum schutzbedürftigen Raum hin soll mindestens 220 kg/m^2 betragen. In DIN 4109-36 heißt es: *„Die Verlegung von Leitungen innerhalb massiver Wände oder Decken ist auch bei Verwendung schalldämmender Ummantelungen wenn möglich zu vermeiden."*

Aus akustischer Sicht gelten die zuvor schon erläuterten Bedingungen bei zusammengesetzten Bauteilen. Im Unterschied zu Steckdosen oder anderen kleinen Einbauten ist hier aber die Teilfläche mit verringerter Schalldämmung größer und die verbleibende Wanddicke kleiner, so dass die resultierende Schalldämmung verringert wird. Wird z.B. in einer 9 m^2 großen Wand (d = 240 mm, m' > 410 kg/m^2, R'_w = 53 dB bei einer mittleren flächenbezogenen Masse der Flankenbauteile von etwa 300 kg/m^2) ein Schlitz von 100 mm Breite und 100 mm Tiefe über die gesamte Höhe der Wand angebracht, so sinkt die resultierende Schalldämmung um 0,5 dB. Würde der Schlitz dagegen mit 150 mm Tiefe und 150 mm Breite ausgeführt, so würde die resultierende Schalldämmung der Wand um ca. 2 dB vermindert werden. Damit wäre die Einhaltung der Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 an eine Wohnungstrennwand (erf. $R'_w \geq$ 53 dB) nicht mehr gegeben. Bei der Verlegung von Abwasserleitungen in Wandschlitzen sollte die flächenbezogene Masse der Restwand zum schutzbedürftigen Raum hin mindestens 220 kg/m^2 betragen. Bei einer Wohnungstrennwand von 240 mm Dicke (Steinrohdichte 1,8) entspräche dies einer Restwanddicke von ca. 130 mm bzw. einer maximal möglichen Schlitztiefe von ca. 110 mm.

Körperschallisolierung bei Rohrleitungen

Bei der Unterputzverlegung von Rohrleitungen besteht das schalltechnische Hauptproblem neben einer möglichen Minderung der Schalldämmung vor allem in der verstärkten Übertragung von Leitungsgeräuschen. Ohne vollständige und sorgfältig ausgeführte Körperschallisolierung in Form von geeigneten Rohrummantelungen besteht nämlich die Gefahr, dass die auf den Rohrwandungen vorhandenen Schwingungen über Körperschallbrücken auf die Wand übertragen werden. Eine verstärkte Weiterleitung der Installationsgeräusche und in der Regel eine Überschreitung der für Wasserinstallationen zulässigen Schallpegel sind die Folge.

INFO

Unterputzverlegung von Rohrleitungen benötigt eine sorgfältig ausgeführte Körperschallisolierung in Form von geeigneten, lückenlos angebrachten Rohrummantelungen. Körperschallbrücken bewirken eine verstärkte Weiterleitung der Installationsgeräusche und in der Regel eine Überschreitung der für Wasserinstallationen zulässigen Schallpegel.

Vorwandinstallation

Grundsätzlich kann die Körperschallentkopplung der Sanitärinstallation von der Installationswand als die wirksamste Maßnahme zur Minderung der Installationsgeräusche betrachtet werden. Darum gehören nicht nur Rohrleitungen, sondern alle

Komponenten der Sanitärinstallationen vor die Wand. Die Vorwandinstallation stellt deshalb die einzige schalltechnisch sinnvolle und zeitgemäße Installationsweise dar. Die Verlegung von Leitungen in Wandschlitzen dagegen ist hochgradig durch Körperschallbrücken gefährdet.

INFO

Nur mit geeigneten körperschallentkoppelnden Produkten (Nachweis durch Prüfzeugnisse!) und bei absolut fehlerfreier (d.h. körperschallbrückenfreier) Verlegung der Leitungen ist eine Unterputzmontage verantwortbar.

In diesem Zusammenhang weist die DIN 4109-1 als werkvertragliche Voraussetzung zur Erfüllung des zulässigen Schalldruckpegels darauf hin, dass die verantwortliche Bauleitung benannt und zu einer Teilabnahme vor Verschließen bzw. Verkleiden der Installation herangezogen werden muss. Weitere Details regelt ein ZVSHK-Merkblatt [59]. Dieses Merkblatt enthält in einem umfangreichen Anhang schalltechnische Planungs- und Ausführungshinweise für verschiedene Bereiche der Sanitärinstallation sowie darüber hinaus auch für Heizungsanlagen und raumlufttechnische Anlagen. Es stellt damit eine wirkungsvolle Hilfestellung zur Bewältigung der vielfachen schalltechnischen Aufgaben im Installationsbereich dar.

6.1.2.3 Einsatz des KS-Wärmedämmsteins

Wärmebrücken an kritischen Stellen, wie z.B. an Fußpunkten von Wänden können vermindert werden, wenn als unterste Lage der Wand KS-Wärmedämmsteine verwendet werden. Diese weisen eine geringere Wärmeleitfähigkeit und eine geringere Rohdichte als das restliche KS-Mauerwerk auf. Aus schalltechnischer Sicht stellt sich die Frage, ob dadurch die Schalldämmung der gesamten Wand vermindert wird. Eine rechnerische Überprüfung und Untersuchungen im Prüfstand [60] an zwei bis auf die unterste Steinlage identischen Wandaufbauten ergaben, dass sich zwischen den Varianten „mit KS-Wärmedämmstein“ und „ohne KS-Wärmedämmstein“ kein Unterschied im bewerteten Schalldämm-Maß ergibt. Der messtechnische Nachweis erfolgte an einer 11 m² großen, 24 cm dicken Wand aus KS-Steinen KS -R P 1,8 – 8 DF, jeweils mit und ohne unterste Lage aus KS-Wärmedämmsteinen der Rohdichteklasse 1,2. Rechnerisch zeigt sich, dass die KS-Wärmedämmsteine auch bei 24 cm dicken Wänden der RDK 2,0 zu keiner merkbaren Verminderung der Schalldämmung führen. Sofern sich der Wärmedämmstein komplett in der Ebene des schwimmenden Estrichs befindet, kann auch bei höheren RDK eine Auswirkung auf die Schalldämmung vermieden werden.

6.1.3 Einschalige Wände mit besonderen Eigenschaften und Anforderungen

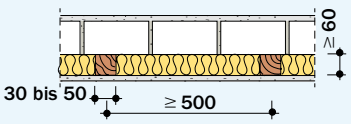
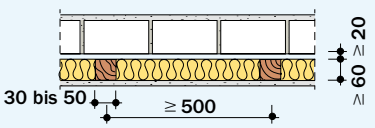
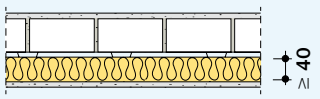
Neben der einschaligen Wohnungstrennwand sind in der Baupraxis noch andere Wände von Bedeutung, die sich durch besondere Eigenschaften bzw. Anforderungen auszeichnen.

6.1.3.1 Trennwände mit biegeweichen Vorsatzschalen

Biegeweiche Vorsatzschalen werden vor massiven einschaligen Wänden angebracht, um deren Schalldämmung zu verbessern. Die Schalldämmung der Gesamtkonstruktion kann nach Gleichung (5.3) berechnet werden. Das Grundprinzip besteht darin, dass zusammen mit der zweiten Schale ein zweischaliges Bauteil gebildet wird, das oberhalb seiner Resonanzfrequenz eine starke Erhöhung der ursprünglichen Schalldämmung besitzt. Dieses Prinzip wird in Bild 36 verdeutlicht, das auch für die akustischen Verhältnisse einer Vorsatzschale herangezogen werden kann. Beispiele für solche Vorsatzschalen zeigt Tafel 17.

Bild 36 verdeutlicht, dass die Lage der Resonanzfrequenz entscheidend für die Wirkung der Vorsatzschale ist. Aus bauakustischer Sicht sollte diese so tief wie möglich liegen (Empfehlung: $f_0 \leq 50$ Hz), damit die Verbesserung der Schalldämmung in einem möglichst großen Frequenzbereich zur Geltung kommt

Tafel 17 Beispiele für Vorsatzschalen vor massiven Wänden

	Wandausbildung	Beschreibung
1		Vorsatzschale aus Gipskartonplatten nach DIN 18180, Dicke 12,5 oder 15 mm Ausführung nach DIN 18181 oder aus Spanplatten nach DIN 68763, Dicke 10 bis 16 mm; mit Hohlraumfüllung[1]; Unterkonstruktion an schwerer Schale befestigt[2]
2		Ausführung wie Zeile 1, jedoch Holzstiele (Ständer) mit Abstand ≥ 20 mm vor schwerer Schale freistehend
3		Vorsatzschale aus Gipskartonplatten nach DIN 18180, Dicke 12,5 oder 15 mm und Fassadendämmplatten[3], Ausführung nach DIN 18181, an schwerer Schale streifenförmig angesetzt

[1] Faserdämmstoffe nach DIN 4108-10 i.V.m. DIN EN 13162, Typ WAB Nenndicke 40 bis 60 mm, längsbezogener Strömungswiderstand $\Xi \geq 5$ kN · s/m⁴
[2] Bei den Beispielen nach Zeilen 1 und 2 können auch Ständer aus Blech-C-Profilen nach DIN 18183-1 verwendet werden.
[3] Faserdämmstoffe nach DIN 4108-10 i.V.m. DIN EN 13162, Typ WAP, Nenndicke ≥ 40 mm, $s' \leq 5$ MN/m³

Tafel 18 **Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes ΔR_w durch Vorsatzschalen (auch schwimmende Estriche) in Abhängigkeit von der Resonanzfrequenz**

Resonanzfrequenz f_0 der Vorsatzschale [Hz]	ΔR_w [dB]
≤ 80	nach Gleichung (6.1)
100	
125	
160	
200	- 1
250	- 3
315	- 5
400	- 7
500	- 9
630 bis 1.600	- 10
> 1.600 ≤ 5.000	- 5

- Für Resonanzfrequenzen unter 200 Hz beträgt der Mindestwert von ΔR_w 0 dB.
- Für Resonanzfrequenzen, die zwischen den tabellierten Frequenzwerten liegen, können die Werte für ΔR_w durch Interpolation ermittelt werden.
- R_w bezeichnet das bewertete Schalldämm-Maß der Bezugswand/Bezugsdecke.

und die Verminderung der Schalldämmung durch den Resonanzeinbruch bei f_0 nicht störend in Erscheinung tritt. Werden allerdings Vorsatzschalen mit bauakustisch falsch dimensionierter Resonanzfrequenz verwendet, dann führt das statt zu Verbesserung zu einer Verschlechterung der Schalldämmung. Die Werte für ΔR_w werden in diesem Fall negativ. Das ist z.B. der Fall, wenn aus Gründen der Wärmedämmung an einschalige, massive Wände Dämmplatten hoher dynamischer Steifigkeit – z.B. Holzwolle-Leichtbauplatten oder nicht elastifizierte Hartschaumplatten – vollflächig oder punktweise angesetzt werden, die durch Putz oder Fliesen abgedeckt werden. Die Resonanzfrequenz beträgt dann $f_0 \geq 200$ Hz. Stattdessen sollten weich federnde Dämmschichten, d.h. Dämmschichten mit geringer dynamischer Steifigkeit, verwendet werden. Werte für die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes ΔR_w durch Vorsatzkonstruktionen enthält Tafel 18. Sie stammen aus der DIN 4109-34. Tafel 18 zeigt, dass die erreichte Verbesserung ΔR_w nicht nur von der Vorsatzschale selbst, sondern auch von der verwendeten massiven Wand abhängt. Die dort genannten Werte gelten für Vorsatzkonstruktionen vor Decken und Wänden, also insbesondere Vorsatzschalen und schwimmende Estriche. Verbesserungen der Schalldämmung sind nur erreichbar, wenn die Resonanzfrequenz nicht höher als 160 Hz liegt. Die Verbesserung kann dann nach Gleichung (6.1) ermittelt werden.

$$\Delta R_w = (74{,}4 - 20 \lg f_0 - \frac{R_w}{2}) \geq 0 \text{ [dB]} \qquad (6.1)$$

Werden biegeweiche Vorsatzschalen an Sende- und Empfangsseite eines Übertragungsweges an trennenden oder flankierenden Bauteilen angebracht, so ist bei der Berechnung der resultierenden Gesamt-Schalldämmung entlang dieses Pfades die Vorsatzschale mit dem kleineren ΔR_w-Wert nur mit ihrem halben Wert anzusetzen.

Biegeweiche Vorsatzschalen können mit dem KS-Schallschutzrechner berücksichtigt werden.

6.1.3.2 Trennwände im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich

Zwar werden an den Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich keine bauaufsichtlichen Anforderungen gestellt, aber dennoch ist Schallschutz dafür ein Thema. Deshalb werden von verschiedenen Seiten Empfehlungen gemacht, die für Wände ohne Türen in Tafel 19 wiedergegeben sind.

Falls für Wände im eigenen Wohnbereich Schallschutzanforderungen geplant werden, sollten die betreffenden Wände mit einer ausreichend hohen flächenbezogenen Masse geplant werden. Hinweise zur Auslegung solcher Wände in KS-Bauweise finden sich in Bild 19. Es gelten sinngemäß die Ausführungen für Wohnungstrennwände.

Wenn solche Wände als nicht tragende innere Trennwände ausgeführt werden sollen, sind die oberen Deckenanschlüsse und die seitlichen Wandanschlüsse besonders zu beachten. Beispiele für solche Anschlüsse enthalten die Tafeln 20 und 21. Falls sich Türen in den Wänden befinden, können die in Tafel 19 genannten Empfehlungen nicht eingehalten werden.

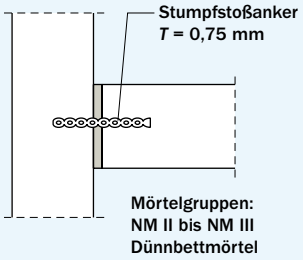
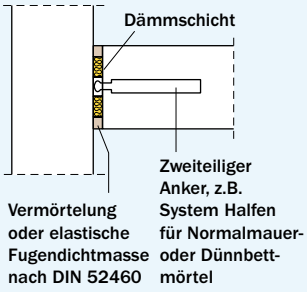
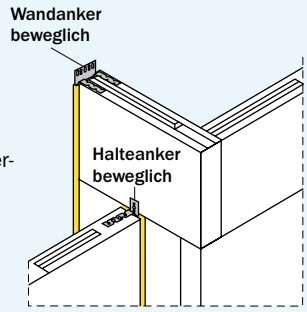
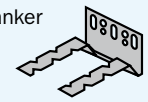
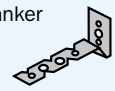
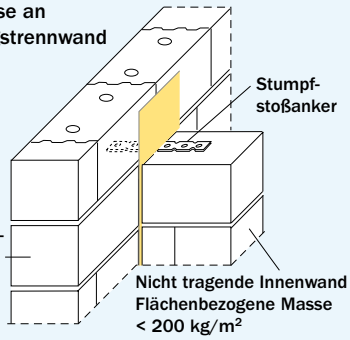
Wenn Schallschutzanforderungen an die Direktschalldämmung dieser Trennwände gestellt werden, ist bei der Ausführung entkoppelter Anschlüsse zu beachten, dass die Direktschalldämmung nach DIN 4109-2 durch Korrekturwerte abzumindern ist, die je nach flächenbezogener Masse der entkoppelten Bauteile und der Anzahl der entkoppelten Kanten bis zu 6 dB betragen können. Im KS-Schallschutzrechner (Abschnitt 5.3) wird diese Korrektur bereits berücksichtigt. Die Kalksandsteinindustrie empfiehlt für Wände ohne Türen ein Bauschalldämm-Maß von 47 dB. Dies entspricht nach dem DEGA-Memorandum BR 0104 [42] der Schallschutzklasse EW3 innerhalb des eigenen Wohnbereichs. Diese wird wie folgt beschrieben: *„Guter Schallschutz für den eigenen Bereich mit hoher Zufriedenheit. Geräusche aus dem eigenen Bereich sind nur noch teilweise hörbar."*

Als flankierende Bauteile können nicht entkoppelte, leichte, massive Wände erheblich zur Schallübertragung beitragen und damit die resultierende Schalldämmung beträchtlich vermindern. Dieser schädliche Einfluss kann durch entkoppelte Wand- und Deckenanschlüsse verhindert werden (siehe Abschnitt 6.1.1.4)

Tafel 19 **Vorschläge für den Luftschallschutz im eigenen Wohnbereich (Wände ohne Türen)**

Beiblatt 2 zu DIN 4109 (1989) R'_w [dB]		DEGA-Empfehlung 103 R'_w [dB]		DEGA-Memorandum BR 0104 R'_w [dB]		
Normaler Schallschutz	Erhöhter Schallschutz	EW1	EW2	EW1	EW2	EW3
40	47	42	47	40	43	47

Tafel 20 Seitliche Wandanschlüsse für nicht tragende Innenwände unter Berücksichtigung von Statik, Schall- und Brandschutz

Anschlussdetail Fuge	Statik	Schallschutz	Brandschutz[1)]
Anschlüsse im eigenen Wohnbereich  	**Starr gehalten** durch Maueranker und vollflächig satt vermörtelte Anschlussfuge mit NM oder DM	**Schalltechnisch biegesteif und dicht** Bei Baustoffen mit unterschiedlichem Verformungsverhalten oder nicht vollflächiger Vermörtelung ist ggf. eine Entkopplung und Undichtigkeit anzunehmen.	**Anschlussfuge voll vermörtelt mit NM oder DM** EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
Anschlüsse im eigenen Wohnbereich  	**Gelenkig gehalten** durch in Ankerschiene eingelegte Maueranker	**Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt** bei Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe[2)] **Schalltechnisch dicht** mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
Anschlüsse im eigenen Wohnbereich  	**Gelenkig gehalten** durch Wandanker  durch Halteanker 	**Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt** bei Halteankern und Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe[2)] **Schalltechnisch dicht** mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
Anschlüsse an Wohnungstrennwand  	**Gelenkig gehalten** durch Mauerwerksanker und nachgiebiger Füllung mit Mineralfaserstreifen des Stumpfstoßanschlusses	**Schalltechnisch weitestgehend entkoppelt** bei Einlage von z.B. Kork-, Mineralfaserstreifen, bzw. Streifen aus bitumenimprägnierter Wollfilzpappe[2)] **Schalltechnisch dicht** mit beidseitigem elastischem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60

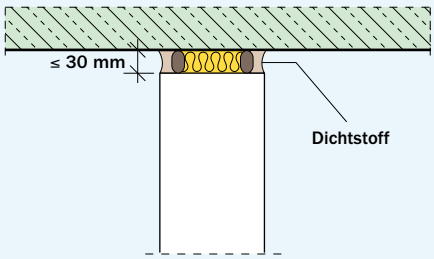
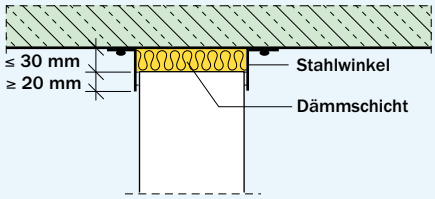
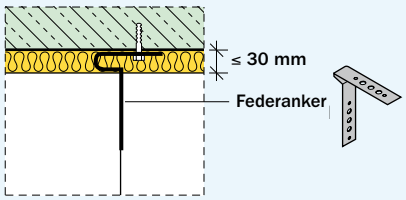
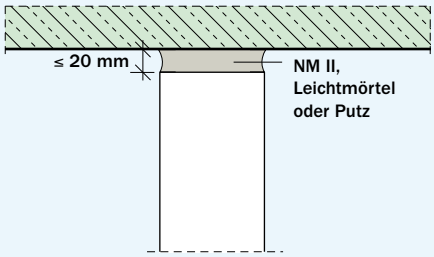
[1)] Die Klassifizierung des Wandanschlusses entspricht der Klassifizierung der Wand, wenn die angegebenen Bedingungen eingehalten werden. Nicht tragende raumabschließende Wände EI nach DIN EN 13501-2

[2)] Der Putz ist bei entkoppelten Anschlüssen mit einem Kellenschnitt zu trennen und nachträglich z.B. mit Acryl zu schließen.

Empfehlungen für die Ausführung von nicht tragenden Innenwänden:

- Wände grundsätzlich auf eine Trennschicht (z.B. R 500) stellen
- Seitliche Anschlüsse an Treppenhaus- und Wohnungstrennwände akustisch entkoppelt ausführen, wenn die flächenbezogene Masse der nicht tragenden Trennwände < 200 kg/m² beträgt
- Seitliche Anschlüsse untereinander vermörtelt, schalltechnisch biegesteif (kraftschlüssig) ausführen
- Bei kraftschlüssiger Ausführung der oberen Anschlussfuge ist Mörtel geringer Festigkeit (z.B. Leichtmörtel oder Putz) zu wählen.

Tafel 21 Obere Wandanschlüsse für nicht tragende Innenwände unter Berücksichtigung von Statik, Schall- und Brandschutz

Anschlussdetail Fuge	Statik	Schallschutz	Brandschutz [1]
	**Oberer Rand nicht gehalten** die Wand ist 3-seitig zu halten die Stoßfugen sind grundsätzlich zu vermörteln	**Schalltechnisch entkoppelt und dicht** mit beidseitigem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung durch Dichtstoff, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60 Die Fugen müssen dicht ausgestopft werden. Für EI 30 mind. 50 mm; für EI 60 mind. 60 mm und für EI 90 und „Brandwände“ mind. 100 mm Breite der jeweiligen Wanddicke.
	**Oberer Rand gehalten** die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand	**Schalltechnisch entkoppelt und nicht dicht** Als trennendes Bauteil nur geeignet mit zusätzlichem Fugendichtstoff in der Anschlussfuge	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung durch Stahlwinkel, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
 Die Stoßfugen mit Federanker sind zu vermörteln.	**Oberer Rand gehalten** die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand	**Schalltechnisch entkoppelt und dicht** mit beidseitigem Fugendichtstoff	**Dämmschicht nichtbrennbar** Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C Rohdichte ≥ 30 kg/m³ Lagesicherung erforderlich, EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60
	**Oberer Rand gehalten** mit Auflast infolge Kriechen und Schwinden der Stahlbetondecke [2] die Wand kann 4-seitig bzw. 3-seitig gehalten sein, mit einem freien vertikalen Rand Anschlussfuge vollständig durch NM II, Leichtmörtel oder Putz ausgefüllt	**Schalltechnisch biegesteif und dicht** Bei Wänden mit Schallschutzanforderungen sollte diese Ausführungsvariante gewählt werden.	EI 90 ab Wanddicke ≥ 100 mm und Wanddicke 70 mm mit beidseitig 10 mm Putz; sonst EI 60

[1] Nicht tragende raumabschließende Wände EI nach DIN EN 13501-2
[2] Bei Wandlängen > 5 m sollte dieser Anschluss mit dem Tragwerksplaner abgestimmt werden.

Empfehlungen für die Ausführung von nicht tragenden Innenwänden:
- Wände grundsätzlich auf eine Trennschicht (z.B. R 500) stellen
- Seitliche Anschlüsse an Treppenhaus- und Wohnungstrennwände akustisch entkoppelt ausführen, wenn die flächenbezogene Masse der nicht tragenden Trennwände < 200 kg/m² beträgt
- Seitliche Anschlüsse untereinander vermörtelt, schalltechnisch biegesteif (kraftschlüssig) ausführen
- Bei kraftschlüssiger Ausführung der oberen Anschlussfuge ist Mörtel geringer Festigkeit (z.B. Leichtmörtel oder Putz) zu wählen.

INFO

Trennwände mit hohen Anforderungen an die Schalldämmung sollten schwer sein. Entkoppelte Anschlüsse verringern die Direktschalldämmung. Trennwände als Flankenbauteil sollten aus akustischen Gründen dann entkoppelt werden, wenn sie eine geringere flächenbezogene Masse als 200 kg/m² aufweisen. Bei 11,5 cm dicken Wänden RDK 1,8 ist keine Entkopplung aus Gründen der Schalllängsleitung erforderlich.

6.1.3.3 Installationswände

Ergänzend zu den Hinweisen zur Verlegung von Leitungen und Installationen an Wänden in Abschnitt 6.1.2.2 sind für Installationswände weitere Hinweise zu beachten.

Schalltechnische Anforderungen an Wände mit Wasserinstallationen sind in der DIN 4109 nicht direkt formuliert. In DIN 4109-36 [31] wird für den schalltechnischen Nachweis jedoch eine so genannte einschalige Massivbau-Musterinstallationswand definiert, die unter Berücksichtigung von Putzschichten eine flächenbezogene Masse von mindestens 220 kg/m² haben muss. Mit dieser Musterinstallationswand kann unter Einhaltung der in DIN 4109-36 beschriebenen Konstruktionsmerkmale und Randbedingungen der Nachweis zur Erfüllung der Anforderungen aus DIN 4109-1:2016, Tabelle 9 geführt werden. Gemäß diesen Anforderungen dürfen die Geräusche der Wasserinstallation in schutzbedürftigen Räumen einen maximal zulässigen Schalldruckpegel $L_{AF,max,n}$ von 30 dB(A) nicht überschreiten. Abweichend von der für Installationsgeräuschmessungen in Gebäuden heranzuziehenden DIN EN ISO 10052 [61] wird bei messtechnischer Überprüfung am Bau auf die Messung in der lautesten Raumecke verzichtet (siehe auch DIN 4109-4).

Die Einhaltung dieser Anforderung hängt von der vorhandenen Gesamtsituation ab. Hierzu gehören

- die schalltechnischen Eigenschaften der verwendeten Installationen,
- die Montagebedingungen der Installationen (Ankoppelung an den Baukörper),
- die schalltechnischen Eigenschaften der Installationswände,
- die Körperschallübertragung über flankierende Bauteile,
- die Grundrisssituation.

Die Installationswand kann deshalb nicht isoliert betrachtet werden, wenn es um die Einhaltung der Anforderungen geht. Aus schalltechnischer Sicht liegt das Ziel darin, dass die Installationswand von den Komponenten der Wasserinstallation (Armaturen, Rohrleitungen der Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung, Sanitärobjekte wie Dusch- oder Badewannen, Waschtische, Spülkästen etc.) möglichst wenig angeregt wird und dass möglichst wenig Schallenergie von der Installationswand abgestrahlt und auf benachbarte Bauteile weitergeleitet wird. Die Forderung nach geringer Luftschallabstrahlung betrifft im Wesentlichen die Schallübertragung in die direkt hinter der Installationswand liegenden Räume. Bei einer vernünftigen Grundrissplanung sind diese nach Bild 26 in der Regel allerdings Räume des eigenen Wohnbereichs, so dass dafür die Anforderungen der DIN 4109-1 nicht gelten.

Der in Bild 26 diagonal unter der Installationswand liegende Raum ist dann im Sinne der DIN 4109 der nächste schutzbedürftige Raum im fremden Wohnbereich. Für solche Räume dominiert in der Regel die Körperschallübertragung. Installationsgeräusche in fremden schutzbedürftigen Räumen sind deshalb in erster Linie ein Körperschallproblem. Erfahrungsgemäß kann unter Massivbaubedingungen davon ausgegangen werden, dass die Installationsgeräusche im diagonal unter der Installationswand liegenden Raum etwa 5 dB(A) leiser als im direkt dahinter liegenden Raum sind.

Eine möglichst geringe Anregung der Installationswand kann dadurch erzielt werden, dass die Installationskomponenten von der Wand körperschallentkoppelt werden. Eine wirkungsvolle Körperschallentkopplung kann am ehesten bei der Vorwandinstallation erreicht werden. Die Einmauerung der Installationskomponenten ist dabei wegen unkontrollierter Körperschallbrücken aus schalltechnischer Sicht abzulehnen. Schalltechnisch sinnvoll dagegen ist die in Trockenbauweise ausgeführte Vorwandinstallation. Zur Körperschallentkopplung der Installationskomponenten selbst stehen mit elastischen Rohrschellen und körperschallisolierenden Rohrummantelungen, mit so genannten Schallschutzsets für Bade- und Duschwannen sowie Waschtischen und mit schalltechnisch entkoppelten Sanitärbausteinen inzwischen zahlreiche geeignete Produkte zur Verfügung. Sie sollten insbesondere dann zum Einsatz kommen, wenn erhöhte Anforderungen an den Schallschutz gestellt werden.

Eine möglichst geringe Anregung der Installationswand wird auch dadurch erreicht, dass sie eine möglichst hohe flächenbezogene Masse besitzt und damit der Anregung einen großen Widerstand entgegensetzt.

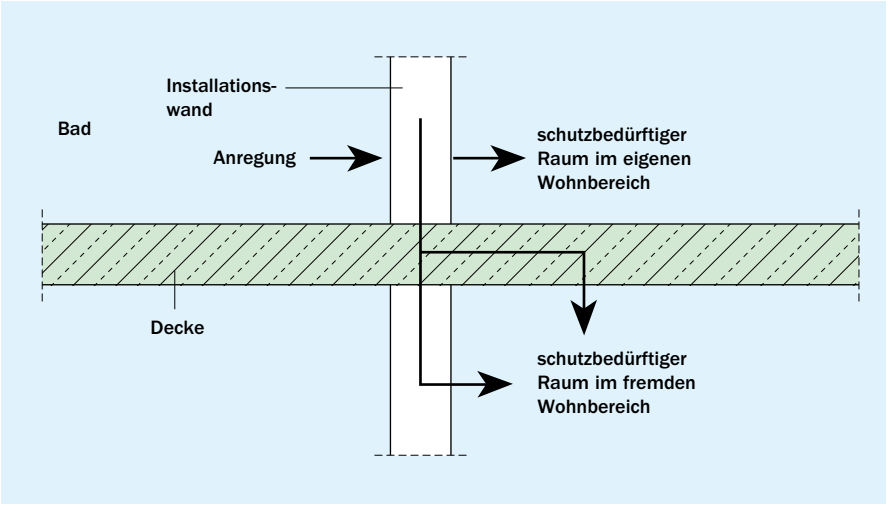


Bild 26 Übertragung von Installationsgeräuschen in benachbarte Räume

Nach DIN 4109-36 muss die für die schalltechnischen Nachweise für Installationsgeräusche herangezogene massive Musterinstallationswand eine flächenbezogene Masse von mindestens 220 kg/m² aufweisen.

Die genannte Forderung wird beispielsweise erfüllt von einer 11,5 cm dicken Wand mit RDK 1,8 und beidseitiger Putzschicht. Die Direktschalldämmung einer solchen Wand beträgt R_w = 50 dB.

Untersuchungen in Installationsprüfständen belegen, dass Mauerwerkswände in Verbindung mit schalltechnisch günstigen Installationen auch mit einer geringeren flächenbezogenen Masse als 220 kg/m² in der Lage sind, die Anforderungen der DIN 4109-1 zu erfüllen. Dies sollte allerdings stets durch aussagekräftige Prüfungen nachgewiesen werden.

INFO

Während die flächenbezogene Masse der Installationswand auf die Übertragung des von Sanitärinstallationen verursachten Körperschalls in den hinter der Installationswand liegenden Raum einen signifikanten Einfluss hat, gilt dies für die Übertragung in den diagonal nach unten gelegenen Raum nicht mehr in demselben Maße. Bei kleiner werdender flächenbezogener Masse wächst nämlich die Stoßstellendämmung zwischen Installationswand und Boden an und wirkt damit in gewisser Weise der stärkeren Anregbarkeit der Wand entgegen. Die in DIN 4109-36 für massive Installationswände vorausgesetzte flächenbezogene Masse von mindestens 220 kg/m² ist für diese Übertragungssituation deshalb nicht zwingend geboten, aber zu empfehlen.

6.1.4 Schallschutz bei Aufzugsanlagen

Geräusche von Aufzugsanlagen können als Luftschall abgestrahlt oder als Körperschall in das Gebäude eingeleitet werden. In schutzbedürftigen Räumen sind deshalb störende Einwirkungen möglich, die den Anforderungen der DIN 4109-1 unterliegen und deren Nichteinhaltung immer wieder zu Beanstandungen und Streitfällen führt.

6.1.4.1 Luftschall

Luftschallabstrahlung von Schaltgeräten vor dem Schacht oder Geräusche von Türbewegungen sind so zu begrenzen, dass sie in benachbarten schutzbedürftigen Räumen keine unzulässigen Störungen hervorrufen. Notwendige Schallschutzmaßnahmen zwischen Aufzugsvorraum und schutzbedürftigem Raum (z.B. die Schalldämmung von Wohnungseingangstüren) können aus den A-bewerteten Schalldruckpegeln von Schalt- und Türgeräuschen abgeleitet werden. Nach VDI 2566 [51] darf der maximal zulässige A-bewertete Schalldruckpegel im gesamten Schacht 75 dB(A) nicht überschreiten. Das ist bei den üblichen schweren Schachtwänden (siehe Abschnitt 6.1.4.8) in der Regel unproblematisch, da deren Luftschalldämmung ausreichend hoch ist.

6.1.4.2 Körperschall

Der in schutzbedürftigen Räumen von Aufzügen verursachte Schalldruckpegel wird in der Regel durch Körperschalleinleitung in das Gebäude verursacht. Maßnahmen gegen Körperschallerzeugung und Körperschallübertragung stehen bei der Lärmminderung deshalb im Vordergrund. Die Körperschalleinleitung erfolgt an den Schnittstellen des Aufzugs mit dem Gebäude.

Während eines Betriebszyklus können unterschiedliche Aufzugskomponenten an der Körperschallerzeugung beteiligt sein. In VDI 4100:2007 heißt es dazu: *„Treten störende Geräusche durch den Betrieb sonstiger haustechnischer Anlagen auf, ist im Regelfall eine mangelhafte Körperschalldämmung zwischen der Anlage und dem Bauwerk die Ursache. Daher ist bei der Planung und Ausführung derartiger Anlagen immer die körperschallgedämmte Aufstellung, Aufhängung oder Befestigung aller körperschallführenden Anlagenteile eine Grundvoraussetzung für ausreichenden Schallschutz neben der Auswahl geräuscharmer Anlagen und Anlagenbauteile.“*

6.1.4.3 Geräuschübertragung

Aus Kostengründen und zur Minimierung des Raumbedarfs werden heute Aufzugsanlagen in Wohngebäuden in der Regel ohne Triebwerksraum ausgeführt. Die Aufzugstechnik muss dann vollständig innerhalb des vorhandenen Aufzugschachtes angeordnet werden. Für die Körperschallübertragung ins Gebäude sind die Schachtwände deshalb die maßgebliche Schnittstelle. Neben der konstruktiven Auslegung der Schachtwände (einschalige oder zweischalige Konstruktion, flächenbezogene Masse) ist ihre Anordnung in Bezug auf schutzbedürftige Räume von entscheidender Bedeutung. Zu berücksichtigen ist darüber hinaus noch die Schallübertragung über die an den Schachtwänden angekoppelten flankierenden Bauteile, insbesondere die Geschossdecken.

Bereits bei der Gebäudeplanung können durch eine schalltechnisch günstige Anordnung des Aufzugsschachts die Voraussetzungen für einen guten Schallschutz geschaffen werden. Schutzbedürftige Räume sollten nicht unmittelbar neben Aufzugsschächten oder Triebwerksräumen angeordnet werden. Dies ist z.B. der Fall, wenn der Schacht ins Treppenhaus integriert ist (siehe Bild 27, Situation a) oder wenn sich Pufferräume ohne Schallschutzanforderungen zwischen schutzbedürftigen Räumen und dem Aufzugsschacht befinden (siehe Bild 27, Situation d). Ungünstiger ist es, wenn Schachtwände unmittelbar an schutzbedürftige Räume angrenzen (siehe Bild 27, Situationen b und c).

6.1.4.4 Lärmminderungsmaßnahmen

Die Geräuschproblematik bei Aufzugsanlagen ist derjenigen bei Installationsgeräuschen (siehe Abschnitt 6.1.3.3) vergleichbar, bei denen erst das Zusammenspiel geeigneter sanitärtechnischer und baukonstruktiver Festlegungen zu einem stimmigen Konzept zur Einhaltung der vorhandenen Anforderungen führt. So genügt es auch hier nicht, Maßnahmen an der Aufzugsanlage oder am Gebäude separat zu planen und auszuführen. Vielmehr müssen die Maßnahmen im Zusammenhang betrachtet werden. Der Schallschutz bei Aufzugsanlagen sollte von Anfang an bei der Planung berücksichtigt werden, da nachträgliche Maßnahmen nahezu unmöglich sind oder mit hohem Aufwand und damit hohen Kosten verbunden sind.

Grundsätzlich sind bei der Planung und Ausführung der erforderlichen Maßnahmen zur Lärmminderung folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Planung der Grundrisse: schalltechnisch günstige Lage des Aufzugschachtes gegenüber schutzbedürftigen Räumen
- Schallschutzmaßnahmen an der Anlagentechnik: geräuscharme Komponenten der Anlage und Entkopplung der körperschallerzeugenden Komponenten gegenüber dem Gebäude
- Bauakustische Maßnahmen: Auslegung der Schachtwände und der daran angekoppelten flankierenden Bauteile

Ein wesentliches Potenzial der möglichen Geräuschminderung kann durch anlagentechnische Maßnahmen in Form von geräuschgünstigen Komponenten und Entkopplungsmaßnahmen sowie einer sorgfältigen Montage ausgeschöpft werden. Untersuchungen in [62] zeigen anhand von gemessenen Schalldruckpegeln von 23 Aufzugsanlagen unterschiedlicher Hersteller in vergleichbarer Baukonstruktion eine Bandbreite von 12 dB. Diese große Streuung wird *„weitestgehend auf die eingesetzten Aufzugsprodukte und deren Ausführungsqualität“* zurückgeführt.

6.1.4.5 Anforderungen

Um in schutzbedürftigen Räumen eines Gebäudes einen guten Schutz vor Geräuschen aus Aufzugsanlagen zu erreichen, werden in verschiedenen Regelwerken Anforderungen an zulässige Schalldruckpegel in Zusammenhang mit der Anordnung von Fahrstuhlschächten und der Ausbildung der Bauteile gestellt.

In DIN 4109-1 werden als Mindestanforderungen maximal zulässige A-bewertete Schalldruckpegel in fremden schutzbedürftigen Räumen, erzeugt von gebäudetechnischen Anlagen, festgelegt. Gemeint ist damit ein $L_{AF,max,n}$, der auch die Geräuschspitzen berücksichtigt, wie sie bei Aufzugsanlagen beispielsweise beim Anfahren, Bremsen oder beim Öffnen und Schließen der Aufzugstüren entstehen können. Nach DIN 4109-1 gilt: $L_{AF,max,n} \leq 30$ dB bei Wohn- und Schlafräumen und $L_{AF,max,n} \leq 35$ dB bei Unterrichts- und Arbeitsräumen.

Für einen erhöhten Schallschutz bei gebäudetechnischen Anlagen wird im DEGA-Schallschutzausweis für Schallschutzklasse C $L_{AF,max,n} \leq 25$ dB und für Schallschutzklassen B, A und A* $L_{AF,max,n} \leq 20$ dB gefordert.

Weitere Empfehlungen zu maximalen A-bewerteten Schalldruckpegeln gebäudetechnischer Anlagen für erhöhte Komfortstandards enthält VDI 4100:2007 und VDI 4100:2012 (Tafel 8).

6.1.4.6 VDI-Richtlinie 2566

Die VDI-Richtlinie 2566 [51] beschäftigt sich mit den von Aufzugsanlagen ausgehenden Geräuschen in Gebäuden. Sie gilt für Aufzugsanlagen mit Triebwerksraum (Blatt 1) und ohne Triebwerksraum (Blatt 2). Da in Wohngebäuden überwiegend auf den Triebwerksraum verzichtet wird, steht Blatt 2 im Vordergrund. Behandelt werden sowohl aufzugstechnische als auch bauseitige Aspekte des Schallschutzes:

- Anhaltswerte für die Geräuschemission im Schacht (Luft- und Körperschallpegel), vor Schachttüren und im Fahrkorb,
- Empfehlungen für den baulichen Schallschutz (Luft- und Körperschalldämmung) zur Einhaltung der maximal zulässigen Geräuschimmissionswerte in schutzbedürftigen Räumen,
- Auslegungshilfen für die körperschalldämmende Aufstellung von Betriebsmitteln und
- Hinweise für die Messung der Geräusche im Aufzugsschacht, im Fahrkorb, vor Schachttüren und in Aufenthaltsräumen sowie zum baulichen Schallschutz an ausgeführten Anlagen und Gebäuden.

Da bei der bauakustisch notwendigen Auslegung nach wie vor große Unsicherheiten herrschen, beschränkt sich diese Richtlinie bei den Maßnahmen zum baulichen Schallschutz auf allgemeine Planungsgrundsätze und Vorschläge für die Ausführung (siehe Abschnitt 6.1.4.8).

6.1.4.7 Nachweise

Rechnerische Nachweise

Es existieren derzeit noch keine genormten rechnerischen Prognoseverfahren, mit denen die Einhaltung der Geräusche von Aufzugsanlagen sichergestellt werden kann. Es können ersatzweise, wie in [62] vorgeschlagen, die Prognoseverfahren für die Luft- und Trittschallübertragung aus EN 12354 bzw. DIN 4109-2 sinngemäß herangezogen und mit messtechnisch ermittelten Daten bestimmter Aufzuganlagen kombiniert werden, so dass von bekannten Bausituationen auf Verhältnisse in einer anderen Bausituation umgerechnet werden kann.

Messtechnische Nachweise

Die Messung der Anlagengeräusche im fertigen, eingebauten Zustand erfolgt (im Sinne einer Güteprüfung) mit den nach DIN 4109-4 vorgesehenen Messverfahren der DIN EN ISO 10052 [61]. Die Messungen sind bei einem charakteristischen Arbeitszyklus (auf und ab) durchzuführen. Nach DIN 4109-4 ist der lauteste Betriebszustand zur Beurteilung heranzuziehen.

6.1.4.8 Bauliche Maßnahmen

Im Wohnungsbau werden in der Regel Aufzugsanlagen ohne Triebwerksraum ausgeführt. Die wesentliche bauakustische Festlegung betrifft in diesem Fall die flächenbezogene Masse der Schachtwand und bei Bedarf die flankierenden Bauteile. Für unterschiedliche bauliche Gegebenheiten nennt die VDI 2566-2 die erforderlichen flächenbezogenen Massen der trennenden bzw. flankierenden Bauteile, die eingehalten werden müssen, um den maximal zulässigen A-bewerteten Schalldruckpegel $L_{AFmax,n} = 30$ dB einhalten zu können. Mit Bezug auf diese Vorgaben der VDI 2566 zeigt Bild 27 in Verbindung mit Tafel 22 Lösungsvarianten mit Kalksandstein-Mauerwerk.

INFO

Wie die Beispiele zeigen, können auch Schachtwände für Aufzugsanlagen kostengünstig aus Kalksandstein ausgeführt und damit die Zielwerte der VDI 2566 erreicht werden. Ein Baustoffwechsel innerhalb eines Kalksandstein-Gebäudes ist somit nicht erforderlich. Dadurch kann ein reibungsloser Bauablauf gewährleistet werden.

Es kann eine ein- oder zweischalige Schachtkonstruktion vorgesehen werden. Einschalige Konstruktionen sind in der Regel aus Gründen der Bauwerksstabilität vorzuziehen. Zweischalige Konstruktionen sind frei von Schallbrücken auszuführen. Eine komplett schallbrückenfreie Ausführung ist jedoch schwer sicherzustellen und bedarf erhöhter Sorgfalt.

In der Baupraxis wird immer wieder die Frage gestellt, ob die von der VDI 2566 geforderten Vorgaben für die flächenbezogenen Massen tatsächlich eingehalten werden müssen. In [62] heißt es zu diesen Vorgaben: *„Deren Anforderungen an die Baukonstruktion stehen jedoch bei Fachleuten in der Kritik, da sie in der baupraktischen Anwendung in Teilen überdimensioniert erscheinen."* Zu Recht wird an derselben Stelle aber auch darauf hingewiesen, dass *„eine fundierte Vorgehensweise für eine belegbare systematische Überprüfung und Bewertung der baulichen Ausführung des Aufzugsschachtes"* bislang fehlt. Anhand von rechnerischen Untersuchungen wird weiterhin gefolgert: *„Der Einfluss der flankierenden Bauteile auf den resultierenden Schalldruckpegel im Raum wird bislang überschätzt. Die Schachtwanddicke hat vergleichsweise geringen Einfluss auf die resultierenden Schalldruckpegel."*

Solange für die Geräusche von Aufzugsanlagen noch keine verlässlichen Prognoseverfahren festgelegt sind, sollten Abweichungen von den Vorgaben der VDI 2566 nur von erfahrenen Planern vorgenommen werden. Es bleibt abzuwarten, ob die in Überarbeitung befindliche VDI 2566 hier Änderungen vorsieht.

6.2 Zweischalige Haustrennwände

6.2.1 Hinweise zur erforderlichen Schalldämmung bei Doppel- und Reihenhäusern

Die Erwartungen der Bauherren an den Schallschutz von Doppel- und Reihenhäusern sind deutlich höher als bei Wohnungen in Geschosshäusern. Die DIN 4109:1989 versuchte dem dadurch Rechnung zu tragen, dass sie bei den baurechtlichen Anforderungen für die Luftschalldämmung der Haustrennwand mit erf. R'_w = 57 dB einen höheren Schallschutz vorsah als bei Geschosshäusern, bei denen für die Wohnungstrennwand erf. R'_w = 53 dB gilt. Das reicht in aller Regel nicht aus, denn die Erfahrungen zeigen, dass dieser Wert für Doppel- und Reihenhäuser in ruhiger Wohnlage bei weitem nicht als zufriedenstellend für störungsfreies Wohnen empfunden wird. Die Bewohner gehobener Wohngegenden erwarten einen wesentlich höheren Schallschutz. Somit kann gefolgert werden, dass bei Doppel- und Reihenhäusern üblicherweise ein deutlich über diesem Wert liegender Schallschutz geplant werden sollte. Dies wird von der Rechtsprechung der letzten Jahre bestätigt.

Im DEGA-Memorandum BR 0101 [37] wird die zweischalige Haustrennwand als die den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechende Konstruktion bezeichnet, die bei unterkellerten Häusern als Schalldämm-Maß mindestens 62 dB und bei nicht unterkellerten Häusern mindestens 60 dB erbringen muss.

Die DIN 4109-1 hat sich dieser Ansicht weitgehend angenähert, indem sie für Haustrennwände zu Aufenthaltsräumen, die im untersten Geschoss (erdberührt oder nicht) eines Gebäudes gelegen sind, als erforderliche Schalldämmung $R'_w \geq 59$ dB und für Haustrennwände zu Aufenthaltsräumen, unter denen mindestens ein Geschoss (erdberührt oder nicht) des Gebäudes vorhanden ist, $R'_w \geq 62$ dB festgelegt hat. Selbst diese Erhöhung der Anforderungen schafft den genannten Konflikt nicht wirklich aus der Welt. Gemessen an den Erwartungen der Bewohner sollte ein erkennbar über diesen Mindestanforderungen liegender Schallschutz vorgesehen werden.

Die VDI 4100:2012 mit ihren drei Schallschutzstufen für den erhöhten Schallschutz trägt diesem Anspruch zwar Rechnung, ist aber bei SST III zurzeit noch nicht ausreichend mit Messungen von Konstruktionen belegt. Eine Zusammenstellung der Anforderungswerte für die Luftschalldämmung in DIN 4109 und VDI 4100 findet sich in Tafel 8.

Als Planungsziel sollte bei unterkellerten Doppel- und Reihenhäusern ein erhöhter Schallschutz mit R'_w = 67 dB angestrebt werden. Hierbei sind jedoch konstruktive Randbedingungen zu beachten, die hier noch näher betrachtet werden.

Ausführungen zur akustischen Bemessung der zweischaligen Haustrennwand finden sich in Abschnitt 5.2.4.

