

B U N D E S V E R B A N D
 P O R E N B E T O N

PORENBETON HANDBUCH

Martin Homann



PORENBETON HANDBUCH

IMPRESSUM

Verfasser: Martin Homann, Prof. Dr.-Ing. Architekt, Münster/Havixbeck

Ab der 6. Auflage wird das 1991 von
Helmut Weber, Prof. Dr.-Ing. habil, Dr. h.c., Hannover und
Heinz Hullmann, Prof. Dr.-Ing. habil, Hannover
begründete Porenbeton-Handbuch von
Martin Homann, Prof. Dr.-Ing., weitergeführt.

Technische Beratung: Georg Flassenberg, Dipl.-Ing.
Julian Kümmel, Dr.-Ing.
Reinhard Schramm, Dipl.-Ing.
Henning Sill, Dipl.-Ing. Architekt
Bundesverband Porenbetonindustrie e.V., Hannover

Grafische Bearbeitung: Gräf und Team, München

Druck: Merkur-Druck, Detmold

Für dieses Handbuch wurden die technischen Hinweise und Anregungen nach bestem Wissen entsprechend dem neuesten Stand der Porenbeton-Anwendungstechnik zum Zeitpunkt der Drucklegung ausgewählt und zusammengestellt.

Da die Verwendung von Bauteilen aus Porenbeton den einschlägigen DIN-Vorschriften bzw. Zulassungsbescheiden unterliegt und diese Änderungen unterworfen sind, bleiben die Angaben ohne Rechtsverbindlichkeit (Datum der Drucklegung).

Für die zitierten Normen gilt:

„Wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Maßgebend für das Anwenden der Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.“

6. Auflage 2008

© 1991 Bauverlag, Gütersloh

ISBN 13 978-3-7625-3626-0

PORENBETON HANDBUCH

PLANEN UND BAUEN
MIT SYSTEM

Martin Homann

6. Auflage

Bauverlag · Gütersloh

1991 erschien die erste Ausgabe des Porenbetonhandbuchs im Bauverlag. Mehr als 211.000 Exemplare wurden seitdem in immer wieder aktualisierten fünf Auflagen gedruckt und verbreitet – in erster Linie an Hochschulen und Berufsschulen, sowohl für Lernende als auch für Lehrende. Denn es war und ist Ziel der Porenbetonindustrie, all denjenigen bereits in der Ausbildung eine Hilfestellung zu bieten, die in ihrem späteren Berufsleben mit den Produkten und der Bauart in Berührung kommen.

Die vorliegende 6. Auflage stellt vor dem Hintergrund technischer Weiterentwicklung und europäischer Normung eine völlige Neubearbeitung dar. Das von Helmut Weber und Heinz Hullmann begründete Buch wird damit von Martin Homann weitergeführt.

Das Fachbuch beschreibt das gesammelte und bewährte Wissen um Herstellung, Produkte, Eigenschaften, Konstruktion, Bauphysik und Ausführung. Der Schwerpunkt liegt bei den unbewehrten Produkten – und damit im Mauerwerksbau. Es soll Studenten, Auszubildenden und Lehrenden mit Baustoff und Bauart vertraut machen. Es soll Architekten und Ingenieuren, Planern und Ausführenden technisch einwandfreie Lösungen ermöglichen.

Porenbeton ist als Baustoff mit vielfältigen Eigenschaften und Vorteilen ausgestattet, die es ermöglichen, differenzierte und höchste Anforderungen mit homogenen Bauteilen zu erfüllen.

Er trägt in hohem Maße zum ressourcenschonenden, energiesparenden, rationellen, nachhaltigen und sicheren Bauen bei. Die genormten und industriell in hoher Präzision gefertigten Produkte sind weltweit verbreitet, in allen Klimazonen.

Porenbeton wird im Wohn- und Wirtschaftsbau eingesetzt, im Neubau, im Ausbau und in der Modernisierung und Sanierung. Neue Anwendungsgebiete werden ständig erschlossen.

Hannover, Juni 2008

BUNDESVERBAND PORENBETON

Das Porenbeton-Handbuch ist als Arbeitshilfe für planende Architekten und Ingenieure sowie für Studenten der Bau fakultäten konzipiert. Es bietet eine möglichst umfassende Darstellung der Kriterien, die bei der Auswahl eines Baustoffs zu berücksichtigen sind. Dabei werden die Eigenschaften des Baustoffs Porenbeton beleuchtet und somit die Chancen erkennbar, die der Baustoff Porenbeton bietet.

Wird ein Gebäude errichtet oder modernisiert, sind ökologische, technische und wirtschaftliche Aspekte bei der Auswahl eines Baustoffs von großer Bedeutung. Daher werden im ersten Kapitel die Herstellung des Baustoffs Porenbeton und seine Umwelteigenschaften erläutert. Eine Übersicht über Produkte und Bausysteme liefern die folgenden zwei Kapitel. Das vierte Kapitel hat die für die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit notwendigen Berechnungsgrundlagen zum Inhalt. In den darauf folgenden Kapiteln werden die bauphysikalischen, d. h. die wärme-, feuchte-, schall- und brandschutztechnischen Eigenschaften betrachtet. Konstruktive Lösungen finden sich im neunten Kapitel. Das anschließende Kapitel liefert Hinweise zur Ausführung, denn z. B. Wirtschaftlichkeit, Verarbeitungs- oder Bearbeitungsmöglichkeiten sind mit entscheidend für die Baustoffauswahl. Einige eindrucksvolle Beispiele für das Bauen mit Porenbeton liefert das elfte Kapitel.

Mit der vorliegenden sechsten Auflage wurde das Porenbeton-Handbuch grundlegend überarbeitet. Dazu haben Veränderungen auf vielen Gebieten des Bauens beigetragen: Hierzu zählen beispielsweise die aktualisierten Bemessungsregeln oder die erweiterten Bestimmungen zum energiesparenden Bauen mit Einführung der Energieeinsparverordnung 2007, aber auch die Weiterentwicklung des Baustoffs Porenbeton mit verbesserten Materialeigenschaften.

Ich bin dem Bundesverband Porenbetonindustrie e. V. dankbar dafür, dass ich das von Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Hullmann und Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Helmut Weber begründete Porenbeton-Handbuch weiterführen und aktualisieren durfte. Ich bin zuversichtlich, dass die sechste Auflage dieses Werks, das mit Unterstützung der Mitarbeiter des Bundesverbandes Porenbetonindustrie e. V. entstanden ist, nach wie vor eine wertvolle Hilfe und Anregung für zeitgemäßes Bauen ist.

Münster/Havixbeck, Juni 2008

Prof. Dr.-Ing. Martin Homann

INHALT

1	BAUSTOFF	11
1.1	Idee und Entwicklung	11
1.2	Herstellung	12
1.3	Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit	19
1.3.1	Ausgangssituation	19
1.3.2	Rohstoffsituation und Produktionsprozess – Ökobilanz	21
1.3.3	Produktverarbeitung	25
1.3.4	Gebäudenutzung	26
1.3.5	Nachnutzungsphase – Rückbau, Recycling, Deponierung	29
1.3.6	Umweltdeklaration	30
2	PRODUKTE	31
2.1	Übersicht	31
2.2	Regeln für Herstellung und Anwendung	31
2.3	Mauerwerksprodukte	33
2.3.1	Plansteine	33
2.3.2	Planelemente	33
2.3.3	Planbauplatten	35
2.3.4	Mauertafeln	35
2.4	Wandtafeln	36
2.5	Decken- und Dachplatten	36
2.6	Ergänzungsprodukte	38
2.6.1	Höhenausgleichssteine	38
2.6.2	Deckenrandsteine	38
2.6.3	Stürze	38
2.6.4	U-Steine und U-Schalen	39
2.6.5	Treppenstufen	40
2.6.6	Mantelsteine	40
2.7	Wandplatten für den Wirtschaftsbau	40
3	BAUSYSTEME	43
3.1	Übersicht	43
3.2	Porenbeton-Bausystem „Wohnbau“	43
3.3	Porenbeton-Bausystem „Wirtschaftsbau“	45
3.4	Porenbeton-Bausystem „Modernisierung“	46

4	BERECHNUNG	51
4.1	Anforderungen an Entwurf und Ausführung	51
4.2	Lastannahmen	51
4.2.1	Eigenlasten (Wichten) von Baustoffen und Bauteilen	51
4.2.2	Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten.....	52
4.2.3	Windlasten.....	53
4.2.4	Schneelasten	57
4.2.5	Erdbebenlasten.....	59
4.3	Mauerwerk	63
4.3.1	Berechnungsverfahren	63
4.3.2	Berechnung gemäß DIN 1053-1	63
4.3.3	Berechnung gemäß DIN 1053-100	71
4.4	Mauertafeln	74
4.5	Wandtafeln	75
4.6	Dachplatten	76
4.7	Deckenplatten	78
4.8	Stürze	79
5	WÄRME	81
5.1	Ziele des Wärmeschutzes	81
5.2	Wärmeleitung und Wärmeübergang	81
5.3	Wärmespeicherung	86
5.4	Mindestwärmeschutz im Winter	89
5.5	Energiesparender Wärmeschutz	90
5.5.1	Energieeinsparverordnung (EnEV 2007)	90
5.5.2	Zu errichtende Wohngebäude.....	92
5.5.3	Zu errichtende Nichtwohngebäude	98
5.5.4	Zu errichtende kleine Gebäude	103
5.5.5	Dichtheit und Wärmebrücken.....	103
5.5.6	Bestehende Gebäude	106
5.6	Sommerlicher Wärmeschutz	114
6	FEUCHTE	121
6.1	Feuchtegehalt von Porenbeton	121
6.2	Wasserdampfdiffusion und Flüssigwassertransport	122
6.3	Tauwasser- und schimmelpilzfreie Bauteiloberflächen	124
6.4	Schlagregenschutz von Außenwänden	125
6.5	Abdichtung von Kelleraußenwänden	128

7	SCHALL	133
7.1	Anforderungen und Nachweise	133
7.2	Geräusche aus fremden Räumen	134
7.2.1	Luftschalldämmung in horizontaler Richtung	134
7.2.2	Luftschalldämmung in vertikaler Richtung und Trittschalldämmung	139
7.3	Außenlärm	141
7.4	Geräusche von Anlagen der Technischen Gebäudeausrüstung	143
7.5	Lärm am Arbeitsplatz	143
7.6	Lärm in der Nachbarschaft	145
8	BRAND	149
8.1	Baustoffklassen und Feuerwiderstandsklassen	149
8.1.1	Regelungen	149
8.1.2	Brandverhalten von Baustoffen	149
8.1.3	Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen	151
8.2	Wände	154
8.2.1	F-klassifizierte Wände, Pfeiler und Wandabschnitte	154
8.2.2	Anschlüsse	157
8.2.3	Feuerschutzabschlüsse	157
8.2.4	W-klassifizierte Wände	158
8.2.5	Brandwände	158
8.2.6	Komplextrennwände	162
8.3	Decken und Dächer	163
8.4	Bekleidungen aus Porenbeton	164
9	KONSTRUKTIONEN	165
9.1	Übersicht	165
9.2	Wände aus Porenbetonmauerwerk und Porenbeton-Wandtafeln	165
9.3	Flachdächer aus Porenbeton-Dachplatten	186
9.4	Geneigte Dächer aus Porenbeton-Dachplatten	194
9.5	Decken aus Porenbeton-Deckenplatten	204
10	AUSFÜHRUNG	211
10.1	Wirtschaftlichkeit	211
10.2	Verarbeitung	213
10.2.1	Plansteine	213
10.2.2	Planelemente	215
10.2.3	Wandtafeln	217
10.2.4	Decken- und Dachplatten	218

10.3	Bearbeitung	218
10.4	Oberflächenbehandlung	220
10.4.1	Allgemeines	220
10.4.2	Putze	220
10.4.3	Außenputze	221
10.4.4	Innenputze.....	223
10.4.5	Keramische Beläge im Innenbereich.....	224
10.4.6	Beschichtungen im Innenbereich.....	225
10.5	Befestigungen	225
10.5.1	Übersicht	225
10.5.2	Nägeln, Spiralnägeln und Schrauben	225
10.5.3	Dübel.....	225
10.5.4	Bolzen	228
10.6	Ausmauerung von Holzfachwerk	228
11	BEISPIELE FÜR DAS BAUEN UND GESTALTEN MIT PORENBETON	231
11.1	Planungsaspekte	231
11.2	Einfamilienhäuser und Reihenhäuser	231
11.3	Mehrfamilienhäuser	242
11.4	Sanierte und modernisierte Häuser	247
11.5	Wirtschaftsgebäude	252
12	SYMBOLS	255
13	LITERATUR	259
13.1	Bücher, Broschüren, Aufsätze	259
13.2	Gesetze, Verordnungen, Regelwerke, Zulassungen, Prüfberichte	260
14	SACHWORTVERZEICHNIS	267

BAUSTOFF

1

1.1 Idee und Entwicklung

Porenbeton gehört zur Gruppe der Leichtbetone. Seine Stärke liegt vor allem darin, dass er massive monolithische Konstruktionen ermöglicht, welche gleichzeitig die Anforderungen an die Tragfähigkeit, den Wärmeschutz, den Schallschutz und den Brandschutz erfüllen. Die Rohdichte von Porenbeton liegt zwischen 300 und 1.000 kg/m³. Die Kombination von niedriger Rohdichte und hoher Festigkeit ist die besondere Eigenschaft von Porenbeton. Daraus ergeben sich wichtige Vorteile in der Anwendung. Auf ergänzende Baustoffe, die sonst häufig für den Wärme-, Schall- oder Brandschutz erforderlich werden, kann bei Wandkonstruktionen aus Porenbeton weitgehend verzichtet werden – ein wesentlicher Vorteil sowohl für die Wirtschaftlichkeit als auch für eine sichere, fehlerfreie Bauausführung.

Die Kombination vieler erwünschter Eigenschaften macht Porenbeton sowohl im Wohnbau als auch im Wirtschaftsbau zu einem technisch und wirtschaftlich interessanten Material. Die konstruktiven und bauphysikalischen Eigenschaften ermöglichen Wand-, Decken- und Dachkonstruktionen aus Porenbeton.

Die historische Entwicklung des Baustoffs Porenbeton begann gegen Ende des 19. Jahrhunderts. Ziel der Entwicklung war es, in großen Mengen und mit gleich bleibender Qualität künstliche Bausteine aus den natürlichen Rohstoffen Quarzsand und Kalk herzustellen. In ersten Versuchen kochte Zernikow im Jahr 1877 Kalk-Sand-Mörtel in hoch gespanntem Wasserdampf, wobei er jedoch nur geringe Festigkeiten des Produktes erzielte. In einer weiteren Entwicklungsstufe gelang es Michaelis, wasserarmen Kalk-Sand-Mörtel in hoch gespanntem Wasserdampf zu hartem und festem Calciumsilikathydrat umzuwandeln. Für dieses Dampfdruckhärtungs-Verfahren erhielt er im Jahr 1880 das Patent DRP 14195, die Grundlage für die Herstellung aller dampfgehärteten Baustoffe. Im Jahr 1889 folgte die Erteilung eines Patentes an E. Hoffmann, dem es gelungen war, das Aufblähen des Baustoffes vor der Erhärtung durch Porenbildung herbeizuführen. Er nutzte

die Reaktion von verdünnter Salzsäure mit Kalksteintmehl, um Zement- und Gipsmörtel mit Luftporen herzustellen. Ein weiteres Patent wurde im Jahr 1914 an J. W. Aylsworth und F. A. Dyer für ein neues Verfahren erteilt, bei dem während der Reaktion von Kalk mit Wasser und geringen Mengen von Metallpulver (0,1 bis 0,5 % Aluminiumpulver oder 2 bis 3 % Zinkpulver) gasförmiger Wasserstoff frei wird. Bei diesem Porosierungs-Verfahren bläht sich die Rohstoffmischung auf, Wasserstoff entweicht und wird durch Luft ersetzt.

Schwedische Wissenschaftler arbeiteten seit 1918 an der Entwicklung eines neuen Baustoffes, weil in Schweden infolge des ersten Weltkrieges eine teilweise dramatische Energieknappheit herrschte. Da das Land kaum über eigene Energieträger verfügte, verschärfte die Regierung die Anforderungen an die wärmetechnischen Eigenschaften von Baustoffen. Gewünscht waren Produkte mit hoher Wärmedämmung und geringem Herstellungs-Energieaufwand. Weitere gewünschte Eigenschaften waren, dass der Baustoff nicht verrotten, nicht brennbar und leicht bearbeitbar sein sollte. Die weitere Entwicklung des Porenbetons lässt sich wie folgt darstellen:

- 1923 gelingt dem Schweden Axel Eriksson erstmals die Herstellung von Porenbeton. Ein Jahr später erhält er das Patent für seine neue Erfindung.
- 1927 wendet Axel Eriksson ein Verfahren an, bei dem unter Zusatz eines Metallpulvers ein fein verteiltes, inniges Gemisch aus Kalk und Quarzsand angemacht wird. Durch die Kombination der anschließenden Porosierung mit der Dampfdruckhärtung legt er die Grundlagen für den modernen Porenbeton. In Anlehnung an dieses Verfahren wird 1933 auch ein Leichtstein aus Portlandzement und Quarzmehl entwickelt.
- 1929 beginnt in Schweden die industrielle Fertigung von Porenbetonzeugnissen. Anfang der 30er Jahre werden weitere Werke gebaut, um die Nachfrage nach Produkten aus Porenbeton zu decken.

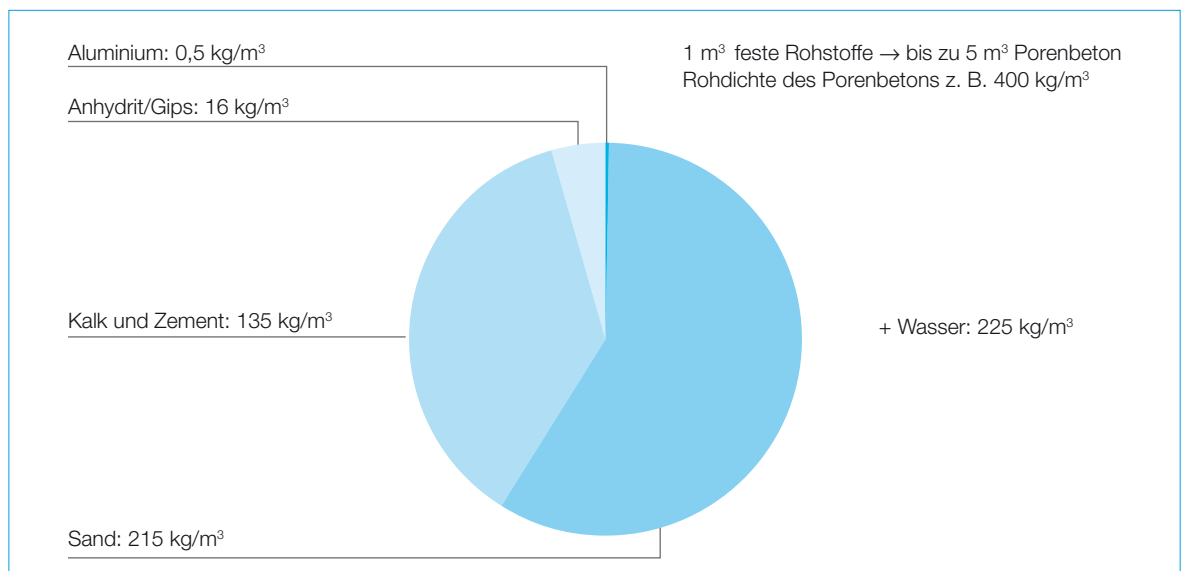
- 1945 wird in Deutschland das Schneideverfahren mit straff gespannten Stahldrähten entwickelt, bei dem der standfeste Porenbetonblock äußerst maßgenau in kleinere Produkte aufgeteilt werden kann und Materialverluste minimiert werden können. Ebenso werden erstmalig großformatige und stahlbewehrte Bauteile hergestellt.
- 1958 werden erstmals bewehrte Dach- und Deckenplatten genormt (DIN 4223).
- 1959 erfolgt die Normung von Mauersteinen und Bauplatten (DIN 4165 und DIN 4166).
- 1960 wird mit der Entwicklung von Plansteinen Mauerwerk mit Dünnbettmörtel und geringem Fugenteil ermöglicht.
- 1977 wird mit der „Nut-und-Feder“-Verbindung eine weitere Innovation im Mauerwerksbau eingeführt. Sie erleichtert das Bauen und beschleunigt den Rohbaufortschritt. Stoßfugen werden seitdem im Regelfall nicht mehr vermörtelt.
- 1983 werden Mauersteine aus Porenbeton mit Griffaschen versehen. Sie erleichtern die Handhabung und Verarbeitung von Plansteinen.
- 1987 führt die Entwicklung von Porenbeton-Planelementen zu einer weiteren Reduzierung der Arbeitszeitrichtwerte für Mauerwerk.
- 1994 stehen Flachstürze zur Verfügung, die aufgrund ihres geringen Gewichts von Hand und ohne Kran eingebaut werden können.
- 1996 erfolgt mit dem Planelement im Doppelpack ein weiterer Schritt zum kostenoptimierten Bauen.
- 2000 ermöglicht das „lange“ Planelement die Erstellung von 1,9 m² Mauerwerk mit nur einem Kranhub.
- 2004 werden raumgroße vorgefertigte Mauertafeln genormt (DIN 1053-4).
- 2007 erreichen Porenbeton-Plansteine eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,08 \text{ W/(mK)}$.

1.2 Herstellung

Produkte aus Porenbeton werden stationär in industriellen Verfahren hergestellt. Durch exakte Einhaltung von Herstellungsbedingungen und durch regelmäßige Eigen- und Fremdüberwachungen wird eine hohe Zuverlässigkeit in Bezug auf die Produkteigenschaften garantiert. Quarzsand als Zuschlagsstoff, Kalk und Zement als Bindemittel, Anhydrit oder Gips zur Verbesserung der Produkteigenschaften, Aluminiumpulver oder -paste als Porenbildner und Wasser (Abb. 1.1) werden für den Herstellungsprozess von Porenbeton verwendet (Abb. 1.2). Vom Feststoffgehalt, der Dosierung der Bindemittel und des Treibmittels sind u. a. die Rohdichte und damit die wärmedämmenden Eigenschaften abhängig. Bei Porenbeton der Rohdichte 400 kg/m³ ist ein Porenvolumen von etwa 80 % erreichbar, der Feststoffanteil beträgt dementsprechend 20 %.

Der verwendete Sand ist ein natürlicher Rohstoff, der neben dem Hauptmineral Siliciumdioxid (SiO₂) natürliche Neben- und Spurenminerale enthält. Er ist ein wesentlicher Grundstoff für die hydrothermale Reaktion während der Dampfdruckhärtung. Sande, die z. B. Meersalz enthalten, können nicht bzw. erst nach einer Wäsche verarbeitet werden. Andere Beimischungen

Abb. 1.1: Rohstoffe für die Herstellung von Porenbeton



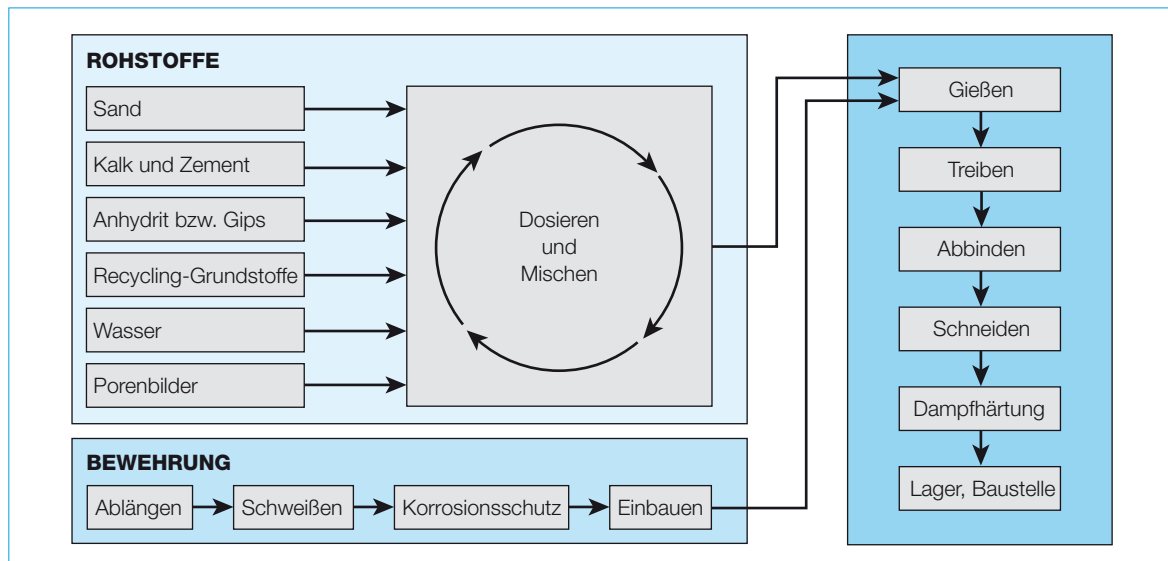


Abb. 1.2:
Ablauf der Herstellung
von Porenbeton-
Produkten

können besondere Rezepturen der Rohstoffmischung erforderlich machen. Vor der Verwendung wird der Sand in großen Mühlen zementfein oder zu Schlämmen gemahlen (Abb. 1.3). Es können auch andere quarzhaltige Zuschlagsstoffe als Sand, z. B. Flugaschen, eingesetzt werden. Die wichtige Komponente für den Produktionsprozess und die Produktqualität ist der SiO_2 -Anteil.

Als Bindemittel wird gemahlener Branntkalk und Zement (Portlandzement oder auch andere Zementsorten) verwendet. Branntkalk, der nach DIN EN 459 [58] genormt ist, wird durch Brennen von natürlichem Kalkstein hergestellt. Zement gemäß DIN EN 196 [57] wird vorwiegend aus Kalksteinmergel oder einem Gemisch aus Kalkstein und Ton hergestellt. Die natürlichen Rohstoffe werden gebrannt und anschließend gemahlen. Die Erstarrungszeit wird durch Zement und die Produkteigenschaften durch Anteile von Gips oder Anhydrit beeinflusst. Feines Pulver oder eine feinteilige Paste aus Aluminium wird mit Wasser zu einer Suspension

gemischt und als Porosierungsmittel eingesetzt. Durch Zusatz von Wasser erfolgt eine hydraulische Reaktion der Bindemittel. Außerdem ist Wasser zum Herstellen einer homogenen Suspension notwendig. Neben den Primärrohstoffen enthält die Mischung wiederverwendbaren gebrochenen und gemahlenen Porenbeton aus der Produktion und sortenreines Recyclingmaterial von der Baustelle oder aus dem Rückbau. Da die Formgebung von Porenbetonprodukten während der Herstellung im nicht gehärteten Zustand erfolgt, können die anfallenden Porenbetonschnittabfälle als Rückgutschlamm sofort wieder in den Prozess rückgeführt werden.

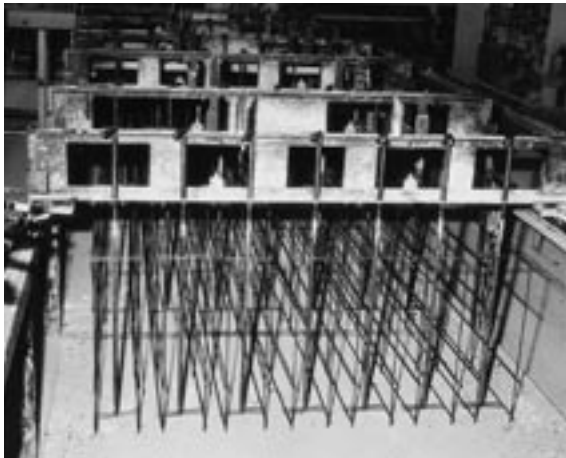
Die Grundstoffe werden dosiert, zu einer wässrigen Mischung verarbeitet und die Aluminium-Suspension zugegeben. Anschließend erfolgt das Einfüllen der Mischung in Stahlformen (Abb. 1.4). Dabei findet Schalöl als Trennmittel zwischen Form und Porenbetonmasse Verwendung. Eingesetzt werden PAK-freie (PAK = polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe)



Abb. 1.3 (links):
Mühle zum Mahlen des
quarzhaltigen Sandes

Abb. 1.4 (rechts):
Einfüllen der Rohstoff-
mischung in Formen

Abb. 1.5: Einbau der Bewehrung für Montagebauteile in Formen



mineralische Öle unter Zusatz von langkettigen Additiven zur Viskositätssteigerung. Neben mineralischen Ölen finden auch natürliche Öle Anwendung.

Für bewehrte Produkte wie Decken- und Dachplatten werden in einem vorgeschalteten Prozess Bewehrungskörbe hergestellt. Der Stahldraht wird von Rollen gezogen, gerichtet und abgelängt. Die Bewehrungsstäbe werden entsprechend den statischen Erfordernissen dimensioniert. Sie werden durch maschinelles Punktschweißen in Schweißautomaten zu Matten verbunden und ggf. zu Körben gebogen oder zusammengefügt. Der Bewehrungsstahl wird korrosionsschutz, da Porenbeton im Vergleich zu Normalbeton einen niedrigeren pH-Wert besitzt und sich auf der Oberfläche des

Stahls keine Passivschicht ausbildet. Hinzu kommt die hohe Porosität, die das Eindringen von korrosionsfördernden Stoffen begünstigt. Der Korrosionsschutz wird üblicherweise in einem Tauchbad aufgebracht. In der Vergangenheit wurden vorwiegend stabile wässrige Dispersionen als organische Materialien (z. B. Bitumen oder organische Polymere mit einer Beimischung von Quarz zur Erhöhung der Haftung), aber auch anorganische Materialien (z. B. Zementschlämme mit Beimischungen zur Erhöhung der Dehnfähigkeit) eingesetzt. Aus Gründen des Umweltschutzes geht der Trend zu Wasserlacken oder Pulverbeschichtungen. Die Bewehrungskörbe werden meistens vor dem Eingießen der Rohstoffmischung in die Formen eingebaut (Abb. 1.5) oder nach dem Gießen in die Masse getaucht und fixiert. Der Einbau wird äußerst exakt vorgenommen, weil der Inhalt einer Form später in mehrere Bauprodukte, z. B. in sieben Deckenplatten, geschnitten wird. Dazu muss die Bewehrung genau an der richtigen Stelle liegen und die erforderliche Betondeckung vorhanden sein.

Nach dem Eingießen der Masse in die Formen beginnen verschiedene chemische Reaktionen, von denen zunächst eine hervorzuheben ist: Das Aluminium reagiert mit Calciumhydroxid und Wasser (Abb. 1.6). Es entstehen Calciumaluminathydrat und Wasserstoffgas, welches die Rohstoffmischung bis zur erforderlichen Höhe in der Form aufreiben lässt. Das Gas entweicht

Abb. 1.6: Chemische Reaktionen beim Treiben und bei der Luftporenbildung

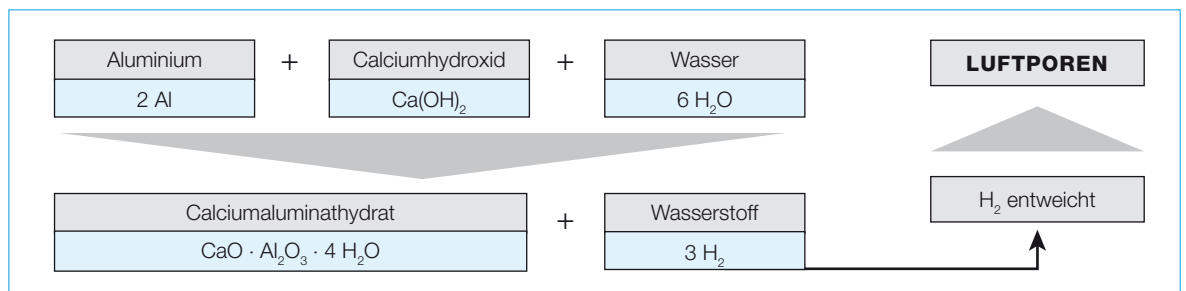
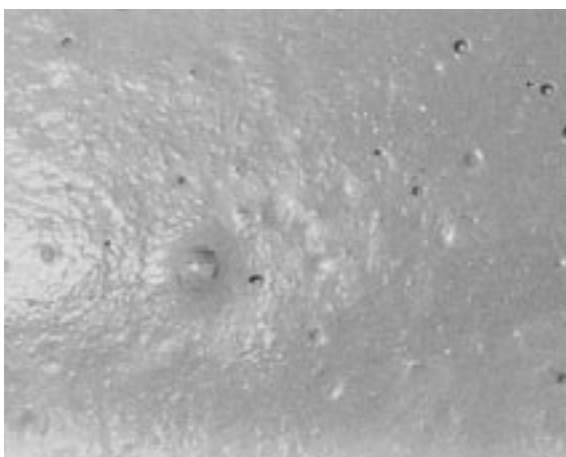


Abb. 1.7: Porenbildung



während des ca. halb- bis einstündigen Treibvorgangs nach und nach rückstandsfrei in die Atmosphäre. In den Poren des entstehenden Baustoffs, die einen Durchmesser von 0,5 bis 1,5 mm aufweisen, wird das entweichende Wasserstoffgas durch Luft ersetzt (Abb. 1.7). Kurz nach Ende des Treibens ist auch die Abbindezeit soweit fortgeschritten, dass der Rohblock standfest ist (Abb. 1.8). Nach drei bis sechs Stunden wird er aus der Gießform entnommen (Abb. 1.9).

In einer automatischen Schneideanlage erfolgt das Schneiden und Profilieren mit straff gespannten Stahldrähten und Profilmessern zu Produkten unterschiedlicher Abmessungen (Abb. 1.10). Die beim Schneiden

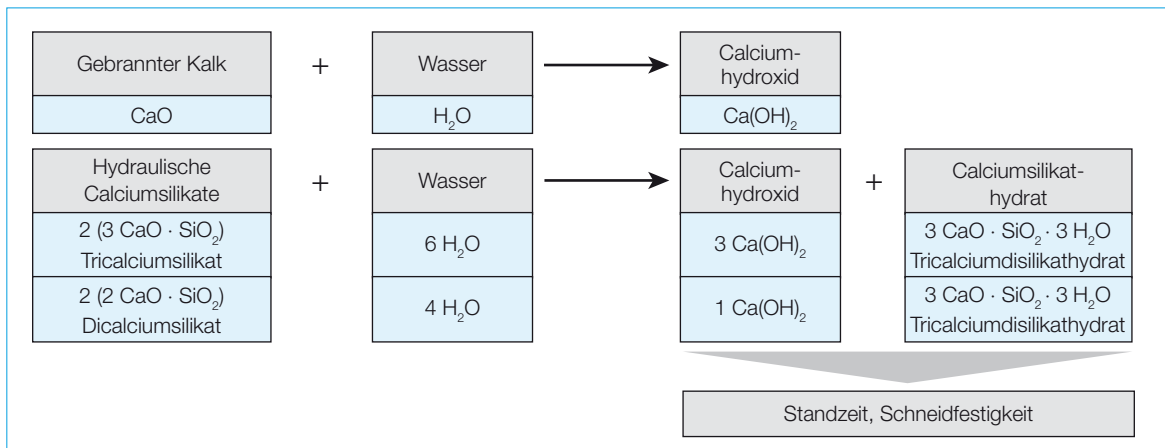


Abb. 1.8: Chemische Reaktionen beim Abbinden

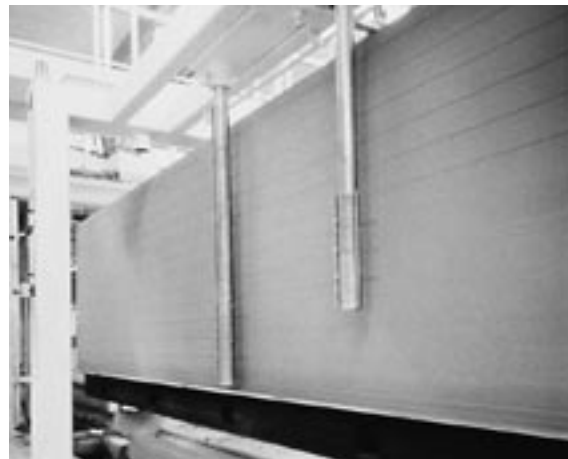


Abb. 1.9 (links): Abbinden der Rohstoffe bis zur Standfestigkeit

Abb. 1.10 (rechts): Maßgenaues Schneiden des standfesten Rohblocks

anfallenden Materialreste werden nach entsprechender Aufbereitung wieder der Rohstoffmischung zugeführt, wodurch die Porenbetonherstellung praktisch abfallfrei ist. Nach dem Schneiden folgt die Autoklavhärtung (Abb. 1.11). Bei dieser Dampfdruckhärtung setzen sich das Siliciumdioxid (SiO_2) des Sandes und die Calciumoxid-Komponenten (CaO) des Zements und Kalks zu einem Calciumsilikathydrat um (Abb. 1.12). Dieser Vorgang läuft mit einer Temperatur von etwa 190°C und einem Überdruck von etwa 11 bar über einen Zeitraum von 6 bis 12 Stunden ab.



Abb. 1.11: Dampfdruckhärtung im Autoklaven

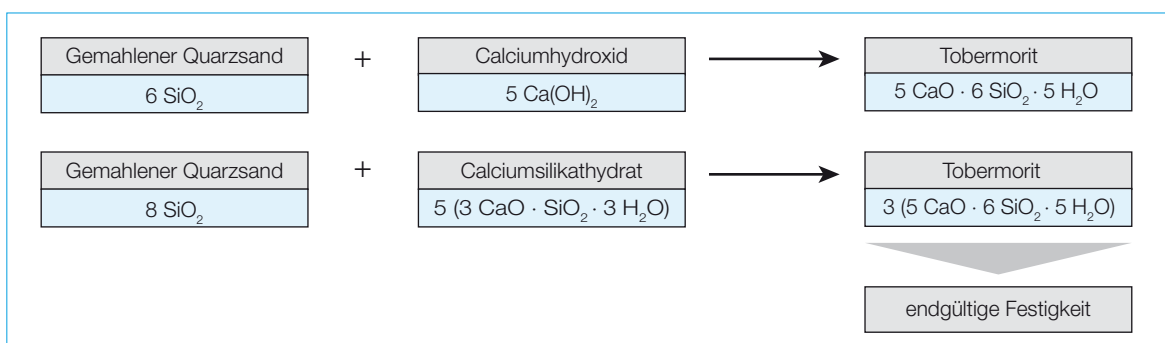


Abb. 1.12: Chemische Reaktionen beim Härten

Tab. 1.1: Druckfestigkeits- und Rohdichteigenschaften von Mauerwerksprodukten aus Porenbeton

Produkt	Druckfestigkeit			Rohdichte	
	Klasse	Mittelwert N/mm ²	Kleinster Einzelwert N/mm ²	Klasse	Mittelwert kg/dm ³
Plansteine	1,6	2,0	1,6	0,30	> 0,25 bis 0,30
				0,35	> 0,30 bis 0,35
	2	2,5	2,0	0,35	> 0,30 bis 0,35
				0,40	> 0,35 bis 0,40
				0,45	> 0,40 bis 0,45
				0,50	> 0,45 bis 0,50
	4	5,0	4,0	0,50	> 0,45 bis 0,50
				0,55	> 0,50 bis 0,55
				0,60	> 0,55 bis 0,60
				0,65	> 0,60 bis 0,65
				0,70	> 0,65 bis 0,70
	6	7,5	6,0	0,80	> 0,70 bis 0,80
				0,60	> 0,55 bis 0,60
				0,65	> 0,60 bis 0,65
				0,70	> 0,65 bis 0,70
	8	10,0	8,0	0,80	> 0,70 bis 0,80
				0,90	> 0,80 bis 0,90
				1,00	> 0,90 bis 1,00
Planelemente	2	2,5	2,0	0,35	> 0,30 bis 0,35
				0,40	> 0,35 bis 0,40
				0,45	> 0,40 bis 0,45
				0,50	> 0,45 bis 0,50
	4	5,0	4,0	0,50	> 0,45 bis 0,50
				0,55	> 0,50 bis 0,55
				0,60	> 0,55 bis 0,60
				0,65	> 0,60 bis 0,65
	6	7,5	6,0	0,70	> 0,65 bis 0,70
				0,60	> 0,55 bis 0,60
				0,65	> 0,60 bis 0,65
				0,70	> 0,65 bis 0,70
Planbauplatten	–	–	–	0,80	> 0,70 bis 0,80
				0,60	> 0,55 bis 0,60
				0,65	> 0,60 bis 0,65
				0,70	> 0,65 bis 0,70
				0,80	> 0,70 bis 0,80
				0,90	> 0,80 bis 0,90
				1,00	> 0,90 bis 1,00
				0,35	> 0,30 bis 0,35
				0,40	> 0,35 bis 0,40
				0,45	> 0,40 bis 0,45
Mauertafeln	2	2,5	2,0	0,50	> 0,45 bis 0,50
				0,40	> 0,35 bis 0,40
				0,45	> 0,40 bis 0,45
				0,50	> 0,45 bis 0,50
	4	5,0	4,0	0,50	> 0,45 bis 0,50
				0,55	> 0,50 bis 0,55
				0,60	> 0,55 bis 0,60
				0,65	> 0,60 bis 0,65
	6	7,5	6,0	0,70	> 0,65 bis 0,70
				0,65	> 0,60 bis 0,65
				0,70	> 0,65 bis 0,70
				0,80	> 0,70 bis 0,80

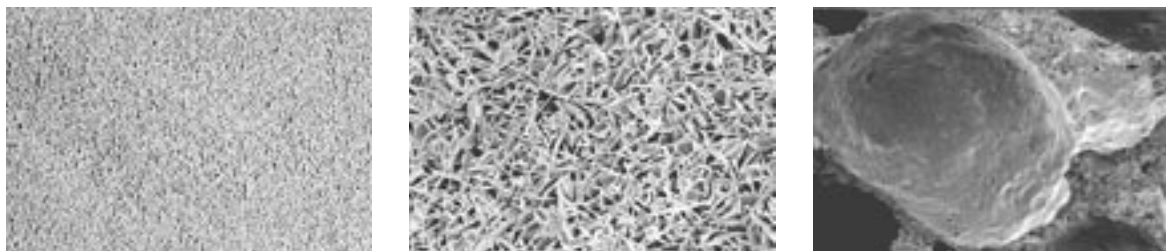


Abb. 1.13 (links): Geschlossenzellige Porenstruktur mit hochdruckfesten Porenwänden

Abb. 1.14 (Mitte und rechts): Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen der Porenstruktur

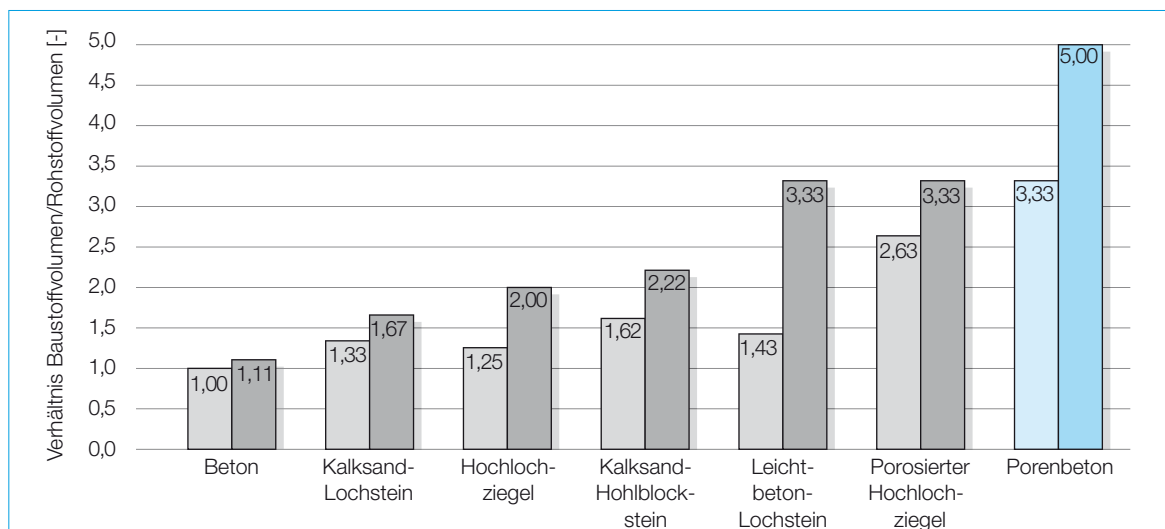


Abb. 1.15 Baustoff- und Rohstoffvolumen verschiedener Baustoffe

Die nun hoch druckfesten Porenbetonstege der geschlossenzelligen Porenstruktur (Abb. 1.13, Abb.1.14) sind im wesentlichen Calciumsilikathydrate, die dem in der Natur vorkommenden Mineral Tobermorit entsprechen. Im Vergleich zu anderen Baustoffen ist das Verhältnis von Baustoffvolumen zu Rohstoffvolumen sehr günstig (Abb.1.15). Oder anders ausgedrückt: Je nach Rohdichte entstehen aus 1 m³ Porenbeton-Rohstoffmischung bis zu 5 m³ Baustoff. So wird mit geringem Rohstoffeinsatz ein Produkt erzeugt, das geringes Gewicht, gute Wärmedämmeigenschaften und hohe Tragfähigkeit miteinander verbindet. Durch gezielte Einbindung der Luft als Wärmedämmstoff in die geschlossenzellige Struktur des Porenbetons wird die Wärmeleitfähigkeit des Produktes positiv beeinflusst. Durch unterschiedliche Rezepturen wird ein breites Spektrum an Rohdichte- und Festigkeitseigenschaften erreicht (Tab.1.1, Tab. 1.2).