6.2.2 Gestaltung der Trennfuge

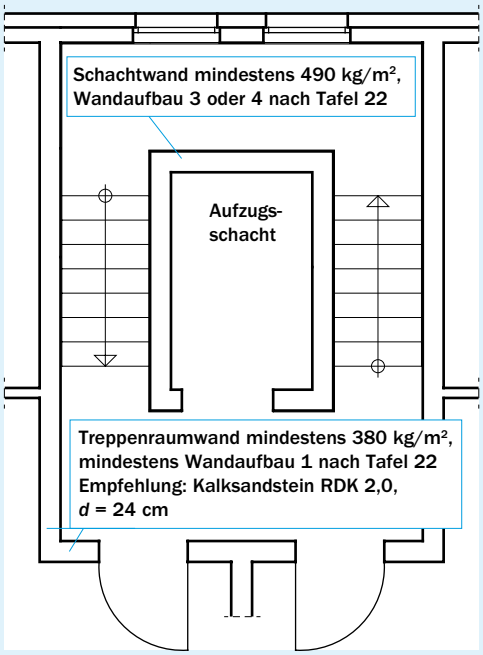
Nach DIN 4109-2 wird für die Berechnung des Schalldämm-Maßes der zweischaligen Haustrennwand vorausgesetzt, dass die Trennfuge von der Oberkante des Fundaments bis zur Dachhaut lückenlos durchgeführt wird (Bilder 28 bis 30).

Für die Fugengestaltung sind die in DIN 4109-32 formulierten Grundsätze zu berücksichtigen, die in dieser Form schon in Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989 vorausgesetzt wurden.

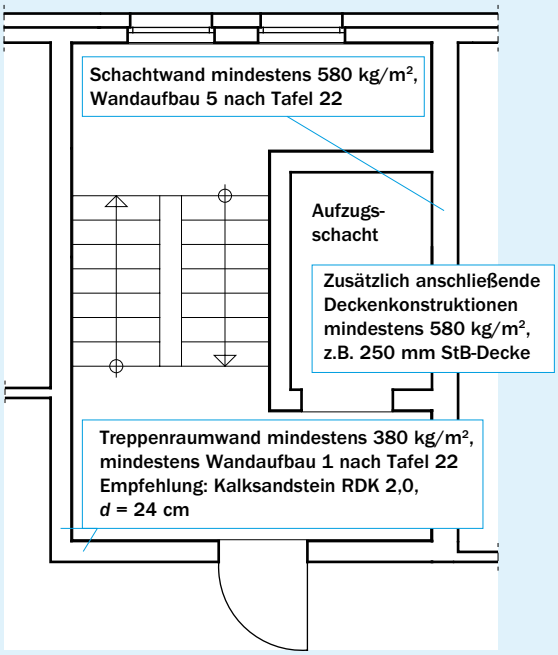
Das Füllen des Schalenzwischenraums mit Mineralwolledämmplatten nach DIN EN 13162, Anwendungskurzzeichen WTH nach DIN 4108-10 ist aus zwei Gründen wichtig:

- Mörtelbrücken werden vermieden.
- Mit Mineralwolledämmplatten ausgefüllte zweischalige Haustrennwände weisen in der Praxis eine höhere Schalldämmung auf als vergleichbare Wände ohne Füllung.

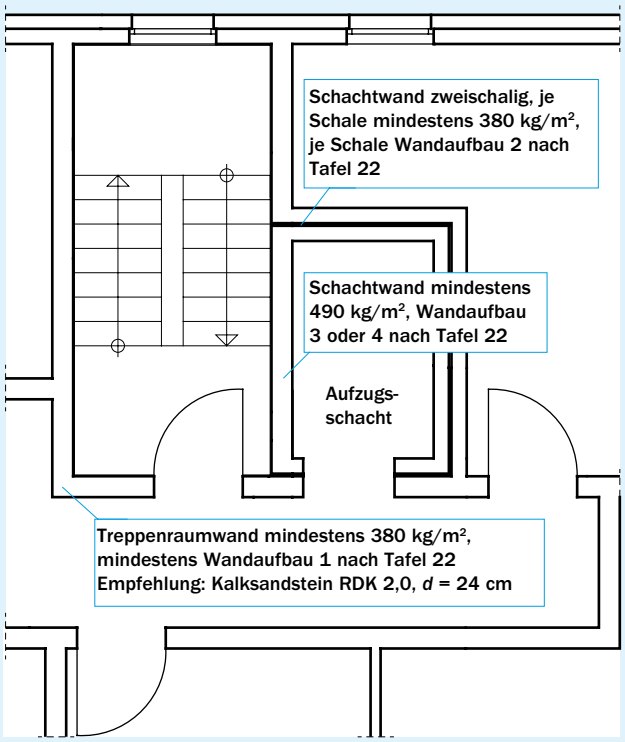
Die Füllung des Schalenzwischenraums mit steifen Dämmstoffen (z.B. nicht elastifizierte Polystyrol-Hartschaumplatten) führt zu einer starren Koppelung der Haustrennwände, so dass der Schallschutz deutlich verschlechtert wird. Für solche Materialien kann der Nachweis nicht geführt werden.



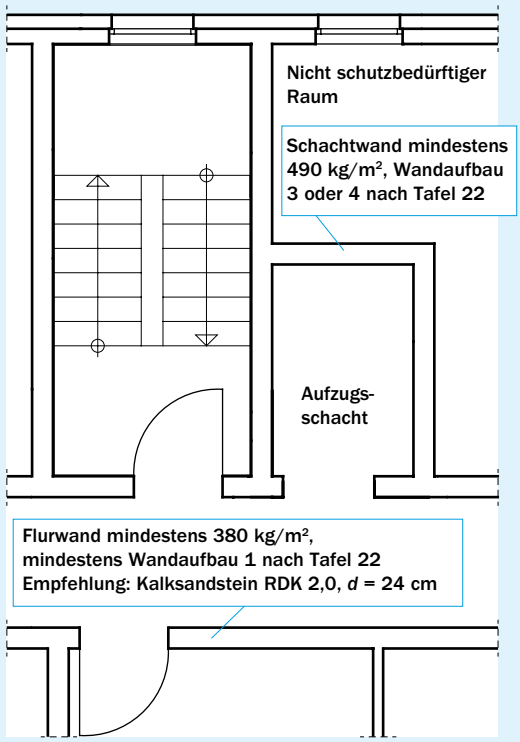
a) Bausituation A nach VDI 2566 – Aufzugsschacht ins Treppenhaus integriert



b) Bausituation B1 nach VDI 2566 – Aufzugsschacht grenzt an schutzbedürftige Räume



c) Bausituation B2 nach VDI 2566 – Aufzugsschacht grenzt an schutzbedürftige Räume – Ausführung mit schallbrückenfreier Fuge



d) Bausituation C nach VDI 2566 – zwischen schutzbedürftigen Räumen und dem Aufzugsschacht befinden sich nicht schutzbedürftige Räume

Bild 27 Bausituationen von Aufzugsschächten

Tafel 22 **Wandkonstruktionen zur Erfüllung der Anforderungen nach VDI 2566:2004-05**

Wand-aufbau	Bauteilbeschreibung		Flächenbezogene Masse m' [kg/m²]
	Rohdichteklasse RDK [–]	Wanddicke d [cm]	
1	≥ 1,8	≥ 24	> 380
2	≥ 2,0	≥ 20	> 380
3	≥ 1,8	≥ 30	> 490
4	≥ 2,2	≥ 24	> 490
5[1)]	≥ 2,0	≥ 30	> 580

[1)] Mit einseitig 10 mm Putz

INFO

Um eine möglichst gute Schalldämmung zu erzielen und die Sicherheit der Ausführung zu verbessern, wird empfohlen, die Trennfuge mindestens 4 cm dick auszuführen und in den Hohlraum vollflächig Mineralwolledämmplatten nach DIN EN 13162, Anwendungskurzzeichen WTH nach DIN 4108-10, Dicke 40/35 mm, einzubringen.

Die Erhöhung des Schalenabstandes wirkt sich günstig auf den Schallschutz aus. Dies gilt nicht bei üblichen Schalenabständen im untersten Geschoss, wenn die Fußpunkte der Schalen (z.B. durch gemeinsame Bodenplatten und/oder Fundamente) gekoppelt sind (siehe hierzu auch Abschnitt 5.2.4.3). Hier wirkt sich die Erhöhung der flächenbezogenen Masse der Schalen deutlicher aus als eine Erhöhung des Schalenabstandes.

6.2.3 Unterkellerte und nicht unterkellerte Doppel- und Reihenhäuser

Für die Einhaltung der Anforderungen ist es entscheidend, ob (wie noch in Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989) von unterkellerten Gebäuden ausgegangen wird, bei denen im Kellergeschoss keine schutzbedürftigen Räume mit Anforderungen an den Schallschutz liegen, oder ob sich schutzbedürftige Räume direkt über Fundament und Bodenplatte befinden. In den meisten Fällen wird das Fundament als gemeinsames Fundament ausgebildet (Bild 30), möglicherweise noch mit durchgehender Bodenplatte. Damit ergibt sich eine starke Körperschallbrücke zwischen den beiden Schalen.

Bild 31 zeigt, dass für den über die Wandschalen und das gemeinsame Fundament gehenden Übertragungsweg für die Räume im Erdgeschoss zusätzlich zur Stoßstellendämmung am Fundament noch zweimal die Stoßstellendämmung zwischen Wandschale und Boden zu berücksichtigen ist. Die Schallübertragung auf diesem Weg wird dadurch gegenüber dem direkten Übertragungsweg unmittelbar über den Hohlraum so klein, dass sie in der Gesamtbilanz nicht berücksichtigt werden muss. Für die im Untergeschoss liegenden Räume dagegen entfallen diese zusätzlichen Stoßstellen, so dass die starke Körperschallbrücke in Form des gemeinsamen Fundaments voll zum Tragen kommt. Dies ist dann unbedenklich, wenn im Fundamentbereich keine schutzbedürftigen Räume an die Haustrennwand angrenzen (was im UG meistens erfüllt ist). Eine ähnlich schädliche Wirkung als Körperschallbrücke ergibt sich übrigens, wenn die zweischalige Haustrennwand im Kellergeschoss nur einschalig ausgeführt wird. Die dadurch verursachte starke Kopplung beider Wandschalen macht sich im Erdgeschoss durch eine drastische Minderung der Schalldämmung bemerkbar.

Eine vergleichbare Situation findet man bei solchen Doppel- und Reihenhäusern, die auf die Unterkellerung verzichten. Dies ist mittlerweile zu einer häufigen Ausführungsvariante geworden. Das gemeinsame (bzw. unvollständig getrennte) Fundament liegt nun im Erdgeschoss-Bereich. Damit wird das Schallbrückenproblem in den Bereich der schutzbedürftigen Räume verlagert (Bild 32). Eine Abschätzung der hier vorliegenden Körperschallübertragung zeigt, dass diese nun gegenüber der Direktübertragung dominiert.

Prinzipiell kommen für den Fundamentbereich die in Tafel 14 dargestellten konstruktiven Lösungen in Frage. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der Körperschallübertragung, was in DIN 4109-2 in den unterschiedlichen Werten für den Zweischaligkeitszuschlag berücksichtigt wird.

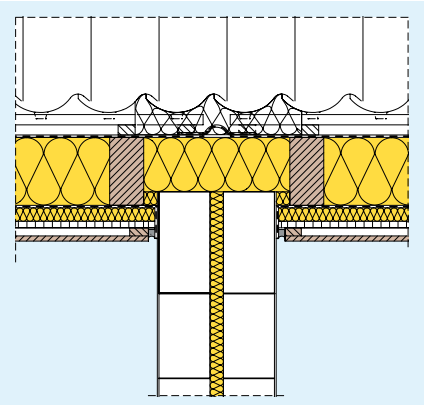


Bild 28 Dachanschluss bei einer zweischaligen Haustrennwand ohne durchlaufende Dachlatten (Brandschutz der LBO beachten)

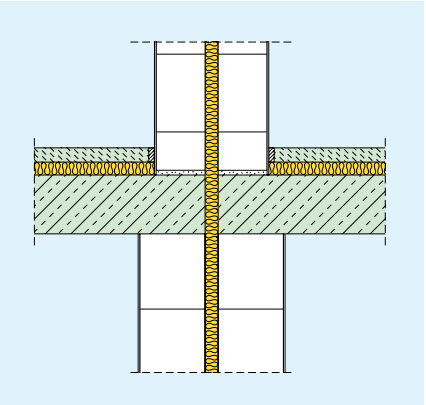


Bild 29 Zwischendeckenanschluss einer zweischaligen Haustrennwand

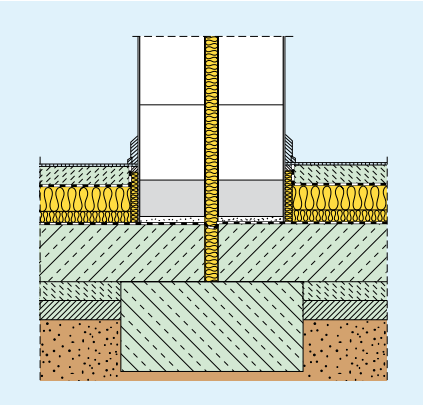


Bild 30 Fundamentanschluss einer zweischaligen Haustrennwand

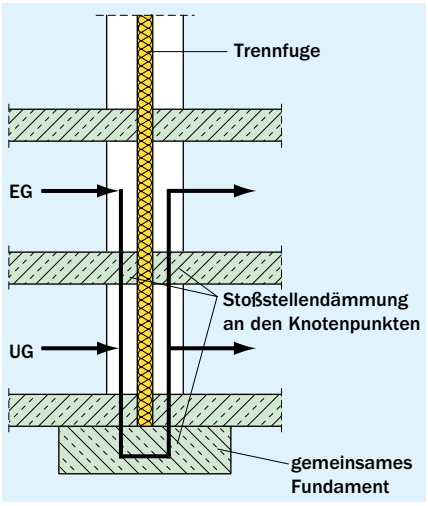


Bild 31 Flankierende Übertragung über den Fundamentbereich

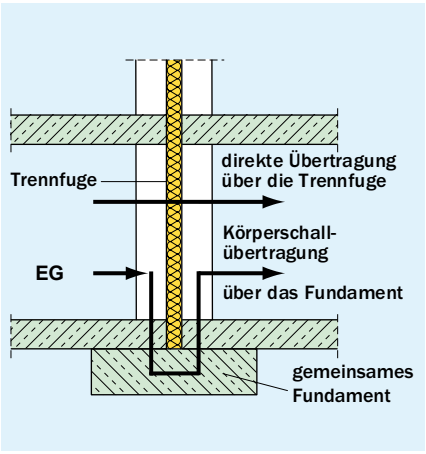


Bild 32 Direkte und flankierende Übertragung über eine zweischalige Haustrennwand für schutzbedürftigen Raum über der Bodenplatte

Um der verstärkten Übertragung im Fundamentbereich entgegen zu wirken, können bei nicht unterkellerten Gebäuden einige Maßnahmen ergriffen werden, die sich positiv auf die erreichbare Schalldämmung auswirken:

- Haustrennwand mit hoher flächenbezogener Masse der Wandschalen (Kalksandstein, z.B. mit d = 24 cm und RDK ≥ 1,8)
- Flankierende Wände (Innen- und Außenwände) ebenfalls mit möglichst hoher flächenbezogener Masse (Kalksandstein mit d = 17,5 cm und RDK ≥ 1,8)
- Nicht tragende Innenwände, die auf der Bodenplatte stehen, ebenfalls schwer (z.B. 11,5 cm und RDK ≥ 1,8)
- Auf einen schwimmenden Estrich auf der Bodenplatte kann aus schalltechnischen Gründen auf keinen Fall verzichtet werden.
- Sollten es die aktuellen Verhältnisse erlauben, kann durch eine geeignete Grundrissanordnung auch dafür gesorgt werden, dass schutzbedürftige Räume nicht unmittelbar an die Haustrennwand angrenzen.

Für eine getrennte Bodenplatte wurde in Tafel 14 sicherheitshalber nur derselbe Zweischaligkeitszuschlag vorgesehen wie für eine gemeinsame Bodenplatte. Trotz dieser vorsichtigen Bemessung können in praktischen Fällen deutlich bessere Werte erreicht werden, so dass die Trennung der Bodenplatte eine schalltechnisch günstige Option darstellt.

6.2.4 Ausführungsbeispiele zweischaliger Haustrennwände

Wie ein erhöhter Schallschutz von R'_w = 67 dB realisiert werden kann, zeigt Tafel 23. Bei der ersten Ausführung mit zweimal 20 cm Kalksandstein, RDK 2,0 und beidseitigem Dünnlagenputz wird vorausgesetzt, dass sich schutzbedürftige Räume direkt über der Bodenplatte befinden, für die die Anforderungen ebenfalls erfüllt sein sollen (z.B. Erdgeschoss eines nicht unterkellerten Gebäudes). Die Bodenplatte ist in diesem Fall getrennt auszuführen, die Trennfuge (Füllung Mineralwolledämmplatten nach DIN EN 13162, Anwendungskurzzeichen WTH nach DIN 4108-10) geht bis zum Fundament durch (Fall 2 in Tafel 14), und für die Trennfuge wird eine Breite von mindestens 4 cm vorgesehen. Die Ausführungsdetails dieser Lösung [63] sind in Bild 33 dargestellt. Das zweite Beispiel in Tafel 23 mit zweimal 15 cm dicken Wandschalen, RDK 1,8 und einer Fugenbreite von mindestens 3 cm kann angewendet werden, wenn sich direkt über der Bodenplatte keine schutzbedürftigen Räume mit Anforderungen befinden (unterkellertes Gebäude). Hier kann nach Tafel 14 der Zuschlag für Zweischaligkeit mit 12 dB angesetzt werden. Diese Lösung entspricht auch der im ersten Beispiel für das Obergeschoss gewählten Ausführung, da hier ein Einfluss von Fundament und Bodenplatte nicht mehr besteht (Zweischaligkeitszuschlag deshalb 12 dB). Die im Erdgeschoss erforderliche Trennfugenbreite von 4 cm wurde im OG beibehalten.

Für unterschiedliche zweischalige Haustrennwände können nach Tafel 24 die bewerteten Schalldämm-Maße R'_w in Abhängigkeit vom Zweischaligkeitszuschlag $\Delta R_{w,Tr}$ ermittelt werden. Diese Werte gelten für Kalksandstein-Mauerwerk in Normalmauer- und Dünnbettmörtel mit einem Schalenabstand von mindestens 3 cm. Eine Erhöhung des Schalenabstandes wirkt sich günstig auf das Schalldämm-Maß aus. Die jeweils anzusetzenden Werte für $\Delta R_{w,Tr}$ können Tafel 14 entnommen werden. Nach Abschnitt 5.2.4.3 und Gleichung (5.7) wäre in Tafel 23 noch der Korrekturwert K zur Berücksichtigung der flankierenden Übertragung über massive flankierende Bauteile zu berücksichtigen, da er im Nachweisverfahren vorgesehen ist. Dieser wird hier (und genauso in der vorhergehenden Tafel 23) zur Vereinfachung mit K = 0 dB angesetzt. Dies entspricht den Verhältnissen in üblicher KS-Bauweise, wenn die einzelnen Schalen der Haustrennwand eine flächenbezogene Masse bis etwa 300 kg/m² haben. Bei mehr als 300 kg/m² wäre bei üblicher KS-Bauweise der Korrekturwert mit 1 dB anzusetzen. Im konkreten Planungsfall sollte mit den genannten Methoden, wie sie auch im KS-Schallschutzrechner implementiert sind, die Anwendung des Korrekturwerts überprüft werden.

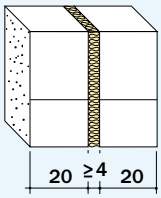
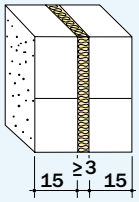
Eine Zusammenstellung von Beispiellösungen für bewertete Schalldämm-Maße R'_w zweischaliger KS-Haustrennwände in Abhängigkeit vom Zweischaligkeitszuschlag $\Delta R_{w,Tr}$ findet sich in Tafel 24.

6.2.5 Flankierende Übertragung im Fundament- und Dachbereich

Fundamentbereich

Zu Recht haben Planung und Ausführung der Trennfuge eine herausragende Bedeutung für den Schallschutz zweischaliger Haustrennwände. Dabei wird allerdings oft vergessen, dass trotz Trennfuge auch die flankierende Schallübertragung bei

Tafel 23 Ausführungsbeispiele zweischaliger Haustrennwände für einen erhöhten Schallschutz R'_w = 67 dB

Haustrennwand zwischen Doppel-/Reihenhäusern Voraussetzungen:	Lösung mit Kalksandstein		
	Wandaufbau [3] [cm]	Steinrohdichteklasse (RDK)	R'_w [dB]
■ Ohne Untergeschoss oder mit hochwertig genutztem Untergeschoss (*mit* Anforderungen an den Schallschutz im Untergeschoss) ■ Getrennte Bodenplatte ■ Trennfuge ≥ 4 cm und mit Mineralfaserplatten Typ WTH gefüllt ■ Trennfuge durchgehend bis auf das Fundament		≥ 2,0	67 [1]
■ Mit Untergeschoss (*ohne* Anforderungen an den Schallschutz im Untergeschoss) ■ Trennfuge ≥ 3 cm ■ Trennfuge durchgehend bis auf das Fundament		≥ 1,8	67 [2]

Schwimmende Estriche werden bei allen Vorschlägen vorausgesetzt, Trennfugen sollten generell mit 4 cm Dicke und einer geeigneten Mineralfaserplatte ausgeführt werden.
Flankierende Bauteile mit $m'_{L,M}$ ~ 300 kg/m²
Die Beispielkonstruktionen sind – soweit nicht anders beschrieben – mit beidseitig Dünnlagenputz (mittlere Dicke je Seite: 5 mm) oder mit Stoßfugenvermörtelung auszuführen.
[1] Ausführung nach [63], siehe Bild 33
[2] Zuschlag zur Zweischaligkeit angesetzt mit 12 dB, siehe Tafel 14.

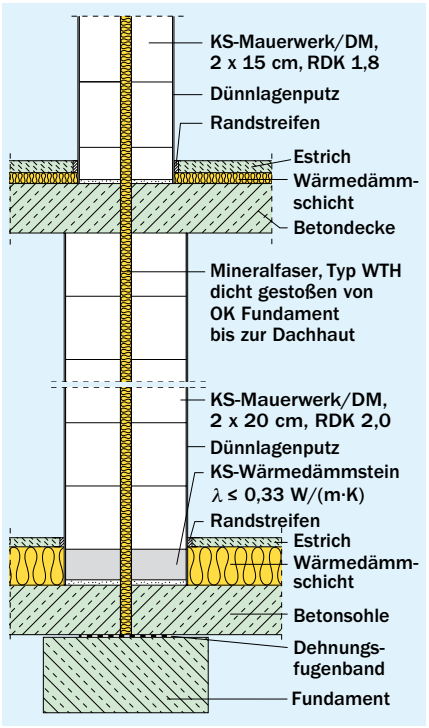


Bild 33 Beispiel nach [63] für ein nicht unterkellertes Gebäude mit getrennter Bodenplatte und Schallschutzanforderungen 67 dB auch im untersten Geschoss

Doppel- und Reihenhäusern eine Rolle spielen kann. Bild 28 weist auf die flankierende Übertragung im Dach- und Fundamentbereich hin. Aber auch der Einfluss von Außen- und Innenwänden auf die Gesamtschalldämmung kann nicht völlig vernachlässigt werden. Zwar gibt es bei richtiger Trennfugengestaltung (außer bei der „Weißen Wanne“) keine durchlaufenden Wände, jedoch sind die an die Wandschalen angekoppelten Außen- und Innenwände in der Lage, der zweischaligen Konstruktion zusätzliche Schallenergie zuzuführen bzw. auf der anderen Seite zusätzliche Schallenergie abzustrahlen. Untersuchungen in ausgeführten Doppel- und Reihenhäusern zeigen, dass zu leichte massive Flankenwände durchaus zu einer Erhöhung der Schallübertragung führen. Die dafür nach DIN 4109-2 anzusetzende Korrektur wird in Abschnitt 5.2.4.3 behandelt.

Dachbereich

Oft wird festgestellt, dass die Schalldämmung zwischen Doppel- und Reihenhäusern im Dachgeschoss deutlich schlechter ausfällt als in den darunter liegenden Stockwerken. Ursache ist hier die flankierende Übertragung über die Dachkonstruktion. Insbesondere wenn der Dachgeschossausbau in Eigenleistung erfolgt, sorgen Fehler beim Dachaufbau und den Anschlussdetails im Trennwandbereich zu einer verstärkten Schalllängsleitung. Minderungen der Schalldämmung im Dachgeschoss von mehr als 10 dB sind bei falsch geplanter bzw. ausgeführter Dachkonstruktion keine Seltenheit.

Wichtig ist eine schalltechnisch dichte innenseitige Verkleidung der Dachkonstruktion, z.B. durch Gipskartonplatten, nicht aber durch Nut- und Federschalung, die keine ausreichende schalltechnische Dichtigkeit herstellt. Die Fugen zu den Trennwandschalen sind akustisch dicht auszuführen. Eine ausreichend starke Unterbrechung der Längsleitung wird nur dann erreicht, wenn die Trennwand die Dachkonstruktion mindestens 10 cm tief durchdringt. Starken Einfluss auf die flankierende Übertragung hat die Hohlraumdämpfung in Dachaufbau. Vorteilhaft ist eine Dämmung aus Mineralwolle zwischen den Sparren (je mehr desto besser). Ungünstig sind Dämmungen aus Hartschaumplatten, da diese zur Hohlraumbedämpfung nichts beitragen.

Ungünstig sind, falls keine besonderen Vorkehrungen gegenüber einer erhöhten Schalllängsleitung getroffen werden, des Weiteren aufsparrengedämmte Dachkonstruktionen mit einer Wärmedämmung aus Hartschaumplatten. Hier ist zumindest eine Unterbrechung der Hartschaumplatten im Trennwandbereich erforderlich. Weitere Hinweise zur schalltechnisch richtigen Gestaltung im Dachbereich mit entsprechenden Ausführungsdetails finden sich z.B. in [64].

6.2.6 Fehlervermeidung bei Ausführung der Haustrennwand

Die schalltechnische Funktionsfähigkeit der Trennfuge erlaubt keinerlei Körperschallbrücken. Hier werden in der Baupraxis die meisten Fehler gemacht. Die Fuge muss von Oberkante Fundament bis zum Dach durchgehend und frei von Körperschallbrücken durchgeführt werden. Auf die Problematik im Fundament- und Dachbereich wurde bereits zuvor eingegangen.

Besondere Sorgfalt erfordert das Betonieren der Stahlbetondecken, damit dort keine Körperschallbrücken entstehen. Rohrleitungen dürfen nicht durchgeführt werden.

Zu vermeiden ist auch eine Überbrückung der Trennfuge durch Putzschichten auf den Außenwänden. Wärmedämm-Verbundsysteme müssen ebenfalls im Bereich der Trennfuge unterbrochen werden. Geeignete Fugenabdichtungen (Fugenprofile, Dichtbänder) an der Gebäudeaußenseite sind vorzusehen.

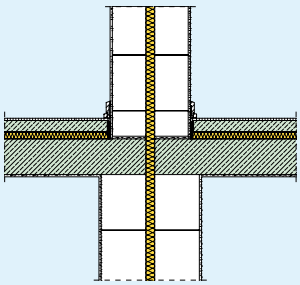
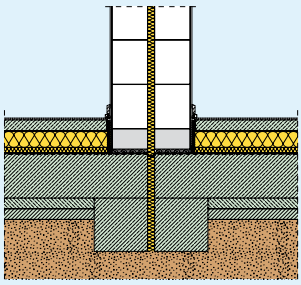
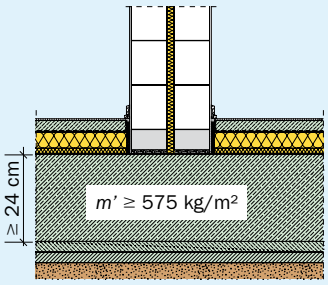
Dämmplatten im Fugenhohlraum vermeiden bei vollflächiger Verlegung Körperschallbrücken durch Mörtelreste, Bauschutt und dergleichen. Sie dürfen allerdings nicht zu steif sein, damit es nicht zu einer schädlichen Kopplung der beiden Wandschalen kommt. Nach DIN 4109-32 sind Mineralwolledämmplatten nach DIN EN 13162, Anwendungskurzzeichen WTH nach DIN 4108-10, vorzusehen. Früher häufig verwendete bituminierte Weichfaserdämmplatten sind zu steif. Dasselbe gilt auch für nicht elastifizierte Hartschaumplatten.

Größere Fugenbreiten als die in DIN 4109-32 mindestens vorgeschriebenen 30 mm sind nicht nur vom schalltechnischen Verhalten her, sondern auch zur Vermeidung von Körperschallbrücken vorteilhaft. Selbst bei Fugen mit mehr als 30 mm Breite darf zur Vermeidung von Körperschallbrücken nicht auf das Einlegen geeigneter Dämmplatten verzichtet werden.

INFO

- **Trennfuge muss vom Fundament bis zum Dach durchlaufen, ohne Körperschallbrücken.**
- **Trennfuge mind. 30 mm, besser 40 mm dick mit Mineralwolledämmplatten nach DIN EN 13162, Anwendungskurzzeichen WTH nach DIN 4108-10, ausführen.**
- **Im Fundamentbereich (unterstes Geschoss) ggf. schwerere KS-Wände als in den oberen Geschossen anordnen.**
- **Randabschalungen für Stahlbetondecken verwenden, keine Rohrleitungen durch Haustrennwände führen.**
- **Im Dachbereich auf ausreichende (schalltechnische) Dichtigkeit achten.**
- **Die Trennwand muss mindestens 10 cm tief in die Dachkonstruktion einbinden.**
- **Durchlaufende Installationskanäle bei Reihenhäusern vermeiden.**

Tafel 24 **Beispiellösungen für bewertete Schalldämm-Maße R'_w zweischaliger KS-Haustrennwände in Abhängigkeit vom Zweischaligkeitszuschlag $\Delta R_{w,Tr}$; Werte für $\Delta R_{w,Tr}$ sind nach Tafel 14 auf ganze dB abgerundet.**

Wandaufbau (Beispiele) Mauerwerk nach DIN EN 1996 mit Normal- oder Dünnbettmörtel, beidseitig verputzt (2 x 10 mm Putz ≙ je Seite 10 kg/m²), Trennfuge ≥ 3 cm	**RDK**	**Flächenbezogene Masse [kg/m²]**	**R'_w [dB]**		
			Inkl. $\Delta R_{w,Tr}$ = + 12 dB[2)3)] 	Inkl. $\Delta R_{w,Tr}$ = + 9 dB[3)] z.B. Erdgeschoss mit getrennten Fundamenten 	Inkl. $\Delta R_{w,Tr}$ = + 6 dB z.B. Erdgeschoss mit gemeinsamer Bodenplatte 
2 x 11,5 cm	**1,8**	≥ 410	65	62	59
2 x 11,5 cm	**2,0**	≥ 450	66	63	60
2 x 15 cm[1)]	**1,8**	≥ 490	67	64	61
2 x 15 cm[1)]	**2,0**	≥ 530	68	65	62
2 x 17,5 cm[1)]	**1,8**	≥ 580	69	66	63
2 x 17,5 cm[1)]	**2,0**	≥ 630	70	67	64
2 x 20 cm[1)]	**1,8**	≥ 680	71	68	65
2 x 20 cm[1)]	**2,0**	≥ 740	72	69	66
2 x 24 cm[1)]	**1,8**	≥ 810	73	70	67[4)]

Flankierende Bauteile mit $m'_{L,M}$ ~ 300 kg/m²
Die regionalen Lieferprogramme sind zu beachten.
[1)] Bereits mit beidseitig Dünnlagenputz (2 x 5 mm)
[2)] Bei durchgehenden Keller-Außenwänden (m' ≥ 575 kg/m²) gilt: a) im Kellergeschoss: $\Delta R_{w,Tr}$ = +3 dB b) im Erdgeschoss: $\Delta R_{w,Tr}$ = +9 dB c) in den Obergeschossen: $\Delta R_{w,Tr}$ = +12 dB
[3)] Bei einem Schalenabstand ≥ 50 mm und Ausfüllung des Schalenzwischenraums mit Mineralwolledämmplatten (Typ WTH gemäß 4108-10) darf der Zuschlagswert $R_{w,Tr}$ um 2 dB erhöht werden.
[4)] Alternativ nach [63]: 2 x 20 cm mit RDK 2,0 und beidseitigem Dünnlagenputz (2 x 5 mm) sowie Trennfuge ≥ 4 cm, gefüllt mit Mineralfaserplatten, Typ WTH, Bodenplatte getrennt auf gemeinsamem Fundament.

7. Außenlärm

7.1 Anforderungen

Zum Schutz gegen Außenlärm werden in DIN 4109-1 Anforderungen an die Außenbauteile von Aufenthaltsräumen gestellt. Dazu soll deren Schalldämmung so hoch sein, dass der eindringende Lärm einen zumutbaren Schallpegel nicht überschreitet. Falls Außenbauteile aus mehreren Teilflächen unterschiedlicher Schalldämmung bestehen (z.B. Wände, Fenster, Türen, Rollladenkästen, Lüftungseinrichtungen), gelten die Anforderungen an das aus den einzelnen Schalldämm-Maßen der Teilflächen berechnete gesamte Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$. Es wird die Gesamtlärmbelastung zugrunde gelegt, die je nach Situation die Anteile der Geräuscheinwirkung von Straßen-, Schienen- und Wasserverkehr sowie von Gewerbe- und Industrieanlagen erfasst. Die Anforderungen gelten nicht für den Schutz gegen Fluglärm, soweit die Schallschutzmaßnahmen durch das „Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm“ [65] geregelt sind.

Die bisherige Aufteilung in Lärmpegelbereiche mit einer groben „5 dB-Stufung“ in DIN 4109:1989 und DIN 4109-1:2016-07 zur Festlegung der Anforderung an Außenbauteile wurde in einem Änderungsblatt zu DIN 4109 [33] bzw. [35] aufgehoben und in eine „dB-genaue“ Ermittlung der Anforderung überführt:

$$erf.R'_{w,ges} = L_a - K_{Raumart} \qquad (7.1)$$

Dabei werden die folgenden drei Raumarten, die sich nach Nutzungsart und Anforderungshöhe unterscheiden, zugrunde gelegt:

- $K_{Raumart}$ = 25 dB: Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien
- $K_{Raumart}$ = 30 dB: Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume u.Ä.
- $K_{Raumart}$ = 35 dB: Büroräume u.Ä.

Für den Fall dass – z.B. in Bebauungsplänen – ausschließlich die bisherigen Lärmpegelbereiche angegeben sind, wird in der Änderung zu DIN 4109 [33] bzw. [35] eine Tabelle mit der Zuordnung maßgeblicher Außenlärmpegel zu den entsprechenden Lärmpegelbereichen angegeben (Tafel 25). Die Ermittlung der Anforderung an die Luftschalldämmung zwischen Außen und Räumen in Gebäuden erfolgt auch in diesem Fall nach Gleichung 7.1, wobei für Bettenräume mindestens erf. $R'_{w,ges}$ = 35 dB und für alle weiteren schutzbedürftigen Räume mindestens erf. $R'_{w,ges}$ = 30 dB eingehalten werden müssen.

Ist erf. $R'_{w,ges} \geq 50$ dB, sind die Anforderungen aufgrund der örtlichen Gegebenheiten festzulegen. Damit ergeben sich für die Obergrenzen der maßgeblichen Außenlärmpegel der bisherigen Lärmpegelbereiche die in Tafel 25 dargestellten Anforderungen.

Für unterschiedliche maßgebliche Außenlärmpegel an unterschiedlich orientierten Außenflächen eines Raums werden sowohl bei der Berechnung von $R'_{w,ges}$ als auch der zu betrachtenden Fassadenfläche S_s alle schallbeanspruchten Außenbauteile des betrachteten Raums berücksichtigt. Um die an den jeweiligen Fassadenflächen anliegenden unterschiedlichen Lärmpegel zu berücksichtigen, wird für jeden Lärmpegelbereich, der vom maximal vorliegenden Lärmpegelbereich abweicht, ein Korrekturwert berechnet und auf alle Schalldämm-Maße der diesem Lärmpegelbereich zugeordneten Fassadenteile addiert.

Die Anforderungen in DIN 4109-1 enthalten bereits indirekt einen Korrekturwert von 5 dB zur Spektrum-Anpassung, welcher im Fall von Verkehrslärm (hohe Anteile tieffrequenten Lärms) und üblichen Außenbauteilen häufig in etwa zutreffend ist [66]. Im Rahmen einer Änderung zu DIN 4109-2:2016-07 [34] bzw. [36] wird für Schienenverkehrslärm eine pauschale Minderung des Beurteilungspegels von 5 dB festgelegt. Die Grundlage für diese Minderung ist die übliche Frequenzzusammensetzung von Schienenverkehrsgeräuschen in Verbindung mit dem Frequenzspektrum der Schalldämm-Maße von Außenbauteilen. Der oben erwähnte Korrekturwert von 5 dB wird durch die Minderung für Schienenverkehrslärm sozusagen wieder auf 0 zurück gesetzt. Die beschriebene Anwendung eines pausch-

Tafel 25 Zuordnung zwischen Lärmpegelbereich und maßgeblichem Außenlärmpegel L_a sowie zugehörige Anforderungen gemäß [33] bzw. [35]

Zeile	Lärmpegelbereich	„Maßgeblicher Außenlärmpegel“ L_a	Raumarten		
			Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien	Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und Ähnliches	Büroräume[1] und Ähnliches
		[dB]	erf. $R'_{w,ges}$ des Außenbauteils [dB]		
1	I	55	35	30	30
2	II	60	35	30	30
3	III	65	40	35	30
4	IV	70	45	40	35
5	V	75	50	45	40
6	VI	80	[2]	50	45
7	VII	80	[2]	[2]	50

[1] An Außenbauteile von Räumen, bei denen der eindringende Außenlärm aufgrund der in den Räumen ausgeübten Tätigkeiten nur einen untergeordneten Beitrag zum Innenraumpegel leistet, werden keine Anforderungen gestellt.
[2] Die Anforderungen sind hier aufgrund der örtlichen Gegebenheiten festzulegen.

Tafel 26 Korrekturwerte K_{AL} für das erforderliche gesamte Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ nach Tafel 25 in Abhängigkeit vom Verhältnis S_S/S_G

S_S/S_G	2,5	2,0	1,6	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4
Korrektur K_{AL} [dB]	+5	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3

S_S: Gesamtfläche des Außenbauteils eines Aufenthaltsraums in m²
S_G: Grundfläche eines Aufenthaltsraums in m²

len Korrekturwerts lässt eine differenzierte Bemessung des Schallschutzes gegenüber Außenlärm, unter Berücksichtigung der spezifischen Schallspektren und spezifischen frequenzabhängigen Schalldämmung der an der Schallübertragung beteiligten Bauteile nicht zu. Dies kann z.B. mit Hilfe von bauteilspezifischen Spektrums-Anpassungswerten erfolgen. Dazu findet sich in DIN 4109-2 die folgende informative Anmerkung:

„Für Planungszwecke außerhalb des Anwendungsbereichs von DIN 4109 können zur Berechnung der resultierenden Schalldämmung der Außenbauteile bei Bedarf zusätzlich auch die Spektrum-Anpassungswerte C oder C_{tr} verwendet werden, wenn die spektralen Eigenschaften des Außengeräuschs berücksichtigt werden sollen.“ In der VDI 4100: 2012 wird folgendermaßen auf diesen Sachverhalt hingewiesen:

„Es wird empfohlen, bei der Planung und Berechnung der erforderlichen Schalldämmung die Spektrum-Anpassungswerte (C und C_{tr}) nach DIN EN ISO 717-1 der für die Verwendung vorgesehenen Bauteile zu beachten, wenn es sich bei Außenlärm um auffällige Spektren handelt, z.B. Verkehrslärm mit tieffrequenten Schallanteilen.“

Auf die Handhabung der Spektrum-Anpassungswerte bei Außenwänden mit WDVS wird in Abschnitt 7.4.3 eingegangen.

7.2 Nachweise

Für die Planung und den Nachweis des Schutzes gegen Außenlärm muss zuerst der maßgebliche Außenlärmpegel bekannt sein. Er wird in der Regel berechnet. Nur in Ausnahmefällen wird er durch Schallpegelmessungen vor Ort bestimmt. Er kann in Bebauungsplänen festgelegt sein, aus amtlichen Lärmkarten oder Lärmminderungsplänen entnommen oder beispielsweise für Verkehrslärm aus der Verkehrsbelastung von Straßen ermittelt werden. Je nach Art der Geräuschquellen sind bei der Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels unterschiedliche Regelungen zu berücksichtigen, die in DIN 4109-2 (Rechenverfahren) und DIN 4109-4 (messtechnische Nachweise) benannt werden.

Das gemäß Gleichung 7.1 ermittelte erforderliche gesamte Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ ist anschließend noch nach Gleichung (7.2) mit dem Korrekturwert K_{AL} hinsichtlich der Fassadenfläche und der Grundfläche des Empfangsraums zu korrigieren.

$$K_{AL} = 10 \lg \left(\frac{S_s}{0{,}8 \cdot S_G} \right) \text{ [dB]} \qquad (7.2)$$

mit
S_s Vom Raum aus gesehene gesamte Fassadenfläche
S_G Grundfläche des Raums

Vereinfacht können die Werte für K_{AL}, gerundet auf ganze Zahlen, auch der Tafel 26 entnommen werden.

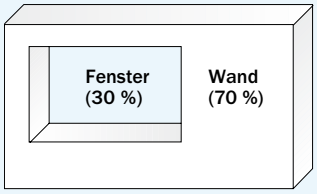
Erst dieser korrigierte Wert stellt die tatsächliche Anforderung an die Schalldämmung der Außenbauteile dar. Unter Berücksichtigung des pauschalen Sicherheitsbeiwerts von 2 dB gilt damit für den Nachweis

$$R'_{w,ges} - 2 \text{ dB} \geq \text{erf. } R'_{w,ges} + K_{AL} \qquad (7.3)$$

Auch beim Außenlärm wird in den Fällen, bei denen die gemeinsame Trennfläche kleiner als 10 m² ist, nach DIN 4109-1 die Anforderung an die bewertete Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,w}$ gestellt.

Beispiel

- maßgeblicher Außenlärmpegel L_a = 65 dB,
  erf. $R'_{w,ges} = L_a - K_{Raumart}$ = 65 dB - 30 dB = 35 dB



- Außenwand Kalksandstein 17,5 cm, RDK 2,0 mit WDVS:
  $R_{w\,(Wand)}$ = 56 dB nach Massekurve Kalksandstein (Gl. (5.4))
  WDVS mit Verbesserung der Schalldämmung ΔR_w = 2 dB
  $R_{w\,(Wand + WDVS)}$ = (56 + 2) dB = 58 dB
- Fenster:
  $R_{w\,(Fenster)}$ = 35 dB
  Fensterflächenanteil 30 %
- Resultierende Schalldämmung der Außenwand mit Fenstern nach Gl. (7.4):

$$R_{w,ges} = -10 \lg \left(0{,}7 \cdot 10^{\frac{-58}{10}} + 0{,}3 \cdot 10^{\frac{-35}{10}} \right) = 40 \text{ dB}$$

- Ermittlung des Bauschalldämm-Maßes $R'_{w,ges}$
  Annahme: wegen ausreichend schwerer Flankenbauteile keine Berücksichtigung der flankierenden Übertragung erforderlich
  $R'_{w,ges}$ = 40 dB
- Berücksichtigung der Flächenkorrektur nach Gl. (7.2)
  Wohnraum mit
  Außenwandfläche S_S = 10 m²
  Grundfläche S_G = 25 m²
  Korrektur $K_{AL} = -10 \lg \left(\frac{S_S}{0{,}8 \cdot S_G} \right) = -3$ dB
- Für den Schallschutznachweis muss mit pauschalem Sicherheitsabschlag von 2 dB nach Gl. (7.3) gelten:
- $R'_{w,ges}$ - 2 dB ≥ erf. $R'_{w,ges} + K_{AL}$ bzw. $R'_{w,ges}$ - 2 dB - K_{AL} ≥ erf. $R'_{w,ges}$
- 40 dB - 2 dB + 3 dB = 41 dB ≥ 35 dB -> Nachweis erfüllt

Bild 34 **Beispiel für den Schallschutznachweis für eine KS-Außenwand mit WDVS und einem Fensteranteil von 30 %**

INFO

Die Anforderung gilt immer an das gesamte Außenbauteil. Wenn dieses aus verschiedenen Teilflächen mit unterschiedlicher Schalldämmung – und ggf. auch unterschiedlicher Orientierung – besteht, z.B. aus einer Wand mit Fenstern und Einbauten wie Rollladenkästen und Lüftungseinrichtungen, dann sind die einzelnen Teilflächen mit ihrer jeweiligen Schalldämmung einzubeziehen.

Im Zuge der Planung wird deshalb zuerst die resultierende Schalldämmung der gesamten Außenbauteilfläche errechnet. Dazu werden für die Gesamtfläche S_s der gesamten Bauteilfläche die Teilflächen S_i der einzelnen Elemente mit ihren jeweiligen bewerteten Schalldämm-Maßen $R_{i,w}$ berücksichtigt, so dass sich die resultierende Gesamtdämmung $R_{w,ges}$ des Außenbauteils wie folgt ergibt:

$$R_{w,ges} = -10 \lg \left(\frac{1}{S_s} \sum_{i=1}^{n} S_i \cdot 10^{\frac{-R_{i,w}}{10}} \right) [\text{dB}] \qquad (7.4)$$

Zu beachten ist bei dieser Rechnung, dass mit den Schalldämm-Maßen $R_{i,w}$ immer die Direktschalldämmung der einzelnen Elemente gemeint ist. Auch die resultierende Gesamtdämmung $R_{w,ges}$ beschreibt damit zuerst einmal nur die Direktschalldämmung der gesamten Außenbauteilfläche. Zur Erfüllung der Anforderungen muss aber ein Bauschalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ betrachtet werden. Das bedeutet, dass für die Gesamtübertragung des Außenlärms in den Empfangsraum außer der direkten Schallübertragung auch die Übertragung über flankierende Bauteile berücksichtigt werden muss. Die Flankenübertragung kann prinzipiell nach den Methoden der DIN 4109-2 (siehe Abschnitt 5.2.3.4, Gleichung (5.5)) berechnet werden und wird zu der nach Gleichung (7.3) berechneten Direktübertragung addiert. Der Anteil der flankierenden Übertragung ist im Einzelfall zu prüfen. Er ist in vielen Fällen unbedeutend und braucht deshalb meistens nicht berechnet zu werden.

Wenn jedoch biegesteife Fassadenbauteile (z.B. aus Mauerwerk) mit anderen biegesteifen Teilen des Empfangsraums (z.B. Decken oder Trennwänden) verbunden sind, kann die Flankenübertragung zur gesamten Schallübertragung beitragen. Rechnerisch muss sie dann berücksichtigt werden, wenn zur Erfüllung der Anforderungen das Schalldämm-Maß $R_{i,w}$ des massiven Außenbauteils mehr als 50 dB und das gesamte bewertete Bauschalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ mehr als 40 dB betragen soll.

Aus dem notwendigen Schalldämm-Maß der gesamten Fassade kann nicht unmittelbar auf die benötigte Schalldämmung der einzelnen Bauteile geschlossen werden. Eine schlechtere Schalldämmung des einen Bauteils kann (in gewissen Grenzen) durch eine bessere Schalldämmung eines anderen Bauteils ausgeglichen werden. So ist es die planerische Aufgabe, die Zusammenstellung der einzelnen Bauteile so vorzunehmen, dass sich hinsichtlich der Flächenanteile und Schalldämm-Maße der einzelnen Bauteile die geforderte resultierende Schalldämmung des gesamten Bauteils ergibt. Ein Beispiel für die mögliche Dimensionierung einzelner Bauteile bei vorgegebener Anforderung an die Gesamtdämmung findet sich in Tafel 30.

Ein einfaches Beispiel für den Nachweis zeigt Bild 34. Im vorliegenden Fall wird die resultierende Schalldämmung von den Fenstern bestimmt. Die schalltechnische Leistungsfähigkeit der Wand kommt nicht zum Tragen.

Für Fenster- und Türelemente kann die resultierende Schalldämmung in eingebautem Zustand von den Einbaufugen beeinflusst werden. DIN 4109-2 enthält Regelungen, wie bei schalltechnisch kritischen Einbausituationen die Fugen bei der Berechnung zu berücksichtigen sind. Kritische Einbausituationen liegen vor, wenn Fenster- oder Türelemente im Bereich einer Dämmebene eingebaut werden.

7.3 Zweischalige massive Außenwände

Derzeit ist die nach DIN 4109-2 vorgesehene Berechnung der Schalldämmung zweischaliger Außenwände nach DIN EN 1996/NA nicht möglich, da für die Luftschallverbesserung $\Delta R_{Dd,w}$ von massiven biegesteifen Verblendschalen aus Mauerwerk oder Vorsatzschichten aus Beton mit Luftschicht oder Dämmschicht noch keine abgesicherten Angaben vorliegen. Ersatzweise wird deshalb für zweischalige Außenwände mit Luftschicht für die Ermittlung der Schalldämmung der gesamten Konstruktion in Abschnitt 4.4.4. der DIN 4109-32 folgendes Verfahren vorgeschlagen:

„Bei zweischaligen Konstruktionen mit Luftschicht oder mit Kerndämmung aus mineralischen Faserdämmstoffen darf das bewertete Schalldämm-Maß $R_{Dd,w}$ aus der Summe der flächenbezogenen Massen der beiden Schalen […] ermittelt werden. Das so ermittelte bewertete Schalldämm-Maß R_w darf um 5 dB erhöht werden. Wenn die flächenbezogene Masse der auf die Innenschale der Außenwand anschließenden Trennwände größer als 50 % der flächenbezogenen Masse der inneren Schale der Außenwand beträgt, darf das Schalldämm-Maß R_w um 8 dB erhöht werden.“

Bei Sandwich-Elementen aus Beton oder bei Mauerwerk mit einer Kerndämmung, die unter Verwendung von Hartschaumstoffen hergestellt werden, wird in DIN 4109-32 übergangsweise vorgesehen, dass das bewertete Schalldämm-Maß $R_{Dd,w}$ aus den flächenbezogenen Massen beider Schalen abzüglich 2 dB ermittelt wird.

7.4 Einschalige Außenwände mit WDVS

7.4.1 Außenwand zwischen Schall- und Wärmeschutz

Erhöhte Anforderungen an den Wärmeschutz können bei Mauerwerk durch konstruktive Maßnahmen realisiert werden. Als grundsätzliche Möglichkeiten kommen dabei in Frage:

- Verringerung der Steinrohdichte
- Vergrößerung der Wanddicke
- Mehrschichtige Aufbauten
- Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS)

Die aus wärmetechnischen Gründen erforderlichen Maßnahmen haben erfahrungsgemäß immer auch Auswirkungen auf den Schallschutz. Wesentlich ist dabei, dass sich wärmetechnische und schalltechnische Belange oftmals konträr verhalten, so dass wärmetechnische Verbesserungen zu teilweise signifikanten schalltechnischen Verschlechterungen führen können. Ursache solcher Verschlechterungen sind akustische Resonanzen der Wand- oder Steinstruktur, die bei den oben genannten wärmetechnischen Maßnahmen verstärkt in Erscheinung treten und die Direktschalldämmung mindern. Es besteht somit zwischen schall- und wärmetechnischen Anforderungen ein Zielkonflikt. Die genannten Resonanzerscheinungen mindern oft auch die Flankendämmung.

INFO

Vor allem treten immer wieder Probleme mit der Flankendämmung bei solchen Außenwänden auf, die aus wärmetechnischen Gründen leicht (und damit bezüglich der Flankendämmung zu leicht) gemacht wurden.

7.4.2 Schalltechnisches Verhalten einer massiven, einschaligen Wand mit WDVS

Für einschalige homogene Wände kann das bewertete Schalldämm-Maß in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse bestimmt werden. Für Außenwände aus Kalksandstein gilt dafür die Massekurve in Gleichung (5.4). Um die Wärmedämmung von Kalksandstein-Außenwänden zu realisieren, werden häufig auf der Außenseite WDVS angebracht, wodurch sich das schalltechnische Verhalten der einschaligen Wand verändert.

Akustisch verhält sich eine Massivwand mit WDVS wie ein Feder-Masse-System. Mit diesem einfachen Modell können bereits wesentliche akustische Eigenschaften einer Wand mit WDVS erklärt werden. Als Massen wirken die Massen der Wand und der Putzschicht. Als Feder fungiert die Dämmschicht (Bild 35).

Charakterisiert wird das Schwingungsverhalten durch die Resonanz des Feder-Masse-Systems bei der Resonanzfrequenz f_0. Das grundsätzliche schalldämmende Verhalten eines solchen zweischaligen Wandaufbaus zeigt Bild 36.

Unterhalb der Resonanzfrequenz verhält sich die Konstruktion wie eine gleichschwere einschalige Konstruktion. Die Schalldämmung steigt mit der Frequenz an, wie es für eine einschalige Wand zu erwarten ist. Im Frequenzbereich um f_0 wird aufgrund der großen Schwingungsamplituden die Schalldämmung drastisch vermindert. Oberhalb von f_0 hingegen kann die Schalldämmung gegenüber der gleichschweren einschaligen Konstruktion deutlich verbessert werden. Entscheidend ist also die Lage der Resonanzfrequenz. Da die (flächenbezogene) Masse der Wand sehr viel größer ist als diejenige der Putzschicht, kann sie bei der Berechnung der Resonanzfrequenz vernachlässigt werden. Für f_0 gilt dann:

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'}} \text{ [Hz]} \qquad (7.5)$$

mit

s' Dynamische Steifigkeit der Dämmschicht in MN/m³

m' Flächenbezogene Masse der Putzschicht in kg/m²

Üblicherweise wird eine möglichst tiefe Resonanzfrequenz angestrebt, da sie sich günstig auf das bewertete Schalldämm-Maß R_w auswirkt. Resonanzen im bauakustischen Frequenzbereich, vor allem bei mittleren Frequenzen, vermindern dagegen das bewertete Schalldämm-Maß der Konstruktion. Unter der Vorgabe eines möglichst hohen Schalldämm-Maßes heißt das für die konstruktiv zu bemessenden Einflussgrößen s' und m':

- Dickere und damit schwerere Putzschichten sind günstiger.
- Die Steifigkeit des Dämmmaterials sollte möglichst gering sein.

Dass unter Schallschutzaspekten die Auslegung des WDVS allerdings nicht grundsätzlich nach diesen Gesichtspunkten erfolgen muss, zeigt sich bei näherer Betrachtung der Frequenzeigenschaften des Außenlärms.

7.4.3 Außenlärm: tieffrequent oder hochfrequent?

In zahlreichen Fällen tritt durch das WDVS eine Verschlechterung des Schalldämm-Maßes auf, bei entsprechender Dimen-

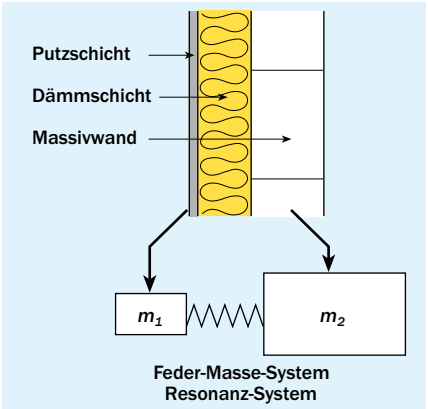


Bild 35 Wärmedämm-Verbundsystem als Feder-Masse-System

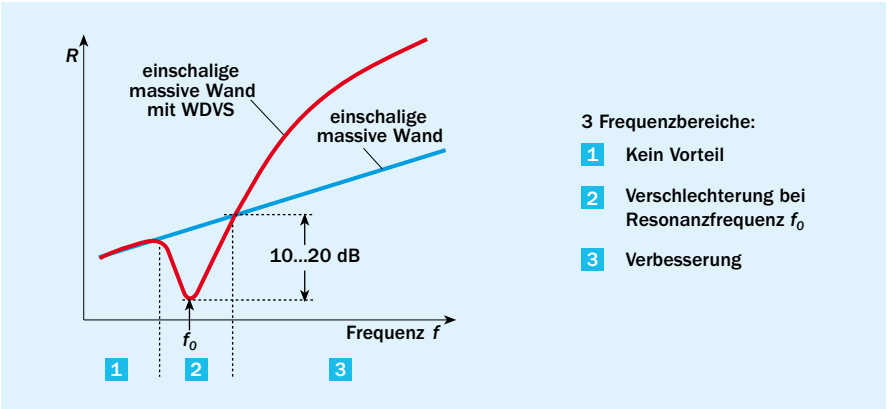
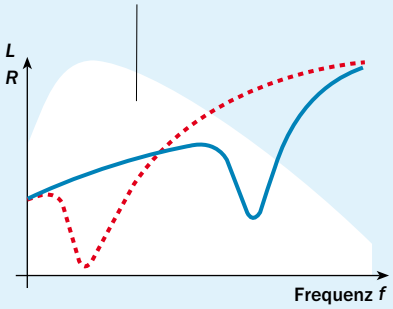


Bild 36 Schalldämmung R der einschaligen, massiven Wand ohne und mit WDVS

Tieffrequente Lärmanteile dominieren.



1. Beispiel: Innerstädtischer Verkehrslärm, tieffrequente Anteile dominieren



Hohe Resonanzfrequenz ist günstiger.

Auslegung des WDVS
– Hohe Lage der Resonanzfrequenz
– Auslegung nach $R'_w + C_{tr}$
– Leichter Putz, „harter“ Dämmstoff

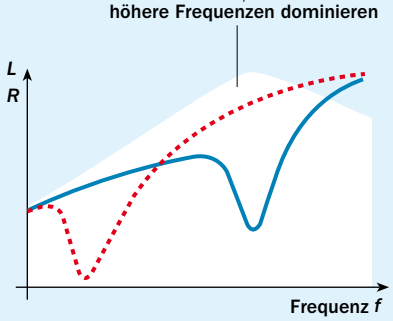
Blaue Kurve: WDVS hoch abgestimmt (günstig)
Rote Kurve: WDVS tief abgestimmt (ungünstig)
L: Außenpegel
R: Frequenzabhängiges Schalldämm-Maß

Bild 37 Reale Minderung von tieffrequentem Außenlärm

Hochfrequente Lärmanteile dominieren.



2. Beispiel: Schienenverkehr, schneller Straßenverkehr, höhere Frequenzen dominieren



Tiefe Resonanzfrequenz ist günstiger.

Auslegung des WDVS
– Tiefe Lage der Resonanzfrequenz
– Auslegung nach R'_w oder $R'_w + C$
– Schwerer Putz, „weicher“ Dämmstoff

Blaue Kurve: WDVS hoch abgestimmt (ungünstig)
Rote Kurve: WDVS tief abgestimmt (günstig)
L: Außenpegel
R: Frequenzabhängiges Schalldämm-Maß

Bild 38 Reale Minderung von hochfrequentem Außenlärm

sionierung sind vielfach allerdings auch Verbesserungen möglich (siehe hierzu Abschnitt 7.4.4). Nach üblichem Verständnis erscheint es sinnvoll, ein möglichst hohes bewertetes Schalldämm-Maß anzustreben. Für die praktische Anwendung stellt sich die Situation jedoch etwas komplizierter dar. Ob das gewählte WDVS den Schallschutz gegen Außenlärm tatsächlich verbessern kann, hängt auch von der konkreten Lärmsituation ab. Innerstädtischer Verkehrslärm z.B. hat seine dominierenden Geräuschanteile eher bei tiefen Frequenzen (Bild 37).

Eine tief liegende Resonanzfrequenz – die ansonsten gewünscht wird – kann dann zur Erhöhung des über die gedämmte Außenwand übertragenen Schalls führen. Die Geräuschsituation im Gebäude wird entgegen den Erwartungen möglicherweise schlechter. Hier kann ein – eigentlich als ungünstiger bewertetes – WDVS mit härteren Dämmschichten im Endergebnis zu einem günstigeren Gesamtresultat führen.

Umgekehrt sind die Verhältnisse jedoch, wenn der vor der Außenwand anstehende Lärm durch mittlere und höhere Frequenzen geprägt wird (z.B. Schienenverkehrslärm, Straßenverkehr bei hohen Geschwindigkeiten). Hier sind dann tatsächlich die WDVS mit weichen Dämmschichten auch im Endresultat günstiger (Bild 38).

Als Fazit ergibt sich für die reale Minderung von Außenlärm:

- Das tatsächliche Geräuschspektrum spielt bei der Wirkung von WDVS eine Rolle.
- Eine am Schallschutz orientierte Planung sollte die aktuelle Geräuschsituation berücksichtigen.

Offensichtlich ist das bewertete Schalldämm-Maß als alleiniges Kriterium zur Auslegung des Schallschutzes nicht ausreichend. Um die frequenzabhängigen Eigenschaften in der aktuellen Geräuschsituation besser berücksichtigen zu können, haben die europäischen Regelwerke dafür die so genannten Spektrum-Anpassungswerte vorgesehen, die nach DIN EN ISO 717-1 als ergänzende Zahlenwerte zum bewerteten Schalldämm-Maß angegeben werden (Tafel 2).

Die Spektrum-Anpassungswerte – je nach Bedarf C oder C_{tr} – können zum Wert des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w addiert werden, um mit einem neuen Einzahlwert die schalldämmende Wirkung einer Konstruktion gegenüber einer bestimmten Geräuschart zu charakterisieren. Als Beispiel zeigt Tafel 27 die

Tafel 27 **Spektrum-Anpassungswerte für eine einschalige, massive Wand ohne und mit WDVS, Beispiel**

KS-Wand, d = 17,5 cm, RDK 1,8, geputzt, Fensterflächenanteil f = 30 %, ohne WDVS:	
Einzahlangaben	$R_w\ (C, C_{tr})$ = 51 (-1, -2) dB
Tieffrequente Wirkung	$R_w + C_{tr}$ = 51 - 2 = **49 dB**
KS-Wand, d = 17,5 cm, RDK 1,8, geputzt, Fensterflächenanteil f = 30 %, mit WDVS:	
Einzahlangaben	$R_w\ (C, C_{tr})$ = 53 (-2, -7) dB
Tieffrequente Wirkung	$R_w + C_{tr}$ = 53 - 7 = **46 dB**

Auswirkungen eines tief abgestimmten WDVS auf die Schalldämmung einer einschaligen, massiven Wand.

Im bewerteten Schalldämm-Maß R_w verbessert sich die Schalldämmung durch das WDVS von 51 dB um 2 dB auf 53 dB. Hinsichtlich der Dämmung von städtischem Verkehrslärm dagegen tritt eine Verschlechterung durch das WDVS von 49 dB um 3 dB auf 46 dB ein. Das Beispiel verdeutlicht, dass die adäquate Berücksichtigung der Außenlärmspektren je nach Problemstellung zu unterschiedlicher Beurteilung der schalltechnischen Eignung eines WDVS und zu unterschiedlichen konstruktiven Auslegungen führen kann.

INFO

Eine Ausrichtung nur am bewerteten Schalldämm-Maß R_w entspricht zwar der derzeitigen Praxis, die auch dem Nachweis der DIN 4109 für den Außenlärm entspricht, gewährleistet aber nicht in jedem Fall den sinnvollsten Schallschutz gegen Außenlärm.

Vielmehr ist in vielen Fällen von eher tieffrequent geprägten Geräuschspektren auszugehen, so dass die gehandhabte Praxis hier de facto zu Verschlechterungen führt. Eine auf schalltechnische Optimierung hin orientierte Planungsstrategie sollte die genannten Kriterien mit einbeziehen.

7.4.4 Schalltechnische Eigenschaften von Wärmedämm-Verbundsystemen

Ein WDVS auf einer massiven einschaligen Außenwand kann akustisch als Vorsatzschale betrachtet werden, die das Schalldämm-Maß R_w der Trägerwand verändert, was durch die so genannte Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes ΔR_w beschrieben wird (siehe hierzu Abschnitt 6.1.3.1). Zur Ermittlung von ΔR_w existiert ein durch die Zulassungen des DIBt [67] geregeltes Berechnungsverfahren, das in [68] ausführlich erläutert wird. Als Einflussgrößen werden neben der Resonanzfrequenz (siehe Gleichung (7.4)) die Trägerwand, die Verdübelung, die Klebefläche und (bei Dämmstoffen aus Mineralfaser) der Strömungswiderstand des WDVS berücksichtigt.

Ob durch WDVS eine Verschlechterung oder Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes der Trägerwand zustande kommt, hängt von den Eigenschaften des gewählten Aufbaus ab. Lange Zeit galten WDVS aufgrund steifer Wärmedämmschichten (Hartschäume) als schalltechnisch kritisch. Verschlechterungen des Schalldämm-Maßes bis maximal 10 dB sind im Vergleich zur unverkleideten Massivwand möglich. Bereits seit längerer Zeit sind Dämmschichten mit deutlich geringerer Steifigkeit verfügbar (Mineralfaserplatten, elastifizierte Hartschäume), die eine tiefere Resonanzfrequenz erlauben. Damit sind dann auch Verbesserungen des Schalldämm-Maßes möglich, die je nach Dämmmaterial, Putzschicht und Trägerwand deutlich über 10 dB liegen können. In den Zulassungsregeln des DIBt [67] wird das berechnete ΔR_w auf den Bereich von -6 bis +16 dB begrenzt.

INFO

Die frühere Aussage, dass WDVS das bewertete Schalldämm-Maß verschlechtern, ist mit heutigen Systemen nicht mehr generell aufrecht zu erhalten.

Tafel 28 **Korrekturwerte des bewerteten Schalldämm-Maßes von Kalksandstein-Außenwänden mit WDVS entsprechend den jeweiligen Systemzulassungen – Richtwerte[1)] [69]**

		Dünnputz ≤ 10 kg/m²	Dickputz > 10 kg/m²
Geklebtes Polystyrol-WDVS		-2 dB	-1 dB
Geklebtes WDVS mit elastifiziertem PS		0 dB	+1 dB
Geklebtes und verdübeltes Polystyrol-WDVS		-1 dB	-2 dB
Mineralfaser-Lamellensystem		-5 dB	-5 dB
Geklebtes und verdübeltes Mineralfaserdämmplatten-WDVS	**d = 50 mm** **d = 100 mm**	-4 dB -2 dB	+4 dB +2 dB
PS-System mit Schienenbefestigung		+2 dB	+2 dB

[1)] Die konkret anzusetzenden Korrekturfaktoren sind der bauaufsichtlichen Zulassung des gewählten WDVS zu entnehmen.

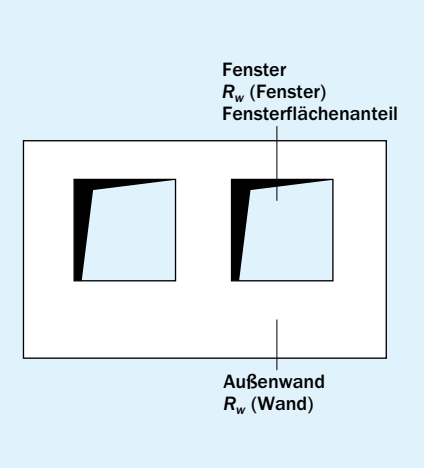


Bild 39 Wand mit Fenstern: Teilflächen unterschiedlicher Schalldämmung

Tafel 29 Einfluss unterschiedlicher Fenster und WDVS auf die Schalldämmung der Außenwand; Wand: KS 17,5 cm, RDK 1,8 mit Innenputz, Fensterflächenanteil 30 %

Beispiel 1: R_w (Fenster) = 40 dB	Beispiel 2: R_w (Fenster) = 35 dB
a) Wand ohne WDVS	a) Wand ohne WDVS
$R_{w,ges}$ = 50 dB - 6 dB = 44 dB	$R_{w,ges}$ = 50 dB - 10,5 dB = 39,5 dB
b) Wand mit WDVS (Verbesserung + 4 dB)	b) Wand mit WDVS (Verbesserung + 4 dB)
$R_{w,ges}$ = 54 dB - 9 dB = 45 dB	$R_{w,ges}$ = 54 dB - 14 dB = 40 dB
c) Wand mit WDVS (Verschlechterung - 4 dB)	c) Wand mit WDVS (Verschlechterung - 4 dB)
$R_{w,ges}$ = 46 dB - 3 dB = 43 dB	$R_{w,ges}$ = 46 dB - 7 dB = 39 dB

Die Wahl des Dämmsystems entscheidet also, ob erhöhte Wärmedämmung mit WDVS das Schalldämm-Maß verbessert oder verschlechtert.

Anhand von ΔR_w kann die Auswirkung eines WDVS auf die (Direkt)-Dämmung einer Wand wie folgt bestimmt werden:

$$R_{w,\,mit\ WDVS} = R_{w,\,ohne\ WDVS} + \Delta R_w \text{ [dB]} \qquad (7.6)$$

Die Werte von ΔR_w können der jeweiligen bauaufsichtlichen Zulassung der Dämmstoff-Hersteller entnommen werden. Beispiele für Korrekturwerte finden sich in Tafel 28.

7.4.5 Einfluss der Fenster bei Außenwänden mit WDVS

Wenn Außenbauteile aus mehreren Teilflächen mit unterschiedlicher Schalldämmung bestehen, müssen zur Ermittlung der gesamten Schalldämmung nach Gleichung (7.3) die einzelnen Teilflächen mit ihren jeweiligen Schalldämm-Maßen berücksichtigt werden. Den häufigen Fall, dass die Gesamtfläche aus Wandfläche und Fensterflächen besteht, zeigt Bild 39.

Da Fenster üblicherweise eine deutlich niedrigere Schalldämmung als die massive Außenwand haben, verringert sich die resultierende Schalldämmung der gesamten Fläche gegenüber der Schalldämmung der Wand ohne Fenster. So führt z.B. ein relativ gutes Fenster mit R_w = 35 dB und einem Fensterflächenanteil von 30 % bei einer einschaligen Außenwand mit R_w = 50 dB rechnerisch bereits zu einer Verminderung um 10,5 dB, so dass $R_{w,ges}$ auf 39,5 dB sinkt. Die geringere Schalldämmung solcher Bauteile muss im Bedarfsfall durch eine entsprechend höhere Schalldämmung der Wand ausgeglichen werden, damit insgesamt das geforderte resultierende Schalldämm-Maß der Außenbauteile erreicht wird.

Wird die Außenwand mit einem WDVS versehen, dann ist auch in diesem Fall das resultierende Schalldämm-Maß zu bestimmen. Anhand zweier Beispiele (Tafel 29) sollen die Auswirkungen des WDVS auf die resultierende Schalldämmung aufgezeigt werden, wobei zum Vergleich schalltechnisch unterschiedliche WDVS und Fenster berücksichtigt werden. In der mathematischen Darstellung von Tafel 29 ist die durch die Fenster verursachte Verminderung der Gesamtdämmung durch den negativen zweiten Summanden erkennbar.

Im ersten Fall werden gute Fenster mit R_w = 40 dB angesetzt. Wird nun die Wand mit einem WDVS versehen, durch welches ihr Schalldämm-Maß auf R_w = 54 dB erhöht wird, so ändert sich $R_{w,ges}$ gegenüber dem Ausgangszustand nur geringfügig auf 45 dB. Wird stattdessen ein WDVS verwendet, durch welches sich das Schalldämm-Maß der Wand auf 46 dB vermindert, so verringert sich $R_{w,ges}$ lediglich auf 43 dB. Änderungen der Schalldämmung der Außenwand durch ein aufgebrachtes WDVS wirken sich demnach im resultierenden Schalldämm-Maß kaum aus.

Zur gleichen Aussage, allerdings noch deutlicher, führt der zweite Fall, bei welchem ein immer noch gutes Fenster mit R_w = 35 dB angesetzt wird. Änderungen der resultierenden Schalldämmung mit oder ohne WDVS liegen hier rechnerisch bei 0,5 dB.

Als Fazit kann festgehalten werden:

- Schwachstelle ist (bei genügend schwerer Massivwand) in der Regel das Fenster.
- Änderungen der Schalldämmung der Außenwand durch WDVS wirken sich in diesem Fall nur gering aus.

Grundsätzlich kann mit der in Abschnitt 7.2 genannten Berechnungsmethode für jede beliebige Kombination aus Wand- und Fensterflächen bei unterschiedlicher Qualität der Schalldämmung von Wand und Fenstern die resultierende Gesamtdämmung ermittelt werden. Für die praktische Anwendung ist es notwendig, für bestimmte Kombinationen einer bestimmten Fensterdämmung und einer bestimmten Wanddämmung den maximal zulässigen Fensterflächenanteil zu kennen, damit die Anforderungen eines bestimmten Lärmpegelbereichs erfüllt werden können. Beispielhaft zeigt Tafel 30 für ausgewählte Kombinationen die zulässigen Fensterflächenanteile.

Tafel 30 Zulässige Fensterflächenanteile in % zur Erfüllung der Anforderungen bei bestimmten Außenlärmpegeln für bestimmte Kombinationen der Schalldämmung der Fenster $R_{w,Fenster}$ und der Schalldämmung der Außenwand $R'_{w,AW}$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
erf. $R'_{w,ges}$ [dB]	erf. $R'_{w,ges} + K_{AL}$ [dB]	$R_{w,Fenster}$ [dB]	25	30	32	35	37	40	42	45
		$R'_{w,AW}$ [dB]	Fensterflächenanteil in %[1]							
30	30,9	50	25,3	80,6	100	100	100	100	100	100
		57	25,5	80,7	100	100	100	100	100	100
		60	25,5	80,7	100	100	100	100	100	100
35	35,9	50	7,8	24,8	39,5	80,1	100	100	100	100
		57	8,0	25,4	40,3	80,6	100	100	100	100
		60	8,0	25,5	40,4	80,7	100	100	100	100
40	40,9	50	2,2	7,1	11,4	23,1	37,3	78,6	100	100
		57	2,5	7,9	12,5	25,1	39,9	80,4	100	100
		60	2,5	8,0	12,7	25,3	40,2	80,6	100	100
45	45,9	50	0,5	1,6	2,5	5,1	8,2	17,3	29,3	71,9
		57	0,7	2,4	3,7	7,5	11,9	24,0	38,5	79,5
		60	0,8	2,5	3,9	7,8	12,4	24,8	39,5	80,1
50	50,9	50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		57	0,2	0,6	1,0	1,9	3,1	6,2	10,0	20,5
		60	0,2	0,7	1,1	2,2	3,6	7,1	11,4	23,1

[1] Annahmen für die Berechnung: siehe Erläuterung im Text

Den Angaben in Tafel 30 wurden für die Raumgeometrie des Empfangsraums folgende Annahmen zugrunde gelegt:
- Fläche der Außenwand (bezogen auf den Empfangsraum) 5 m · 2,5 m = 12,5 m²
- Raumtiefe 4 m

Für die relevanten Bauteile gelten folgende Angaben:
- Außenwand: 17,5 cm KS, RDK 1,8, 1 · 10 mm Gipsputz, m' = 308 kg/m², R_w = 54,7 dB nach KS-Massekurve; zusätzlich wärmegedämmt mit unterschiedlichen Dämmsystemen gemäß nachfolgender Beschreibung
- Wohnungstrennwand: 24 cm KS, RDK 2,0, 2 · 10 mm Gipsputz, m' = 476 kg/m², R_w = 60,5 dB nach KS-Massekurve
- Geschossdecken: 18 cm Stahlbeton, m' = 432 kg/m², mit schwimmendem Estrich
- Innenwand: 11,5 cm KS, RDK 1,8, 2 · 10 mm Gipsputz, m' = 216 kg/m²

Für die KS-Außenwand werden wahlweise folgende Dämmsysteme vorgesehen:
- Expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS): E = 3,0 MN/m², d = 140 mm, s' = 21,4 MN/m², m'_{Putz} = 7 kg/m², f_0 = 280 Hz, verdübelt, 40 % Klebefläche, ΔR_w = **-2,0 dB**
- Mineralfaser-Putzträgerplatten (MFP): E = 0,75 MN/m², d = 140 mm, s' = 5,4 MN/m², m'_{Putz} = 20 kg/m², f_0 = 83 Hz, verdübelt, 40 % Klebefläche, längenspezifischer Strömungswiderstand 32 kPa s/m², ΔR_w = **+6,7 dB**
- Verblendschale: 11,5 cm KS Vollstein, RDK 2,0, mit Normalmauermörtel vermauert, m' = 219 kg/m², durch 140 mm MF vom Hintermauerwerk getrennt, ΔR_w = **+15,2 dB**

Die Verbesserungen der PS- und MF-Dämmsysteme wurden nach [68] berechnet. Mit den berechneten Verbesserungen ergeben sich für die KS-Außenwand unter Berücksichtigung der flankierenden Übertragung (auf ganze dB gerundet) folgende Schalldämm-Maße:
- R'_w = 50 dB mit PS-Dämmsystem
- R'_w = 57 dB mit MF-Dämmsystem
- R'_w = 60 dB mit Verblendschale

Tafel 30 enthält in Spalte 1 die Anforderungen erf. $R'_{w,ges}$ gemäß Tafel 25. In Spalte 2 werden diese Werte in die Anforderungswerte für die konkrete Raumsituation umgerechnet, indem der Korrekturwert K_{AL} nach Gl. (7.2) mit einer Verminderung um 1,1 dB und die Unsicherheit mit einer pauschalen Erhöhung von 2 dB berücksichtigt werden. Insgesamt ergibt sich damit für die Anforderungswerte in Spalte 2 gegenüber Spalte 1 jeweils eine Erhöhung um 0,9 dB. Um die Anforderungen nach Spalte 2 zu erfüllen, werden in Spalte 3 für jeden Lärmpegelbereich die zuvor beschriebenen 3 Außenwandvarianten ($R'_{w,AW}$ = 50 / 57 / 60 dB) und in den Spalten 4 bis 11 die unterschiedlichen Fensterqualitäten ($R_{w,Fenster}$ = 25 … 45 dB) zugrunde gelegt. Die Tabellenwerte geben für die jeweilige Kombination von Wand und Fenster an, mit welchem maximal zulässigen Fensterflächenanteil die Anforderungen eingehalten werden können.

Es zeigt sich erwartungsgemäß, dass der Fensterflächenanteil mit zunehmender Schalldämmung der Fenster erhöht werden kann. Es zeigt sich außerdem, dass bei den gewählten Außenwandkonstruktionen die Schalldämmung der Wand (unter Berücksichtigung von WDVS bzw. Verblendschale) kaum Einfluss auf den Fensterflächenanteil hat, so dass offensichtlich die Fensterqualität die maßgebende Größe darstellt.

Für andere als die hier beispielhaft dargestellten Bauteil- und Raumeigenschaften empfiehlt sich im Einzelfall eine Berechnung mit dem KS-Schallschutzrechner.

8. Schallabsorption

8.1 Begriffe

Wenn in der Bauakustik von Schalldämmung die Rede ist, dann bezeichnet man damit den Vorgang, dass der Schall durch Hindernisse an der Ausbreitung gehindert wird. Die Schallenergie selbst bleibt erhalten. Im Gegensatz dazu handelt es sich bei der Schallabsorption um die Umwandlung von Schallenergie in Wärme. Den Schallwellen wird durch absorbierende Materialien (z.B. poröse Absorber, in die die Schallwellen eindringen können) Energie entzogen, so dass ihre Intensität vermindert wird.

Die Fähigkeit eines bestimmten Materials oder einer bestimmten Konstruktion, Schall zu absorbieren, wird durch den so genannten Schallabsorptionsgrad α charakterisiert. Er ergibt sich aus dem Verhältnis der nicht reflektierten zur auffallenden Schallenergie. Bei vollständiger Absorption (d.h. es wird keine Schallenergie reflektiert) hat er den Wert 1. Bei vollständiger Reflexion (d.h. es wird nichts absorbiert) gilt $\alpha = 0$. Der Schallabsorptionsgrad ist frequenzabhängig und wird nach DIN EN ISO 354 [70] im Hallraum bestimmt.

Wenn man das vorhandene Schallabsorptionsvermögen einer absorbierenden Fläche oder eines absorbierenden Gegenstandes quantitativ charakterisieren möchte, dann geschieht das durch die so genannte äquivalente Absorptionsfläche A. Diese ist eine fiktive, vollständig absorbierende Fläche ($\alpha = 1$), die so groß gewählt wird, dass sie insgesamt genauso viel Schallenergie absorbiert wie die betreffende Fläche oder der betreffende Gegenstand.

Mit der Nachhallzeit T wird die Zeit beschrieben, die die Schallenergie in einem Raum benötigt, um nach dem Abschalten der Schallquelle auf 1/1.000.000 des Anfangswerts abzuklingen. T ist die wichtigste raumakustische Kenngröße. Mit der äquivalenten Absorptionsfläche A und dem Raumvolumen V hängt sie über die Sabine'sche Gleichung zusammen:

$$T = 0{,}16 \cdot \frac{V}{A} \text{ [s]} \qquad (8.1)$$

Dabei wird T in s, V in m³ und A in m² angegeben. Die Gleichung zeigt, dass die Nachhallzeit umso kleiner wird, je mehr Absorption sich im Raum befindet.

8.2 Einsatz von Schallabsorbern

Übliche Baustoffe, Bauteile oder Konstruktionen absorbieren nie vollständig und besitzen frequenzabhängige Absorptionsgrade. Für praktische Anwendungen sind Art und Fläche bzw. Anzahl der Absorber so zu wählen, dass im gewünschten Frequenzbereich die benötigte äquivalente Absorptionsfläche zur Verfügung steht. Dies kann erfolgen, um die Nachhallzeit im Raum gemäß Gleichung (8.1) zu regulieren. Es geht dabei um die raumakustische Qualität in Räumen, die eine optimale Nachhallzeit für Sprachdarbietungen oder Musikaufführungen benötigen. Zusätzliche Absorption ist aber auch dann erwünscht, wenn in lauten Räumen (z.B. Werkhallen) der Raumpegel gesenkt werden soll, um anwesende Personen vor Lärm zu schützen. Die Pegelminderung ΔL, die durch absorbierende Maßnahmen erreicht werden kann, ergibt sich aus der Absorptionsfläche ohne und mit durchgeführter Maßnahme:

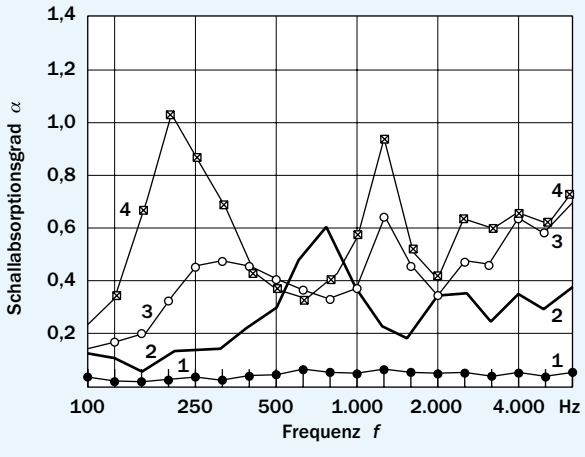
$$\Delta L = 10 \lg \left(\frac{A_{mit}}{A_{ohne}} \right) = 10 \lg \left(\frac{T_{ohne}}{T_{mit}} \right) \text{ [dB]} \qquad (8.2)$$

INFO

Eine Verdoppelung der Absorptionsfläche führt im Raum zu einer Pegelminderung von 3 dB.

Tafel 31 Ausführungsvarianten schallabsorbierender Vorsatzschalen

Wand	Konstruktionsbeschreibung	Mittlerer Schallabsorptionsgrad α
1	24 cm KS 12 – 1,8 – 2 DF	0,04
2	24 cm KS 12 – 1,8 – 2 DF 1 cm Mörtelfuge 11,5 cm KS L 12 – 1,4 – 2 DF Löcher sichtbar (nicht durchgestoßen) 36,5 cm	0,24
3	24 cm KS 12 – 1,8 – 2 DF 6 cm Luftschicht 11,5 cm KS L 12 – 1,4 – 2 DF Löcher sichtbar und durchgestoßen 41,5 cm	0,39
4	24 cm KS 12 – 1,8 – 2 DF 4 cm Mineralwolleplatten 11,5 cm KS L 12 – 1,4 – 2 DF Löcher sichtbar und durchgestoßen 39,5 cm	0,52



8.3 Schallabsorption mit KS-Wänden

Übliches Mauerwerk aus Kalksandstein besitzt aufgrund der schallharten Oberfläche nur geringe Absorptionsgrade im Bereich von $\alpha = 0{,}01$ bis 0,06. Für schallabsorbierende Zwecke ist es deshalb nicht interessant. Zusammen mit einer vorgemauerten Schale aus KS-Lochsteinen mit durchgehender Querlochung und 6 cm Luftspalt ohne und mit Mineralwolleinlage lassen sich jedoch hohe Schallabsorptionsgrade mit recht verschiedenartigen Frequenzverläufen verwirklichen. Messwerte des frequenzabhängigen Schallabsorptionsgrades werden für einige schallabsorbierende Konstruktionen aus Kalksandstein-Mauerwerk in Tafel 31 dargestellt.

Literatur

[1] DIN 4110: Technische Bestimmungen für die Zulassung neuer Bauweisen; 2. Ausgabe, Berlin 1938

[2] DIN 4109:1989-11: Schallschutz im Hochbau; Anforderungen und Nachweise

[3] DIN EN 12354-1:2017-11: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus Bauteileigenschaften – Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen

[4] Schneider, M.; Späh, M.; Blessing, S.; Fischer, H.-M.: Ermittlung und Verifizierung schalltechnischer Grundlagendaten für Wandkonstruktionen aus Kalksandstein-Mauerwerk auf der Grundlage neuer europäischer Normen des baulichen Schallschutzes; Abschlussbericht Nr. 1370 zum gleichnamigen AIF-Forschungsvorhaben der Hochschule für Technik Stuttgart, Februar 2002

[5] DIN 4109-2:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen

[6] DIN 4109-32:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Teil 32: Massivbau

[7] DIN EN ISO 10140: Akustik–Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 1 bis Teil 5

[8] DIN EN ISO 16283-1: 2014-06: Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau – Teil 1: Luftschalldämmung (ISO 16283-1:2014); Deutsche Fassung EN ISO 16283-1:2014

[9] DIN EN ISO 717-1:2013-06: Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung (ISO 717-1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 717-1:2013

[10] Weber, L.; Koch, S.: Anwendung von Spektrum-Anpassungswerten, Teil 1: Luftschalldämmung. In: Bauphysik 21 (1999), H. 4, S. 167–170

[11] DIN EN ISO 10848: Akustik – Messung der Flankenübertragung von Luftschall und Trittschall zwischen benachbarten Räumen in Prüfständen – Teil 1 bis Teil 4

[12] DIN EN ISO 16283-2: 2016-05: Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau – Teil 2: Trittschalldämmung (ISO 16283-2:2015); Deutsche Fassung EN ISO 16283-2:2015

[13] Trendbefragung für Immobilienscout 24, Infofact 03/2008

[14] Alphei, H.; Hils, T.: Welche Abstufung der Schalldämm-Maße sind bei Anforderungen an die Luftschalldämmung sinnvoll? In: wksb, H. 59, 2007

[15] Kötz, W.-D.; Moll, W.: Wie hoch sollte die Luftschalldämmung zwischen Wohnungen sein? In: Bauphysik (1988), H. 3, S. 72–76

[16] Gösele, K.; Schüle, W.; Künzel, H.: Schall, Wärme, Feuchte, Bauverlag Gütersloh 2000

[17] Moll, W.: Analytische Herleitung von Anforderungen an den Luftschallschutz zwischen Räumen. In: Bauphysik 31 (2009), H. 4, S. 235–243

[18] DEGA-Empfehlung 103: Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis, Deutsche Gesellschaft für Akustik, Berlin März 2009

[19] BGH-Entscheidung vom 14.06.2007, Az. VII ZR 45/06 zur DIN 4109/Schallschutz

[20] VDI-Richtlinie 4100:2007-08: Schallschutz von Wohnungen, Kriterien für Planung und Beurteilung

[21] VDI 4100:2012-10: Schallschutz im Hochbau – Wohnun-gen – Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz

[22] Summ, J.; Schimmer, A.; Schneider, M.: Stand des Luft- und Trittschallschutzes im Geschosswohnungsbau in Deutschland, In: Bauphysik 37 (2015), Heft 6, S. 323–333

[23] DIN 4109 Beiblatt 1:1989-11: Schallschutz im Hochbau – Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren

[24] DIN 4109 Beiblatt 2:1989-11: Schallschutz im Hochbau – Hinweise für Planung und Ausführung – Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz – Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich

[25] DIN 4109 Beiblatt 3:1996-06: Schallschutz im Hochbau – Berechnung von $R'_{w,R}$ für den Nachweis der Eignung nach DIN 4109 aus Werten des im Labor ermittelten Schalldämm- Maßes R_w

[26] DIN 4109-1:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen

[27] DIN 4109-31:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Teil 31: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Rahmendokument

[28] DIN 4109-33:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Teil 33: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Holz-, Leicht- und Trockenbau

[29] DIN 4109-34:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Teil 34: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Vorsatzkonstruktionen vor massiven Bauteilen

[30] DIN 4109-35:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Teil 35: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Elemente, Fenster, Türen, Vorhangfassaden

[31] DIN 4109-36:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Teil 36: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Gebäudetechnische Anlagen

[32] DIN 4109-4:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Teil 4: Bauakustische Prüfungen
[33] E DIN 4109-1/A1:2017-01: Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen; Änderung A1
[34] E DIN 4109-2/A1:2017-01: Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen; Änderung A1
[35] DIN 4109-1:2018-01: Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen
[36] DIN 4109-2:2018-01: Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen
[37] DEGA Memorandum: Die DIN 4109 und die allgemein anerkannten Regeln der Technik in der Bauakustik, Deutsche Gesellschaft für Akustik, DEGA BR 0101, Berlin, März 2011
[38] VERORDNUNG (EU) Nr. 305/2011 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates
[39] Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB), Teil B: Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen, Ausgabe 2009
[40] Urteil OLG München vom 19.05.2009, Az.9 U 4198/08, nicht rechtskräftig
[41] BGH-Urteil vom 04.06.2009, Az. VII ZR 54/07
[42] DEGA-Memorandum BR 0104: Schallschutz im eigenen Wohnbereich, Deutsche Gesellschaft für Akustik, Berlin, Februar 2015
[43] Gösele, K.; Kandel, L.; Linhardt, A.: Schallschutzkosten im Wohnungsbau, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 1991
[44] Kötz, W.-D.: Kosten des Schallschutzes im Wohnungsbau – Beispiele für kostengünstige Lösungen. In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL), Januar 2001, S. 20–22
[45] Kutzer D.: Schallschutz von Seniorenheimen – Schreiben vom 16.9.2009 und 30.9.2009 an den Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.
[46] DIN EN 12354-1:2017-11: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus Bauteileigenschaften – Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen
[47] DIN EN 12354-1:2017-11: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus Bauteileigenschaften – Teil 3: Luftschalldämmung gegen Außenlärm
[48] DIN EN 12354-1:2017-11: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus Bauteileigenschaften – Teil 4: Schallübertragung von Räumen ins Freie
[49] DIN EN 12354-5:2009-10: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 5: Installationsgeräusche
[50] DIN EN 12354-6:2004-04: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 6: Schallabsorption in Räumen
[51] VDI 2566, Blatt 1:Schallschutz bei Aufzugsanlagen mit Triebwerksraum (2011-04), Blatt 2: Schallschutz bei Aufzugsanlagen ohne Triebwerksraum (2004-05)
[52] ISO/CD 19488: Acoustics – Acoustic classification scheme for dwellings, 2016
[53] Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.): KS-Schallschutzrechner (kostenloser Download über www.kalksandstein.de)
[54] Maack, J.: Schallschutz zwischen Reihenhäusern mit unvollständiger Trennung, Abschlussbericht mit Anhang Prüfbericht zum BBR-Forschungsvorhaben BBR Z 6-5.4-02.19, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2005
[55] Fischer, H.-M.; Scheck, J.; Schneider, M.: Vorläufiges Verfahren zur Schalldämm-Maß-Prognose von zweischaligen Haustrennwänden aus Kalksandstein unter Berücksichtigung einer unvollständigen Trennung, Bericht Nr. 132-012 02P, Hochschule für Technik, Stuttgart 2007
[56] Fischer, H.-M.: Stellungnahme zur Schalldämmung einschaliger Wände aus Kalksandstein ohne Stoßfugenvermörtelung, Stuttgart 2001
[57] Bestimmung der Stoßstellendämmung an T-Stößen aus Kalksandsteinmauerwerk bei unterschiedlicher Knotenpunktausbildung. Berichte Nr. FEB/FS 07/00 und Nr. FEB/FS 07/00-1 der Forschungs- und Entwicklungsgemeinschaft für Bauphysik e.V. an der Fachhochschule Stuttgart/Hochschule für Technik
[58] Fischer, H.-M.: Stellungnahme zur Luftschalldämmung einer einschaligen Wand aus Kalksandstein ohne und mit Installationen, Stuttgart 2001
[59] ZVSHK-Merkblatt und Fachinformation „Schallschutz“. Zentralverband Sanitär Heizung Klima, Sankt Augustin 2003
[60] Fischer, H.-M.: Beurteilung des Einflusses von KS-ISO-Kimmsteinen auf die Schalldämmung von KS-Mauerwerk, Stuttgart 2000
[61] DIN EN ISO 10052: 2010-10: Akustik – Messung der Luftschalldämmung und Trittschalldämmung und des Schalls von haustechnischen Anlagen in Gebäuden – Kurzverfahren (ISO 10052:2004 + Amd 1:2010); Deutsche Fassung EN ISO 10052:2004 + A1:2010
[62] Meier, A.: Baulicher Schallschutz für Aufzugsanlagen, Fortschritte der Akustik – DAGA 2016 Aachen, S. 512–514
[63] Fischer, H.-M.: Stellungnahme zum zu erwartenden Schalldämm-Maß einer zweischaligen Haustrennwand aus Kalksandstein, Stuttgart 2007
[64] Focke, K.: Schallschutz bei zweischaligen Haustrennwänden von Doppel- und Reihenhäusern – Schalltechnische Anforderungen, Bauweisen und Nachweisverfahren. Mitteilungsblatt Nr. 255 der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. 2017
[65] Fluglärmgesetz, Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm, vom 31. Oktober 2007, BGBI Jahrgang 2007 Teil I Nr. 56, S. 2550–2556
[66] Meier, A.: Schallschutz gegen Außenlärm in DIN 4109 – Anforderungen und Hintergründe, Bauphysik 39, Heft 4, 2017
[67] Beschlussbuch des DIBt, SVA B2 Schalldämmung und Schalldämmstoffe, Beschluss-Nr. 3.22
[68] WDV-Systeme zum Thema Schallschutz, Technische Systeminfo 7 des Fachverbands Wärmedämm-Verbundsysteme e.V., Januar 2013
[69] Vogdt, F. U.: Außenwände. In: Kalksandstein. Planungshandbuch. Planung. Konstruktion. Ausführung. Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V., 6. Auflage, Hannover 2013
[70] DIN EN ISO 354: Akustik – Messung der Schallabsorption in Hallräumen (ISO 354: 2003); Deutsche Fassung EN ISO 354:2003

Bildnachweise

Bild S. 342: janvier/AdobeStock
Bild S. 343 oben und unten: lezek glasner/AdobeStock; **Bild 37:** pixabay

Bild S. 354: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.