Produkt	Rohdichteklasse	Festigkeitsklasse	Trockenrohddichte		Rechenwert der Eigenlast
			Mindestwert	Höchstwert	
			kg/dm ³	kg/dm ³	kN/m ³
Wandtafeln	0,45	3,3	0,40	0,45	5,7
	0,50	3,3	0,45	0,50	6,2
	0,55	3,3 oder 4,4	0,50	0,55	6,7
	0,60	3,3 oder 4,4	0,55	0,60	7,2
	0,65	4,4	0,60	0,65	7,8
	0,70	4,4	0,65	0,70	8,4
Deckenplatten	0,45	3,3	0,40	0,45	5,7
	0,50	3,3	0,45	0,50	6,2
	0,55	3,3 oder 4,4	0,50	0,55	6,7
	0,60	3,3 oder 4,4	0,55	0,60	7,2
	0,65	4,4	0,60	0,65	7,8
	0,70	4,4 oder 6,6	0,65	0,70	8,4
	0,80	4,4 oder 6,6	0,70	0,80	9,5
Dachplatten	0,40	2,2	0,35	0,40	5,2
	0,45	2,2 oder 3,3	0,40	0,45	5,7
	0,50	3,3	0,45	0,50	6,2
	0,55	3,3 oder 4,4	0,50	0,55	6,7
	0,60	3,3 oder 4,4	0,55	0,60	7,2
	0,65	4,4	0,60	0,65	7,8
	0,70	4,4	0,65	0,70	8,4
Fertigstürze und Flachstürze	0,55	4,4	0,50	0,55	6,7
	0,60	4,4	0,55	0,60	7,2
	0,65	4,4	0,60	0,65	7,8
	0,70	4,4	0,65	0,70	8,4

Tab. 1.2 Druckfestigkeits- und Rohdichteigenschaften sowie Rechenwerte der Eigenlast von bewehrten Produkten aus Porenbeton

Nach Abschluss des Herstellungsprozesses werden die Produkte auf Paletten von zweckmäßiger Größe gestapelt und mit einer wasserdichten Polyethylenfolie überzogen. Sie sind somit während des Transports und der Zwischenlagerung vor Beschädigungen und Witterungseinflüssen geschützt (Abb. 1.16). Die Festigkeits- und Rohdichteigenschaften von Porenbeton sind nach Abschluss des Herstellungsprozesses erreicht. Bei bestimmungsgemäßer Anwendung ist er unbegrenzt beständig.

Auf Grundlage europäischer Regelungen zur Gütesicherung und zur Gewährleistung eines hohen Qualitätsstandards werden Porenbetonprodukte in werkeigenen Laboratorien im Zuge der Eigenüberwachung regelmäßig überprüft. Geprüft werden u. a. Rohstoffqualität, Rohdichte, Druckfestigkeit, Schwinden, Korrosionsschutz des Bewehrungsstahls, Wärmeleitfähigkeit und die Maßhaltigkeit. Bei bewehrten Montagebauteilen werden außerdem die statischen Eigenschaften überwacht. Entsprechend den technischen Baubestimmungen werden die Produkte durch Prägung, Stempelung, farbliche Kennzeichnung oder CE-Zeichen gekennzeichnet (Abb. 1.17).

Viele Jahre lang wurde Porenbeton z. B. in Normen als Gasbeton bezeichnet. Da sich in den Poren des Baustoffs aber nur Luft befindet sowie die Festigkeit und das niedrige Raumgewicht auf der Porenstruktur des

im Herstellungsprozess entstehenden Silikates beruhen, ist „Porenbeton“ die richtige Bezeichnung. Die Entsprechungen finden sich in anderen Sprachen wieder: „Cellenbeton“ in den Niederlanden, „Béton cellulaire“ in Frankreich und „Autoclaved aerated concrete“ im englischsprachigen Raum.



Abb. 1.16: Verpackung von Mauersteinen aus Porenbeton mit Polyethylenfolie

Abb. 1.17: CE-Kennzeichnung von Porenbeton-Plansteinen

 01234	
Porenbeton GmbH, xxx xxx xxx 05 01234-BPR-00234	
DIN EN 771-4 Porenbetonstein der Kategorie I Gruppe 1 nach EN 1996-1, Maße (L x B x H): 624 x 240 x 249 mm	
Grenzabmaße: Abmaßklasse: Dünnbettmörtel B Ebeneheit: 1,0 mm Planparallelität: 1,0 mm	
Mittlere Druckfestigkeit: 5,0 N/mm ² (⊥ zur Lagerfläche), Kategorie I Formbeständigkeit: Schwinden ≤ 0,2 mm/m Verbundfestigkeit: für Dünnbettmörtel = 0,30 N/mm ² Brandverhalten: Euroklasse A1 Wasseraufnahme: Darf nicht ungeschützt verwendet werden Wasserdampfdiffusions-Koeffizient: 5/10 Luftschalldämmung: Brutto-Rohdichte: 525 kg/m ³ . Zuordnung siehe Regeln für die Verwendung von Porenbetonprodukten nach DIN-EN 771-4 Form und Ausbildung: NF-GT Äquivalente Wärmeleitfähigkeit: 0,13 W/mK ($\lambda_{10, dry}$) Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit für Deutschland nach DIN 4108-4: $\lambda = 0,16$ Frostwiderstand: Darf nicht ungeschützt verwendet werden Gefährliche Substanzen: siehe Sicherheitsdatenblatt	

CE-Konformitätskennzeichnung nach Richtlinie 93/68/EWG

Kennnummer der Zertifizierungsstelle

Name oder Bildzeichen und eingetragene Anschrift des Herstellers

Die letzten beiden Ziffern des Jahres, in dem das Kennzeichen angebracht wurde

Nummer des Zertifikats

Nummer der Europäischen Norm

Beschreibung des Produkts

Angaben über Eigenschaften, für die gesetzliche Bestimmungen gelten

1.3 Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit

1.3.1 Ausgangssituation

Der Mensch greift in die natürlichen Zusammenhänge der Umwelt ein. Dies geschieht umso mehr, je mehr Menschen sich in dieser Umwelt befinden und je höher deren Zivilisation und Lebensstandard ist. Besonders deutlich wird es dann, wenn Schwellenwerte erreicht werden, bei denen der Eingriff in die Umwelt zu irreparablen Schäden führt bzw. geführt hat.

Solche Schäden sind in den vergangenen Jahren vermehrt sichtbar geworden. Sie haben ihre Ursache zu einem wesentlichen Teil in Verbrennungsprozessen, die zur Energiebereitstellung im Verkehr, in der Industrie und zur Beheizung von Gebäuden erforderlich sind. Produkte dieser Verbrennungsprozesse sind u. a. Schwefeldioxid (SO_2), Kohlendioxid (CO_2) und Stickoxide (NO_x).

Schwefeldioxid, als Gas in die Atmosphäre abgegeben, verursacht sauren Regen, der den Baumbestand direkt an Laub und Nadeln sowie indirekt über das belastete Wasser am Boden schwächt. Kälte im Winter oder Trockenheit im Sommer können dann dazu führen, dass der geschwächte Baum abstirbt. Stickoxide tragen zur Zerstörung der vor schädlicher UV-Strahlung schützenden Ozonschicht bei. Die daraus entstehenden Folgen für die Umwelt und für den Menschen sind bekannt.

Besonders problematisch ist der Anstieg der CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre. Es ist derzeit zu beobachten, dass der daraus resultierende Effekt, der sog. Treibhauseffekt, zum Anstieg der mittleren Temperatur auf der Erde mit z. T. dramatischen Konsequenzen führen kann. Anstieg des Meeresspiegels, Jahrhundertüberschwemmungen, stärkere Hurrikane und Taifune, zunehmende Dürren und Hitzeperioden, Wüstenbildung und Versteppung sind die möglichen Konsequenzen, denen begegnet werden muss. Der Treibhauseffekt ergibt sich dadurch, dass bestimmte Gase der Atmosphäre – die wichtigsten sind Wasserdampf, Kohlendioxid und Methan – die ankommende kurzwellige Sonnenstrahlung zwar bis auf die Erdoberfläche durchlassen, jedoch nicht die von der Erdoberfläche abgestrahlte langwellige Strahlung in den Weltraum. Die von der Erdoberfläche abgestrahlte Wärme wird von den in der Atmosphäre vorhandenen Treibhausgasen absorbiert. Diese Gase strahlen die absorbierte Wärme wiederum in alle Richtungen gleichmäßig ab. Dadurch kommt auf der Erdoberfläche nicht nur die Sonnen-

strahlung an, sondern zusätzlich die von den Treibhausgasen abgestrahlte Wärmestrahlung. Dieser Zusammenhang führt zu einer zunehmenden Erwärmung in der Nähe der Erdoberfläche [32].

Grundsätzlich handelt es sich beim Treibhauseffekt um einen natürlichen Vorgang. Das Problem liegt jedoch darin, dass der Mensch diesen Effekt durch massenhafte Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle, Erdöl und Erdgas verstärkt. Weltweit und fachübergreifend zusammenarbeitende Wissenschaftler sind sich darin einig, dass der radikale Anstieg des CO_2 in den letzten Jahren und der zu beobachtende Klimawandel vom Menschen verursacht werden, also anthropogen begründet sind [34]. Bestätigt wird dieser Zusammenhang im vierten Sachstandsbericht des Klimarates der Vereinten Nationen aus dem Jahr 2007 [27].

Insbesondere zur Reduzierung der CO_2 -Emissionen kann das Bauwesen wesentlich beitragen, denn etwa 40 % des gesamten Energieverbrauchs in Europa entfallen auf die Beheizung von Gebäuden. Dieser Anteil kann durch die Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden mit energiesparender Bau- und Anlagentechnik reduziert werden. Ebenso muss der Energieaufwand für die Errichtung und Nutzung von Gebäuden einschließlich der Herstellung der Baumaterialien reduziert werden, z. B. durch eine nach energetischen Kriterien durchgeführte Auswahl der Baumaterialien. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Hauptumweltlasten in der Nutzungsphase zu verzeichnen sind.

Schließlich ist auch die Umweltbelastung durch die Rohstoffgewinnung und bei der Herstellung der Baumaterialien sowie bei Abbruch und Deponierung nicht zu vernachlässigen (Abb. 1.18). Ein ressourcenschonendes und ökologisches Bauen berücksichtigt diese Zusammenhänge. Es hat einerseits eine möglichst

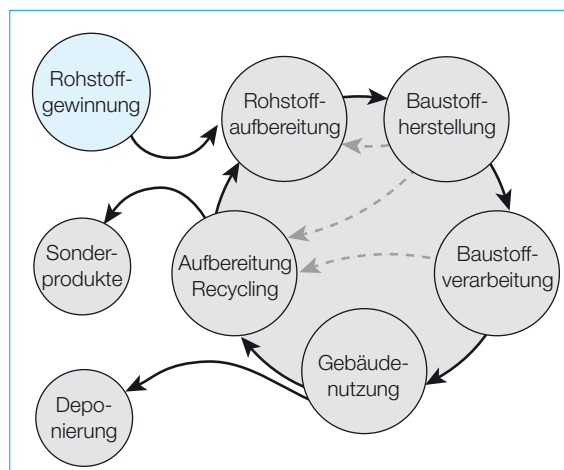


Abb. 1.18:
Porenbeton-
Stoffkreislauf

rationelle und schonende Verwendung der Ressourcen Material und Energie zum Ziel, andererseits aber auch eine möglichst geringe Belastung von Luft, Wasser und Boden – beides gleichermaßen bei Herstellung, Nutzung und Rückbau.

Die wichtigsten Wechselwirkungen in diesem Zusammenhang sind im Idealkreislauf zwischen recyclinggerechtem Konstruieren, Werterhaltung und Recycling erkennbar (Abb. 1.19). Es wird deutlich, dass das recyclinggerechte Konstruieren in Hinblick auf die zukünftige Abfallvermeidung zunehmend an Bedeutung gewinnt.

Wie beim Energieverbrauch, so hat das Bauwesen auch in Bezug auf das Abfallvorkommen ein hohes Einsparpotential. Im Jahr 2002 betrug das Baureststoffaufkommen 213,9 Mio. t/a [1] (Abb. 1.20). Die Unterteilung der Baureststoffe erfolgt entsprechend der Technischen Anleitung Siedlungsabfall [113] nach Straßenaufbruch, Bauschutt, Baustellenabfälle und Bodenaushub. Berücksichtigt wurden dabei die katalogisierten Bau- und Abbruchabfälle entsprechend der Abfallverzeichnis-Verordnung [135]. Von den insgesamt 73 Mio. t/a Straßenaufbruch, Bauschutt und Baustellenabfällen wurden 51,1 Mio. t/a

wiederverwertet, was einer Recyclingquote von 70 % entspricht.

Die Auswahl von Baustoffen und Konstruktionen wird zusammenfassend u. a. von vorgenannten Gesichtspunkten bestimmt:

■ Ressourcen-Inanspruchnahme, wozu auch Recyclingmaterialien zu zählen sind,

■ Primärenergiebedarf für die Herstellung, Nutzung und Rückbau von Gebäuden,

■ Emissionen bei der Produktion der Stoffe, der Herstellung der Gebäude sowie bei deren Nutzung und Rückbau,

■ Abfallaufkommen bei Herstellung und Rückbau sowie dessen Wiederverwendbarkeit, Wiederverwertbarkeit oder Weiterverwertung.

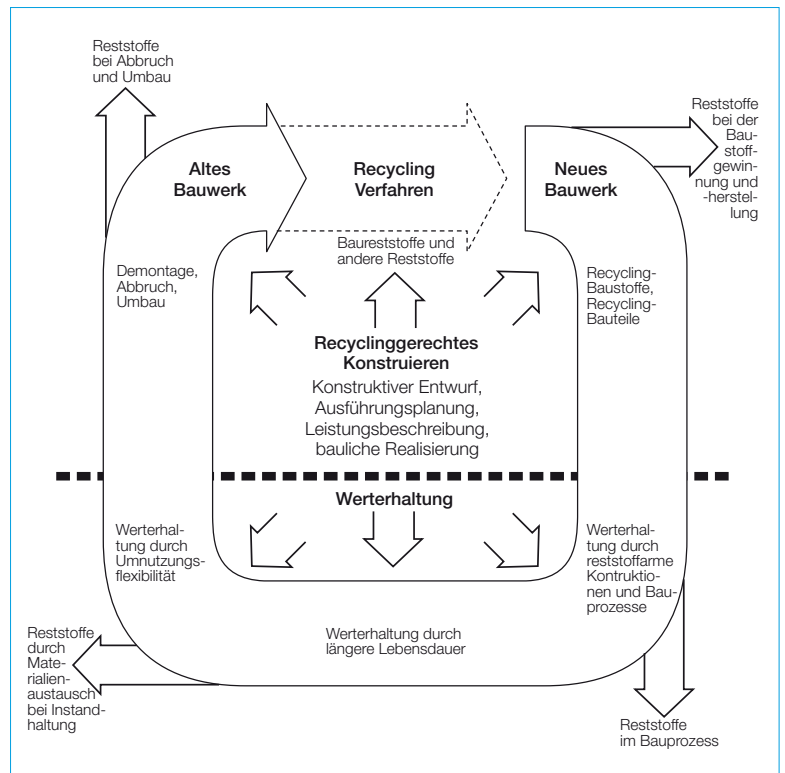
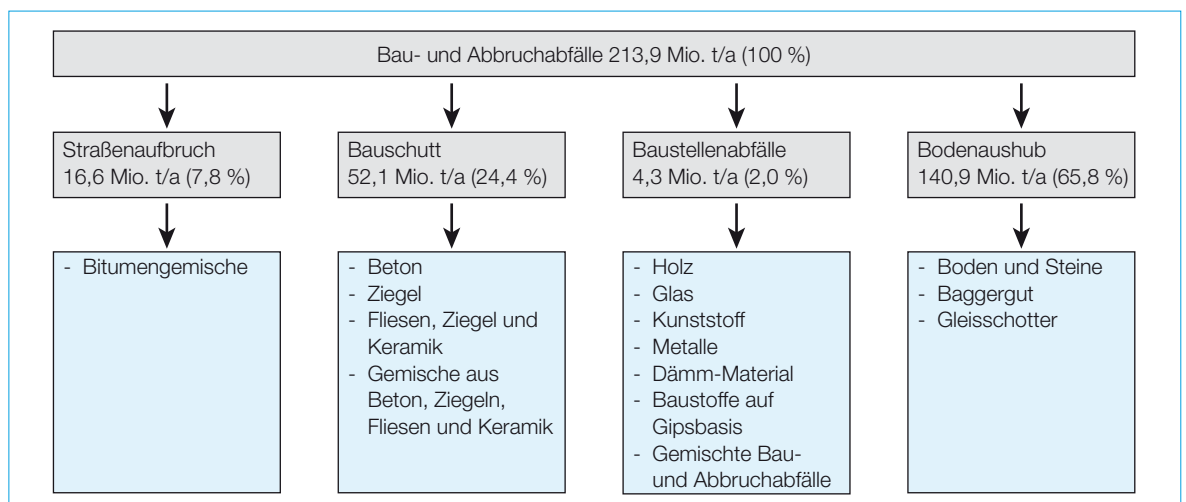


Abb. 1.19: Recyclinggerechtes Konstruieren und Werterhaltung in einem Idealkreislauf

Abb. 1.20: Statistisch erfasste Mengen von Bau- und Abbruchabfällen im Jahr 2002 [1]



Eng verbunden mit vorgenannten Kriterien ist der Begriff der Nachhaltigkeit [20]. Dies unterstreicht der 2001 vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen herausgegebene Leitfaden Nachhaltiges Bauen [9]. Dieser Leitfaden ist eine Arbeitshilfe für die Planung, das Bauen, die Bauunterhaltung, den Betrieb und die Nutzung von Liegenschaften oder Gebäuden des Bundes. Der Anspruch an eine nachhaltige Wirtschaftsweise wird vielfach als eine Entwicklung der heutigen Zeit gesehen. Im Brundtland-Bericht [5], der im Jahr 1987 von der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung veröffentlicht wurde, wird Nachhaltigkeit wie folgt definiert:

„Nachhaltigkeit ist eine dauerhafte Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass zukünftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.“

In der Konferenz für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen in Rio de Janeiro 1992 haben sich mehr als 170 Staaten auf das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung verständigt. Dieses Leitbild ist durch das Spannungsverhältnis der ökologischen, ökonomischen und sozialen Entwicklung charakterisiert, d. h. Wirtschaft, Umwelt und Soziales sind gleichermaßen zu berücksichtigen. Die Agenda 21, Teil der Schlussakte der Konferenz, erhebt den Anspruch auf eine ganzheitliche Betrachtungsweise [8]. Während es zum Begriff der Nachhaltigkeit keine eindeutige Definition gibt, besteht jedoch Konsens darüber, dass die ökologische, die ökonomische und die soziale Dimension der Nachhaltigkeit gleichrangig zu betrachten sind.

In Zusammenhang mit einer Nachhaltigkeitsanalyse interessante Aspekte des Bauens mit Porenbeton beschränken sich im Folgenden auf technische und ökologische Eigenschaften. Eine nachhaltige Bauweise wird keinesfalls allein durch die Wahl eines Baustoffs charakterisiert. Er kann jedoch einen Beitrag innerhalb eines Gesamtkonzeptes leisten.

1.3.2 Rohstoffsituation und Produktionsprozess – Ökobilanz

Beurteilungskriterien

Für die Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Rohstoffen und des Produktionsprozesses ist eine Reihe von Kriterien zu berücksichtigen. Zum einen spielt die Schadstoffbelastung der verwendeten Grundstoffe selbst eine Rolle, beispielsweise die darin enthaltenen Spuren radioaktiver Elemente. Sowohl natürliche als auch künstlich gewonnene Rohstoffe enthalten einen bestimmten Anteil an ionisierender Strahlung, die sich bei zu hoher Konzentration während der Gebäudenutzung schädlich auf die Gesundheit des Menschen auswirken kann (s. Abschnitt 1.3.4 „Gebäudenutzung“).

Für den Abbau der natürlichen Rohstoffvorkommen und den Transport zu den weiterverarbeitenden Produktionsstätten wird Energie aufgewendet. Abbau- und Transportvorgänge belasten die Umwelt zusätzlich durch Lärm und Schadstoffemissionen und stellen in jedem Fall einen Eingriff in die Natur und deren ökologisches Gleichgewicht dar. Ziel muss es deshalb sein, durch sparsamen Rohstoffeinsatz die Verfügbarkeit natürlicher Vorkommen zu verlängern und diese unter möglichst geringen Belastungen für die Umwelt zu fördern. Einen bedeutenden Beitrag zur Schonung natürlicher Ressourcen kann die Wiederverwendung, die Wiederverwertung oder die Weiterverwertung von Baustoffen leisten.

Das Bauprodukt Porenbeton besteht überwiegend aus mineralischen Baustoffen. Da keine Ressourcenknappheit besteht, stellt sich die Rohstoffsituation unproblematisch dar. Rohstoffe für die Kalk- und Zementherstellung sind ebenso wie Sand und Wasser in ausreichendem Maße vorhanden. Das in geringen Mengen als porenbildender Zusatz verwendete Aluminium ist wiederverwertetes Material. Sand stammt aus Sandgruben in unmittelbarer Umgebung der Porenbetonwerke. Dadurch werden die Transportwege und die daraus resultierenden Umweltbelastungen für den Hauptrohstoff auf ein Minimum reduziert. Alle weiteren Grundstoffe stammen aus einem Umkreis von maximal 200 Entfernungskilometern zum Werk.

Ziele und Phasen einer Ökobilanz

Die Ermittlung der Umweltwirkungen durch die Herstellung von Baustoffen ist Ziel der Aufstellung von Ökobilanzen gemäß DIN EN ISO 14040 [86]. Ökobilanzen sind eine Methode, um dem gestiegenen Bewusstsein über die Bedeutung des Umweltschutzes und möglicher Umweltwirkungen, die mit der Produktion und der Anwendung von Produkten in Zusammenhang stehen, entgegenzukommen und die ökologische Dimension von Nachhaltigkeitsanalysen zu bewerten. In einer vierphasigen Systematik werden zu Beginn der Bilanzierung das Untersuchungsziel und der Untersuchungsrahmen festgelegt (Abb. 1.21). Danach werden in einer Sachbilanz alle relevanten Stoff- und Energieströme als Input- und Output-Daten des betrachteten Systems bestimmt. Die Systemgrenzen einer Ökobilanz für den Baustoff Porenbeton umfassen die Produktion einschließlich der Rohstoffgewinnung bis zum fertig verpackten Produkt am Werkstor. Für jeden Prozess-Schritt werden die Stoff- und Energieströme quantifiziert. Im dritten Schritt erfolgt die Zuordnung der Sachbilanzergebnisse zu verschiedenen Wirkungskategorien (z. B. Treibhauspotential), die dann eine Wirkungsabschätzung hinsichtlich des Erkennens und der Beurteilung der Größe und Bedeutung der potentiellen Umweltfolgen der Baustoffherstellung ermöglicht. In der vierten Phase erfolgt die Auswertung. Damit können die Ergebnisse der Ökobilanz unmittelbar angewendet werden, z. B. zur Entwicklung und Verbesserung von Produkten und Verfahren.

Sachbilanz

Der Prozessplan zur Herstellung von durchschnittlichem unbewehrtem Porenbeton, der Sachbilanz aus der Ökobilanz Porenbeton [30] aus dem Jahr 2004 entnommen, gibt die Stoff- und Energieströme wieder (Abb. 1.22). Die Input-Daten der Sachbilanz für 1 m³ unbewehrten Porenbeton der Festigkeitsklasse 2 (PP2) und der Rohdichteklasse 400 kg/m³ (0,40), das gängigste Produkt, umfassen Grundstoffe, Hilfs- und Betriebsstoffe, Verpackung und Energie.

Output-Daten beziehen sich auf den hergestellten Porenbeton und auf Produktionsabfälle, die zur Beseitigung oder zur Verwertung vorgesehen sind. Aus den Daten ist zu entnehmen, dass 87 % des Outputs unmittelbar der Verwertung zugeführt werden (Tab. 1.3).

Abfälle zur Beseitigung	
Porenbetonbruch zur Deponie	2,79 kg/m ³
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	0,07 kg/m ³
Abfälle zur Verwertung	
Porenbetonbruch zur Verwertung	17,92 kg/m ³
Holz	0,93 kg/m ³
Verpackungsabfall/Folien	0,12 kg/m ³
Pappe/Papier	0,06 kg/m ³
Sonderabfälle zu Verwertung (Altöl)	0,02 kg/m ³

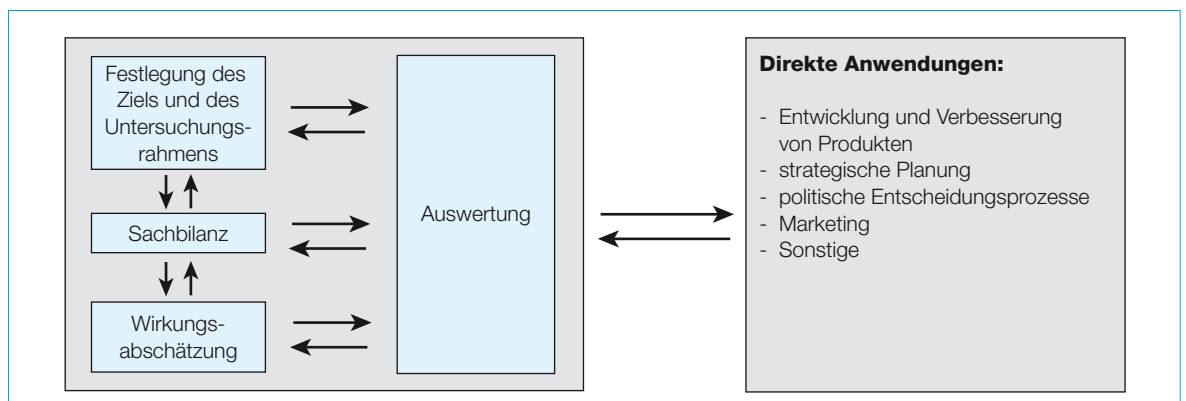
Tab. 1.3: Output-Daten der Sachbilanz für Abfälle zur Beseitigung und Verwertung bei der Herstellung von 1 m³ Porenbeton PP2-0,40 [30]

Die Sachbilanz umfasst auch die Auswertung des Primärenergieverbrauchs. Die für die Herstellung von Porenbeton benötigte Primärenergie von insgesamt 1.596 MJ/m³ kann in einen erneuerbaren Anteil von 110 MJ und einen nicht erneuerbaren Anteil von 1.486 MJ/m³ aufgeteilt werden. Angaben zu den eingesetzten Energieträgern enthält Tab. 1.4.

Energieträger	Anteil in %
Erneuerbare Energien	6,9
Erdgas	30,6
Erdöl	13,4
Braunkohle	16,7
Steinkohle	19,8
Uran	12,6

Tab. 1.4: Aufteilung des Verbrauchs an Primärenergie zur Herstellung von 1 m³ Porenbeton PP2-0,40 nach Energieträgern [30]

Abb. 1.21: Phasen einer Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 [86]



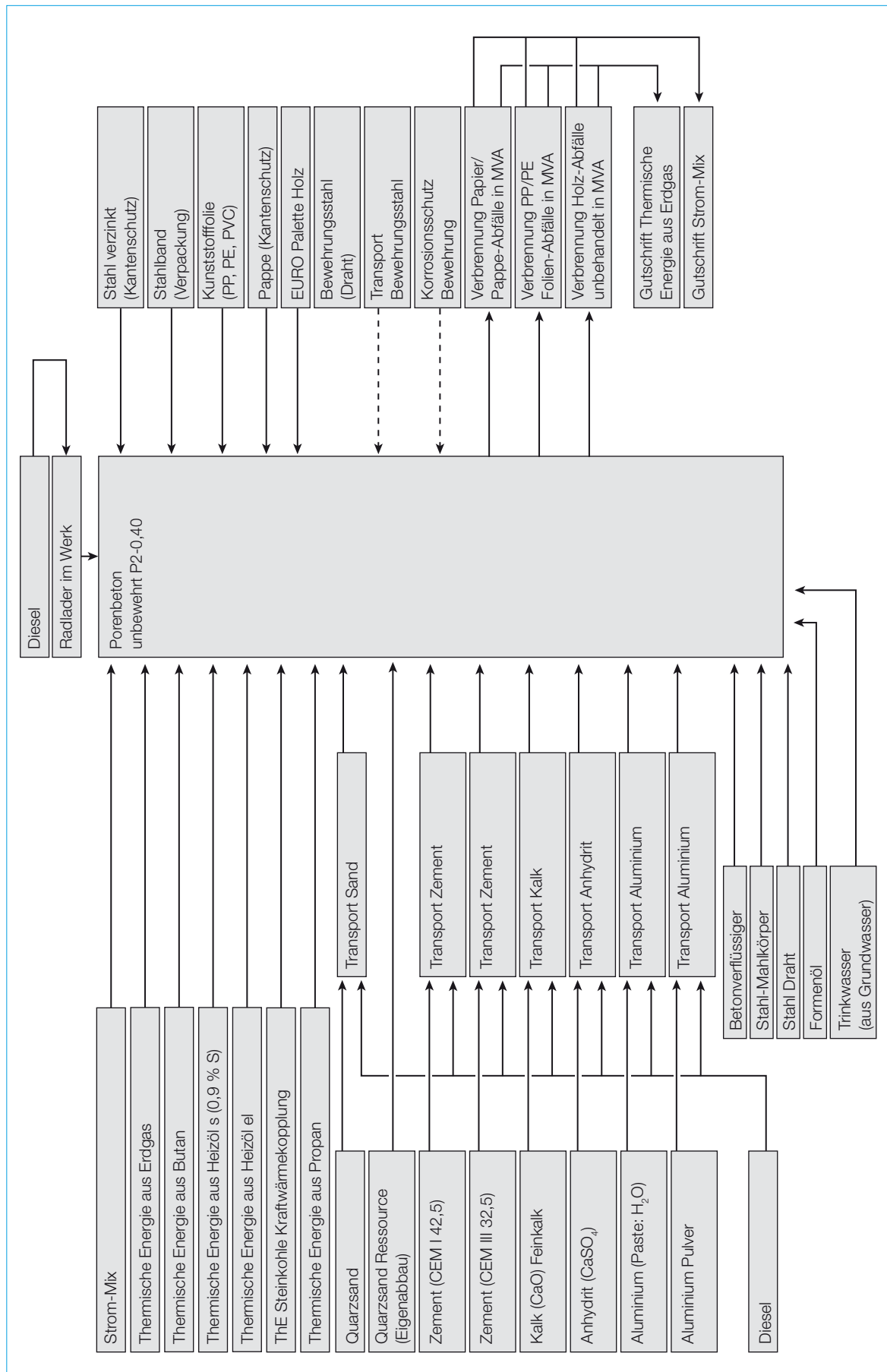


Abb. 1.22: Stoff- und Energieströme bei der Herstellung von 1 m³ Porenbeton PP2-0,40 [30]

Zement, der im Wesentlichen aus Kalk, Ton und Mergel gewonnen wird, setzt sich chemisch aus den Oxiden von Silicium, Calcium, Aluminium und Eisen zusammen. Die Zementherstellung ist ein energieintensiver Prozess, bei dem der Brennvorgang den größten Anteil hat. Aber auch für das Betreiben der Rohmaterial- und Klinkermahlanlagen wird, je nach Beschaffenheit des Rohmaterials und der geforderten Zementqualität, ebenso wie für den Drehofen einschließlich Kühler Energie aufgewendet. Insgesamt werden etwa 3.000 MJ Endenergie für die Herstellung einer Tonne Zement benötigt. Dies entspricht etwa 4.400 MJ Primärenergie. Es versteht sich daher von selbst, dass die Verwendung von Zement so sparsam wie möglich erfolgt.

Der Primärenergiebedarf zur Herstellung des Branntkalkes, der ebenfalls weitestgehend durch den notwendigen Brennprozess des Rohmaterials Kalkstein zustande kommt, beträgt ca. 6.000 MJ/t Feinkalk bzw. 4.500 MJ/t Kalkhydrat. Chemisch gesehen ist Branntkalk Calciumoxid (CaO) mit Spuren von Silicium- und Metalloxiden.

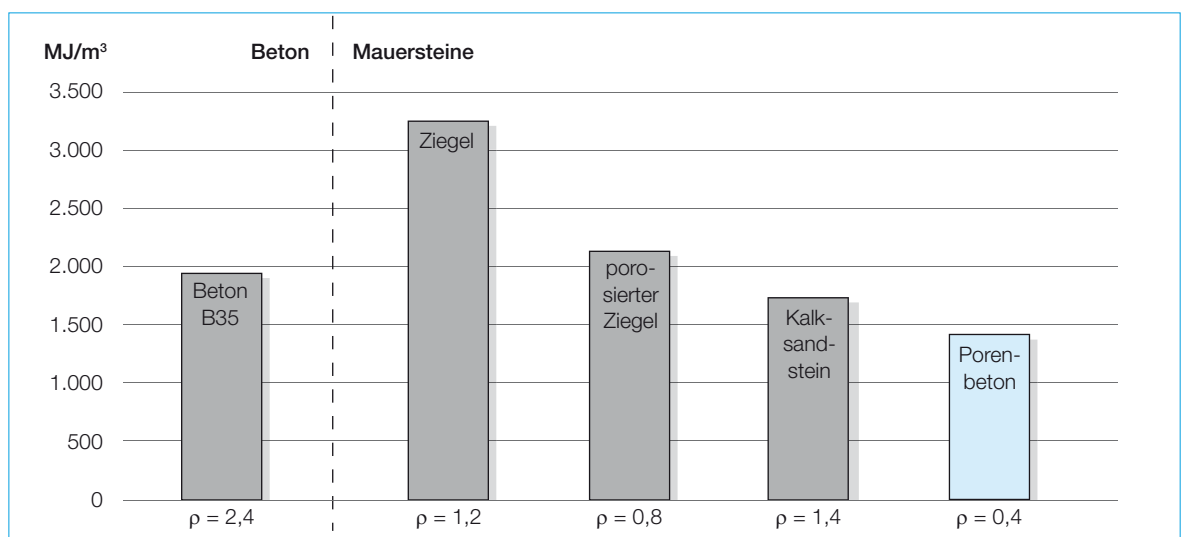
Für die Herstellung von Porenbeton ist nur eine sehr geringe Menge an Aluminiumpulver bzw. -paste notwendig. Das Aluminium stammt aus Recyclingprodukten (Stanzabfälle). Aufgrund des sehr geringen Gewichtsanteils ist der Primärenergieeinsatz für die Herstellung des Aluminiumpulvers bzw. der -paste ebenso gering. Der Anteil am Primärenergieverbrauch zur Herstellung von 1 m³ Porenbeton PP2-0,40 beträgt 7 %. Dieser Anteil ist hauptsächlich auf den energieintensiven Produktionsprozess von Aluminium zurückzuführen.

Der Energieverbrauch für die eigentliche Produktion von Porenbeton beträgt 40 %. Hierfür ist insbesondere die Dampfdruckzeugung im Autoklaven bei 8 bis 12 bar und 170 bis 200 °C über einen Zeitraum von 6 bis 10 Stunden verantwortlich, um dem Porenbeton in Abhängigkeit von der gewünschten Festigkeitsklasse zu härten. Dabei ist Erdgas der vorwiegend genutzte Energieträger, wodurch die Emissionen der Abgase gering gehalten werden können. Durch Mehrfachnutzung des Wasserdampfes wird zusätzlich Energie eingespart. Auch das entstehende Kondensat wird wiederverwendet: Zusammen mit Frischwasser wird es für den Prozess genutzt und dem Rohstoffgemisch beigegeben. Durch eine konsequente Mehrfachnutzung des Betriebswassers wird es möglich, dass bei der Porenbetonproduktion keine Abwässer anfallen.

Von untergeordneter Bedeutung ist der Energieaufwand für Verpackung und Transport mit jeweils 8 % und 2 %. Die Verpackungseinheiten für Porenbetonbauteile werden für einen optimalen Transport ausgelegt. Aufgrund des geringen Gewichtes des Porenbetons kann pro LKW mehr Mauerwerksmaterial transportiert werden als bei anderen Steinarten. Entladegeräte auf den LKWs reduzieren den Baustellen-transport. Diese Geräte können bei kleinen Baustellen auch die Bereitstellung der Mauersteine bis in das zweite Geschoss übernehmen.

So ist gewährleistet, dass jeder Stein nur einmal von Hand bewegt wird: Vom Maurer beim Versetzen. Auch durch diese Transportorganisation werden der Energieaufwand und Schadstoffemissionen reduziert. Im Vergleich zu anderen mineralischen Baustoffen weist Porenbeton einen niedrigen Primärenergieverbrauch auf [29] (Abb. 1.23).

Abb. 1.23: Primärenergieinhalt verschiedener Wandbaustoffe [29]



Wirkungsabschätzung

Zur Wirkungsabschätzung werden die ermittelten Sachbilanzdaten mit spezifischen Wirkungskategorien und Wirkungsindikatoren verknüpft. Die Ökobilanz Porenbeton berücksichtigt folgende Wirkungskategorien:

- Klimaänderung/Treibhauspotential
(GWP = Global Warming Potential)
- Ozonabbaupotential
(ODP = Ozon Depleting Potential)
- Versauerungspotential
(AP = Acidification Potential)
- Eutrophierungspotential
(EP = Eutrophication Potential)
- Sommersmogpotential
(POCP = Photochemical Ozone Creation Potential)

Aus den Wirkungsindikatorergebnissen (Tab. 1.5) kann entnommen werden, dass die Rohstoffgewinnung bzw. -produktion in allen Wirkungskategorien die größten Beiträge aufweist. Insbesondere ist es die Herstellung von Zement und Kalk, die sich am stärksten auf die Wirkungsindikatorergebnisse auswirkt. Z. B. beträgt der Anteil am Treibhauspotenzial über 60 %. Insgesamt an zweiter Stelle, jedoch mit einem deutlich niedrigeren Anteil in allen Wirkungskategorien, folgt die Produktion von Porenbeton. Verpackung und Transport spielen hinsichtlich der Umweltwirkungen eine untergeordnete Rolle.

1.3.3 Produktverarbeitung

Die Verarbeitung von Porenbetonsteinen hat nicht nur technische und ökonomische Aspekte. Es ist ebenso erforderlich, körperliche Belastungen auf der Baustelle zu reduzieren, um den Arbeitsplatz humaner zu machen. Hierzu tragen die Porenbeton-Bausysteme, die es für

zu errichtende Wohn- und Wirtschaftsgebäude sowie für die Modernisierung bestehender Gebäude gibt, wesentlich bei (s. Kapitel 3 „Bausysteme“).

Vom Mauerstein im Einhandformat führte die Entwicklung aus Gründen der Rationalisierung zu größeren Formaten. Nach einem Merkblatt der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft [36] ist das Verarbeitungsgewicht auf 25 kg begrenzt. Beim Versetzen von großformatigen Planelementen (z. B. $l \times b \times h = 1.000 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 625 \text{ mm}$) mit einem Minikran entfällt die Begrenzung. Dieses trotz der Großformate sehr anpassungsfähige Verfahren (aus den Planelementen können leicht mit einer Bandsäge Pass-Stücke zugeschnitten werden) verbindet die Rationalisierung des Bauablaufs mit einer Humanisierung der Arbeit. Die Tagesleistung pro Arbeitskraft ist erheblich [140], das durch den körperlichen Einsatz zu bewegendes Gewicht nimmt ab, und die Anzahl der Bückbewegungen wird deutlich reduziert (Tab. 1.6).

Das Zerteilen von Mauersteinen aus Porenbeton erfolgt mit Elektro-Bandsägen oder von Hand mit Hartmetallsägen. Schnell laufende Werkzeuge wie Trennschleifer sind auf Grund der Freisetzung von Feinstaub für die Bearbeitung von Porenbeton weniger geeignet. Für den Arbeitsschutz gilt das Regelwerk der Berufsgenossenschaften. Die bei der Verarbeitung von Porenbeton eingesetzten Dünnbettmörtel sind mineralische Mörtel, die außer Methylcellulose kaum organische Stoffe enthalten. Zum Schutz der Umwelt sind während der Verarbeitung von Porenbeton keine besonderen Maßnahmen zu treffen.

Porenbeton ist mehrfach in einen Materialkreislauf eingebunden mit dem Ziel, die Abfallmenge möglichst gering zu halten. Ebenso wie die bei der Produktion entstehenden Restmengen können sortenreine Porenbetonreste von Baustellen der Produktion wieder zu-

Wirkungskategorie	Sachbilanz- ergebnis	Wirkungsindikatorergebnis					Summe
		Einheit	Roh- stoffe	Produk- tion	Ver- packung	Trans- port	
Klimaänderung/ Treibhauspotential	Treibhaus- gase	kg CO ₂ -Äquivalent (CO ₂ : Kohlendioxid)	138,3	39,5	3,1	1,4	152,3
Ozonabbaupotential	FCKW/ Stickoxide	kg R11-Äquivalent (R11: Trichlorfluormethan)	$5,1 \cdot 10^{-6}$	$3,9 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$5,1 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
Versauerungs- potential	Säuren/ Säurebildner	kg SO ₂ -Äquivalent (SO ₂ : Schwefeldioxid)	0,177	0,069	0,006	0,014	0,266
Eutrophierungs- potential	Nährstoffe	kg PO ₄ -Äquivalent (PO ₄ : Phosphat)	0,023	0,018	0,001	0,002	0,044
Sommersmog- potential	Photo- oxidantien	kg C ₂ H ₄ -Äquivalent (C ₂ H ₄ : Ethen)	0,021	0,011	0,004	0,002	0,038

Tab. 1.5: Wirkungsindikatorergebnisse zur Herstellung von 1 m² Porenbeton PP2-0,40 [30]

Tab. 1.6: Tagesleistung und tägliche Belastung von Maurern bei unterschiedlichen Steinformaten (Wanddicke 30 cm)

Kriterium	Einheit	Steinart und -format		
		Planhochlochziegel 7,5 DF Rohdichteklasse 1,0 Nut und Feder l × b × h = 175 mm × 300 mm × 249 mm ohne Verlegehilfe, volles Mauerwerk	Porenbeton-Planstein PP2-0,4 Nut und Feder l × b × h = 625 mm × 300 mm × 249 mm ohne Verlegehilfe, volles Mauerwerk	Planelement vermörtelt l × b × h = 999 mm × 300 mm × 623 mm mit Verlegehilfe, volles Mauerwerk
		Tagesleistung		
Arbeitszeitrichtwert ohne Zulagen [140]	h/m³	2,50	1,60	1,3
Tagesleistung pro Maurer bei 7,8 Stunden/Tag	m³/d	3,12	4,88	6,0
Prozentualer Vergleich	%	100	156	192
Tägliche Belastung durch bewegtes Gewicht				
Gewicht	kg/m³	1.000	400	600
Täglich durch körperlichen Einsatz bewegtes Gewicht pro Maurer	kg/d	3.120	1.952	500 ¹⁾
Prozentualer Vergleich	%	100	63	16
Tägliche Belastung durch Bückbewegungen				
Bückbewegungen pro Maurer und Tag (Steine und Mörtel)	-	230	160	16
Prozentualer Vergleich	%	100	69	7

¹⁾ Durch den Einsatz eines Minikrans reduziert sich das vom Maurer selbst zu bewegende Gewicht auf 500 kg/d, obwohl tatsächlich 3.600 kg/d bewegt werden.

geführt bzw. in anderen Anwendungsbereichen eingesetzt werden (s. Abschnitt 1.3.5 „Nachnutzungsphase – Rückbau, Recycling, Deponierung“).

Auf der Baustelle werden anfallende Verpackungen, Paletten und Porenbetonreste getrennt gesammelt. Die Polyethylen-Schrumpffolien sind wiederverwertbar. Nicht verschmutzte PE-Folien (auf sortenreine Erfassung ist zu achten) und Mehrwegpaletten aus Holz werden durch den Baustoffhandel zurückgenommen (Mehrwegpaletten gegen Rückvergütung im Pfandsystem) und von dort aus an die Porenbetonwerke zurückgegeben. Diese leiten die Folien an die Folienhersteller zur Wiederverwertung weiter.

1.3.4 Gebäudenutzung

Während der Nutzungszeit eines Gebäudes sind neben den herstellungsbedingten Eigenschaften des Porenbetons u. a. auch die wärmedämmenden Eigenschaften hinsichtlich der Energiebilanz, die thermische Behag-

lichkeit und die Raumluftqualität bedeutend. Aus diesen Kriterien ergeben sich die raumklimatischen Bedingungen, die für die Gesundheit und die Leistungsfähigkeit des Menschen wichtig sind.

Energiebilanz

Durch seine wärmedämmenden Eigenschaften beeinflusst Porenbeton positiv die Energiebilanz von Gebäuden während ihrer Nutzung. In privaten Haushalten entfällt europaweit bis zu 80 % des Energieverbrauchs auf die Raumheizung. Dieser Anteil wird maßgeblich durch die wärmetechnische Qualität der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, d. h. der Außenbauteile Wand, Fenster, Dach, Bodenplatte, sowie der Verluste der Anlagentechnik, d. h. Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und ggf. Lüftung bestimmt. Dabei gilt: Je besser die Wärmedämmung der Bauteile der Gebäudehülle ist, umso geringer sind die Transmissionswärmeverluste. Bei gleich bleibenden Raumtemperaturen und sinkendem Heizenergieverbrauch kann die Heizungsanlage wirtschaftlicher dimensioniert werden.

In welchem Maße der Heizenergieverbrauch sinkt, hängt u. a. von der Dicke einer Porenbetonaußenwand, dem Porenanteil und auch dem Nutzerverhalten ab. Ein höherer Porenanteil bedingt einen geringeren Wärmedurchgang. Für eine einschalige, 36,5 cm dicke verputzte Wand der Rohdichteklasse 0,35 und einer Wärmeleitfähigkeit von 0,08 W/(mK) kann der Wärmedurchgangskoeffizient mit $U = 0,21 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ angenommen werden. Damit ist eine Größenordnung vorhanden, die sicherstellt, dass nicht auf teurere mehrschalige Konstruktionen zurückgegriffen werden muss.

Bei angepasster Wärmedämmung auch der anderen Außenbauteile können so die Heizwärmeverluste und folglich auch der Jahres-Primärenergiebedarf weit über die Anforderungen der Energieeinsparverordnung [137] hinaus gesenkt werden (s. Kapitel 5 „Wärme“). Damit verringern sich nicht nur die Betriebskosten für die Heizung, auch die Umwelt wird entsprechend weniger mit Schadstoffen belastet.

Behaglichkeit

Angemessene Behaglichkeit ist ein wichtiges Kriterium für ein gesundes Raumklima. Sie hängt u. a. von der Raumlufttemperatur und der Raumluftfeuchte ab (Abb. 1.24). Der geringe Wärmedurchgang durch Außenwände aus Porenbeton führt zu relativ hohen raumseitigen Oberflächentemperaturen der Außenbauteile, die wiederum eine größere thermische Behaglichkeit mit sich bringen (Abb. 1.25). Durch Oberflächentemperaturen, die nur wenig unter denen der Lufttemperatur im Innenraum liegen, wird das von schlecht gedämmten Gebäuden her bekannte Gefühl der Zuglufterscheinungen in Außenwandnähe vermieden. Dieser Effekt kann durch die Erhöhung der Raumlufttemperatur kaum ausgeglichen werden. Deshalb ist es möglich, die Raumlufttemperatur in Räumen mit gut gedämmten Außenwänden um 1 oder 2 K zu senken, ohne dass dies als unangenehm empfunden wird. Beachtenswert ist, dass eine Raumlufttemperaturabsenkung um 1 K eine Senkung des Heizenergiebedarfs um etwa 5 % bewirkt. Vorausgesetzt, dass beheizte Räume mit gut gedämmten Außenbauteilen ordnungsgemäß geheizt und gelüftet werden, wird im Bereich von Wärmebrücken infolge der sich dann einstellenden ausreichend hohen Oberflächentemperaturen Schimmelbildung an raumseitigen Bauteiloberflächen vermieden.