Kapitel 14

UMWELT UND GESUNDHEIT

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Ulrich Vogdt,
Dipl.-Ing. Juliane Nisse, TU Berlin

Stand: 09/2017

1. Nachhaltigkeit

1.1 Veranlassung

Durch die Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ [1] des Deutschen Bundestages wurde für Deutschland das Leitbild einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung erarbeitet. Dieses Leitbild basiert insbesondere auf dem Abschlussbericht „Our Common Future“ der Brundtland-Kommission der Vereinten Nationen aus dem Jahr 1987 und der Konferenz der Vereinten Nationen in Rio de Janeiro im Jahre 1992. Anlässlich des Erdgipfels von Rio haben 178 Staaten auf den dringenden Handlungsbedarf zur Erhaltung der Lebensgrundlagen hingewiesen. Sie haben sich dazu bekannt, das Leitbild „Sustainable Development“ auszufüllen und deshalb weitere Maßnahmen in der Umwelt-, Entwicklungs-, Sozial- und Wirtschaftspolitik gefordert. Seit 1995 finden jährliche Treffen der so genannten Vertragsstaatenkonferenz (engl. Conference of Parties/COP) statt, zuletzt im November 2017 in Bonn, in denen Bilanz gezogen wird, Ziele definiert bzw. angepasst und Wege aufgezeigt werden, um die ehrgeizigen Klimaschutzziele umzusetzen.

Das Handlungsprinzip einer nachhaltigen Entwicklung ist es, die Bedürfnisse der jetzigen Generation zu erfüllen, ohne die Möglichkeit späterer Generationen einzuschränken, ihre Bedürfnisse ebenfalls befriedigen zu können. Hieraus ergeben sich vielfältige ökonomische, ökologische und soziokulturelle Anforderungen. Beispielhaft soll dies im Folgenden für die Bereiche

- Ressourcenschonung und
- Klimaschutz

dargestellt werden.

1.2 Entwicklung

1.2.1 Ressourcenschonung

Energieverbrauch

Die Notwendigkeit der Ressourcenschonung lässt sich am Beispiel des Energieverbrauchs veranschaulichen. Allein in Deutschland betrug der Primärenergieverbrauch 2016 insgesamt 539,6 Mio. t Steinkohleeinheiten SKE das entspricht 13.383 PJ (Petajoule) bzw. 3,7175 Bill. Kilowattstunden oder in Zahlen

3.717.500.000.000 kWh.

Damit ist der Primärenergieverbrauch gegenüber dem Vorjahr um 1,1 % angestiegen. Dies liegt im Wesentlichen an der kühlen Witterung im Jahr 2016. Bereinigt um den Klimaeinfluss erhöhte sich der Primärenergieverbrauch gegenüber dem Vorjahr um 0,6 % [2].

Dieser Verbrauch verteilt sich auf die verschiedenen Energieträger – Mineralöl, Steinkohle, Braunkohle, Erdgas, Kernenergie, Erneuerbare Energien und sonstige Energieträger (Bild 1).

Die erneuerbaren Energieträger haben dabei derzeit in Deutschland noch einen vergleichsweise geringen Anteil an der Energieversorgung. Dieser Anteil betrug im Jahr 2011 10,9 % am gesamten Primärenergieverbrauch und stieg bis zum Jahr 2016 auf 12,6 %. Wie Prognosen zeigen, wird er im Jahr 2020 auf

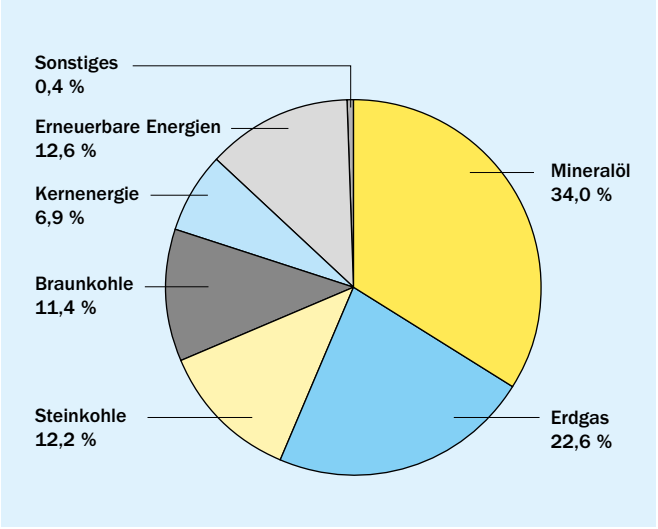


Bild 1 Primärenergieverbrauch in Deutschland: Anteile der Energieträger im Jahr 2016 [2]

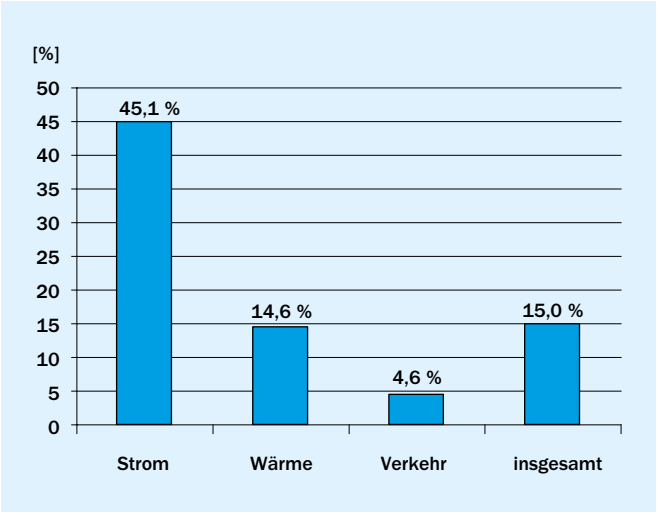


Bild 2 Primärenergieverbrauch in Deutschland: Prognose der Anteile der Erneuerbaren Energien im Jahre 2020 für die Bereiche Strom, Wärme und Verkehr [3]

insgesamt 15,0 % geschätzt (Bild 2), insbesondere getragen durch den Bereich der Stromerzeugung [3].

Die Bundesregierung strebt auf der Grundlage der EU-Richtlinie für Erneuerbare Energien eine Reduzierung des Primärenergieverbrauchs gegenüber dem Verbrauch von 2008 bis zum Jahr 2030 um 30 % und bis zum Jahr 2050 um 50 % an. Dies betrifft alle Sektoren der Energienutzung: die Energiegewinnung, -umwandlung, den -transport sowie die Nutzung durch den Endverbraucher [3].

Reserven und Ressourcen

Die fossilen Energiereserven sind begrenzt. Legt man die derzeitige Förderung als statische Größe zugrunde, ergeben sich bezogen auf die Energiereserven – das sind die nach derzei-

tigem Stand der Technik technisch und wirtschaftlich gewinnbaren Vorräte – folgende Angaben zur Reichdauer [4]:

- Braunkohle: 317 Jahre
- Steinkohle: 106 Jahre
- Uran: 22 Jahre
- Erdgas: 55 Jahre
- Erdöl: 50 Jahre

Unter Hinzuziehung der Ressourcen (Bild 3), also den nachgewiesenen, aber derzeit technisch oder wirtschaftlich nicht gewinnbaren Vorräten oder den nicht nachgewiesenen, aber geologisch möglichen Vorräten, erhöht sich die Reichdauer erheblich. Die Gewinnung dieser Ressourcen führt jedoch in jedem Falle zu einer deutlichen Erhöhung der Kosten. Ein Beispiel: Während die Förderkosten konventioneller Öle derzeit zwischen 10 und 40 Dollar je Barrel liegen, ist bei Ölsanden und Ölschiefer von Förderkosten von bis zu 100 Dollar je Barrel auszugehen [5].

Energieeinsparpotenzial

Aus dem Energieflussbild für Deutschland (Bild 4) ergibt sich eine erste Aufschlüsselung der Verbraucher für 2016. Es zeigt sich dabei insbesondere auch die Importabhängigkeit Deutschlands im Hinblick auf die Versorgungssicherheit.

Der Endenergieverbrauch in Deutschland für 2015 lässt sich entsprechend Bild 5 differenzieren.

Einen hohen Anteil am Endenergieverbrauch haben die Haushalte, ganz besonders der Bereich Raumwärme sowie Warmwasserversorgung (Bild 6). Vorsichtige Schätzungen gehen von einem wirtschaftlich realisierbaren Einsparpotenzial für den Sektor private Haushalte – insbesondere im Gebäudebestand – von bis zu 40 % aus [6].

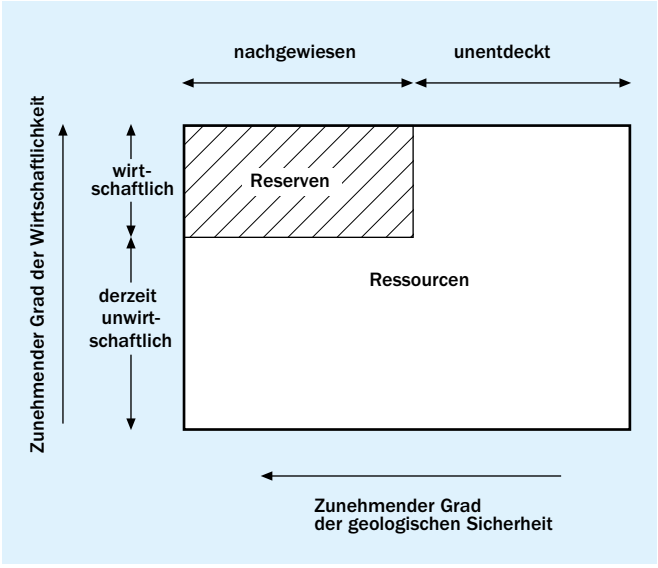
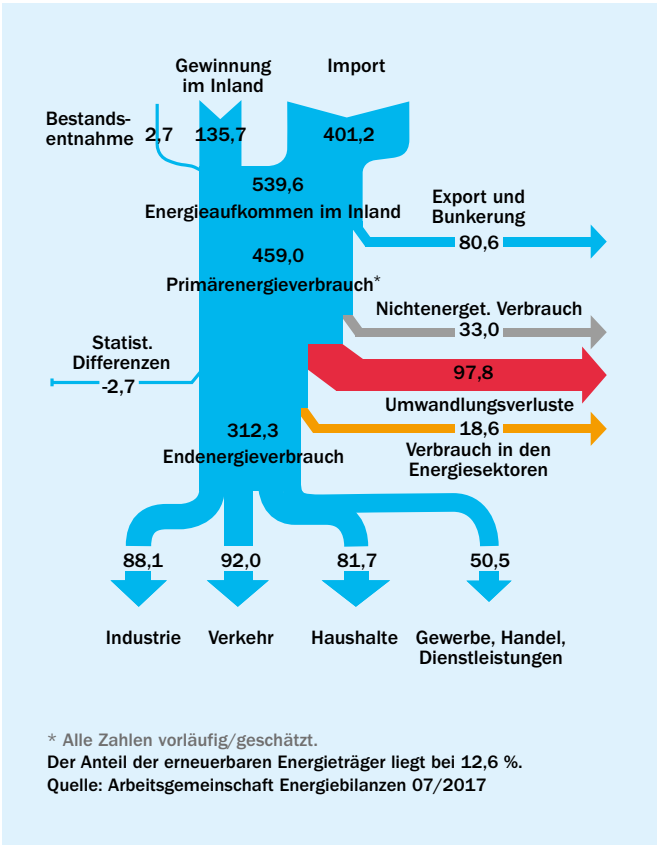


Bild 3 Reserven und Ressourcen [7]



* Alle Zahlen vorläufig/geschätzt.
Der Anteil der erneuerbaren Energieträger liegt bei 12,6 %.
Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 07/2017

Bild 4 Energieflussbild 2016 für Deutschland in Mio. t SKE (Steinkohleeinheiten) [8]

1.2.2 Klimaschutz

Auf dem 21. Klimagipfel wurde das Paris-Abkommen beschlossen, das die weltweiten Klimaschutzziele nach Auslaufen des Kyoto-Protokolls im Jahr 2020 regeln soll. Hier haben sich die Vertragsstaaten darauf geeinigt, ihre Minderungsverpflichtungen in nationalen Klimaschutzplänen zu formulieren, im Fünf-Jahres-Rhythmus ihre Prognosen zu verifizieren und ggf. Anpassungen in ihrer nationalen Klimaschutzpolitik vorzunehmen [9].

Die EU hat sich in diesem Zusammenhang ehrgeizige Klimaschutzziele gesetzt. So sollen europaweit die CO_2-Emissionen bis zum Jahr 2030 um mindestens 40 % und bis zum Jahr 2050 um 80 bis 95 % gegenüber 1990 gemindert werden [10]. In Anlehnung daran hat sich Deutschland als mittelfristiges Ziel eine CO_2-Minderung von mindestens 55 % bis 2030 bzw. mindestens 70 % bis 2040 gegenüber dem Niveau vom Jahr 1990 auferlegt, um zur Erfüllung der europäischen Klimaschutzziele einen erheblichen Beitrag zu leisten [10].

Vergleicht man die Entwicklung der energiebedingten CO_2-Emissionen ausgewählter Länder bezogen auf das Jahr 1990, zeigt sich im internationalen Vergleich trotz Wirtschaftswachstum eine deutliche Reduktion der CO_2-Emissionen in Deutschland (Bild 7). In den Bereichen Wohngebäude und Verkehr ist jedoch ein Anstieg der CO_2-Emissionen im Vergleich zum Ausgangsjahr 1990 zu verzeichnen. Dies ist bei Wohngebäuden auf den Zuwachs an zu beheizender Fläche und beim Verkehr auf den höheren PKW-Bestand zurückzuführen (Bild 8).

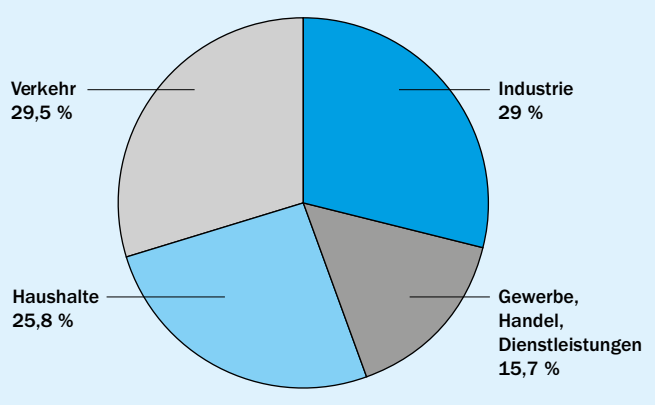


Bild 5 Endenergieverbraucher 2015 [11]

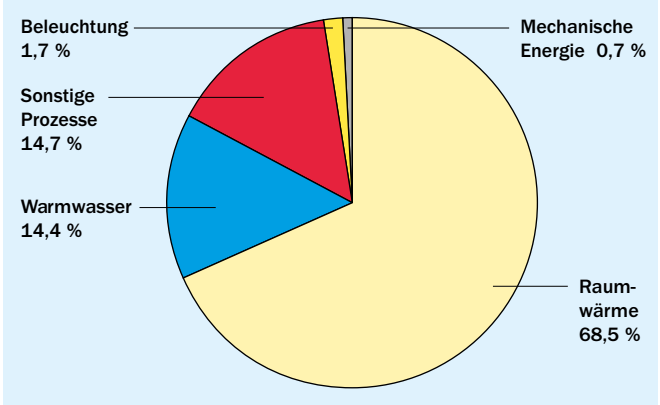


Bild 6 Anteile der Anwendungsbereiche des Endenergieverbrauchs im Haushalt 2015 [15]

1.2.3 Politische Rahmenbedingungen

Die energetischen Anforderungen an Gebäude werden mit der Energieeinsparverordnung EnEV fortschreitend dem Stand der Technik und der Energiepreisentwicklung angepasst. Ab 2020 soll die Wärmeversorgung von Neubauten weitgehend unabhängig von fossilen Energieträgern sein [12].

So wurde beispielsweise die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2016 im Vergleich zur EnEV 2014 um durchschnittlich 25 % verschärft. Weitere Reduzierungen sind im Rahmen des wirtschaftlich Vertretbaren mit folgenden Eckpunkten geplant: Nach dem derzeitigen Stand der Diskussion sollen das Energieeinsparungsgesetz (EnEG), die Energieeinsparverordnung (EnEV) und das Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) im GebäudeEnergienGesetz GEG 2018 zusammengefasst werden. Dazu gibt es derzeit einen noch nicht verabschiedeten Entwurf, in dem neu zu errichtende Gebäude der öffentlichen Hand ab 2019 und neu zu errichtende Gebäude der Privatwirtschaft ab 2021 den energetischen Standard eines Niedrigstenergie-Hauses aufweisen sollen [13]. Diese Forderung basiert auch auf der EU-Gebäuderichtlinie von 2010, die vorgibt, dass neu zu errichtende Gebäude ab dem Jahr 2020 den energetischen Standard von Niedrigst- oder Nahezu-Null-Energie-Häusern aufweisen sollen.

Die Novellierung der Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (kurz EU-Gebäuderichtlinie) sieht mit ihrer „langfristigen Renovierungsstrategie“ vor, bis zum Jahr 2050 die CO_2-Emissionen auch für den Gebäudebestand deutlich zu reduzieren [14].

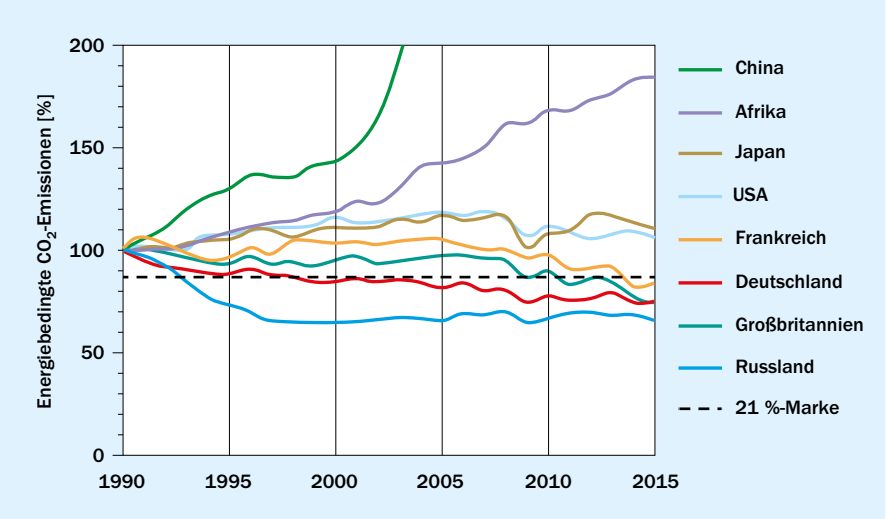


Bild 7 Entwicklung der energiebedingten CO_2-Emissionen im Vergleich zum Ausgangsjahr 1990 [16]

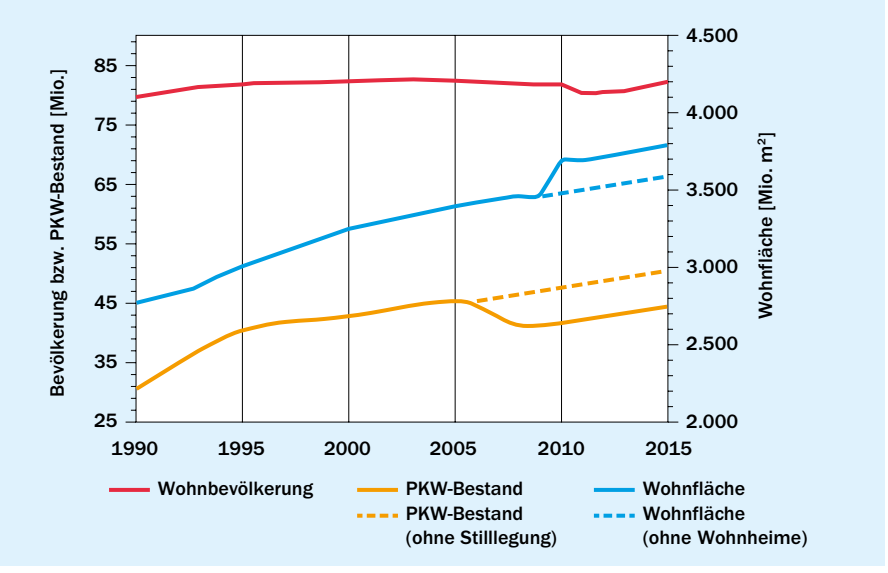


Bild 8 Zunahme der zu beheizenden Wohnfläche sowie des PKW-Bestands in Deutschland [17, 18, 19]

1.3 Dimensionen der Nachhaltigkeit

Die Nachhaltigkeit setzt sich aus den drei klassischen Dimensionen zusammen (Bild 9):

- Ökonomie,
- Ökologie und
- Sozio-Kulturelles.

Dabei sind die drei Dimensionen als gleichwertig zu betrachten. Kaum ein anderer Bereich macht die Wechselbeziehungen zwischen den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit derart deutlich, wie der Bereich Bauen und Wohnen.

INFO

Bei der Bewertung der Nachhaltigkeit sind die drei Dimensionen Ökonomie, Ökologie und Sozio-Kulturelles immer als gleichwertig zu betrachten.

Bereits im Jahr 2001 wurde der Leitfaden Nachhaltiges Bauen durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) für die Bauvorhaben im Verantwortungsbereich des BMVBS verbindlich eingeführt. Auf Initiative der Deutschen Bauindustrie wurde der Runde Tisch Nachhaltiges Bauen eingerichtet, der durch das BMUB (ehemals BMVBS) moderiert wird und bei dem es in regelmäßigen Sitzungen zum fachlichen Austausch seiner Mitglieder kommt. In den Jahren 2011, 2013 und 2015 wurde der Leitfaden Nachhaltiges Bauen mit Neuauflagen fortgeschrieben [20]. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung BMVBS (heute das BMUB) hat in einer zweijährigen Zusammenarbeit mit der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. (DGNB) einen ersten Kriterienkatalog zur ganzheitlichen Betrachtung und Bewertung von Nachhaltigkeitsaspekten für Gebäude entwickelt. Die Steckbriefe und Indikatoren werden in regelmäßigen Abständen konsolidiert, um so einen aktuellen Stand der Technik für die Nachhaltigkeitsbewertung abzubilden. Mit Einführung des Leitfadens von 2011 wurde für den Neubau von Bundesbaumaßnahmen das „Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Büro- und Verwaltungsgebäude BNB“ verbindlich eingeführt. Bei der Anwendung des BNB gilt es, die im Leitfaden Nachhaltiges Bauen gestellten Anforderungen einzuhalten.

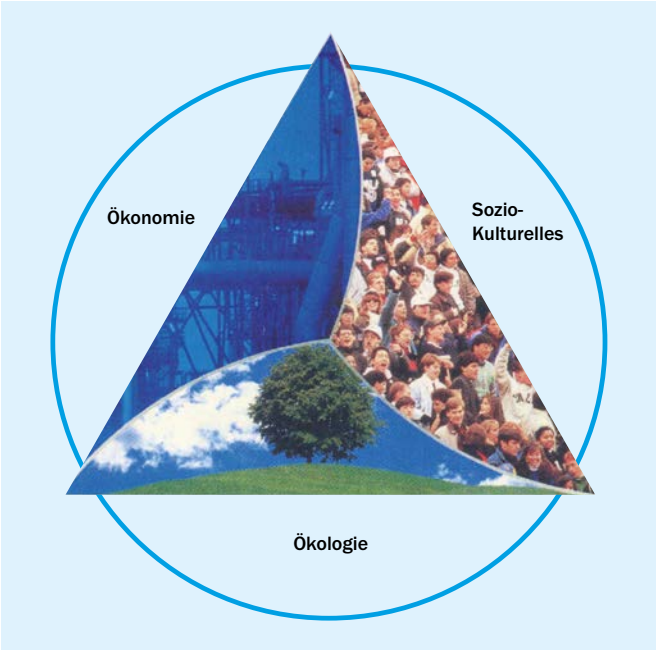


Bild 9 Dimensionen der Nachhaltigkeit [1]

1.4 Schutzziele und Indikatoren

Die Schutzziele des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen lassen sich mit folgenden Indikatoren beschreiben [21]:

1.4.1 Ökologische Qualität

Wirkungen auf die globale und lokale Umwelt

- Treibhauspotenzial (Global Warming Potential – GWP) zur Beschreibung des Beitrags von Emissionen zur Erwärmung der bodennahen Luftschichten (Klimawandel)
- Ozonschichtabbaupotenzial (Ozone Depletion Potential – ODP) zur Beschreibung der Bildung des Ozonlochs
- Ozonbildungspotenzial (Photochemical Ozone Creation Potential – POCP) zur Beschreibung der bodennahen Ozonbildung (Sommersmog)
- Versauerungspotenzial (Acidification Potential – AP) zur Beschreibung des Einflusses von saurem Regen (Waldsterben)
- Überdüngungspotenzial (Eutrofication Potential – EP) zur Beschreibung der Überdüngung von Böden und Gewässern
- Risiken für die lokale Umwelt (Grundwasser, Oberflächenwasser, Boden, Luft)
- Nachhaltige Materialgewinnung und Biodiversität, z.B. zur Sicherstellung einer nachhaltigen Gewinnung tropischer Hölzer

Ressourceninanspruchnahme

- Primärenergiebedarf (PE) zur weiteren Reduzierung des Primärenergieverbrauchs bei gleichzeitiger Entkopplung vom Wirtschaftswachstum, Senkung des Gesamtprimärenergiebedarfs bei gleichzeitiger Erhöhung des Anteils an erneuerbarer Primärenergie
- Trinkwasserbedarf und Abwasseraufkommen mit dem Ziel der Minimierung des Trinkwasserbedarfs durch effiziente Wassereinsparungstechniken und -maßnahmen
- Flächeninanspruchnahme im Hinblick auf die Minimierung der Landschaftszersiedlung sowie zusätzlicher Bodenversiegelung

1.4.2 Ökonomische Qualität

Lebenszykluskosten

- Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus zur Minimierung der Lebenszykluskosten (für Erstellung, ausgewählte Nutzungskosten, Instandhaltung, Wartung, etc.)

Wirtschaftlichkeit und Wertstabilität

- Flächeneffizienz zur Einschränkung der Inanspruchnahme neuer Flächen und Steigerung der effizienten Nutzung bereits versiegelter Flächen
- Anpassungsfähigkeit zur Aufrechterhaltung der Nutzbarkeit und Flexibilität hinsichtlich möglicher Umnutzungen

1.4.3 Soziokulturelle Qualität

Gesundheit, Behaglichkeit und Nutzerzufriedenheit

- Thermischer Komfort als Grundlage für effizientes und leistungsförderndes Arbeiten sowohl in der Winter- als auch in der Sommerperiode
- Innenraumlufthygiene zur Sicherstellung einer guten Innenraumluftqualität, z.B. in Bezug auf flüchtige organische Verbindungen, Formaldehyd sowie den CO_2-Gehalt
- Akustischer Komfort zur Sicherstellung eines geringen resultierenden Stör- und Fremdgeräuschpegels sowie der Sprachverständlichkeit in Räumen
- Visueller Komfort als Grundlage für effizientes und leistungsförderndes Arbeiten einschließlich einer ausreichenden und störungsfreien Beleuchtung sowie Reduktion des Energiebedarf für künstliche Beleuchtung
- Einflussnahmemöglichkeiten durch Nutzer zur Erhöhung der Behaglichkeit, Nutzerzufriedenheit und Akzeptanz des Raumklimas
- Aufenthaltsqualitäten zur Schaffung von individuellen Kommunikations-, Ausweichs- und Rückzugsmöglichkeiten für unterschiedliche Nutzergruppen und -bedürfnisse
- Sicherheit zur Erhöhung des subjektiven Sicherheitsgefühls beim Nutzer

Funktionalität

- Barrierefreiheit mit dem Ziel der uneingeschränkten Nutzbarkeit eines Gebäudes für alle Menschen
- Zugänglichkeit zur Erhöhung der Integration und Akzeptanz eines öffentlichen Gebäude in der Gemeinschaft
- Mobilitätsinfrastruktur mit dem Ziel der Unterstützung und besseren Vernetzung verschiedener Verkehrsträger und somit Verminderung von CO_2-Emissionen



Sicherung der Gestaltungsqualität

- Gestalterische und städtebauliche Qualität durch die Vergabe von Planungsleistungen über architektonischen Wettbewerb
- Kunst am Bau zur Stärkung der baukulturellen Verantwortung und Vorbildfunktion von öffentlichen Bauherren

Neben den drei klassischen Dimensionen der Nachhaltigkeit werden für den Bereich des nachhaltigen Bauens die technische Qualität sowie die Prozessqualität hervorgehoben. Die Standortmerkmale werden separat ausgewiesen und gehen beim BNB-System nicht in die Gesamtbewertung des Gebäudes mit ein, sondern gelten vielmehr als zusätzliche informative Nachhaltigkeitsmerkmale.

1.4.4 Technische Qualität

Technische Ausführung

- Schallschutz zur Sicherstellung der Vertraulichkeit zu benachbarten Wohnungen und einer hohen akustischen Behaglichkeit
- Wärme- und Tauwasserschutz zur Minimierung des Wärmebedarfs, bei Sicherstellung einer hohen thermischen Behaglichkeit und Vermeidung von Bauschäden
- Reinigung und Instandhaltungsfreundlichkeit des Baukörpers zur Reduktion der Lebenszykluskosten und zur Erhöhung der technischen Lebensdauer
- Rückbau, Trennung und Verwertung zur Einsparung von Deponieraum, wertvollen Rohstoffen und Energiebedarf im Herstellungsprozess
- Widerstandsfähigkeit gegen Naturgefahren zur Abschätzung und Adaption der Widerstandsfähigkeit von Gebäuden gegenüber in der Natur vorkommenden Extremwetterereignissen
- Bedienungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit der TGA zur Verringerung des Instandhaltungsaufwands und der Beeinträchtigung der Nutzer

1.4.5 Prozessqualität

Planung

- Projektvorbereitung
- Integrale Planung
- Komplexität und Optimierung der Planung
- Ausschreibung und Vergabe
- Voraussetzungen für eine optimale Bewirtschaftung

Bauausführung

- Baustelle/Bauprozess
- Qualitätssicherung der Bauausführung
- Systematische Inbetriebnahme

1.4.6 Standortmerkmale

- Risiken am Mikrostandort durch von Menschen induzierte Katastrophen und natürliche Gefahren
- Verhältnisse am Mikrostandort zur Begrenzung von Verkehrslärm und anderen Umwelteinwirkungen (Feinstaub, ozonbildende Stickoxide und andere Emissionen)
- Quartiersmerkmale zur Erhöhung des Images eines Standorts und zur Minimierung von Synergie- und Konfliktpotenzialen
- Verkehrsanbindung zur Berücksichtigung der Erreichbarkeit für die Objekt-Nutzer sowie der Anbindung der Objekt-Nutzer an das Umfeld, z.B. durch öffentlichen Personennahverkehr
- Nähe zu nutzungsrelevanten Einrichtungen der Nahversorgung, Gastronomie und anderen anliegenden Medien
- Anliegende Medien/Erschließung

Diese Indikatoren bilden die Grundlage des BNB. Mit dem BNB stellt das BMUB für alle interessierten Kreise eine Methode zur Bewertung von Büro- und Verwaltungsbauten frei zur Verfügung. Die Bewertungsmethodik wurde auch auf Gebäude anderer Nutzungsszenarien übertragen, indem Kriteriensteckbriefe und Bewertungsmaßstäbe an die jeweilige Nutzungsart angepasst wurden. Somit ist eine Bewertung nach BNB inzwischen auch für Wohn-, Unterrichts- und Laborgebäude sowie für Außenanlagen möglich. Für die Bewertung nach dem BNB-Prinzip wird das Gebäude unabhängig vom Nutzungsszenario im Hinblick auf die Ökonomie und die Ökologie über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren bewertet [21].

Die Qualitäten der Ökologie, der Ökonomie, des Soziokulturellen sowie der technischen Qualität werden jeweils mit einem Anteil von 22,5 % und die Prozessqualität mit einem Anteil von 10 % in der Gesamtbewertung berücksichtigt. Die Standortqualität wird lediglich zur Information mitgeführt, ohne in die Bewertung einzufließen. Auf der Grundlage des daraus resultierenden Gesamterfüllungsgrads kann dann ein Gebäude gemäß BNB zertifiziert werden. Ab einem Erfüllungsgrad von 80 % wird das Zertifikat Gold, ab 65 % Silber und ab 50 % Bronze erreicht. Diese Aggregation auf einen Einzahlwert ist politisch gewollt, wissenschaftlich jedoch derzeit nicht begründbar [21].

1.5 Lebenszyklusbetrachtung

Jedes Bauen, jedes Betreiben eines Gebäudes greift in die Dimension der Nachhaltigkeit ein. Somit ergeben sich folgende Fragen:

- Welche Bauten sind nachhaltig?
- Wie kann eine Bewertung objektiviert werden?

Zur Objektivierung einer Bewertung müssen insbesondere die ökonomischen und ökologischen Einflussfaktoren über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes von der Wiege bis zur Bahre (cradle to grave) erfasst werden (Bild 10).

Die Zielsetzung ist es, die Lebenszyklusaufwendungen – seien sie ökonomischer oder ökologischer Natur – zu minimieren. Insbesondere durch die Senkung der Lebenszykluskosten bietet sich die Chance, ggf. höhere Investitions- oder Planungskosten durch Einsparungen bei den Betriebskosten refinanzieren zu können (Win-Win-Situation). Die Einbeziehung der Lebenszyklusbetrachtung ist als eine neue Stufe der Qualität des Bauens zu sehen.

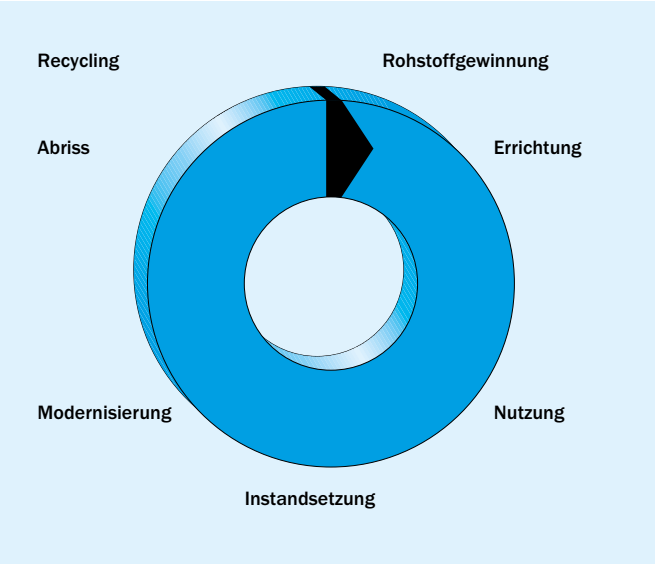


Bild 10 Lebenszyklus [22]

2. Planungsphase

In der Planungsphase kommen der ökonomischen Lebenszyklusbetrachtung (Life-Cycle-Costing – LCC) und der ökologischen Lebenszyklusbewertung (Life-Cycle-Assessment – LCA) besondere Bedeutung zu. Ziel ist es, die Aufwendungen und Wirkungen des Gebäudes über seine gesamte Nutzungsdauer zu minimieren.

2.1 Ökonomische Lebenszyklusanalyse

2.1.1 Eingangswerte

Bei der ökonomischen Lebenszyklusanalyse werden die Investitionskosten, die nach DIN 276 in Kostengruppen zusammengefasst werden (Tafel 1), sowie die Baunutzungskosten nach DIN 18960 ermittelt (Tafel 2).

Mit zunehmender Planungstiefe werden die Investitionskosten von einer Kostenschätzung über eine Kostenberechnung sowie einen Kostenanschlag bis zur Kostenfeststellung berechnet. Für die Investitionskostenermittlung liegen bereits für die frühe Planungsphase langjährige Erfahrungen sowie umfangreiche Instrumente und Tabellenwerke vor, um diese mit relativ hoher Genauigkeit und Sicherheit ermitteln zu können. Auf der Grundlage des Endenergiebedarfs eines Gebäudes und den Angaben im Steckbrief 2.1.1 „Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus“ des BNB für die verschiedenen Energieträger können die Energiekosten in der Betriebsphase eines Gebäudes bestimmt werden. Des Weiteren können anhand der Nutzungsdauern von Bauteilen, die seitens des BMUB veröffentlicht sind (www.nachhaltigesbauen.de), die Instandsetzungszeitpunkte und -kosten ermittelt werden. Für die Berechnung des Kapital- bzw. Barwerts enthält der Steckbrief 2.1.1 vorgegebene Preissteigerungsraten und den anzusetzenden Kalkulationszinssatz.

Tafel 1 **Investitionskosten nach Kostengruppen der DIN 276-1: 2008-12-00**

Kostengruppe		Zu berücksichtigen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)
100	Grundstück	✘
200	Herrichten und Erschließen	✘
300	Bauwerk, Baukonstruktionen	✔
400	Bauwerk, Technische Anlagen	✔
500	Außenanlagen	✔ teilweise
600	Ausstattung und Kunstwerke	✘
700	Baunebenkosten	✘

2.1.2 Verfahren

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Investitions- und Baunutzungskosten stehen die Kapital-(Barwert)-Methode sowie das Annuitätsverfahren zur Verfügung. Bei der Kapital-Barwert-Methode werden Zahlungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten unter Berücksichtigung der Verzinsung auf einen bestimmten Zeitpunkt auf- oder abgezinst. Bei dem Annuitätsverfahren werden die in unterschiedlichen Perioden anfallenden Zahlungen mit Hilfe des Annuitätenfaktors in eine durchschnittliche Zahlung transformiert.

2.1.3 Ergebnisse

In Bild 11 ist beispielhaft die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einer Außenwandkonstruktion aus Kalksandstein-Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem (Polystyrol-Hartschaum, Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(m·K)) bei Variationen der Wärmedämmstoffdicke dargestellt. Dabei wurden drei Szenarien der Endenergiekosten (Wärmegestehungskosten 0,02 €/kWh,

Tafel 2 **Baunutzungskosten nach DIN 18960: 2008-02-00**

Nutzungskostengruppe			Zu berücksichtigen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)
100	**Kapitalkosten**	110 Fremdmittel	✘
		120 Eigenmittel	✘
		130 Abschreibung	✘
		190 Sonstiges	✘
200	**Objektmanagementkosten**	210 Personalkosten	✘
		220 Sachkosten	✘
		230 Fremdleistungen	✘
		290 Sonstiges	✘
300	**Betriebskosten**	310 Versorgung	✔
		320 Abwasser und Wasser	✔
		330 Gebäudereinigung	✔
		330 Reinigung von Außenanlagen	✘
		350 Bedienung, Wartung und Inspektion	✔
		360 Sicherheits- und Überwachungsdienste	✘
		370 Abgaben und Beiträge	✘
		390 Sonstiges	✘
400	**Instandsetzungskosten**	410 Instandsetzung der Baukonstruktionen	✔
		420 Instandsetzung der Technischen Anlagen	✔
		430 Instandsetzung der Außenanlagen	✘
		440 Instandsetzung der Ausstattung	✘
		490 Sonstiges	✘

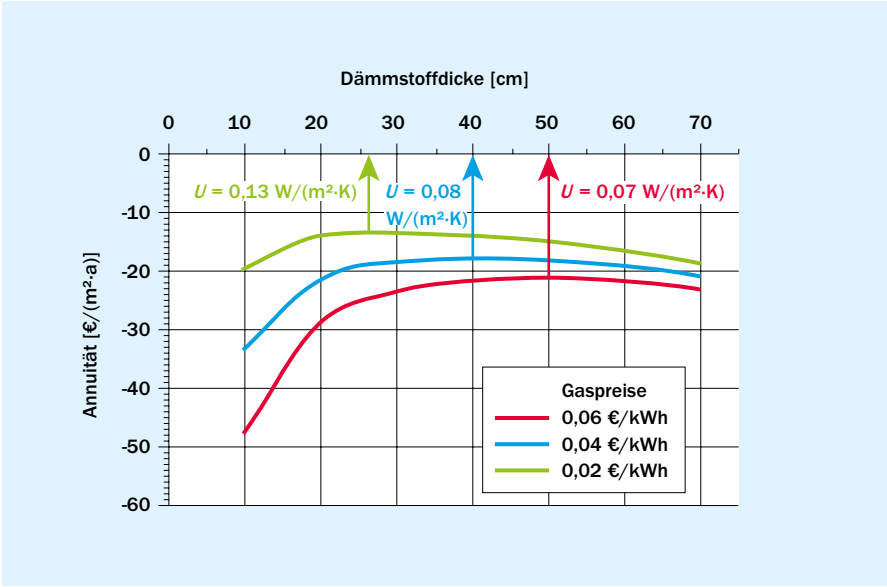


Bild 11 **Bestimmung der optimalen Dämmstoffdicke eines WDVS auf KS-Mauerwerk in Abhängigkeit ökonomischer Gesichtspunkte (Annuitätsverfahren)**

0,04 €/kWh und 0,06 €/kWh) unter Annahme einer Heizenergieversorgung mit einem verbesserten Gas-Brennwertkessel (Standort Berlin) dargestellt.

Bei der Barwertberechnung wurden die Investitionskosten für die Herstellung und Instandsetzung sowie die Betriebskosten unter Berücksichtigung des zeitlichen Anfalls für einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren berücksichtigt. Als Kalkulationszinssatz wurde 1,5 %, als Preissteigerung für die Energie 7,0 % angesetzt. Das Maximum des in Bild 11 dargestellten annuitätischen Gewinns zeigt die optimale Wärmedämmstoffdicke an. Hervorzuheben ist, dass der Kurvenverlauf des annuitätischen Gewinns im Bereich des Maximums einen sehr flachen Verlauf hat.

INFO

Eine maßvolle Erhöhung der Wärmedämmstoffdicke über das Optimum hinaus führt lediglich zu einer geringfügigen Änderung der Annuität. Im Hinblick auf die Unsicherheit der Energiekostenpreisentwicklung bieten somit höhere Wärmedämmstoffdicken zusätzliche Sicherheit.

2.1.4 Lebensdauer, Nutzungsdauer, Betrachtungszeitraum

Dem Ansatz der Lebens- bzw. Nutzungsdauer kommt im Rahmen einer Lebenszyklusbewertung besondere Bedeutung zu. Dabei ist zwischen der technischen und wirtschaftlichen Lebensdauer, der Nutzungsdauer und dem Betrachtungszeitraum zu differenzieren.

Unter dem Betrachtungszeitraum versteht man den Ansatz der Nutzungsdauer des Gesamtgebäudes im Rahmen der Lebenszyklusbetrachtung. Dabei können für Gebäude unterschiedlicher Nutzung die Ansätze nach Tafel 3 und Tafel 4 zugrunde gelegt werden. Für eine Bewertung nach BNB ist jedoch für das zu zertifizierende Gebäude ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren vorgeschrieben. Dieser Ansatz wird in Fachkreisen kritisch gesehen und führt auch nach Jahren der Bewertungs-Praxis immer wieder zu Diskussionen. Zum einen werden Hochbauten selten für lediglich 50 Jahre errichtet, zum anderen werden langlebige Konstruktionen beim Ansatz kurzer Betrachtungszeiträume benachteiligt, da die Vorteilhaftigkeit der langen Standzeit des Gebäudes oder auch der langlebigen Baukonstruktionen nach 50 Jahren abgeschnitten wird. Eine Studie der Technischen Universität Berlin hat ergeben, dass die Berücksichtigung eines „Ökologischen Restwerts“ oder aber der Ansatz eines 80- oder 100-jährigen Betrachtungszeitraums diesem Umstand Abhilfe schaffen könnte [23].

In [20] sind darüber hinaus Angaben zur technischen Lebensdauer von Baukonstruktionen nach dem Ordnungsprinzip der DIN 276 angegeben. Dabei wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die tatsächliche Lebensdauer der Bauteile oder Bauteilschichten vor allem von den Bauteileigenschaften, der Ausführungsqualität, der konkreten Beanspruchung und den Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen beeinflusst wird. Die technische Lebensdauer ist deshalb in der angegebenen Spanne unter Berücksichtigung folgender Einflussgrößen sinnvoll abzuschätzen:

- Materialqualität
- Komplexität des Bauteils
- Ausführungsqualität
- Anforderungen an das handwerkliche Geschick
- Exposition (Klima, Umwelt etc.)
- Nutzungsintensität
- Inspektions- und Wartungsintervalle
- Reparaturfreundlichkeit
- Nutzungsflexibilität
- Technischer Fortschritt
- Ästhetischer Verschleiß

Als Beispiel für ästhetischen Verschleiß sind Fliesenbeläge und Sanitärobjekte zu nennen, deren technische Lebensdauer durchaus 100 Jahre betragen kann, die aber bereits deutlich früher – aufgrund des sich ändernden Geschmacks – einen Austausch erfahren können.

Tafel 3 Nutzungsdauer von Gebäuden nach [24] bzw. [20] (Bundesbauten)

Nutzungsart	Gesamtnutzungsdauer [a]
Wohnen	60
Verwaltung	50
Gewerbe	40
Industrie	20
Forschung	30
Lehre und Ausbildung	40
Bundesbauten	100

Tafel 4 Nutzungsdauer von anderen Gebäuden nach [24]

Bauweise	Gesamtnutzungsdauer [a] bei		
	geringem Installationsgrad	mittlerem Installationsgrad	hohem Installationsgrad
Massiv	60	50	40
Gemischt	50	40	30
Leicht	40	30	20

Kalksandsteine erfüllen seit mehr als 100 Jahren alle konstruktiven Anforderungen – sei es z.B. als dauerhafte Steine für ein Grundmauerwerk oder im Tunnelbau – auch wenn sie unter Dauerfeuchte stehen. Sie erfüllen ihre Funktion als Verblender bei häufigem Frost-Tau-Wechsel genauso wie bei landwirtschaftlichen Bauten mit einer Beanspruchung aus der Tierhaltung. Durch eine turnusmäßige Instandhaltung von klimatisch oder anderweitig beanspruchten KS-Sichtflächen durch Beschichtungen o.Ä. lässt sich die Lebensdauer noch weiter erhöhen. Mauerwerkswände aus Kalksandstein erreichen somit eine sehr hohe Lebensdauer, die die Gesamtnutzungsdauer von Gebäuden weit übersteigt. In [20] wird für Wärmedämm-Verbundsysteme von einer technischen Lebensdauer von 40 Jahren ausgegangen. Andere Literaturstellen [25, 26] wiederum geben die Lebensdauer mit 40 bzw. 60 Jahren an. Dies deckt sich auch mit Erfahrungen aus der Praxis.

2.2 Ökologische Lebenszyklusbewertung

2.2.1 Verfahren

Die ökologische Lebenszyklusbewertung – auch Ökobilanz genannt – stellt eine Abschätzung der mit einem Produkt verbundenen Umweltaspekte und der produktspezifischen potenziellen Umwelteinwirkungen dar. Eine Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 ff. [27] gliedert sich in folgende Schritte:

- Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens (Systemgrenzen)
- Sachbilanz von relevanten In- und Output-Strömen eines Produktsystems
- Wirkungsabschätzung zur Beurteilung der mit diesen In- und Outputs verbundenen potenziellen Umweltwirkungen
- Auswertung der Ergebnisse der Wirkungsabschätzung hinsichtlich der Zielstellung

Zunächst ist die Zielsetzung zu formulieren. Eine Lebenszyklusbewertung im Sinne eines Baustoffrankings, bei dem ein Kilogramm oder ein Kubikmeter des einen Stoffes mit einem anderen Stoff verglichen wird, greift zu kurz. Wie bereits beschrieben, spielt insbesondere die technische Lebensdauer bzw. Nutzungsdauer eine maßgebende Rolle. Deshalb kann frühestens auf Baukonstruktionsebene ein sinnvoller erster Variantenvergleich erfolgen. Eine technische Gleichwertigkeit der untersuchten Konstruktionen – z.B. im Hinblick auf Wärme-, Brand- oder Schallschutz – ist eine weitere wichtige Voraussetzung. Bei einer ökologischen Lebenszyklusbewertung sollte der Variantenvergleich auf Gebäudeebene erfolgen, da viele Einflussfaktoren – z.B. der Reinigungsaufwand, Energieeffizienz oder der Wasserbedarf bzw. das Abwasseraufkommen – nicht allein von einer Baukonstruktion abhängig sind und erst auf Gebäudeebene berücksichtigt werden können.

Als Systemgrenze ist das Gesamtgebäude festzulegen. Darüber hinaus müssen Abschneidekriterien definiert werden, um zu einer einheitlichen Bewertung zu kommen. Hier können beispielsweise Stoffströme unberücksichtigt bleiben, wenn der Einfluss auf die Sachbilanz kleiner als 1 % der gesamten Masse des Gebäudes ist [28].

Bei einer Sachbilanz werden sämtliche In- und Outputströme aus allen Prozessketten von der Rohstoffgewinnung bis zur Fertigstellung des Produkts – also von der Wiege bis zum Werkstor (cradle to gate) – erfasst. Bei der Wirkungsabschätzung wird die Wirkung verschiedener Substanzen bezüglich eines Wirkungsindikators durch einen gewichteten Summenwert bestimmt. So werden alle Substanzen, die z.B. eine Auswirkung auf den Treibhauseffekt zur Folge haben, mithilfe der so genannten Äquivalenzziffer in die Leitsubstanz Kohlendioxid (CO_2) übertragen. Das Treibhauspotenzial (GWP) umfasst demnach alle am Treibhauseffekt beteiligten Treibhausgase und wird als CO_2-Äquivalent angegeben. Dabei errechnet sich das CO_2-Äquivalent wie folgt:

$$GWP = \sum_i (m_i \cdot GWP_i) \qquad (2.1)$$

Der Faktor GWP_i gibt an, um wie viel höher oder niedriger die Auswirkung eines Stoffes mit der Masse m_i im Vergleich zur Leitsubstanz CO_2 hinsichtlich des Treibhauseffektes ist.

2.2.2 Eingangswerte

Die Wirkungsabschätzungen unterschiedlicher Bauprodukte werden in den Umweltproduktdeklarationen (engl. Environmental Product Declaration EPD) unter Ansatz einheitlicher Systemgrenzen ermittelt. Die Kalksandsteinindustrie hat als einer der ersten Hersteller für Bauprodukte bereits Mitte der 1990er Jahre beispielhaft gehandelt, indem die Anfertigung einer Ökobilanz für den Baustoff Kalksandstein vorangetrieben wurde [29]. Andere Bauproduktehersteller zogen nach, und zum heutigen Zeitpunkt ist die Ökobilanz aus der Bereitstellung von Informationsgrundlagen von Baustoffen und -materialien durch den Hersteller nicht mehr wegzudenken. Der Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. stellt für sein Produkt eine Umweltkennzeichnung vom Typ III zur Verfügung [30].

2.2.3 Ergebnisse

Beispielhaft erfolgt in Bild 12 die Bestimmung der optimalen Wärmedämmstoffdicke einer Kalksandstein-Außenwand im Hinblick auf die Minimierung des Primärenergiebedarfs (Primary Energy PE), des Treibhauspotenzials (Global Warming Potential GWP) sowie des Versauerungspotenzials (Acidification Potential AP). Dabei sind die Aufwendungen und Wirkungen aus der Rohstoffgewinnung bis zur Errichtung und die Instandsetzung der Konstruktion sowie der Energiebedarf in der Nutzungsphase infolge von Transmissionswärmeverlusten durch die Außenwandkonstruktion berücksichtigt. Im Vergleich zur ökonomischen Optimierung der Konstruktion zeigt sich, dass beim wirtschaftlichen Optimum (vgl. Bild 11) das ökologische Optimum noch nicht gleichermaßen erreicht wird.

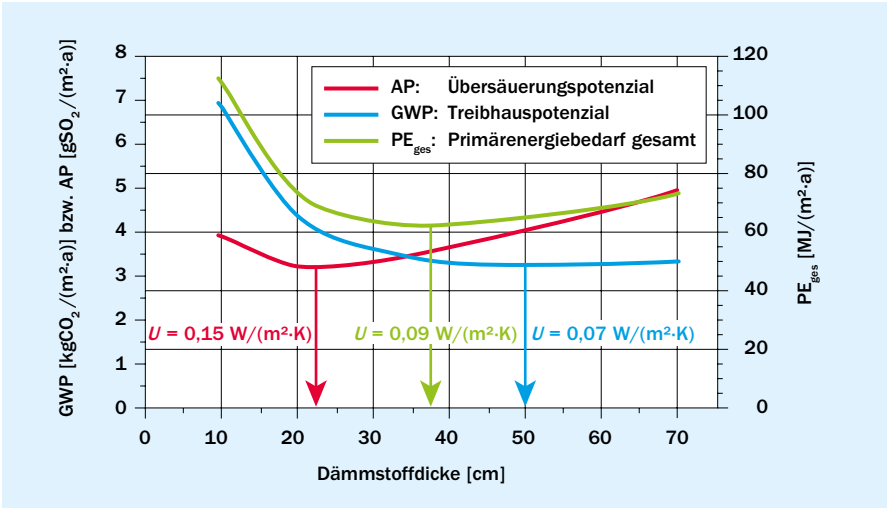


Bild 12 **Bestimmung der optimalen Dämmstoffdicke eines WDVS auf KS-Mauerwerk in Abhängigkeit ökologischer Wirkungskategorien**

INFO

Bei zukünftig steigenden Energiekosten und höheren Wärmedämmstoffdicken zeigen Kalksandsteinwände mit Wärmedämm-Verbundsystemen weiterhin eine ökologisch positive Bilanz.

3. Errichtungsphase

3.1 Rohstoffgewinnung

Kalksandsteine bestehen aus den rein natürlichen Inhaltstoffen Kalk, Sand und Wasser. Es werden keine chemischen Zusätze beigemengt.

Der Sand wird meist in der Nähe des jeweiligen Kalksandsteinwerks gewonnen. Aufgrund des Mischungsverhältnisses von 1:12 (Kalk zu Sand) werden bei der Produktion große Mengen dieses Zuschlagstoffes benötigt. Kurze Transportwege führen somit zu einer sehr günstigen Ökobilanz.

Die Lagerstätten werden nach dem umweltschonenden Abbau der Rohstoffe rekultiviert und stehen zur Nutzung, z.B. als Naherholungsgebiete oder als Biotope für Flora und Fauna, wieder zur Verfügung. Oftmals entstehen nach der Rekultivierung landschaftsschutztechnisch höherwertige Gebiete als vor dem Abbau.

Kalksandsteine enthalten darüber hinaus im Vergleich zu anderen Baustoffen nur sehr geringe Konzentrationen an radioaktiven Isotopen (Tafel 5). Die Strahlenexposition bei mineralischen Baustoffen ergibt sich im Wesentlichen aus unterschiedlichen Konzentrationen von Radionukleiden und deren Folgeprodukten. Dabei spielen die Edelgase Radon und Thoron als Zerfallsprodukte von Radium und Thorium eine Rolle. Alle natürlichen mineralischen Produkte enthalten radioaktive Zerfallsprodukte dieser beiden Radionukleiden und emittieren eine gewisse Strahlungsmenge. Dabei ist die abgesandte Menge auch abhängig vom Porengefüge und Feuchtegehalt des jeweiligen Baustoffes.

INFO

Regelmäßige durchgeführte Messungen vom Bundesamt für Strahlenschutz zeigen, dass Kalksandsteine hinsichtlich ihrer radioaktiven Strahlungsmenge völlig unbedenklich sind.

Ein größeres Problem als die natürliche Radioaktivität der Baustoffe kann die Radonbelastung im Erdboden sein. Radon ist ein natürlich vorkommendes radioaktives Edelgas. Es entsteht beim radioaktiven Zerfall aus Radium. Es kann aus dem Untergrund in Gebäude eindringen und zur Innenraum-Luftbelastung

Tafel 5 Natürliche Radioaktivität von Baustoffen [31]: Kalksandstein ist ein unbedenklicher Baustoff

Baustoff	Konzentration der Radionuklide [Bq/kg]		Exhalationsrate [Bq/(m² · h)]	
	^{226}Ra	^{232}Th	^{222}Rn	^{230}Rn
Natursandstein	10	10	1,0	170
Porphyr	40	22	3,3	150
Kalksandstein	10	15	0,9	90
Ziegel/Klinker	50	15	0,2	30
Naturbims	60	50	1,5	180
Hüttenschlacke	75	20	0,6	110
Stein mit Flugaschezusatz	80	60	1,2	190
Beton	50	10	1,1	70
Gasbeton	20	15	1,0	60
Naturgips	5	15	0,2	30
Chemiegips				
■ Apatit	20	15	0,4	150
■ Phosphorit	260	15	24,1	80
Empfohlener Grenzwert	≤ 130	≤ 130	≤ 5,0	≤ 1.850

führen. Die Radonkonzentration in der Bodenluft ist den geologischen Formationen entsprechend sehr unterschiedlich. Angaben zu regionalen Radonbelastungen können [32] entnommen werden. Bei hoher Radonkonzentration sind präventive Maßnahmen empfehlenswert. Dazu gehören z.B. der Einbau einer durchgehenden Bodenplatte statt der Anordnung von Streifenfundamenten, ein dichtes Kellermauerwerk, ein sorgfältiges Abdichten von Leitungsdurchführungen im Erdreich und eine natürliche oder mechanische Belüftung der Kellerräume.

3.2 Herstellung

Kalksandsteine erweisen sich im Vergleich zu anderen Wandbildnern in ökologischer Hinsicht als besonders günstig. Kalk und Sand werden nach Zugabe von Wasser gepresst und durch Dampfdruck gehärtet. Emissionen entstehen lediglich bei der Dampferzeugung für die Dampfhärtekessel (Autoklaven), die mit einer vergleichsweise niedrigen Temperatur von ca. 200 °C betrieben werden.

INFO

Das Produkt Kalksandstein ist umwelt-neutral und unschädlich für das Grundwasser.

Da in sehr vielen Fällen das emissionsarme Erdgas verwendet wird, sind der Energiebedarf und die damit gekoppelten Emissionen von Luftschadstoffen für die Produktion von Kalksandsteinen gering.

Des Weiteren wurde durch Beregnungsversuche im Rahmen eines Forschungsvorhabens nach [33] festgestellt, dass bei der Auslaugung von Kalksandsteinen stets sehr geringe Konzentrationen an Salzen und Schwermetallen auftreten.

3.3 Transport

Kalksandsteine werden in Deutschland in knapp 80 Produktionsstätten regional hergestellt. Hieraus ergibt sich ein dichtes Netz von Kalksandstein-Werken und damit kurze Transportwege mit Entfernungen von ca. 40 bis 60 km vom jeweiligen KS-Werk. Kurze Transportwege bedeuten geringe Umweltbelastungen sowie niedrige Transportkosten und eine sichere Terminierung der Anlieferung.

3.4 Verarbeitung

Für den modernen Kalksandstein-Mauerwerksbau gibt es vielfältige Rationalisierungsansätze, die auch die Verarbeitung erleichtern. Dazu zählen für das kräfteschonende Mauern von Hand die Griffhilfen, um gesundheitlichen Schäden vorzubeugen, das Nut-Feder-System sowie entsprechende Mörtelschlitten für Dünnbett- und Normalmauermörtel. Die Ausformungen der Kalksandstein-Zweihandsteine erweisen sich als ergonomisch besonders günstig. Durch diese Griffhilfen „hängen“ die Steine an den Fingern.

Kalksandsteine mit einer bauüblichen Feuchte und einem Gewicht von mehr als 25 kg werden entsprechend den Anforderungen der Berufsgenossenschaft mit Versetzgeräten verarbeitet. Hier bieten die Kalksandsteine mit Nut-Feder-System besondere Vorteile, da sie ein passgenaues oberflächenebenes Mauern gewährleisten.

Kalksandsteine werden entweder werkseits passgerecht zugeschnitten oder bauseits durch Knacken oder Nass-Sägen angepasst. Hierdurch wird die Staubentwicklung für den Verarbeiter deutlich reduziert.

Auch beim Anmischen des Mörtels lässt sich die Staubbildung minimieren, indem zunächst das Anmachwasser eingebracht und der Trockenmörtel anschließend beigefügt wird. Näheres ist den Verarbeitungshinweisen der Mörtelanbieter zu entnehmen. Neue Entwicklungen setzen in der Mörteltechnologie gänzlich auf staubarme Produkte.

Für das nachträgliche Bearbeiten, wie z.B. das Anlegen von Kabelkanälen, sind Fräsen mit Staubabsaugung zu verwenden. Darüber hinaus ist auf Kalksandstein-Bausysteme hinzuweisen, die mit einer durchgehenden Lochung für die Elektrokabelverlegung versehen sind.

INFO

Das Kalksandstein-Bausystem erfüllt alle Anforderungen an den Arbeitsschutz.

4. Nutzungsphase

4.1 Minimierung von Energieaufwendungen und Emissionen

Ca. 50 % des Gesamtjahresprimärenergiebedarfs in Deutschland fallen für die Konditionierung von Gebäuden an [21]. Hierzu gehören das Heizen, die Warmwasserversorgung, das Kühlen, die Lüftung sowie die Beleuchtung.

Die diesbezüglichen Energieaufwendungen sowie die damit verbundenen CO_2-Emissionen werden entsprechend der Energieeinsparverordnung (EnEV) für Wohngebäude und für Nichtwohngebäude anhand der jeweils vorgeschriebenen Berechnungsverfahren ermittelt. Die Ergebnisse der Energiebilanz werden mithilfe von Energieausweisen dargestellt.

INFO

Zielsetzung eines Energiekonzepts muss es sein, durch passive baukonstruktive Maßnahmen den Energiebedarf zu reduzieren, um auf aufwändige Anlagentechnik verzichten zu können. Nach dem Erneuerbare-Energie-Wärme-Gesetz EEWärmeG 2011 ist zur Deckung des Heizwärme- bzw. Kühlbedarfs beim Neubau bis zu einem bestimmten Prozentsatz die Nutzung Erneuerbarer Energie vorgeschrieben. Dabei gilt stets das Wirtschaftlichkeitsgebot.

4.1.1 Heizenergiebedarf

Gedämmte Außenwandkonstruktionen aus Kalksandstein sind in besonderem Maße geeignet, alle Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz zu erfüllen. Hierdurch kann der Heizwärmebedarf bis auf einen Passivhausstandard – mit weniger als 15 kWh/(m^2·a) – oder auf einen Nullheizenergie-Standard reduziert werden.

4.1.2 Warmwasserversorgung

Die Unterstützung der Warmwasserversorgung mit solarthermischen Anlagen ist in vielen Fällen wirtschaftlich.

4.1.3 Kühlung

Gebäude aus Kalksandstein-Mauerwerk weisen aufgrund der hohen speicherfähigen Masse bezüglich des sommerlichen Wärmeschutzes besonders günstige Eigenschaften auf. Die Temperaturamplitude im Tag-Nacht-Rhythmus einer Hitzeperiode wird erheblich reduziert. So werden Übertemperaturgradstunden minimiert, und man kann vielfach auf eine Klimatisierung verzichten. Positiv wirkt sich hier eine möglichst effektive Nachtlüftung aus.

4.1.4 Lüftung

Hauptsächlich aus hygienischen Gründen ist ein Mindestluftwechsel bei Hochbauten unbedingt erforderlich. Dieser Mindestluftwechsel kann in Form einer freien oder ventilatorgestützten Lüftung sichergestellt werden.

Eine luftdichte Gebäudehülle ist Grundvoraussetzung, um ungewollte Lüftungswärmeverluste zu vermeiden. Hierzu werden die Anforderungen in der EnEV mit der Begrenzung des Gebäudeluftwechsels n50 auf 2/h bei freier Lüftung und auf 1/h bei Vorhandensein einer raumlufttechnischen Anlage festgelegt.



Ein vollflächiger Innenputz erfüllt die Funktion der Luftdichtheitsebene auch bei Kalksandstein-Mauerwerk ohne Stoßfugenvermörtelung.

INFO

Baukonstruktionen atmen nicht: Die auf dem Wege der Diffusion abführbare Feuchtigkeitsmenge beträgt weniger als ein Hundertstel derjenigen Feuchtemenge, die durch einen Luftwechsel abgeführt werden kann.

Geregelte Außenwandluftdurchlässe (ALD) sorgen für einen Mindestluftwechsel und begrenzen gleichzeitig den Luftvolumenstrom. Ist eine maschinelle Lüftung vorgesehen, sollte im Variantenvergleich der Einsatz von Anlagen mit Wärmerückgewinnung geprüft werden.

4.1.5 Beleuchtung

Die Energieaufwendungen für eine künstliche Beleuchtung können durch eine Optimierung der Tageslichtnutzung minimiert werden. Für eine ausreichende Tageslichtversorgung in die Tiefe des Raums hinein sind insbesondere die oberen Fensterflächen von Bedeutung. Durch die Ausbildung deckengleicher Unterzüge kann auf die Stürze verzichtet werden.

Lichtlenksysteme, automatisch dimmende Regeltechnik oder präsenzabhängige Steuerungstechnik führen darüber hinaus zu einer weiteren Reduzierung des Strombedarfs.

INFO

Lebenszyklusanalysen zeigen: Mit gedämmten Wandkonstruktionen aus Kalksandstein-Mauerwerk lassen sich Energieaufwand und Emissionen minimieren.

4.2 Behaglichkeit

Gebäude müssen den Bedürfnissen ihrer Nutzer entsprechen und sollen ein hohes Maß an Wohlbefinden gewährleisten [20]. Dies ist ein wesentlicher Aspekt der soziokulturellen Dimensi-

on der Nachhaltigkeit. Die Erhaltung der menschlichen Gesundheit und die Behaglichkeit bestimmen in hohem Maße die Leistungsfähigkeit des Menschen.

Dabei können folgende Arten der Behaglichkeit differenziert werden:

- Thermische hygrische Behaglichkeit (Wahrnehmung durch Wärme- und Tastsinn)
  - Temperatur der Raumluft
  - Temperatur der Begrenzungsflächen
  - Luftfeuchte
  - Luftgeschwindigkeit
  - Bekleidung
  - Aktivität
- Akustische Behaglichkeit (Wahrnehmung durch Hörsinn)
- Optische und visuelle Behaglichkeit (Wahrnehmung durch Sehsinn)
  - Beleuchtungsniveau
  - Gleichmäßigkeit der Beleuchtung
  - Farbe
- Olfaktorische Behaglichkeit (Wahrnehmung durch Geruchssinn)
- Psychologische Behaglichkeit
  - Persönliche Bedürfnisse
  - Sichtkontakt mit der Außenwelt
  - Bewegungsmöglichkeit im Raum
  - Alter
  - Gesundheitszustand
  - Gewöhnung und Einstellung zu Situationen
- Motorische Behaglichkeit
  - Bewegung
  - Gleichgewicht
  - Tätigkeit
  - Aktivität
- Haptische Behaglichkeit (Wahrnehmung unter Einbeziehung des Tast-, Wärme- und Sehsinns bei der Beurteilung der Oberflächenwirkung von gegenständlicher Materie)

Im Folgenden sollen die Bereiche der thermisch-hygrischen Behaglichkeit und der akustischen Behaglichkeit vertiefend behandelt werden.

4.2.1 Thermisch-hygrische Behaglichkeit

Der menschliche Körper ist nur begrenzt in der Lage, seine Körpertemperatur unabhängig von den ihn umgebenden Luftzuständen und seiner Muskelaktivität konstant zu halten. Ein völlig entspannter Körper benötigt im Behaglichkeitszustand beim Sitzen die zur Gewährleistung des Lebens erforderliche Mindestwärmebildung von etwa 60 W/m^2 Körperoberfläche. In diesem Zustand herrscht ein energetisches Gleichgewicht zwischen der im Körper erzeugten und von ihm abgegebenen bzw. gespeicherten Wärme. Thermorezeptoren in der Haut und im Gehirn regeln die Körpertemperatur und sind für das Wärmeempfinden verantwortlich. Die innere Wärmeerzeugung erfolgt durch Verbrennungsprozesse in den Organen und durch körperliche Tätigkeit, wie Muskelbewegung. Die äußere Wärmeabgabe erfolgt durch:

- Konvektion der an der Haut- bzw. Bekleidungsoberfläche vorbei streichenden Luft
- Wärmeleitung an berührten Flächen, z.B. Füßen, Händen und Gesäß
- Wärmestrahlung von der Körperoberfläche an die umgebenden kälteren Bauteiloberflächen
- Verdunstung von Wasser auf der Haut, z.B. durch Schwitzen
- Atmung
- Ausscheidung, Einnahme von Speisen, Diffusion und anderem

Um die Gehirntemperatur weitestgehend konstant zu halten, erfolgt bei sinkender Umgebungstemperatur vornehmlich eine Durchblutung des Kopfes; die Temperatur der Extremitäten sinkt.

Neben den beschriebenen Einflussgrößen ist auch das subjektive Empfinden des Einzelnen von Bedeutung. Deshalb kann das Wärmeempfinden lediglich als Erwartungswert vorausgesagt werden.

Predicted Mean Vote (PMV)

Nach DIN EN ISO 7730 erfolgt eine Vorhersage der Klimabeurteilung durch eine große Personengruppe, die einem gemäßigtem Umgebungsklima ausgesetzt ist. Die Beurteilungsskala nach Tafel 6 ergibt sich aus dem rechnerischen Ansatz der körperlichen Tätigkeit, der Bekleidung, der Lufttemperatur, der mittleren Strahlungstemperatur, der relativen Luftgeschwindigkeit und des Wasserdampfpartialdrucks.

Aus dem erwarteten durchschnittlichen Votum (Predicted Mean Vote PMV) kann entsprechend Bild 13 auf den Prozentsatz an Unzufriedenen mit einem bestimmten Umgebungsklima (Predicted Percentage of Dissatisfied PPD) geschlossen werden.

Tafel 6 **Beurteilungsskala nach DIN EN ISO 7730 für gemäßigtes Umgebungsklima**

+3	Heiß
+2	Warm
+1	Etwas warm
0	Neutral
-1	Etwas kühl
-2	Kühl
-3	Kalt

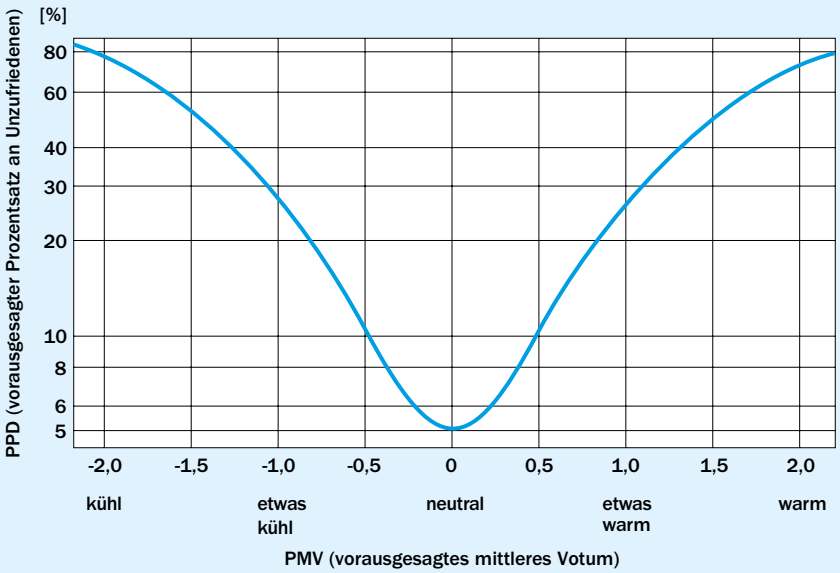


Bild 13 **Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD) in Abhängigkeit vom mittleren Votum PMV**

Es zeigt sich, dass auch bei einer neutralen durchschnittlichen Bewertung einer großen Personengruppe ein Anteil an Unzufriedenen verbleibt.

Operative Temperatur

Wesentliche Randbedingung für das Behaglichkeitsempfinden ist die operative Temperatur. Die operative Temperatur ergibt sich als arithmetisches Mittel der Lufttemperatur und der mittleren Temperatur der umgebenden Bauteiloberflächen.

$$\Theta_0 = \frac{\Theta_i + \bar{\Theta}_{si}}{2} \qquad (4.1)$$

mit:
Θ_0 = Operative Temperatur [°C]
Θ_i = Lufttemperatur [°C]
Θ_{si} = Mittlere Temperatur der umgebenden Bauteiloberflächen [°C]

Die Beziehung gilt unter der Voraussetzung, dass die relative Luftgeschwindigkeit am Körper weniger als 0,2 m/s beträgt und dass der Unterschied zwischen der mittleren Strahlungstemperatur und der Lufttemperatur geringer als 4 K ist. Der zulässige Bereich der operativen Temperatur ist in Bild 14 dargestellt.

Gedämmte Kalksandstein-Außenwände führen in der kalten Jahreszeit zu einer hohen minimalen Bauteilinnenoberflächentemperatur, so dass die Behaglichkeit in besonderem Maße gegeben ist.

INFO

Durch die hohe speicherfähige Masse erweisen sich massive Bauarten, wie mit Kalksandstein-Mauerwerk, gegenüber leichten Bauarten auch beim sommerlichen Wärmeschutz als deutlich günstiger. Die Tag-Nacht-Temperaturamplituden werden reduziert. Damit wird auch die Überhitzung in den Tagesstunden verringert.

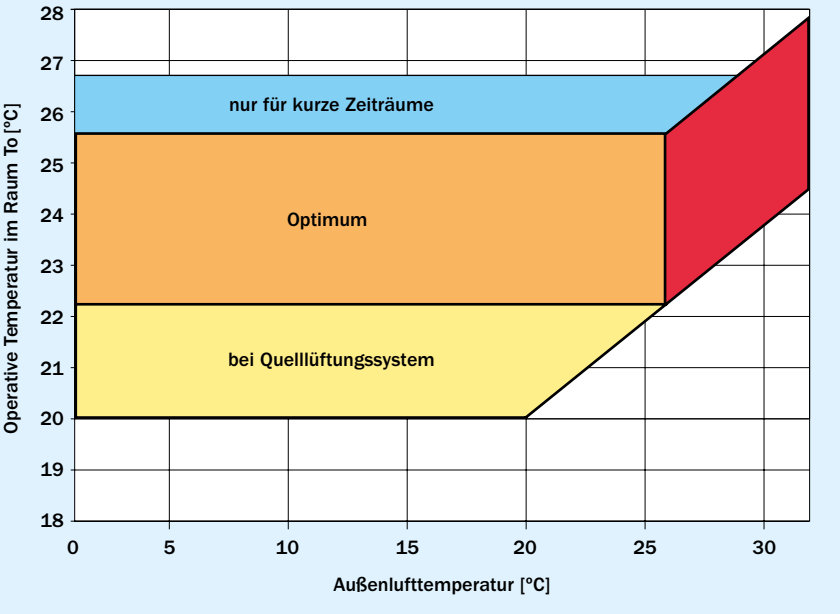


Bild 14 **Zulässigkeitsbereich der operativen Temperatur in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur nach DIN 1946-2**

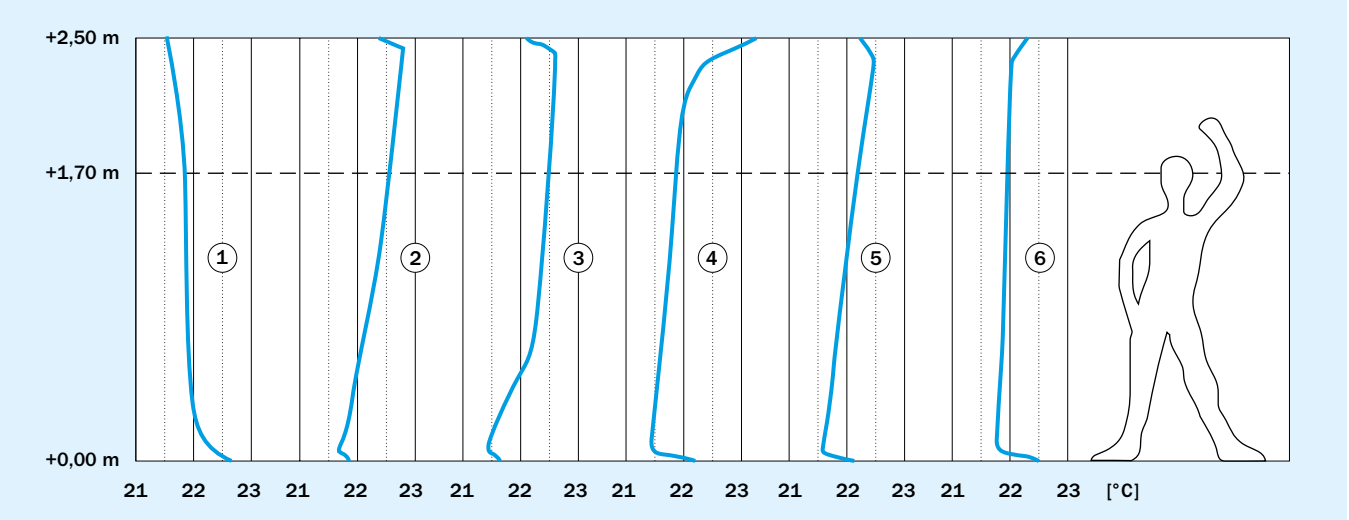


Bild 15 Beispiele für vertikale Temperaturprofile bei verschiedenen Heizsystemen nach [34]: ① Idealer Temperaturverlauf, ② Radiator an Innenwand, ③ Radiator an Außenwand, ④ Deckenheizung, ⑤ Wandheizung, ⑥ Fußbodenheizung

Lufttemperaturschichtung

Eine Lufttemperaturschichtung bzw. ein ungewöhnlich großer vertikaler Lufttemperaturgradient zwischen Nackenhöhe und Fußgelenkhöhe sitzender Personen kann zur Beeinträchtigung der thermischen Behaglichkeit führen. Eine von unten nach oben zunehmende Temperatur wird dabei als unangenehmer empfunden, als eine von oben nach unten zunehmende Temperatur. Im ersten Fall sollte die Temperaturdifferenz zwischen Knöchelhöhe 0,1 m und Kopfhöhe eines Sitzenden 1,1 m nach DIN 1946-2 nicht mehr als 2 K bzw. nach DIN EN ISO 7730 nicht mehr als 3 K betragen.

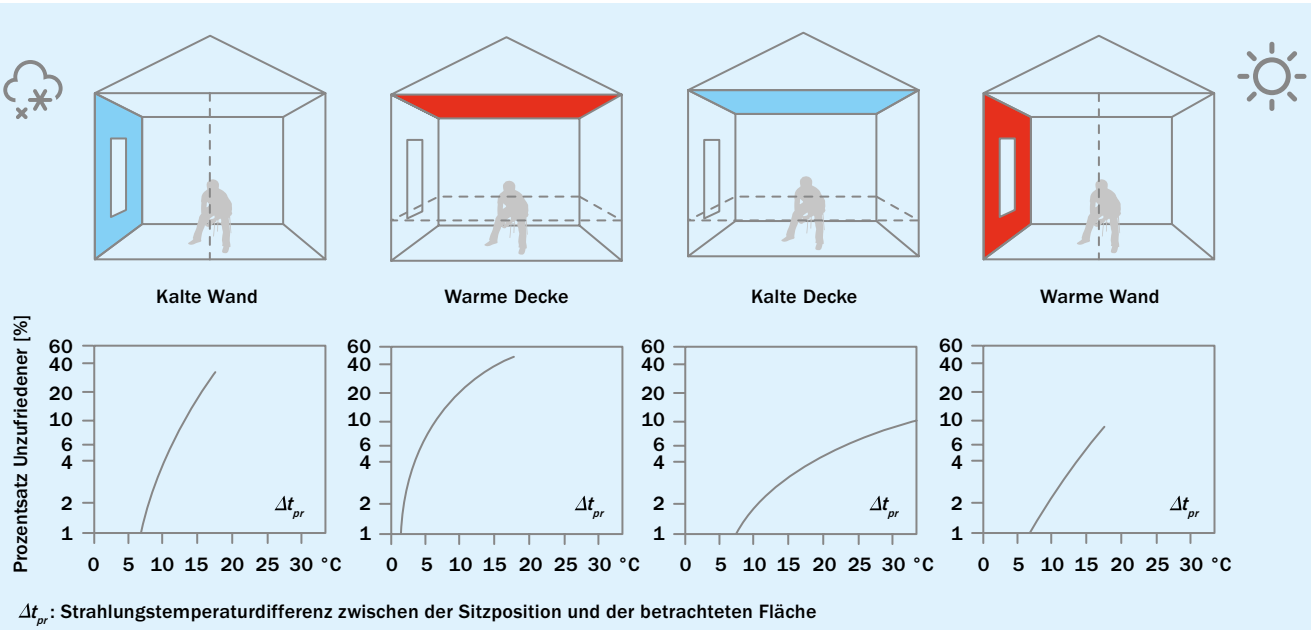
In Bild 15 sind Beispiele für vertikale Temperaturprofile bei verschiedenen Heizsystemen angegeben.

Strahlungstemperatur-Asymmetrie

Die Behaglichkeit eines Menschen hängt auch von der Strahlungstemperatur-Asymmetrie ab. Am empfindlichsten reagiert der Mensch auf Strahlungstemperaturunterschiede, die durch warme Decken und kalte Wände verursacht werden. Demgegenüber werden kühle Decken und warme Wände innerhalb gewisser Grenzen als angenehm empfunden.

Bild 16 gibt den Prozentsatz von Menschen an, die sich bei einer Strahlungstemperatur-Asymmetrie unzufrieden fühlen.

Durch eine hohe Wärmespeicherkapazität der Bauteile, wie sie bei Kalksandsteinen gegeben ist, wird die Strahlungstemperatur-Asymmetrie vermindert.



Δt_{pr}: Strahlungstemperaturdifferenz zwischen der Sitzposition und der betrachteten Fläche

Bild 16 Prozentsatz Unzufriedener in Abhängigkeit der Strahlungstemperatur-Asymmetrie [35]

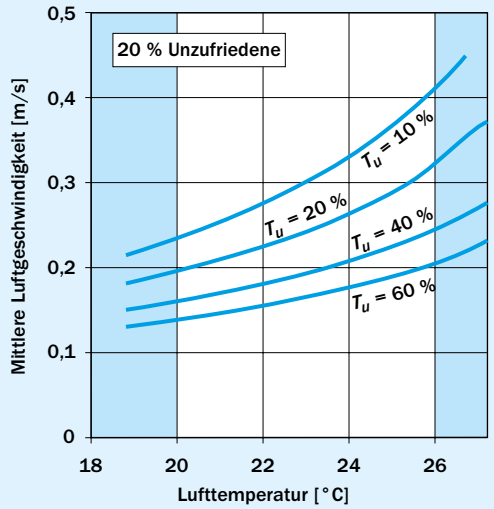
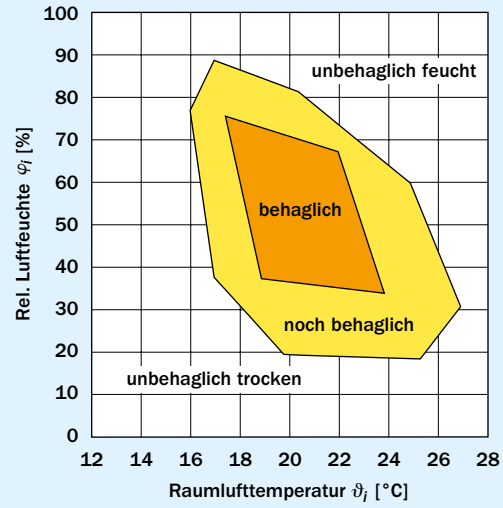


Bild 17 **Maximal zulässige Raumluftgeschwindigkeit bei 20 % Unzufriedenen in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur und dem Turbulenzgrad der Raumluftströmung [36]**

Beeinträchtigung durch Zugluft

Zugluft führt zu einer unerwünschten lokalen Abkühlung des menschlichen Körpers infolge Konvektion. Nach DIN EN ISO 7730 kann die Beeinträchtigung durch Zugluft (Draft Risk – DR) als vorausgesagter Prozentsatz von Menschen ausgedrückt werden, die sich infolge Zugluft unbehaglich fühlen. Diese Abschätzung erfolgt in Abhängigkeit von der lokalen Lufttemperatur, der mittleren Luftgeschwindigkeit und dem Turbulenzgrad, der als Verhältnis der Standardabweichung der lokalen Luftgeschwindigkeit zur mittleren Luftgeschwindigkeit ermittelt wird (Bild 17).



Geltungsbereich: mittlere Oberflächentemperatur der Raumbegrenzungen ϑ_R von 19,5 bis 23 °C
Luftbewegung v von 0 bis 20 cm/s

Bild 18 **Behaglichkeitsbereich von relativer Luftfeuchte und Raumlufttemperatur bei sitzender Beschäftigung sowie einer Luftgeschwindigkeit < 20 cm/s nach [37]**

Luftfeuchte

Neben der Raumlufttemperatur bestimmt die relative Luftfeuchtigkeit das Behaglichkeitsempfinden (Bild 18). Bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von unter 35 % trocknen die Schleimhäute der Atmungsorgane aus. Hohe Luftfeuchten werden ebenfalls als unbehaglich empfunden. Zudem besteht die Gefahr der Schimmelpilzbildung oder gar der Bildung von Tauwasser an Bauteilinnenoberflächen.

Kalksandstein-Mauerwerk weist ein hohes Absorptionsvermögen von Wasserdampf auf, so dass ein erhöhter nutzungsbedingter Feuchteanfall gepuffert werden kann.

Wärmeableitung

In Bädern, Kindergärten und anderen Räumen mit direktem Fußkontakt ist die Wärmeableitung von Fußböden nach ISO ITS 13732-2 wie folgt klassifiziert:

- Wärmeableitstufe I (besonders fußwarm):

$$W_1 < 38 \ \frac{kJ}{m^2} \qquad W_{10} < 188 \ \frac{kJ}{m^2} \tag{4.2}$$

- Wärmeableitstufe II (ausreichend fußwarm):

$$38 \ \frac{kJ}{m^2} \leq W_1 \leq 50 \ \frac{kJ}{m^2} \tag{4.3}$$

$$188 \ \frac{kJ}{m^2} \leq W_{10} \leq 293 \ \frac{kJ}{m^2} \tag{4.4}$$

- Wärmeableitstufe III (nicht ausreichend fußwarm):

$$W_1 > 50 \ \frac{kJ}{m^2} \qquad W_{10} < 293 \ \frac{kJ}{m^2} \tag{4.5}$$

Die Wärmeableitung W_1 bzw. W_{10} gibt die flächenbezogene Wärmemenge an, die in einem Zeitraum von 1 bzw. 10 Minuten von einer Prüfwärmequelle auf einen Fußbodenaufbau übertragen wird.

Im Moment der Berührung stellt sich an der Grenzschicht zwischen Haut und der Materialoberfläche die Kontakttemperatur Θ_k ein:

$$\Theta_k = \frac{b_M \cdot \Theta_M + b_H \cdot \Theta_H}{b_M + b_H} \tag{4.6}$$

mit:
Θ_k = Kontakttemperatur [°C]
Θ_M = Materialtemperatur [°C]
Θ_H = Hauttemperatur [°C]
b_M = Wärmeeindringkoeffizient des Materials [J/(m² · K · s$^{1/2}$)]
b_H = Wärmeeindringkoeffizient der Haut [J/(m² · K · s$^{1/2}$)]
$b_H \approx 580$ J/(m² · K · s$^{1/2}$)

Die Wärmemenge, die bei kurzer Berührung in das berührte Medium – z.B. den Bodenbelag – zu- bzw. abfließt, wird durch den Wärmeeindringkoeffizienten b beschrieben – auch Wärmebeharrungsvermögen oder Temperaturträgheit genannt:

$$\beta = \sqrt{c \cdot \rho \cdot \lambda} \qquad (4.7)$$

c = Spezifische Wärmespeicherkapazität [kJ/(kg·K)]
ρ = Rohdichte [kg/m³]
λ = Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]

Kategorien des Umgebungsklimas

Zusammenfassend lassen sich nach DIN EN ISO 7730 drei Kategorien des Umgebungsklimas A bis C definieren, die die Höhe des Komforts widerspiegeln. Dabei bietet Kategorie A den höchsten Komfort. In Tafel 7 sind die verschiedenen Temperaturrandbedingungen nach DIN EN 7730 definiert. Für neu zu errichtende Gebäude wird das Umgebungsklima B, für Bestandsgebäude Umgebungsklima C empfohlen. Für Sonderbauten ist Umgebungsklima A als Empfehlung zu verstehen.

In Abhängigkeit von der Nutzung können hieraus für Räume in unterschiedlichen Gebäudetypen Gestaltungskriterien abgeleitet werden. Beispiele hierfür bietet die DIN EN ISO 7730. Mit massiven Bauarten – wie Gebäude mit Kalksandstein-Mauerwerk – lassen sich diese Kriterien aufgrund der hohen speicherfähigen Masse problemlos erreichen.

Tafel 7 Kategorien des Umgebungsklimas nach DIN EN 7730

	Kategorie A	Kategorie B	Kategorie C
Vertikaler Lufttemperaturunterschied 1,1 und 0,1 m über dem Fußboden [°C]	< 2	< 3	< 4
Oberflächentemperaturbereich des Fußbodens [°C]	19 bis 29	19 bis 29	19 bis 31
Asymmetrie der Strahlungstemperatur [K]			
■ Warme Decke	< 5	< 5	< 7
■ Kühle Wand	< 10	< 10	< 13
■ Kühle Decke	< 14	< 14	< 18
■ Warme Wand	< 23	< 23	< 35

4.2.2 Akustische Behaglichkeit

Die akustische Behaglichkeit wird durch das damit erzielte Wohlbefinden charakterisiert, das hauptsächlich über den Gehörsinn vermittelt wird. Etwa 76 % der Deutschen fühlen sich durch Lärm gestört (Bild 19), wobei als Hauptlärmquelle von den meisten Deutschen der Straßenverkehr angegeben wird, gefolgt vom Nachbarschaftslärm (Bild 20). Die Art der akustischen Reizaufnahme kann sehr unterschiedlich sein [38]. Während der Eine durch die Nutzung von Ohrstöpseln die Stille sucht, um die außerhalb seiner Behaglichkeitsvorstellungen auftretenden störenden Geräusche aus der eigenen Wahrnehmung zu verbannen, schaltet der Andere ganz gezielt diese ruhigen Umgebungsgeräusche aus seinem Bewusstsein aus und ersetzt sie durch Kopfhörer, um sich bei Schalldruckpegeln am Ohr von über 100 dB behaglich zu fühlen.

Wie in [40] beschrieben, hat der Schallschutz in Gebäuden eine große Bedeutung für die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen. Besonders wichtig ist er im Wohnungsbau, da die Wohnung dem Menschen einerseits zur Entspannung und zum Ausruhen dient, andererseits aber auch den privaten Bereich gegenüber den Nachbarn und der Umwelt abschirmen soll. Genauso wichtig ist Schallschutz in den Industrie- und Verwaltungsbereichen, in denen laute und leise Tätigkeiten gleichzeitig ausgeübt werden.

Durch die hohe Rohdichte und die damit erzielbare hohe flächenbezogene Masse von Kalksandsteinwänden lassen sich die Anforderungen nach DIN 4109 einschließlich der Anforderungen an einen erhöhten Schallschutz problemlos erfüllen.

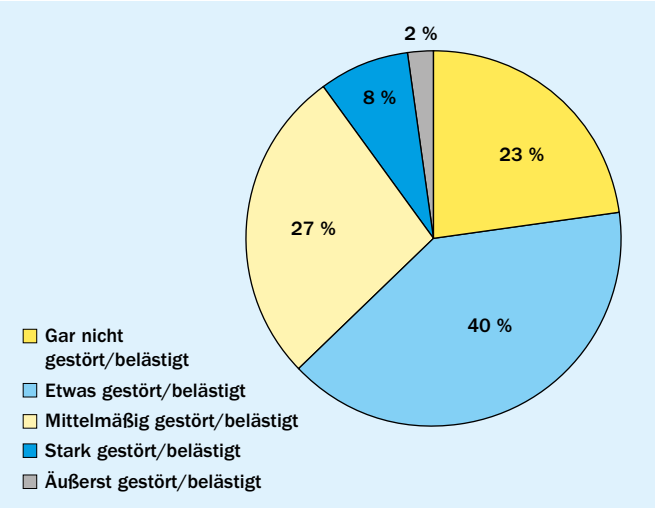


Bild 19 Wahrgenommene Lärmbelästigung in Deutschland 2014 [39]

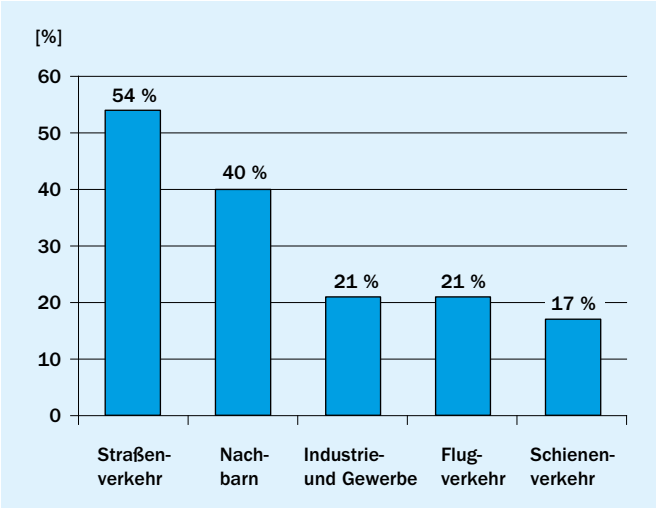


Bild 20 Wahrgenommene Lärmbelästigung in Deutschland 2014 nach Lärmquellen [39]

4.3 Gesundheit

Im Hinblick auf den Gesundheitsschutz sind drei Bereiche zu nennen:

- Brandschutz
- Vermeidung von Schimmelpilzbildung
- Sicherstellung der Raumluftqualität

4.3.1 Brandschutz

Zielsetzung des Brandschutzes ist es u.a., im Brandfall Leib und Leben zu retten. Der Brandschutz stellt somit die höchste Stufe des Gesundheitsschutzes dar. In brandschutztechnischer Hinsicht lassen sich mit Kalksandsteinwänden alle Anforderungen nach DIN 4102 sowie der Landesbauordnung erfüllen. Mehr dazu in [41].

Schneider und Oswald stellen in [42] fest, dass der Brandschutz wesentlich von der Bauart – Holz- oder Massivbau – bestimmt wird (Tafel 8).