Bei kurzzeitiger Erhöhung der Raumluftfeuchte, hervorgerufen z. B. durch Waschen oder Kochen, aber auch durch schwere körperliche Arbeit, kann der auf dem Porenbeton aufgetragene Putz Feuchtigkeit absorbieren.

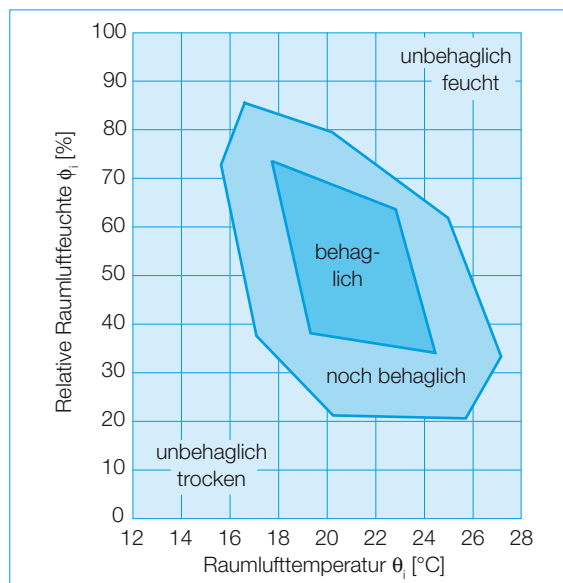


Abb. 1.24: Behaglichkeit in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur und der relativen Raumluftfeuchte

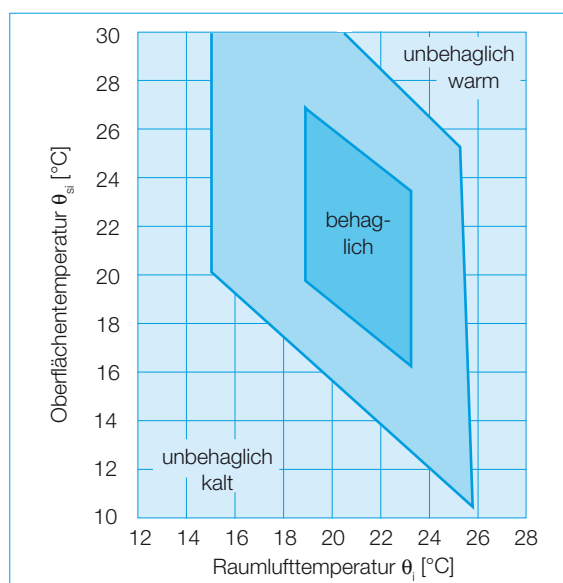


Abb. 1.25: Behaglichkeit in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur und der raumseitigen Oberflächentemperatur der Außenbauteile

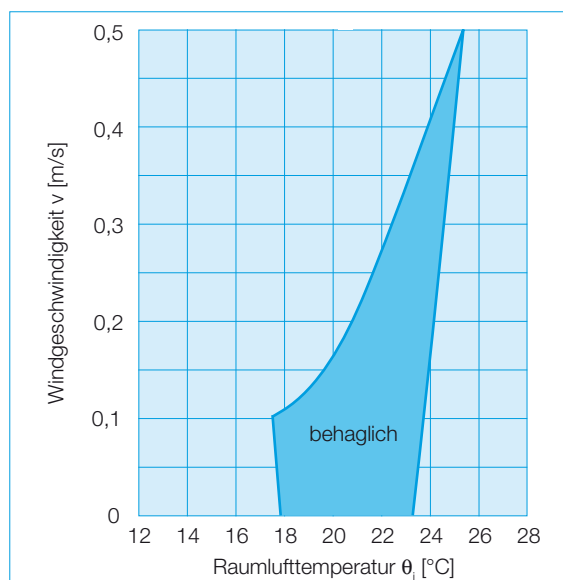


Abb. 1.26: Behaglichkeit in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur und der Windgeschwindigkeit

ren und bei Lüftung wieder an die Raumluft abgeben. Dies wirkt sich regulierend auf das Raumklima und die Behaglichkeit aus. Neben der Raumlufttemperatur, der raumseitigen Oberflächentemperatur der Bauteile und der relativen Raumluftfeuchte ist die Luftbewegung (Windgeschwindigkeit) von Einfluss auf die Behaglichkeit (Abb. 1.26). Die bauphysikalischen Zusammenhänge werden ausführlich in den Kapiteln 5 „Wärme“ und 6 „Feuchte“ betrachtet.

Raumluftqualität

Von Einfluss auf die Raumluftqualität ist auch der Schadstoffgehalt. Die Gesamtschadstoffkonzentration in einem Raum ist u. a. abhängig vom Schadstoffausstoß der darin lebenden Menschen, der Einrichtungsgegenstände, der verwendeten Baumaterialien und deren Oberflächenschichten sowie der technischen Ausrüstung. Eine zu hohe Schadstoffkonzentration kann sich schädigend auf die Gesundheit der Menschen auswirken. Wirksamste Gegenmaßnahme ist eine regelmäßige Lüftung mehrmals am Tage. Da Porenbeton im eingebauten Zustand weder staub- oder faserförmige noch gasförmige Schadstoffe an die Raumluft abgibt, ist eine gute Raumluftqualität gewährleistet. Ebenso emittiert Porenbeton keine schädlichen Stoffe wie VOC (volatile organic compounds = flüchtige organische Substanzen). Auch im Falle eines Brandes gehen vom Porenbeton keine zusätzlichen gesundheitlichen Risiken aus. Beim Brand entstehen keine toxischen Gase oder Dämpfe. Porenbeton besitzt gegenüber Strahlung im hochfrequenten Bereich eine Abschirmwirkung von mehr als 99 %.

Der direkte Kontakt eines Gebäudes aus Porenbeton mit Grundwasser wird bautechnisch vermieden, da aus feuchtetechnischen Gründen immer eine Abdichtungsschicht z. B. aus einer kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtung auf der Außenseite der Porenbetonwand vorhanden ist. Auch bei Schlagregenbeanspruchung wird der Kontakt mit Wasser vermieden, weil Porenbeton immer mit einer Oberflächenschutzschicht, z. B. in Form eines Putzes, versehen ist. Unter Wassereinwirkung, z. B. bei Hochwasser, reagiert Porenbeton schwach alkalisch. Es werden keine Stoffe ausgewaschen, die wassergefährdend sein können.

Radioaktivität

Unter dem Aspekt „Gesundes Wohnen“ soll die mögliche Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide und die Inhalation radioaktiver Edelgase auf ein unbedenkliches Maß eingeschränkt werden. Zum Schutz der Bevölkerung vor Strahlenexpositionen werden in

Deutschland seit mehr als 20 Jahren Untersuchungen und Bewertungen der radioaktiven Stoffe in Baumaterialien durchgeführt. Das Bundesamt für Strahlenschutz hat in Natursteinen, Baumaterialien und mineralischen Reststoffen die Aktivitätskonzentrationen natürlicher Radionuklide bestimmt [7]. Alle mineralischen Stoffe enthalten geringe Mengen an Stoffen, die natürlich radioaktiv sind, vor allem die Isotope Radium-226 (Ra-226), Thorium-232 (Th-232) und Kalium-40 (K-40).

Nach der sog. Leningrader Summenformel kann eine Abschätzung der ionisierenden Strahlung vorgenommen werden [4]:

$$B_{\text{vorh}} = \frac{a_{\text{Ra}}}{370} + \frac{a_{\text{Th}}}{259} + \frac{a_{\text{K}}}{4810} \quad \text{Gl. (1.1)}$$

B_{vorh}	Bewertungszahl zur vorhandenen Strahlenexposition [-]
a_{Ra}	Spezifische Aktivität des Radionuklids Radium-226 [Bq/kg] Porenbeton: $a_{\text{Ra}} = 15$ Bq/kg
a_{Th}	Spezifische Aktivität des Radionuklids Thorium-232 [Bq/kg] Porenbeton: $a_{\text{Th}} = 10$ Bq/kg
a_{K}	Spezifische Aktivität des Radionuklids Kalium-40 [Bq/kg] Porenbeton: $a_{\text{K}} = 200$ Bq/kg

Aus strahlenbiologischer Sicht darf ein Baustoff nur dann eingesetzt werden, wenn die Bewertungszahl höchstens $B_{\text{max}} \leq 1$ beträgt. Die Bewertungszahl für Porenbeton beträgt $B_{\text{vorh}} = 0,12$ und liegt damit weit unter dem zulässigen Höchstwert.

Der Beitrag des radioaktiven Edelgases Radon-222 aus Baumaterialien zur Radonkonzentration in Wohnräumen liegt bei ca. 30 Bq/m³ Raumluft und damit weit unter der vom Bundesamt für Strahlenschutz genannten Empfehlung, wonach eine Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen von mehr als 100 Bq/m³ im Jahresmittel vermieden werden sollte [6].

Insgesamt ist bei der gesundheitlichen Auswirkung von natürlichen radioaktiven Nukliden und Radon in Gebäuden zu berücksichtigen, dass für die Strahlungsbelastung eines Menschen die Summe aller in einem Raum auftretenden Strahlungen von Bedeutung ist. Durch in Deutschland verwendete Bauprodukte, die in harmonisierten europäischen Normen geregelt sind, wird keine erhöhte Strahlenexposition beim Aufenthalt in aus diesen Bauprodukten errichteten Bauwerken verursacht.

1.3.5 Nachnutzungsphase – Rückbau, Recycling, Deponierung

Bei der Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen dem Baustoff Porenbeton und seiner Umwelt werden, bezogen auf das Kriterium seiner Umweltverträglichkeit, in jedem Fall auch die Prozesse Rückbau, Recycling und Deponierung mit einbezogen.

Porenbeton selbst hat als mineralischer Baustoff eine nahezu unbegrenzte Lebensdauer. Die Lebens- oder Nutzungsdauer von Gebäuden kann hieraus jedoch nicht abgeleitet werden, da auch kurzlebigere Materialien eingesetzt werden. In der Regel wird die Nutzungsdauer eines Gebäudes durch verschiedene Faktoren beeinflusst. U. a. spielt die sehr unterschiedliche Lebensdauer der einzelnen Bauteile sowie die Art der Gebäudenutzung eine Rolle. Während z. B. Rohrinstallationen für Wasser und Abwasser, Bodenbeläge, Heizungsanlagen oder Elektroinstallationen – also Materialien und Bauteile, die dem Innenausbau oder der Gebäudetechnik zugeordnet werden können – überwiegend eine vergleichsweise geringe Lebensdauer aufweisen und während der gesamten Zeitspanne der Gebäudenutzung mehrmals ausgetauscht werden müssen, trifft dies für Rohbauteile im Allgemeinen nicht zu, wobei eine fehlerfreie Konstruktion und Ausführung vorausgesetzt werden (Abb. 1.27). Wird das Gebäude regelmäßig instandgehalten bzw. -gesetzt, können z. B. Wände Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte ohne Einschränkung ihrer Funktionsfähigkeit überdauern, wie es durch eine Vielzahl historischer Gebäude belegt ist.

Anders sieht es mit der Gebäudenutzung aus, welche sich in kurzen Zeitabständen ändern kann. Eine Anpassung der vorhandenen Gebäudesubstanz an neue Anforderungen (Umbauten) oder gar Abriss und Neubau sind dann erforderlich. Bei der Entscheidungsfindung

zum Umfang der geplanten Änderungen ist zu bedenken, dass im Regelfall die ökologische Rentabilität der im Gebäude eingesetzten Materialien und Bauteile am größten ist, wenn die Grenzen ihrer natürlichen Lebensdauer erreicht werden. Wünschenswert ist, auch in Anbetracht erschöpfter oder wirtschaftlich nicht mehr erschließbarer Rohstoffreserven und steigender Deponieprobleme, eine möglichst langjährige, unveränderte Nutzung von Porenbetonbauteilen in Gebäuden bzw. nach erfolgtem Abriss deren Zuführung zum Recycling mit dem vorrangigen Ziel der Aufbereitung zu neuen Baustoffen.

Abbruch und Rückbau von Gebäuden bzw. Bauteilen aus Porenbeton sind gesundheitlich unbedenklich. Der entstehende Staub enthält keine lungenabhängigen und schwer löslichen Fasern oder andere Schadstoffe. Die Staubbelastung bei Abbrucharbeiten bzw. bei der Zwischenlagerung von Bauschutt auf dem Abrissgelände kann durch Besprühen mit Wasser und somit durch wirksame Bindung des Staubes gemindert werden.

Für die rein mineralischen Baustoffabfälle kommt anschließend entweder eine Wiederaufbereitung oder aber die Einlagerung in einer Deponie in Frage. Welcher Möglichkeit der Vorzug gegeben wird, hängt letztendlich von deren Wirtschaftlichkeit ab. Grundsätzlich können Abbruchmaterialien aus Porenbeton mechanisch zerkleinert und der Porenbetonmischung wieder zugegeben werden. Auch die Verarbeitung zu Granulat ist möglich. Granulate finden z. B. als Wärmedämmschüttungen oder Substrate für Gründächer Anwendung. Auch die Weiterverwertung zu umwelttechnischen Produkten wie Ölbinder oder Katzenstreu ist üblich. Porenbeton ist vollständig wiederverwertbar.

Die Wirtschaftlichkeitsgrenzen für die Aufbereitung von Abbruchstoffen sind regional äußerst unterschiedlich,

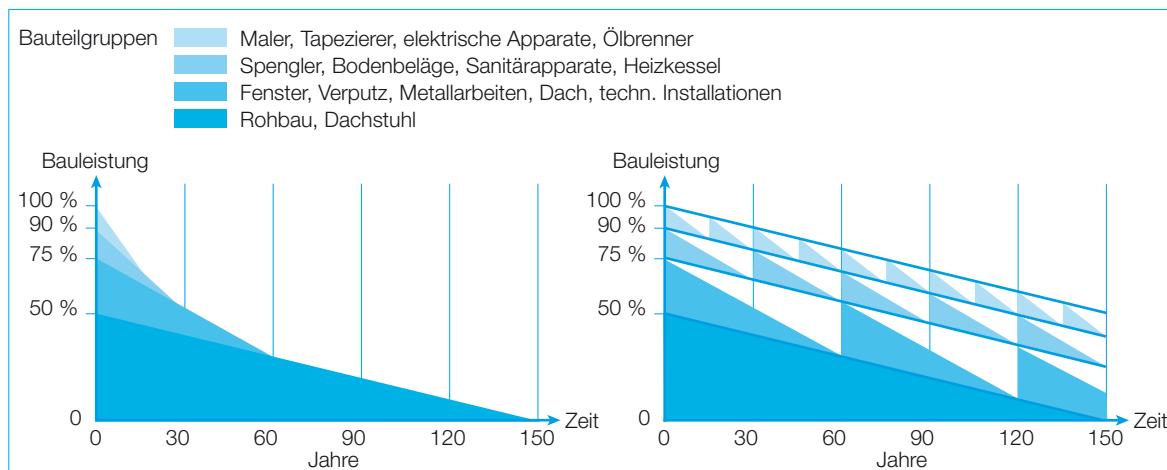


Abb. 1.27 Spezifische Lebensdauer von Bauteilgruppen, laufende Instandhaltungszyklen und Kostenaufwand während der Gesamt-Lebensdauer

so dass es in manchen Fällen wirtschaftlich nicht sinnvoll ist, Porenbetonreste in die Herstellwerke zurückzuführen. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen hängen sowohl von den Deponiegebühren als auch von Baustoffkosten, Transportentfernungen für Altmateriale und ggf. neue Baustoffe sowie einer Vielzahl örtlicher Besonderheiten ab. Nicht unberücksichtigt bleiben darf weiterhin der für die Aufbereitung notwendige Energieeinsatz und die Verschleißintensität der entsprechenden Aufbereitungsverfahren.

Die Deponiefähigkeit von Porenbetonbauschutt gemäß TA Siedlungsabfall, Deponieklasse I, gemessen vom Prüfsamt für bituminöse Baustoffe und Kunststoffe der Technischen Universität München, ist gewährleistet [31, 41].

Eine Verwendung nach Kriterien der LAGA (Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall) [110] ist dann möglich, wenn Porenbeton nur Teil eines ansonsten sulfatfreien Baustellenmischabfalls ist. Bei einem Anteil von bis zu 10 Massenprozent sollte eine offene Verwendung eines solchen Gemisches gemäß der LAGA-Klasse Z 1.1 (Eingeschränkt offener Einbau) problemlos möglich sein. Für die LAGA-Klasse Z 1.2 (Einbau nur in hydrogeologisch günstigen Gebieten mit Erosionsschutz, z. B. geschlossene Vegetationsschicht) sollte ein Anteil von 20 Massenprozent und für die LAGA-Klasse Z 2 (Eingeschränkter Einbau mit definierten, technischen Sicherungsmaßnahmen, z. B. im Straßen- und Wegebau unter wasserundurchlässiger Deckschicht) ein Anteil von 40 Massenprozent nicht überschritten werden.

1.3.6 Umweltdeklaration

Die Umweltleistung von Bauprodukten wird in Umweltproduktdeklarationen nach DIN ISO 14025 [85] beschrieben. Umweltdeklarationen stellen Produktinformationen aus Ökobilanzen zur Verfügung, um damit Vergleiche zwischen Produkten gleicher Funktion zu ermöglichen. In der Umweltdeklaration für Porenbeton der Arbeitsgemeinschaft Umweltverträgliches Bauprodukt e.V. [2] werden umweltrelevante und in erweitertem Umfang technische Daten, die in diesem Buch in den entsprechenden Kapiteln und Abschnitten behandelt werden, nach folgendem Schema übersichtlich zusammengefasst:

- **Produktdefinition:**
Sie enthält Angaben zum Anwendungsbereich, zu den Produktnormen und bauaufsichtlichen Zulassungen, zur Gütesicherung, zu den geometrischen

Daten, Festigkeit- und Formänderungseigenschaften sowie den bauphysikalischen Eigenschaften.

- **Grundstoffe:**
Es werden die verwendeten Grundstoffe und Hilfsstoffe genannt. Außerdem werden die Stoffe, die Stoffherkunft, die Rohstoffgewinnung und die Verfügbarkeit der Rohstoffe beschreiben.
- **Produktherstellung:**
Die wesentlichen Schritte der Herstellung werden aufgelistet sowie die wichtigen Aspekte zum Gesundheits- und Umweltschutz genannt.
- **Produktverarbeitung:**
Verarbeitungsempfehlungen, Arbeitsschutz- und Umweltschutzkriterien sowie der Umgang mit Restmaterial und Verpackung werden dargestellt.
- **Nutzungszustand:**
Inhaltsstoffe, die sich aus dem Porenbeton ergebende Wirkungsbeziehung Umwelt-Gesundheit und die Beständigkeit des Baustoffs werden aufgezählt.
- **Außergewöhnliche Einwirkungen:**
Es werden Angaben zum Brandfall oder bei Hochwasser gemacht.
- **Nachnutzungsphase:**
Relevant für die Beschreibung der Nachnutzungsphase sind Grundsätze der Wieder- und Weiterverwendung, der Weiterverwertung und der Entsorgung.
- **Ökobilanz:**
Aus der Ökobilanz werden die wesentlichen Daten zur Herstellung, zur Sachbilanz und die Wirkungsabschätzung übernommen.
- **Nachweise:**
Genannt werden Informationen zur Radioaktivität, zum Auslaugverhalten und zur Überwachung von Produktkategorieregeln [3] mit einheitlichen Rahmenbedingungen für die Ökobilanz und als Grundlage der Umweltdeklaration.

Mit der Umweltdeklaration werden alle Daten offengelegt, um die Entwicklung des umwelt- und gesundheitsverträglichen Bauens zu fördern. Betrachtet man zusammenfassend die Umweltverträglichkeit des Porenbetons über den gesamten Wertstoffkreislauf – Gewinnung der Rohstoffe, Herstellung, Verarbeitung, Gebäudenutzung, Recycling, Downcycling, Entsorgung – dann kann dieser Baustoff als ökologisch unbedenklich bezeichnet werden. Wünschenswert ist eine lange Nutzung von Porenbetonbauteilen im eingebauten Zustand, damit der Vorteil der Langlebigkeit des mineralischen Baustoffs voll zum Tragen kommen kann.

PRODUKTE

2.1 Übersicht

Zu Beginn der technischen Entwicklung des Porenbetons orientierte man sich am Mauerstein. Für Porenbetonprodukte typisch ist der Planstein, der seit seiner Einführung vor mehr als 40 Jahren dem Mauerwerksbau einen entscheidenden Impuls gab: Extrem geringe Maßabweichungen ohne Nachbearbeitung der Steine und somit Verlegung in Dünnbettmörtel. Porenbeton-Plansteine sind aufgrund der geringen Rohdichte größer als herkömmliche Mauersteine. Mit einem Gewicht von weniger als 25 kg wird ein Planstein, zwischenzeitlich mit Griffhilfen versehen, von einem Maurer als Zweihandstein allein versetzt. Bald folgte man auch dem Bedürfnis, größere Elemente aus Porenbeton herzustellen. So konnten für viele Anwendungsbereiche Produkte entwickelt werden, die aus einem industriellen Herstellungsprozess stammen und eine besonders rationelle Errichtung von Gebäuden durch schnelle Montage mit leichten Hilfsmitteln ermöglichen.

Produkte aus Porenbeton sind je nach statischen Erfordernissen unbewehrt oder bewehrt. Mauerwerksprodukte, die im eingebauten Zustand im Wesentlichen Druckkräfte aufnehmen, werden ohne Bewehrung hergestellt. Größere Mauerwerksbauteile erhalten zusätzlich eine statisch nicht anrechenbare Transportbewehrung. In Bezug auf ihr Tragverhalten gelten auch diese Bauteile mit reiner Transportbewehrung, z. B. Wandtafeln, als unbewehrt. Zur Erstellung von Wänden kommen folgende unbewehrte Porenbetonprodukte zum Einsatz:

- Plansteine
- Planelemente
- Planbauplatten
- Mauertafeln
- Wandtafeln

Auf Biegung beanspruchte Bauteile müssen in der Lage sein, Zugkräfte aufzunehmen. Diese Funktion übernimmt bei Porenbeton-Montagebauteilen eine Bewehrung,

wie beim üblichen Stahlbeton. Damit stehen für Dach- und Deckenkonstruktionen weitere Porenbetonprodukte zur Verfügung:

- Deckenplatten
- Dachplatten

Um einem großen Teil des Gebäudes gleichmäßige bauphysikalische Eigenschaften zu verleihen oder im Bausystem zu bleiben, kann auf unbewehrte oder bewehrte Ergänzungsprodukte aus Porenbeton zurückgegriffen werden:

- Höhenausgleichssteine
- Deckenrandsteine
- Fertigstürze und Flachstürze
- U-Steine und U-Schalen
- Treppenstufen
- Mantelsteine

Vorgenannte Produkte finden sowohl im Wohnungsbau als auch im Wirtschaftsbau ihre Anwendung. Im Wirtschaftsbau werden außerdem bewehrte Wandplatten eingesetzt, die liegend oder stehend eingebaut werden.

2.2 Regeln für Herstellung und Anwendung

Als Folge des fortschreitenden Harmonisierungsprozesses im Bauwesen dürfen in Deutschland seit 2005 europäische Mauersteinnormen angewandt werden. Für Porenbetonsteine gilt DIN EN 771-4 [60]. In dieser Produktnorm werden Vorgaben zu Ausgangsstoffen, zur Herstellung, zu den Anforderungen sowie zur Klassifizierung und Kennzeichnung von Porenbetonsteinen geregelt. Mit der europäeinheitlichen CE-Kennzeichnung (CE = Communauté Européenne) bestätigt der Hersteller, dass sein Produkt im Sinne des Bauproduktengesetzes in Verkehr gebracht werden

kann und mit den Eigenschaften dieser europäischen Norm für Porenbetonsteine übereinstimmt. CE-gekennzeichnete Porenbetonsteine können in Deutschland aber nur in Verbindung mit der Anwendungsnorm DIN V 20000-404 [99] verwendet werden, weil die deklarierten Werte aus der Produktnorm DIN EN 771-4 entsprechend den technischen Baubestimmungen z. B. für den Nachweis der Standsicherheit oder der bauphysikalischen Erfordernisse nicht unmittelbar brauchbar sind. Der Zusammenhang von europäischer Produktnorm und nationaler Anwendungsnorm gilt nicht nur für Mauersteine aus Porenbeton, sondern für alle Mauersteine. Die Produkteigenschaften von Porenbetonsteinen sind in DIN EN 771-4 nicht in der gleichen Art und Weise beschrieben wie in der bisherigen deutschen Norm. Daher wird aus der Anwendungsnorm DIN V 20000-404 entnommen, wie die deklarierten Werte aus der Produktnorm in Bemessungswerte umzurechnen und in Bezug auf die technischen Regeln für die Planung, Bemessung und Konstruktion von bau-

lichen Anlagen und ihren Teilen anzuwenden sind. So dürfen Mauersteine, die nur mit dem CE-Kennzeichen gemäß der Produktnorm versehen sind, jedoch nicht der jeweiligen Anwendungsnorm entsprechen oder keine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung haben, nicht für tragendes Mauerwerk nach DIN 1053-1 [63.1] verwendet werden.

Darüber hinaus gibt es in Deutschland für Plansteine und Planelemente aus Porenbeton die so genannte Restnorm DIN V 4165-100 [74]. Porenbetonprodukte nach dieser Norm können wie gewohnt – ohne zusätzlichen Aufwand, z. B. Umrechnung von deklarierten CE-Werten auf nationale Bemessungswerte – in Deutschland vermarktet und verwendet werden.

Tab. 2.1 enthält eine Übersicht der Regeln zur Herstellung von Produkten aus Porenbeton. Ergänzend werden dort auch die Bestimmungen für die Ausführung und Berechnung aufgelistet.

Tab. 2.1: Regeln für die Herstellung, Ausführung und Berechnung von Produkten aus Porenbeton

Produkt	Herstellung	Regel	
		Ausführung	Berechnung
Plansteine	DIN V 4165-100 [74] DIN V 20000-404 [99] DIN EN 771-4 [60] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen [50, 51, 55]	DIN 1053-1 [63.1]	DIN 1053-1 [63.1] DIN 1053-100 [63.4] DIN 1055 [64] DIN 4149 [73]
Planelemente	DIN V 4165-100 [74] DIN V 20000-404 [99] DIN EN 771-4 [60] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen [49, 52, 54]	DIN 1053-1 [63.1] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen [49, 52, 54]	DIN 1053-1 [63.1] DIN 1053-100 [63.4] DIN 1055 [64] DIN 4149 [73]
Planbauplatten	DIN 4166 [75]	DIN 1053-1 [63.1]	-
Mauertafeln	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen [56]	DIN 1053-1 [63.1] DIN 1053-4 [63.3]	DIN 1053-1 [63.1] DIN 1053-4 [63.3] DIN 1053-100 [63.4] DIN 1055 [64] DIN 4149 [73]
Wandtafeln, unbewehrt	DIN 4223-1 [76.1] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen [48]	DIN 4223-4 [76.4]	DIN 1055 [64] DIN 4149 [73] DIN 4223-3 [76.3]
Deckenplatten und Dachplatten	DIN 4223-1 [76.1] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen [43, 44, 45]	DIN 4223-4 [76.4]	DIN 1055 [64] DIN 4149 [73] DIN 4223-2 [76.2]
Fertigstürze und Flachstürze	DIN 4223-1 [76.1] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen [46, 53]	DIN 4223-4 [76.4]	DIN 1055 [64] DIN 4149 [73] DIN 4223-2 [76.2]
Wandtafeln, bewehrt	DIN 4223-1 [76.1] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen [47]	DIN 4223-4 [76.4]	DIN 4223-2 [76.2]

2.3 Mauerwerksprodukte

2.3.1 Plansteine

Plansteine sind Mauersteine für massive wärmedämmende Wandkonstruktionen (Abb. 2.1). Sie kommen zur Anwendung, wenn das Bauen im Zweihandformat wirtschaftlich ist, z. B. bei individuellen Bauformen, stark strukturierten Fassaden oder Fassaden mit vielen Öffnungen. Die Vorteile des Materials und des Produktes – geringe Maßtoleranzen, geringe Wärmeleitung, geringes Steingewicht, Stoßfugen mit Nut und Feder oder glatt, Griffhilfen – können voll genutzt werden. Durch exakte Oberflächen und damit die Möglichkeit, Dünnbettmörtel einzusetzen, haben Wände aus Porenbeton-Plansteinen einen geringen Fugenan- teil. Dies wirkt sich positiv sowohl beim Wärmeschutz als auch bei den Festigkeitseigenschaften aus. Die Druckfestigkeit von Plansteinmauerwerk ist bei gleicher Steinfestigkeitsklasse größer als die von Mauerwerk aus anderen Steinen mit Normal- oder Leichtmörtel.

Aufgrund ihres geringen Gewichtes sowie der einfachen Ver- und Bearbeitung eignen sich Plansteine nicht nur für hoch wärmedämmende Außenwandkonstruktionen, sondern auch für Innenwände sowie im Zuge von Umbau- oder Sanierungsmaßnahmen zum nachträglichen Einbau als leichte Trennwände oder für Aufstockungen von Gebäuden. Weitere Einsatzbereiche sind die Ausfachung von Skelettbauten oder die Ausmauerung alter und neuer Holzfachwerke. Angeboten werden Plansteine bis zu einer Länge von 62,5 cm, in einer Höhe von 25 cm und bis zu einer Dicke von 36,5 cm (Tab. 2.2).

2.3.2 Planelemente

Planelemente werden im Zwei-Mann-Team mit mechanischen Versetzhilfen verarbeitet und wie Plansteine im Dünnbettmörtelverfahren vermauert (Abb. 2.2, Abb. 2.3). Sie sind besonders wirtschaftlich für Bauvorhaben, bei denen es auf das schnelle Errichten langer,



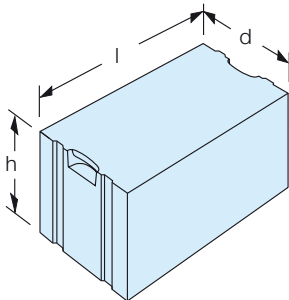
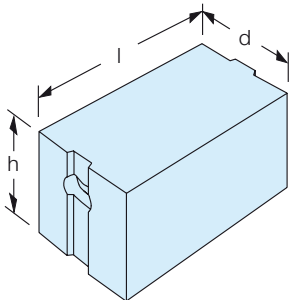
Abb. 2.1: Porenbeton-Plansteine



Abb. 2.2: Porenbeton-Planelemente



Abb. 2.3: Porenbeton-Planelemente im Doppelpack

		Länge l [mm]	332 399 499 599 624
		Höhe h [mm]	249
		Dicke d [mm]	175 bis 365
		Weitere Formate möglich	

Tab. 2.2: Abmessungen von Porenbeton-Plansteinen

wenig gegliederter Wandflächen ankommt. Da die Stirnseiten der Planelemente glatt oder mit Nut und Feder ausgebildet sein können, ist eine Ausführung mit oder ohne Stoßfugenvermörtelung möglich. Planelemente haben die gleichen statischen und bauphysikalischen Eigenschaften wie Plansteine. Der wesentliche Unterschied liegt im Format. Planelemente stehen in unterschiedlichen Ausführungen zur Verfügung, wobei alle Formate in Dicken bis zu 36,5 cm und mehr hergestellt werden:

■ **Porenbeton-Planelement** (Tab. 2.3):

Mit leichten Hebezeugen werden maximal 0,62 m² große Elemente versetzt. Sie sind bis zu 1 m lang und bis zu 62,5 cm hoch.

■ **Porenbeton-Planelement lang** (Tab. 2.4):

Mit nur einem Kranhub können 1,86 m² der bis zu

3 m langen und bis zu 62,5 cm hohen Produkte versetzt werden. Die langen Elemente sind zum Zwecke der Transport- und Montagesicherheit konstruktiv bewehrt.

■ **Porenbeton-Planelement HK** (Tab. 2.5):

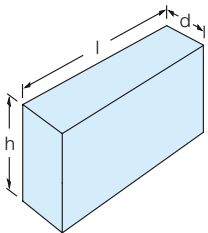
Abweichend von den anderen Porenbeton-Planelementen ist bei Porenbeton-Planelementen HK (HK = hochkant) die Höhe größer als die Länge. Sie sind bis zu 75 cm lang und bis zu 1,50 m hoch.

■ **Porenbeton-Planelemente im Doppelpack**

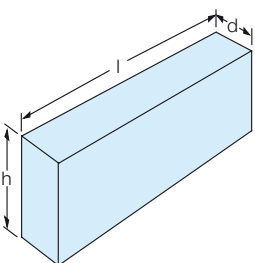
(Tab. 2.6):

Durch das gleichzeitige Greifen von zwei der großformatigen Steine können bis zu 0,78 m² mit einem Kranhub versetzt werden. In einem Arbeitsgang entstehen 1,25 laufende Meter Mauerwerk.

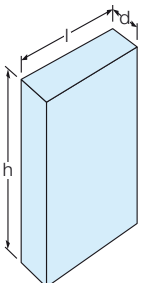
Tab. 2.3: Abmessungen von Porenbeton-Planelementen

	Länge l [mm]	249 499 999
	Höhe h [mm]	498 623
	Dicke d [mm]	175 bis 365
	Weitere Formate möglich	

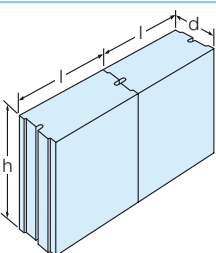
Tab. 2.4: Abmessungen von Porenbeton-Planelementen lang

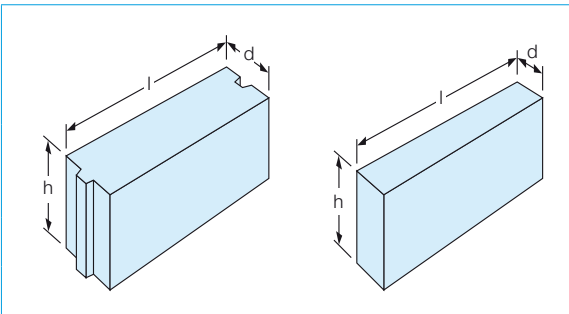
	Länge l [mm]	1.999 2.999
	Höhe h [mm]	498 623
	Dicke d [mm]	175 bis 365
	Weitere Formate möglich	

Tab. 2.5: Abmessungen von Porenbeton-Planelementen HK

	Länge l [mm]	499 599 624 749
	Höhe h [mm]	749 999 1.499
	Dicke d [mm]	175 bis 365
	Weitere Formate möglich	

Tab. 2.6: Abmessungen von Porenbeton-Planelementen im Doppelpack

	Länge l [mm]	624
	Höhe h [mm]	624
	Dicke d [mm]	175 bis 365
	Weitere Formate möglich	



Länge l [mm]	499
	599
	624
	749
Höhe h [mm]	499
	599
	624
Dicke d [mm]	50 bis 150
Weitere Formate möglich	

Tab. 2.7: Abmessungen von Porenbeton-Planbauplatten



Abb. 2.4: Porenbeton-Planbauplatten

2.3.3 Planbauplatten

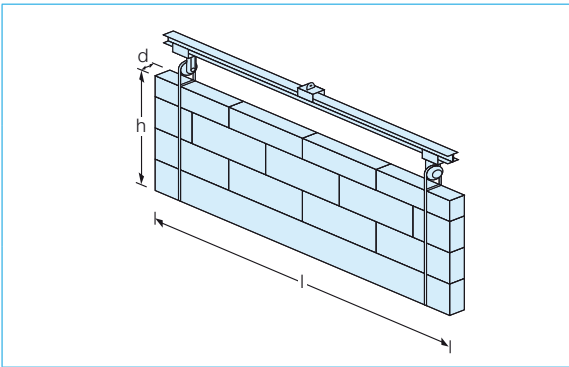
Planbauplatten sind Produkte für die Anwendung im Innenausbau und werden als massive, leichte, nicht tragende Innenwände in Neubauten sowie bei Erweiterungen, Sanierungen und Umbauten eingesetzt (Abb. 2.4). Aufgrund ihres Formates, ihres geringes Gewichtes und der leichten Ver- und Bearbeitung sind sie auch zur Abmauerung von Leitungen, Sanitäreinrichtungen oder Kaminen geeignet. Planbauplatten werden im Dünnbettverfahren vermörtelt. Die Stoßfugen werden mit einer Nut-Feder-Verbindung unvermörtelt oder mit glatten Stirnseiten vermörtelt ausgebildet. Die maximalen Abmessungen sind 75 cm in der Länge, 62,5 cm in der Höhe und 15 cm in der Dicke (Tab. 2.7).



Abb. 2.5: Porenbeton-Mauertafeln

2.3.4 Mauertafeln

Mauertafeln sind im Wohnungsbau besonders für Bauvorhaben geeignet, bei denen es auf schnelles Errichten großer tragender Wandflächen ankommt (Abb. 2.5). Wandgröße, werksseitig vorgefertigte Mauertafeln werden aus Planelementen hergestellt. Mauertafeln können mit und ohne Fensteröffnungen geplant werden. Zur Optimierung sowie zur Wahrung der Transport- und Montagesicherheit wird in der untersten Schicht ein konstruktiv bewehrtes langes Planelement vorgesehen. Mauertafeln sind bis zu 6 m lang, bis zu 3 m hoch und maximal 36,5 cm dick (Tab. 2.8). Mit einem Kranhub werden im Regelfall bis zu 15,75 m² Wandfläche einfach und kräfteschonend versetzt.



Länge l [mm] ± 5 mm	≤ 6.000
Höhe h [mm] ± 3 mm	≤ 3.000
Dicke d [mm] ± 1,5 mm	175 bis 365

Tab. 2.8: Abmessungen von Porenbeton-Mauertafeln

Abb. 2.6 (links): Porenbeton-Wandtafeln für tragende Außenwände



Abb. 2.7 (rechts): Porenbeton-Wandtafeln für nicht tragende Innenwände



Tab. 2.9: Abmessungen von Porenbeton-Wandtafeln

	Beispiele für die Ausbildung der Längskanten	
	 oder Nut und Feder	Länge l [mm]
	Beispiele für die Ausbildung der Stirnkanten	Breite b [mm]
	 Wandtafel-Fußseiten sind immer unprofiliert	Dicke d [mm]
		Weitere Formate möglich

2.4 Wandtafeln

Geschosshohe tragende Wandtafeln eignen sich besonders für Bauvorhaben, die nicht mehr als drei Vollgeschosse haben und bei denen es auf die schnelle und einfache Montage langer, wenig gegliederter Wandflächen ankommt (Abb. 2.6, Abb. 2.7). Die Abmessungen der mit einer Transportbewehrung versehenen Wandtafeln reichen bis zu 3,50 m in der Höhe, bis zu 1,50 m in der Breite und bis zu 36,5 cm in der Dicke (Tab. 2.9). Die Montagezeit ist gering, sie beträgt bei einer Zwei-Mann-Kolonne 11 min/m². Mehrere Tafeln können zu raumgroßen Elementen als Außen- oder Innenwände verbunden werden. Die Fußseiten sind immer unprofiliert. Für die Stoßfugenausbildung der geschosshohen Wandtafeln gibt es unterschiedliche Methoden:

■ Nut-Nut-Verbindung:

Nach dem Aufstellen der Wandtafeln wird in die Nut eine Bewehrung eingebracht. Die Nut wird dann mit Beton vergossen. Sofern aus statischen Gründen keine Bewehrung erforderlich ist, können die Stoß-

flächen der Wandtafeln auch mit Dünnbettmörtel vermörtelt werden.

■ Nut-Feder-Verbindung und glatte Seiten:

Die Stoßflächen werden mit Dünnbettmörtel vollfugig und kraftschlüssig vermörtelt.

Sind Wandtafeln zur Aufnahme zusätzlicher horizontaler Lasten vorgesehen, werden sie entsprechend den statischen Erfordernissen bewehrt. Geschosshohe tragende Wandtafeln, die bewehrt sind, übernehmen neben den vertikalen auch horizontale Lasten, z. B. aus Erddruck, wenn sie für Kellerwände eingesetzt werden. Sie werden in Mörtel versetzt.

2.5 Decken- und Dachplatten

Decken- und Dachplatten aus Porenbeton sind entsprechend der Belastung bewehrt (Abb. 2.8, Abb. 2.9). Die maximalen Abmessungen liegen bei 8 m Länge, 75 cm Breite und 30 cm Dicke, wobei die Regellänge 6 m und die Regelbreite 62,5 cm beträgt (Tab. 2.10, Tab. 2.11).



Abb. 2.8 (links):
Porenbeton-
Deckenplatten

Abb. 2.90 (rechts):
Porenbeton-
Dachplatten

	Beispiele für die Ausbildung der Längskanten		
		Länge l [mm]	≤ 8.000 Regellänge 6.000
		Breite b [mm]	500 bis 750 Regelbreite 625
		Dicke d [mm]	100 bis 300
			Weitere Formate möglich

Tab. 2.10: Abmes-
sungen von Poren-
beton-Deckenplatten

	Beispiele für die Ausbildung der Längskanten		
	mit Nut und Feder	Länge l [mm]	≤ 8.000 Regellänge 6.000
	mit kleinem Vergussquerschnitt und Nut und Feder	Breite b [mm]	500 bis 750 Regelbreite 625
	mit formschlüssigem Vergussquerschnitt (nur für Dachscheibenausbildung)	Dicke d [mm]	100 bis 300
			Weitere Formate möglich

Tab. 2.11: Abmes-
sungen von Poren-
beton-Dachplatten

Die Fugen sind mit einer Nut-Feder-Verbindung, einer Vergussnut oder mit einer Kombination aus beiden Verbindungstechniken ausgestattet. Fugen und Anschlüsse werden mit Mörtel der Mörtelgruppe III gemäß DIN 1053-1 oder Beton C12/15 vergossen. Außerdem ist es möglich, die Porenbetonplatten so miteinander und mit der Unterkonstruktion zu verbinden, dass die Decke bzw. das Dach als Scheibe zur Aussteifung des

Gebäudes herangezogen werden kann. Hierzu ist eine entsprechende Dimensionierung und Verankerung erforderlich. Ähnlich wie bei Betonkonstruktionen sind bei bewehrten Platten aus Porenbeton Auskragungen möglich. Die zulässigen Maße von Auskragungen sind in den jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen festgelegt.

2.6 Ergänzungsprodukte

2.6.1 Höhenausgleichssteine

Lässt sich mit großformatigen Mauerwerksprodukten nicht die gewünschte Geschosshöhe einstellen, wird am Wandfuß zunächst eine Kimmschicht aus Porenbeton-Höhenausgleichsteinen in Normalmörtel verlegt, bevor die Vermauerung z. B. mit Planelementen fortgesetzt wird (Abb. 2.10). Je nach Baustellensituation kann die Kimmschicht auch am oberen Wandende eingebaut werden. Als Porenbeton-Höhenausgleichsteine werden Porenbeton-Plansteine mit niedrigen Höhen verwendet.

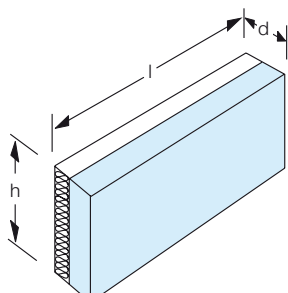
Abb. 2.10: Porenbeton-Höhenausgleichsteine



Abb. 2.11: Porenbeton-Deckenrandsteine



Tab. 2.12: Abmessungen von Porenbeton-Deckenrandsteinen

	Länge l [mm]	500 625
	Höhe h [mm]	160 175 180 200 240 250
	Dicke d [mm]	50, 55, 60, 65, 75, 100 + 50 mm Mineralfaserplatte WLG 035

2.6.2 Deckenrandsteine

Deckenrandsteine werden für die Abmauerung von Geschossdecken verwendet (Abb. 2.11). Sie bestehen aus bis zu 10 cm dicken Porenbeton-Planbauplatten mit einer bis zu 5 cm dicken aufkaschierten Dämmschicht aus Mineralwolle (Tab. 2.12). Durch den Einbau von Deckenrandsteinen werden Transmissionswärmeverluste an der Wärmebrücke Deckenaufleger verringert, bei ordnungsgemäßer Beheizung und Lüftung der Räume Schimmelbildung ausgeschlossen und die Übertragung von Spannungen aus Deckenverformungen auf die Außenwand verhindert.

2.6.3 Stürze

Fertigstürze

In Gebäuden mit vorwiegend ruhenden Verkehrslasten werden Fertigstürze aus bewehrtem Porenbeton zur Überdeckung von Tür- und Fensteröffnungen von Porenbetonmauerwerk mit Öffnungsweiten bis 1,75 m eingesetzt (Abb. 2.12, Tab. 2.13). Nicht tragende Porenbeton-Fertigstürze dienen zur Abdeckung von Öffnungen bis 1,10 m in leichten Porenbeton-Trennwänden.

Flachstürze

Porenbeton-Flachstürze sind Fertigstürze mit geringem Verarbeitungsgewicht für Tür- und Fensteröffnungen in Porenbetonmauerwerk (Abb. 2.13). Die Tragwirkung des Sturzesystems wird durch eine zwischen 125 und 750 mm hohe Übermauerung des Flachsturzes mit Porenbeton-Plansteinen und/oder einer Massivdecke erreicht. Die Höhe der Übermauerung bestimmt die Tragfähigkeit des Sturzes. Bei Überdeckung der Stürze mit Mauerwerk sind die Stoßfugen zu vermörteln. Durch Kombination der verfügbaren Flachsturzdicken von 11,5 und 17,5 cm lassen sich alle üblichen Wanddicken ausführen (Tab. 2.14).

	tragende Stütze	nicht tragende Stütze
Länge l [mm]	1.000 bis 2.250	1.250 bis 1.400
Öffnungsbreite [mm]	600 bis 1.750	900 bis 1.100
Höhe h [mm]	250	250
Dicke d [mm]	175, 200, 240, 300, 365	75, 100, 115, 150
Auflager-tiefe [mm]	Öffnungsbreite bis 1.500: 200 Öffnungsbreite > 1.500: 250	≥ 115

Tab. 2.13: Abmessungen von Porenbeton-Fertigstürzen

Länge l [mm]	1.000 bis 3.000
Öffnungsbreite [mm]	600 bis 2.500
Höhe h [mm]	125 + Übermauerung
Dicke d [mm]	115/175
Auflagertiefe [mm]	bis l = 1.500: 200 ab l > 1.500: 250

Tab. 2.14: Abmessungen von Porenbeton-Flachstürzen

2.6.4 U-Steine und U-Schalen

U-Steine und U-Schalen aus Porenbeton sind Scha-lungselemente für wärmegedämmte Tür- und Fenster-stürze, für Ringanker, Ringbalken und andere tragende Bauteile sowie für senkrechte Schlitz- und Ausstei-fungssäulen im Mauerwerk (Abb. 2.14). Die statisch erforderliche Bewehrung wird örtlich eingelegt und die U-Schale mit Beton verfüllt. Bei der Verwendung in Außenwänden wird bauseits eine zusätzliche Wärme-dämmschicht außenseitig in die Schale eingefügt. Be-finden sich die betongefüllten U-Schalen unter Decken, ist es wichtig, dass die Decken auf dem Betonkern aufliegen. U-Schalen werden bis 6 m Länge, bis 36,5 cm Dicke und mit 25 cm Höhe geliefert. Abmessungen von U-Steinen und U-Schalen enthält Tab. 2.15.