Tafel 8 Statistische Daten über Brandhäufigkeiten, Brandtote und Gebäudeschäden im Wohnbau nach [42]

Risikodaten	Schweiz	Bauart	Prozentueller Vergleich [%]
Eintrittshäufigkeit [Brände/(10^5 a m^2)]	2,780 4,465	Massivbau Holzbau	100 160
Schadensausmaß[1)] [€/(m^2 a)]	0,114 0,281	Massivbau Holzbau	100 247
Brandopfer [1/(10^6 m^2 a)]	0,028 0,079	Massivbau Holzbau	100 282

[1)] Schäden, die infolge Brand am Gebäude auftreten

4.3.2 Vermeidung von Schimmelpilzbildung

Untersuchungen zeigen, dass eine Gefährdung der Schimmelpilzbildung gegeben ist, wenn in den bauteiloberflächennahen Bereichen eine Luftfeuchtigkeit von mehr als 80 % relativer Feuchte über mehrere Stunden am Tag an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen gegeben ist.

Die DIN 4108-2 definiert hierzu einen einzuhaltenden Temperaturfaktor f_{Rsi}:

$$f_{Rsi} = \frac{\Theta_{si} - \Theta_e}{\Theta_i - \Theta_e} \geq 0{,}7 \qquad (4.8)$$

mit

f_{Rsi} = Temperaturfaktor an der Bauteilinnenoberfläche
Θ_{si} = Maßgebende minimale Temperatur an der Bauteilinnenoberfläche [°C], z.B. im Bereich von Wärmebrücken
Θ_i = Lufttemperatur [°C] (Θ_i = 20 °C nach DIN 4108-2)
Θ_e = Außenlufttemperatur [°C] (Θ_e = -5 °C nach DIN 4108-2)

Sofern der Nutzer ordnungsgemäß lüftet und heizt, also eine relative Feuchte von $w_i < 50$ % nicht überschritten wird und die Lufttemperatur $\Theta_i \geq 20$ °C beträgt, ergibt sich hieraus, dass die Oberflächentemperatur Θ_{si} mindestens 12,6 °C beträgt. Damit stellt sich an der Oberfläche eine maximale relative Feuchte von $w_{si} \leq 80$ % ein; das schließt die Gefahr einer Schimmelpilzbildung aus.

Maßnahmen des winterlichen Wärmeschutzes führen zu einer Erhöhung der Bauteilinnenoberflächentemperatur. Kalksandstein-Außenwände, die dem derzeitigen Anforderungsniveau an den winterlichen Wärmeschutz (= Anforderungen nach EnEV) entsprechen, führen zu Wandinnenoberflächentemperaturen, die weit über die Anforderungen des Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108-2 hinausgehen. Damit ist auch bei nicht vollständig zu vermeidenden konstruktiven bzw. geometrischen Wärmebrücken eine ausreichende Sicherheit gegeben. Hierbei



ist auf die wärmetechnisch optimierten Ausführungsdetails der Kalksandsteinindustrie und auf Beiblatt 2 der DIN 4108 hinzuweisen, die zu einer deutlichen Reduzierung des Wärmebrückeneinflusses führen [43, 44].

4.3.3 Sicherstellung der Raumluftqualität

Im Hinblick auf die Sicherstellung der Raumluftqualität ist insbesondere auf die Anforderungen bezüglich

- Kohlendioxyd (CO_2),
- Formaldehyd und
- flüchtiger organischer Verbindungen (TVOC)

hinzuweisen.

Kohlendioxyd CO_2

Die Innenraumluft sollte einen Wert von 1.000 ppm CO_2 nicht überschreiten. Dieser Wert ist identisch mit der traditionellen Pettenkofer-Zahl von 0,10 %. Dieser allgemein empfohlene hygienische Innenraumluftrichtwert gilt in Räumen mit raumlufttechnischen Anlagen bei sitzender oder leichter Tätigkeit [45].

Formaldehyd

Der Ausschuss für Innenraumrichtwerte des Umweltbundesamtes hat 2016 für Innenräume den Wert von 0,1 mg pro m^3 als Grenzwert festgesetzt [46].

TVCO-Konzentrationen

Neben klassischen Gefahrstoffen stellen die flüchtigen organischen Verbindungen eine große Gruppe der Emissionen dar, die durch Bauprodukte in den Innenraum getragen werden. Aufgrund der Vielzahl von chemischen Verbindungen, die bis jetzt nur zu einem Bruchteil toxikologisch untersucht werden konnten, wurden verschiedenste Konzepte entwickelt, die Bewertungen auf Basis von Summenkonzentrationen (TVOC) in Verbindung mit Einzelstoffbetrachtungen vornehmen.

Hierzu werden verschiedene Ziel- und Richtwerte für VOC in Innenräumen angegeben. Beispielhaft sind in Tafel 9 die Ziel- und Richtwerte nach [47] dargestellt.

Es wird somit eine Begrenzung des Summenwerts für leichtflüchtige organische Verbindungen von 200 µg/m^3 vorgeschlagen.

Kalksandsteine bestehen aus rein natürlichen Stoffen, so dass eine Beeinträchtigung der Innenraumluftqualität ausgeschlossen werden kann. Insbesondere bei den anderen Materialien des Innenausbaus sollte jedoch auf die Wahl emissionsfreier Produkte geachtet werden. Für die Bewertung von VOC-Emissionen aus Bauprodukten wurden seitens des Umweltbundesamtes UBA und des Deutschen Instituts für Bautechnik DIBt Verfahren zur Klassifizierung entwickelt.

Tafel 9 Ziel- und Richtwerte verschiedener Substanzgruppen nach [47]

Substanzgruppe	Zielwerte [µg/m^3]	Richtwerte [µg/m^3]
Alkane und Alkene	50	200
Aromaten	50	200
Terpene/Sesquiterpene	20	200
Chlorierte Kohlenwasserstoffe	10	50
Ester und Ketone	10	100
Aldehyde C_5 – C_{10}	20	50
Alkohole	20	50
Ethylenglykole/-ether	20	50
Propylenglykole/-ether	10	50
Sonstige	20	50
Summe: VOC/SVOC	< 200 µg/m^3	

INFO

Laut Eurofins Product Testing (DK) und dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik (D) sind Kalksandsteine gemäß Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten für Innenräume geeignet und halten die WHO-Kriterien ein.

4.4 Minimierung weiterer Aufwendungen in der Nutzungsphase

Als weitere Aufwendungen in der Nutzungsphase sind zu nennen:

- Reinigungsaufwand
- Instandhaltungsaufwand

Reinigung

Untersuchungen der Oberfinanzdirektion Hannover zeigen, dass der Reinigungsaufwand bei Verwaltungsgebäuden bis zu 30 % der Baufolgekosten im Gebäudebetrieb betragen kann.

Kalksandsteinwände lassen sich auch als Sichtmauerwerk problemlos reinigen. Bei bewittertem KS-Sichtmauerwerk sind die Empfehlungen der Kalksandsteinindustrie für Beschichtungen und Imprägnierungen zu beachten, um natürliche Verunreinigungen oder Veralgungen zu reduzieren.

Instandhaltung

Eine turnusmäßige Instandhaltung erhöht die technische Lebensdauer von Konstruktionen erheblich. Aufgrund der Robustheit sind Kalksandsteinwände instandhaltungsfrei. Beschichtungen oder Imprägnierungen sowie Dämmmaßnahmen als Wärmedämm-Verbundsystem oder vorgehängte hinterlüftete Bekleidung erfordern eine turnusmäßige Inspektion und Wartung.

5. Lebenszyklusende

Am Ende des Lebenszyklus eines Gebäudes steht der Abbruch. Eine der Zielsetzungen des nachhaltigen Bauens ist es, Bauwerke soweit wie möglich im Kreislauf zu führen, so dass die Materialien oder Produkte nach einem Aufbereitungsprozess wieder in den Stoffstrom zurückgeführt werden können. Dabei gilt die folgende Abfallhierarchie:

- Vermeidung
- Vorbereitung zur Wiederverwendung
- Recycling
- Sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung
- Beseitigung

5.1 Regelung

Die gesetzliche Regelung zur Verwertung und Beseitigung von Bau- und Abbruchabfällen erfolgt durch mehrere miteinander in Verbindung stehende Gesetze, Verwaltungsvorschriften, Regeln und Richtlinien. Relevant für Deutschland sind u.a.:

- Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)
- Vollzugshinweise der deutschen Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA-Empfehlungen)
- Abfallverzeichnis-Verordnung, hier werden unter der Katalognummer 17 als „Bau- und Abbruchabfälle“ enthaltene Abfallarten nach Tafel 10 genannt
- Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV, vom 18. April 2017) als gesetzliche Grundlage der Getrennthaltung zur ordnungsgemäßen und schadlosen sowie möglichst hochwertigen Verwertung (auch bei Bauabfällen)
- Entsprechende Gerichtsurteile auf deutscher und europäischer Ebene

Tafel 10 Bau- und Abbruchabfälle nach deutscher Abfallartenverzeichnis-Verordnung

Abfallart	EU-Abfallarten-verzeichnis Nr.
Beton, Kalksandstein	17 01 01
Ziegel	17 01 02
Fliesen & Keramik	17 01 03
Holz	17 02 01
Glas	17 02 02
Kunststoff	17 02 03
Bitumengemische, Kohlenteer und teehaltige Produkte	17 03
Metalle	17 04
Boden, Steine & Baggergut	17 05
Dämmmaterial und asbesthaltige Baustoffe	17 06
Baustoffe auf Gipsbasis	17 08
Sonstige Bau- & Abbruchabfälle	17 09

INFO

Kalksandsteinreste aus Rückbau und Abbruch erfüllen die Kriterien der /LAGA/ Z 0. Das bedeutet, dass das Material für den uneingeschränkten Einbau geeignet ist, z.B. als Verfüllungen im Erd-, Straßen- und Wegebau, als Vegetationssubstrat und auch auf Deponien.

5.2 Verfahren

Die Möglichkeit des Recyclings soll beispielhaft für drei verschiedene Baumaterialien dargestellt werden.

Beispiel 1: Kalksandstein

Auf dem Gebiet des Recyclings von Kalksandstein-Materialien wurden in den vergangenen Jahren folgende wesentliche Forschungsarbeiten durchgeführt:

- Verwendung von sortenreinem KS-Material (Produktionsabfälle) für die erneute Kalksandsteinproduktion,
- Wiederverwendung von Kalksandsteinen aus Abbruch von Bauwerken bzw. aus fehlerhaften Steinen aus dem Produktionsprozess (Forschungsbericht Nr. 80 der Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V.),
- Eignung von Kalksandstein-Bruchmaterial zum Recycling in der Baustoffindustrie (Forschungsbericht Nr. 97 der Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V.),
- Einfluss von anhaftenden anderen Baustoffen an KS-Recycling-Splitt auf die Qualität von KS-Recyclingsteinen,
- Verwendung von ursprünglichem KS-Material für den Beton- und Stahlbetonbau, den Straßenbau und die erneute KS-Produktion,
- Eignung von rezykliertem Kalksandstein-Mauerwerk für Tragschichten ohne Bindemittel (Forschungsbericht Nr. 111 der Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V.),
- Ressourceneffizienz in der Kalksandsteinindustrie (Forschungsbericht Nr. 122 der Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V.).

Ergebnisse dieser Forschungsvorhaben sind u.a., dass

- aus KS-Mauerwerk-Recycling-Bruchmaterial erneut KS-Mauersteine herstellbar sind,
- sich die optische Qualität von Kalksandsteinen mit Recyclingzuschlag von der ursprünglich gewohnten weißen Farbe des Kalksandsteins in eine grau-braune Färbung ändert und
- die Druckfestigkeit der Steine um ca. 10 % reduziert wird, was jedoch bei der hohen Druckfestigkeit von Kalksandsteinen keine Einschränkung bedeutet.

Beispiel 2: Expandierter Polystyrol-Hartschaum

Das technische Recycling von expandiertem Polystyrol-Hartschaum (EPS) ist vollständig entwickelt und wird derzeit umgesetzt. Das rückgeführte EPS, das hauptsächlich aus Verpackungsmaterial oder sortenreinem, unverschmutztem Verschnitt von Baustellen besteht, wird zu kleinen Fraktionen zerkleinert und unter Wasserdampf in neue EPS-Produkte geformt. Dieser Prozess verläuft ohne chemische Prozesse, so dass er mehrmals hintereinander stattfinden kann.

Dagegen wird aus Bauwerken rückgebautes EPS derzeit nur in geringen Mengen in den Wiederverwendungsprozess überführt. Gründe dafür sind die Materialverschmutzungen, z.B. mit mineralischem Kleber oder Bitumen. Die anfallenden EPS-Bauabfälle werden in der Regel in speziellen Verbrennungsanlagen thermisch verwertet. Eine weitere Verwertungsmöglichkeit ist das Einbringen von EPS-Kügelchen in den Boden zur Bodenauflockerung.

Für die in Zukunft sortenrein zu trennenden Fraktionen an EPS-Bauabfällen kann als Entsorgungsweg die energetische Verwertung, das Downcycling (z.B. Einsatz in Betonen, Ziegelporosierung, Bodenauflockerung), aber auch die Rückführung für die Wiederverwendung genannt werden.

Darüber hinaus sind erste labortechnische Anlagen zu nennen, die expandierten Polystyrol-Hartschaum in Styrol zurückwandeln können. Diese Anlagen arbeiten derzeit jedoch noch nicht in industriellem Maßstab.

Für genutztes EPS in Verbundkonstruktionen, wie z.B. bei WDVS, wurden in [48] Trennmethoden für den technischen Rückbau entwickelt, die eine ausreichende Qualität für die Wiederverwendung gewährleisten.

Darüber hinaus ist darauf hinzuweisen, dass es bereits mehrere allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für Wärmedämm-Verbundsysteme gibt, in denen das Aufdoppeln der Systeme mit Neusystemen geregelt wird. Somit kann auf ein vorhandenes intaktes Wärmedämm-Verbundsystem ein weiteres herstellergleiches System aufgebracht werden, um z.B. den baulichen Wärmeschutz deutlich zu verbessern.

Beispiel 3: Künstliche Mineralfaser (KMF)

Bislang existierte für beim Rückbau von Gebäuden angefallene KMF als Entsorgungsweg nur die Beseitigung auf Deponien. Die Rückführung von KMF in den Herstellungsprozess ist derzeit laut Literaturangaben (wecobis, EPDs) theoretisch möglich und soll zukunftsnah auch in der Praxis zur Anwendung kommen. Um KMF in den Produktionskreislauf zurückzuführen, muss das Material bei Gebäudeabbruch selektiv zurückgebaut werden. Die größte Herausforderung besteht gegenwärtig noch in der Entfernung von Stör- und Schadstoffen des Abbruchmaterials sowie in der Bestimmung und Trennung der verschiedenen Mineralfaserarten. Für die Rückführung der KMF in den Herstellungsprozess werden an der TU Berlin derzeit technisch machbare, effiziente und vor allem wirtschaftliche Aufbereitungstechnologien entwickelt und erprobt [49].



Bild 21 Abbaustätten werden rekultiviert, neue Biotope entstehen.

Literatur

[1] Abschlussbericht der Enquete-Kommission, „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestags, „Konzept Nachhaltigkeit, vom Leitbild zur Umsetzung“, Deutscher Bundestag, Referat Öffentlichkeitsarbeit, Bonn 1998

[2] Bericht der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, „Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2016“, Berlin 2016, http://www.ag-energiebilanzen.de/20-0-Berichte.html:, Stand Februar 2017

[3] Bundesverband Erneuerbare Energien e.V. “Die Energiewende nach COP 21 – Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung“, Stuttgart 2016, https://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Studien/Joachim_Nitsch_Energiewende_nach_COP21_Langversion.pdf. Stand 07.03.2016

[4] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). „Energiestudie 2016“. Hannover Dez. 2016, https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/Energiestudie_2016.html?nn=1542226

[5] Mineralölwirtschaftsverband e.V. und Institut für Wärme und Öltechnik, „Themenspezial Erdöl“, Berlin 2012, https://www.mwv.de/wp-content/uploads/2016/07/Themenspecial-Erdoel-IWO-MWV-2012.pdf, abgerufen am 13.09.2017

[6] Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), Fokus Volkswirtschaft, https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Fokus-Volkswirtschaft/Fokus-Nr.-96-Juli-2015.pdf, abgerufen am 13.09.2017

[7] Boustead, I.; et al.: Eco-Indices: What Can They Tell Us?, ICME doc. #16752 & 16754, 2000

[8] AG Energiebilanzen e.V.. http://www.ag-energiebilanzen.de/9-0-Energieflussbilder.html, abgerufen am 25.08.2017

[9] Klimadiplomatie von A bis Z, Paris-Abkommen, https://www.co2online.de/klima-schuetzen/klimagipfel/kleines-lexikon-der-klimadiplomatie/#c77221, abgerufen am 06.09.2017

[10] BMUB: Klimaschutzplan 2050, http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf, Stand: Nov. 2016

[11] Umweltbundesamt: „Umweltdaten“, https://www.umweltbundesamt.de/daten/energiebereitstellung-verbrauch/energieverbrauch-nach-energietraegern-sektoren, Stand Juli 2016, abgerufen am 24.08.2017

[12] http://www.enev-online.org/enev_2009_volltext/enev_2009_10a_ausserbetriebnahme_von_elektrischen_speicherheizsystemen_ab_13.07.2013.htm, abgerufen am 25.08.2017

[13] GEG 2018 Referentenentwurf, http://www.enev-online.eu/geg/referentenentwurf/text/index.htm#2._Anforderungen_Neubauten, abgerufen am 06.09.2017

[14] Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU für die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden von 2016, http://www.enev-online.de/epbd/2017/161130_eu_kommission_vorschlag_novelle_richtlinie_2010.pdf, abgerufen am 13.09.2017

[15] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Energiedaten“, https://www.bmwi.de/ Redaktion/DE/Infografiken/Energie/Energiedaten/Energiegewinnung-und-Energieverbrauch/ energiedaten-energiegewinnung-verbrauch-09.html, Stand 17.10.2016, abgerufen am 25.08.2017

[16] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, BMWi – Gesamtausgabe Energiedaten; https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Infografiken/Energie/Energiedaten/Energie-und-Umwelt/energiedaten-energie-umwelt-17.html, Stand: 30.06.2016, abgerufen am 25.08.2017

[17] Statistisches Bundesamt – Bevölkerungsstand; https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen_/lrbev03.html, abgerufen am 30.08.2017

[18] Statistisches Bundesamt – Bestand an Wohnungen: Fachserie 5 Reihe 3 – 2016; https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/Bauen/Bauen.html, abgerufen am 30.08.2018

[19] Kraftfahr-Bundesamt – Bestand in den Jahren 1960 bis 2017 nach Fahrzeugklassen; https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Fahrzeugklassen Aufbauarten/b_fzkl_zeitreihe.html, abgerufen am 30.08.2017

[20] Leitfaden Nachhaltiges Bauen 2015, Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Stand: Feb. 2016

[21] BMUB: BNB, https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/bewertungssystem/bnb-buerogebaeude/bnb-bn-2015/kriterien-bnb-buero-und-verwaltungsgebaeude-neubau.html – Stand: 13.09.2017

[22] Vogdt, F. U.: Nachhaltigkeit des Bauens – Lebenszyklusbetrachtung baulicher Anlagen, BDB Jahrbuch, Hrsg.: Bund Deutscher Baumeister, Architekten und Ingenieure e.V., Berlin 2003

[23] Technische Universität Berlin, Studie „Ökologischer Restwert“ – Abschlussbericht, Berlin 07.03.2013

[24] Amt für Bundesbauten: Standardisierte Nutzungszeiten von Gebäuden und Bauteilen. Bern 1997

[25] Künzel, H. M.; Künzel, H.; Sedlbauer, K.: Hygrothermische Beanspruchung und Lebensdauer von Wärmedämm-Verbundsystemen, Bauphysik, Heft 3/2006, Seite 153–163

[26] Arlt, J.; Pfeiffer, M.: Lebensdauer der Bauteile und Baustoffe zur Harmonisierung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer im Wohnungsbau, Institut für Bauforschung e.V., Forschungsbericht F 2464, Fraunhofer IRB Verlag, 2005

[27] DIN EN ISO 14040:2009-11: Umweltmanagement, Ökobilanz, Grundsätze und Rahmenbedingungen

[28] Bilanzierungsregeln für die Erstellung von Ökobilanzen, https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/verwaltungsgebaeude/neubau/v_2015/LCA-Bilanzierungsregeln_BNB_BN_2015.pdf, Stand: 04.04.2016, abgerufen am 13.09.2017

[29] Eden, W. et al: Ökobilanz für den Baustoff Kalksandstein und Kalksandstein-Wandkonstruktionen. Forschungsbericht 82 der Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V., Hannover, 1995

[30] Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. – Umwelt-Produktdeklaration für Kalksandsteine nach ISO 14025 und EN 15804, Deklarationsnummer EPD-BKS-20160002-IAE1-DE, Institut Bauen und Umwelt e.V., 03.März 2016

[31] Keller, G.; Muth, H.: Strahleneinwirkungen durch Radon in Wohnhäusern. – In: Bauphysik Jahrgang 15 (1993), H. 5, S. 141–145

[32] Bundesamt für Strahlenschutz: Radonkarte Deutschland https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/boden/radon-karte.html. Stand: 02.05.2017

[33] Brameshuber, W.: Untersuchungen zum Auslaugverhalten beregneter Bauteile, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin – Bautechnik 86, Heft 7, 2009
[34] Richter, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Heizperiode, Hrsg. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund/Berlin/Dresden 2003
[35] Thermal Comfort Booklet, Hrsg.: Luma Sense Technologies. http://www.lumasense.dk/fileadmin/Files/Sales_litterature/Thermal_Comfort_Booklet_Spanish.pdf, Stand: 29.10.2008
[36] DIN EN ISO 7730: 05-2006: Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung durch Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit
[37] Leusden, F.; Freymark, H.: Darstellung der Raumbehaglichkeit für den einfachen praktischen Gebrauch. In: Gesundheitsingenieur 72 (1951) H. 16, S. 271–273
[38] Vogdt, F. U. et al.: Nachhaltiges Bauen unter besonderer Berücksichtigung bauphysikalischer Aspekte. In: Bauphysik-Kalender. Hrsg.: Cziesielski, E., Berlin 2005
[39] BMUB: „Umweltbewusstsein in Deutschland 2014“; https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/umweltbewusstsein_in_deutschland_2014.pdf, Stand 2014, abgerufen am 21.09.2017
[40] Fischer, H.-M.: Schallschutz. In: KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch. Planung, Konstruktion, Ausführung, 7. Auflage. Hrsg. Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V., Hannover 2018
[41] Hahn, C.: Brandschutz. In: KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch. Planung, Konstruktion, Ausführung, 7. Auflage. Hrsg. Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V., Hannover 2018
[42] Schneider, O.; Oswald, M.: Brandschutz-Studie. Brandschutztechnische Analyse von Massiv- und Holzbauweisen. Wien 2002
[43] Kalksandstein – Detailsammlung zum Wärmebrückenkatalog, Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V., https://www.ks-original.de/sites/default/files/downloads/2017/ks-detailsammlung_0.pdf, abgerufen am 21.09.2017
[44] Kalksandstein – Wärmebrückenkatalog, Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V., https://www.ks-original.de/sites/default/files/downloads/2017/ks-waermebrueckenkatalog.pdf, 2. Überarbeitete Auflage, Hannover 2014
[45] Gesundheitsblatt, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/kohlendioxid_2008.pdf, abgerufen am 21.09.2017
[46] Umweltbundesamt, Ausschuss für Innenraumrichtwerte, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/355/bilder/dateien/0_ausschuss_fuer-innen raumrichtwerte_empfehlungen_und_richtwerte 20161202.pdf, abgerufen am 21.09.2017
[47] Scholz, H.: Vorkommen ausgewählter VOC in Innenräumen und deren Bedeutung. In: Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF): Gebäudestandard 2000: Energie und Raumluftqualität – Ergebnisse des 4. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) Nürnberg 1998, S. 205–214
[48] Graubner, C.-A.; Clanget-Hulin, M.: Analyse der Trennbarkeit von Materialschichten hybrider Außenbauteile bei Sanierungs- und Rückbaumaßnahmen – Erstellung einer praxisnahen Datenbank für die Nachhaltigkeitsbeurteilung, Projekt im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau, Bericht F2837, Fraunhofer IRB Verlag, 2013
[49] Forschungsvorhaben (TU-Berlin): Optimierung der Stoffströme im Lebenszyklus von Bauprodukten aus künstlichen Mineralfaserdämmstoffen (KMF), SWD-10.08.18.7-14.24 (in Bearbeitung)

Bildnachweise

Bild 9: Deutscher Bundestag; **Bild S. 407:** Heidelberger Kalksandstein GmbH; **Bild S. 414:** Erich Spahn; **Bild S. 420:** Andreas Friese

Bild S. 402, Bild 21: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.



Kapitel 15

SPEZIELLE ANWENDUNGSBEREICHE

Stand: 01/2018

Bundesverband Kalksandsteinindustrie e. V.

Durch die umfangreiche Formatpalette und die breite Spanne der Festigkeits- und Rohdichteklassen des Kalksandsteins bietet Kalksandstein-Mauerwerk vielfältige Anwendungsmöglichkeiten im Hoch- und Tiefbau. Neben den klassischen Bauaufgaben im Wohn- und Industriebau ist Kalksandstein aufgrund seiner umweltgerechten Herstellung und seiner spezifischen Eigenschaften auch für besondere Anwendungsbereiche vorzüglich geeignet.

1. Kalksandstein im Erdreich

Seit Jahrzehnten haben sich Fundamentmauerwerke aus Kalksandstein in den deutschen Heide- und Moorgebieten hervorragend bewährt. Der Kalksandstein hat sich im Laufe von mehr als 100 Jahren als solider, dauerhafter Mauerstein für den Fundamentbau etabliert.

Ohne Abdichtung ist KS-Mauerwerk auch dann außerordentlich beständig, wenn es ungeschützt im Erdreich angeordnet wird und wenn es ganz oder teilweise im Grundwasser steht. In einer über 20 Jahre laufenden Versuchsreihe wurde das Verhalten und die Widerstandsfähigkeit von unverputztem Kalksandstein-Mauerwerk untersucht. Die Versuchswände befanden sich im Grundwasserbereich, in der Wasserwechselzone (Überschwemmungsgebiet) sowie oberhalb des Grundwasserspiegels. Die Auswertungen nach jeweils 2, 5, 10 und 20 Jahren ergaben, dass bei den Wandteilen sowohl unterhalb als auch oberhalb des Grundwasserspiegels die Steindruckfestigkeiten nahezu unverändert hoch blieben. Optische Schäden oder Gefügestörungen sind bei nicht aggressivem Wasser in keinem Fall aufgetreten.

Bei wechselndem Grundwasserstand ist die Beanspruchung deutlich größer als bei konstantem Grundwasserpegel. Neben der optischen Beschaffenheit ist die Steindruckfestigkeit ein wichtiges Hilfsmittel zur Bewertung der Einwirkungen aggressiver Medien. Kalksandsteine hoher Steinrohdichteklassen – Vollsteine –, die im Fundamentbereich üblicherweise Verwendung finden, sind deutlich widerstandsfähiger als Lochsteine.

Es bestehen daher keine Bedenken, wenn Kalksandsteine über längere Zeit hin im Erdreich oberhalb oder unterhalb des Grundwasserspiegels eingesetzt werden – vorausgesetzt es liegen keine aggressiven Medien (Wässer bzw. Böden) vor und es werden geeignete Mauermörtel (mind. NM III) verwendet.

Es wird empfohlen:

- für ungeschütztes Mauerwerk im Erdreich grundsätzlich KS-Vollsteine der Festigkeitsklasse ≥ 20 einzusetzen und
- im Frostbereich frostwiderstandsfähige KS-Vollsteine zu verwenden.

Keller werden seit fast 100 Jahren aus Kalksandstein gebaut. Im Laufe der Zeit haben sich die Anforderungen an die Abdichtung von Kellerräumen in Folge der höherwertigeren Nutzung geändert. Die Anordnung der Abdichtung auf der Erdseite ist daher heute allgemein üblich und stellt die Regel der Technik dar.

2. Kabelabdeckungen

Die Verwendungsfähigkeit von Mauersteinen für die Abdeckung von Hoch- und Niederspannungskabeln im Erdreich hängt wesentlich davon ab, ob aus den Steinen durch in das Erdreich eindringende Feuchtigkeit Salze herausgelöst werden, die auf Blei bzw. Aluminium angreifend wirken. In einer umfangreichen Versuchsreihe der Materialprüfanstalt Berlin-Dahlem wurden zur Absicherung bereits vorliegender guter Erfahrungen mit Kalksandstein Langzeit-Prüfungen zur Untersuchung dieser Kriterien durchgeführt. Es wurden Blei- und Aluminiumbleche bis zu einer Versuchsdauer von einem Jahr Lösungen ausgesetzt, die aus Kalksandstein unter Feuchteeinwirkung (z.B. Regen) wasserlösliche Stoffe transportierten. Selbst unter den besonders starken Korrosionsbeanspruchungen der Auslaugungsversuche im Feuchtelagergerät mit erheblichem Temperaturwechsel und starker Tauwasserbildung auf den Proben erfolgten keine stärkeren Abtragungen oder örtliche Anfressungen an Blei und Aluminium. Die Lebensdauer von Kabelmänteln oder dergleichen aus diesen Metallen wird nicht herabgesetzt, so dass Kabelabdeckungen aus Kalksandsteinen besonders geeignet sind. Für diese Zwecke sind seit Jahrzehnten von der Deutschen Post und von Versorgungsunternehmen überall im Land Kalksandsteine mit Erfolg eingesetzt worden, vorzugsweise als KS-Vollsteine im Format DF/NF.

3. Aggressive Medien

Wässer und Böden können Mauerwerk und Beton angreifen, wenn sie freie Säuren, Sulfide (Salze des Schwefelwasserstoffes), Sulfate (Salze der Schwefelsäure), bestimmte Magnesiumsalze (Magnesiumsulfat und Magnesiumchlorid), Ammoniumsalze und bestimmte organische Verbindungen (Fette, Öle) enthalten [1].

Darüber hinaus wirken Wässer angreifend, wenn sie besonders weich sind. Die Wasserhärte wird nach DIN 38409-6 [2] angegeben. Neben der alt hergebrachten Bezeichnung °dH (Grad Deutsche Härte) hat sich mittlerweile der Anteil an Erdalkalien bzw. Calciumcarbonat in mmol/l durchgesetzt (Tafel 1).

Hartes Wasser enthält größere Mengen an Erdalkalisalzen, vorwiegend gelöste Ca- und Mg-Salze. Weiches Wasser enthält wenig Erdalkalisalze.

Alle weichen Wässer enthalten freie Kohlensäure, da diese das in der Luft enthaltene Kohlendioxid (CO_2) zu freier Kohlensäure (H_2CO_3) binden, sie reagieren daher sauer mit pH-Werten von 4,8 bis 5.

Der pH-Wert ist die Größe, die die Azidität (Säuregehalt) oder die Alkalität (Laugengehalt) eines Mediums beschreibt.

- pH < 7 sauer
- pH = 7 neutral
- pH > 7 basisch (alkalisch)

Saure Wässer, d.h. Wässer mit freien Säuren – pH < 7 –, greifen Mauerwerk und Beton an.

Auch Gase können in Verbindung mit Feuchtigkeit Mauerwerk und Beton angreifen, wenn sie Schwefelwasserstoff oder Schwefeldioxid enthalten. Schwefelwasserstoff kommt insbesondere in Faulgasen (Kanalanlagen) vor, Schwefeldioxid insbesondere in Rauchgasen. Beide Gase werden bei gleichzeitiger Anwesenheit von Feuchtigkeit und Luft zu Schwefelsäure oxidiert, es kommt zu entsprechenden Schädigungsreaktionen.

Grundwasser enthält oft kalklösende Kohlensäure, Sulfat, Magnesium, Schwefelwasserstoff und Ammonium. Angreifende organische Verbindungen kommen in höherer Konzentration nur in solchen Gewässern vor, die durch Abwässer verunreinigt sind. Zur Beurteilung des aggressiven Charakters eines Baugrundes genügt im Allgemeinen die Prüfung von Wasserproben. Äußere Merkmale angreifender Wässer sind häufig: dunkle Färbung, Ausscheidung von Gips und anderen Kristallen, fauliger Geruch, Aufsteigen von Gasblasen sowie saure Reaktion (Rotfärbung von blauem Lackmuspapier). Die chemische Wasseranalyse ist die sicherste Methode, angreifende Bestandteile festzustellen. Sie sollte bei der Errichtung von Bauwerken im Grundwasserbereich immer durchgeführt werden.

Tafel 1 **Einteilung der Wasserhärte nach dem Wasch- und Reinigungsmittelgesetz**

Härtebereich	[°dH]	[mmol/l]
weich	0 – 8,4	0 – 1,5
mittelhart	8,4 – 14,0	1,5 – 2,5
hart	> 14,0	> 2,5

Bei der Untersuchung von Wässern vorwiegend natürlicher Zusammensetzung werden nach DIN 4030 die folgenden Werte/Eigenschaften bestimmt:

- pH-Wert
- Geruch
- Kaliumpermanganatverbrauch
- Gesamthärte
- Carbonathärte
- Magnesium
- Ammonium
- Sulfat
- Chlorid
- Kalklösende Kohlensäure

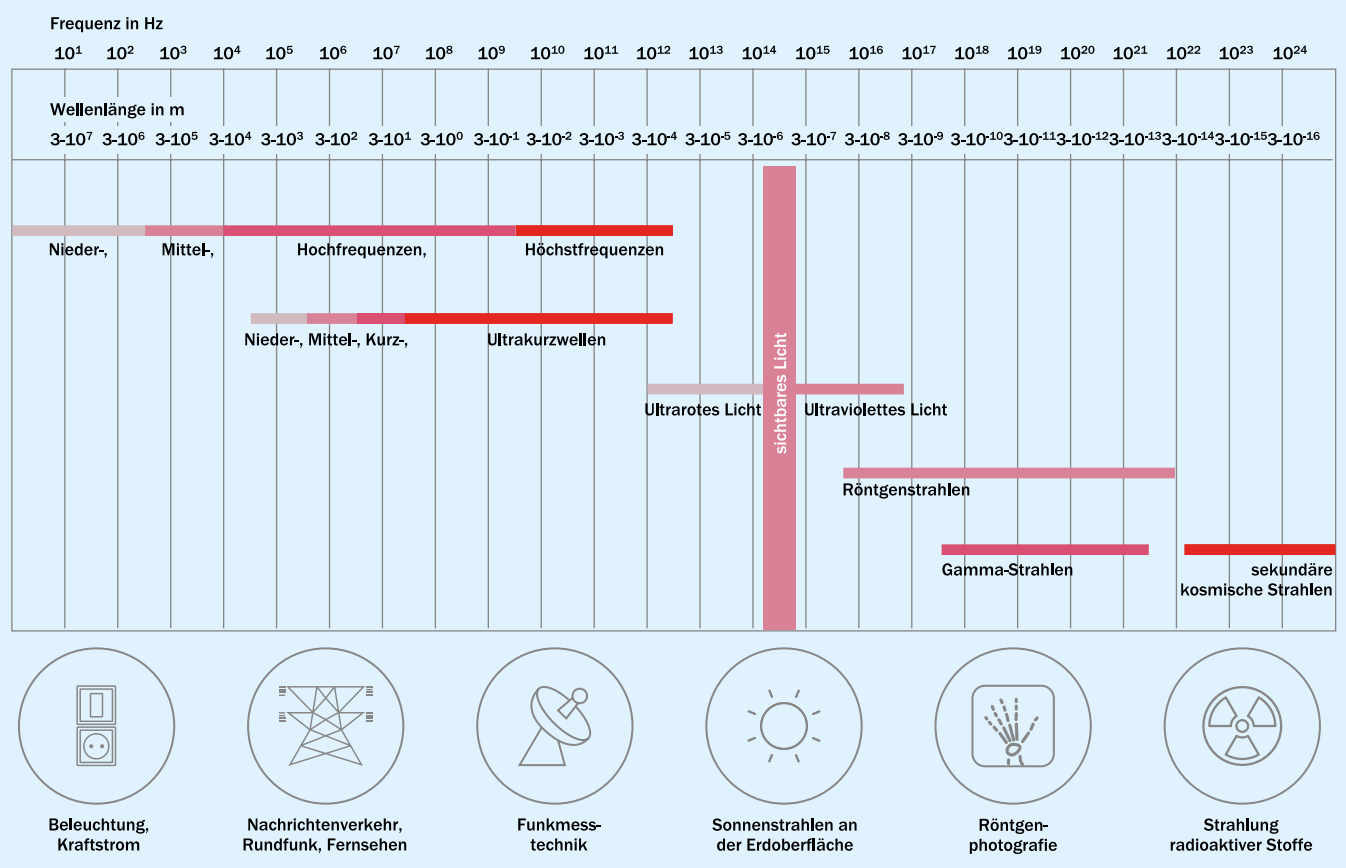
Grenzwerte zur Beurteilung des Angriffsgrades von Böden und Wässern nach DIN 4030 enthält Tafel 2.

Bei stark und sehr stark angreifenden Wässern und Böden ist das Mauerwerk entsprechend zu schützen. Seewasser aus Nord- und Ostsee ist als stark bis sehr stark angreifend einzustufen. Nicht zuletzt wirkt sich der hohe Chloridgehalt negativ aus.

Tafel 2 **Grenzwerte / Angriffsgrad von Böden und Wässern nach DIN 4030**

	Angriffsgrad		
	schwach	stark	sehr stark
pH-Wert	6,5 – 5,5	5,5 – 4,5	< 4,5
Kalklösende Kohlensäure (Heyer-Versuch) [mg CO_2/l]	15 – 40	40 – 100	> 100
Ammonium-Ionen [NH_4^+/l]	15 – 30	30 – 60	> 60
Magnesium-Ionen [Mg^{2+}/l]	300 – 1.000	1.000 – 3.000	> 3.000
Sulfat-Ionen [SO_4^{2-}/l]	200 – 600	600 – 3.000	> 3.000

Tafel 3 Das elektromagnetische Spektrum



4. Strahlenschutz in Gebäuden

Der vorbeugende Schutz vor technisch erzeugter Strahlung gewinnt zunehmend an Bedeutung. Gerade die Tatsache, dass Gefährdungspotenziale und Risiken für den Menschen noch nicht ausreichend wissenschaftlich erforscht sind, führt zu Unsicherheit und ist gleichzeitig Anlass für die Entwicklung von Schutzmaßnahmen.

Der Strahlenschutz in Gebäuden dient in der Regel dem Schutz vor elektromagnetischen Wellen oder gar dem Schutz vor radioaktiver Strahlung.

4.1 Das elektromagnetische Spektrum

Das elektromagnetische Spektrum (Tafel 3) umfasst die Gesamtheit aller elektromagnetischen Wellen. Maßeinheit für die Frequenz ist Hertz. 1 Hertz = 1 Schwingung pro Sekunde. Der Bereich unterhalb 30.000 Hertz wird als niederfrequentes Feld bezeichnet, oberhalb 30.000 Hertz als hochfrequentes Feld. Das hochfrequente Feld wird weiter unterteilt in nicht ionisierende Strahlung und ionisierende Strahlung (i.W. radioaktive Strahlung). Zur hochfrequenten nicht ionisierenden Strahlung sind auch infrarote und ultraviolette Strahlung zu zählen.

Das Zeitalter der Kommunikation führt zu dem immer stärkeren Wunsch, den Datentransfer jederzeit, überall und in unbeschränkter Menge durchzuführen. Die extremen Zuwachsraten im Mobilfunk haben bis 2017 zu mehr als 130 Millionen Mobilfunkanschlüsse in Deutschland geführt [3]. Kabellose Geräte im Bereich der Bürokommunikation, aber auch im modernen Haushalt finden sich immer häufiger.

Die Funktionstüchtigkeit dieser Geräte wie z.B. W-LAN Router oder Bluetooth hängt vom ungestörten Senden und Empfangen des Signals ab. Im Bereich der Medizintechnik sowie in sensiblen Bereichen der Datenverarbeitung wird dagegen bewusst auf abschirmende Wirkung der raumumschließenden Bauteile gesetzt. In diesen Bereichen kann bei unzureichender Abschirmung, der Betrieb dieser Anlagen durch „fremde Wellen“ gestört werden.

4.2 Elektromagnetische Strahlung

Die elektromagnetischen Felder werden anhand ihrer Frequenz, Feldstärke und Signalform in eine Reihe von Haupt- und Unterbereichen eingeteilt. Von besonderer Relevanz ist dabei der Be-

reich von etwa 10 kHz bis ca. 300 GHz, da er u.a. die Betriebsfrequenzen von Rundfunk, Fernsehen, Mobilfunk und Radar umfasst.

Untersuchungen von Prof. Dr.-Ing. Pauli [4] für Kalksandsteine der RDK 1,8 zeigen, dass für typische Mobilfunkfrequenzen (GSM 900 / GSM 1800, DECT, UMTS) bereits bei einer Wanddicke von 17,5 cm eine Schirmdämpfung von 40 bzw. 70 % erreicht wird. Je höher die Schirmdämpfung ist, desto höher ist die Schutzwirkung. Kalksandstein-Mauerwerk mit WDVS hat eine deutlich höhere Schirmdämpfung von bis zu 99 %, wenn im Außenputz des Kalksandstein-Mauerwerks mit WDVS ein elektromagnetisch wirksames Armierungsgewebe verwendet wird.

Bei Verwendung von Kalksandsteinen mit speziellen Zuschlägen wird die Schirmdämpfung auf über 99,99 % gesteigert. Dies bedeutet, dass z.B. das Telefonieren im D1- oder D2-Netz (ca. 900 MHz) in einem Raum aus diesem Material nahezu unmöglich ist, wenn keine Fenster- oder Türöffnungen vorhanden sind. Damit bieten sich nicht nur Anwendungsgebiete zum Schutz des Menschen, sondern auch im Bereich der Datenverarbeitung und der Abhörsicherheit von Gebäuden.

INFO

Eine einfache Rechenhilfe zur Ermittlung der äquivalenten Bleischichtdicke nach DIN 6812 [5] steht auf der KS-Homepage zum Download bereit.

4.3 Radioaktive Strahlung

Der Schutz vor radioaktiver Strahlung ist besonders im Bereich der Medizintechnik relevant. Für den baulichen Strahlenschutz ist die DIN 6812 [6] zu beachten. Die Bemessung der erforderlichen Abschirmung (Bleischichtdicke) erfolgt in Abhängigkeit von der Nutzstrahlung, der Kategorie des Raums sowie dem Abstand zwischen Brennfleck und zu schützendem Aufenthaltsraum je nach Geräteleistung.

Die abschirmende Wirkung anderer Stoffe als Blei wird als äquivalente Bleischichtdicke angegeben. Die äquivalente Bleischichtdicke sagt aus, wie dick eine Schutzschicht aus einem anderen Baustoff, z.B. aus Kalksandstein, sein muss, um die gleiche Abschirmwirkung zu erzielen.

INFO

Die äquivalente Bleischichtdicke ist am homogenen Querschnitt zu ermitteln. Der Einsatz von KS-Vollsteinen ist deshalb grundsätzlich zu empfehlen. Da Vollsteine nach DIN V 20000-402 einen Lochanteil von bis zu 15 % der Lagerfläche aufweisen dürfen, wird empfohlen, das Lochbild konkret festzulegen. Eventuelle Grifftaschen und Dollenlöcher sind zu verfüllen, Stoßfugen zu vermörteln.

Die erforderliche Dicke wird nach Gleichung (1) der DIN 6812 ermittelt. Eventuell vorhandene Bausubstanz darf bei der Bestimmung der Abschirmung berücksichtigt werden. Die „äquivalente Bleischichtdicke“ ist abhängig von der Rohdichte und Dicke des Baustoffes sowie der maximalen Röhrenspannung.

$$x_m = a \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^b \cdot \left(\frac{U}{U_0}\right)^c \cdot \left(\frac{x}{x_0}\right)^d$$

mit:

x_m Äquivalente Bleischichtdicke [mm]
a, b, c, d als Konstanten entsprechend Tafel 4
ρ Dichte des Materials [kg/dm³]
ρ_0 1 [g/cm³]
U Röhrenspannung [kV]
U_0 100 [kV]
x Schutzschichtdicke aus Blei [mm]
x_0 1 [mm]

Beispiel:

- Erforderliche Bleischichtdicke = 0,5 mm (ermittelt nach DIN 6812)
- Röhrenspannung = 80 kV, z.B. Dentales Fernaufnahmegerät
- Kalksandstein der Rohdichteklasse 2,0 (Rohdichte = 1,81 bis 2,0 kg/dm³, angesetzt: ρ = 1,81 kg/dm³)

$$x_m = 192 \cdot \left(\frac{1{,}81}{1}\right)^{-0{,}83} \cdot \left(\frac{80}{100}\right)^{-0{,}70} \cdot \left(\frac{0{,}5}{1}\right)^{1{,}1}$$

x_m = 64 mm

Gewählt: KS-Bauplatte, d = 70 mm.

Tafel 4 **Konstanten zur Ermittlung der äquivalenten Bleischichtdicke [mm] nach DIN 6812, Tabelle 17 [6]**

Röhrenspannungsbereich	< 100 kV		100 bis 175 kV		175 bis 200 kV		> 200 kV	
Dichte des Schwächungsmaterials [kg/dm³]	< 3,2	≥ 3,2	< 3,2	≥ 3,2	< 3,2	≥ 3,2	< 3,2	≥ 3,2
a	192	–	192	10,5	290	9,3	290	25
b	-0,83	–	-0,95	-0,20	-0,95	-0,22	-0,95	-0,20
c	-0,70	–	0,69	1,85	-0,53	1,31	-0,50	0,00
d	1,1	–	0,82	0,90	0,75	0,96	0,70	0,87

Tafel 5 **Schutzschichtdicken bei Mauerwerk aus Kalksandstein (RDK 2,0) [mm] ermittelt nach Gleichung (1) der DIN 6812 [6]**

Baustoff/Dichte	Dicke der Schutzschicht Blei [mm]	Äquivalente Schichtdicke aus Kalksandstein [mm] bei maximaler Röhrenspannung [kV]					
		50	100	150	200	250[1)]	300[1)]
Kalksandstein RDK 2,0; angesetzt wird der untere Grenzwert von ρ = 1,81 kg/dm³.	0,5	83	58	76	69	65	59
	1	177	102	134	115	105	96
	2	–	179	237	194	171	156
	3	–	250	330	262	227	207
	4	–	316	–	325	277	253
	5	–	–	–	–	324	296

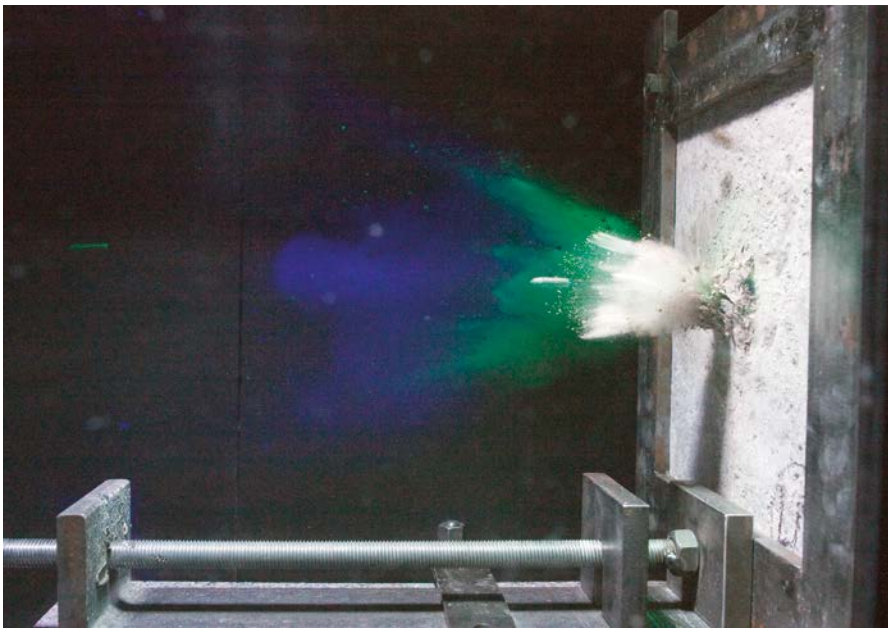
[1)] Für Störstrahlung sind die Werte für 200 kV maßgebend.