Abb. 2.12:
Porenbeton-
Fertigstürze



Abb. 2.13:
Porenbeton-
Flachstürze



Abb. 2.14:
Porenbeton-U-Schalen

	Länge l [mm]	U-Steine: 500/625 U-Schalen: 2.500 bis 6.000
	Höhe h [mm]	250
	Dicke d [mm]	175 200 240 300 365

Tab. 2.15:
Abmessungen von
Porenbeton-U-Steinen
und Porenbeton-
U-Schalen

2.6.5 Treppenstufen

Maßgenaue, vorgefertigte und bewehrte Porenbeton-Blockstufen werden in Aussparungen des Treppenhausmauerwerks bzw. auf Auflagerwangen verlegt (Abb. 2.15, Tab. 2.16). Die erforderliche Gesamtdicke der Wand, die als Auflager dient, beträgt mindestens 11,5 mm. Mit speziellen Auflagerwinkeln kann die Treppe auch nachträglich im fertigen Rohbau eingebaut werden. Die unbehandelten Oberflächen können mit jedem üblichen Belag verkleidet werden.

Abb. 2.15:
Porenbeton-
Treppenstufen



Abb. 2.16: Porenbeton-Mantelsteine

Länge l [mm]	240	625	300	500	500	400	450
Höhe h [mm]	240	240	300	300	365	400	450
Dicke d [mm]	250	250	250	250	250	250	250
Innendurchmesser [mm]	150	150	210	200	200	280	325

Tab. 2.17: Abmessungen von Porenbeton-Mantelsteinen

2.7 Wandplatten für den Wirtschaftsbau

In Ergänzung zu den vorgenannten Porenbetonprodukten für den Wohn- und Wirtschaftsbau sind Wandplatten zu nennen, die nur im Wirtschaftsbau eingesetzt werden. Aus dem Produktprogramm der Montagebauteile sind liegend oder stehend angeordnete Wandplatten verfügbar (Abb. 2.17).

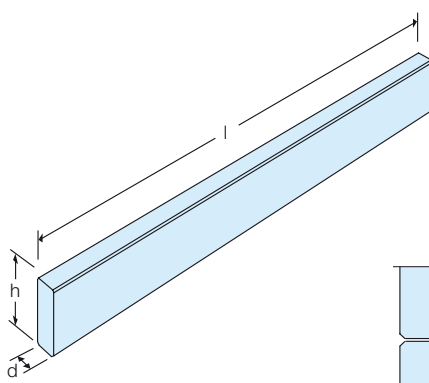
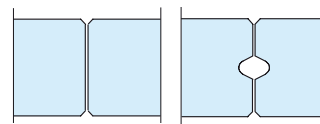
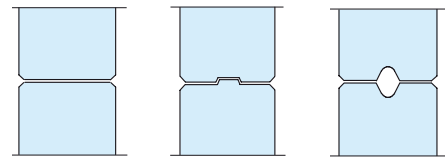
Liegend oder stehend angeordnete Wandplatten werden in der Regel zur Ausfachung von Skelettbauten aus Stahl, Stahlbeton oder auch Holz verwendet. Sie können vor, zwischen oder hinter einer Tragkonstruktion montiert werden. Neben den bauphysikalischen Funktionen übernehmen sie die Ableitung der Eigen- und Windlasten auf die Tragkonstruktion und die Überbrückung von Wandöffnungen (Fenster, Türen, Tore).

2.6.6 Mantelsteine

Mantelsteine sind Porenbeton-Plansteine mit z.B. werksseitig ausgeführter Kernbohrung (Abb. 2.16, Tab. 2.17). Sie finden Verwendung als verlorene Schalung für wandintegrierte Stahlbeton-Aussteifungsstützen, zur Herstellung von Installationskanälen, als Schächte für Abgasleitungen und als Ummantelung von dreischaligen Schornsteinen.

Tab. 2.16: Abmessungen von Porenbeton-Treppenstufen

Länge l [mm]	1.100 bis 3.000
Höhe h [mm]	150 175 200
Dicke d [mm]	260 bis 625
Auflagertiefe [mm]	≥ 50

	Beispiele für die Ausbildung der Stirnkanten		Länge l [mm]	≤ 8.000 Regellänge 6.000
				
	Beispiele für die Ausbildung der Längskanten		Breite b [mm]	500 bis 750 Regelbreite 625
				
			Dicke d [mm]	100 bis 375
			Weitere Formate möglich	

Tab. 2.18: Abmessungen von Porenbeton-Wandplatten

Sie werden in Abmessungen bis 8 m Länge, 75 cm Breite und 37,5 cm Dicke hergestellt, wobei die Regellänge 6 m und die Regelbreite 62,5 cm beträgt (Tab. 2.18). Die Ausbildung der Stirn- und Längskanten kann entsprechend Tab. 2.18 ausgeführt werden. Die Vergussnuten werden nachträglich mit Mörtel verfüllt. Die Stirnseiten erhalten einen glatten Stoß oder sind mit einer Nut zum späteren Verguss mit Mörtel ausgestattet.

Andere Querschnitte bzw. Profilierungen eröffnen zusätzliche Gestaltungsmöglichkeiten für die Fassade. So kann einer Fassade z. B. durch Wandbauteile mit trapezförmigem Querschnitt räumliche Tiefe und eine übergreifende plastische Form gegeben werden.



Abb. 2.17: Porenbeton-Wandplatten, liegend angeordnet

BAUSYSTEME

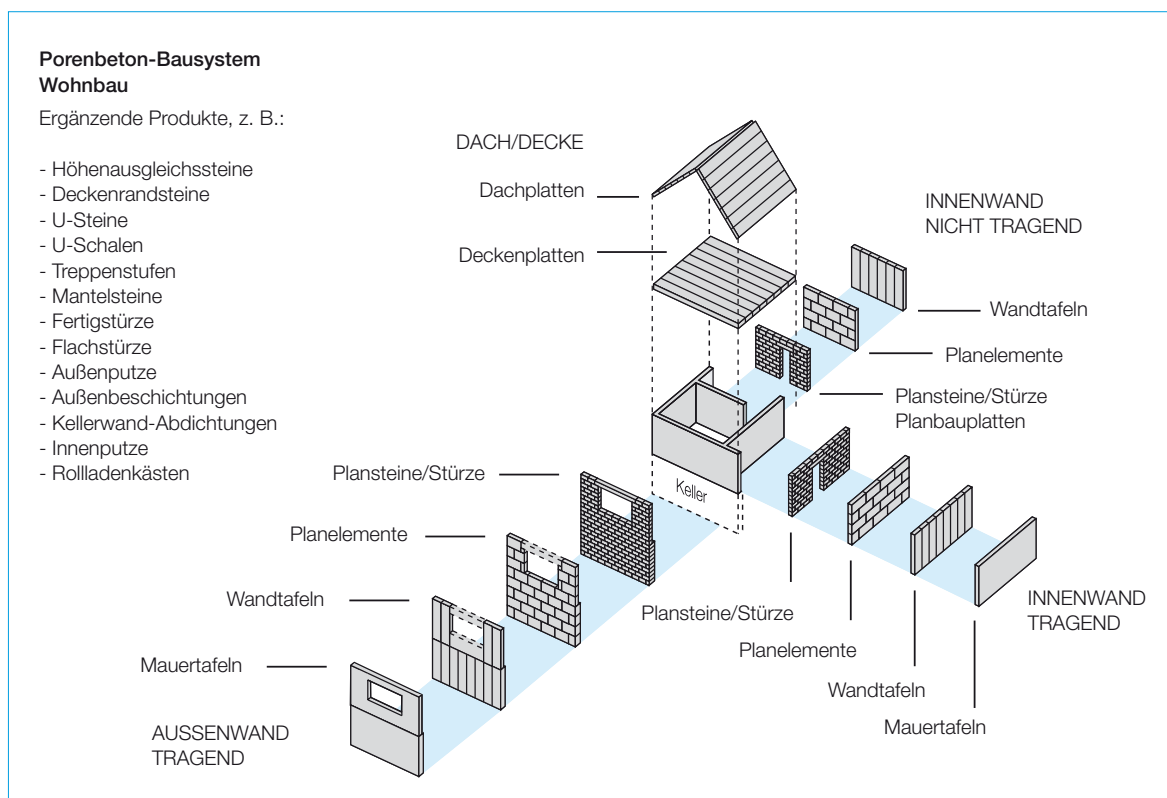
3.1 Übersicht

Produkte aus dem gleichen Baustoff lassen sich einfacher als viele unterschiedliche Baustoffe zu einem Bausystem kombinieren. Dadurch können konstruktive und bauphysikalische Schwachstellen vermieden werden, die bei der Kombination unterschiedlicher Materialien mit jeweils eigenen Eigenschaften, z. B. dem thermischen Längenänderungsverhalten, nur zu häufig sind. Porenbeton-Bausysteme wurden für die Anwendungsschwerpunkte „Wohnbau“, „Wirtschaftsbau“ und „Modernisierung“ entwickelt. Dabei sind viele der Komponenten in allen Systemen einsetzbar. Darüber hinaus sind die Porenbeton-Bausysteme sogenannte „offene“ Systeme, flexibel anpassbar, nicht nur an funktionelle Anforderungen, sondern auch kombinierbar mit unterschiedlichen Konstruktionen, z. B. aus Stahl, Stahlbeton oder Holz. Das gilt für die konstruktive, die bauphysikalische und die maßliche Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Randbedingungen.

3.2 Porenbeton-Bausystem „Wohnbau“

Das Porenbeton-Bausystem „Wohnbau“ (Abb. 3.1) für zu errichtende Wohngebäude ist dadurch gekennzeichnet, dass Bauteile bzw. Produkte aus dem Baustoff Porenbeton neben der Lastabtragung und der Aussteifung des Gebäudes auch die bauphysikalischen Funktionen des Wärmeschutzes, des Brandschutzes und des Schallschutzes übernehmen. Ein großer Teil des Rohbaus kann aus Porenbetonprodukten erstellt werden. Befestigungsmittel und Oberflächenmaterialien sind darauf abgestimmt. Einbauteile wie Fenster und Türen sind in Bezug auf Maße und Anschlüsse problemlos integrierbar.

Abb. 3.1: Porenbeton-Bausystem „Wohnbau“



Kellerwände

Für die Ausführung von Kellerwänden kommen folgende Produkte in Frage:

- Porenbeton-Plansteine oder Porenbeton-Planelemente, bei denen auf einen Außenputz verzichtet werden kann, da die ebene Oberfläche des Untergrundes wegen der geringen Toleranzen der Produkte für den Aufbau der äußeren Abdichtungsebene ausreichend glatt ist.
- Raumgroße Porenbeton-Mauertafeln, die bereits im Werk aus einzelnen Planelementen hergestellt werden.
- Porenbeton-Wandtafeln, die für das Aufbringen einer Abdichtungsschicht ebenfalls ausreichend glatt sind.

Damit stehen Konstruktionen mit sehr unterschiedlichen Vorfertigungsgraden zur Verfügung, die jeweils entsprechend den Notwendigkeiten und Randbedingungen des Bauvorhabens eingesetzt werden können. Selbstverständlich ist es auch möglich, Kelleraußenwände eines Hauses aus Porenbeton in Stahlbeton auszuführen, falls dies gewünscht oder z. B. wegen einer Grundwasserbeanspruchung (Lastfall von außen drückendes Wasser gemäß DIN 18195-6) erforderlich ist.

Außenwände

Außenwände können aus Plansteinen, Planelementen, Mauertafeln oder Wandtafeln errichtet werden. Ergänzungsprodukte aus Porenbeton vervollständigen das System: Höhenausgleichssteine, Deckenrandsteine, U-Steine, U-Schalen sowie Fertigstürze und Flachstürze.

Der Oberflächenschutz wird durch folgende Möglichkeiten sichergestellt:

- Ein auf den Untergrund Porenbeton abgestimmter Außenputz
- Vormauerschale eines zweischaligen Mauerwerks, entweder mit Kerndämmung oder mit Wärmedämmung und Luftschicht
- Hinterlüftete Vorsatzschalen, z. B. aus Faserzementplatten, Schiefer, Metall oder Holz

Innenwände

Tragende und nicht tragende Innenwände können ebenfalls aus Plansteinen, Planelementen, Mauertafeln oder Wandtafeln und den entsprechenden Ergänzungsprodukten hergestellt werden. Zusätzlich kann auf Planbauplatten zurückgegriffen werden. Für die Oberflächengestaltung sind Putze, Beschichtungen oder Verfließungen üblich.

Decken

Decken werden aus bewehrten Porenbeton-Deckenplatten hergestellt. Sie erfüllen innerhalb eines Wohnhauses in Zusammenhang mit den übrigen Bauteilen wesentliche Funktionen, z. B.:

- Lastabtragung entsprechend der Bemessung für unterschiedliche Stützweiten und Belastungen
- Aussteifung des Gebäudes als Deckenscheibe
- Brandschutz als feuerbeständiges Bauteil
- Schallschutz durch die Kombination mit schwimmendem Estrich
- Wärmeschutz bei Anordnung über unbeheizten Räumen oder Durchfahrten sowie bei Ausbildung als Kellerdecke oder Dachdecke

Dächer

Dächer werden aus Porenbeton-Dachplatten zusammengefügt. Mit Porenbeton-Dachplatten können sowohl flache als auch geneigte Dächer erstellt werden. Sie bieten die Möglichkeit, Auskragungen oder Dachgauben vorzusehen. Auch bei Dächern ist das Porenbeton-Bausystem offen für unterschiedliche Konstruktionen: Als Flachdach, Satteldach, Sheddach oder hinsichtlich des Dachaufbaus als belüftetes oder unbelüftetes Dach. Die massive Ausführung eines Daches bringt wesentliche Vorteile beim sommerlichen Wärmeschutz, beim Schallschutz und beim Brandschutz mit sich.

Ergänzungen

Neben den eigentlichen Porenbetonprodukten gehören zu dem Bausystem ergänzende Bauteile, Materialien und Werkzeuge. Alle diese Ergänzungen sind für ein in sich abgestimmtes System erforderlich. Dies gilt besonders dann, wenn es sich nicht um ein geschlossenes, sondern um ein nach vielen Seiten hin offenes System wie das Porenbeton-Bausystem „Wohnbau“ handelt, das auch die Möglichkeiten zum Anschluss an andere Systeme und Komponenten bietet.

3.3 Porenbeton-Bausystem „Wirtschaftsbau“

Im Wirtschaftsbau kommt es bei der Erstellung von Hallen- und Geschossbauten auf die Vielseitigkeit und die Anpassungsfähigkeit des Bausystems an. Das Gleiche gilt nicht nur für den jeweiligen Neubau von Betriebs- und Verwaltungsgebäuden, sondern in besonderem Maße auch für die immer wieder erforderlichen Anpassungen vorhandener Gebäude an neue Nutzungen. Die Erfüllung verschiedener Funktionen wie Lastabtragung, Wärmeschutz, Wärmespeicherung, Brandschutz und Schallschutz mit demselben Material macht das Porenbeton-Bausystem „Wirtschaftsbau“ besonders geeignet.

Außenwände

Außenwände können im Bausystem „Wirtschaftsbau“ sowohl ausfachend, welches die übliche Lösung bei Skelettbauten ist, als auch tragend erstellt werden. Für ausfachende Außenwände kommen folgende bewehrte Porenbetonprodukte in Frage:

- Porenbeton-Wandplatten, liegend angeordnet
- Porenbeton-Wandplatten, stehend angeordnet

Beide Arten sind auch mit nicht rechteckigen, trapezförmigen Querschnitten oder mit profilierter Oberfläche einsetzbar. Ohne Weiteres kann auch mit Mauerwerk ausgefacht werden:

- Porenbeton-Plansteine
- Porenbeton-Planelemente
- Porenbeton-Mauertafeln

Für die genannten Ausführungsarten kommen wiederum unterschiedliche Oberflächen in Frage: Beschichtungen oder Bekleidungen bzw. Putze bei Mauerwerk. Dadurch kann eine große Vielfalt bei der Konzeption der Außenwand genutzt werden – jeweils abgestimmt auf die übrigen Teile des Gebäudes.

Innenwände

Für Innenwände werden im Porenbeton-Bausystem „Wirtschaftsbau“ folgende Produkte eingesetzt:

- Porenbeton-Plansteine
- Porenbeton-Planelemente
- Porenbeton-Planbauplatten
- Porenbeton-Wandplatten, liegend angeordnet
- Porenbeton-Wandplatten, stehend angeordnet

Dabei ist zu unterscheiden zwischen Innenwänden, durch die lediglich eine tragende Konstruktion ausgefacht wird, und solchen, die gleichzeitig eine tragende und aussteifende Funktion haben. Bei der Ausführung der Oberflächen kann auch hier, wie beim Porenbeton-Bausystem „Wohnbau“, frei zwischen Putzen, Beschichtungen und Verfliesungen gewählt werden.

Decken

Decken können aus bewehrten Porenbeton-Deckenplatten erstellt werden, die als Fertigteile bereits bei der Montage nahezu ihre volle Tragfähigkeit besitzen. Sie werden einfach verlegt und verankert. Lediglich die Fugen und die Verankerungen müssen mit Zementmörtel vergossen werden. So ist der Einbau ohne Schalung und weitgehend trocken möglich. Die Decken können bei entsprechender Ausführung (Fugenbewehrung, Ringanker) auch Horizontalkräfte aufnehmen, so dass sie als Scheiben zur Aussteifung ausgebildet werden können. Besonders im Wirtschaftsbau ist es wichtig, dass Porenbeton-Decken sehr gute Eigenschaften hinsichtlich Wärme-, Brand- und Schallschutz aufweisen. Dann sind im Rahmen der üblichen Dimensionierung der Deckenplatten zusätzliche Maßnahmen nicht erforderlich.

Dächer

Flache Dächer, geneigte Dächer oder Sheddächer werden im Wirtschaftsbau aus Porenbeton-Dachplatten hergestellt. Wie Deckenplatten sind sie entsprechend der Belastung bewehrt und weisen ohne zusätzliche Maßnahmen gute Eigenschaften beim Wärme-, Brand- und Schallschutz auf. Auch Dächer aus Porenbeton-Dachplatten können bei entsprechender Dimensionierung und Ausführung als Scheiben zur Aussteifung des Gebäudes herangezogen werden.

3.4 Porenbeton-Bausystem „Modernisierung“

Modernisierungsmaßnahmen haben insbesondere im Wohnungsbau eine große Bedeutung. In vielen Fällen steht gerade in gut erschlossenen innerstädtischen Bereichen genügend Bausubstanz zur Verfügung, deren baulicher Zustand allerdings verbessert werden muss, damit er den heutigen Anforderungen der Nutzer gerecht werden kann. Dies gilt für alte Gebäude, die oft mehr als 50 oder auch mehr als 100 Jahre alt sind und die möglicherweise unter Denkmalschutz stehen. Es gilt aber in besonderem Maße für Gebäude aus den 50er, 60er und 70er Jahren. In vielen Fällen handelt es sich um Ein- oder Zweifamilienhäuser, die z. B. nach einem Eigentümerwechsel modernisiert, energetisch ertüchtigt oder erweitert werden.

Die Gründe für Modernisierungsmaßnahmen liegen überwiegend in der notwendigen Verbesserung des technischen Standards dieser Gebäude. Dies gilt für den Wärme- und Schallschutz sowie für Sanitär- und Elektroinstallationen. Auslöser für Änderungen der Baukonstruktion oder der Haustechnik sind oft auch Nutzungsänderungen, die Vergrößerungen, Verkleinerungen oder andere Anordnungen von Wohneinheiten, Einliegerwohnungen, Praxisräumen oder Büroräumen nach sich ziehen.

Das Porenbeton-Bausystem „Modernisierung“ kann aufgrund der Materialeigenschaften von Porenbeton sehr flexibel der jeweiligen Aufgabenstellung angepasst werden. Diese Anpassbarkeit ist bei Modernisierungsarbeiten wesentlich wichtiger als bei Neubauten. Porenbeton wird bei Modernisierungen aus folgenden Gründen besonders gern eingesetzt:

- Das geringe Eigengewicht des Porenbetons erfordert in der Regel keine Verstärkung der vorhandenen Tragkonstruktion.
- Das geringe Materialgewicht erlaubt einen leichten Transport.
- Die leichte Bearbeitbarkeit von Porenbeton ermöglicht eine gute Anpassung an komplizierte Grundrisse und Formen.
- Der Aufwand bei den Folgearbeiten (Schlitzen, Bohren, Fliesen usw.) ist gering.

- Ebene, glatte Materialoberflächen machen ein Verputzen überflüssig, ggf. genügt eine Verspachtelung.

Veränderungen von Bauteilen

Veränderungen an der vorhandenen Bausubstanz sind bei nahezu jeder Modernisierungsmaßnahme erforderlich. Beispielsweise werden Öffnungen für Fenster und Türen geschlossen oder neu angelegt, tragende oder nicht tragende Wandstücke werden entfernt oder eingebaut und an bestehende Bauteile angeschlossen. Für solche Anpassungsarbeiten ist Porenbeton besonders geeignet:

- Plansteine stehen in anwendungsüblichen Rohdichteklassen zwischen 0,35 und 0,70 und in Festigkeitsklassen von 1,6 bis 6 zur Verfügung. Dadurch kann jeweils das Material eingesetzt werden, welches die erforderliche Tragfähigkeit besitzt.
- Der verwendete Porenbeton wird üblicherweise bei gleicher Tragfähigkeit eine geringere Rohdichte und damit eine geringere Wärmeleitung haben als das anschließende Mauerwerk. Dies kann helfen, die Situation an Wärmebrücken zu verbessern.
- Porenbetonprodukte können z. B. mit einer Säge, einem Schleifbrett, einer Fräse, einem Hobel oder einem Bohrer so leicht bearbeitet werden, dass sie genau an die anschließenden Bauteile angepasst werden können.

Herstellung ebener Wandoberflächen

In Altbauten findet man häufig Außenwände oder auch tragende Innenwände vor, deren Innenflächen so uneben sind, dass sie durch Verputzen allein nicht begradigt werden können. Hier bietet sich das Hintermauern mit Porenbeton-Planbauplatten (Abb. 3.2) an.



Abb. 3.2: Herstellung ebener Wandoberflächen und/oder Verbesserung des Wärmeschutzes durch Hintermauerung

Diese Methode bringt einen mehrfachen Effekt:

- Es wird eine planebene Oberfläche erstellt, die als Basis für Verspachtelung, Innenputz oder Verfliesung dienen kann.
- Löcher für Schalter, Steckdosen, Durchbrüche usw. können mit geeignetem Werkzeug leicht hergestellt werden.
- Der Wärmeschutz einer Außenwand wird je nach Dicke der Hintermauerung nennenswert verbessert, so dass sich ggf. weitere Wärmeschutzmaßnahmen erübrigen.
- Das geringe Gewicht der Porenbetonhintermauerung macht normalerweise keine zusätzlichen Maßnahmen für die Lastabtragung erforderlich.
- Die Hintermauerung kann mühelos millimetergenau erstellt und mit der gleichen Genauigkeit an vorhandene Bauteile angepasst werden. Ggf. auch in Eigenleistung.
- Ergänzungsprodukte wie Porenbeton-Stürze ermöglichen es, eine ganze Wand aus demselben Material zu erstellen. Dies kommt einer einfacheren Handhabung zugute und verhindert möglicherweise Bauschäden.

Ausfachung von Fachwerk

Zur Ausfachung von Fachwerk bieten sich Porenbetonprodukte geradezu an (Abb. 3.3). Ein Vergleich der Wärmeleitfähigkeiten von Holz mit $\lambda = 0,13 \dots 0,18 \text{ W/(mK)}$ und Porenbeton mit $\lambda = 0,08 \dots 0,21 \text{ W/(mK)}$ zeigt, dass sich diese in gleichen Größenordnungen bewegen. Der Porenbeton übernimmt, wie bei anderen Außenwandkonstruktionen, die Funktion der Wärmedämmung und zum Teil des Feuchtigkeitsausgleichs.

Gefache von Holzfachwerkkonstruktionen weichen aus statischen oder architektonischen Gründen oft von der Rechteckform ab. Oder sie sind durch Setzungen oder Belastungen verformt. Die leichte Bearbeitbarkeit des Porenbetons ermöglicht dabei eine ideale Anpassung an solche Schrägen und Lotabweichungen. Porenbeton kann auf die Dicke des Fachwerks abgestimmt und dimensioniert werden. Das Fachwerk bleibt dann außen sichtbar. Mit Porenbeton ausgefachtes Fachwerk kann im Rahmen der bauphysikalisch zulässigen Möglichkeiten auch mit einer zusätzlichen innenseitig angebrachten Wärmedämmschicht kombiniert werden. Dabei ist die Dämmung entsprechend der bauphysikalischen Zusammenhänge auf ein definiertes Maß zu begrenzen. Ein solches Detail wird im Regelfall so kon-

zipiert, dass das Sichtfachwerk von außen erhalten bleibt und die innere Porenbetonschale innenseitig durch eine Putzschicht abgedeckt wird (s. Abschnitt 10.6 „Ausmauerung von Holzfachwerk“). Auch die Kombination von Porenbetonausfachung, Wärmedämmschicht und Porenbetoninnenschale ist möglich. Mit unterschiedlichen Ausfachungsvarianten werden die Anforderungen des Wärme- und Feuchteschutzes für die Instandsetzung oder den Neubau von Holzfachwerken erfüllt [14].

Einbau von Innenwänden

Auch für tragende und nicht tragende Innenwände wird bei Modernisierungsmaßnahmen Porenbeton eingesetzt (Abb. 3.4). Die Eigenschaften der Plansteine und Planbauplatten werden hier besonders wirksam:

- Innenwände aus Porenbetonmauerwerk werden im Dünnbettverfahren errichtet und haben damit einen geringeren Feuchteanteil als bei der Verwendung herkömmlichen Mörtels.
- Die geringen Maßtoleranzen der Produkte erlauben die Verwendung eines dünnlagigen Innenputzes bis hin zu Spachtelungen, was wiederum den Feuchteintrag ins Gebäude verringert.



Abb. 3.3: Ausmauerung von Holzfachwerk mit Porenbeton



Abb. 3.4: Einbau von tragenden oder nicht tragenden Innenwänden

Abb. 3.5 bis Abb. 3.9:
Herstellung von
Installationskanälen



■ Das geringe Gewicht der Porenbetonprodukte bewirkt, dass die zulässigen Lasten für das Gebäude leicht eingehalten werden können. Außerdem gestattet es kurze Ausführungszeiten und entlastet die Ausführenden.

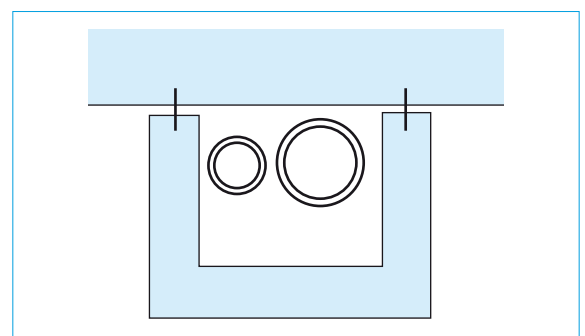
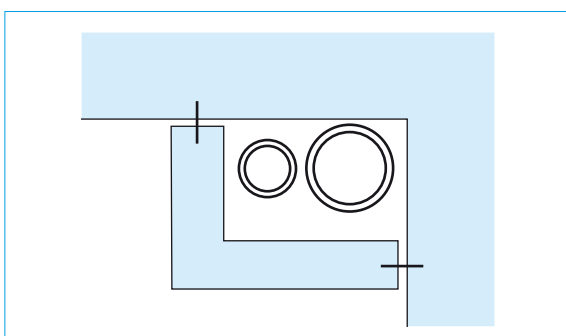
Verkleidung von Installationen

Im Rahmen von Modernisierungsmaßnahmen ergibt sich oft die Notwendigkeit, Installationen zu verkleiden. Auch hier sind die geringen Fertigungstoleranzen und das geringe Gewicht von Porenbetonprodukten von Vorteil für eine präzise und schnelle Herstellung von Installationskanälen. In den meisten Fällen werden Porenbeton-Mantelsteine, U-Schalen oder Porenbeton-Planbauplatten mit einer Dicke von maximal 5 cm verwendet. Die leichte Bearbeitbarkeit erlaubt beliebige Anpassungen an vorhandene Bauteile und Installationen (Abb. 3.5 bis Abb. 3.9).

Fliesen können im Dünnbettverfahren aufgebracht werden, da die Oberflächen hierfür ausreichend exakt sind. Durchbrüche können problemlos ausgeführt und Befestigungselemente leicht angebracht werden.

Treppenstufen

Auch für den Ersatz oder die Neukonstruktion von Treppen bei Modernisierungen lässt sich Porenbeton vorteilhaft einsetzen (Abb. 2.15). Alte Treppen werden ausgetauscht, wenn die Stufen ausgetreten sind oder die Lärmbelästigung z. B. bei Holztreppen beseitigt werden soll. Neue Treppen können bei der Aufstockung von Gebäuden notwendig sein. Treppenstufen aus Porenbeton werden als bewehrte Ergänzungsprodukte auch für geometrisch komplizierte Treppenformen exakt vorgefertigt, so dass auf der Baustelle ein Schalungsaufwand wie bei Stahlbeton zur Treppenherstellung nicht erforderlich ist. Treppenstufen werden von zwei Personen verlegt. Der Treppenbelag kann beliebig ausgewählt werden. Der Vorteil liegt auch hier in der Homogenität des Materials Porenbeton, der Genauigkeit seiner Vorfertigung, insbesondere aber auch in seinem geringen Gewicht, das den Trans-



port und die Montage auf engen Modernisierungs-Baustellen erleichtert. Positiv zu bewerten ist beispielsweise im Vergleich zu Holztreppe der Brandschutz und im Vergleich zu Stahlbeton der geringere Feuchteintrag ins Gebäude.

Decken

Wird eine vorhandene Decke im Zuge einer Modernisierung entfernt, z. B. bei einer Aufstockung, besteht die Möglichkeit, sie durch eine neue Massivdecke aus Porenbeton-Deckenplatten zu ersetzen. Die Deckenplatten werden auf das bestehende Mauerwerk aufgelegt, wie bei einem Neubau untereinander verbunden und durch einen Ringanker gehalten. In diesem Fall ist es auch möglich, entsprechende Hebezeuge einzusetzen und dadurch eine rationelle Montage auszuführen. Auch hier bieten Porenbetonprodukte den Vorteil des geringen Gewichts. Soll auf einer vorhandenen Decke lediglich der Fußbodenaufbau erneuert werden, kann ein Fußboden aus Porenbeton-Granulat (Dämmschicht) und einem Trockenestrich aufgebaut werden (Abb. 3.10 und Abb. 3.11).

Aufstockung von Gebäuden

Die Aufstockung von Gebäuden ist gleichermaßen eine Neubau- und eine Modernisierungsmaßnahme. Einerseits werden durch die Aufstockung Mängel des bestehenden Gebäudes beseitigt, z. B. bei einem schadhafte Flachdach. Andererseits wird neuer Raum geschaffen und das Gebäude so stark verändert, dass viele baurechtliche, konstruktive, haustechnische und gestalterische Aspekte zu berücksichtigen sind.

Die baurechtlichen Bedingungen, wie Abstandsflächen, Geschossflächenzahl, Grundflächenzahl, Geschosszahl und Mindestraumhöhe sind in den Landesbauordnungen oder im Bebauungsplan geregelt. Aus den baurechtlichen Bedingungen ergibt sich der mögliche Umfang

der Aufstockung. Die wichtigsten baurechtlichen Bedingungen sind:

■ Abstandsflächen zur Grundstücksgrenze bzw. zur benachbarten Bebauung

Die Abstandsflächen haben ihre Begründung vor allem in der Sicherstellung einer ausreichenden Belichtung und im Brandschutz. Sie sind damit unmittelbar von der Höhe eines Gebäudes abhängig. Bei Aufstockungen ist das Einhalten der vorgeschriebenen Abstandsflächen wichtig.

■ Geschossflächenzahl (GFZ)

Durch eine Aufstockung verändert sich die Bruttogeschossfläche des Gebäudes und damit das Verhältnis der Bruttogeschossfläche zur Grundstücksfläche. Es ist zu prüfen, ob die GFZ im zulässigen Rahmen bleibt.

■ Grundflächenzahl (GRZ)

Die Grundfläche eines Gebäudes und damit die GRZ wird durch eine Aufstockung nicht verändert.

■ Geschosszahl

Die maximal zulässige Anzahl von Vollgeschossen kann dem Bebauungsplan entnommen werden. Sie hat Einfluss auf viele bauaufsichtliche Aspekte. Bei Aufstockungen ändert sich die Zahl der Vollgeschosse, wenn das zusätzliche errichtete Geschoss über mindestens 2/3 seiner Grundfläche die für Aufenthaltsräume erforderliche Raumhöhe hat.

■ Mindestraumhöhe

Sie beträgt z. B. für Aufenthaltsräume in Vollgeschossen 2,50 m, in Dachgeschossen 2,30 m.

■ Weitere Festlegungen

Sie können entsprechend den Vorgaben des Bebauungsplanes First- oder Traufhöhen, die Dachneigung, oder Einzelheiten der Außenbauteilgestaltung betreffen sowie Baulinien und Baugrenzen vorgeben.



Abb. 3.10 und Abb. 3.11: Fußbodenaufbau aus Porenbeton-Granulat und Trockenestrichplatten

Abb. 3.12: Aufstockung von Gebäuden: Erhöhung durch Kniestock und Ersetzen des alten Daches



Abb. 3.13: Aufstockung von Gebäuden: Errichtung eines zusätzlichen Geschosses



Eine wesentliche Randbedingung für eine Aufstockung ist die Standsicherheit des Gebäudes. Eigenlasten und Verkehrslasten aus der Aufstockung müssen sicher über die vorhandene Bausubstanz oder, falls diese nicht ausreichend tragfähig ist, über geeignete Verstärkungen abgetragen werden. Aufgrund des relativ geringen Gewichts von Porenbeton, etwa einem Viertel des Normalbetongewichts, treten jedoch im Regelfall keine statischen Probleme auf. Der Nachweis der Standsicherheit ist Bestandteil des Bauantrages.

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten, ein Haus aufzustocken. Im ersten Fall wird der Raum unter dem Dach z.B. durch einen Kniestock erhöht und dadurch vergrößert (Abb. 3.12). Dazu muss das alte Dach abgetragen werden und durch ein neues ersetzt werden. Im anderen Fall kann ein komplettes neues Stockwerk auf das alte gesetzt werden (Abb. 3.13). Bei beiden Möglichkeiten wird ein neues Dach errichtet. Auch hier bietet das Porenbeton-Massivdach eine gute bauphysikalische und technische Lösung. Nach Erstellung der Giebelwände können die Porenbeton-Dachplatten montiert und die Ringanker erstellt werden. Grundsätzlich sind auf Porenbeton-Dachplatten alle üblichen Eindeckungen möglich. Zu berücksichtigen ist, dass die neu hinzu gekommenen Bauteile bzw. der neu errichtete Teil des Gebäudes die Anforderungen der Energieeinsparverordnung [137] einhalten müssen. Durch den neu geschaffenen Wohnraum ergibt sich zusätzlicher Wärmebedarf. Im Rahmen der Aufstockung sollte die Chance genutzt werden, die Energieeffizienz der bestehenden Anlagentechnik zu prüfen und ggf. zu verbessern.

In Bezug auf die Gestaltung lässt der Einsatz von Porenbeton bei Aufstockungen die größtmögliche Freiheit. Eine Anpassung an die vorgefundene Bausubstanz, wie sie bei charaktervollen älteren Gebäuden wünschenswert ist, ist ebenso möglich wie ein Erscheinungsbild, das Alt und Neu verbindet. Hierfür gibt es viele Beispiele aus der Praxis (s. Kapitel 11).

BERECHNUNG

4.1 Anforderungen an Entwurf und Ausführung

Während der Errichtung, der vorgesehenen Nutzung und bei Instandsetzungsmaßnahmen unterliegen Bauwerke in unterschiedlichem Maße ständigen, veränderlichen, außergewöhnlichen oder seismischen Einwirkungen (Tab. 4.1). Dementsprechend sind Bauwerke so zu entwerfen und auszuführen, dass diese Beanspruchungen mit angemessener Zuverlässigkeit nicht zu folgenden Konsequenzen führen können:

- Einsturz des Bauwerks
- Beschädigungen von Bauteilen oder Einrichtungen und Ausstattungen infolge zu großer Verformungen des Tragwerks
- Beschädigungen durch außergewöhnliche Ereignisse, z. B. durch Brand, Explosion oder Aufprall eines Fahrzeugs
- Versagen durch Erdbeben

Im Tragfähigkeitsnachweis wird nachgewiesen, dass diese Anforderungen erfüllt werden. Darüber hinaus dient der Gebrauchstauglichkeitsnachweis dazu, sicherzustellen, dass das Bauwerk während der vorgesehenen Nutzungsdauer neben seiner Tragfähigkeit auch

seine Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit bei angemessenem Aufwand für den Unterhalt behält.

Die Nachweise der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit, die grundlegend in DIN 1055-100 [64.5] genormt sind, umfassen alle Bemessungssituationen, die während der Errichtungsphase und der geplanten Nutzungsdauer eines Bauwerks auftreten können und welche entsprechend der Einwirkungen folgendermaßen klassifiziert werden:

- Ständige, während der Nutzungszeit planmäßig auftretende Bemessungssituationen
- Vorübergehende und zeitlich begrenzt auftretende Bemessungssituationen, z. B. im Bauzustand oder bei Instandsetzungsarbeiten
- Außergewöhnliche Bemessungssituationen, z. B. im Brandfall
- Bemessungssituation bei Erdbeben

Auf dieser Grundlage werden statisch erforderliche Nachweise geführt. Für Mauerwerk gilt außerdem DIN 1053 [63]. Für bewehrte Wand-, Dach- und Deckenplatten gelten die Normenreihe 4223 [76] oder allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen.

Ständige Einwirkungen		Veränderliche Einwirkungen	$Q_{k,i}$
Eigenlasten	G_k	Nutzlasten, Verkehrslasten	$Q_{k,N}$
		Schnee- und Eislasten	$Q_{k,S}$
Vorspannung	P_k	Windlasten	$Q_{k,W}$
Erddruck	$G_{k,E}$	Temperatureinwirkungen	$Q_{k,T}$
Ständiger Flüssigkeitsdruck	$G_{k,H}$	Veränderlicher Flüssigkeitsdruck	$Q_{k,H}$
		Baugrundsetzungen	$Q_{k,\Delta}^{1)}$
Außergewöhnliche Einwirkungen			A_d
Einwirkungen infolge Erdbeben			A_{Ed}

Tab. 4.1: Unabhängige Einwirkungen auf Bauwerke gemäß DIN 1055-100 [64.5]

¹⁾ Alternativ dürfen für Baugrundsetzungen Bemessungswerte $Q_{d,\Delta}$ verwendet werden.

4.2 Lastannahmen

4.2.1 Eigenlasten (Wichten) von Baustoffen und Bauteilen

Angaben zu Eigenlasten (Wichten) von Porenbetonbauteilen aus DIN 1055-1 [64.1] und allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen enthalten die Tab. 4.2, 4.3 und 4.4.

Tab. 4.2: Rechenwerte der Eigenlasten (Wichten) von Mauerwerk aus unbewehrten Porenbeton-Plansteinen, Porenbeton-Planelementen und Porenbeton-Mauer- tafeln gemäß DIN 1055-1 [64.1] und allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung [49]

Festigkeitsklasse	Rohdichteklasse	Wichte ¹⁾ kN/m ³
2	0,35	4,5
	0,40	5,0
	0,45	5,5
	0,50	6,0
	0,50	6,0
4	0,55	6,5
	0,60	7,0
	0,65	7,5
	0,70	8,0
	0,80	9,0
6	0,60	7,0
	0,65	7,5
	0,70	8,0
	0,80	9,0
8	0,80	9,0
	0,90	10,0
	1,00	11,0

¹⁾ Die Werte schließen den Dünnbett-Fugenmörtel und die übliche Feuchte ein.

Tab. 4.3: Rechenwerte der Eigenlasten (Wichten) von Bauplatten und Planbauplatten aus unbewehrtem Porenbeton gemäß DIN 1055-1 [64.1]

Rohdichteklasse	Wichte ¹⁾ kN/m ³
0,35	4,5
0,40	5,0
0,45	5,5
0,50	6,0
0,55	6,5
0,60	7,0
0,65	7,5
0,70	8,0
0,80	9,0
0,90	10,0
1,00	11,0

¹⁾ Die Werte schließen den Dünnbett-Fugenmörtel und die übliche Feuchte ein. Bei Verwendung von Leicht- und Dünnbettmörtel dürfen die charakteristischen Werte um 0,5 kN/m³ vermindert werden.

Produkt	Festigkeits- klasse	Roh- dichte- klasse	Rechen- wert der Eigenlast kN/m ³
Wandtafeln	3,3	0,45	5,7
	3,3	0,50	6,2
	3,3 oder 4,4	0,55	6,7
	3,3 oder 4,4	0,60	7,2
	4,4	0,65	7,8
Deckenplatten	4,4	0,70	8,4
	3,3	0,45	5,7
	3,3	0,50	6,2
	3,3 oder 4,4	0,55	6,7
	3,3 oder 4,4	0,60	7,2
	4,4	0,65	7,8
	4,4 oder 6,6	0,70	8,4
Dachplatten	4,4 oder 6,6	0,80	9,5
	2,2	0,40	5,2
	2,2 oder 3,3	0,45	5,7
	3,3	0,50	6,2
	3,3 oder 4,4	0,55	6,7
	3,3 oder 4,4	0,60	7,2
	4,4	0,65	7,8
Fertigstürze und Flachstürze	4,4	0,70	8,4
	4,4	0,55	6,7
	4,4	0,60	7,2
	4,4	0,65	7,8
	4,4	0,70	8,4

Tab. 4.4: Rechenwerte der Eigenlasten (Wichten) von bewehrten Produkten aus Porenbeton gemäß DIN 4223 [76] und allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen

4.2.2 Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten

Eigenlasten sind ständig vorhandene und in der Regel unveränderliche Einwirkungen, welche aus dem Gewicht der tragenden oder stützenden Bauteile sowie den unveränderlichen, von den tragenden Bauteilen dauernd aufzunehmenden Lasten (z. B. Auffüllungen, Fußbodenbeläge) resultieren. Bei der Bemessung werden sie als unabhängige ständige Einwirkungen betrachtet. Die charakteristischen Werte der Eigenlasten des Tragwerks und von nicht tragenden Teilen des Bauwerks werden aus den Wichten bzw. Flächenlasten gemäß DIN 1055-1 ermittelt.

Nutzlasten sind veränderliche oder bewegliche Einwirkungen auf ein Bauteil (z. B. Personen, Einrichtungsgegenstände, unbelastete leichte Trennwände, Maschinen, Lagerstoffe, Fahrzeuge usw.). Bei der Bemessung werden sie als unabhängige Einwirkungen betrachtet.

Werte sowie Regelungen zu lotrechten und horizontalen Nutzlasten q_k und Q_k können DIN 1055-3 [64.2] entnommen werden.

4.2.3 Windlasten

Windlasten sind keine ständigen Einwirkungen auf ein Bauwerk, sondern zählen zu den veränderlichen Einwirkungen. Sie können dazu führen, dass ein Bauwerk in Schwingungen gerät. Nach DIN 1055-4 [64.3] gilt ein Bauwerk als nicht schwingungsanfällig gegenüber Böenwirkung, wenn seine Verformungen unter Berücksichtigung der dynamischen Wirkung der Windkräfte die Verformungen aus statischer Windlast um nicht mehr als 10 % überschreiten. Ohne besonderen Nach-

weis dürfen Wohn-, Büro- und Industriegebäude mit einer Höhe bis zu 25 m und ihnen in Form oder Konstruktion ähnliche Gebäude in der Regel als nicht schwingungsanfällig angenommen werden. Ihre Windlasten werden unter bestimmten Voraussetzungen nach einem vereinfachten Verfahren berechnet.

Winddruck

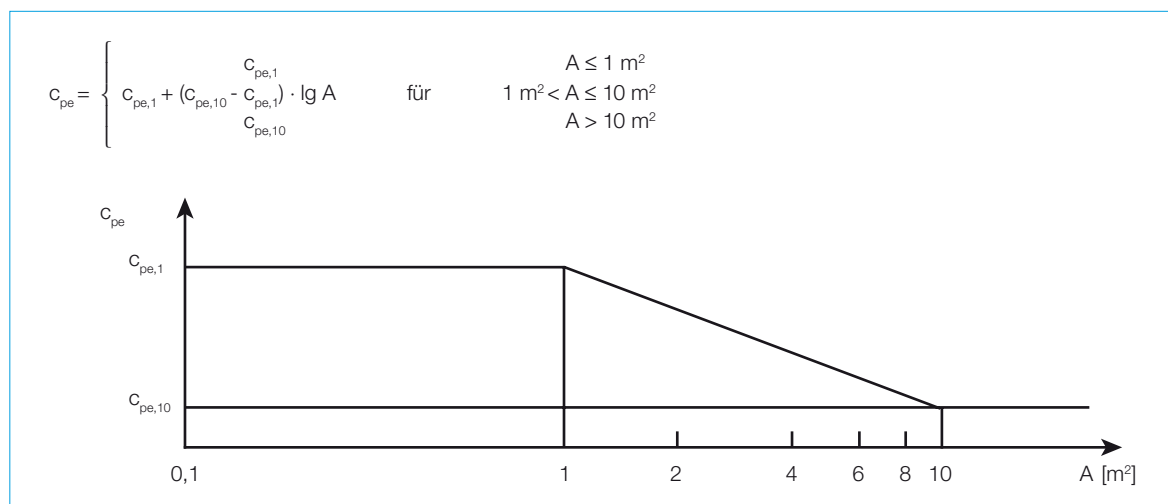
Der Winddruck w_e , der bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken auf die Außenflächen wirkt, berechnet sich aus dem aerodynamischen Beiwert c_{pe} für den Außendruck und dem Geschwindigkeitsdruck q in Abhängigkeit von der Bezugshöhe z_e :

$$w_e = c_{pe} \cdot q(z_e) \quad \text{Gl. (4.1)}$$

Aerodynamischer Beiwert

Für den Außendruckbeiwert c_{pe} ist neben der Gebäudeform die Lasteinzugsfläche A eine maßgebende Einflussgröße. Für unterschiedliche Gebäudeformen können Außendruckbeiwerte c_{pe} z. B. für vertikale Wände rechteckiger Gebäude, Flachdächer und Satteldächer tabellarisch ermittelt werden. Die von den Lasteinzugsflächen $A = 1 \text{ m}^2$ und $A = 10 \text{ m}^2$ beeinflussten Beiwerte werden jeweils als $c_{pe,1}$ und $c_{pe,10}$ angegeben. Für Lasteinzugsflächen abweichender Größe ändert sich der Beiwert entsprechend Abb. 4.1. Die Außendruckbeiwerte gelten für nicht hinterlüftete Wand- und Dachflächen. Bei einer luftdichten Außenwandbekleidung ist der Winddruck wie bei einer einschaligen Wand anzusetzen. Weitere Regelungen finden sich in DIN 1055-4.