5. Beschuss-Sicherheit

In sicherheitsrelevanten Bereichen von Gebäuden, wie Sparkassen und Banken, Militärgebäuden, Verwaltungsgebäuden u.a., werden an die einzelnen Bauteile hohe Anforderungen bzgl. der Beschuss-Sicherheit gestellt. Die Grundlage für den Einsatz von Kalksandstein in diesen Gebäuden schaffen Untersuchungen zur Beschuss-Sicherheit von KS-Wänden vom Beschuss-Amt Ulm [7].

Die Prüfungen erfolgten nach den Prüfungsbedingungen für den Beschuss angriffhemmender Stoffe des Landeskriminalamtes Baden-Württemberg. Dabei werden nach DIN EN 1522 [8] sieben Beanspruchungsarten für die Beschussprüfungen zugrunde gelegt. Durch die Beurteilung des Beschussbildes auf der Rückseite der Prüfwand: kein Durchschuss in Verbindung mit „Splitterabgang (S)“ oder „kein Splitterabgang (NS)“ ergeben sich 14 Widerstandsklassen:

- FB1 NS bis FB7 NS
- FB1 S bis FB7 S



Die Ergebnisse der Beschussprüfungen sind in Tafel 6 wiedergegeben. Für KS-Mauerwerk der RDK 2,0 in Dünnbettmörtel, ohne Putz, ohne Stoßfugenvermörtelung wurden die folgenden Beschussklassen erreicht:

- FB1 NS bis FB4 NS mit 11,5 cm
- FB5 NS und FB6 NS mit 15 cm
- FB7 NS mit 24 cm

Somit können in Bereichen, in denen hohe Anforderungen an die Beschuss-Sicherheit gestellt werden, wirtschaftliche und schlanke Wandkonstruktionen aus Kalksandstein eingesetzt werden. Zum Nachweis liegen beim Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. Prüfzeugnisse vor.

Tafel 6 Beschuss-Widerstandsklassen von unverputzten KS-Wänden

Klasse	Art der Waffe	Kaliber	Munition		Beschussbedingungen		Erforderliche Wanddicke aus KS, RDK 2,0 in Dünnbettmörtel
			Art	Masse [g]	Prüfentfernung [m]	Geschoss-geschwindigkeit [m/s]	[cm]
FB1	Büchse	22 LR	L(1)/RN	2,6 ± 0,1	10 ± 0,5	360 ± 10	11,5
FB2	Faustfeuer-waffe	9 mm Para	FJ(2)/RN/SC	8,0 ± 0,1	5 ± 0,5	400 ± 10	11,5
FB3	Faustfeuer-waffe	0,357 magnum	FJ(3)/CB/SC	10,2 ± 0,1	5 ± 0,5	430 ± 10	11,5
FB4	Faustfeuer-waffe	0,357 magnum	FJ(3)/CB/SC	10,2 ± 0,1	5 ± 0,5	430 ± 10	11,5
	Faustfeuer-waffe	0,44 magnum	FJ(3)/FN/SC	15,6 ±0,1	5 ± 0,5	440 ± 10	11,5
FB5	Büchse	5,56 · 45	FJ(3)/PB/SCP1	4,0 ± 0,1	10 ± 0,5	950 ± 10	15
FB6	Büchse	5,56 · 45	FJ(3)/PB/SCP1	4,0 ± 0,1	10 ± 0,5	950 ± 10	15
	Büchse	7,62 · 51	FJ(2)/PB/SC	9,5 ± 0,1	10 ± 0,5	830 ± 10	15
FB7	Büchse	7,62 · 51	FJ(3)/PB/HC1	9,8 ± 0,1	10 ± 0,5	830 ± 10	24

L(1) – Blei, kupferbeschichtet
FJ(2) – Vollmantel, Stahl
FJ(3) – Vollmantel, Kupfer
L – Blei
CB – Kegelspitzkopf
FJ – Vollmantel
FN – Flachkopf
HC1 – Stahlhartkern, Masse 3,7 g ± 0,1, Härte mind. 63 HRC
PB – Spritzkopf-Geschoss
RN – Rundkopf
SC – Weichkern mit Blei
SCP1 – Weichkern mit Blei und Stahlpenetrator (Typ SS 109)

6. Mauern im Winterhalbjahr und Absäuern des Mauerwerks

Bei ungeeigneten Witterungsbedinungen wie z.B. Frost dürfen Mauerarbeiten nur **in Abstimmung mit dem Auftraggeber** und bei der Ergreifung besonderer Maßnahmen durchgeführt werden (VOB-C:DIN 18330, Abschnitt 3.1.2) [9]. Auch in DIN EN 1996-2/NA Abschnitt 3.6.3 NA.3 [10] wird gefordert, dass bei Frost nur unter besonderen Schutzmaßnahmen gearbeitet werden darf. Der Einsatz von Frostschutzmitteln ist nicht zulässig; gefrorene Baustoffe dürfen nicht verwendet werden. Der Einsatz von Salzen zum Auftauen ist ebenfalls nicht zulässig.

INFO

Das Mauern bei Frost bedarf nach VOB-C: DIN 18330 grundsätzlich der Zustimmung des Auftraggebers und darf nach DIN EN 1996/NA nur unter besonderen Schutzmaßnahmen durchgeführt werden. Das frische Mauerwerk ist vor Frost zu schützen.

Das frische Mauerwerk ist vor Frost rechtzeitig zu schützen, z.B. durch Abdecken. Auf gefrorenem Mauerwerk darf nicht weitergemauert werden. Durch Frost oder andere Einflüsse beschädigte Teile von Mauerwerk sind vor dem Weiterbau abzutragen. Von einigen Mörtelherstellern werden so genannte Wintermörtel angeboten. Dieser Begriff bezieht sich nicht auf die Verwendbarkeit bei Frost. Er ist so zu verstehen, dass die Rezeptur des Mörtels auf die im Winterhalbjahr vorherrschenden Witterungsbedingungen geändert wurde. Entsprechende Schutzmaßnahmen und sonstige vorbereitende Arbeiten für das Mauerwerk und die zu verarbeitenden Mauersteine sind auch bei Verwendung dieser Mörtel erforderlich.

Entsprechend VOB-C:DIN 18330 Mauerarbeiten, Abschnitt 3.2.6 darf Mauerwerk aus Kalksandstein nicht abgesäuert werden. Dies ist besonders bei Sicht- und Verblendmauerwerk zu beachten.

Die umweltschädliche Wirkung von chloridhaltigen Tausalzen ist bekannt. Bei dem Einsatz auf Baustellen können diese hochaggressiven Salzlösungen zusätzlich zur Zerstörung von Bauteilen aus Mauerwerk und Beton und zur beschleunigten Korrosion der Stahleinlagen führen. In DIN EN 1996-2/NA wird auf diese Gefahr besonders hingewiesen. Der Zerstörungsprozess als physikalischer und chemischer Vorgang wird durch den kombinierten Angriff der beim Auftauen entstehenden wässrigen Salzlösungen, die in Geschossdecken und Wandaufbauten eindringen, und den in der hiesigen Klimazone üblichen Frost-Tau-Wechsel ausgelöst. Das kann bereits bei geringen Chloridkonzentrationen zu mehr oder weniger starken Schäden am Mauerwerk führen. Daher sind Arbeitsplätze und Arbeitsflächen auf der Baustelle auf keinen Fall mit Tausalzen, sondern mechanisch oder unter Verwendung von Wasserdampflanzen von Eis und Schnee zu befreien. Im Streu- und Spritzbereich bestehender Gebäude sind ebenfalls keine Tausalze zu verwenden. Weiterhin besteht die Gefahr, dass Ausblühungen im Mauerwerk auftreten, die zu Folgeschäden in Putz und Anstrich führen können.

INFO

Das Reinigen des KS-Verblendmauerwerks mit Salzsäure ist nach VOB-C:DIN 18330 nicht zulässig. Auch der Einsatz von Salzen zum Abtauen ist nicht zulässig (DIN EN 1996-2/NA). Dies gilt für Baustellen und bestehende Gebäude.



Bild 1 Lagern von Stein und Mörtel

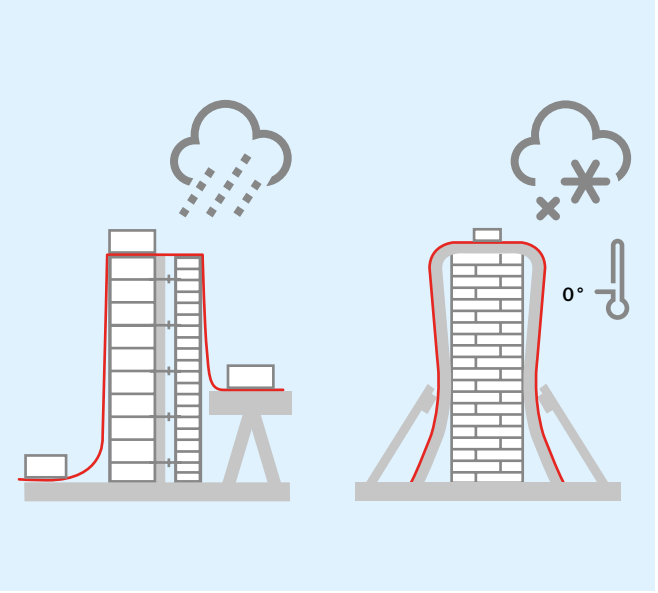


Bild 2 Frisches KS-Mauerwerk ist vor Regen und Frost zu schützen.

7. Erdbebensicherheit

Deutschland ist im Vergleich zu anderen europäischen Ländern, den USA oder Japan aufgrund der gemessenen Intensitäten und der Erdbebendauer ein so genanntes Schwachstbebengebiet.

Die Einführung des Eurocode 8 verzögert sich weiterhin, da noch nicht alle Randbedingungen zur Erstellung des Nationalen Anhangs geklärt sind. Die derzeit immer noch gültige nationale Erdbeben-Norm DIN 4149 [11] gilt für Entwurf, Bemessung und Konstruktion baulicher Anlagen des üblichen Hochbaus in deutschen Erdbebengebieten (Bild 3). Hauptziel ist der Schutz von Menschenleben durch die Sicherstellung der Standsicherheit im Falle eines Erdbebens. Bei Erdbeben handelt sich um einen Extremlastfall (außergewöhnlichen Bemessungsfall). Die Bemessungsphilosophie zielt nicht darauf ab, bei dem schwersten am Standort zu erwartenden Erdbeben einen vollständig schadensfreien Zustand des Bauwerks zu garantieren. Ziel ist es, Menschenleben zu schützen und sicherzustellen, dass die für die öffentliche Sicherheit und Infrastruktur wichtigen baulichen Anlagen funktionstüchtig bleiben.

Übertragen auf Mauerwerksbauten bedeutet dies, dass es beim „Bemessungserdbeben“ durchaus zu Rissen kommen darf. Diese Risse dürfen jedoch nicht die Standsicherheit des Gebäudes gefährden.

Seit 2005 werden in DIN 4149 die Aspekte des erdbebengerechten Entwurfs von Bauwerken stärker berücksichtigt. Entwurfsgrundsätze für Grundriss, Aufriss und konstruktive Ausbildung werden in [12] gegeben.

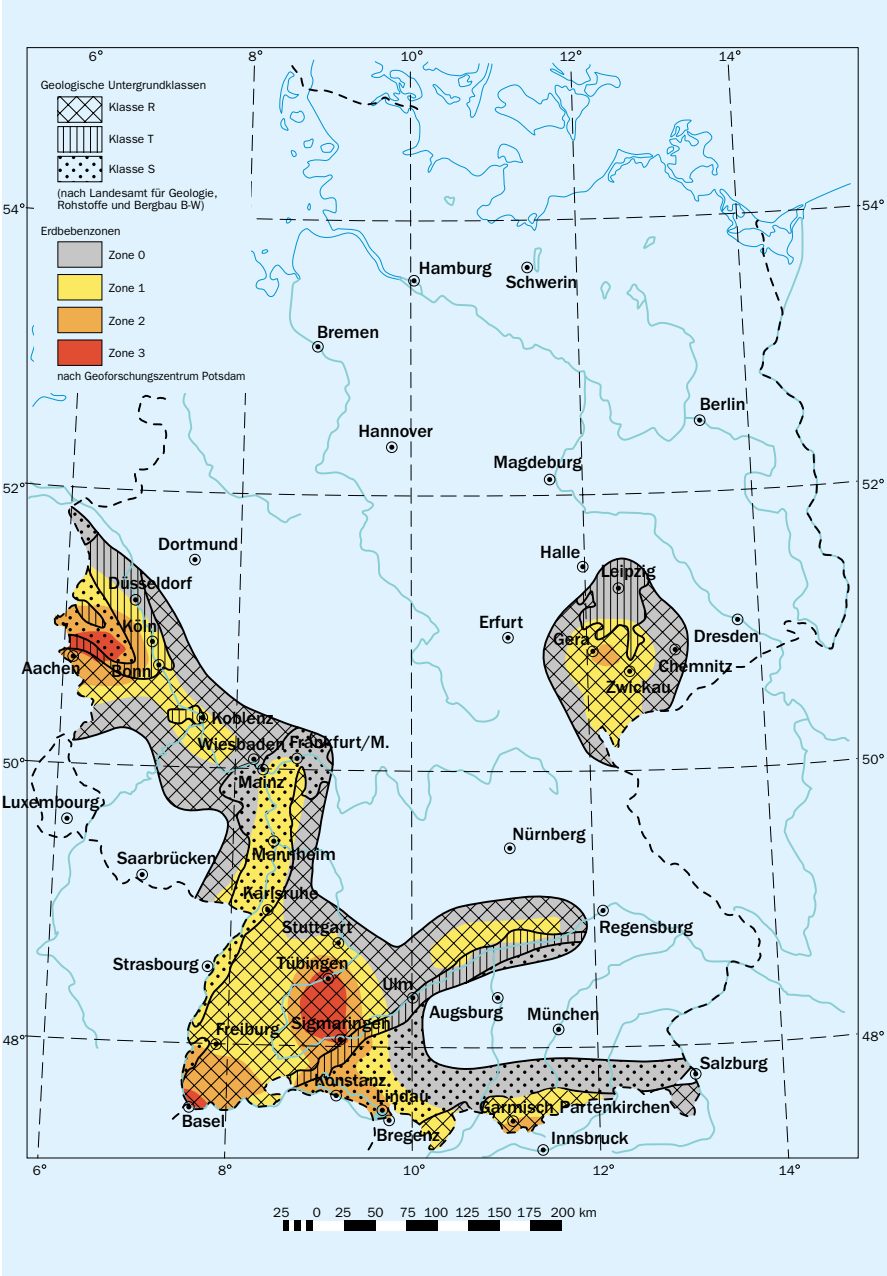


Bild 3 Erdbebenzonen und geologische Untergrundklassen

7.1 Anforderungen an Mauerwerksbaustoffe

In deutschen Erdbebengebieten dürfen generell alle in DIN EN 1996/NA geregelten Mauersteine und Mauermörtel verwendet werden. Dies schließt alle Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN 20000-402 sowie Kalksandsteine mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung ein.

In Erdbebenzone 2 und 3 dürfen Mauersteine ohne durchlaufende Innenstege in Wandlängsrichtung nur verwendet werden, wenn sie eine mittlere Steindruckfestigkeit von mindestens 2,5 N/mm² in Wandlängsrichtung aufweisen.

INFO

Kalksandsteine mit den in der Praxis angebotenen Steindruckfestigkeitsklassen (SFK ≥ 10) erfüllen stets die Anforderung an die mittlere Steindruckfestigkeit in Wandlängsrichtung von ≥ 2,5 N/mm², sind also so genannte „Erdbebensteine“.

7.2 Erdbebennachweis

Auf einen rechnerischen Erdbebennachweis von Mauerwerksbauten kann verzichtet werden, wenn die konstruktiven Regeln nach DIN 4149 Abschnitt 11.6 eingehalten werden.

Mit MINEA [13] steht eine benutzerfreundliche Softwarelösung zum Erdbebennachweis zur Verfügung. Neben dem vereinfachten Nachweis (Einhaltung der konstruktiven Regeln) ist auch ein rechnerischer Nachweis nach DIN 4149 im Programm umgesetzt.

8. Einbruchhemmung

Alle zwei Minuten passiert in Deutschland ein Einbruch. Die Summe der jährlich durch Einbrüche in Wohnungen verursachten Schäden beträgt rund 470 Mio. €. Der durchschnittliche Schaden eines Einbruchs im privaten Bereich beträgt dabei rund 3.250 € [14, 15]. Neben dem materiellen Schaden stellt jeder Einbruch einen Eingriff in die persönliche Sphäre dar und zieht oft eine starke psychische Belastung nach sich. Das Bedürfnis nach Sicherheit in den eigenen vier Wänden sowie der hohe materielle und persönliche Wert der mobilen Gegenstände (Schmuck, Laptop, Akten etc.) machen daher den Einbruchschutz eines Gebäudes zu einem wichtigen Qualitätskriterium. Bei Gewerbetreibenden kann der Schaden eines Einbruchs (Verlust von Daten durch Zerstörung oder Diebstahl ganzer Büroausstattungen inklusive Computern und Servern) den unternehmerischen Ruin bedeuten. Einbrecher haben nur wenige Minuten Zeit, um in das Gebäude zu gelangen. Fenster und Türen sind die bevorzugten Angriffspunkte (Bild 4). Nach fünf Minuten gibt der Einbrecher auf – so lautet das Ergebnis einer wissenschaftlichen Studie von Prof. Dr. Feltes M.A., Lehrstuhl für Kriminologie, Kriminalpolitik und Polizeiwissenschaft an der Ruhr-Universität Bochum [16].

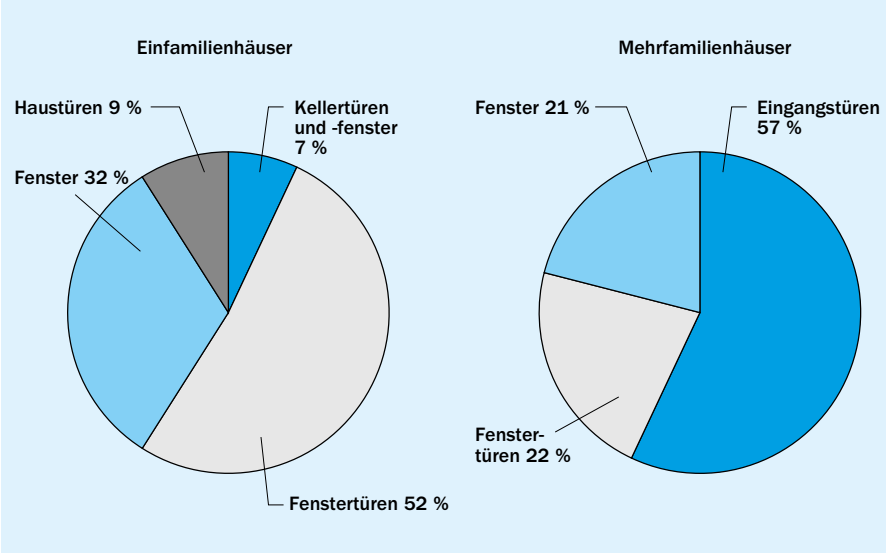


Bild 4 Einbrecher kennen die Schwachstellen des Hauses [15]

Anforderungen an die umgebenden Wände einbruchhemmender Bauteile wie Fenster, Türen und Abschlüsse (sowie das zu erwartende Täterverhalten) sind in DIN EN 1627:2011-09 [17] beschrieben. Gegenüber der Vorgängernorm DIN V 1627:1999 hat sich die Bezeichnung der Widerstandsklassen geändert. Alte Prüfzeugnisse dürfen im Allgemeinen weiter benutzt werden, da im Nationalen Anhang (NA) der Norm eine Korrelationstabelle angegeben ist. Die Korrelation mit den Widerstandsklassen nach der alten Norm ist in Tafel 7 angegeben.

Die Widerstandsklassen RC 2 und RC 3 sind für den privaten Bereich üblicherweise ausreichend [18]. Dies gilt auch für übliche Gewerbebauten und öffentliche Objekte mit geringem und durchschnittlichem Risiko.

INFO

Die Einstufung in die Versicherungsklassen richtet sich auch nach den baulich realisierten Einbruchswiderstandsklassen.

Tafel 7 dient nur zur groben Orientierung. Fachkundige Beratung, z.B. durch die Beratungsstelle der örtlichen Polizei, ist unerlässlich. Die Abschätzung des Risikos sollte unter Berücksichtigung von Nutzung und Sachwertinhalt sowie der Lage des Gebäudes (geschützt/ungeschützt) auf eigene Verantwortung

Tafel 7 Widerstandsklassen in Abhängigkeit vom Täterverhalten [17]

Widerstandsklasse DIN EN 1627:2011	Widerstandsklasse DIN EN V 1627:1999	Widerstands-zeit [min]	Mutmaßliches Täterverhalten
RC 1	**WK 1**	–[1)]	Bauteile der Widerstandsklasse RC 1 N weisen nur einen geringen Schutz gegen den Einsatz von Hebelwerkzeugen auf.
RC 2N	–	3	Der Gelegenheitstäter versucht zusätzlich, mit einfachen Werkzeugen wie Schraubendreher, Zange und Keil, das verschlossene und verriegelte Bauteil aufzubrechen.
RC 2	**WK 2**	3	
RC 3	**WK 3**	5	Der Täter versucht zusätzlich, mit einem zweiten Schraubendreher und einem Kuhfuß sowie mit einfachem Bohrwerkzeug das verschlossene und verriegelte Bauteil aufzubrechen.
RC 4	**WK 4**	10	Der erfahrene Täter setzt zusätzlich Säge- und Schlagwerkzeuge wie Schlagaxt, Stemmeisen, Hammer und Meißel sowie eine Akku-Bohrmaschine ein.
RC 5	**WK 5**	15	Der sehr erfahrene Täter setzt zusätzlich leistungsfähige Elektrowerkzeuge, wie z.B. Bohrmaschine, Stich- oder Säbelsäge und Winkelschleifer (max. ø 125 mm), ein.
RC 6	**WK 6**	20	Der sehr erfahrene Täter setzt zusätzlich leistungsfähige Elektrowerkzeuge, wie z.B. Bohrmaschine, Stich- oder Säbelsäge und Winkelschleifer (max. ø 230 mm), ein.

[1)] Wird nicht manuell geprüft
Die Zuordnung der Widerstandsklassen von einbruchhemmenden Bauteilen zu Massivwänden nach [17] ist in Tafel 8 angegeben.

Tafel 8 Zuordnung der Widerstandsklassen von einbruchhemmenden Bauteilen zu Massivwänden nach [17]

Widerstandsklasse des Bauteils nach DIN EN 1627	Umgebende Wände					
	aus Mauerwerk nach DIN EN 1996/NA				aus Stahlbeton nach DIN EN 1992/NA	
	Wanddicke (ohne Putz) [mm]	Steindruckfestigkeitsklasse (SFK)	Steinrohdichteklasse (RDK)	Mörtelgruppe	Nenndicke [mm]	Festigkeitsklasse
RC 1 N RC 2 N RC 2	≥ 115	≥ 12	–	mind. NM II/ DM	≥ 100	≥ C 16/20
RC 3	≥ 115	≥ 12	–	mind. NM II/ DM	≥ 120	≥ C 16/20
RC 4	≥ 240[1)]	≥ 12	–	mind. NM II/ DM	≥ 140	≥ C 16/20
RC 5	≥ 240[1)]	≥ 20	≥ 1,8	DM	≥ 140	≥ C 16/20
RC 6	≥ 240[2)]	≥ 20	≥ 1,8	DM	≥ 140	≥ C 16/20

[1)] RC 4 und RC 5 auch mit: KS -R P 20-2,0 7 DF (200) bzw. Maße (L · B · H) 248 · 200 · 248 mm
[2)] Anwendbar auf Formate der Höhe 238 mm, 498 mm, 623 mm, und 648 mm.
Nachweis: ift Rosenheim Prüfbericht Nr. 12-002464-PR01

erfolgen. Bei hohem Risiko sollten zusätzlich alarmtechnische Meldeanlagen eingesetzt werden. Bei Verwendung einbruchhemmender Elemente der Widerstandsklassen RC 4 bis RC 6 in Flucht- und Rettungswegen ist zu beachten, dass der Werkzeugeinsatz der Feuerwehr erschwert ist bzw. berücksichtigt werden muss. Außensteckdosen, z.B. im Flur einer Wohnung, sollten spannungslos sein, um ihre Benutzung durch Einbrecher zu verhindern.

INFO

Tafel 8 zeigt, wie mit üblichen Wandkonstruktionen aus Kalksandstein alle Einbruchswiderstandklassen realisiert werden können.

Die Einschränkungen hinsichtlich der Steinformate in den Fußnoten 1 und 2 in Tafel 8 resultieren aus maximal zulässigen Einstiegsöffnungen, die im Rahmen einer Prüfung zur Einstufung eines Bauteils in eine Widerstandsklasse nach einer bestimmten Zeit nicht überschritten werden darf.

9. Austrocknungsverhalten von KS-Mauerwerk

9.1 Übliche Baufeuchte

Das Austrocknungsverhalten von einer Baustoffschicht und Bauteilen ist insbesondere dann wichtig, wenn von der betreffenden Baustoffschicht Aufgaben bezüglich des Wärmeschutzes zu übernehmen sind. Untersuchungen [19] kamen zum Ergebnis, dass der rechnerisch ermittelte U-Wert bei monolithischen Wänden aus „dämmenden Mauersteinen“ z.T. erst nach zwei bis drei Jahren erreicht wird. Im Gegensatz dazu nehmen die bei KS-Funktionswänden meist verwendeten Dämmstoffe (z.B. EPS-Hartschaum oder hydrophobierte Mineralfaserplatten) praktisch kein Wasser auf, so dass der Wärmeschutz von KS-Außenwänden von Anfang an gewährleistet ist.

Generell ist in der Austrocknungsphase zu beachten, dass ein erheblicher Teil der Baufeuchte nicht an die Außenluft, sondern an den Innenraum abgegeben wird. In dieser Zeit ist es daher erforderlich, den Luftwechsel zu erhöhen, um die Baufeuchte über Lüftung nach außen abzuführen.

Für die Austrocknung von Innenwänden können nach einer Veröffentlichung von Schubert [20] näherungsweise folgende Anhaltswerte genannt werden:

- d = 11,5 cm : 3 bis 6 Monate,
  d = 24 cm : bis 12 Monate.
- Die Untersuchungen wurden unter ungünstigen Klimarandbedingungen durchgeführt (20 °C/65 % rel. Luftfeuchte). Bei Lochsteinen sowie bei praxisgerechten Klimarandbedingungen sind deutlich kürzere Austrocknungszeiten zu erwarten.

Diese Untersuchungen von Schubert werden weitgehend bestätigt durch eigene Austrocknungsversuche neueren Datums, in die auch Innenputze mit einbezogen werden. Bei den verwendeten Dispersionsputzen war der Ausgangsfeuchtezustand mit ca. 6 M.-% festgelegt worden (Bild 5). Für die Austrocknungsversuche wurden wassergesättigte Steine unter Laborbedingungen verwendet.

9.2 Durchfeuchtung infolge von Extrem-Ereignissen wie Hochwasser

Hochwasserereignisse treten in Deutschland immer wieder auf. Angesichts des sich abzeichnenden Klimawandels ist davon auszugehen, dass Extrem-Ereignisse wie Überflutungen in der Zukunft zunehmen werden [22]. Dies hat zur Folge, dass Gebäude in hochwassergefährdeten Regionen zunehmend von Hochwasserereignissen betroffen sein werden und dabei bisweilen bis ins Obergeschoss überflutet werden können [23]. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage der Eignung von Baustoffen für den Einsatz innerhalb dieser Regionen.

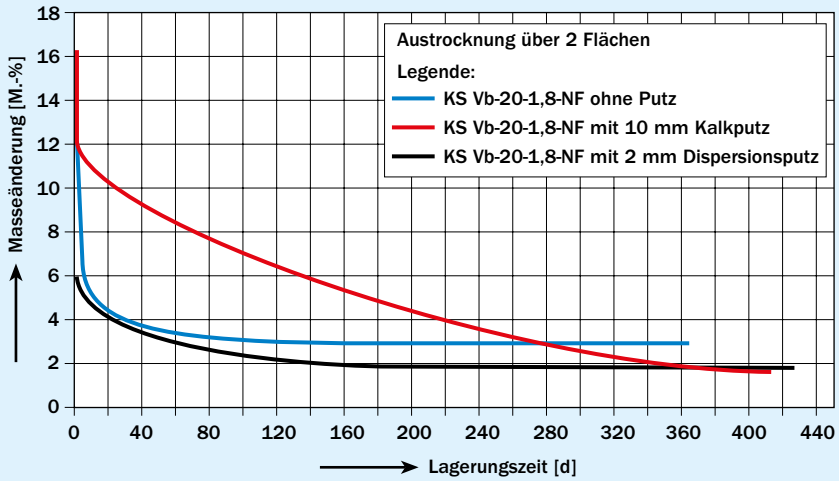


Bild 5 **Einfluss von Putzen auf das Austrocknungsverhalten von Kalksandsteinen (Austrocknung über 2 Flächen, Klima: 20 °C/65 % rel. F.)**

Die Hochwasserschutzfibel [24] zählt Kalksandstein im Gegensatz zu anderen Bauweisen zu den gut geeigneten Baustoffen bei der Gefahr einer Hochwasserbeanspruchung. In einem Forschungsprojekt an der RWTH Aachen wurden die mechanischen Eigenschaften von Mauerwerk bei Wasserbeaufschlagung bis zur Sättigung und anschließender Rücktrocknung untersucht [25]. Dabei wurden die folgenden Ergebnisse festgestellt:

- Die Beaufschlagung mit Wasser bis zur Sättigung beeinflusst die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Kalksandsteinen und Kalksandstein-Mauerwerk nur geringfügig.
- Nach Rücktrocknung erreichen Kalksandsteine und Kalksandstein-Mauerwerk mindestens die Festigkeitseigenschaften welche im Ausgangszustand vorhanden waren.

Untersuchungen zum Trocknungsverhalten durchfeuchteter Bauteilen wurden neben [21] auch in [26] durchgeführt. Die Untersuchungen von Schubert in [21] werden durch die Berechnungen in [26] bestätigt. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse in [26], dass Hochwassergeschädigte Bauteile aus Kalksandstein-Mauerwerk mittels natürlicher Belüftung getrocknet werden können. Die zum Abtransport der anfallenden Feuchte erforderlichen Luftwechselraten können in beheizten Räumen in der Regel durch eine Fensterlüftung gewährleistet werden. Eine Beschleunigung der Trocknung von Kalksandstein-Mauerwerk ist durch maschinelle Trocknungsverfahren wie z.B. Kondensationslufttrocknern oder Infrarotflächenheizungen (in der Anfangsphase) gut möglich. Beim Einsatz von Infrarotflächenheizungen ist jedoch darauf zu achten, dass nur Geräte verwendet werden, die zu Oberflächentemperaturen auf dem Mauerwerk von maximal 40 °C führen [23].

Literatur

[1] DIN 4030-1:2008-06 Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase; Grundlagen und Grenzwerte

[2] DIN 38409-6:1986-01 Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H); Härte eines Wassers (H 6)

[3] https://de.statista.com/statistik/daten/studie/3907/umfrage/mobilfunkanschluesse-in-deutschland/

[4] Pauli, P.; Moldan, D.: Reduzierung hochfrequenter Strahlung, 2. kompl. überarbeitete und erweiterte Auflage 2003

[5] Bleigleichwert, Rechenhilfe zur Ermittlung der äquivalenten Bleischichtdicke nach DIN 6812. Bezug über KS-Homepage.

[6] DIN 6812:2013-06 Medizinische Röntgenanlagen bis 300 kV – Regeln für die Auslegung des baulichen Strahlenschutzes

[7] Prüfzeugnisse zur Beschusssicherheit von KS-Wänden, Beschussamt Ulm, 30.10.2001

[8] DIN EN 1522:1999-02 Fenster, Türen, Abschlüsse – Durchschußhemmung – Anforderungen und Klassifizierung. Deutsche Fassung EN 1522:1998

[9] DIN 18330:2016-09 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Mauerarbeiten

[10] DIN EN 1996-2:2010-12 Eurocode 6 Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk in Verbindung mit: DIN EN 1996-2/NA: 2012-01

[11] DIN 4149:2005-06 Bauten in deutschen Erdbebengebieten

[12] Meskouris, K.; Butenweg, Chr. Gellert, Chr.: Erdbebensicheres Bauen, Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V., Hannover, 2008

[13] MINEA, Programm für den Nachweis von Mauerwerksbauten nach DIN 4149, SDA-engineering GmbH, Herzogenrath, 2010

[14] „Bei jedem ist etwas zu holen“ – Einbruch-Report 2017 der deutschen Versicherungswirtschaft, GDV, April 2017

[15] Initiative für aktiven Einbruchschutz „Nicht bei mir!”, Pressemitteilung vom 23.05.2008

[16] Nach fünf Minuten gibt der Einbrecher auf!, Hrsg.: Programm Polizeiliche Kriminalprävention der Länder und des Bundes (ProPK) und Stiftung Deutsches Forum für Kriminalprävention (DFK), Berlin/Stuttgart, 2006

[17] DIN EN 1627:2011-09/NA Fenster, Türen Abschlüsse – Einbruchhemmung – Anforderungen und Klassifizierung

[18] www.k-einbruch.de/fenster

[19] Holm, A.; Sedlbauer, K.; Radon I.; Künzel H.M.: Einfluss der Baufeuchte auf das hygrothermische Verhalten von Gebäuden, IBP Mitteilung 29, 2002

[20] Schubert, P.: Zur rissfreien Wandlänge von nicht tragenden Mauerwerkwänden. Berlin: Ernst & Sohn – In: Mauerwerk-Kalender 13 (1988), S. 473–488

[21] Schubert P.: Trocknungsschwinden von Kalksandsteinen. Berlin: Ernst & Sohn – In: Das Mauerwerk, Heft 3 (2003)

[22] Rahmstorf, S.: Ursachen und Folgen des Klimawandels – ein kurzer Überblick über den Wissensstand mit historischem Kontext. Mauerwerk 17, Heft 5, 2013

[23] Alfes, C.; Schäfers, M.: Bauphysikalische und mechanische Aspekte von Mauerwerk nach Flutkatastrophen. Mauerwerk 18, Heft 5, 2014

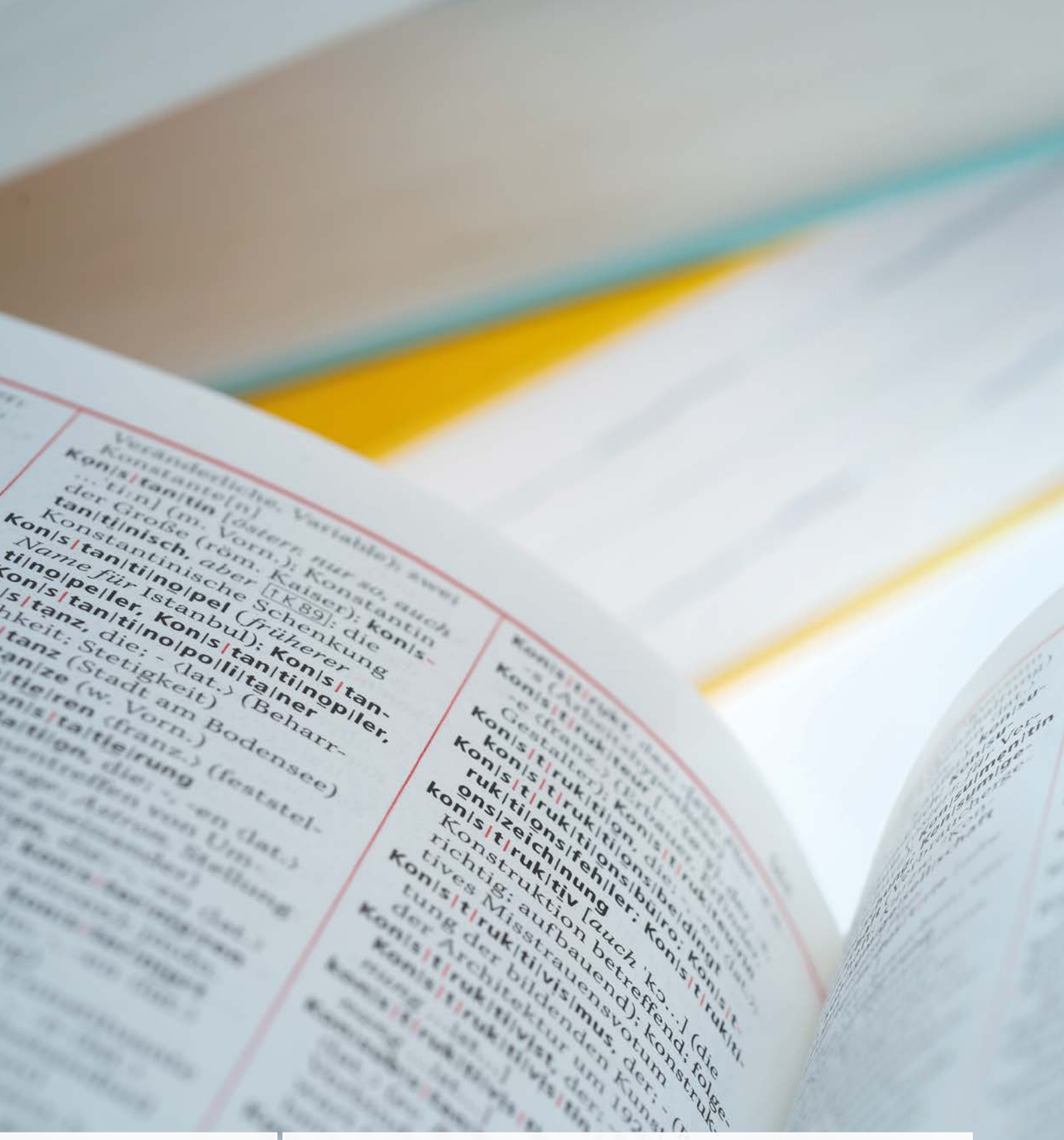
[24] Hochwasserschutzfibel – Objektschutz und bauliche Vorsorge. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Berlin, Juli 2013

[25] Brameshuber, W.; Graubohm, M.: Instandsetzung wasserbeaufschlagter Mauerwerksbauteile – Einfluss einer Wasserbeaufschlagung auf Eigenschaften von Mauerwerk und Bauteilbekleidungen, Austrocknungsmaßnahmen und deren Wirkung. Institut für Bauforschung der RWTH Aachen im Auftrag des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung, Bonn, Az. Z6-10.07.03-04.12. Forschungsbericht F917. Aachen, 02.07.2007

[26] Otto, F.; Klatecki, M.; Schäfers, M.: Optimierung von Austrocknungsprozessen hochwassergeschädigter Bauteile unter Berücksichtigung der gängigen Trocknungsverfahren zur Sicherung des Gebäudebestandes und zur Vermeidung von Sekundärschäden durch Feuchtemigration in Bauteile sowie innerhalb von Wohnungen. Fraunhofer IRB, Verlag C.H. Beck, 2009

Bildnachweise

Bild S. 426: Tiberius Gracchus/AdobeStock;
Bild S. 431: Universität der Bundeswehr München



STICHWORTVERZEICHNIS

A
BC

Stichwortverzeichnis

A

Abdichtung 28, 54f., 77, 132, 180, 216ff., 251, 271f., 320, 329, 390, 427
Abdichtungsstoff 218f., 226, 229, 239, 335
Abfangkonstruktion 50, 52, 213
Absorption 50, 345, 399
Algen 65, 98
Anker 29, 33, 43ff., 47, 49, 52ff., 68, 70f., 102, 105f., 110ff., 123, 145, 148, 167, 169, 189f., 207, 213, 232, 264, 266f., 268f., 320, 322ff. 348, 380f.
Anschluss 51, 66, 93, 105f., 109, 112f., 151, 189, 200, 226f., 230f., 234f., 251, 261, 264f., 273f., 306, 318f., 320, 322f., 325, 328, 332, 374, 379ff.
–, gleitender 110f.
–, oberer 257, 329
–, seitlicher 110ff.
–, starrer 110, 366, 372
Anschüttung 158, 180, 182
Anstrich 77, 84, 88, 91, 93, 95f., 115, 125, 130f., 432
Arbeitsgerüst 32
Arbeitsraum 30, 180f., 219, 223ff., 236f., 239, 346, 356, 384
Arbeitstechnik 28, 33
Arbeitsvorbereitung 28f., 33, 195
Attikaabdeckung 87, 96
Aufbrennsperre 129
Aufstandsfläche 54, 186, 190, 206
Ausfachungsfläche 101ff., 157, 189
Ausgleichsschicht 28, 30, 186
Auskratzen 89, 123
Außenecke 32, 169, 189f.
Außenlärm 34, 37, 41, 43, 73, 347f., 350f., 357f., 362, 370f., 375f., 391ff., 398
Außenlufttemperatur 40, 291f., 416, 420
Außenputz 39, 42, 50, 54f., 60, 63, 74, 125ff., 131f., 245f., 263, 267, 288f., 430
Außensichtmauerwerk 83f., 87f., 91
Außensockelputz 127
Außenwand 33ff., 188f., 191, 195, 198ff., 226f., 232ff., 244ff., 251ff., 258ff., 270ff., 288ff., 302ff., 370ff., 392ff., 412, 416f., 420, 435
–, Brandschutz 38, 312, 321ff.
–, durchgehende 370
–, nicht tragende 13, 101ff., 177, 211, 303, 308ff., 321
–, tragende 13, 37, 145, 171, 211, 303, 321
–, zweischalige 42ff., 83f., 171f., 213, 233, 245, 252, 264, 272, 304, 324, 348, 393
Außenwandbekleidung 39, 42, 61ff., 67ff., 72ff., 245, 269, 271, 273, 303ff., 321, 324f.
Aussparung 174, 184f., 320, 335
Aussteifung 78, 101, 156f., 166ff., 170, 179ff., 325, 329, 333
Austrocknung 73, 94f., 130, 187, 191, 195, 211, 214, 272f., 435f.
Austrocknungszeit 273, 435

B

Bauart, leichte, mittlere, schwere 50, 56, 60, 63, 250f., 283ff., 297f., 416, 419f.
Baufeuchte 13, 115, 221, 269, 272f., 435
Bauplatte 15f., 27, 101, 111, 115f., 337, 430
Bauproduktenverordnung 13, 24, 56, 306, 308
Bauregelliste 67f., 299, 306, 311
Baurichtmaß 27f., 154f., 189
Bauschalldämm-Maß 345, 359, 362, 364, 379, 392f.
–, bewertetes 346, 348, 350, 361
Bauschutt 390
Baustelleneinrichtung 30
Baustellenmörtel 46, 89, 119f., 123, 126
Brandverhalten 17, 114, 298, 302, 306f., 312f., 315, 317, 334, 336, 340
Baustoffklasse 49, 60, 72, 75, 77, 105, 111, 312, 319ff., 324, 331
Bausystem 15, 29, 33, 413
Bauteil 21f., 72, 101f., 105ff., 170ff., 179f., 184, 195ff., 269ff., 281f., 286ff., 297ff., 343ff., 354ff., 360ff., 377ff., 392f., 397ff., 409f., 417, 429, 431f., 434ff.
–, erdberührtes 217ff., 222ff., 235, 238, 243, 257, 275
–, flankierendes 344ff., 352, 354, 357f., 361, 363ff., 369f., 372ff., 379, 382ff., 388f., 393
Befestigung 54, 59, 67, 70f., 74, 105, 109f., 134ff., 264, 268f., 383
–, nachträgliche 135f.
–, sicherheitsrelevante 138ff.
Befestigungselement 67, 70, 255, 266, 268f.
Behaglichkeit 38, 241, 281f., 291f., 294f., 407, 414ff., 419
Bekleidungselement 67ff., 73f.
Belastung 77, 101, 106, 109f., 115, 121f., 138, 142, 147f., 155, 157, 178, 182f., 197f., 201, 206, 315
–, körperliche 29, 32
–, zentrische 171
Belüftung 52, 217, 222, 252f., 256, 262, 413, 436
Bemessung 13, 24, 26, 33, 71, 108f., 144, 146f., 151ff., 210, 302, 318, 337ff., 433,
–, Schallschutz 358, 362f., 385, 388, 392
Bleischicht 430
–, nach Eurocode 6 13, 152, 306, 315, 340
–, nach vereinf. Berechnungsverfahren 170ff.
–, nach genauerem Berechnungsverfahren 179
Bemessungswert 21f., 39, 49, 58f., 63, 72, 140, 159ff., 242, 244f., 247ff., 263, 268, 276
–, Wärmedurchlasswiderstand 25, 49, 73, 173, 244, 251ff., 261f., 271, 277f.
–, Wärmeleitfähigkeit 21f., 39, 49, 58f., 63, 69, 72, 120f., 125, 127, 243ff., 247ff., 261, 263, 266, 268, 276, 278, 378, 409, 419
–, Wärmeübergangswiderstände 244, 252ff., 262
Beschichtung 50, 55, 65f., 77, 88, 93ff., 99, 125ff., 237, 335, 377, 411, 421
Beschuss-Sicherheit 431
Beschuss-Widerstandsklassen 431
Betrachtungsabstand 90f., 195

Bewegungsfuge 132
Biegebeanspruchung 157, 170, 182
Biegezugfestigkeit 102f., 115, 163, 180
–, charakteristische 116, 163f.
Bitumendickbeschichtung 35, 226, 229
Bleischichtdicke, äquivalente 430
Blockverband 84, 86
Blower-Door 38, 274, 377
Bodenfeuchtigkeit 124
Bodenplattenmaß, charakteristisches 275
Bogen 181
Bogenmodell 157, 182
Bogenschub 151, 157, 180, 183
Bogenstich 180
Bogentragwirkung 115, 180
Bohrlochtiefe 45, 139ff., 143ff.
bossiert 15f., 18, 84, 87, 97, 153
Brandabschnitt 297f., 301, 304f., 316ff., 324, 327, 329, 332
Brandlast 301f., 310, 314, 333ff.,
Brandriegel 61ff., 324
Brandschutz 37f., 45, 49, 56, 60, 63, 69, 72, 77, 105, 107, 110ff., 128, 195, 296ff., 380f., 387, 420
Brandwand 35, 63, 72, 113, 299, 301f., 304f., 310, 312, 314, 316, 318, 321, 323ff., 381
Brandprüfung 312, 314ff., 333
bruchrau 15f., 18, 84, 87, 97, 153
Brüstung 78, 214, 302

C

CE-Kennzeichen 15, 24, 126
CO_2-Emissionen 404f., 407, 414

D

Dachüberstand 65, 93, 325
Dauerhaftigkeit 37, 41, 43, 50, 56, 65, 74f., 78, 123, 158, 195, 230, 309
Deckendurchbiegung 33, 111, 115, 187, 191, 200, 207f.
Deckenscheibe 101, 167f., 170, 187
Deckenspannweite 101, 110f., 172, 176, 187, 207
Deckenstützweite 115, 171f., 175
Deckenverdrehung 175, 179
DEGA 360, 379, 384f.
Dehnung 51, 123, 166, 196f., 201
–, elastische 197
Dehnungsfuge 44, 47, 50ff., 60, 66, 131, 207, 211ff., 223, 229
–, horizontale 48, 50, 213
–, vertikale 48, 51, 213
Dehnungsfugenabstand 213f.
Dehnungsfugenausbildung 50, 66
Dehnungsfugenprofil 66
Deklaration 35
Deklarationspflicht 24
DF 15f., 18f., 75, 85, 145, 153, 186, 198, 378, 399, 427, 435
DIBt 24, 44, 59, 249f., 306ff., 334, 396, 421
Dichtstoff 51, 66, 111, 113, 323, 381
Dichtungsschlämme 28, 53ff., 180f., 229ff., 238, 320
DIN EN 771-2 15ff., 21, 23f., 27, 35, 138, 144, 213, 248f., 328, 333f., 337, 433
DIN EN 998-2 119ff., 140, 144, 155f.
DIN EN 1363 313f., 321, 326
DIN EN 1996-1-1/NA 37, 43, 103, 106, 115, 120, 122, 128, 153ff., 169ff., 178f., 179, 182, 184f., 196f., 234, 310, 320
DIN EN 1996-1-2/NA 38, 107, 306, 308, 312, 315, 317f., 321, 324, 329, 333f., 337, 339
DIN EN 1996-2/NA 39, 43f., 48f., 83, 87, 180f., 184, 245, 432
DIN EN 1996-3/NA 35, 37, 43, 102, 109, 157, 159, 162, 166, 170ff., 186f., 191, 315, 340
DIN 4030 428
DIN 4095 219, 235ff.
DIN 4102 35, 38, 49, 75, 77, 128, 301ff., 306ff., 312ff., 318, 320f., 324, 326, 328f., 333f., 420
DIN 4103 13, 21, 27, 35, 101, 106, 108f., 152
DIN 4108-2 38, 40, 63, 242f., 253ff., 262ff., 275f., 281ff., 290f., 293f., 420
DIN 4108-3 38, 40f., 50, 64, 73f., 126f., 242, 248, 253f., 269ff., 276
DIN V 4108-6 275, 277, 285
DIN 4108-7 38, 242, 274, 276
DIN 4108, Beiblatt 2 54
DIN 4109-1 345ff., 349, 351ff., 355ff., 361, 367, 378, 382ff., 391f.
DIN 4109-2 34, 50, 107, 343, 346, 354, 356ff., 361ff., 367, 369f., 372f., 379, 384f., 387, 389, 391ff.
DIN 4109-4 348, 357, 367, 382, 384, 392
DIN 4109-31 354, 357, 363
DIN 4109-32 50, 343, 357, 362ff., 385, 390, 393
DIN 4109 Beiblatt 1 369
DIN 4109 Beiblatt 2 41, 353, 356
DIN 4172 16, 25, 153
DIN V 4701-10 242, 277
DIN EN 12354 343, 355, 357, 362ff., 384
DIN EN 12620 13
DIN EN 13055 13
DIN EN 13162 58, 248f., 369, 378, 385, 387f., 390
DIN EN ISO 13370 243, 275, 277
DIN EN 13501 38, 49, 75, 77, 112f., 307ff., 320, 322f., 326, 335, 380f.
DIN 18095 310, 313
DIN 18195 180f., 218, 223, 225, 271
DIN 18202 128f.
DIN 18230 301f.
DIN 18330 47, 84, 89, 95, 124, 129, 432
DIN 18350 126, 128
DIN 18516 41, 67ff., 73f., 145, 252
DIN 18533 28, 54f., 217ff., 227, 230, 234, 271
DIN 18542 51
DIN 18550 47, 56, 125ff., 130ff., 159
DIN 18555 121, 156
DIN V 18580 119ff., 140, 144, 155f., 204

DIN 20000-402 13, 15ff., 21, 23f., 27, 35, 83, 87, 153f., 248, 328, 333f., 337, 340, 430, 433
Direktschalldämm-Maß 34f., 107, 116, 346, 358, 364, 367, 373
Drahtanker 44f., 106, 268
Dränung 219f., 223, 236ff.
Druckfestigkeit, charakteristische 26, 162f.,
Druckfestigkeitsklasse 15ff., 21, 127, 153f., 166, 186
Druckwasser 219f., 223, 225, 227ff., 235ff.
Druckzone 22, 28, 30, 183
Dübel 40, 45, 55f., 58, 60ff., 68, 110, 116, 131, 135ff., 266ff.
Dübelanker 43, 45, 266f.
Dübelteller 56, 58
Dünnbettmörtel 15f., 19ff., 25ff., 29ff., 35, 45f., 54, 102ff., 108ff., 112, 115f., 119ff., 128, 132, 151, 153, 155f., 159, 161ff., 166, 172, 190, 197f., 204, 246, 248, 317, 320, 322, 329, 333, 380, 388, 390, 431
Dünnformat 16, 153
Dünnlagenputz 34f., 107, 128ff., 161, 263, 274, 376, 388ff.
Durchbiegung 111, 114f., 130, 156, 158, 189, 206, 208
Durchdringung 49, 51, 223, 227f., 238, 262, 272f.

E

Ebenheit 16, 57f., 68, 128f., 156
Ebenheitsanforderungen 128
Edelstahl-Flachanker 29, 32, 169, 189f.
Eigengewicht 101, 109, 152, 156, 159, 161, 177, 316
Eigenlast 37, 47, 67f., 71, 106, 157, 182
Eigenspannung 38, 166, 195
Einbau, nachträglicher 320
Eignungsprüfung 73, 120, 151, 161
Einbaubereich 108ff., 116
Einbaufeuchte 195
Einbaulage 135, 235, 254, 264
Einbauschränke 262f.
Einbauteil 186, 230f.
Einbruchhemmung 434
Einhandstein 29
Einsteinmauerwerk 26, 87, 163, 186
Einwirkung 37, 48, 50, 65, 68, 71, 74, 77, 137f., 144, 152, 156ff., 160, 165, 170, 172, 183, 191, 195f., 211, 218ff., 222, 225, 227f., 233, 309, 314, 358, 383, 427
–, außergewöhnliche 161
–, Bemessungswert 137f., 158f., 160ff., 167, 174, 315
–, charakteristische 161
– , horizontale 166, 168
–, ständige 161, 174, 178
–, veränderliche 159, 161, 178
–, kombinierte 127
Einwirkungskombination 114, 159ff., 163, 180, 206
Elektroinstallation 15, 92, 115, 274, 320, 377
Elektrokanäle 274
Emission 65, 241, 404ff., 413f., 421
Endkriechzahl 166, 198
Energieeinsparung 241f., 247, 256, 273, 275f.
Energieeinsparverordnung (EnEV) 38, 40, 63, 241ff., 249, 255, 258, 260f., 264, 266, 274ff., 277, 281, 283, 294f., 324, 405, 414, 420
Energieverbrauch 403
Gesamt-, 241
End-, 404f.
Primär-, 403f., 406
Entkoppelte Bauteile 365f., 379
Entkoppelt 112f., 260, 322f., 351, 370f., 375, 379, 380f., 382
Entlüftungsöffnung 69
Entwässerung 52, 55, 225, 232f.
Entwässerungsöffnung 50, 52f., 55, 131, 252
Erdbeben 157, 166, 210, 222, 433
Erdbebeneinwirkung 159
Erdbebensicherheit 433
Ergänzungselement 15, 21, 27, 153
Eurocode 6/(EC6) 13, 24, 37, 101f., 152f., 166, 170, 172, 174, 306, 312, 314f.
Europäische Technische Zulassung (ETA) 38, 56, 59, 61, 67, 131, 135, 137, 140f., 144ff.
Europäische Technische Bewertung 249, 251, 302, 308

F

Fachwerkkonstruktion 105
Fasenstein 15f., 45, 84, 153, 315, 337ff.
Fassade, vorgehängte hinterlüftete 67, 73, 101, 253, 266ff.
Fassadenbekleidung 39, 72f., 76, 138, 145, 245
Fassadenunterkonstruktion 135, 137
Fenster, Sonnenschutz 281ff., 291, 295
Fensterbank 87, 93, 96
Fensterflächenanteil 38, 63, 281ff., 290, 392, 396ff.
Feuchte, baupraktische 29
Feuchtebedingungen 76
Feuchte- und Witterungsschutz 37, 40, 50, 60, 64, 73, 125
Feuchteaufnahme 204
Feuchtedehnung 166, 195f., 198, 205, 212
Feuchtegehalt 40, 65, 94f., 197, 222, 226, 249, 262, 278, 412
Feuchteschutz, klimabedingter 38, 64, 242, 248, 253f., 269f., 276, 278
Feuchtigkeitsaufnahme 93
feuerbeständig 297ff., 301f., 308, 310f., 319f., 324ff.
feuerhemmend 299, 301ff., 308, 310f., 319, 324f., 334f.
Feuerwiderstandsklasse 35, 38, 77, 107, 302, 308, 312, 315, 318ff., 324f., 331, 333f., 337ff.
Fingerspalt 39, 46, 49, 245, 252, 266, 324
Flächengewicht 159
Flächenbezogene Masse 41, 50, 107, 112f., 256f., 322f., 346ff., 359, 363, 365ff., 373, 375ff., 379ff., 387f., 390, 393f., 418f.
Flankendämmung 348, 361, 365, 367, 370, 372ff., 394
Fliese 55, 60, 77, 92, 128, 130, 132, 238, 288f., 379, 422
Folie 88, 94f., 111, 214, 271, 274

Formänderung 106, 109, 123, 158, 167, 195ff., 203, 205, 212, 214
Format 13, 15, 35, 66f., 70, 73, 84f., 94, 115, 138, 140, 142, 144f., 151, 153, 186, 427, 435
Format-Kurzzeichen 15
Frost 93ff., 123, 127, 214, 226f., 432
Frost-Tau-Wechsel 17, 411, 432
Frostwiderstand 15, 17, 50, 74, 83f., 87, 94, 153
Fuge, klaffende 157, 181, 184
Fugendichtstoff 51, 66, 84, 112f., 213, 322f., 380f.
Fugendichtungsband 49, 51, 66
Fugendicke 27, 31, 119, 154f., 319
Fugenglattstrich 46f., 74, 87, 89f., 122f.
Fundament 35, 166, 170, 180, 202, 211, 233, 236ff., 275, 368ff., 385, 387ff.
Funktionstrennung 33
Funktionswand 37f., 41, 211, 258f., 261, 263f., 282, 435
Fußpunkt 53, 55, 69, 106, 110, 221, 231ff., 236, 238, 319, 332, 378, 387

G

Gebäude 33ff., 41f., 91, 101, 114f., 151, 155ff., 166f., 170f., 195, 201ff., 217, 224f., 235f., 241f., 255ff., 273ff., 281ff., 294f., 297ff., 324ff., 330ff., 344f., 347f., 355ff., 367f., 372, 374f., 382ff., 405ff., 419f., 421, 422f., 429ff., 436
–, (normal) beheiztes 42, 76, 256f., 281
–, niedrig beheiztes 76, 257
–, unbeheiztes 76, 232
Gebäudeabschlusswand 324f.
Gebäudeaussteifung 101, 153, 156f., 160f., 166f., 170, 178, 187
Gebäudeecke 44, 51, 177, 213, 237
Gebäudeklasse 38, 45, 49, 60, 69, 72, 299f., 302ff., 309, 312, 319, 324f., 321
Gebäudetrennfuge 203, 210ff.
Gebäudetrennwand 63, 257, 318, 324f.
Gebrauchstauglichkeit 37, 41, 50, 56, 65, 71, 74, 78, 114, 116, 157f., 166 172, 179, 187, 218, 234
Geschlämmtes Mauerwerk 87
Gestaltung 40, 46, 50, 63, 66f., 71, 74, 76, 83, 85, 372, 385, 389, 407, 419
Gesteinskörnungen *siehe Zuschlag*
Gesundheit 77, 115, 256, 403ff., 407, 415, 419, 420f.
Gesundheitsschutz 37, 41, 352, 355, 420
Gewölbe 115, 151
Giebelwand 101, 157f., 202, 333
Glattstrich 129
Gleichwertigkeit 260f., 276, 411
Gleitschicht 111, 188f., 191, 203f., 234
Gradtagzahlfaktor 247
Grenzabmaß 16
Grenzbebauung 325
Griffhilfe 16, 25, 413
Grifföffnung 154, 163, 166
Grundgeräuschpegel 349f.
Grundwasser 219f., 223f., 227, 251, 406, 413, 427f.

H

Haftscherfestigkeit 46, 120f., 123, 155f., 162ff.
Haftverbund 46, 89, 123, 128, 204, 209, 214
Halterung 32, 35, 110f., 116, 160, 168ff., 176, 178, 189ff., 204, 327, 329, 339
–, dreiseitige 105, 109f., 169, 173, 186, 190
–, vierseitige 78, 105, 109, 169, 173, 186, 190
Handvermauerung 15
Härten 14
Haustrennwand 31, 34f., 171f., 243, 321, 324, 348, 352f., 361, 367ff., 385, 387ff.
Heizenergiebedarf 277, 414
Heizwärmebedarf 258, 272, 414
Heizwert 247
Herstellung 14f., 30, 155, 183f., 251, 298, 316, 407, 410, 413, 423, 427
hochfeuerbeständig 319, 333
hochfeuerhemmend 299, 302, 308, 310f., 319, 324f.
Höhenausgleich 21f., 26, 28, 30, 116, 186
Holzbalkendecke 159, 167f., 173, 189, 201, 289, 298
Hygiene 37, 77, 256, 258, 407

I

Imperfektion 166
Imprägnierung 84, 88, 93ff., 98f., 421
Injektionsdübel 135ff., 142, 144
Innenoberflächentemperatur 38, 258, 262, 416, 420
Innenputz 39, 43, 49, 54f., 63, 72, 125f., 128ff., 245f., 263, 266f., 274, 288f., 397, 414, 435
Innensichtmauerwerk 83f., 87, 92, 135
Innenwand, nicht tragende 13, 27, 30, 35, 101, 106ff., 171, 213, 310, 322f., 379ff.
Installation 23, 92, 313, 376ff., 382f.
Installationsgeräusche 362, 373, 377, 382f.
Installationskanal 15, 23, 313, 390
Installationsschacht 308f., 311f., 319
Installationswand 372, 377, 382f.
Instandhaltung 225, 230, 306, 407, 411, 421
Inverkehrbringen 13, 24, 56

K

Kabelabdeckung 427
Kalksandstein 13ff.
–, Eigenschaften 13, 15, 16f., 21, 25, 153, 414, 427, 436
–, wärmetechnisch optimierter 21f., 248, 264, 421
Kantenausbildung 16, 153
Kategorie I 161, 294f.
Kehle 226, 230
Kelleraußenwand 30, 32, 34, 48, 53f., 125, 158, 169, 180ff., 189f., 198, 231, 236f., 261, 271, 368
Kellerdeckenanschluss 265f.
Kellerwandaußenputz 127

Kerndämmung 43, 50, 252, 272, 393
Kiesstreifen 41, 53, 225, 236
Kimmschicht 25, 30, 186, 189f.
Klimaregion 283ff., 290ff., 287, 294
Klimaschutz 241, 403f.
Knicklänge 156, 168, 172f., 176, 179, 186f., 315
Knicksicherheitsnachweis 166f., 172, 176, 179
Komfort 114f., 256, 269, 273, 275, 281, 294, 350, 353, 407, 419
Komfortwohnung 353, 360f.
Komplextrennwand 312, 316, 327, 332f., 339
Konstruktionseigengewicht 159
Konvektion 243f., 252, 272, 415, 418
Körperschallübertragung 382f., 387f.
Korrigierbarkeitszeit 121f., 155
Kreuzverband 84, 86
Kriechdehnung 197, 205
Kriechen 108f., 113, 115, 179, 195ff., 206f., 211, 213, 315, 323, 381
Kriechzahl 197
Kristallwasser 316
KS XL 15f., 20f., 25f., 29, 35, 103f., 120, 128, 132, 151ff., 155f., 163, 172, 183, 186, 190, 329, 337ff.
KS XL-Planelement 15f., 20, 25ff., 31, 44f., 101, 103, 107, 153, 156, 166, 315, 337ff. 178, 186, 226, 317f.
KS XL-Rasterelement 15, 21, 25ff., 101, 107, 153
KS-Außenwandkonstruktionen 40, 42, 76f., 252, 272, 409, 414
KS-Bausystem 15, 33
KS-Fasenstein 15f., 20, 45, 84, 153, 315, 337
KS-Fertigteilsturz 22, 27f., 183, 321
KS-Flachsturz 22, 27f., 182f., 321
KS-Haustrennwand 31, 34f., 171f., 243, 321, 324, 348, 352f., 361, 367ff., 385ff., 390
KS-Hohlblockstein 15, 17, 102f., 145, 153f., 163, 165f., 180, 315, 337ff.,
KS-Kimmstein 21f., 27, 31, 186
KS-Lochstein 15ff., 45, 101, 135ff., 153f., 162, 273f., 315, 317, 337ff., 357, 400, 427, 435
KS-Planstein 15, 19, 25f., 28, 44f., 54, 88, 103f., 120, 122, 128, 132, 153, 155, 162f., 178, 186, 226, 315, 318, 337ff.
KS-Produktion 422
KS-Schallschutzrechner 64, 345f., 354, 362, 366, 369ff., 379, 388, 398
KS-Sichtmauerwerk 76, 83ff., 96, 105, 421
KS-Stein 18, 146f., 338f., 378
KS -U-Schale 23, 105, 108f., 110, 168, 181ff., 187, 202, 321
KS-Verblender 15ff., 43, 46, 50, 55, 74, 76, 78, 83ff., 87ff., 91, 93, 96, 123f., 153f., 231, 266f., 411
KS-Vollstein 15f., 21, 45, 101, 135ff., 142ff., 146f., 153, 156, 163, 186, 285, 337ff., 376, 398, 427, 430
KS-Vormauerstein 15, 17, 46, 83ff., 87, 153f.
KS-Wand, frei stehende 78, 93
KS-Wandkonstruktion 33ff., 47, 64, 93f., 161, 166, 273, 414, 431, 435
KS-Wärmedämmstein 21f., 28, 30, 48, 53f., 186, 231, 248f., 261, 265f., 328, 378, 389
Kühlung 38, 63, 242, 277, 281ff., 287, 290, 414
Kunststoffdübel 135ff., 144, 146f., 267f.
Kurzbezeichnung 308, 314

L

Lagerfuge 29, 31f., 44f., 54, 84, 103, 109, 115, 122, 128, 144, 146, 154ff., 162ff., 179f., 183, 186, 189ff., 200, 204, 207ff., 214, 274, 333
Lagerfugendicke 28, 122, 155, 164, 204
Lagerung (von Produkten) 14, 26, 30, 77, 88, 124, 204, 436
Landesbauordnung 13, 24, 37f., 41, 45, 60, 69, 72, 297, 299ff., 306, 308, 310, 324ff., 357, 420
Längen- und Höhenausgleich 26, 186
Lasteinleitung 151, 175, 187, 317
Läuferverband 46, 84, 86f.
Lebenszyklus 41, 407ff., 414, 422
leichtentflammbar 302, 307
Liste der technischen Baubestimmungen 152, 299, 306
Lochanteil 15ff., 26, 135, 153, 163, 430
Luftdichtheit 38, 43, 55, 195, 242, 273f., 276f.
Luftfeuchte 40, 77, 197, 217, 256, 262, 269 278, 415, 418, 435
Luftschicht 39, 42f., 46, 49f., 52, 55, 74, 76, 245, 251f., 256, 266, 269, 271, 277, 324, 393, 399, 406
–, ruhende 251f., 253, 270
–, schwach belüftete 251ff.
–, stark belüftete 251ff.
Luftschichtanker 44f., 47, 122, 266f., 269, 348
Lüftungsöffnung 49, 55, 283

M

Maße 15f.
Masse, flächenbezogene 41, 50, 107, 112f., 256f., 322f., 346ff., 359, 363, 365ff., 373, 375ff., 379ff., 387f., 390, 393f., 418f.
Massekurve 346, 348, 365ff., 376, 392, 394, 398
Maßgenauigkeit 25, 75, 116
Maßordnung 16, 25, 153
Maßtoleranz 119, 122
Mauerabdeckung 78
Mauerlehre 28f., 32
Mauermörtel 87, 89f., 119ff., 128, 151, 196f., 204, 427, 433
Mauerstein 13, 23f., 28, 33, 35, 47, 53, 115, 119, 121ff., 140, 159, 162f., 166, 195ff., 200ff., 204, 221, 227, 252, 272f., 422, 427, 432f., 435

Mauerverband 83ff., 90ff.
Mauerwerk 15, 23, 25f., 37f., 41f., 54ff., 63f., 66ff., 72ff., 87, 90, 93ff., 102f., 108ff., 114, 119ff., 127ff., 135, 137f., 140, 142, 144ff., 151ff., 155ff., 161ff., 172ff., 177ff., 183ff., 195ff., 200ff., 206ff., 212ff., 217, 221f., 226, 234, 248ff., 263ff., 271ff., 285, 297f., 306, 312, 314ff., 328f., 333ff., 357, 364, 388ff., 393, 400, 414, 416, 418f., 422, 427f., 430ff., 435f.
–, bewehrtes 29, 115
–, geschlämmtes 87f.
–, nicht tragendes 15, 13, 23, 153, 156, 318, 333
–, tragendes 13, 15, 23, 54, 56, 120, 153, 156f., 177, 232, 264, 318, 333
–, zweischaliges 17, 41ff., 47, 49f., 52f., 64, 74, 76f., 83, 122, 131, 135, 231, 234, 252, 266ff., 303, 324
Mauersteinart 195, 197f.
Mauerwerksdruckfestigkeit 121f., 151, 162f., 178, 186
–, charakteristische 25f., 162f., 175f., 177, 315
Merkblatt 28, 57, 66, 74, 83, 90, 106, 109, 128, 223, 339 378
–, Aufstellbedingungen für Transportsilos 124
–, Handhaben von Mauersteinen 28
Mindestdicke 47, 89, 128, 130, 169, 320, 333f., 337
Mindestschallschutz 350ff., 360f.
Mindestüberbindemaß 26, 184f.
Mindestwärmeschutz 40, 241, 256f., 262f., 281f., 420
MINEA 433
Montagestütze 26f., 187, 191, 208
Mörtelart 28, 120, 126, 129, 136, 155, 162, 166, 172, 195, 198
Mörtelgruppe 28, 44, 108f., 112, 119ff., 140, 144f., 151, 155f., 163, 182f., 322, 380, 435
Mörtelkübel 28, 119, 124
Mörtelschlitten 29, 31, 46, 122, 413
Mörtelspritzer 95f.
Mörtelverbrennen 46, 123
Musterfläche 83, 90f.

N

Nachbehandlung 89f., 115, 123, 206f., 211, 226
Nachhallzeit 127, 346, 399
nachhallzeitbezogen 359, 361
Nachhaltigkeit 403, 406ff., 415
Nachtlüftung 38, 281ff., 286f., 290ff., 295, 414
Nennmaß 25
NF 16, 18
nichtraumabschließend 310, 316, 318, 337f.
Niederschlagswasser 95, 123, 219, 224f., 229, 236, 238, 251
normalentflammbar 49, 60f., 69, 72, 299, 302f., 305, 307, 324
Normalformat 16
Normalmauermörtel 15, 18f., 25ff., 30f., 44f., 102f., 105, 108ff., 119ff., 128, 151, 153, 155f., 162ff., 166, 172, 189f., 197f., 204, 207, 248, 329, 333, 398, 413
Norm-Trittschallpegel 348, 358, 363
Nut-Feder-System 15f., 25, 27ff., 115, 140, 153ff., 376, 413
Nutzflächengewinn 41, 55
Nutzlast 37, 107f., 152, 157, 159ff., 171, 174, 211
Nutzungsphase 41, 225, 412, 414, 421

O

Oberfläche, strukturierte 16, 66, 83, 88
Oberflächenbehandlung 85, 88
Oberflächentemperatur 38, 40, 73f., 247, 254, 262, 277, 317, 416, 418ff., 436
Oberflächentemperaturfaktor 262
Öffnungsmaß 32
Öffnungsüberdeckung 22, 27
Ökologie 37, 406, 408

P

Pass- und Ergänzungsstein 29, 31
Passivhausstandard 49, 55, 414
Perimeterdämmung 34, 39, 42, 54, 227, 232, 245, 251, 272, 275
Pfeiler 47, 78, 167, 174, 177f., 195, 255, 304, 312, 315f., 318, 337f.
Pfeilerlänge 375
Planstein 15, 19, 25f., 45, 103f., 122, 132, 153, 155, 162f., 178, 226, 315, 318, 337ff.
Planstein-Mauerwerk 28, 44, 54, 88, 120, 128, 155, 186, 337
Plattenschub 165, 178, 182
PMBC 54f., 226f., 229f., 232, 234
Pressfeuchte 14
Primärenergiebedarf 40, 242, 277, 406, 412, 414
Primärenergieverbrauch 403f., 406
Prüfung 17, 38, 65, 94, 119, 121, 127ff., 154, 156, 218, 227, 302, 306f., 310ff., 314, 317, 327, 357, 383, 427f., 431, 435
Putz 47, 55f., 60f., 64, 125ff., 159f., 248, 304, 321ff., 376f., 380f., 395, 436
Putzgrund 114, 126, 128f., 131f.
Putzmörtelgruppe 125ff., 130

Q

Qualität 24, 33, 46, 60, 89, 114f., 123, 218, 251, 273, 350, 397, 399, 406ff., 422f.
Quellen 195ff., 205, 236
Querkraftbeanspruchung, Nachweis 178

R

Radioaktivität 412f.,
Radon 412f.,
Randabstand 139ff., 142ff., 171
Randdehnungsnachweis 165
Randschwinden 197
Rauch 114, 297, 307f., 310
Rauchdichte Bauteile 310f.
Rauchgasdichtigkeit 310
Recycling 408, 422f.
Regelelement 15, 21, 26f., 153
Regen 65f., 88f., 90, 93, 131, 214, 255, 269, 406, 427, 432
Regenbeanspruchung 78
Regenwasser 78, 87, 93, 96, 236, 255
Reibungsbeiwert 163ff., 181
Reihenhaus 324f., 356, 369, 385, 387, 389f.
Reinigung 67, 77, 96ff., 407, 409, 421
Relaxation 196, 214
Resonanzfrequenz 64, 368, 378f., 394ff.
Ressourcenschonung 403
Rezeptmauerwerk 151
Rezeptmörtel 120f., 161
Richtmaß 25
Ringanker 168, 187ff.
Ringbalken 23, 78, 110, 116, 167f., 170, 173, 175, 187ff., 191, 201, 204, 208, 321
Rissbildung 50, 60, 66, 114, 130, 157f., 184, 187, 189, 191, 195, 197f., 200, 202, 206, 208, 210, 213f., 222
Risssicherheit 33, 38, 41, 87, 108, 123, 198, 200, 205
–, Beurteilung 115, 198, 200, 204f., 207, 209, 214
–, Erhöhung 33, 38, 41, 87, 115, 207, 209, 214
Rohbau-Richtmaß 25, 28
Rohdichte 43, 55, 61, 101, 105, 111ff., 115, 140, 144, 195, 248, 266, 268, 285f., 291, 317, 319f., 322ff., 325, 331, 333, 373, 378, 380f., 419, 430
(s.a. Steinrohdichte)
Rohdichteklasse 13, 17, 29, 34f., 154, 178, 264ff., 348, 372, 378, 387, 427, 430
(s.a. Steinrohdichteklasse)
Rohstoff 13f., 35, 91, 125, 407, 412
Rollgerüst 28f., 32
Rollschicht 78

S

Sägen 27, 115, 413
Salz (s.a. Tausalz) 89, 124, 231, 233, 413, 427f., 432
Salzlösungen 432
Salzsäure 95, 432
Saugfähigkeit 129
Saugverhalten 46, 89, 123
Schachtwand 319f., 372, 383ff.
Schallabsorption 362, 399f.
Schalldämm-Maß 34, 41, 64, 73, 345f., 348, 351, 353, 361, 363, 365f., 367ff., 376, 379, 385, 388, 391ff.
–, bewertetes 41, 50, 64, 73, 348, 350, 365f., 369, 376, 378f., 388, 390, 393ff.
–, resultierendes 346, 397
Schalldämmung, resultierende 345f., 363, 370, 372f., 377, 379, 392f., 397
Schallpegel 127, 344ff., 356, 361, 377, 391
Schallpegeldifferenz 346ff.
–, Standard- 346f., 350
–, bewertete 348, 361
Schallschutz 29f., 33, 35, 37, 41, 43, 50, 55, 60, 64, 73, 76, 101, 107, 111f., 116, 130, 195, 322f., 343ff., 380f., 411, 419
–, erhöhter 35, 350ff., 356, 359ff., 372, 379, 384f., 388f., 419
Schallschutznachweis 357f., 365, 370, 392
Schallschutzniveau 360, 349, 354ff., 360, 371ff.
Schallschutzrechner 64, 345f., 354, 362, 366, 369ff., 379, 388, 398
Schallschutzstufen 350f., 354f., 359, 361, 385
Schallübertragung 343ff., 362f., 366ff., 374f., 379, 382f., 387, 389, 392f.
–, direkte 345, 365, 393
–, flankierende 41, 345, 367, 369, 372, 376, 388, 393
Scheibenschub 164, 178, 187
Schichthöhe 15, 25f., 29, 84f., 152f., 169, 190
Schichtmaß 26, 28, 154
Schimmelpilz 115, 217
–, -bildung 38, 40, 50, 64, 73, 258, 262, 269, 418, 420
–, -vermeidung 258, 420
–, -wachstum 241, 256, 262, 269, 273, 276
Schlagregen 37f., 40f., 46f., 93, 124, 131, 214, 217, 224, 232f., 269
–, -beanspruchung 41, 43, 50, 74, 94, 106, 126f.
–, -beanspruchungsgruppe 41, 127, 259
–, -schutz 50, 64, 73, 126, 195
–, -sicherheit 47, 50
Schlitz 115, 129, 157, 184, 320, 376f., 378
–, horizontaler 184f., 320
–, schräger 184f., 320
–, vertikaler 174, 184f., 320
Schlitzbreite 184f.
Schlitzlänge 184f.
Schlitztiefe 115, 184f., 377
Schneelast 152
Schnittgrößenermittlung 152, 166f., 170, 179
Schubfestigkeit 151, 164f.
–, charakteristische 146, 164f.
–, charakteristischer Wert 161, 164
–, Bemessungswert 161
Schubtragfähigkeit 170
Schutzschicht 53, 225, 227, 231, 237, 430
schwach belüftet 49, 251, 253
schwerentflammbar 49, 60ff., 69, 72, 299, 302f., 307, 324
Schwinddehnung 204, 212, 197
Schwinden 108f., 113, 115, 165, 187, 191, 195ff., 211ff., 323, 381
Setzung 46, 96, 200, 210f., 237
Sicherheitsbeiwert 152, 157f., 358f., 371, 392
–, globaler 151, 157

Sichtmauerwerk 15, 28, 42, 46, 50, 52, 74ff., 83ff., 101f., 105, 115, 119, 122f., 183, 186, 274, 376, 421
Sickerwasser 219f., 223f., 228f., 235
–, nicht drückendes 219, 227, 236, 238
–, drückendes 220, 223f., 227
Sockelanschluss 261
Sockelbereich 53, 62, 93, 125, 127, 131, 222, 232f.
Sockelputz 53, 55, 125, 127, 231ff.
–, wasserabweisender 41, 53
Sollfugendicke 119, 122
sommerlicher Wärmeschutz 37f., 281ff.
Sonneneinstrahlung 38, 89f., 93, 281f., 295
Sonneneintragskennwert 282ff., 287, 290f., 295
Sonneneintragskennwertverfahren 281ff., 287, 290, 292, 295
Sonnenschutzvorrichtung 38, 64, 282, 284
Speichermasse 65, 256, 261, 282, 286, 291f., 284f.
Spektrum-Anpassungswert 347, 371, 392, 395f.
Sprachverständlichkeit 349f., 407
Spritzbewurf 47, 129, 131f.
Spritzwasser 38, 41, 73, 225
–, -beanspruchung 53
–, -bereich 41, 53, 231
–, -schutz 40f.
Standsicherheit 37, 47, 56, 60, 67, 71, 78, 101, 106, 109, 115, 157, 166, 180, 189, 433
Standsicherheit (Brandschutz) 297f., 318, 320, 332f.
Standsicherheitsnachweis 37, 58, 60, 71, 152, 157ff., 164, 186
Stauwasser 219f., 224, 227f., 236ff.
Steckdose 92, 274, 320, 334, 377
Steifigkeit, räumliche 166ff., 189
Steinart 13, 15f., 84f., 108, 153, 162, 165, 317
Steindruckfestigkeit 16, 33, 151, 154, 162, 165, 427, 433
Steindruckfestigkeitsklasse 15, 26, 45, 74f., 78, 145, 154, 163, 433
Steinformat 14ff., 28f., 85, 138, 146, 153, 186, 201, 435
Steinhöhe 16, 25f., 28, 84, 103, 122, 152ff., 163, 185f.
Steinoberfläche 46, 85, 87, 95, 97
Steinrohdichte 17, 33, 59, 116, 154, 339, 377, 393, 427
Steinrohdichteklasse 15, 35, 39, 49, 63, 72, 75, 78, 107, 154, 159, 245, 339, 389, 435
Steinsäge 31
Steinsorte 15, 162, 166
Steinzugfestigkeit 162, 165f., 201
Stoßbeanspruchung 301f., 305, 309f., 326f., 332f.
Stoßfuge, unvermörtelte 53, 88, 147, 155, 163, 165, 252, 310, 318f., 333, 376
Stoßfugenausbildung 16, 103, 154
Stoßfugenvermörtelung 34, 102f., 116, 140, 145, 152, 180
–, ohne 15, 25, 27ff., 33, 43, 55, 102ff., 108f., 128, 140, 142, 151, 153ff., 317, 376, 414, 431
Stoßstelle 343, 345, 354, 358, 364, 366f., 373, 375, 387
Stoßstellendämm-Maß 348, 363f., 367, 373
Strahlenschutz 127, 412, 429f.
Strahlung 37, 429, 244
–, elektromagnetische 429
–, radioaktive 429f.
Stumpfstoß 190, 213, 320, 366, 373ff.
Stumpfstoßtechnik 31, 33, 151, 169, 189f., 200, 374
Sturz 22f., 28, 47, 52, 61, 116, 128, 182ff., 186, 264, 316, 321, 414
Stütze 23, 78, 102, 106, 114, 167, 214, 254, 262, 312f., 329, 334
Systemergänzung 15, 21

T

Tapete 125, 130
Tausalz 54, 231, 432
Tauwasser 38, 50, 64, 66, 217, 241, 262, 269, 272, 418
–, -ausfall 40, 251, 253f., 270ff., 275
–, -bildung 38, 40, 64f., 73, 258, 262, 269f., 427
–, -nachweis 271f.
–, -schutz 407
Teilflächenpressung 153, 178f.
Teilsicherheitsbeiwert 59, 103, 115f., 137f., 152, 157, 159ff., 163, 177f.
Temperatur 37f., 41, 63, 77, 94, 96, 140, 142, 148, 156, 187, 217, 244, 247, 256, 258, 262f., 265, 278, 281, 291f., 294f., 314, 316f., 321, 413, 415ff.
–, maßgebende 420
–, -änderung 38, 114, 123, 196
–, -faktor 40, 262, 278, 420
–, -zeitkurve (ETK) 314
Toleranzen 15f., 137, 153, 155, 166
Trennfuge 31, 35, 324, 348, 365f., 370, 373f., 385, 387ff.
Trennschicht 112f., 191, 200, 203f., 207, 209, 322f., 380f.
Trennwand, nicht tragende 27, 30, 34f., 101, 106ff., 160, 171, 206f., 213, 318ff., 322f., 380f.
Trennwandzuschlag 159f.
Treppenraumwand 316, 377, 386
Trittschall 344, 349, 352, 356ff.
Trittschalldämmung 266, 288f., 291, 344, 347f., 352, 362f., 371
Trittschallschutz 350, 358, 360, 362, 370f.
Trockenrohdichte 15, 17, 120f., 155
Tropfkante 65, 87, 96

U

U-Wert 34, 38ff., 49, 63, 72, 258ff., 263, 266ff., 275, 277f., 281, 343ff., 435

Überbindemaß 26, 84, 102ff., 108, 116, 152, 155f., 163, 170f., 173f., 178f., 182, 185f., 201
Übermauerung 22, 183
Überstand, maximaler 48, 52
Überwachung 120, 251, 354, 409
Untergrund 29, 35, 60, 77, 88, 93ff., 124f., 128ff., 132, 137, 217f., 222f., 226, 228, 230f., 238, 268, 412
–, tragender 57f., 63, 67ff., 72
Unterkonstruktion 67ff., 303ff., 325, 378
UV-Beanspruchung 41

V

Verankerungselement 40, 67f.
Verankerungstiefe 139ff., 143ff., 148
Verarbeitbarkeitszeit 121f.
Verarbeitungsgewicht 29
Verband 23, 59, 69, 147, 164, 167, 169, 183, 185, 190, 198f., 207, 334
Verbandsmauerwerk 186, 320
Verblender 15ff., 43, 46, 50, 55, 74, 76, 78, 83ff., 87ff., 91, 93, 96, 123f., 153f., 231, 266f., 411
Verblendmauerwerk 18, 23, 42, 46ff., 50, 52f., 55, 74f., 83f., 86, 89, 93ff., 123, 217, 221, 231ff., 268, 432
Verblendschale 17, 39, 43, 46ff., 53ff., 74, 87, 122ff., 131, 187, 198, 204, 213f., 231ff., 245, 376, 393, 398
VDI Richtlinie 2566 359, 383ff.
VDI Richtlinie 4100 349ff., 354f., 359ff., 383ff., 392
Verformung 47, 59, 68, 70f., 93, 96, 106, 109ff., 114f., 123, 130ff., 156, 158, 172, 174, 179, 187, 189, 191, 195, 198, 200, 203, 206, 211ff.
–, -eigenschaften 162ff., 166, 198
–, -fall 198ff., 204, 213f.
–, -kennwerte 166
Verfugung 46f., 74, 83, 85, 87ff., 123
Verkehrslast, Zuschlag 107, 116
Verklebung, vollflächige 58
Verschmutzung 41, 54, 65, 88, 93, 96ff., 232f., 237
Versetzgerät 15, 19, 26ff., 151, 183, 190, 413
Verwendungszweck 56, 126, 155, 306
Verzahnung 31, 59, 102, 110, 136f., 146, 155, 190
Vollstein 15f., 21, 45, 101, 135ff., 142ff., 146f., 153, 156, 162f., 165f., 178, 186, 285, 315, 337ff., 376, 398, 427, 430
Vorlagerung 14
Vormauerschale 45, 54, 252, 321
–, verputzte 39, 42, 131, 245
Vormauerstein 15, 17, 46f., 49, 83ff., 87, 153f.
Vornässen 89, 123, 204
Vorsatzschale 43, 47, 50, 52, 135, 271, 348, 365, 367, 371, 378f., 396, 399

W

Wand 15, 21, 23, 25ff., 34, 57, 77f., 92f., 101ff., 128ff., 168ff., 177, 179ff., 186ff., 199ff., 219ff., 226ff., 234ff., 238, 252ff., 257, 272ff., 282, 297f., 301ff., 308ff., 316ff., 322ff., 331ff., 348, 351f., 367ff., 376f., 379ff., 385, 390ff., 394, 397, 398ff., 417, 419, 431, 434f.
–, aussteifende 156f., 167, 169f., 173f., 188ff., 302
–, auszusteifende 101, 156, 168f., 190, 198
–, einschalige 337, 348, 364ff., 371, 372ff., 394, 396
–, nichtraumabschließende 316, 318, 337f.
–, nicht tragende 15, 20ff., 33, 101ff., 152, 156, 189, 200, 204, 214, 310, 314, 316, 318ff., 327, 337, 380f., 388
–, raumabschließende 112f., 315ff., 320, 322f., 334, 337f., 380f.
Wandanschluss 32, 105f., 110f., 114, 169, 189f., 207, 320
–, seitlicher 110ff., 322, 379, 381
–, oberer 106, 113, 322, 329, 380
Wanddicke 15, 20ff., 25, 31, 35, 78, 102f., 107ff., 112f., 115f., 151, 159, 170ff., 175ff., 184ff., 320ff., 337ff., 346, 367, 377, 387, 430f., 435
Wandflächengewicht 34, 107, 116, 159
Wandfuß 21, 28, 51, 109, 174f., 179, 181, 184, 186f., 189, 191, 204, 207, 219, 328
Wandgewicht 159, 178
Wandkopf 21, 105, 108, 156, 167, 170, 174ff., 178ff., 184, 186f., 189, 191, 204, 207, 209, 274, 317, 324, 328
Wandkrone 78, 93, 109
Wandlänge 27f., 104, 108, 113, 115, 169, 178, 182, 184f., 188, 190, 204, 207, 214, 315, 380f.
–, rissfreie 51, 214
–, zulässige 108ff., 116
Wandöffnung 44, 59f., 183, 316
Wandoptimierung 33
Wandscheibe 110, 152, 157, 160, 167f., 178f., 187, 189
Wandschlankheit 151, 168, 175
Wärmebrücken 21, 40, 49f., 54, 66, 69, 73, 242ff., 251, 253ff., 258ff., 272, 275ff., 378, 420
Wärmebrückenkatalog 40, 259ff., 264f.
Wärmedämm-Verbundsystem 38f., 41f., 54ff., 77, 127, 131, 208, 231f., 245, 252, 264, 321, 324, 348, 390, 393f., 396, 409, 412, 421, 423
–, gedübeltes 55, 58, 267ff.
–, geklebtes 55ff., 63, 267ff.,
–, Lebensdauer 56, 411
Wärmedämmputz 127, 337
Wärmedämmstoff 34, 39, 49, 63, 72, 245, 248, 250f., 276
Wärmedämmstoffdicke 409f., 412

Wärmedämmung 37ff., 43ff., 49f., 54f., 58, 61, 64, 66f., 69, 72ff., 83, 101, 127, 140, 145, 199, 205, 217, 237, 242f., 245f., 247, 251ff., 257ff., 263f., 266ff., 271ff., 278, 282, 309, 330f., 374ff., 379, 389, 394, 397
Wärmedehnung 196, 198, 214
Wärmedurchgangskoeffizient 34, 38, 49, 63, 69, 73, 243f., 254f., 258f., 264ff., 277
–, längenbezogener 259, 264ff., 268, 278
–, punktbezogener 266, 278
Wärmedurchlasswiderstand 49, 73, 244, 251ff., 256f., 261f., 271, 273, 277f.
Wärmeleitfähigkeit 21, 39, 49, 58, 63, 69, 120f., 125, 127, 243ff., 247ff., 261, 266, 268, 278, 378, 409, 419
–, äquivalente 252f.
–, Bemessungswert 22, 58f., 63, 72, 245, 248ff., 255, 263, 268, 276
Wärmeleitung 243f., 254, 415
Wärmeschutz 33, 38, 40, 42f., 49, 55f., 58, 63f., 72f., 74, 76f., 114, 195, 222, 231, 343, 374, 376, 393f., 414, 423, 435
–, sommerlicher 37f., 43, 49, 55, 63, 73, 101, 242, 275f., 281ff., 414, 416
–, winterlicher 37f., 63, 72, 241ff., 281, 420
Wärmespeicherfähigkeit, wirksame 278, 285ff., 290f.
Wärmestrom 243f., 247, 252f., 259, 268, 277f.
–, -dichte 247, 259, 268f., 278
–, -richtung 244, 251ff.
Wärmetransport 242ff., 252, 269, 275, 277
Wärmeübergang 40, 243, 262
Wärmeübergangswiderstand 49, 242ff., 246 262, 275, 278
Warmwasserversorgung 404, 414
Wasser, drückendes 218, 221, 229
Wasseraufnahme 47, 60, 94, 125, 127
Wasseraufnahmekoeffizient 64, 127, 278
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl 248f., 270f., 276, 278
Wasserdampfdurchlässigkeit 88, 94
Wasserrückhaltevermögen 89f., 122f., 128f.,
WDVS 35, 55ff., 76, 131, 231f., 246f., 259, 263ff., 268f., 271ff., 321, 324, 365, 375f., 392ff., 410, 412, 423, 430
Werk-Frischmörtel 119f.
Werk-Trockenmörtel 87, 89f., 119f., 123f., 126, 128ff., 155
Werk-Vormörtel 119, 126
Werkmörtel 119f., 126, 156
Winddichtigkeit 34
Winddruck 37, 68, 166, 172
Windlast 59, 71, 78, 101ff., 105ff., 152, 170, 173, 175, 177f., 204, 316
Windlastzone 44, 76, 102f., 105
Wintermörtel 432
Wirtschaftlichkeit 25, 33, 37, 41, 155f., 179, 360, 404, 407, 409, 414
Witterungsschutz 37, 40f., 43, 46, 50, 60, 64, 69, 73f., 78, 119, 125, 131
Wohnflächengewinn 35
Wohnungstrennwand 34f., 112f., 253, 297f., 316, 322f., 343, 345f., 354, 356, 371ff., 380f., 385, 398
WPK 120
WU-Richtlinie 218

Z

Zahnschiene 31, 120, 155
Zange 434
Zentrierung 187f., 191, 204, 208
Zuganker 167
Zugfestigkeit 46, 51, 162, 164, 196, 200f.
Zulassung (abZ) 22, 38f., 41, 43ff., 51, 56ff., 64, 66ff., 74, 106, 122, 131, 135, 137, 139, 142f., 152, 183, 186, 245f., 248ff., 302, 306ff., 312, 314, 319ff., 324, 328, 335, 396f., 423, 433
Zulassung (ETA) 38, 56, 59, 61, 67, 131, 135, 137, 140f., 144ff., 249, 251, 255, 276, 302, 308
Zuschlag (Gesteinskörnungen) 13, 21, 119f., 127, 128, 155, 198, 248, 412, 422, 430
Zustimmung im Einzelfall (Z.,i.,E.,) 74, 137, 250, 299, 302, 306ff., 312
Zwangsspannung 195ff., 202, 211
Zweihandstein 28f., 413
Zweischaligkeitszuschlag 369f., 387f., 390
Zweischalige Haustrennwand 31, 34f., 171f., 324, 352f., 361, 367ff., 385ff., 390
Zweischaliges Mauerwerk 17, 38, 41ff., 47, 49, 52f., 64, 74, 77, 83, 122, 131, 135, 231, 234, 252, 264, 266ff., 303

Bildnachweis

Bild S. 438: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

Beratung:

Kalksandstein-Bauberatung Bayern GmbH
Rückersdorfer Straße 18
90552 Röthenbach a. d. Pegnitz
Telefon: 09 11/54 07-30
Telefax: 09 11/54 07-310
info@ks-bayern.de
www.ks-bayern.de

Kalksandsteinindustrie Nord e.V.
Lüneburger Schanze 35
21614 Buxtehude
Telefon: 0 41 61/74 33-60
Telefax: 0 41 61/74 33-66
info@ks-nord.de
www.ks-nord.de

Kalksandsteinindustrie Ost e.V.
Veltener Straße 12–13
16515 Oranienburg-Germendorf
Telefon: 0 30/25 79 69-30
Telefax: 0 30/25 79 69-32
info@ks-ost.de
www.ks-ost.de

Verein Süddeutscher Kalksandsteinwerke e.V.
Malscher Straße 17
76448 Durmersheim
Telefon: 0 72 45/806-500
Telefax: 0 72 45/806-501
info@ks-sued.de
www.ks-sued.de

Kalksandsteinindustrie West e.V.
Barbarastraße 70
46282 Dorsten
Telefon: 0 23 62/95 45-0
Telefax: 0 23 62/95 45-25
info@ks-west.de
www.ks-west.de

Bundesverband KALKSANDSTEIN Industrie e.V.