Abb. 4.1: Außendruckbeiwerte c_{pe} in Abhängigkeit von der Lasteinzugsfläche A gemäß DIN 1055-4 [64.3]



■ Vertikale Wände rechteckiger Gebäude

Außendrucke für vertikale Wände rechteckiger Gebäude werden nach Gebäudehöhe gestaffelt angesetzt. Die Staffelung erfolgt in Abhängigkeit von dem Verhältnis Baukörperhöhe/Baukörperbreite h/b in

Abb. 4.2: Bezugshöhe z_e in Abhängigkeit von der Höhe h und der Breite b gemäß DIN 1055-4 [64.3]

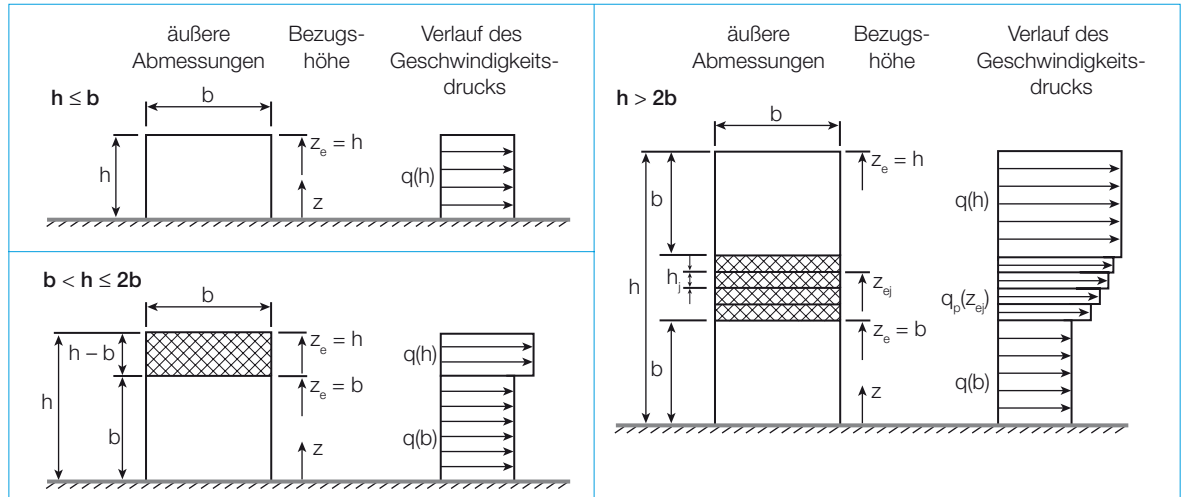
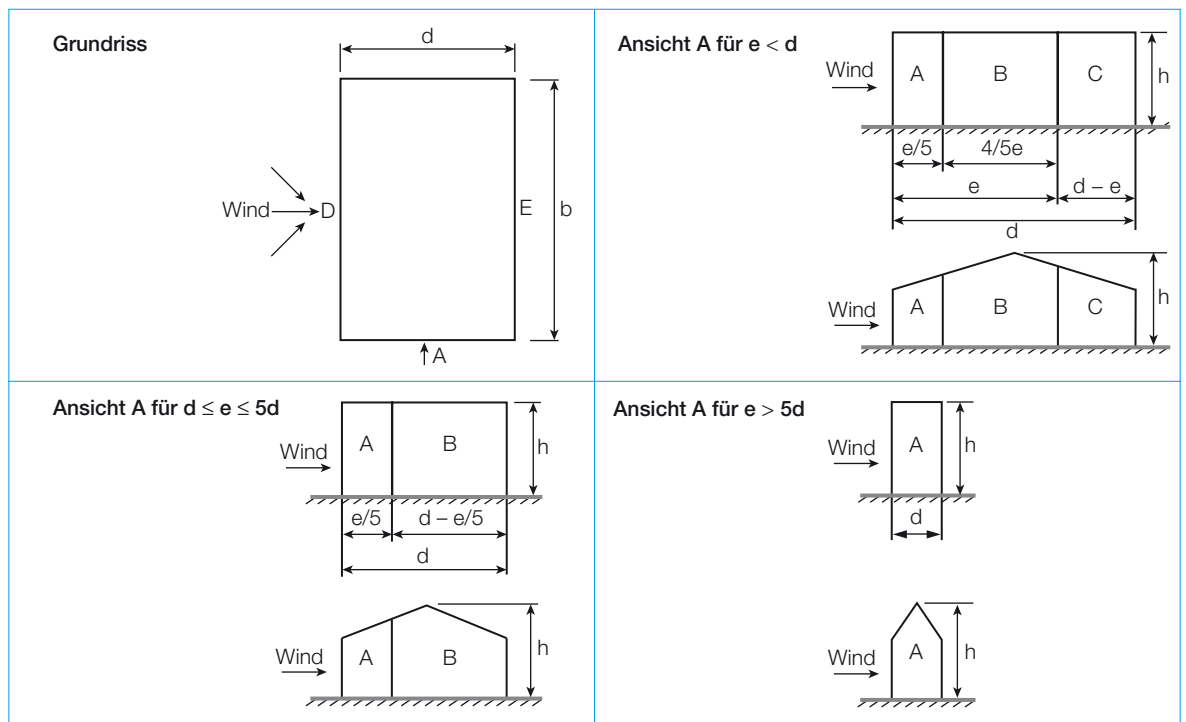


Abb. 4.3: Einteilung der Wandflächen bei vertikalen Wänden gemäß DIN 1055-4 [64.3]



$e = b$ oder $2h$, der kleinere Wert ist maßgebend
b: Abmessung quer zur Anströmrichtung

Tab. 4.5: Außendruckbeiwert c_{pe} für vertikale Wände rechteckiger Gebäude gemäß DIN 1055-4 [64.3]

Bereich	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe, 10}$	$c_{pe, 1}$	$c_{pe, 10}$	$c_{pe, 1}$	$c_{pe, 10}$	$c_{pe, 1}$	$c_{pe, 10}$	$c_{pe, 1}$	$c_{pe, 10}$	$c_{pe, 1}$
≥ 5	-1,4	-1,7	-0,8	-1,1	-0,5	-0,7	+0,8	+1,0	-0,5	-0,7
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	-0,5

Für einzeln in offenem Gelände stehende Gebäude können im Sogbereich auch größere Sogkräfte auftreten. Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

Für Gebäude mit $h/d > 5$ ist die Gesamtwindlast anhand der Kraftbeiwerte aus DIN 1055-4, Abschnitt 12.4 bis 12.6 und 12.7.1 zu ermitteln.

■ Flachdächer

Außendruckbeiwerte $c_{pe,1}$ und $c_{pe,10}$ für Flachdächer (Tab. 4.6) werden in Abhängigkeit von Bereichen F bis I (Abb. 4.4) ermittelt, in die das Flachdach unterteilt wird. Der Einfluss einer Attika oder von abgerundeten Traufbereichen wird mit berücksichtigt.

Tab. 4.6: Außendruckbeiwerte c_{pe} für Flachdächer gemäß DIN 1055-4 [64.3]

		Bereich							
		F		G		H		I	
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
Scharfkantiger Traufbereich		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2 -0,6	
mit Attika	$h_p/h = 0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2 -0,6	
	$h_p/h = 0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2 -0,6	
	$h_p/h = 0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2 -0,6	
Abgerundeter Traufbereich	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		$\pm 0,2$	
	$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		$\pm 0,2$	
	$r/h = 0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		$\pm 0,2$	
Abgeschrägter Traufbereich	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		$\pm 0,2$	
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		$\pm 0,2$	
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		$\pm 0,2$	

Bei Flachdächern mit Attika oder abgerundetem Traufbereich darf für Zwischenwerte h_p/h und r/h linear interpoliert werden. Bei Flachdächern mit mansarddachartigem Traufbereich darf für Zwischenwerte von α zwischen $\alpha = 30^\circ$, 45° und 60° linear interpoliert werden. Für $\alpha > 60^\circ$ darf zwischen den Werten für $\alpha = 60^\circ$ und den Werten für Flachdächer mit rechtwinkligem Traufbereich interpoliert werden. Im Bereich I, für den positive und negative Werte angegeben werden, müssen beide Werte berücksichtigt werden. Für die Schräge des mansarddachartigen Traufbereichs selbst werden die Außendruckbeiwerte in DIN 1055-4, Tab. 6 „Außendruckbeiwerte für Sattel- und Trogdächer“ Anströmrichtung $\theta = 0^\circ$, Bereiche F und G, in Abhängigkeit von dem Neigungswinkel des mansarddachartigen Traufbereichs angegeben. Für den abgerundeten Traufbereich selbst werden die Außendruckbeiwerte entlang der Krümmung durch lineare Interpolation entlang der Kurve zwischen dem Wert an der vertikalen Wand und auf dem Dach ermittelt.

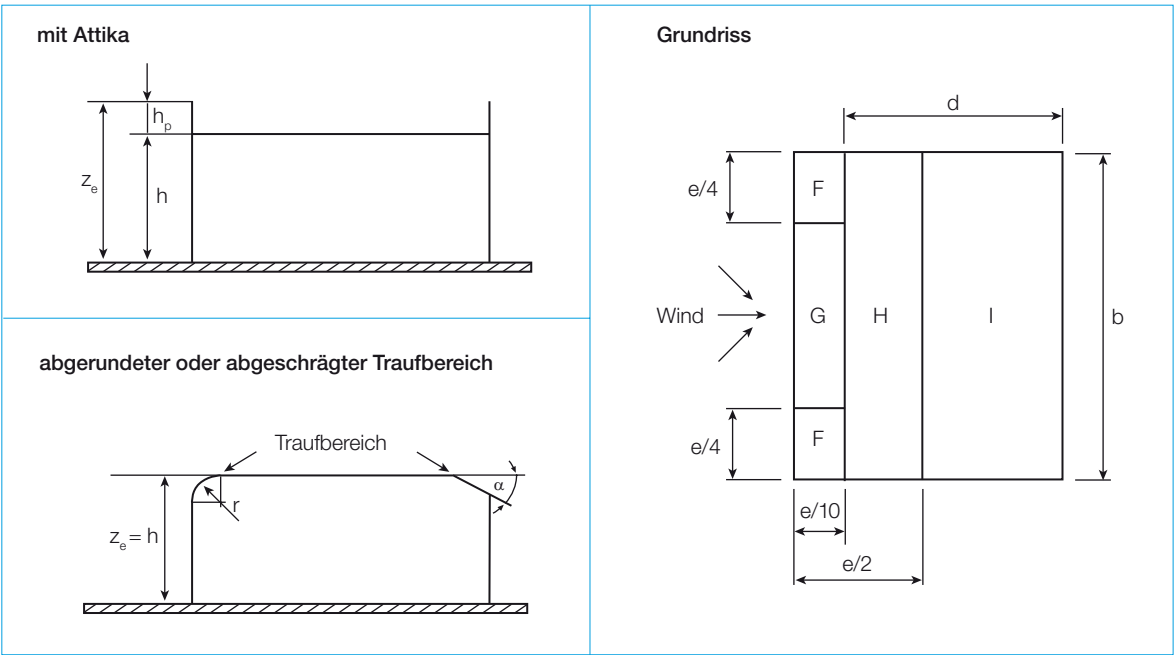
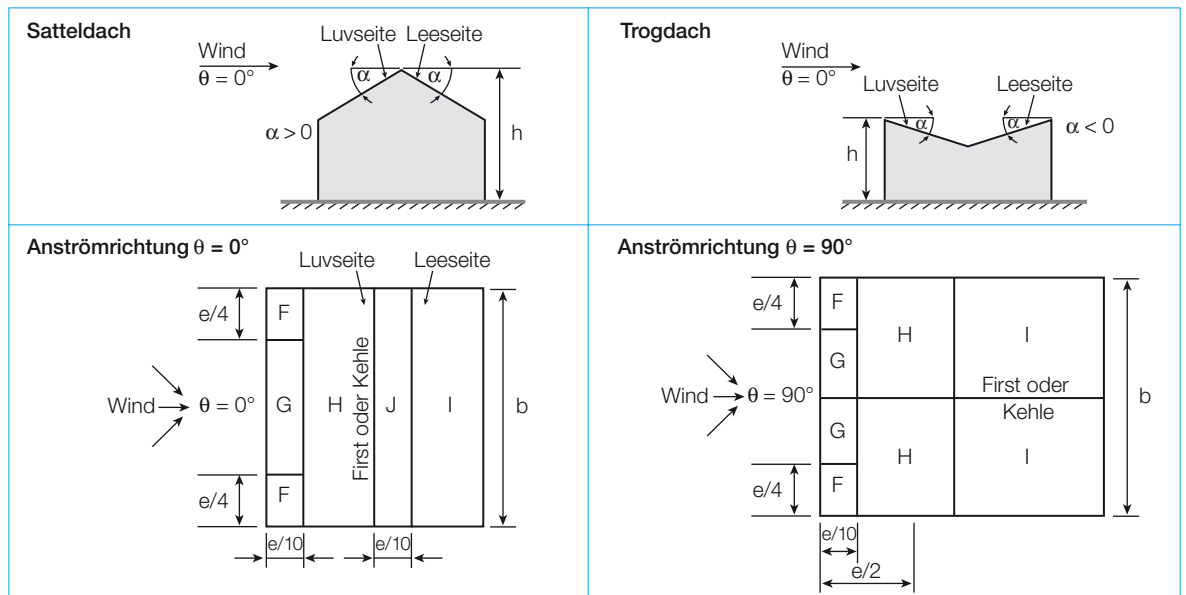


Abb. 4.4: Einteilung der Dachflächen bei Flachdächern gemäß DIN 1055-4 [64.3]

$e = b$ oder $2h$, der kleinere Wert ist maßgebend
 b : Abmessung quer zum Wind

Abb. 4.5: Einteilung der Dachflächen bei Sattel- und Trogdächern gemäß DIN 1055-4 [64.3]



$e = b$ oder $2h$, der kleinere Wert ist maßgebend
 b : Abmessung quer zum Wind

Tab. 4.7: Außendruckbeiwert c_{pe} für Sattel- und Trogdächer gemäß DIN 1055-4 [64.3]

Neigungswinkel α	Anströmrichtung $\theta = 0^\circ$									
	Bereich									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe, 10}$	$c_{pe, 1}$	$c_{pe, 10}$	$c_{pe, 1}$	$c_{pe, 10}$	$c_{pe, 1}$	$c_{pe, 10}$	$c_{pe, 1}$	$c_{pe, 10}$	$c_{pe, 1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,6 / +0,2		-0,6 / +0,2	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6 / +0,2		-0,6 / +0,2	
10°	-1,3	-2,2	-1,0	-1,7	-0,4		-0,5 / +0,2		-0,8 / +0,2	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2					
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4					
45°	+0,7		+0,7		+0,6		-0,4		-0,5	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,4		-0,5	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,4		-0,5	

Neigungswinkel α	Anströmrichtung $\theta = 90^\circ$							
	Bereich							
	F		G		H		I	
	$c_{pe, 10}$	$c_{pe, 1}$	$c_{pe, 10}$	$c_{pe, 1}$	$c_{pe, 10}$	$c_{pe, 1}$	$c_{pe, 10}$	$c_{pe, 1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6 / +0,2	
10°	-1,4	-2,1	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6 / +0,2	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

Satteldächer

Satteldächer werden zunächst in Bereiche F bis J eingeteilt (Abb. 4.5). Die Bezugshöhe z_e entspricht der Gebäudehöhe h . Je nach Bereich, Neigungswinkel des Daches und Anströmrichtung werden die Außendruckbeiwerte $c_{pe,1}$ und $c_{pe,10}$ ermittelt (Tab. 4.7).

Geschwindigkeitsdruck

Bei Bauwerken bis zu einer Höhe von 25 m über Grund wird ein Geschwindigkeitsdruck q in Abhängigkeit von Windzonen mit den Bezeichnungen WZ 1 (z. B. Binnenland) bis WZ 4 (z. B. Nordseeküste) vereinfachend konstant über die gesamte Gebäudehöhe angenommen (Abb. 4.6 und Tab. 4.8). Im Regelfall wird der Geschwindigkeitsdruck aber auch durch Bodenrauigkeit, Bewuchs und Bebauung beeinflusst. Eine genauere Berücksichtigung erfolgt jedoch nur für Bauwerke, die höher als 25 m sind.

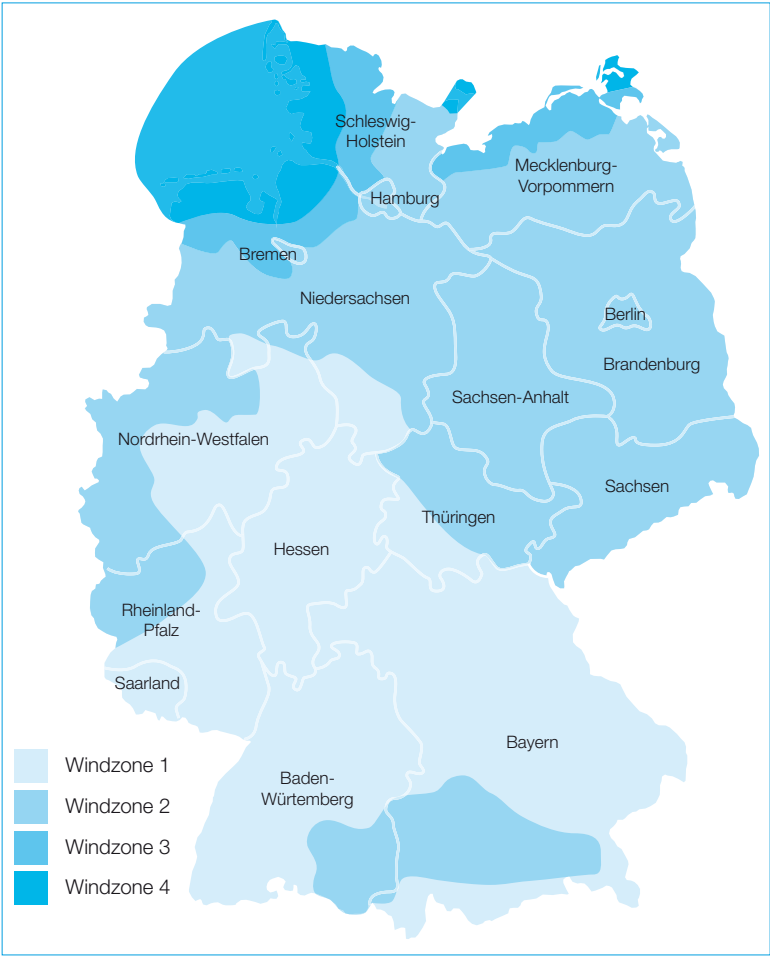


Abb. 4.6: Windzonenkarte für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland gemäß DIN 1055-4 [64.3]

Windzone		Geschwindigkeitsdruck q [kN/m ²] bei einer Gebäudehöhe h in den Grenzen von		
		$h \leq 10 \text{ m}$	$10 \text{ m} < h \leq 18 \text{ m}$	$18 \text{ m} < h \leq 25 \text{ m}$
1	Binnenland	0,50	0,65	0,75
2	Binnenland	0,65	0,80	0,90
	Küste und Inseln der Ostsee	0,85	1,00	1,10
3	Binnenland	0,80	0,95	1,10
	Küste und Inseln der Ostsee	1,05	1,20	1,30
4	Binnenland	0,95	1,15	1,30
	Küste der Nord- und Ostsee und Inseln an der Ostsee	1,25	1,40	1,55
	Inseln der Nordsee	1,40	-	-

Tab. 4.8: Vereinfachte Geschwindigkeitsdrücke für Bauwerke bis 25 m Höhe gemäß DIN 1055-4 [64.3]

4.2.4 Schneelasten

Schneelast auf Dächern

Die Schneelast auf Dächern wird gemäß DIN 1055-5 [64.4] aus einem Formbeiwert der Schneelast μ_i zur Berücksichtigung der Dachform und dem charakteristischen Wert der Schneelast auf dem Boden s_k ermittelt:

$$s_i = \mu_i \cdot s_k \quad \text{Gl. (4.2)}$$

Die Last ist als lotrecht wirkend anzunehmen und bezieht sich auf die waagrechte Projektion der Dachfläche. Die Lastbilder der Schneelast sind beispielhaft für flache und einseitig geneigte Dächer der Abb. 4.7 und für Satteldächer der Abb. 4.8 zu entnehmen. Bei Flachdächern wird die anzusetzende Schneelast als gleichmäßig verteilte Voll-Last angenommen, während bei Satteldächern je nach Lastbild der ungünstigste Fall zu berücksichtigen ist.

Abb. 4.7: Lastbild der Schneelast für flache und einseitig geneigte Dächer gemäß DIN 1055-5 [64.4]

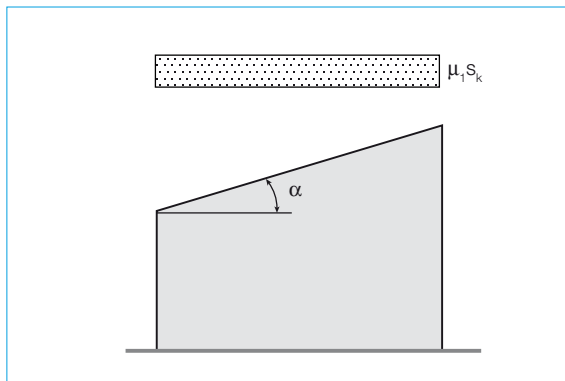
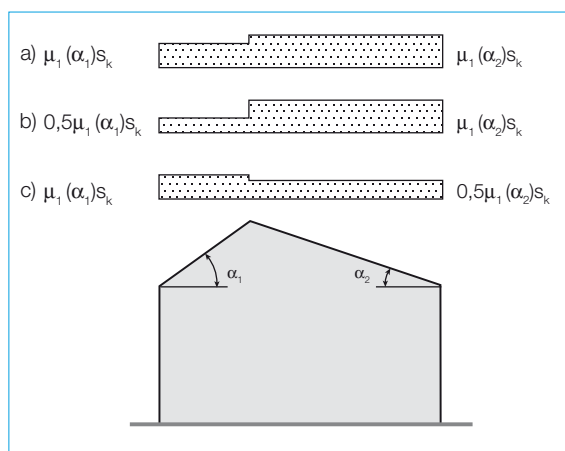


Abb. 4.8: Lastbild der Schneelast für Satteldächer gemäß DIN 1055-5 [64.4]



Formbeiwert der Schneelast

Formbeiwerte zur Berechnung von Schneelasten auf Dächern beziehen sich auf ausreichend wärmege-dämmte Konstruktionen ($U \leq 1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) mit üblicher Dacheindeckung. Sofern im Einzelfall keine weiteren Angaben vorliegen, gelten sie näherungsweise auch für Glaskonstruktionen. Formbeiwerte werden u. a. in Abhängigkeit von der Dachform und der Dachneigung ermittelt. Für flache und geneigte Dächer können die Formbeiwerte Abb. 4.9 und Tab. 4.9 entnommen werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Schnee ungehindert vom Dach abrutschen kann. Ist z. B. ein Schneefanggitter oder ein anderes Hindernis vorhanden, ist als Formbeiwert der Schneelast mindestens $\mu = 0,8$ zu wählen.

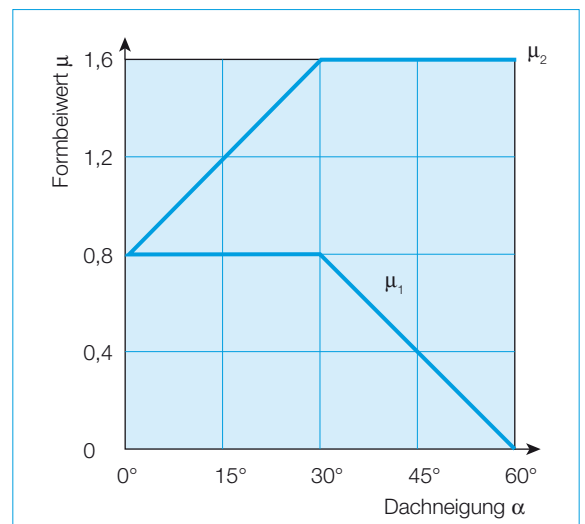


Abb. 4.9: Formbeiwert der Schneelast μ für flache und geneigte Dächer gemäß DIN 1055-5 [64.4]

Dachneigung α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha > 60^\circ$
Formbeiwert μ_1	0,8	$0,8 \frac{(60^\circ - \alpha)}{30^\circ}$	0
Formbeiwert μ_2	$0,8 + \frac{0,8 \alpha}{30^\circ}$	1,6	1,6

Tab. 4.9: Formbeiwerte der Schneelast μ für flache und geneigte Dächer gemäß DIN 1055-5 [64.4]

Schneelast auf dem Boden

Charakteristische Werte für Schneelasten s_k auf dem Boden werden in Abhängigkeit von den Schneelastzonen 1 (z. B. Düsseldorf) bis 3 (z. B. Garmisch-Partenkirchen) und der Geländehöhe A über Meeresniveau ermittelt (Abb. 4.10). Für die Schneelastzonen 1a und 2a ergeben sich die charakteristischen Werte jeweils durch Erhöhung der Werte aus den Zonen 1 und 2 mit einem Faktor 1,25. Die Sockelbeträge werden in gleicher Weise angehoben.

Zone 1:

$$s_k = 0,19 + 0,91 \cdot \left(\frac{A + 140}{760} \right)^2$$

Zone 2:

$$s_k = 0,25 + 1,91 \cdot \left(\frac{A + 140}{760} \right)^2$$

Zone 3:

$$s_k = 0,31 + 2,91 \cdot \left(\frac{A + 140}{760} \right)^2$$

s_k charakteristischer Wert der Schneelast auf dem Boden [kN/m²]

A Geländehöhe über Meeresniveau [m]

4.2.5 Erdbebenlasten

Die Ermittlung von Erdbebenlasten auf Hochbauten ist Bestandteil von DIN 4149 [73]. Sie gilt für den Entwurf, die Bemessung und die Konstruktion baulicher Anlagen des üblichen Hochbaus aus Stahlbeton, Stahl, Holz oder Mauerwerk in deutschen Erdbebengebieten. Wesentliches Ziel der Norm ist es, im Falle eines Erbebens durch Sicherstellung der Standsicherheit von Bauwerken Menschenleben zu schützen. Leichte Schäden und Einschränkungen in der Gebrauchstauglichkeit werden hingenommen. Beim Erdbeben dürfen z. B. durchaus Risse in Mauerwerk entstehen, jedoch darf die Standsicherheit nicht gefährdet werden.

Grundsätze des erdbebengerechten Entwerfens

Zu einer erdbebengerechten Konzeption von Bauwerken gehört ein erdbebengerechter Entwurf, der bestimmte Konstruktionsmerkmale wie Regelmäßigkeitskriterien hinsichtlich der Grundriss- und Aufrissgestaltung berücksichtigt.

Die Kriterien für die Regelmäßigkeit im Grundriss besagen, dass ein Gebäudegrundriss bezüglich der Horizontalsteifigkeit und der Mas-

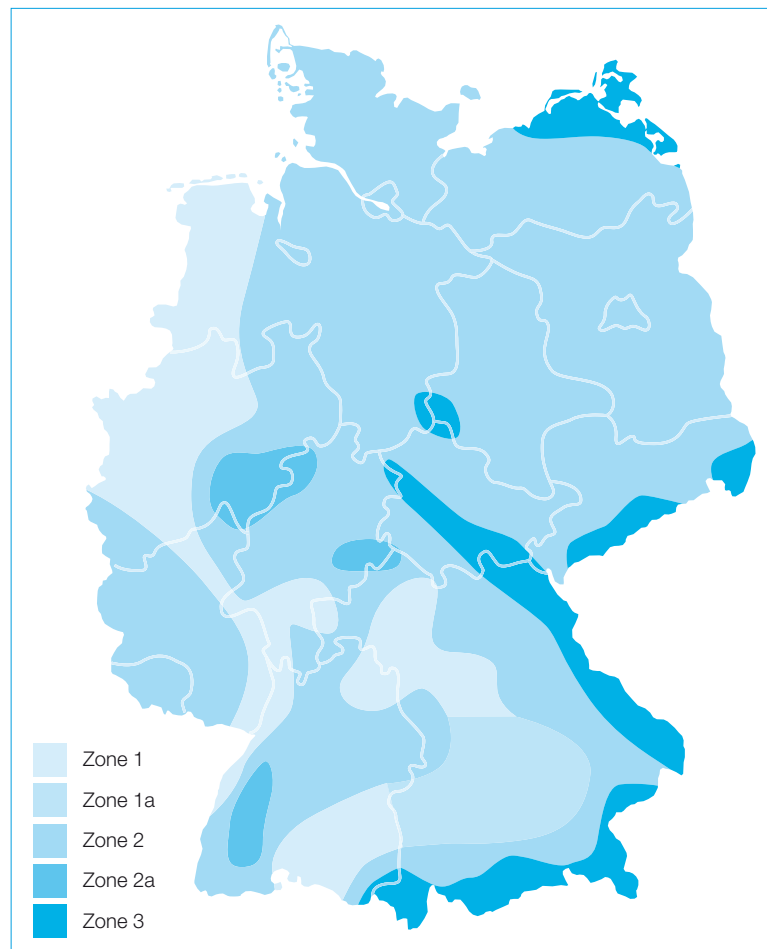


Abb. 4.10: Schneelastzonenkarte gemäß DIN 1055-5 [64.4]

senverteilung um zwei zueinander senkrechte Achsen nahezu symmetrisch ist. Außerdem ist der Gebäudegrundriss kompakt, damit die Geschossdecken bei einem Erdbeben ihre Form und Steifigkeit behalten. Rückspringende Ecken und Nischen im Grundriss können das Aussteifungssystem beeinträchtigen und sind daher zu vermeiden. Die Steifigkeit von Decken in ihrer Ebene muss im Vergleich zur Horizontalsteifigkeit der durch die Decken gekoppelten Stützen und Wände ausreichend groß sein.

Bei der Aufrissgestaltung ist z. B. zu beachten, dass die Steifigkeit über die Bauwerkshöhe gleichmäßig verteilt wird. Alle an der Aufnahme von Horizontallasten beteiligten

Tragwerksteile verlaufen ohne Unterbrechung von der Gründung bis zur Oberkante des Gebäudes. Größere sprunghafte Veränderungen mit der Bauwerkshöhe werden vermieden. Bei Skelettbauten bleibt das Verhältnis der tatsächlich vorhandenen Tragfähigkeit für Horizontallasten zur rechnerisch erforderlichen Tragfähigkeit für aufeinanderfolgende Geschosse möglichst gleich.

Gebäude mit einer Regelmäßigkeit im Grundriss und Aufriss verhalten sich im Erdbebenfall günstiger. Dies kann wirtschaftliche Vorteile bieten und das Erdbeben-Verhalten lässt sich rechnerisch einfacher erfassen.

Empfehlungen für einen erdbebengerechten Entwurf

Zum Entwurf von baulichen Anlagen in Erdbebengebieten empfiehlt DIN 4149 die Einhaltung folgender Kriterien:

- Das Tragwerk ist einfach konzipiert, d.h. es wird ein System mit eindeutigen und direkten Wegen für die Übertragung der Erdbebenkräfte gewählt.
- In jeder der Hauptrichtungen werden aussteifende Tragwerksteile mit ähnlicher Steifigkeit und Tragfähigkeit gewählt.
- Steifigkeitssprünge zwischen übereinander liegenden Geschossen werden vermieden.
- Unterschiedliche Höhenlagen horizontal benachbarter Geschosse werden vermieden.
- Bei gleichzeitiger Vermeidung von Massenexzentrizitäten, die zu erhöhten Torsionsbeanspruchungen führen, werden torsionssteife Konstruktionen gewählt.
- Imperfektionsempfindliche und stabilitätsgefährdete Konstruktionen sowie Bauteile, deren Standsicherheit schon bei kleinen Auflagerbewegungen gefährdet ist, werden vermieden.
- Geschossdecken werden als Scheiben zur Verteilung der horizontalen Trägheitskräfte auf die aussteifenden Elemente ausgebildet.
- Es werden Gründungskonstruktionen ausgewählt, die eine einheitliche Verschiebung der verschiedenen Gründungsteile bei Erdbebanregung sicherstellen.
- Es werden duktile Konstruktionen mit der Fähigkeit zu möglichst großer Energiedissipation gewählt.
- Große Massen in oberen Geschossen werden vermieden.

- Falls erforderlich: Das Tragwerk wird mittels Fugen in dynamisch unabhängige Einheiten aufgeteilt.

Erdbebeneinwirkung

Im größten Teil der Bundesrepublik Deutschland sind in den letzten Jahrhunderten keine intensitätsstarken Erdbeben verzeichnet worden, so dass eine Bemessung hinsichtlich besonderer seismischer Einwirkungen nicht erforderlich ist. Der kleinere Teil teilt sich auf in einen Übergangsbereich, der als Erdbebenzone 0 (z. B. Frankfurt/Main) definiert ist, und in die Erdbebenzonen 1 (z. B. Karlsruhe) bis 3 (z. B. Tübingen) (Abb. 4.11). Als zonenspezifischer Einwirkungsparameter gilt der Bemessungswert der Bodenbeschleunigung a_g , der den Erdbebenzonen zugeordnet ist. Darüber hinaus sind innerhalb

einer Erdbebenzone die Eigenschaften des Baugrundes (Baugrundklassen A, B und C) von Einfluss. Die darunter liegenden Schichten stellen den geologischen Untergrund (geologische Untergrundklassen R, S und T) dar. Auf Grundlage der Erdbebenzonierung wird die seismische Einwirkung durch ein sogenanntes elastisches Antwortspektrum erfasst. Dies beschreibt die Antwort eines elastisch sich verformenden Bauwerks auf ein Erdbeben.

Entsprechend ihrer Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit und der mit einem Einsturz verbundenen Folgen (z. B. Gefahr für Menschenleben oder Verlust von Sachwerten) werden Hochbauten nach Bedeutungskategorien klassifiziert (Tab. 4.10).

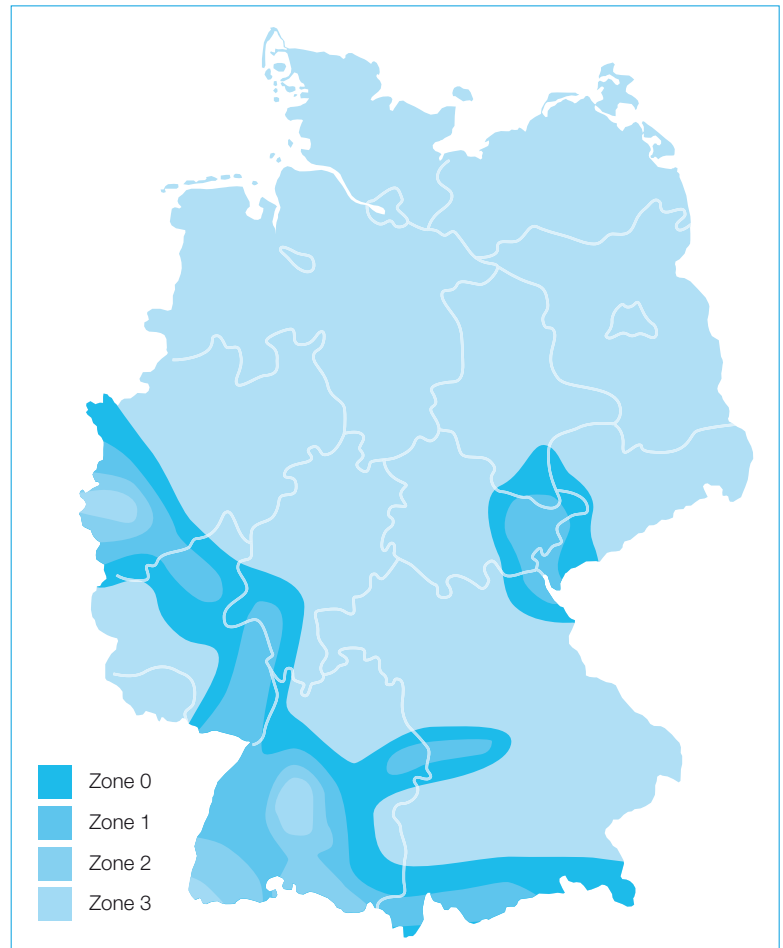


Abb. 4.11: Erdbebenzonen in der Bundesrepublik Deutschland [73]

Bedeutungskategorie	Bauwerke	Bedeutungsbeiwert γ_t
I	Bauwerke von geringer Bedeutung für die öffentliche Sicherheit, z. B. landwirtschaftliche Bauten usw.	0,8
II	Gewöhnliche Bauten, die nicht zu den anderen Kategorien gehören, z. B. Wohngebäude	1,0
III	Bauwerke, deren Widerstandsfähigkeit gegen Erdbeben im Hinblick auf die mit einem Einsturz verbundenen Folgen wichtig ist, z. B. große Wohnanlagen, Verwaltungsgebäude, Schulen, Versammlungshallen, kulturelle Einrichtungen, Kaufhäuser usw.	1,2
IV	Bauwerke, deren Unversehrtheit im Erdbebenfall von Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit ist, z. B. Krankenhäuser, wichtige Einrichtungen des Katastrophenschutzes und der Sicherheitskräfte, Feuerwehrhäuser usw.	1,4

Tab. 4.10: Bedeutungskategorien und Bedeutungsbeiwerte für Hochbauten gemäß DIN 4149 [73]

Nachweis der Standsicherheit

Der Nachweis der Standsicherheit im Grenzzustand der Tragfähigkeit kann für Hochbauten der Bedeutungskategorien I bis III als erbracht angesehen werden, wenn zwei wesentliche Bedingungen erfüllt sind:

- Die für die Kombination in der Erdbebenbemessungssituation mit einem Verhaltensbeiwert $q = 1,0$ ermittelte horizontale Gesamterdbebenkraft ist kleiner als die maßgebende Horizontalkraft, die sich aus den anderen zu untersuchenden Einwirkungskombinationen ergibt.
- Die zu Beginn dieses Abschnitts aufgelisteten Empfehlungen für einen erdbebengerechten Entwurf werden eingehalten.

Sind diese Bedingungen nicht erfüllt, wird die Standsicherheit gemäß DIN 4149 nach einem vereinfachten Verfahren oder rechnerisch nachgewiesen.

Besondere Regeln für Mauerwerksbauten

Für Mauerwerksbauten gelten besondere Regeln. Sie enthalten Definitionen, zusätzliche Anforderungen an Mauerwerksbaustoffe, spezielle Konstruktionsregeln und die Nachweisführung im Grenzzustand der Tragfähigkeit.

■ Definitionen

Mauerwerksbauten sind als Bauten definiert, bei denen Horizontallasten überwiegend über tragende Wände aus Mauerwerk abgetragen werden. Tragende Wände, die der Aussteifung gegen horizontale Einwirkungen dienen, werden als Schubwände bezeichnet. Für Hochbauten aus Mauerwerk in den Erdbebenzonen 1 bis 3 gelten die unten genannten Festlegungen zu Baustoffen und Konstruktionen zusätzlich zu denen nach DIN 1053-1 [63.1], DIN 1053-3 [63.2] und DIN 1053-4 [63.3]. Für nicht tragende Außenschalen von zweischaligem Mauerwerk nach DIN 1053-1 in Gebäuden, die Tab. 4.11

Erdbebenzone	Bedeutungskategorie	Maximale Anzahl von Vollgeschossen
1	I bis III	4
2	I und II	3
3	I und II	2

Tab. 4.11: Bedeutungskategorie und zulässige Anzahl der Vollgeschosse für Hochbauten ohne rechnerischen Standsicherheitsnachweis gemäß DIN 4149 [73]

entsprechen, ist ein rechnerischer Nachweis für den Lastfall Erdbeben nicht erforderlich. In Abhängigkeit von der Art des für erdbebenwiderstandsfähige Bauteile verwendeten Mauerwerks sind Mauerwerksbauten einem der folgenden Bauwerkstypen zuzuordnen:

- Bauwerke aus unbewehrtem Mauerwerk
- Bauwerke aus eingefasstem Mauerwerk
- Bauwerke aus bewehrtem Mauerwerk

■ Besondere Anforderungen an Mauerwerksbaustoffe

Für Hochbauten aus Mauerwerk in deutschen Erdbebengebieten wird die Verwendung von Mauersteinen und Mauermörteln nach DIN 1053-1 zugelassen. Mauersteine für Schubwände aus Mauerwerk, die keine in Wandlängsrichtung durchlaufenden Innenstege haben, müssen in den Erdbebenzonen 2 und 3 in der in Wandlängsrichtung vorgesehenen Steinrichtung eine mittlere Steindruckfestigkeit von mindestens $2,5 \text{ N/mm}^2$ aufweisen.

■ Allgemeine Konstruktionsregeln

Neben den oben genannten Empfehlungen für den Entwurf von baulichen Anlagen in Erdbebengebieten ist zu beachten, dass Hochbauten aus Mauerwerk in allen Vollgeschossen durch Geschossdecken ausgesteift werden. Die Aussteifungswirkung muss in allen Horizontalrichtungen gegeben sein. Wände können nur dann zur Aussteifung herangezogen werden, wenn die Mindestanforderungen an Schubwände nach Tab. 4.12 erfüllt sind.

Tab. 4.12: Mindestanforderungen an aussteifende Wände (Schubwände) gemäß DIN 4149 [73]

Erdbebenzone	h_k/t	t mm	l mm
1	nach DIN 1053-1		≥ 740
2	≤ 18	$\geq 150^{1)}$	≥ 980
3	≤ 15	≥ 175	≥ 980

¹⁾ Wände der Wanddicke ≥ 115 mm dürfen zusätzlich berücksichtigt werden, wenn $h_k/t \leq 15$ ist

h_k Knicklänge nach DIN 1053-1

t Wanddicke

l Wandlänge

■ Zusätzliche Konstruktionsregeln für eingefasstes Mauerwerk

Horizontale und vertikale Einfassungsbauteile sind miteinander zu verbinden und in den Bauteilen des Haupttragwerks zu verankern. Um einen wirksamen Verbund zwischen den Einfassungsbauteilen und dem Mauerwerk zu erzielen, sind Einfassungsbauteile erst nach Ausführung des Mauerwerks zu betonnieren. Die Querschnittsabmessung sowohl der horizontalen als auch der vertikalen Einfassungselemente soll nicht kleiner als 100 mm in jeder Richtung sein. Vertikale Einfassungselemente, die rechnerisch in Ansatz gebracht werden, sind folgendermaßen anzuordnen:

- An den freien Enden jedes tragenden Wandbauteils.
- Zu beiden Seiten jeder Wandöffnung mit einer Fläche von mehr als 1,5 m².
- Innerhalb einer Wand, wenn ein Abstand von 5 m zwischen zwei Einfassungselementen überschritten wird.
- An Kreuzungspunkten von tragenden Wänden, wenn die nach den o. g. Regeln angeordneten Einfassungselemente einen Abstand von mehr als 1,5 m von diesem Kreuzungspunkt haben.

Horizontale Einfassungselemente sind in der Wandebene, in der Höhe jeder Decke und in jedem Fall in vertikalen Abständen von nicht mehr als 4 m anzuordnen. Als horizontale Einfassungselemente gelten entsprechend bewehrte Stahlbetondecken, Ringbalken usw. Die Bewehrung von Einfassungselementen soll einen Mindestquerschnitt von 1 cm² oder 1 % der Querschnittsfläche des Einfassungselements nicht unterschreiten. Die Verbügelung der Längsbewehrung ist nach DIN 1045-1 [62] auszuführen, wobei Bewehrungsstahl nach DIN 488 [59] oder allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen zu verwenden ist. Für die Verankerung der Bewehrungsstäbe gilt DIN 1045-1.

■ Zusätzliche Konstruktionsregeln für bewehrtes Mauerwerk

In die Lagerfugen oder in geeignete Nuten der Mauersteine ist mit einem vertikalen Abstand von nicht mehr als 625 mm eine horizontale Bewehrung einzulegen. Für den Mindestbewehrungsgehalt gilt DIN 1053-3. Hohe Bewehrungsgehalte der Horizontalbewehrung, die gegebenenfalls zum Druckversagen der Mauersteine vor dem Fließen des Stahls führen könnten, sind zu vermeiden. In geeigneten Aussparungen von Mauersteinen ist eine vertikale Bewehrung mit einer Querschnittsfläche von nicht weniger als 1 cm² an folgenden Stellen anzuordnen:

- An beiden freien Enden jedes Wandbauteils.
- An jeder Wandkreuzung.
- Innerhalb der Wand, falls ein Abstand von 5 m zwischen 2 Vertikalbewehrungen überschritten wird.

Die Bestimmungen zur Verbügelung der Längsbewehrung, zum Bewehrungsstahl und zur Verankerung der Bewehrungsstäbe gelten sinngemäß wie im vorhergehenden Abschnitt.

■ Konstruktive Regeln für Mauerwerksbauten ohne rechnerischen Nachweis der Standsicherheit

Auf einen rechnerischen Nachweis der Standsicherheit im Grenzzustand der Tragfähigkeit kann verzichtet werden, wenn zusätzlich zu den in den vorhergehenden Abschnitten genannten Anforderungen folgende wesentliche konstruktive Regeln eingehalten werden:

- Der Gebäudegrundriss ist kompakt, d. h. das Breiten-Längen-Verhältnis beträgt $b/l \geq 0,25$.
- Die maximale Anzahl der Vollgeschosse entspricht Tab. 4.11.
- Die maximale Geschosshöhe beträgt 3,50 m.
- Bei der Anordnung aussteifender Wände: Der Steifigkeitsmittelpunkt und der Massenschwerpunkt liegen nahe beieinander.
- Eine ausreichende Torsionssteifigkeit ist sichergestellt.
- Aussteifende Wände gehen über alle Geschosse durch.
- Aussteifende Wände tragen den überwiegenden Teil der vertikalen Lasten.
- Vertikallasten werden auf die aussteifenden Wände in beiden Gebäuderichtungen verteilt.

Tab. 4.13: Mindestanforderungen an die auf die Geschossgrundrissfläche bezogene Querschnittsfläche von Schubwänden je Gebäudeausrichtung gemäß DIN 4149 [73]

Anzahl der Voll- geschosse	$a_g \cdot S \cdot \gamma_I$ $\leq 0,06 \text{ g} \cdot \text{k}^{(1)}$			$a_g \cdot S \cdot \gamma_I$ $\leq 0,09 \text{ g} \cdot \text{k}^{(1)}$			$a_g \cdot S \cdot \gamma_I$ $\leq 0,12 \text{ g} \cdot \text{k}^{(1)}$		
	Steinfestigkeitsklasse nach DIN 1053-1 ⁽²⁾⁽³⁾								
	4	6	≥ 12	4	6	≥ 12	4	6	≥ 12
1	0,02	0,02	0,02	0,03	0,025	0,02	0,04	0,03	0,02
2	0,035	0,03	0,02	0,055	0,045	0,03	0,08	0,05	0,04
3	0,065	0,04	0,03	0,08	0,065	0,05	Kein vereinfachter Nachweis zu- lässig (KvNz)		
4	KvNz	0,05	0,04	KvNz					

¹⁾ Für Gebäude, bei denen mindestens 70 % der betrachteten Schubwände in einer Richtung länger als 2 m sind, beträgt der Beiwert $k = 1 + (l_{av} - 2)/4 \leq 2$. Dabei ist l_{av} die mittlere Wandlänge der betrachteten Schubwände in m. In allen anderen Fällen beträgt $k = 1$. Der Wert γ_I wird nach DIN 4149, Abschnitt 5.3 bestimmt.

²⁾ Bei Verwendung unterschiedlicher Steinfestigkeitsklassen, z. B. für Innen- und Außenwände, sind die Anforderungswerte im Verhältnis der Flächenanteile der jeweiligen Steinfestigkeitsklasse zu wichten.

³⁾ Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

- Das Gebäude ist in beide Richtungen durch genügend lange Schubwände ausreichend ausgesteift.
- Die Mindestanforderungen an die auf die Geschossgrundrissfläche bezogene Querschnittsfläche von Schubwänden gemäß Tab. 4.13 werden eingehalten.
- Je Gebäudeausrichtung sind mindestens zwei Schubwände vorhanden, die mindestens 1,99 m lang sind.
- Für den Bemessungswert $a_g \cdot S \cdot \gamma_I \leq 0,09 \cdot g \cdot k$ müssen mindestens 50 % der Wandquerschnittsflächen gemäß Tab. 4.13 aus Wänden mit mindestens 1,99 m Länge bestehen.
- Die Verwendung der Steinfestigkeitsklasse 2 für Außenwände ist zulässig, wenn in jeder Richtung wenigstens 50 % der erforderlichen Wandquerschnittsfläche der Schubwände aus Mauerwerk der Festigkeitsklasse 4 oder höher bestehen. Die Gesamtquerschnittsfläche der Schubwände entspricht dann den in Tab. 4.13 genannten Werten für die Steinfestigkeitsklasse 4.

Die prozentuale Bestimmung der Mindestquerschnittsflächen der Schubwände je Gebäudeausrichtung ist von der Anzahl der Vollgeschosse, der Steinfestigkeitsklasse, dem Bemessungswert der Bodenbeschleunigung a_g , dem Untergrundparameter S sowie dem Bedeutungsbeiwert γ_I abhängig. Mit diesen einfachen Regeln kann der vereinfachte Nachweis leicht erbracht werden und sollte daher dem rechnerischen Nachweis vorgezogen werden.

Falls der Nachweis der Standsicherheit aus bestimmten Gründen rechnerisch geführt werden soll, werden die Rechenverfahren gemäß DIN 1053 sowie Abschnitt 11.7 der DIN 4149 angewendet.

4.3 Mauerwerk

4.3.1 Berechnungsverfahren

Mauerwerk kann entweder nach einem globalen Sicherheitskonzept gemäß DIN 1053-1 oder nach einem Teilsicherheitskonzept gemäß DIN 1053-100 [63.4] berechnet werden. Die Berechnung darf nur vollständig nach DIN 1053-1 oder DIN 1053-100 erfolgen, eine gemischte Berechnung nach beiden Regelwerken ist nicht zulässig. Ergänzend sind DIN 1055 [64] und DIN 4149 anzuwenden und die Bestimmungen aus allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen zu berücksichtigen.

4.3.2 Berechnung gemäß DIN 1053-1

Für die Berechnung gemäß DIN 1053-1 stehen ein vereinfachtes und ein genaues Verfahren zur Verfügung. Bei der Bemessung nach dem genaueren Verfahren unter Ansatz von Festigkeiten gemäß DIN 1053-100 ist nachzuweisen, dass γ -fache Lasten im Bruchzustand aufnehmbar sind. Soll das vereinfachte Verfahren angewendet werden, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Die Voraussetzungen nach Tab. 4.14 werden erfüllt.
- Die Gebäudehöhe über Gelände beträgt nicht mehr als 20 m (Mittelwert von Trauf- und Firsthöhe bei geneigten Dächern).
- Die Stützweite der aufliegenden Decken beträgt maximal 6 m, sofern nicht die Biegemomente aus dem Deckendrehwinkel durch konstruktive Maßnahmen, z. B. Zentrierleisten, begrenzt werden. Bei zweiachsig gespannten Decken ist für l die kürzere der beiden Stützweiten einzusetzen.

Tab. 4.14: Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens gemäß DIN 1053-1 [63.1]

	Bauteil	Voraussetzungen		
		Wanddicke d mm	lichte Wandhöhe h _s m	Verkehrslast p kN/m ²
1	Innenwände	≥ 115 < 240	≤ 2,75 m	≤ 5
2		≥ 240	-	
3	einschalige Außenwände	≥ 175 ¹⁾ < 240	≤ 2,75 m	
4		≥ 240	≤ 12 · d	
5	Tragschale zweischaliger Außenwände und zweischalige Haustrennwände	≥ 115 ²⁾ < 175 ²⁾	≤ 2,75 m	≤ 3 ³⁾
6		≥ 175 < 240		≤ 5
7		≥ 240	≤ 12 · d	

¹⁾ Bei eingeschossigen Garagen und vergleichbaren Bauwerken, die nicht zum dauernden Aufenthalt von Menschen vorgesehen sind, auch d ≥ 115 mm zulässig.

²⁾ Geschossanzahl maximal zwei Vollgeschosse zuzüglich ausgebautes Dachgeschoss; aussteifende Querwände im Abstand ≤ 4,5 m bzw. Randabstand von einer Öffnung ≤ 2,0 m.

³⁾ Einschließlich Zuschlag für nicht tragende innere Trennwände.

Spannungsnachweis

Die Bemessung nach dem vereinfachten Verfahren gemäß DIN 1053-1 erfolgt auf Basis zulässiger Spannungen. Die Druckfestigkeit des Mauerwerks wird durch die Grundwerte σ_0 der zulässigen Druckspannungen charakterisiert. Sie sind in Abhängigkeit von der Mörtelart, der Mörtelgruppe und der Steinfestigkeit festgelegt (Tab. 4.15). Der Spannungsnachweis erfolgt für den Gebrauchszustand. Die zulässigen Druckspannungen, die sich aus den Grundwerten σ_0 der zulässigen Druckspannungen und einem Abminderungsfaktor k ergeben (Tab. 4.16), dürfen nicht überschritten werden:

$$\sigma_{D,vorh} \leq \sigma_{D,zul} = k \cdot \sigma_0 \quad \text{Gl. (4.3)}$$

Tab. 4.15: Grundwerte σ_0 der zulässigen Druckspannungen für Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen mit Dünnbettmörtel gemäß DIN 1053-1 [63.1]

Steinfestigkeitsklasse	Grundwert σ_0 MN/m ²
2	0,6
4	1,1
6	1,5
8	2,0

Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen oder Porenbeton-Planelementen weist gegenüber anderem Mauerwerk mit gleicher Steinfestigkeitsklasse deutlich höhere zulässige Druckspannungen auf (Abb. 4.12). Dadurch kann die Dimensionierung der Bauteile noch besser den konstruktiven Erfordernissen angepasst werden.

Bei ausmittiger Last dürfen sich die Fugen sowohl bei Scheibenbeanspruchung als auch bei Plattenbeanspruchung rechnerisch höchstens bis zum Schwerpunkt des Querschnitts öffnen. Bei Windscheiben darf die rechnerische Randdehnung aus der Scheibenbeanspruchung auf der Seite der Klaffung den Wert $\varepsilon_R = 10^{-4}$ nicht überschreiten (Elastizitätsmodul hierfür: $E = 3.000 \cdot \sigma_0$).

Die Knicksicherheit ist im vereinfachten Verfahren bereits im Faktor k_2 unter folgenden Voraussetzungen berücksichtigt:

- In halber Geschosshöhe treten aus Knotenmomenten und Windlasten nur Biegemomente auf.
- Bei einem Versatz der Wandachsen tragender Wände infolge einer Änderung der Wanddicken umschreibt der Querschnitt der dickeren den der dünneren.

In allen anderen Fällen wird der Knicksicherheitsnachweis nach dem genaueren Verfahren der DIN 1053-1 geführt.

Unter Einzellasten kann eine Druckverteilung innerhalb des Mauerwerks unter 60° angenommen werden. Der höher beanspruchte Wandbereich darf in höherer Mauerwerksfestigkeit ausgeführt werden, wenn die möglichen Zwängungen aus unterschiedlichem Verformungsverhalten berücksichtigt werden. Es darf unter den Einzellasten eine gleichmäßig verteilte Auflagerpressung von $1,3 \cdot \sigma_0$ angenommen werden, wenn die Mauerwerksspannung in halber Wandhöhe den Wert σ_0 nicht überschreitet.

k	Abminderungsfaktor: - Wände als Zwischenaufleger: $k = k_1 \cdot k_2$ - Wände als einseitiges Endauflager: $k = k_1 \cdot k_2$ oder $k = k_1 \cdot k_3$, der kleinere Wert ist maßgebend.
k_1	Faktor zur Berücksichtigung unterschiedlicher Sicherheitsbeiwerte bei Wänden und „kurzen Wänden“ $k_1 = 1,0$ für Wände $k_1 = 1,0$ für „kurze Wände“ nach DIN 1053-1, Abschnitt 2.3, die aus einem oder mehreren ungetrennten Steinen oder aus getrennten Steinen mit einem Lochanteil von weniger als 35 % bestehen und nicht durch Schlitzte oder Aussparungen geschwächt sind. $k_1 = 0,8$ für alle anderen „kurzen Wände“. Gemauerte Querschnitte, deren Flächen kleiner als 400 cm^2 sind, sind als tragende Teile unzulässig. Schlitzte und Aussparungen sind hierbei zu berücksichtigen.
k_2	Faktor zur Berücksichtigung der Traglastminderung bei Knickgefahr nach DIN 1053-1, Abschnitt 6.9.2 $k_2 = 1,0$ für $h_K/d \leq 10$ $k_2 = \frac{25 - h_K/d}{15}$ für $10 < h_K/d \leq 25$ mit h_K als Knicklänge nach DIN 1053-1, Abschnitt 6.7.2. Schlankheiten $h_K/d > 25$ sind unzulässig.
k_3	Faktor zur Berücksichtigung der Traglastminderung durch den Deckendrehwinkel bei Endauflagerung auf Innen- oder Außenwänden. Bei Decken zwischen Geschossen: $k_3 = 1$ für $l < 4,20 \text{ m}$ $k_3 = 1,7 - l/6$ für $4,20 \text{ m} < l < 6,00 \text{ m}$ mit l als Deckenstützweite in m nach DIN 1053-1, Abschnitt 6.1. Bei Decken über dem obersten Geschoss, insbesondere bei Dachdecken: $k_3 = 0,5$ für alle Werte von l. Hierbei sind rechnerisch klaffende Lagerfugen vorausgesetzt. Wird die Traglastminderung infolge Deckendrehwinkel durch konstruktive Maßnahmen, z. B. Zentrierleisten, vermieden, so gilt unabhängig von der Deckenstützweite $k_3 = 1$.

Tab. 4.16: Abminderungsfaktor k gemäß DIN 1053-1 [63.1]

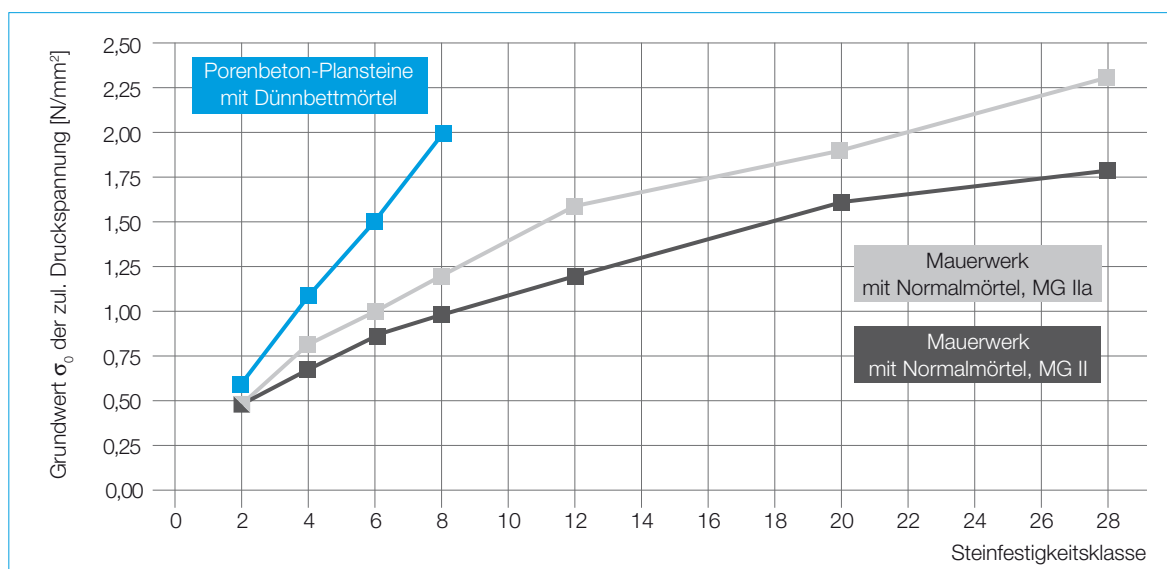


Abb. 4.12: Druckspannungen von Mauerwerk gemäß DIN 1053-1 [63.1]

Rechtwinklig zur Wandebene auftretende Teilflächenpressungen dürfen ebenfalls den Wert von $1,3 \cdot \sigma_0$ nicht überschreiten. Bei Einzellasten von $F \geq 3 \text{ kN}$ ist zusätzlich die Schubspannung in den Lagerfugen der belasteten Steine nachzuweisen.

Zug- und Biegezugspannungen

In tragenden Wänden dürfen Zug- und Biegezugspannungen senkrecht zur Lagerfuge nicht in Rechnung gestellt werden. Für Zug- und Biegezugspannungen parallel zur Lagerfuge gilt folgende Begrenzung:

$$\text{zul } \sigma_z = 0,4 \cdot \sigma_{\text{oHS}} + 0,12 \cdot \sigma_D \leq \max \sigma_z \quad \text{Gl. (4.4)}$$

zul σ_z : Zulässige Zug- und Biegezugspannung parallel zur Lagerfuge
 σ_{oHS} : Zulässige abgeminderte Haftscherfestigkeit.
 Bei Dünnbettmörtel: $\sigma_{\text{oHS}} = 0,11 \text{ MN/m}^2$. Für Mauerwerk mit unvermörtelten Stoßfugen ist der Wert zu halbieren. Als vermörtelt gilt eine Stoßfuge, bei der etwa die halbe Wanddicke oder mehr vermörtelt ist.
 σ_D : Zugehörige Druckspannung rechtwinklig zur Lagerfuge
 max σ_z : Maximalwert der zulässigen Zug- und Biegezugspannung nach Tab. 4.17

σ_{oHS} : Zulässige abgeminderte Haftscherfestigkeit
 Bei Dünnbettmörtel: $\sigma_{\text{oHS}} = 0,11 \text{ MN/m}^2$.
 Für Mauerwerk mit unvermörtelten Stoßfugen ist der Wert zu halbieren.
 σ_{DM} : Mittlere zugehörige Druckspannung rechtwinklig zur Lagerfuge im ungerissenen Querschnitt A
 max τ : Maximale Schubspannung
 max $\tau = 0,014 \cdot \beta_{\text{NSI}}$ für Vollsteine ohne Grifföffnungen oder -löcher
 β_{NSI} : Steifigkeitsklasse

Der Schubnachweis für aussteifende Wände darf in der Regel entfallen, wenn ein Nachweis der räumlichen Steifigkeit gemäß DIN 1053-1 Abschnitt 6.4 nicht erforderlich ist.

Halterung

In Bezug auf ihre Halterung durch rechtwinklig zur Wandebene unverschieblich gehaltene Ränder werden zwei-, drei- und vierseitig gehaltene sowie freistehende Wände unterschieden. Die Halterung erfolgt durch horizontal gehaltene Deckenscheiben (z. B. aus Porenbeton-Deckenplatten), aussteifende Querwände oder andere ausreichend steife Bauteile. Für aussteifende Querwände gilt:

- Einseitig angeordnete Querwände werden aus Baustoffen mit annähernd gleichem Verformungsverhalten – z. B. Porenbeton/Porenbeton oder Porenbeton/Kalksandstein – gleichzeitig im Verband hochgeführt. Die zug- und druckfeste Verbindung kann auch durch andere Maßnahmen hergestellt werden.
- Beidseitig angeordnete Querwände dürfen in ihren Mittelebenen nicht um mehr als die dreifache Dicke der auszusteienden Wand gegeneinander versetzt sein.
- Die wirksame Länge der aussteifenden Wand beträgt mindestens 1/5 der lichten Geschosshöhe.
- Die Dicke der aussteifenden Wand beträgt mindestens 1/3 der Dicke der auszusteienden Wand, mindestens jedoch 115 mm.
- Bei Öffnungen in der aussteifenden Wand ist die Länge der Wand zwischen den Öffnungen ausreichend groß (Abb. 4.13).
- Bei beidseitig angeordneten Querwänden darf auf das gleichzeitige Hochführen verzichtet werden, wenn die Wände im Übrigen den Bedingungen für aussteifende Wände entsprechen.

Tab. 4.17: Maximalwerte max σ_z der zulässigen Biegezugspannungen gemäß DIN 1053-1 [63.1]

Steifigkeitsklasse	Maximalwert max σ_z MN/m ²
2	0,01
4	0,02
6	0,04
8	0,05

In den letzten Jahren durchgeführte umfangreiche Untersuchungen zur Zug- und Biegezugfestigkeit von Porenbeton haben erkennen lassen, dass die ansetzbaren Werte gemäß DIN 1053-1 für Porenbeton-Plansteinmauerwerk zu niedrig und damit erhebliche Reserven vorhanden sind. Die Ergebnisse sind in einschlägigen Fachbeiträgen dokumentiert, z. B. im jährlich erscheinenden Mauerwerkskalender. Darüber hinaus werden diese Ergebnisse in zukünftige Normenaktualisierungen einfließen.

Schubnachweis

Für den Schubnachweis darf für Rechteckquerschnitte folgendes vereinfachtes Verfahren angewendet werden:

$$\tau = \frac{c \cdot Q}{A} \leq \text{zul } \tau \quad \text{Gl. (4.5)}$$

Scheibenschub:

$$\text{zul } \tau = \sigma_{\text{oHS}} + 0,2 \cdot \sigma_{\text{DM}} \leq \max \tau \quad \text{Gl. (4.6)}$$

Plattenschub:

$$\text{zul } \tau = \sigma_{\text{oHS}} + 0,3 \cdot \sigma_{\text{DM}} \quad \text{Gl. (4.7)}$$

τ : Schubspannung
 c : Faktor zur Berücksichtigung der Verteilung von τ über den Querschnitt.
 Für hohe Wände mit $H/L \geq 2$ gilt $c = 1,5$;
 für Wände mit $H/L \leq 1$ gilt $c = 1,0$;
 dazwischen darf linear interpoliert werden.
 H : Gesamthöhe
 L : Länge der Wand
 Bei Plattenschub gilt $c = 1,5$
 Q : Querkraft
 A : Überdrückte Querschnittsfläche

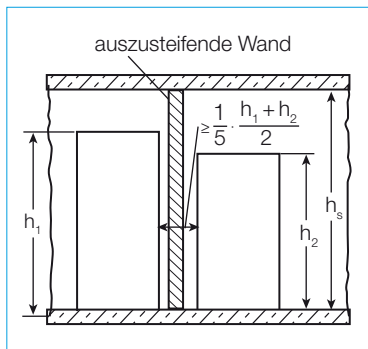


Abb. 4.13: Mindestlänge der aussteifenden Wand gemäß DIN 1053-1 [63.1]

Knicklänge

Für die Knicklänge h_k von Wänden gelten in Abhängigkeit von der lichten Geschosshöhe h_s folgende Festlegungen:

- Bei zweiseitig gehaltenen Wänden allgemein

$$h_k = h_s \quad \text{Gl. (4.8)}$$

- Bei zweiseitig gehaltenen Wänden zwischen Plattendecken und anderen flächig aufgelagerten Massivdecken unter Berücksichtigung der Einspannung der Wand in den Decken durch einen Faktor β

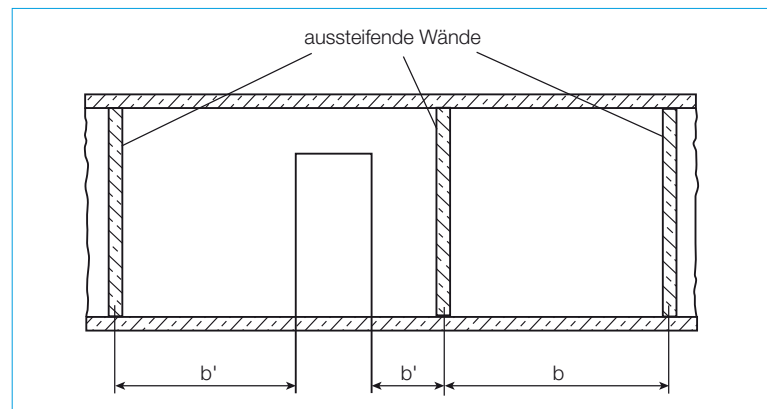
$$h_k = \beta \cdot h_s \quad \text{Gl. (4.9)}$$

Wanddicken $d \leq 175 \text{ mm}$:	$\beta = 0,75$
Wanddicken	
$175 \text{ mm} < d \leq 250 \text{ mm}$:	$\beta = 0,90$
Wanddicken $d > 250 \text{ mm}$:	$\beta = 1,00$

Dies gilt unter der Voraussetzung, dass keine größeren horizontalen Lasten rechtwinklig auf die Wände wirken. Dabei hat die Mindestauflagertiefe a der Decken auf den Wänden folgende Größen:

Wanddicken $d \geq 240 \text{ mm}$:	$a \geq 175 \text{ mm}$
Wanddicken $d < 240 \text{ mm}$:	$a = d$

Dreiseitig gehaltene Wand			β	Vierseitig gehaltene Wand					
Wanddicke mm				b' m	b m	Wanddicke mm			
240	175	115				115	175	240	300
b' ≤ 3,60 m	b' ≤ 2,60 m	b' ≤ 1,75 m	0,65	0,35	2,00	b ≤ 3,45 m			
			0,75	0,40	2,25				
			0,85	0,45	2,50				
			0,95	0,50	2,80				
			1,05	0,55	3,10				
			1,15	0,60	3,40				
			1,25	0,65	3,80				
			1,40	0,70	4,30				
		1,60	0,75	4,80	b ≤ 5,25 m				
		1,85	0,80	5,60	b ≤ 7,20 m		b ≤ 9,00 m		
2,20	0,85	6,60							
		2,80	0,90	8,40					



Tab. 4.18: Faktor β zur Bestimmung der Knicklänge $h_k = \beta \cdot h_s$ von drei- und vierseitig gehaltenen Wänden in Abhängigkeit vom Abstand b der aussteifenden Wände bzw. vom Randabstand b' und der Dicke d der aussteifenden Wand gemäß DIN 1053-1 [63.1]

Abb. 4.14: Darstellung der Größen b und b' gemäß DIN 1053-1 [63.1] (zu Tab. 4.18)

- Bei dreiseitig und vierseitig gehaltenen Wänden

$$h_k = \beta \cdot h_s \quad \text{Gl. (4.10)}$$

β wird in Abhängigkeit von b' und b bei lichten Geschosshöhen $h_s \leq 3,50 \text{ m}$ nach Tab. 4.18 und Abb. 4.14 angenommen. Im Übrigen gilt:

$b > 30 \cdot d$ bei vierseitiger Halterung und $b' > 15 \cdot d$ bei dreiseitiger Halterung: Die Bedingungen für zweiseitige Halterung sind anzunehmen.

Schwächungen der Wand im mittleren Drittel durch vertikale Schlitze oder Nischen: Für d ist die Restwanddicke oder es ist ein freier Rand anzunehmen; bei einer Restwanddicke von weniger als der halben Wanddicke oder als 115 mm ist eine Öffnung anzunehmen.

Ringanker

Ringanker zur Abtragung waagerechter Lasten über Außenwänden und Querwänden, die zur Abtragung horizontaler Lasten dienen, sind in folgenden Fällen anzuordnen:

- Bei Bauten mit mehr als zwei Vollgeschossen.
- Bei Bauten mit einer Länge von mehr als 18 m.
- Die Summe der Öffnungsbreiten beträgt mehr als 60 % der Wandlänge oder es liegen große Fensterbreiten vor (Summe der Öffnungen $> 40 \%$ der Wandlänge bei Öffnungen breiter als $2/3$ der Wandhöhe).
- Es liegen besondere Baugrundverhältnisse vor.

Der Ringanker wird in jeder Deckenlage in der Deckenebene oder unmittelbar unter der Decke (z. B. in U-Schalen aus Porenbeton) angeordnet und muss eine Zugkraft von 30 kN aufnehmen können (Bewehrung z. B. durch zwei Stäbe mit mindestens 10 mm Durchmesser; zur konstruktiven Konzeption der Ringanker siehe auch Kapitel 9 „Konstruktionen“).

Bei der Ausführung sollte besonders darauf geachtet werden, dass im Bereich des Ringankers eine ausreichend dicke Wärmedämmschicht vorhanden ist. Sie kompensiert Wärmeverluste, die aus der hohen Wärmeleitfähigkeit des Stahlbetons resultieren. Außerdem verhindert sie eine Haftwirkung zwischen Stahlbeton und Porenbeton-Deckenrandstein, die auf Grund von Verformungen des Stahlbetons zu Rissen in der Außenwand führen könnte.

Schlitze und Aussparungen

Schlitze und Aussparungen in Wänden aus Porenbeton brauchen in die Berechnung des Mauerwerks nicht mit einbezogen werden, wenn die in Tab. 4.19 aufgeführten Grenzwerte zu Schlitzlänge, Schlitztiefe, Schlitzbreite, Restwanddicke und Mindestabständen zwischen Schlitzen und Aussparungen eingehalten sind. Vertikale Schlitze sind zulässig, wenn die Querschnittsschwächung, bezogen auf 1 m Wandlänge, nicht mehr

als 6 % beträgt und die Wand nicht drei- oder vierseitig gehalten ist.

Kelleraußenwände

Kelleraußenwände dürfen ohne Nachweis auf Erddruck ausgeführt werden, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Lichte Höhe $h_s \leq 2,60$ m.
- Wanddicke $d \geq 240$ mm.
- Die Kellerdecke wirkt als Scheibe und ist in der Lage, die aus dem Erdreich entstehenden Kräfte aufzunehmen.
- Verkehrslast auf der Geländeoberfläche im Einflussbereich des Erddrucks $p \leq 5$ kN/m².
- Die Geländeoberfläche ist nicht ansteigend.
- Die Anschütthöhe ist nicht größer als die Wandhöhe.
- Die Auflast N_0 unterhalb der Kellerdecke liegt zwischen $\max N_0$ und $\min N_0$.
 - $\max N_0 = 0,45 \cdot d \cdot \sigma_0$
 - $\min N_0$ entsprechend Tab. 4.20
 - σ_0 entsprechend Tab. 4.15

Tab. 4.19: Ohne Nachweis zulässige Schlitze und Aussparungen in tragenden Wänden gemäß DIN 1053-1 [63.1]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Wanddicke	Horizontale und schräge Schlitze ¹⁾ nachträglich hergestellt		Vertikale Schlitze und Aussparungen, nachträglich hergestellt			Vertikale Schlitze und Aussparungen in gemauertem Verband			
	Schlitzlänge		Schlitztiefe ⁴⁾	Einzel-schlitzbreite ⁵⁾	Abstand der Schlitze und Aussparungen von Öffnungen	Schlitzbreite ⁵⁾	Restwanddicke	Mindestabstand der Schlitze und Aussparungen	
	unbeschränkt	$\leq 1,25$ m ²⁾						von Öffnungen	untereinander
	Schlitztiefe ³⁾	Schlitztiefe							
≥ 115	–	–	≤ 10	≤ 100	≥ 115	–	–	≥ 2 -fache Schlitzbreite bzw. ≥ 240	$\geq$ Schlitzbreite
≥ 175	0	≤ 25	≤ 30	≤ 100		≤ 260	≥ 115		
≥ 240	≤ 15	≤ 25	≤ 30	≤ 150		≤ 385	≥ 115		
≥ 300	≤ 20	≤ 30	≤ 30	≤ 200		≤ 385	≥ 175		
≥ 365	≤ 20	≤ 30	≤ 30	≤ 200		≤ 385	≥ 240		

¹⁾ Horizontale und schräge Schlitze sind nur zulässig in einem Bereich $\leq 0,4$ m ober- oder unterhalb der Rohdecke sowie jeweils an einer Wandseite. Sie sind nicht zulässig bei Langlochziegeln.

²⁾ Mindestabstand in Längsrichtung von Öffnungen ≥ 490 mm, vom nächsten Horizontalschlitz zweifache Schlitzlänge.

³⁾ 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.

⁴⁾ 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.

⁵⁾ Die Gesamtbreite von Schlitzen nach Spalte 5 und Spalte 7 darf je 2 m Wandlänge die Maße in Spalte 7 nicht überschreiten. Bei geringeren Wandlängen als 2 m sind die Werte in Spalte 7 proportional zur Wandlänge zu verringern.

Wand- dicke d mm	min N_0 [kN/m] bei einer Höhe der Anschüttung h_s von			
	1,0 m	1,5 m	2,0 m	2,5 m
240	6	20	45	75
300	3	15	30	50
365	0	10	25	40
490	0	5	15	30

Tab. 4.20: Min N_0 für Kellerwände ohne rechnerischen Nachweis gemäß DIN 1053-1 [63.1]
Zwischenwerte sind geradlinig zu interpolieren.

Bei Kellerwänden, die durch Querwände oder statisch nachgewiesene Bauteile im Abstand b ausgesteift sind, gelten folgende Mindestwerte für N_0 :

■ $b \leq h_s$: $N_0 \geq \frac{1}{2} \cdot \min N_0$

■ $b \geq 2 \cdot h_s$: $N_0 \geq \min N_0$

Zwischenwerte werden geradlinig interpoliert

Einschalige Außenwände

Wegen seiner hohen Festigkeit und der guten wärmetechnischen Eigenschaften eignet sich Porenbeton für einschalige Außenwände. Der Schlagregenschutz kann durch unterschiedliche Maßnahmen sichergestellt werden, z. B. durch Putze, hinterlüftete Vorsatzschalen oder Vormauerschalen (s. auch Abschnitt 6.4 „Schlagregenschutz von Außenwänden“).

Zweischalige Außenwände

Mit Mauerwerk aus Porenbeton können die Anforderungen des energiesparenden Wärmeschutzes gemäß der Energieeinsparverordnung von einschaligen Wänden ohne zusätzliche Wärmedämmschichten erfüllt werden. Soll der Wärmeschutz durch bautechnische Maßnahmen weiter verbessert werden, ist insbesondere bei zweischaligen Wänden mit Vormauerschale eine zusätzliche Wärmedämmschicht mit Luftschicht oder eine Kerndämmung leicht einbaubar.

Zweischalige Außenwände mit tragenden Innenschalen aus Porenbetonmauerwerk können in unterschiedlichen Ausführungen erstellt werden (Abb. 9.1):

- Zweischalige Außenwände mit Luftschicht
- Zweischalige Außenwände mit Luftschicht und Wärmedämmung
- Zweischalige Außenwände mit Kerndämmung

Dabei wird außen vor der tragenden Innenschale eine Vormauerschale angeordnet. Beide Schalen werden durch Drahtanker miteinander verbunden. Folgende

Grundsätze sind bei zweischaligen Außenwänden zu beachten:

- Die tragende Innenschale ist mindestens 115 mm dick. Anforderungen aus Standsicherheit, Bauphysik oder Brandschutz können dickere Schalen erforderlich machen.
- Außenschalen mit Dicken $d < 115$ mm (Minstdicke $d = 90$ mm) dürfen nicht höher als 20 m über Gelände ausgeführt werden. Sie sollen über ihre ganze Länge vollflächig aufgelagert werden und sind in Höhenabständen von ca. 6 m abzufangen. Bei zweigeschossigen Gebäuden darf ein Giebeldreieck bis zu 4 m Höhe ohne zusätzliche Abfangung ausgeführt werden. Die Außenschalen dürfen bis zu 15 mm über ihr Auflager vorstehen.
- Außenschalen mit Dicken von $d = 115$ mm werden in Höhenabständen von ca. 12 m abgefangen. Werden sie alle zwei Geschosse abgefangen oder sind sie nicht höher als zwei Geschosse, so dürfen sie bis zu einem Drittel ihrer Dicke über ihr Auflager vorstehen. In allen anderen Fällen sind bis zu 25 mm erlaubt.
- Mauerwerksschalen werden durch Drahtanker aus nicht rostendem Stahl miteinander verbunden. Der Abstand der Anker soll in der Vertikalen höchstens 500 mm, in der Horizontalen höchstens 750 mm betragen. Für die Mindestanzahl gilt Tab. 4.21. Zusätzlich werden an allen freien Rändern drei Anker je m Randlänge angeordnet. Bei Verwendung von Porenbeton-Planelementen sind allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen zu beachten.
- An den Fußpunkten der Zwischenräume zwischen den Wandschalen sind die Innenschalen und die Geschossdecken gegen Feuchtigkeit zu schützen. Die Abdichtung wird im Bereich des Zwischenraumes mit Gefälle nach außen, im Bereich der Außenschale horizontal verlegt.

	Drahtanker	
	Mindest- anzahl	Durch- messer mm
mindestens, sofern nicht Zeilen 2 und 3 maßgebend	5	3
Wandbereich höher als 12 m über Gelände oder Abstand der Mauer- werksschalen über 70 bis 120 mm	5	4
Abstand der Mauerwerksschalen über 120 bis 150 mm	7 oder 5	4 5

Tab. 4.21: Mindestanzahl und Durchmesser von Drahtankern je m² Wandfläche gemäß DIN 1053-1 [63.1]

Zweischalige Außenwände mit Luftschicht

Bei der Ausführung von zweischaligen Außenwänden mit Luftschicht gelten folgende Bestimmungen:

- Dicke der Luftschicht $60 \text{ mm} \leq d \leq 150 \text{ mm}$. Dicke $d \geq 40 \text{ mm}$ ist zulässig, wenn der Fugenmörtel mindestens an einer Hohlraumseite abgestrichen wird und Mörtelbrücken vermieden werden.
- Lüftungsöffnungen (z. B. offene Stoßfugen) oben und unten mit einer Fläche von jeweils 7.500 mm^2 je 20 m^2 Wandfläche.
- Beginn der Luftschicht mindestens 100 mm über Gelände, Durchführung ohne Unterbrechung bis zum Dach bzw. bis zur Unterkante der Abfangkonstruktion.
- Anordnung vertikaler Dehnungsfugen in der Außenschale entsprechend den klimatischen Beanspruchungen, der Art der Baustoffe und der Farbe der äußeren Wandoberfläche.

Zweischalige Außenwände mit Luftschicht und Wärmedämmung

Bei zweischaligen Außenwänden mit Luftschicht und Wärmedämmung beträgt der maximale Abstand der Mauerwerksschalen 150 mm . Voraussetzung ist die Verbindung der Schalen durch Drahtanker nach Tab. 4.21. Bei größeren Abständen ist die Verankerung entsprechend nachzuweisen. Die Luftschichtdicke von 40 mm darf nicht durch Unebenheit der Wärmedämmschicht eingeengt werden. Ansonsten gelten die Anforderungen für Außenwände mit Kerndämmung. Zur Wärmedämmung werden platten- oder mattenförmige Mineralfaserdämmstoffe sowie Platten aus Schaumkunststoffen oder Schaumglas so an der Innenschale befestigt, dass eine gleichmäßige Schichtdicke sichergestellt ist. Die Dämmplatten oder -matten werden so verlegt bzw. die Stöße so ausgebildet (z. B. Stufenfalz, Nut und Feder, versetzte Lagen), dass an den Stoßstellen kein Wasser hindurchtreten kann.

Zweischalige Außenwände mit Kerndämmung

Bei zweischaligen Außenwänden mit Kerndämmung darf der Hohlraum zwischen den Mauerwerksschalen (lichter Abstand maximal 150 mm) ohne verbleibende Luftschicht verfüllt werden, wenn für diesen Anwendungsbereich genormte oder zugelassene Wärmedämmstoffe eingesetzt werden. Im Fußbereich der Außenschale sind Entwässerungsöffnungen mit einer Fläche von mindestens 5.000 mm^2 je 20 m^2 Wandfläche anzuordnen. Der Einbau lose eingebetteter Wärmedämmstoffe (z. B. Mineralfasergranulat, Schaumstoffpartikel, Blähperlite) sowie von Ortschaum ist ebenfalls möglich.

Nicht tragende Außenwände

Ausfachungswände von Fachwerk-, Skelett- und Schottensystemen dürfen unter bestimmten Voraussetzungen ohne statischen Nachweis errichtet werden:

- Die Wände sind z. B. durch Verzahnung, Versatz oder Anker vierseitig gehalten.
- Die in Tab. 4.22 genannten Bedingungen sind erfüllt.
- Mörtel mindestens der Mörtelgruppe IIa oder Dünnbettmörtel wird verwendet.

Nicht tragende Trennwände

Für die Gesamtkonstruktion übernehmen nicht tragende Trennwände keine statischen Aufgaben. Sie tragen lediglich ihre Eigenlast sowie die auf ihre Fläche wirkenden Lasten auf angrenzende Bauteile ab. Für nicht tragende Innenwände, die Windlasten erhalten können, gelten die gleichen Regelungen wie für nicht tragende Außenwände.

Der Einfluss leichter unbelasteter Trennwände bis zu einer Höchstlast von 5 kN/m Wandlänge darf durch einen gleichmäßig verteilten Zuschlag zur Nutzlast (Trennwandzuschlag) berücksichtigt werden. Ein genauer Nachweis ist in diesem Fall nicht erforderlich.

Tab. 4.22: Größte zulässige Werte der Ausfachungsfläche von nicht tragenden Außenwänden ohne rechnerischen Nachweis gemäß DIN 1053-1 [63.1]

Wanddicke d mm	Größte zulässige Werte ¹⁾ der Ausfachungsfläche in m^2 bei einer Höhe über Gelände von					
	0 bis 8 m		8 bis 20 m		20 bis 100 m	
	$\varepsilon = 1,0$	$\varepsilon \geq 2,0$	$\varepsilon = 1,0$	$\varepsilon \geq 2,0$	$\varepsilon = 1,0$	$\varepsilon \geq 2,0$
115 ²⁾	12	8	8	5	6	4
175	20	14	13	9	9	6
240	36	25	23	16	16	12
≥ 300	50	33	35	23	25	17

¹⁾ Bei Seitenverhältnissen $1,0 < \varepsilon < 2,0$ dürfen die größten zulässigen Werte der Ausfachungsflächen geradlinig interpoliert werden.

²⁾ Bei Verwendung von Steinen der Festigkeitsklassen ≥ 12 dürfen die Werte dieser Zeile um $1/3$ vergrößert werden.

Ausgenommen von dieser Regelung sind jedoch Wände mit einer Last von mehr als 3 kN/m Wandlänge, die parallel zu den Balken von Decken ohne ausreichende Querverteilung stehen.

Folgende Zuschläge zur Nutzlast sind anzusetzen:

- Wandlast einschließlich Putz ≤ 3 kN/m:
Zuschlag $\geq 0,8$ kN/m²
- Wandlast einschließlich Putz zwischen 3 und 5 kN/m:
Zuschlag $\geq 1,2$ kN/m²

Betragen die Nutzlasten 5 kN/m und mehr, ist die Berücksichtigung eines Trennwandzuschlages nicht erforderlich.

Leichte Trennwände können ohne besonderen Nachweis aus Porenbeton-Plansteinen und Porenbeton-Planbauplatten gemäß DIN 4103-1 [70] errichtet werden. Je nach Auflast und Halterung können zulässige Längen nicht tragender Innenwände aus Porenbeton-Plansteinen den Tab. 4.23 und 4.24 entnommen werden. Bei der Ausführung leichter Trennwände sollte besonders auf Folgendes geachtet werden:

- Nicht tragende Trennwände werden möglichst spät nach Rohbauerstellung eingebaut.
- Der Einbau beginnt im obersten Geschoss.
- Porenbetonprodukte der Festigkeitsklasse 4 werden verwendet.
- Starre Anschlüsse an Decken und Wänden werden vermieden, um Formänderungen der tragenden Bauteile auf leichte Trennwände zu verhindern.
- Für nicht tragende Trennwände werden möglichst kleine Flächen vorgesehen.
- Nach Möglichkeit werden geschosshohe Türzargen eingebaut.

4.3.3 Berechnung gemäß DIN 1053-100

Sicherheitskonzept

Das gegenüber der Berechnung gemäß DIN 1053-1 jüngere Berechnungsverfahren gemäß DIN 1053-100 beruht auf einem semiprobabilistischen Sicherheitskonzept. Danach wird Mauerwerk in der Regel im Grenzzustand der Tragfähigkeit nachgewiesen, wobei der Bemessungswert E_d einer Schnittgröße infolge von Einwirkungen in einem Querschnitt den Bemessungswert R_d des Tragwiderstandes dieses Querschnitts nicht überschreiten darf:

Einbaubereich ⁵⁾	Wandhöhe m	Zulässige Länge [m] bei Wanddicke		
		5 cm	10 cm	11,5 cm
		ohne Auflast ^{1) 2)}		
I	2,5	3,0	7,0	10,0
	3,0	3,5	7,5	10,0
	3,5	4,0	8,0	10,0
	4,0	-	8,5	10,0
	4,5	-	9,0	10,0
II	2,5	1,5	5,0	6,0
	3,0	2,0	5,5	6,5
	3,5	2,5	6,0	7,0
	4,0	-	6,5	7,5
	4,5	-	7,0	8,0
		mit Auflast ^{1) 3)}		
I	2,5	5,5	12,0	12,0
	3,0	6,0	12,0	12,0
	3,5	6,5	12,0	12,0
	4,0	-	12,0	12,0
	4,5	-	12,0	12,0
II	2,5	2,5	8,0	12,0
	3,0	3,0	8,5	12,0
	3,5	3,5	9,0	12,0
	4,0	-	9,5	12,0
	4,5	-	10,0	12,0

¹⁾ Bei dreiseitiger Halterung (ein freier vertikaler Rand) gelten die halben Werte.

²⁾ Die angegebenen Werte gelten bei Verwendung von Normalmörtel der MG III oder Dünnbettmörtel. Bei Wanddicken $< 17,5$ cm und Verwendung der MG II oder Ia sind die Werte für die max. Wandlängen zu halbieren.

³⁾ Die angegebenen Werte gelten bei Verwendung von Normalmörtel der MG III oder Dünnbettmörtel. Bei Wanddicken $\geq 11,5$ cm ist auch Normalmörtel mind. der MG II zulässig. Werden Wanddicken ≤ 10 cm mit Normalmörtel der MG II und Ia ausgeführt, so sind die Werte für die max. Wandlängen zu halbieren.

⁴⁾ Auf die Vermörtelung von Stoßfugen kann unter bestimmten Bedingungen verzichtet werden.

⁵⁾ Einbaubereiche s. DIN 1053-100 Tabelle 2.1.3-12

⁶⁾ s. a. DGfM-Merkblatt „Nicht tragende innere Trennwände“

Einbaubereich	Wandhöhe m	Zulässige Länge [m] bei Wanddicke		
		5 cm	10 cm	11,5 cm
		ohne Auflast ^{1) 2)}		
I	2,5	4,0	10,0	10,0
	3,0	5,0	12,0	12,0
	3,5	6,0	12,0	12,0
	4,0	-	12,0	12,0
	4,5	-	12,0	12,0
II	2,5	2,5	6,0	7,0
	3,0	-	7,0	8,0
	3,5	-	8,0	9,0
	4,0	-	9,0	10,0
	4,5	-	10,0	10,0

¹⁾ Stoßfugen sind zu vermörteln.

²⁾ Die angegebenen Werte gelten bei Verwendung von Normalmörtel der MG III oder Dünnbettmörtel. Bei Verwendung der MG II und Ia sind die Werte entsprechend abzumindern.

³⁾ s. a. DGfM-Merkblatt „Nicht tragende innere Trennwände“

Tab. 4.23: Zulässige Längen nicht tragender Innenwände aus Porenbeton-Plansteinen und Porenbeton-Planbauplatten in Abhängigkeit von der Wandhöhe; mit Auflast und ohne Auflast bei vierseitiger Halterung^{1) 4) 6)}

Tab. 4.24: Zulässige Längen nicht tragender Innenwände aus Porenbeton-Plansteinen und Porenbeton-Planbauplatten in Abhängigkeit von der Wandhöhe; ohne Auflast bei freiem Rand³⁾

$$E_d \leq R_d \quad \text{Gl. (4.11)}$$

DIN 1053-100 betrifft nur die Bemessung. Für die konstruktive Planung und Ausführung gilt DIN 1053-1.

Einwirkungen

Für den Bemessungswert E_d der Beanspruchungen in einem Querschnitt sind die maßgebenden Einwirkungen relevant. E_d ergibt sich aus dem charakteristischen Werten E_k der Einwirkungen im Gebrauchszustand und den Teilsicherheitsbeiwerten γ_F für ständige und veränderliche Einwirkungen in Tragwerken (Tab. 4.25):

$$E_d = E_k \cdot \gamma_F \quad \text{Gl. (4.12)}$$

Tab. 4.25: Teilsicherheitsbeiwerte γ_F für Einwirkungen in Tragwerken für ständige und vorübergehende Bemessungssituation gemäß DIN 1053-100 [63.4]

Auswirkungen	Ständige Einwirkungen (γ_G)	Veränderliche Einwirkungen (γ_Q)
günstige	1,0	0
ungünstige	1,35	1,5

Die charakteristischen Werte E_k der Einwirkungen im Gebrauchszustand sind der DIN 1055, gegebenenfalls auch bauaufsichtlichen Ergänzungen und Richtlinien zu entnehmen. Einwirkungen im Hochbau sind ständige Einwirkungen G (z. B. Eigen- und Ausbaulasten), veränderliche Einwirkungen Q (z. B. Nutz-, Schnee- und Windlasten), außergewöhnliche Einwirkungen (z. B. Explosion oder Fahrzeuganprall) und Einwirkungen infolge Erdbeben A . Einwirkungen werden durch charakteristische Werte beschrieben, deren Unterschreitung (Minimalwerte) oder Überschreitung (Maximalwerte) nicht für möglich gehalten wird. Die Größen charakteristischer Werte G_k und Q_k sowie Nennwerte A_d und A_{Ed} werden in verschiedenen Teilen der DIN 1055 oder anderen einschlägigen Normen angegeben bzw. nach den dortigen Regelungen ermittelt.

Die Möglichkeit ungünstiger Abweichungen der Einwirkungen, die Möglichkeit ungenauer Modellannahmen für die Einwirkungen sowie die Unsicherheit in der Bestimmung der Auswirkungen gehen in den Teilsicherheitsbeiwert γ_F ein.

Bemessungssituationen

Bei der Bemessung ist zu berücksichtigen, dass ständige Einwirkungen G_k allein wirken können, die veränderlichen Einwirkungen jedoch mindestens in Kombination mit den ständigen Einwirkungen und meistens

auch in Kombination mit anderen veränderlichen Einwirkungen. Da sich andererseits manche Einwirkungen gegenseitig ausschließen und außerdem nicht immer mit voller Intensität wirken, sind Kombinationen mit reduzierten Lastintensitäten zu betrachten.

Daher werden die Bemessungswerte E_d unter Verwendung von Kombinationsbeiwerten ψ (Tab. 4.26) nach Kombinationsregeln gemäß DIN 1055-100 zu sogenannten Bemessungssituationen kombiniert. Dabei sind für Gebäude aus Mauerwerkskonstruktionen im Falle ständiger und vorübergehender Bemessungssituationen Vereinfachungen erlaubt, die zu folgenden Gleichungen führen:

- Ständige und vorübergehende Bemessungssituationen
- Bemessungssituationen mit einer veränderlichen Einwirkung $Q_{k,1}$

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + 1,5 \cdot Q_{k,1} \quad \text{Gl. (4.13)}$$

- Bemessungssituation mit mehr als einer veränderlichen Einwirkung $Q_{k,i}$

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + 1,5 \cdot (Q_{k,1} + \psi_{0,i} \cdot \sum_{i > 1} Q_{k,i}) \quad \text{Gl. (4.14)}$$

- Außergewöhnliche Bemessungssituationen

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + A_d + \gamma_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{Gl. (4.15)}$$

Tragwiderstand

Der Bemessungswert des Tragwiderstandes R_d ergibt sich aus den Tragwerksdaten (Abmessung des Bauteils und Baustoffkenngröße), d. h. er ist der Quotient aus der charakteristischen Druckfestigkeit f_k von Mauerwerk (Tab. 4.27) und dem Teilsicherheitsbeiwert γ_M für Baustoffeigenschaften (Tab. 4.28), gegebenenfalls multipliziert mit einem Abminderungswert η zur Berücksichtigung der Lastdauer und weiterer Einflüsse:

$$R_d = \frac{f_k}{\gamma_M} \cdot \eta \quad \text{Gl. (4.16)}$$

Einwirkung	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Nutzlasten ^{1) 4)}			
- Kategorie A - Wohn- und Aufenthaltsräume	0,7	0,5	0,3
- Kategorie B - Büros	0,7	0,5	0,3
- Kategorie C - Versammlungsräume	0,7	0,7	0,6
- Kategorie D - Verkaufsräume	0,7	0,7	0,6
- Kategorie E - Lagerräume	1,0	0,9	0,8
Verkehrslasten			
- Kategorie F, Fahrzeuglast ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
- Kategorie G, $30 \text{ kN} \leq \text{Fahrzeuglast} \leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
- Kategorie H - Dächer	0	0	0
Schnee- und Eislasten			
Orte bis NN + 1.000 m	0,5	0,2	0
Orte über NN + 1.000 m	0,7	0,5	0,2
Windlasten	0,6	0,5	0
Temperatureinwirkungen (nicht Brand) ²⁾	0,6	0,5	0
Baugrundsetzungen	1,0	1,0	1,0
Sonstige Einwirkungen ³⁾	0,8	0,7	0,5

Tab. 4.26: Beiwerte ψ gemäß DIN 1055-100 [64.5]

¹⁾ Abminderungsbeiwerte für Nutzlasten in mehrgeschossigen Hochbauten siehe E DIN 1055-3

²⁾ Siehe E DIN 1055-7

³⁾ ψ -Beiwerte für Flüssigkeitsdruck sind standortbedingt festzulegen.

⁴⁾ ψ -Beiwerte für Maschinenlasten sind betriebsbedingt festzulegen.

Steinfestigkeitsklasse	Dünnbettmörtel ¹⁾ N/mm ²	Leichtmörtel	
		LM 21 N/mm ²	LM 36 N/mm ²
2	1,8	1,5 (1,2) ²⁾	1,5 (1,2) ²⁾ (1,8) ³⁾
4	3,4	2,2 (1,5) ⁴⁾	2,5 (2,2) ⁵⁾
6	4,7	2,2	2,8
8	6,2	2,5	3,1
10	6,6	2,7	3,3
12	6,9	2,8	3,4
16	8,5	2,8	3,4
20	10,0	2,8	3,4
28	11,6	2,8	3,4

Tab. 4.27: Charakteristische Werte f_k der Druckfestigkeit von Mauerwerk mit Dünnbett- und Leichtmörtel gemäß DIN 1053-100 [63.3]

¹⁾ Anwendung nur bei Porenbeton-Plansteinen nach DIN V 4165-100 bzw. DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN V 20000-404 und bei Kalksand-Plansteinen. Die Werte gelten für Vollsteine. Für Kalksand-Lochsteine und Kalksand-Hohlblocksteine nach DIN V 106 bzw. DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN V 20000-402 gelten die entsprechenden Werte aus DIN 1053-100, Tabelle 4 bei Mörtelgruppe III bis Steinfestigkeitsklasse 20.

²⁾ Für Mauerwerk mit Mauerziegeln nach DIN V 105-100 bzw. DIN EN 771-1 in Verbindung mit DIN V 20000-401 gilt $f_k = 1,2$ N/mm²

³⁾ $f_k = 1,8$ N/mm² bei Außenwänden mit Dicken ≥ 300 mm. Diese Erhöhung gilt jedoch nicht für den Fall der Fußnote 2 und nicht für den Nachweis der Auflagerpressung nach DIN 1053-100, Abschnitt 8.9.3.

⁴⁾ Für Kalksandsteine nach DIN V 106 bzw. DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN V 20000-402 der Rohdichteklasse $\geq 0,9$ und Mauerziegel nach DIN V 105-100 bzw. DIN EN 771-1 in Verbindung mit DIN V 20000-401 gilt $f_k = 1,5$ N/mm²

⁵⁾ Für Mauerwerk mit den in Fußnote 4 genannten Mauersteinen gilt $f_k = 2,2$ N/mm²

	γ_M	
	Normale Einwirkung	Außergewöhnliche Einwirkung
Mauerwerk	$1,5 \cdot k_0$	$1,3 \cdot k_0$
Verbund-, Zug- und Druckwiderstand von Wandankern und Bändern	2,5	2,5

Tab. 4.28: Teilsicherheitsbeiwerte γ_M für Baustoffeigenschaften gemäß DIN 1053-100 [63.3]

k_0 Faktor zur Berücksichtigung unterschiedlicher Teilsicherheitsbeiwerte γ_M bei Wänden und „kurzen Wänden“ nach DIN 1053-1:1996-11, 2.3.

Es gilt:

$k_0 = 1,0$ für Wände;

$k_0 = 1,0$ für „kurze Wände“, die aus einem oder mehreren ungetrennten Steinen oder aus getrennten Steinen mit einem Lochanteil von weniger als 35 % bestehen und nicht durch Schlitz- oder Aussparungen geschwächt sind;

$k_0 = 1,25$ für alle anderen „kurzen Wände“.

Charakteristische Zug- und Biegezugfestigkeit

Die charakteristische Zug- und Biegezugfestigkeit f_{x2} parallel zur Lagerfuge ergibt sich aus der abgeminderten Haftscherfestigkeit f_{vk0} und dem Bemessungswert der zugehörigen Druckspannungen σ_{Dd} rechtwinklig zur Lagerfuge. Er darf einen Höchstwert der ansetzbaren Zugfestigkeit $\max f_{x2}$ parallel zur Lagerfuge nicht überschreiten (Tab. 4.29):

$$f_{x2} = 0,4 \cdot f_{vk0} + 0,24 \cdot \sigma_{Dd} \leq \max f_{x2} \quad \text{Gl. (4.17)}$$

Tab. 4.29: Höchstwerte der Zugfestigkeit $\max f_{x2}$ parallel zur Lagerfuge [63.3]

Steinfestigkeitsklasse	Höchstwert der Zugfestigkeit parallel zu Lagerfuge $\max f_{x2}$ N/mm ²
2	0,02
4	0,04
6	0,08
8	0,10

Die abgeminderte Haftscherfestigkeit beträgt für Porenbetonmauerwerk, das mit Dünnbettmörtel verarbeitet wird, $f_{vk0} = 0,22 \text{ N/mm}^2$. Für Mauerwerk mit unvermörtelten Stoßfugen ist der Wert zu halbieren. Im Sinne der DIN 1053-100 gilt eine Stoßfuge als vermörtelt, wenn mindestens die halbe Wanddicke vermörtelt ist.

Bemessungswert der Schubfestigkeit

Der Bemessungswert der Schubfestigkeit von Mauerwerk f_{vd} wird aus dem Höchstwert der Schubfestigkeit $\max f_{vk}$ und dem Teilsicherheitsbeiwert γ_M (Tab. 4.28) ermittelt:

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_M} \quad \text{Gl. (4.18)}$$

Der Höchstwert der Schubfestigkeit $\max f_{vk}$ wird im vereinfachten Nachweisverfahren für Vollsteine ohne Grifflöcher und ohne Grifföffnungen aus $0,020 \cdot f_{bk}$ gebildet, wobei f_{bk} der charakteristische Wert der Steindruckfestigkeit (Steinfestigkeitsklasse) ist.

Begrenzung der planmäßigen Exzentrizitäten

Grundsätzlich dürfen klaffende Fugen infolge der planmäßigen Exzentrizität der einwirkenden charakteristischen Lasten (ohne Berücksichtigung der ungewollten Ausmitte und der Stabauslenkung nach Theorie II. Ordnung) rechnerisch höchstens bis zum Schwerpunkt des Gesamtquerschnittes entstehen.

Wahl des Berechnungsverfahrens

Gemäß DIN 1053-100 kann entweder ein vereinfachtes oder ein genaueres Berechnungsverfahren angewendet werden. Der Nachweis der Standsicherheit darf nach dem vereinfachten Verfahren geführt werden, wenn die Voraussetzungen erfüllt sind, die auch in DIN 1053-1 gelten (Tab. 4.14).

4.4 Mauertafeln

Grundlage der Bemessung von Mauertafeln sind DIN 1053-4 und je nach gewähltem Nachweisverfahren DIN 1053-1 oder DIN 1053-100. Außerdem gelten DIN 1055, DIN 4149 und die Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung [56].

Die Zulassung enthält für die Bemessung u. a. folgende Bestimmungen:

- Angaben zu den Grundwerten σ_0 der zulässigen Druckspannungen (Tab. 4.30).

Festigkeitsklasse der Planelemente	σ_0 MN/m ²
2	0,6
4	1,0
6	1,4

Tab. 4.30: Grundwerte σ_0 der zulässigen Druckspannungen von Mauertafeln aus Porenbeton-Planelementen gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

- Das Mauerwerk wird als zweiseitig gehalten in Rechnung gestellt. Bei Mauertafeln aus 750 mm hohen Planelementen ist für die Knicklänge stets die lichte Geschosshöhe in Rechnung zu stellen.
- Bei Wänden, die rechtwinklig zu ihrer Ebene belastet werden, dürfen Biegezugspannungen nicht in Rechnung gestellt werden. Ist ein rechnerischer Nachweis der Aufnahme dieser Belastung erforderlich, so darf eine Tragwirkung nur senkrecht zu den Lagerfugen unter Ausschluss von Biegezugspannungen angenommen werden.
- Für den Nachweis der räumlichen Steifigkeit und Stabilität dürfen zur Aufnahme der horizontalen Kräfte nur Wandabschnitte als Scheibe angenommen werden, die aus Mauertafeln ohne Stoß in Wandebene bestehen (raumbreite Mauertafeln). Wandabschnitte mit in Scheibenebene gestoßenen Mauertafeln dürfen herangezogen werden, wobei die Mauertafeln als Einzelscheiben anzusetzen sind, wenn die Lastweiterleitung sichergestellt ist und der rechnerische Nachweis unter Ausschluss von Schub-

spannungen in den lotrechten Mauertafelfugen geführt werden kann. Für den rechnerischen Nachweis dürfen nur Wandabschnitte einer Scheibenebene, jedoch keine zusammengesetzten Querschnitte in Rechnung gestellt werden.

- In lotrechten Fugen von Mauertafelverbindungen dürfen keine Schubspannungen in Ansatz gebracht werden.
- Die Beanspruchungen aus Lagerung, Transport, Montage und Bauzustand sind bei der Bemessung zu berücksichtigen.

4.5 Wandtafeln

Wandtafeln aus Porenbeton werden als geschosshohe tragende Bauteile für Außen- und Innenwände eingesetzt. Sie sind je nach Anwendungsbereich bewehrt oder unbewehrt.

Unbewehrte Wandtafeln

Unbewehrte bzw. nur mit einer Transportbewehrung versehene Wandtafeln werden nach DIN 1055, DIN 4149, DIN 4223-3 oder den Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen berechnet. Sie werden in folgenden Situationen verwendet:

- Für alle Geschosse von Gebäuden bis zu drei Vollgeschossen mit oder ohne ausgebautes Dachgeschoss.
- Für die oberen zwei Geschosse von mehrgeschossigen Gebäuden, wenn die sich darunter befindlichen Geschosse aus anderen massiven Wandbauarten (z. B. Mauerwerk) errichtet sind, und wenn die gesamte Gebäudehöhe nicht mehr als 20 m über Gelände beträgt.
- Für das oberste Geschoss von mehrgeschossigen Gebäuden, die weniger als 14 Vollgeschosse haben und deren Gebäudehöhe nicht mehr als 40 m über Gelände beträgt.
- Für Bauten in den Erdbebenzonen I und II

- Für Gebäude mit maximal zwei Vollgeschossen in den Erdbebenzonen III und IV.

Die erforderlichen Mindestwanddicken sind in Tab. 4.31 zusammengefasst. Größere Wanddicken können z. B. aus schall-, brand- oder wärmetechnischen Gründen erforderlich sein.

Belastete Wände aus Porenbeton-Wandtafeln müssen durch Querwände oder andere geeignete Maßnahmen aussteift werden. Maximale Abstände aussteifender Querwände enthält Tab. 4.32. Bei Gebäuden mit drei Vollgeschossen und lichter Geschosshöhe ≤ 3 m darf auf einen rechnerischen Nachweis der räumlichen Steifigkeit verzichtet werden, wenn in Längs- und Querrichtung des Gebäudes eine offensichtlich ausreichend große Anzahl von raumgroßen Wandscheiben aus Porenbeton-Wandtafeln vorhanden ist, die durch Öffnungen nicht wesentlich geschwächt sind und ohne Versprünge bis auf die Fundamente geführt sind.

Anordnung der Wände im Gebäude	Mindestdicke d [mm] der Wände bei lichter Geschosshöhe ¹⁾	
	$h_s \leq 3$ m	$h_s > 3$ m
Regelgeschoss und Kellerinnenwände	150 ²⁾	175 ²⁾
Durch Erddruck belastete Kellerwände	225 ²⁾	250

¹⁾ Lichte Geschosshöhe im Sinne von DIN 1053-1

²⁾ Bei Wänden aus Porenbeton-Wandelementen W der Festigkeitsklasse 2 beträgt die Mindestwanddicke 240 mm

Tab. 4.31: Mindestdicken von Wänden aus unbewehrten Porenbeton-Wandtafeln gemäß bauaufsichtlicher Zulassung [48]

Dicke der auszusteifenden belasteten Wände d mm	Abstand der aussteifenden Querwände bzw. Aussteifungen l m
150	$\leq 4,50$
175	$\leq 6,00$
200	$\leq 7,00$
225	$\leq 7,50$
≥ 240	$\leq 8,00$
Bei eingeschossigen Gebäuden $d \geq 200$	$\leq 8,00$

Tab. 4.32: Maximale Abstände der Aussteifungen für Wände aus unbewehrten Porenbeton-Wandtafeln

Für die Ermittlung der Knicklänge h_k darf nur eine zweiseitige Halterung der Wände am Wandfuß und am Wandkopf in Rechnung gestellt werden. Die Schlankheit der zweiseitig gehaltenen Wand darf $h_k/d \leq 20$ betragen. Aus Tab. 4.33 können die zulässigen Druckspannungen σ_0 in Abhängigkeit von der Schlankheit entnommen werden. Die Anschlüsse von Querwänden sowie bei Wandecken oder Wandkreuzungen sind als Stumpfstoß auszuführen. Die Anschlussfuge der miteinander zu verbindenden Wände ist vollfugig mit Dünnbettmörtel auszuführen.

Tab. 4.33: Zulässige Druckspannungen σ_0 von unbewehrten Porenbeton-Wandtafeln in Abhängigkeit von der Schlankheit h_k/d

Festigkeitsklasse	Zulässige Druckspannungen ¹⁾ σ_0 MN/m ²			Örtliche Pressung ²⁾ MN/m ²
	bei h_k/d			
	≤ 10	15	20	
2	0,50	0,35	0,25	0,65
4	0,80	0,60	0,40	1,05
6	1,15	0,85	0,55	1,50

¹⁾ Zwischenwerte sind linear zu interpolieren

²⁾ Eine Lastverteilung über die lotrechten Wandtafelfugen hinweg darf jedoch nicht angenommen werden. Diese Einschränkung gilt nicht für lotrechte Wandelementfugen.

Bei Wänden aus Porenbeton-Wandtafeln ist in jedem Geschoss über den Außenwänden, den tragenden Innenwänden und den aussteifenden Wänden ein Ringanker gemäß DIN 1053-1 anzuordnen, zweckmäßigerweise in der Deckenebene. Bei eingeschossigen Gebäuden ohne ausgebautes Dachgeschoss, die mit einer Holzkonstruktion überdeckt werden, ist es zulässig, einen umlaufenden Holz-Randbalken (z. B. Fußpfette) als Ringanker zu nutzen. Anstelle eines Holz-Randbalkens kann auch Profilstahl verwendet werden.

Bei größeren Höhendifferenzen im Auflagerbereich ist auch der Einbau einer Kimmschicht oder einer ausgehärteten Mörtelschicht zulässig, auf welcher dann die Porenbeton-Wandtafeln in Dünnbettmörtel versetzt werden. Für Kimmschichten sind Porenbeton-Plansteine mindestens der gleichen Festigkeitsklasse wie die der Porenbeton-Wandtafeln zu verwenden. Die Stoßfugen müssen vermörtelt werden.

Bewehrte Wandtafeln

Bewehrte Wandtafeln aus Porenbeton werden nach DIN 1055, DIN 4149, DIN 4223-2 oder den Bestimmungen allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen berechnet. Berechnungen und statische Nachweise werden im Regelfall von den Porenbeton-Herstellern durchgeführt. Der Anwendungsbereich für bewehrte Wandtafeln ist identisch mit dem unbewehrter Wandtafeln. Zusätzlich können jedoch Biegebeanspruchungen senkrecht zur

Wandebene, z. B. aus Erddruck, aufgenommen werden. Für Kellerwände dürfen bewehrte Porenbeton-Wandtafeln nur dann verwendet werden, wenn das Kellergeschoss in Bodenbereichen errichtet wird, in denen Bodenfeuchtigkeit oder nicht stauendes Sickerwasser gemäß DIN 18195-4 [93.1] vorhanden ist.

Die Kopfseiten der Wandtafeln sind mit Nuten versehen. Bei direkter Stützung dürfen die Kopfnuten entfallen, wenn die Auflagertiefe der Decke mindestens 100 mm beträgt. Die Längsseiten der Wandtafeln können je nach Wahl des Fugenverbindungsmaterials entweder beidseitig mit Nuten, wechselseitig mit Nut und Feder oder ohne Profilierung ausgeführt werden.

Über Geschossen mit Porenbeton-Wandtafeln sind über den Außenwänden, den tragenden Innenwänden und den aussteifenden Wänden Stahlbetonringanker gemäß DIN 1053-1 anzuordnen. Sie liegen in der Deckenebene und entsprechen der Deckenhöhe.

Der Nachweis der Standsicherheit der Porenbeton-Wandtafeln ist in jedem Einzelfall zu erbringen. Auf einen Nachweis der räumlichen Stabilität und Steifigkeit darf verzichtet werden, wenn in Längs- und Querrichtung des Gebäudes eine offensichtlich ausreichende Anzahl aussteifend wirkender Wände vorhanden ist.

4.6 Dachplatten

Dachplatten aus Porenbeton werden nach DIN 1055, DIN 4149, DIN 4223-2 oder den Bestimmungen allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen berechnet.

Die maximalen Stützweiten von Dachplatten und die zulässigen Momente sind von den Festigkeitsklassen, von der Plattendicke und den Lasten abhängig (Tab. 4.34). Dabei sollte die zulässige maximale Stützweite nicht voll ausgeschöpft werden, da aufgrund der Erfahrungen der Praxis oft höhere als geplante Lasten angenommen werden müssen, z. B. durch Kiesschüttungen. Daraus ergibt sich für 5 m lange Porenbeton-Dachplatten eine Dicke von 17,5 cm und für 6 m lange Platten eine Mindestdicke von 20 cm. Die Schlankheit von Platten mit Dicken von $d \leq 17,5$ cm sollte höchstens $l/d \leq 30$ betragen. Die Schlankheit l/d ist das Verhältnis von Plattenstützweite zu Plattendicke. Die Auflagertiefen a_0 sind vom Untergrund abhängig und können DIN 4223-2 entnommen werden. Sie betragen (Abb. 9.36 und 9.37):

Platten- dicke mm	Auflast ¹⁾ p [kN/m²]														Eigen- last kN/m²
	0,95	1,10	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	
	max. Stützweiten [mm]														
150	4,80	4,80	4,79	4,55	4,34	4,16	4,00	3,86	3,73	3,62	3,51	3,41	3,32	3,24	1,00
175	5,76	5,63	5,52	5,31	5,09	4,89	4,71	4,55	4,41	4,28	4,16	4,05	3,94	3,85	1,17
200	6,51	6,28	6,14	5,92	5,72	5,55	5,39	5,21	5,06	4,91	4,78	4,66	4,54	4,44	1,34
250	7,41	7,39	7,24	7,01	6,80	6,62	6,46	6,31	6,17	6,05	5,93	5,82	5,69	5,56	1,68
300	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41	7,37	7,17	6,99	6,81	6,65	6,51	6,37	6,24	2,01

¹⁾ Auflast p = Gesamtbelastung der Dachplatten abzüglich Eigenlast

- Auf Mauerwerk und Wandtafeln: $a_0 \geq 70 \text{ mm}$
- Auf Stahlbetonträgern: $a_0 \geq 50 \text{ mm}$
- Auf Stahlträgern: $a_0 \geq 50 \text{ mm}$
- Auf Holzkonstruktionen: $a_0 \geq 50 \text{ mm}$

Das erforderliche Mindestmaß ist immer $a_0 = l/80$. Die Auflagerflächen müssen eben sein und sind gegebenenfalls mit Zementmörtel auszugleichen. Für Porenbeton-Dachplatten mit unterschiedlichen Profilierungen der Plattenlängsseiten (Tab. 2.11) gelten folgende Regelungen:

- Porenbeton-Dachplatten in den Festigkeitsklassen P 2,2 und P 3,3 mit Vergussprofil
 - Ständige Lasten aus Dacheindeckung sowie Schnee- und Windlasten können entsprechend DIN 1055 eingesetzt werden und unterliegen keiner Einschränkung.
 - Als Vertikallast ist die lotrechte Einzelverkehrslast (1 kN) für Reinigungs- und Wiederherstellungsarbeiten zugelassen.
- Porenbeton-Dachplatten in der Festigkeitsklasse P 4,4 mit Vergussprofil
 - Neben den ständigen Lasten sowie Wind- und Schneelast wie oben sind Verkehrslasten bis $3,5 \text{ kN/m}^2$ gestattet.
 - Mit einem konstruktiv bewehrten Überbeton $d \geq 40 \text{ mm}$ in der Festigkeitsklasse C 12/15 dürfen die Dachdecken eine Verkehrslast bis 5 kN/m^2 aufnehmen.
- Porenbeton-Dachplatten in den Festigkeitsklassen P 3,3 und P 4,4 ohne Vergussprofil mit Nut und Feder
 - Die zulässige Belastung entspricht den Angaben der Dachplatten mit den Festigkeitsklassen P 2,2 und P 3,3 mit Vergussprofil.

Die Ausführung von Auskragungen ist bis zu $1,50 \text{ m}$ möglich. Einzelheiten der Bewehrung, Herstellung und Ausführung sind statisch nachzuweisen. Bis zu einer

freien Kragarmlänge $\geq 2 \cdot d$ können Auskragungen, z. B. als Dachüberstände, ohne statischen Nachweis ausgeführt werden. Bei Kragarmlängen $\geq 2 \cdot d$ dürfen Kragarme nur wie bei der Festigkeitsklasse 4,4 mit Verkehrslasten (Wind- und Schneelasten sowie Einzelverkehrslasten aus Reinigungsarbeiten) belastet werden und zusätzlich eine Randlast von maximal $0,4 \text{ kN/m}$ erhalten.

Einzelne Öffnungen bzw. Durchbrüche bis zu einem Durchmesser von 150 mm senkrecht zur Plattenfläche sind zulässig, wenn der Plattenquerschnitt dadurch um nicht mehr als 25% vermindert wird (Abb. 9.44). Für den verbleibenden Plattenquerschnitt muss die Standicherheit gesondert nachgewiesen werden.

Bei größeren Öffnungen in der Dachfläche werden Auswechslungen erforderlich (Abb. 9.44). Sie werden bei ausreichender Tragfähigkeit der benachbarten Platten so ausgeführt, dass die Lasten auf diese abgeleitet werden. Besteht diese Möglichkeit nicht, werden Wechselrahmen eingesetzt (Abb. 9.59).

In der Regel erweisen sich Bewegungsfugen in der Dachfläche von Porenbetondächern als nicht notwendig. Die Längenänderung der raumseitigen Oberfläche ist im Wesentlichen von der Raumtemperatur abhängig und entsprechend gering. Temperaturerhöhungen auf der Außenseite führen in erster Linie zu leichten Verwölbungen in den Platten. Thermisch bedingte Schubauswirkungen an den Auflagerstellen, wie sie bei massiven Betondächern auftreten können, sind bei Porenbeton-Dachplatten üblicher Länge aus der Praxis nicht bekannt und nicht zu befürchten. Bewegungsfugen in der Unterkonstruktion sind unbedingt in der Dachfläche fortzuführen.

Falls das Eigengewicht der Dachplatten nicht ausreicht, um ein Abheben durch Windkräfte zu verhindern, sind sie mit der Unterkonstruktion zu verbinden. Ein Verschieben der Platten untereinander ist wegen des

Tab. 4.34: Beispiel für maximale Stützweiten von Porenbeton-Dachplatten P 4,4-0,55 F 90 für Flachdächer

Fugenvergusses und/oder der Nut-Feder-Verbindung im Allgemeinen nicht möglich. Verankerungen mit der Unterkonstruktion, z. B. durch Flachstahllaschen und Rundstahlbügel, sind auch erforderlich, wenn eine Dachscheibenausbildung erfolgt oder eine Kippaussteifung der Binder notwendig ist.

4.7 Deckenplatten

Deckenplatten aus Porenbeton werden nach DIN 1055, DIN 4149, DIN 4223-2 oder den Bestimmungen allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen berechnet.

Die maximalen Stützweiten von Porenbeton-Deckenplatten sind von den Lasten, der Festigkeitsklasse und der Plattendicke abhängig (Tab. 4.35). Dabei sollte die gemäß DIN 4223-2 zulässige maximale Stützweite nicht voll ausgeschöpft werden, da aufgrund der Erfahrungen der Praxis oft höhere als geplante Lasten angenommen werden müssen, z. B. durch Deckenabhängungen. Daraus ergibt sich für 5 m lange Porenbeton-Deckenplatten (einschließlich Trennwandzuschlag) eine Dicke von 20 cm und für 6 m lange Platten eine Mindestdicke von 25 cm. Die Schlankheit von Platten mit Dicken von $d \leq 17,5$ cm sollte höchstens $l/d \leq 30$ betragen. Ein statischer Nachweis kann im Einzelfall oder mit Hilfe von typengeprüften Bemessungstabellen erfolgen. Die Schlankheit darf nicht größer als $l/d = 25$ sein. Die Auflager werden ausgeführt wie bei Porenbeton-Dachplatten.

Deckenplatten der Festigkeitsklasse 3,3 sind für begehbare Räume mit einer Verkehrslast $\leq 1,0$ kN/m² zugelassen. Mit Trennwänden oder entsprechenden Lasten dürfen diese Deckenplatten nicht belastet werden. Platten der Festigkeitsklassen 4,4 und 6,6 dürfen für gleichmäßig verteilte, vorwiegend ruhende Verkehrslasten bis zu 3,5 kN/m² einschließlich erforderlicher Zuschläge zur Berücksichtigung des Gewichts leichter Trennwände verwendet werden. Für Decken unter

Wohnräumen ist mit einer Verkehrslast von 1,5 kN/m² zu rechnen.

Wird ein konstruktiv bewehrter Überbeton in einer Dicke von mindestens 4 cm aufgebracht, dürfen auch Verkehrslasten einschließlich Ersatzlasten für leichte Trennwände bis 5 kN/m² aufgenommen werden. Der Überbeton darf bei der Deckenplattentragfähigkeit nicht berücksichtigt werden.

Für die Bewehrung von Deckenplatten aus Porenbeton werden korrosionsgeschützte, punktgeschweißte Betonstahlmatten aus Bewehrungsstahl der Betonstahlsorte BSt 500 G gemäß DIN 488-4 [59.1] oder aus Rundstählen der Stahlsorte S 235 JRG 2 gemäß DIN EN 10025 [80] verwendet. Die Betondeckung der Betonstahlmatten beträgt $d \geq 10$ mm. Ab Feuerwiderstandsklasse F 60 ist eine größere Überdeckung erforderlich (siehe DIN 4102-4 [69.4]). Tab. 4.35 enthält auch Angaben zu Stützweiten bei üblicher Bemessung und bei Auslegung entsprechend den Feuerwiderstandsklassen F 30 und F 90. Aussparungen können wie bei Porenbeton-Dachplatten vorgenommen werden.

Bis zu 1,50 m auskragende Deckenbereiche dürfen nur mit Linienlasten belastet werden, wenn deren Größe 10 kN/m und die Summe der Linienlasten in kN zehnmal Fertigteilbreite in m nicht übersteigen. Die gesamte Plattenlänge einschließlich Auskragung darf $l = 8$ m nicht überschreiten. Die rechnerisch zulässige Kragarmdurchbiegung ist mit $l/150$ bei Linienlasten ≤ 1 kN/m bzw. mit $l/500$ bei Linienlasten > 1 kN/m festgelegt. Die gegebenenfalls nachzuweisende Kippsicherheit bei ungünstiger Laststellung (Standmoment zu Kippmoment $\geq 1,5$) muss auch im Montagezustand größer als das 1,5-fache sein. Ein Kürzen der Platte an der Kragarmseite ist nicht zulässig. Alle Deckenplatten mit Kragarm werden besonders gekennzeichnet. Für alle Einzelheiten der Bewehrung, Herstellung und Ausführung gelten DIN 4223-1 [76.1], DIN 4223-4 [76.4] und die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen.

Tab. 4.35: Beispiel für maximale Stützweiten von Porenbeton-Deckenplatten P 4,4-0,55 F 90 (ohne Trennwände)

Platten- dicke mm	Auflast ¹⁾ p [kN/m²]													Eigenlast kN/m²
	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	
	max. Stützweiten [mm]													
200	5,55	5,21	4,91	4,66	4,44	4,25	4,08	3,93	3,79	3,67	3,56	3,46	3,37	1,34
250	6,62	6,31	6,05	5,82	5,56	5,34	5,14	4,96	4,80	4,65	4,51	4,39	4,28	1,68
300	7,41	7,17	6,81	6,51	6,24	6,00	5,78	5,59	5,42	5,26	5,11	4,98	4,85	2,01

¹⁾ Auflast = Gesamtbelastung der Deckenplatten abzüglich Eigenlast.

Für die Ermittlung der Langzeitdurchbiegung f_{∞} wurde die Verkehrslast mit $0,6 \cdot 1,50$ kN/m² angenommen; gewählte Durchbiegungsbegrenzung: $l/300$

Porenbeton-Deckenplatten können durch konstruktive Maßnahmen bei der Bauausführung zu Deckenscheiben zusammengefasst werden. Sie können dadurch auf das Gebäude wirkende Horizontalkräfte, z. B. aus Windbeanspruchung, aufnehmen.

4.8 Stürze

Für die Berechnung von Stürzen sind DIN 1055 [64], DIN 4149, DIN 4223-2 [76.2] sowie die Bestimmungen allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen maßgebend.

Tragende Porenbeton-Fertigstürze

Für Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen werden tragende Porenbeton-Fertigstürze angeboten. Einge-

setzt werden sie in Gebäuden mit vorwiegend ruhenden Verkehrslasten. Fertigstürze sind bauaufsichtlich zugelassen und in vielen Abmessungen erhältlich. Sie werden mit den Abmessungen eingebaut, in denen sie angeliefert wurden; Stemm- oder Fräsarbeiten an Stürzen sind nicht zulässig. Rechenwerte der Eigenlasten enthält Tab. 4.4. Angaben zu den zulässigen Auflasten können Tab. 4.36 entnommen werden.

Nicht tragende Porenbeton-Fertigstürze

Sofern Öffnungen in nicht tragenden Trennwänden aus Porenbeton-Plansteinen oder Porenbeton-Planbauplatten nicht geschosshoch ausgestaltet werden, werden für die Abdeckung der Öffnungen nicht tragende Porenbeton-Fertigstürze eingesetzt.

Maximale lichte Öffnungsbreite	Abmessungen des Sturzes			Zulässige Auflast kN/m
	Länge mm	Dicke mm	Höhe mm	
Tragende Porenbeton-Stürze P 4,4-0,60, P 4,4-0,55, P 4,4-0,65				
0,90	1.299	175	249	18
1,10	1.499			18
1,35	1.749			13
1,50	1.999			14
0,90	1.299	200		18
1,10	1.499			18
1,35	1.749			13
1,50	1.999			14
0,90	1.299	240		18
1,10	1.499			18
1,35	1.749			14
1,50	1.999			15
1,75	2.249	300		13
0,90	1.299			18
1,10	1.499			18
1,35	1.749			18
1,50	1.999			16
1,75	2.249			15
0,90	1.299	365		18
1,10	1.499			18
1,35	1.749			18
1,50	1.999			16
1,75	2.249			15
Nicht tragende Porenbeton-Stürze P 4,4-0,60				
1,00	1.249	75	249	-
		100		
		115		

Tab. 4.36: Zulässige Auflast von Porenbeton-Stürzen, Beispiele

Flachstürze

Flachstürze sind Fertigstürze aus bewehrtem Porenbeton P 4,4 mit einer Höhe von 124 mm. Durch die niedrige Höhe haben Flachstürze, die über Tür- und Fensteröffnungen eingebaut werden, ein sehr geringes Verarbeitungsgewicht. Die Tragwirkung des Sturzsystems wird durch eine 125 bis 750 mm hohe Übermauerung des Flachsturzes mit Porenbeton-Mauersteinen und/oder einer Massivdecke erreicht. Die Höhe der Übermauerung bestimmt die Tragfähigkeit des Sturzes.

Stürze aus U-Schalen und U-Steinen

Bei der Herstellung von Stürzen mit Hilfe von U-Schalen oder U-Steinen werden die aneinandergereihten U-Elemente für die Montage unterstützt, mit einem Bewehrungskorb gemäß DIN 1045-1 bewehrt und mit Beton C 20/25 vergossen. Die aufnehmbare Gesamtlast ist Tab. 4.37 zu entnehmen. Ein statischer Nachweis ist in jedem Einzelfall erforderlich.

Tab. 4.37: Zulässige Auflast von Stürzen aus Porenbeton-U-Schalen und Porenbeton-U-Steinen mit tragendem Stahlbetonkern; abhängig von der Zugbewehrung BSt 500 S, der Betongüte C 20/25 und der lichten Weite

Zugbewehrung	Betongüte	Lichte Weite l_0 [mm]										
		1.000	1.200	1.400	1.600	1.800	2.000	2.200	2.400	2.600	2.800	3.000
2 Ø 6	C 20/25	12,54	9,10	6,90	5,42	4,36	3,59	3,00	2,55	2,19	1,91	1,67
2 Ø 8	C 20/25	22,30	16,18	12,27	9,63	7,56	6,38	5,34	4,54	3,90	3,39	2,97
2 Ø 10	C 20/25	34,84	25,28	19,18	15,05	12,12	9,97	8,34	7,09	6,09	5,29	4,64
2 Ø 12	C 20/25	50,17	36,41	27,62	21,67	17,45	14,35	12,01	10,20	8,77	7,62	6,69
2 Ø 14	C 20/25	-	49,55	37,59	29,49	23,75	19,54	16,35	13,89	11,94	10,38	9,10

WÄRME

5.1 Ziele des Wärmeschutzes

Energie einzusparen ist ein wichtiges Ziel bei der Herstellung von Baustoffen und Gebäuden, aber auch bei der Nutzung von Gebäuden. Anzustreben ist dieses Ziel in Hinblick auf die Schonung der Ressourcen fossiler Energieträger und der Entlastung unserer Umwelt von Schadstoffen, die bei der Verbrennung fossiler Energieträger entstehen. Hierzu zählt auch das Treibhausgas Kohlendioxid (CO_2). Daher ist der Wärmeschutz von Gebäuden, insbesondere die wärmetechnische Qualität der Außenbauteile, eine wichtige Einflussgröße für den Heizenergieverbrauch während der Nutzung. Hinzu kommt, dass die wärmetechnische Qualität von Außenbauteilen, bedingt durch ihre inneren Oberflächentemperaturen, einen wesentlichen Einfluss auf die Behaglichkeit innerhalb von Räumen hat. Auch zur Vermeidung von Bauschäden sind ausreichend hohe Oberflächentemperaturen erforderlich. Diesen Zielsetzungen entsprechen die unterschiedlichen Schwerpunkte des Wärmeschutzes:

■ Mindestwärmeschutz im Winter

An die Wärmedämmung von Bauteilen und Wärmebrücken werden Mindestanforderungen gestellt, um ein hygienisches Raumklima und einen dauerhaften Schutz der Baukonstruktion gegen klimabedingte Feuchteinwirkungen sicherzustellen.

■ Energieeinsparung in Gebäuden

Der Verbrauch von Primärenergie für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung insbesondere unter Berücksichtigung von Energiegewinnen aus erneuerbaren Energien ist im Rahmen eines gesamtheitlichen energetischen Bewertungskonzeptes zu begrenzen. Darüber hinaus ist es technisch möglich, Gebäude zu errichten, die einen noch geringeren Energiebedarf haben als nach der Energieeinsparverordnung zulässig wäre. Begriffe, die in Zusammenhang mit energiesparenden Gebäuden genannt werden, sind z. B. KfW-60-Haus, KfW-40-Haus, Drei-Liter-Haus oder Passivhaus.

■ Sommerlicher Wärmeschutz

Durch Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz im Sommer soll eine zu starke Erwärmung von Aufenthaltsräumen vermieden werden, um auch ohne Kühlung der Raumluft unter Einsatz von Energie ein behagliches Raumklima zu erreichen.

In den weiteren Abschnitten dieses Kapitels werden zunächst grundlegende wärmetechnische Begriffe und Eigenschaften erläutert. Anschließend werden die wärmetechnischen Schwerpunkte näher betrachtet.

5.2 Wärmeleitung und Wärmeübergang

Die wärmetechnischen Transportmechanismen Wärmeleitung, Wärmestrahlung und Wärmekonvektion führen zu einem Wärmestrom durch ein Bauteil in Richtung eines Temperaturgefälles und damit zu einem Wärmedurchgang von innen nach außen während der Heizperiode. Die Mechanismen Wärmestrahlung und Wärmekonvektion, die das Maß des Wärmeübergangs an Bauteiloberflächen kennzeichnen, werden bei Berechnungen zur wärmetechnischen Qualität von Bauteilen im Allgemeinen zusammengefasst. Die Kenngrößen sind der innere Wärmeübergangswiderstand R_{si} und der äußere Wärmeübergangswiderstand R_{se} , welche nach DIN EN ISO 6946 [78] in Abhängigkeit von der Richtung des Wärmestroms bzw. der Neigung eines Bauteils für innere und äußere Oberflächen unterschieden werden (Tab. 5.1). Grenzt ein Bauteil an Erdreich, entfallen Strahlung und Konvektion und R_{se} ist Null. Im Falle hinterlüfteter Konstruktionen gilt allgemein die Regel $R_{se} = R_{si}$.

	Richtung des Wärmestromes		
	Aufwärts	Horizontal	Abwärts
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Tab. 5.1: Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} in $\text{m}^2\text{K/W}$ gemäß DIN EN 6946 [78]

Tab. 5.2: Wärme-
leitfähigkeiten λ
von Produkten aus
Porenbeton

Produkt	Bezeichnung	Festigkeitsklasse	Rohdichteklasse	Wärmeleitfähigkeit λ [W/(mK)]	
				nach DIN 4108-4 [71.3]	nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung
Plansteine, Planelemente	PPW 2-0,35	2	0,35	-	0,08
	PP 2-0,35	2	0,35	0,11	0,09
	PPW 2-0,35		0,40	0,13	0,10
	PP 2-0,40			0,50	0,16
	PPW 2-0,40		0,16		0,14
	PP 2-0,50			4	0,16
	PPW 2-0,50		0,13		
	PP 2-0,50	0,14			
	PP 4-0,50		0,18		0,13
	PPE 4-0,50	0,19			0,14
	PPW 4-0,50		0,21		0,13
	PP 4-0,50	0,22			0,14
	PPW 4-0,50		0,22		0,16
	PP 4-0,50	0,22			0,16
	PPW 4-0,50		0,22		0,16
	PPW 4-0,55	0,22			0,16
	PP 4-0,55		0,22		0,16
	PPW 4-0,55	0,22			0,16
	PP 4-0,60		0,22	0,16	
	PPW 4-0,60	0,22		0,16	
	PP 6-0,60		0,22	0,16	
	PPE 6-0,65	0,22		0,16	
	PPW 6-0,65		0,22	0,16	
	PPW 6-0,65	0,22		0,16	
	PP 6-0,65		0,22	0,16	
	PPW 6-0,65	0,22		0,16	
	PP 6-0,70		0,22	0,16	
	PP 6-0,70	0,22		0,16	
	PPW 6-0,70		0,22	0,16	
	PPEW 6-0,70	0,22		0,16	
	PP 6-0,70		0,22	0,16	
PP 8-0,80	8	0,80		0,25	0,21
Planbauplatten		-	0,35	0,11	-
			0,40	0,13	
			0,45	0,15	
			0,50	0,16	
			0,55	0,18	
			0,60	0,19	
			0,65	0,21	
			0,70	0,22	
			0,80	0,25	
			0,90	-	
Mauertafeln (Sockelelemente)	s. Planelemente	0,40	-	0,10	
		0,45		0,12	
		0,50		0,13	
		0,55		0,14	
		0,60		0,16	
		0,65		0,18	
		0,70		0,18	
		0,80		0,21	

Produkt	Bezeichnung	Festigkeitsklasse	Rohdichteklasse	Wärmeleitfähigkeit λ [W/(mK)]	
				nach DIN 4108-4 [71.3]	nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung
Wandtafeln, unbewehrt	2		0,40	-	0,10
			0,45		0,12
			0,50		0,13
	4		0,50		0,13
			0,55		0,14
			0,60		0,16
			0,65		0,18
			0,70		0,21
	6		0,60		0,16
			0,65		0,18
			0,70		0,21
			0,80		0,21
Wandtafeln, bewehrt	3,3		0,45	0,15	0,12
			0,50	0,15	0,13
			0,55	0,18	0,14
			0,60	0,19	0,16
	4,4		0,55	0,18	0,14
			0,60	0,19	0,16
			0,65	0,21	0,18
			0,70	0,22	0,18
Wandplatten, Deckenplatten, Dachplatten	2,2		0,40	0,13	0,10
			0,45	0,15	0,12
	3,3		0,50	0,15	0,13
			0,55	0,18	0,14
			0,60	0,19	0,16
	4,4		0,55	0,18	0,14
			0,60	0,19	0,16
			0,65	0,21	0,18
Fertigstürze	4,4		0,70	0,22	0,18
			0,55	-	0,14
			0,60		0,16
			0,65		0,18
Flachstürze	4,4		0,70		0,18
			0,55	-	0,14
			0,60		0,16
			0,65		0,18
			0,70		0,21

Für den Anteil des Wärmedurchgangs, der über die Wärmeleitung der Baustoffschichten erfolgt, sind die Schichtdicken d der Baustoffe und deren Wärmeleitfähigkeiten λ maßgebend. Tab. 5.2 enthält eine Übersicht zu den Wärmeleitfähigkeiten λ von Produkten aus Porenbeton. Das Spektrum reicht von $\lambda = 0,08$ W/(mK) bis $\lambda = 0,25$ W/(mK). Der Quotient aus d und λ ist der Wärmedurchlasswiderstand R_i einer Baustoffschicht. Fasst man die Wärmedurchlasswiderstände aller Baustoffschichten zusammen, erhält man den Wärmedurchlasswiderstand R des gesamten Bauteils. Er ist

bedeutend für den Nachweis der Mindestanforderungen an den Wärmeschutz von Bauteilflächen und die weitere Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U .

Der bei gleich bleibender Wärmeleitfähigkeit λ vorausgesetzte lineare Zusammenhang zwischen der Baustoffdicke d und dem Wärmedurchlasswiderstand R_i hat bei Luftschichten keine Gültigkeit. Daher ist bei Bauteilen, die eine ruhende Luftschicht aufweisen, der Wärmedurchlasswiderstand R_g von Luftschichten tabel-

larisch für bestimmte Luftschichtdicken d und in Abhängigkeit von der Richtung des Wärmestroms zu ermitteln (Tab. 5.3). Streng genommen ist noch das Emissionsvermögen der die Luftschicht begrenzenden Oberflächen relevant. Es wird jedoch bei Baustoffschichten mit mineralischen Oberflächen zur Berechnung der wärmetechnischen Qualität eines Bauteils im Allgemeinen nicht weiter berücksichtigt.

Tab. 5.3: Wärmedurchlasswiderstand R_g von ruhenden Luftschichten in $\text{m}^2\text{K/W}$ gemäß DIN EN ISO 6946 - Oberflächen mit hohem Emissionsgrad [78]

Dicke der Luftschicht mm	Richtung des Wärmestromes		
	Aufwärts	Horizontal	Abwärts
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

Zwischenwerte können mittels linearer Interpolation ermittelt werden

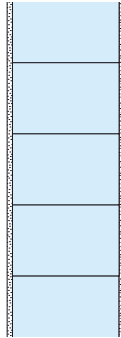
Die Summe aus dem inneren Wärmeübergangswiderstand R_{si} , dem äußeren Wärmeübergangswiderstand R_{se} und dem Wärmedurchlasswiderstand R der Baustoffschichten ist der Wärmedurchgangswiderstand R_T . Sein Kehrwert, der Wärmedurchgangskoeffizient U , ist eine Kenngröße zur Beurteilung der wärmetechnischen Eigenschaften eines Bauteils. Zu berücksichtigen ist

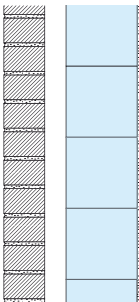
bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U , dass zwischen Bauteilen aus homogenen Schichten, z. B. massiven Mauerwerkskonstruktionen, und Bauteilen aus homogenen und inhomogenen Schichten, z. B. Holzrahmenbauweisen, zu unterscheiden ist. Im letztgenannten Fall ist die Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten U nach DIN EN ISO 6946 aufwendiger, weil neben dem Wärmestrom senkrecht zur Bauteiloberfläche auch ein Wärmestrom parallel zur Bauteiloberfläche, z. B. durch die Wechselwirkung zwischen Sparren und Wärmedämmung im Gefachbereich, ermittelt werden muss. Nach Berechnung eines oberen Grenzwertes für den Wärmedurchgangskoeffizienten R_T' (senkrecht) und eines unteren Grenzwertes R_T'' (parallel) ergibt sich der Wärmedurchgangswiderstand R_T durch Mittelung und als Kehrwert von R_T der Wärmedurchgangskoeffizient U .

Tab. 5.4 bis 5.7 enthalten Wärmedurchgangskoeffizienten U für Außenwände aus Porenbeton mit folgenden Schichtaufbauten:

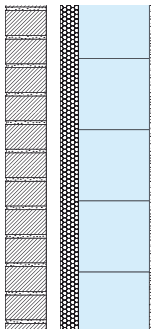
- Einschalig (monolithisch)
- Zweischalig ohne zusätzliche Wärmedämmung und mit Luftschicht
- Zweischalig mit zusätzlicher Wärmedämmung und Luftschicht
- Zweischalig mit zusätzlicher Kerndämmung

Tab. 5.4: Wärmedurchgangskoeffizienten U von Außenwänden aus Porenbeton (einschalig)

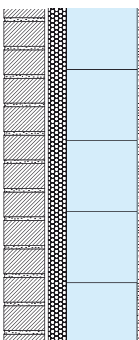
System Putz innen 1 cm $\lambda = 0,25 \text{ W/(mK)}$ Mauerwerk Putz außen 1,5 cm $\lambda = 0,25 \text{ W/(mK)}$	Dicke d cm		Wärmedurchgangskoeffizient U des Bauteils [W/(m²K)] bei einer Wärmeleitfähigkeit λ des Porenbetons von [W/(mK)]								
	Mauerwerk	gesamt	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16
	24,0	26,5	0,31	0,34	0,37	-	-	-	-	-	-
	30,0	32,5	0,25	0,28	0,31	0,33	0,36	0,39	-	-	-
	36,5	39,0	0,21	0,23	0,26	0,28	0,30	0,32	0,35	0,37	0,39

System Putz innen 1 cm $\lambda = 0,25 \text{ W/(mK)}$ Mauerwerk Luftschicht 4 cm Vormauerschale 11,5 cm	Dicke d cm		Wärmedurchgangskoeffizient U des Bauteils [W/(m²K)] bei einer Wärmeleitfähigkeit λ des Porenbetons von [W/(mK)]								
	Mauerwerk	gesamt	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16
	24,0	40,5	0,30	0,34	0,37	-	-	-	-	-	-
	30,0	46,5	0,25	0,28	0,30	0,33	0,36	0,38	-	-	-
	36,5	53,0	0,21	0,23	0,25	0,28	0,30	0,32	0,34	0,37	0,39

Tab. 5.5: Wärmedurchgangskoeffizienten U von Außenwänden aus Porenbeton (zweischalig ohne zusätzliche Wärmedämmung und mit Luftschicht)

System Putz innen 1 cm $\lambda = 0,25 \text{ W/(mK)}$ Mauerwerk Wärmedämmung Luftschicht 4 cm Vormauerschale 11,5 cm	Dicke d cm			Wärmedurchgangskoeffizient U des Bauteils [W/(m²K)] bei einer Wärmeleitfähigkeit λ des Porenbetons von W/(mK)									
	Mauer- werk	Wärme- dämmung $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$	ge- sam	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	
	17,5	4	38,0	0,28	0,30	0,31	0,33	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	
	17,5	6	40,0	0,24	0,25	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,31	0,32	
	17,5	8	42,0	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28	0,29	0,30	
	24,0	4	44,5	0,23	0,24	0,26	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34	
	24,0	6	46,5	0,20	0,21	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28	
	24,0	8	48,5	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	

Tab. 5.6: Wärmedurchgangskoeffizienten U von Außenwänden aus Porenbeton (zweischalig mit zusätzlicher Wärmedämmung und mit Luftschicht)

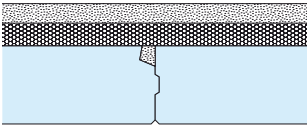
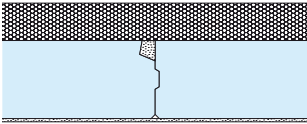
System Putz innen 1 cm $\lambda = 0,25 \text{ W/(mK)}$ Mauerwerk Kerndämmung Vormauerschale 11,5 cm $\lambda = 0,96 \text{ W/(mK)}$	Dicke d cm			Wärmedurchgangskoeffizient U des Bauteils [W/m²K] bei einer Wärmeleitfähigkeit λ des Porenbetons von W/(mK)									
	Mauerwerk	Wärmedämmung $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$	gesamt	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	
	17,5	4	34,0	0,27	0,29	0,31	0,33	0,34	0,35	0,37	0,38	0,39	
	17,5	6	36,0	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,29	0,30	0,31	0,32	
	17,5	8	38,0	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27	
	24,0	4	40,5	0,22	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31	0,33	0,34	
	24,0	6	42,5	0,20	0,21	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,27	0,28	
	24,0	8	44,5	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,22	0,23	0,24	0,24	

Tab. 5.7: Wärmedurchgangskoeffizienten U von Außenwänden aus Porenbeton (zweischalig mit zusätzlicher Kerndämmung)

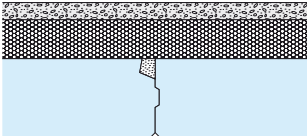
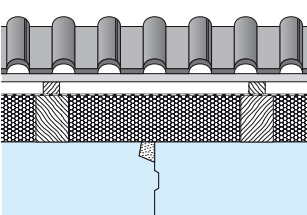
Die Werte zeigen, dass Porenbeton aufgrund seiner Baustoffeigenschaften, insbesondere der geringen Wärmeleitfähigkeit bei hoher Festigkeit, eine weitgehend monolithische Bauweise mit Wärmedurchgangskoeffizienten von $U = 0,21 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ermöglicht. Durch zusätzliche Wärmedämmschichten kann der Wert weiter gesenkt werden. Mit der umfangreichen Porenbetonproduktpalette können nicht nur Wände aus

unbewehrtem Porenbeton, sondern auch Decken und Dächer aus bewehrtem Porenbeton errichtet werden (s. Kapitel 3 „Bausysteme“). Beispiele für Wärmedurchgangskoeffizienten U von Decken über unbeheizten Kellern, obersten Geschossdecken zu unbeheizten Räumen und Dächern gegen Außenluft sind in den Tab. 5.8 und 5.9 wiedergegeben.

Tab. 5.8: Wärmedurchgangskoeffizienten U von Decken aus Porenbeton

Bauteil und System	Baustoff	Dicke d cm	Wärmeleitfähigkeit λ W/(mK)	Wärmedurchgangskoeffizient U W/(m ² K)
Decke über unbeheiztem Keller 	Estrich	5	1,4	0,21
	Dämmung	10	0,035	
	Porenbeton-Deckenplatten	20	0,14	
Oberste Geschossdecke zu unbeheizten Räumen 	Dämmung	10	0,035	0,21
	Porenbeton-Deckenplatten	20	0,14	
	Putz	1	0,25	

Tab. 5.9: Wärmedurchgangskoeffizienten U von Dächern aus Porenbeton

Bauteil und System	Baustoff	Dicke d cm	Wärmeleitfähigkeit λ W/(mK)	Wärmedurchgangskoeffizient U W/(m ² K)
Flachdach 	Kiesschüttung	-	-	0,19
	Dämmung	12	0,035	
	Porenbeton-Dachplatten	24	0,14	
Steildach 	Sparren	6/12	0,13	0,22
	Dämmung	12	0,035	
	Porenbeton-Dachplatten	20	0,14	

5.3 Wärmespeicherung

Die Wärmespeicherung von Baustoffen und Bauteilen hat im Wesentlichen zweifache Bedeutung:

- Beeinflussung der Raumlufttemperatur und damit der Transmissionswärmeverluste bei intermittierendem Heizen
- Ausnutzung der passiven Solarenergie durch Speicherung der Wärme in Bauteilen

Die Wärmespeicherfähigkeit eines Bauteils ist umso größer, je mehr Masse das Bauteil hat und umso größer die spezifischen Wärmekapazitäten seiner Baustoffe sind. Sie hat Auswirkungen auf das Auskühl- und Aufheizverhalten von Räumen. Wird die Wärmespeicherfähigkeit der raumumschließenden Bauteile größer, kühlt ein Raum langsamer aus und heizt sich langsamer auf.

Intermittierendes Heizen

Gebäude aus schwerem und dickem Mauerwerk mit einer hohen Wärmespeicherfähigkeit galten in der Vergangenheit gegenüber leichten Konstruktionen wie Holzrahmenbauten als besonders komfortabel. Den thermischen Komfort solcher Gebäude im Winter lieferten die früher üblichen Heizsysteme. Beispielsweise unterlagen extrem schlecht regelbare Ofenheizungen starken Schwankungen bei der Wärmeabgabe. Überhitzung und Verlöschen des Feuers wechselten sich ab. Eine gut speicherfähige Bauweise bewirkte, dass die Wände nach dem Verlöschen des Feuers im Ofen die vorher aufgenommene Wärme wieder in den Raum abgaben, wodurch eine zu schnelle Auskühlung der Räume verhindert wurde und die Raumlufttemperatur im behaglichen Bereich blieb. Hieraus darf aber nicht gefolgert werden, dass mit einer hohen Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile bei intermittierendem Heizen (Nachtabsenkung oder Nachtabschaltung) Energie eingespart werden kann. Tatsächlich muss die gleiche Wärmemenge, die nach dem Ausschalten der Heizung von den Bauteilen abgegeben wird, beim Anheizen wieder in die Bauteile eingespeichert werden und dann erst findet eine spürbare Raumerwärmung statt. Insofern können Räume mit Begrenzungsflächen aus leichten Bauteilen mit geringer Wärmespeicherfähigkeit schneller aufgeheizt werden.

Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} wird gemäß DIN V 4108-6 [71.4] aus der spezifischen Wärmekapazität eines Baustoffs c , der Rohdichte ρ , der wirksamen Schichtdicke d und der Bauteilfläche A ermittelt:

$$C_{\text{wirk}} = c \cdot \rho \cdot d \cdot A \quad \text{Gl. (5.1)}$$

Danach erfolgt eine Einteilung in schwere, mittlere oder leichte Bauweise. Gemäß DIN 4108-2 [71.1] gilt folgende Einstufung:

$$C_{\text{wirk}}/A_G \rightarrow \text{Bauart} \quad \text{Gl. (5.2)}$$

- $C_{\text{wirk}}/A_G < 50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$
→ Leichte Bauart
- $50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K}) \leq C_{\text{wirk}}/A_G \leq 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$
→ Mittlere Bauart
- $C_{\text{wirk}}/A_G > 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$
→ Schwere Bauart

Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit ist nicht mit dem Wärmespeichervermögen eines Bauteils gleichzusetzen, weil z. B. für Heizwärmebedarfsberechnungen nur eine wirksame Schichtdicke der raumbegrenzenden Bauteile von maximal 10 cm berücksichtigt werden darf. Außerdem werden Baustoffschichten nur raumseitig bis zur Wärmedämmebene berücksichtigt, da die Wärmedämmung dahinter liegende Speichermassen sozusagen abschottet. Im Regelfall gehören Gebäude aus Porenbeton zur mittleren, Holzrahmenkonstruktionen zur leichten und Bauten aus Kalksandstein zur schweren Bauweise.

Bei kontinuierlichem Heizbetrieb, d. h. ohne Absenkung oder Abschaltung der Heizung in der Nacht oder bei Abwesenheit, besteht hinsichtlich des Heizenergieverbrauchs praktisch kein Unterschied zwischen leichter und schwerer Bauweise. Jedoch ist bei intermittierendem Heizbetrieb durch Absenkung der Raumtemperaturen θ_i in der Nacht oder bei Abwesenheit grundsätzlich eine leichtere Bauweise von Vorteil (Abb. 5.1). Bei gleichen wärmeschutztechnischen Eigenschaften der raumumschließenden Bauteile und bei gleicher mittlerer Außenlufttemperatur θ_e sind die Transmissionswärmeverluste von der mittleren Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ zwischen Raumlufttemperatur θ_i und Außenlufttemperatur θ_e abhängig. Diese Temperaturdifferenz ist bei leichter Bauweise mit geringer Wärmespeicherfähigkeit ($\Delta\theta_i$) niedriger als bei schwerer Bauweise mit hoher Wärmespeicherfähigkeit ($\Delta\theta_s$), da die Raumlufttemperatur nach Absenkung der Heiztemperatur schneller und tiefer absinkt.

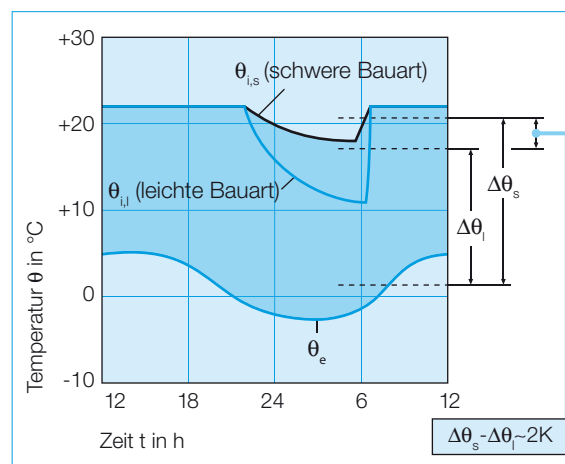


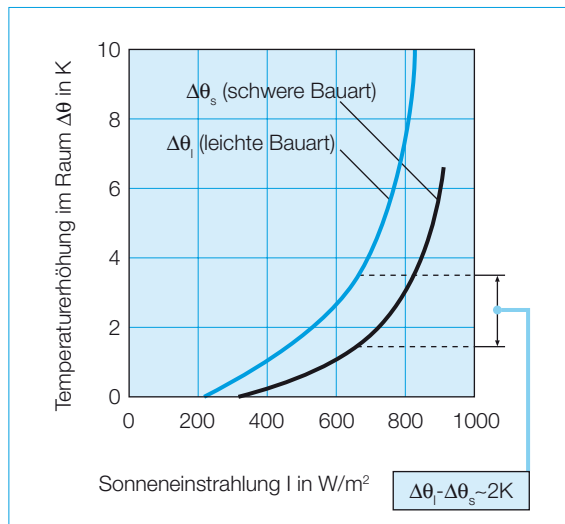
Abb. 5.1: Mittlere Temperaturdifferenzen $\Delta\theta_i$ (leichte Bauart) und $\Delta\theta_s$ (schwere Bauart) zwischen Raumlufttemperatur θ_i und Außenlufttemperatur θ_e bei intermittierendem Heizen

Passive Solarenergienutzung

Die passive Nutzung der Solarenergie durch Fenster setzt die Möglichkeit zur Wärmespeicherung in den raumumschließenden Bauteilen voraus. Bei Sonneneinstrahlung ist die Erhöhung der Raumlufttemperatur

bei schwerer Bauart ($\Delta\theta_s$) niedriger als bei leichter Bauart ($\Delta\theta_l$) (Abb. 5.2). Die eingestrahlte Energie wird in die Bauteile eingespeichert und zeitversetzt an den Raum wieder abgegeben.

Abb. 5.2: Temperaturerhöhung $\Delta\theta_l$ (leichte Bauart) und $\Delta\theta_s$ (schwere Bauart) im Raum bei Sonneneinstrahlung



■ Bei passiver Solarenergienutzung sind große Speichermassen erforderlich, um die Gewinne aus der Sonneneinstrahlung zeitversetzt nutzen zu können.

Je nach den Gegebenheiten des Einzelfalles, insbesondere nach der Art der Gebäudenutzung und dem Heizverhalten der Nutzer, kann eine größere Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile von Vorteil oder auch von Nachteil für den Heizenergieverbrauch sein. Häufig wird daher bei der Baustoffauswahl in der Praxis ein Mittelwert angestrebt.

Daten zur Wärmespeicherung und Auskühlzeit von Porenbeton können Tab. 5.10 entnommen werden. Die gespeicherte Wärmemenge Q_s ergibt sich aus spezifischer Wärmekapazität c , Rohdichte ρ und Dicke d einer Baustoffschicht:

$$Q_s = c \cdot \rho \cdot d \quad \text{Gl. (5.3)}$$

Energieeinspareffekte

Die möglichen Energieeinspareffekte aus intermittierendem Heizen und passiver Solarenergienutzung liegen im Allgemeinen in einer Größenordnung von 5 bis 10 % des Heizenergieverbrauchs und sind situationsbezogen gegenläufig:

■ Bei intermittierendem Heizen wird durch geringere Wärmespeicherung eine größere Einsparung an Heizenergie erzielt.

Die Auskühlzeit t_A wird aus der gespeicherten Wärmemenge Q_s und dem Wärmedurchlasswiderstand R berechnet:

$$t_A = Q_s \cdot \frac{R}{3600} \quad \text{Gl. (5.4)}$$

Tab. 5.10: Daten zur Wärmespeicherung und Auskühlzeit von Porenbeton

Baustoff	Dicke d m	Rohdichte ρ kg/m^3	Wärmeleitfähigkeit λ W/(mK)	Spezifische Wärmekapazität c J/(kgK)	Wärmedurchlasswiderstand R $\text{m}^2\text{K/W}$	Gespeicherte Wärmemenge Q_s $\text{J/(m}^2\text{K)}$	Auskühlzeit t_A h
Porenbeton unbewehrt (Plansteine)	0,175	350	0,09	1.000	1,94	61.250	33,01
		600	0,14	1.000	1,25	105.000	36,46
	0,240	350	0,09	1.000	2,67	84.000	62,30
		600	0,14	1.000	1,71	144.000	68,40
	0,300	350	0,09	1.000	3,33	105.000	97,13
		600	0,14	1.000	2,14	180.000	107,00
	0,365	350	0,09	1.000	4,06	127.750	144,07
		600	0,14	1.000	2,61	219.000	158,78
Porenbeton bewehrt (Dach-, Decken- und Wandplatten)	0,200	500	0,13	1.000	1,54	100.000	42,78
		550	0,14	1.000	1,43	110.000	43,69
	0,250	500	0,13	1.000	1,92	125.000	66,37
		550	0,14	1.000	1,79	137.500	68,37
	0,300	500	0,13	1.000	2,31	150.000	104,17
		550	0,14	1.000	2,14	165.000	98,08
Beton $\geq$ C 20/25	0,180	2.400	2,10	1.000	0,09	432.000	10,80
Dämmstoff	0,100	20	0,04	1.500	2,50	3.000	2,08

5.4 Mindestwärmeschutz im Winter

Um ein hygienisches Raumklima und einen dauerhaften Schutz der Baukonstruktion gegen klimabedingte Feuchteinwirkungen sicherzustellen, werden in DIN 4108-2 wärmetechnische und konstruktive Anforderungen an Bauteilflächen und an Bereiche von Wärmebrücken gestellt. Werden die in der Norm genannten Mindestanforderungen erfüllt, kann davon ausgegangen werden, dass es weder auf Bauteilflächen noch an Wärmebrücken zu einer Tauwasser- oder Schimmelbildung auf der raumseitigen Oberfläche kommt. Voraussetzung ist, dass die betreffenden Räume ausreichend beheizt und belüftet werden. Ebenso darf die Luftzirkulation an der Wandoberfläche nicht behindert werden.

Bei der Beurteilung des Mindestwärmeschutzes an Bauteilflächen wird unterschieden, ob es sich um schwere oder leichte Bauteile handelt. Schwere Bauteile, welche eine flächenbezogene Gesamtmasse von mindestens 100 kg/m² aufweisen, sind so zu planen

und auszuführen, dass ein festgelegter Wärmedurchlasswiderstand R nicht unterschritten wird (Tab. 5.11). Beispielsweise beträgt der Wärmedurchlasswiderstand einer 30 cm dicken, verputzten Porenbetonwand ($\lambda = 0,09 \text{ W/(mK)}$) $R = 3,4 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ gegenüber der Mindestanforderung von $R = 1,2 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.

Differenzierte Anforderungen werden an leichte Bauteile, Rahmen- und Skelettbauarten gestellt, deren flächenbezogene Gesamtmasse unter 100 kg/m² liegt. Für Sparrendächer in Holzrahmenbauweise gilt, dass der Wärmedurchlasswiderstand im Gefachbereich $R \geq 1,75 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ und für das gesamte Bauteil $R \geq 1,00 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ betragen muss.

Im thermischen Einflussbereich von Wärmebrücken können sich deutlich niedrigere raumseitige Oberflächentemperaturen einstellen als an Bauteilflächen. Dadurch nimmt die Gefahr einer Tauwasser- oder Schimmelbildung auf der Bauteiloberfläche zu. Auch die Transmissionswärmeverluste können größer werden. Zur Vermeidung von Schimmelbildung muss die Oberflächentemperatur ausreichend hoch sein. In DIN 4108-2 wird verlangt, dass der dimensionslose Tem-

Zeile		Bauteile	Wärme- durchlass- widerstand R m²K/W	
1		Außenwände; Wände von Aufenthaltsräumen gegen Bodenräume, Durchfahrten, offene Hausflure, Garagen, Erdreich	1,2	
2		Wände zwischen fremdgenutzten Räumen; Wohnungstrennwände	0,07	
3		Treppenraumwände	zu Treppenräumen mit wesentlich niedrigeren Innentemperaturen (z. B. indirekt beheizte Treppenräume); Innentemperatur $\theta \leq 10^{\circ}\text{C}$, aber Treppenraum mindestens frostfrei	0,25
4			zu Treppenräumen mit Innentemperaturen $\theta > 10^{\circ}\text{C}$ (z. B. Verwaltungsgebäuden, Geschäftshäusern, Unterrichtsgebäuden, Hotels, Gaststätten und Wohngebäuden)	0,07
5		Wohnungstrenndecken, Decken zwischen fremden Arbeitsräumen; Decken unter Räumen zwischen gedämmten Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen	allgemein	0,35
6			in zentralbeheizten Bürogebäuden	0,17
7		Unterer Abschluss nicht unterkellerten Aufenthaltsräume	unmittelbar an das Erdreich bis zu einer Raumtiefe von 5 m	0,90
8			über einen nicht belüfteten Hohlraum an das Erdreich grenzend	
9		Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen; Decken unter bekriechbaren oder noch niedrigeren Räumen; Decken unter belüfteten Räumen zwischen Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen, wärmegeämmte Dachschrägen		
10		Kellerdecken; Decke gegen abgeschlossene, unbeheizte Hausflure u. ä.		
11	11.1		nach unten, gegen Garagen (auch beheizte), Durchfahrten (auch verschließbare) und belüftete Kriechkeller ¹⁾	1,75
	11.2	Decken (auch Dächern), die Aufenthaltsräume gegen die Außenluft abgrenzen	nach oben, z. B. Dächer nach DIN 18530, Dächer und Decken unter Terrassen; Umkehrdächer nach DIN 4108-2, Abschnitt 5.3.3 Für Umkehrdächer ist der berechnete Wärmedurchgangskoeffizient U nach DIN EN ISO 6946 mit den Korrekturwerten nach DIN 4108-2, Tabelle 4 um ΔU zu berechnen.	1,2

Tab. 5.11: Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände R von schweren Bauteilen gemäß DIN 4108-2 [71.1]

¹⁾ Erhöhter Wärmedurchlasswiderstand wegen Fußkälte

peraturfaktor an der ungünstigsten Stelle $f_{rsi} \geq 0,7$ beträgt. Dieser Faktor entspricht unter üblichen, genormten Klimarandbedingungen einer raumseitigen Bauteil-Oberflächentemperatur von $\theta_{si} = 12,6^\circ\text{C}$ (s. Kapitel 6 „Feuchte“). Falls die wärmetechnische Ausführung einer Wärmebrücke den Planungs- und Ausführungsempfehlungen in DIN 4108 Beiblatt 2 [71.6] entspricht, ist davon auszugehen, dass die Mindestanforderungen im Bereich von Wärmebrücken eingehalten werden.

5.5 Energiesparender Wärmeschutz

5.5.1 Energieeinsparverordnung (EnEV 2007)

Der Anwendungsbereich der Energieeinsparverordnung vom 24. Juli 2007 [137] erstreckt sich auf beheizte und gekühlte Gebäude. Die Anforderungen beziehen sich auf (Abb. 5.3):

- Zu errichtende Wohngebäude (Abschnitt 2 sowie Anlagen 1 und 4)
- Zu errichtende Nichtwohngebäude (Abschnitt 2 sowie Anlagen 2 und 4)
- Zu errichtende kleine Gebäude (Abschnitt 2 und Anlage 3)
- Bestehende Gebäude und Anlagen (Abschnitt 3 und Anlage 3)
- Anlagen der Heizungs-, Kühl- und Raumlufttechnik sowie der Warmwasserversorgung (Abschnitt 4 und Anlage 5)

Des Weiteren enthält der Abschnitt 5 Regelungen zu Energieausweisen und zu den Empfehlungen für die Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden. In den dazugehörigen Anlagen 6 bis 11 finden sich Muster für Energieausweise und Modernisierungsempfehlungen sowie Anforderungen an die Inhalte der Fortbildung für Energieausweis-Aussteller für bestehende Gebäude. Allgemeine Vorschriften, gemeinsame Vorschriften und Schlussvorschriften enthalten die Abschnitte 1, 6 und 7.

Abb. 5.3: Gliederung der Energiesparverordnung 2007 [137]

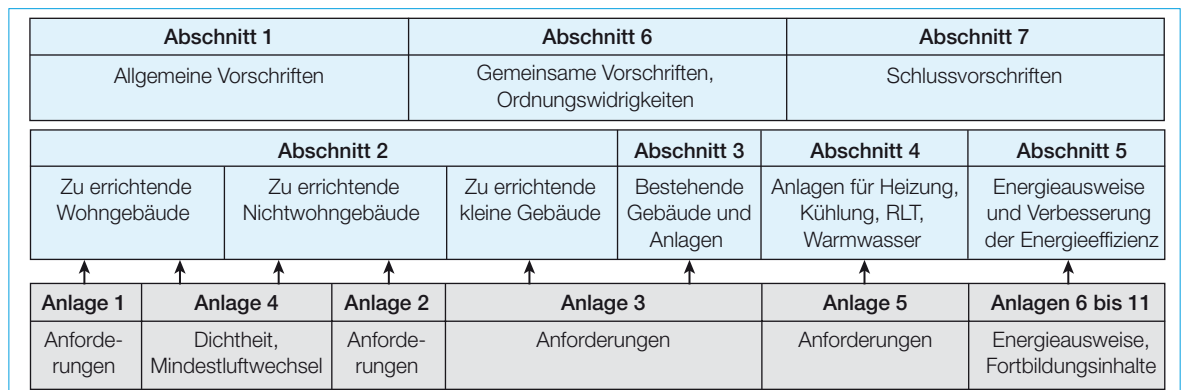
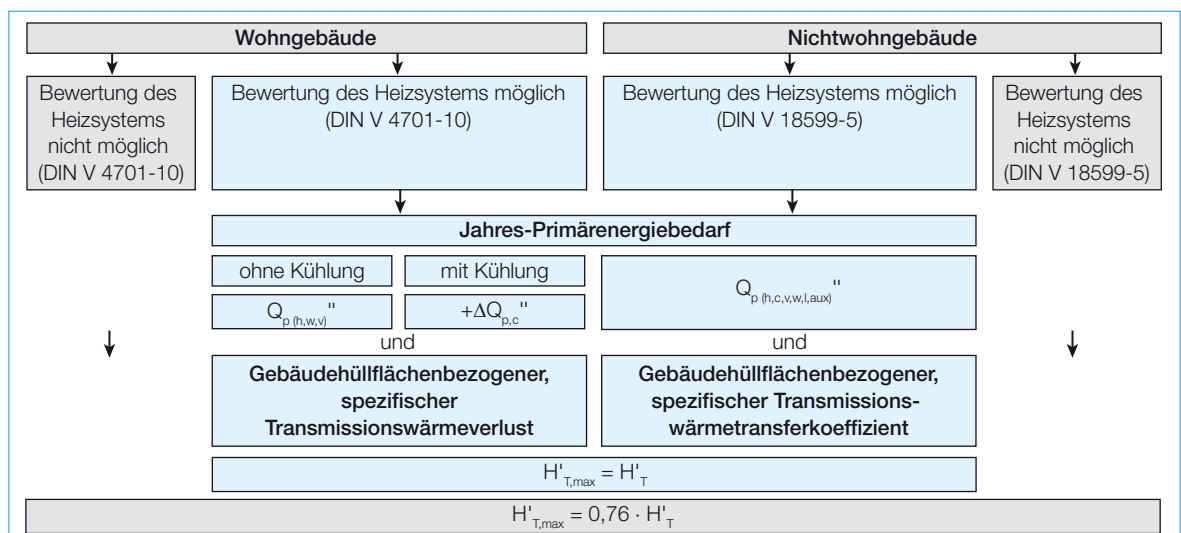


Abb. 5.4: Hauptanforderungen bei zu errichtenden Gebäuden gemäß EnEV 2007 [137]



Für zu errichtende Wohngebäude und Nichtwohngebäude sind als Hauptanforderungsgrößen der Jahres-Primärenergiebedarf Q_p und der spezifische, gebäudehüllflächenbezogene Transmissionswärmeverlust H'_T (Bezeichnung bei Nichtwohngebäuden: Spezifischer, gebäudehüllflächenbezogener Transmissionswärmetransferkoeffizient $H'_{T,p}$) nachzuweisen, sofern das Heizsystem nach vorliegenden Regelwerken bewertet werden kann (Abb. 5.4). Für Heizungen von Wohngebäuden gilt DIN V 4701-10 [77.1], von Nichtwohngebäuden DIN V 18599-5 [98.5]. Ist eine Bewertung nach diesen Normen nicht möglich, beschränkt sich die Berechnung auf den spezifischen, gebäudehüllflächenbezogenen Transmissionswärmeverlust H'_T , dessen zulässiges Maß in diesem Fall auf 76 % des sonst gültigen Höchstwertes begrenzt wird.

Zusätzlich sind Anforderungen an die Anlagentechnik zu erfüllen. Neben den Detailregelungen zur Inbetriebnahme von Heizkesseln, zu Klimaanlage und sonstigen Anlagen der Raumlufttechnik fordert die EnEV Minstdicken für Wärmedämmschichten von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen (Tab. 5.12).

Die Bilanzierung des Jahres-Primärenergiebedarfs Q_p umfasst neben den bautechnischen Eigenschaften die Verluste aus folgenden anlagentechnischen Komponenten:

- Heizungstechnik
- Kühlttechnik
- Raumlufttechnik
- Warmwasserversorgung
- Beleuchtungstechnik (bei Nichtwohngebäuden)

Die Bilanzierung wird bei Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden nach unterschiedlichen Regelwerken vorgenommen. Dadurch ergeben sich erhebliche Unterschiede hinsichtlich der Bilanzierungssystematik und des Bilanzierungsaufwandes. Eine Übersicht über die Berechnungsverfahren enthält Abb. 5.5.

Die wesentlichen Ergebnisse der Berechnungen zum energiesparenden Wärmeschutz werden im Energieausweis festgehalten. Für zu errichtende Gebäude wird der Energieausweis auf Grundlage eines berechneten

Zeile	Art der Leitungen/Armaturen	Mindestdicken der Dämmschicht bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(mK)
1	Innendurchmesser bis 22 mm	20 mm
2	Innendurchmesser über 22 mm bis 35 mm	30 mm
3	Innendurchmesser über 35 mm bis 100 mm	gleich Innendurchmesser
4	Innendurchmesser über 100 mm	100 mm
5	Leitungen und Armaturen nach den Zeilen 1 bis 4 in Wand- und Deckendurchbrüchen, im Kreuzungsbereich von Leitungen, an Leitungsverbindungsstellen, bei zentralen Leitungsverteilern	1/2 der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4
6	Leitungen von Zentralheizungen nach den Zeilen 1 bis 4, die nach dem 31. Januar 2002 in Bauteilen zwischen beheizten Räumen verschiedener Nutzer verlegt werden	1/2 der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4
7	Leitungen nach Zeile 6 im Fußbodenaufbau	6 mm

Tab. 5.12: Wärmedämmung von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen gemäß EnEV 2007 [137]

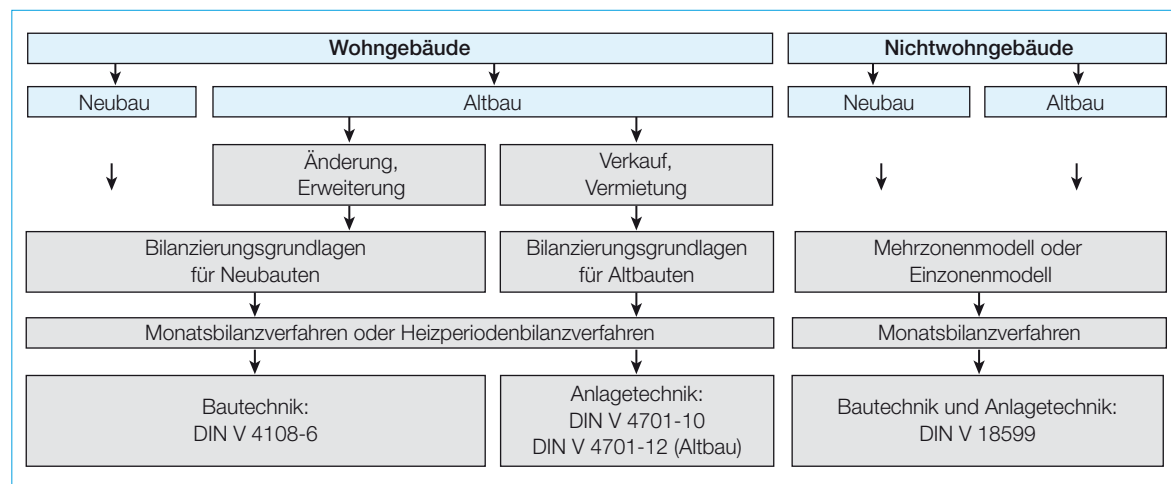


Abb. 5.5: Berechnungsverfahren gemäß EnEV 2007 [137]

Energiebedarfs ausgestellt. Für bestehende Gebäude kann der Energieausweis in den meisten Fällen auch auf Grundlage eines gemessenen Energieverbrauchs ausgestellt werden. Inhalt und Aufbau von Energieausweisen entsprechen den in der EnEV vorgegebenen Mustern. Die Gültigkeitsdauer von Energieausweisen beträgt zehn Jahre.

Ausnahmen und Befreiungen von den Vorschriften der EnEV können auf Antrag von den zuständigen Behörden in folgenden Fällen zugelassen werden:

- Bei Baudenkmälern oder sonstiger erhaltenswerter Bausubstanz, wenn die Erfüllung der Anforderungen der EnEV die Substanz oder das Erscheinungsbild beeinträchtigt oder andere Maßnahmen zu einem unverhältnismäßig hohem Aufwand führen.
- Bei Erreichen der Anforderungen im gleichen Umfang durch andere als in der EnEV vorgesehene Maßnahmen.
- Wenn die Anforderungen durch unangemessenen Aufwand zu einer unbilligen Härte führen würden, d. h. die erforderlichen Aufwendungen können durch die Einsparungen nicht wieder erwirtschaftet werden.

Soll der Energiebedarf gegenüber den Anforderungen der EnEV weiter gesenkt werden, bedürfen folgende Einsparungsmöglichkeiten noch strengerer Beachtung:

- Kompakte, bei Einfamilienhäusern verdichtete Bauweise
- Weitere Verbesserung des Wärmeschutzes der Bauteile der wärmeübertragenden Umfassungsfläche
- Konsequenter Vermeidung von Wärmebrücken
- Optimierung der Luftdichtheit der Gebäudehülle
- Bessere Nutzung passiver Energiegewinne aus der Solarstrahlung, vor allem auch bei der städtebaulichen Planung
- Effizientere Anlagentechnik für Heizung, Kühlung, Trinkwassererwärmung und Lüftung
- Sparsamere Beleuchtungstechnik
- Kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Primärenergetisch sinnvoller Energieträger und ggf. Nutzung erneuerbarer Energiequellen

Die Auflistung macht deutlich, dass zur weiteren Energieeinsparung in Gebäuden eine Reihe zusätzlicher

Maßnahmen erforderlich ist und diese Aufgabe nicht durch eine besonders intensive Nutzung einzelner Maßnahmen gelöst werden kann. Vielmehr ist – und das gilt auch für die ökonomische Betrachtung – eine ganzheitliche Optimierung erforderlich, bei der auch die Wechselwirkungen der einzelnen bau- und anlagentechnischen Maßnahmen untereinander einbezogen werden müssen.

Der tatsächliche Energieverbrauch wird wesentlich durch das Heiz- und Lüftungsverhalten des Nutzers bestimmt. Unterschiede zwischen berechnetem Energiebedarf und gemessenem Energieverbrauch können immer wieder festgestellt werden. Beobachtungen an Wohngebäuden zeigen, dass der Energiebedarf meistens höher ist als der Energieverbrauch, wobei der Unterschied mit zunehmender Gebäudegröße tendenziell abnimmt [21]. Dies zeigt, dass der Energieverbrauch im Einzelfall nicht unbedingt mit einem durch Berechnung oder Simulation ermittelten Sollwert übereinstimmen muss. Andererseits wird es dem Nutzer in Gebäuden mit sehr niedrigem Energiebedarf leicht gemacht, sich energiesparend zu verhalten. So bewirken z. B. die vergleichsweise hohen Oberflächentemperaturen der Außenwände, Fenster, Böden und Decken bzw. Dächer einen thermischen Komfort, der in weniger gut gedämmten Gebäuden durch hohe Raumlufttemperaturen angestrebt, aber dennoch nicht erreicht wird. Ähnlich verhält es sich mit der kontrollierten Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung. Sie sorgt für einen gleichmäßigen Luftwechsel, stellt immer eine ausreichende Menge Frischluft bereit und hält die Lüftungswärmeverluste niedrig.

5.5.2 Zu errichtende Wohngebäude

Wohngebäude sind als Gebäude definiert, die überwiegend dem Wohnen dienen. Hierzu zählen auch Wohn-, Alten- und Pflegeheime sowie ähnliche Einrichtungen. Höchstwerte für den gebäudenutzflächenbezogenen Jahres-Primärenergiebedarf $Q_{p,0}$ und den spezifischen, gebäudehüllflächenbezogenen Transmissionswärmeverlust H'_T zu errichtender Wohngebäude sind in Abhängigkeit vom sich aus der wärmeübertragenden Umfassungsfläche A und dem beheizten Bauwerksvolumen V_g ergebenden geometrischen Verhältnis A/V_g tabellarisch festgelegt (Tab. 5.13). Wird die Raumluft gekühlt, ist der höchstens zulässige Jahres-Primärenergiebedarf $Q_{p,0}$ um einen Zuschlag $\Delta Q_{p,c}$ zu erhöhen.

Ver- hältnis A/V	Jahres-Primärenergiebedarf Q_p in kWh/(m²a) bezogen auf die Gebäudenutzfläche		Spezifischer, auf die wärmeüber- tragende Umfassungsfläche bezogener Transmissionswärmeverlust H'_T W/(m²K)
	Wohngebäude (außer solchen nach Spalte 3)	Wohngebäude mit überwie- gender Warmwasserbereitung aus elektrischem Strom	
1	2	3	4
≤ 0,20	66,00 + ΔQ_{TW}	83,80	1,05
0,30	73,53 + ΔQ_{TW}	91,33	0,80
0,40	81,06 + ΔQ_{TW}	98,86	0,68
0,50	88,58 + ΔQ_{TW}	106,39	0,60
0,60	96,11 + ΔQ_{TW}	113,91	0,55
0,70	103,64 + ΔQ_{TW}	121,44	0,51
0,80	111,17 + ΔQ_{TW}	128,97	0,49
0,90	118,70 + ΔQ_{TW}	136,50	0,47
1,00	126,23 + ΔQ_{TW}	144,03	0,45
≥ 1,05	130,00 + ΔQ_{TW}	147,79	0,44

Tab. 5.13: Höchstwerte des Jahres-Primärenergiebedarfs Q_p und des spezifischen Transmissionswärmeverlusts H'_T für zu errichtende Wohngebäude gemäß EnEV 2007 [137]

mit

$$\Delta Q_{TW} = \frac{2.600 \text{ kWh/a}}{100 \text{ m}^2 + A_N} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})]$$

Zwischenwerte zu den in der Tabelle festgelegten Höchstwerten sind nach folgenden Gleichungen zu ermitteln:

Spalte 2: $Q_p = 50,94 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a}) + 75,29 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a}) \cdot A/V_e + \Delta Q_{TW} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})]$

Spalte 3: $Q_p = 68,74 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a}) + 75,29 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a}) \cdot A/V_e \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})]$

Spalte 4: $H'_T = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) + \frac{0,15 \text{ W}/(\text{m}^3 \text{ K})}{A/V_e} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})]$

mit

$$\Delta Q_{TW} = \frac{2.600 \text{ kWh/a}}{100 \text{ m}^2 + A_N} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})]$$

Zuschläge bei Kühlung

Wird bei einem zu errichtenden Wohngebäude die Raumluft gekühlt, erhöhen sich die Höchstwerte des Jahres-Primärenergiebedarfs in den Spalten 2 und 3 wie folgt:

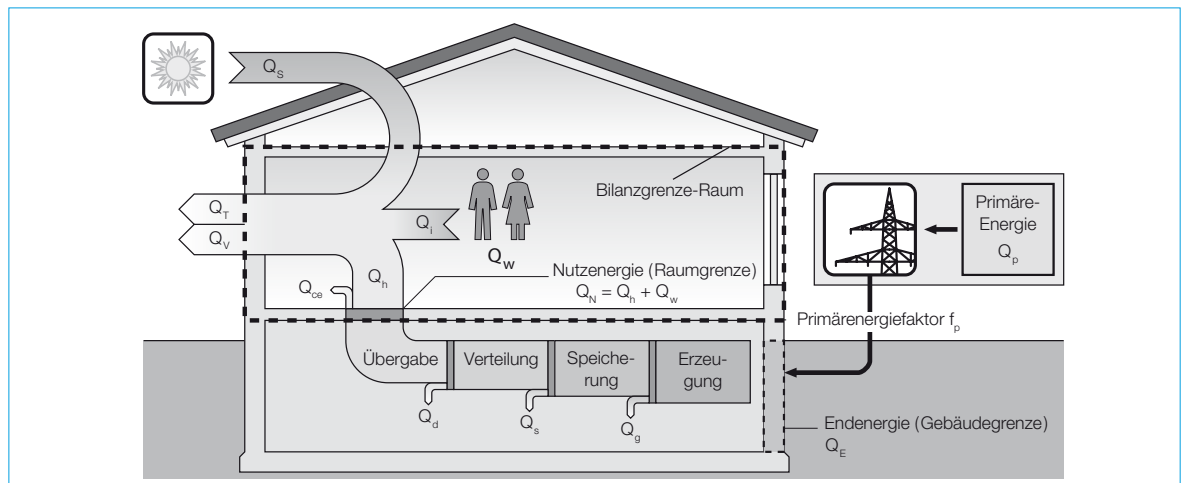
$$Q_{p,c} = Q_p + 16,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a}) \cdot \frac{A_{N,c}}{A_N} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})]$$

$Q_{p,c}$ Höchstwert des Jahres-Primärenergiebedarfs für das gekühlte Wohngebäude

Q_p Höchstwert des Jahres-Primärenergiebedarfs für das Wohngebäude nach Tabelle 1 Spalte 2 oder 3 in kWh/(m² a)

$A_{N,c}$ gekühlter Anteil der Gebäudenutzfläche A_N nach EnEV, Anlage 1, Nr. 1.4.4 in m²

Abb. 5.6: Berechnung des Energiebedarfs von Gebäuden



Zur Ermittlung des vorhandenen Energiebedarfs von Wohngebäuden ist für die bautechnische Bewertung DIN V 4108-6 und für die anlagentechnische Bewertung DIN V 4701-10 bzw. DIN 4701-10 Beiblatt 1 [77.2] maßgeblich (Abb. 5.5). Dementsprechend erfolgt nach Ermittlung des Jahres-Heizwärmebedarfs Q_h , des Energiebedarfs für Trinkwarmwasserbereitung Q_w und der Anlagenaufwandszahl e_p die abschließende primärenergetische Bewertung nach den Vorgaben der EnEV (Abb. 5.6):

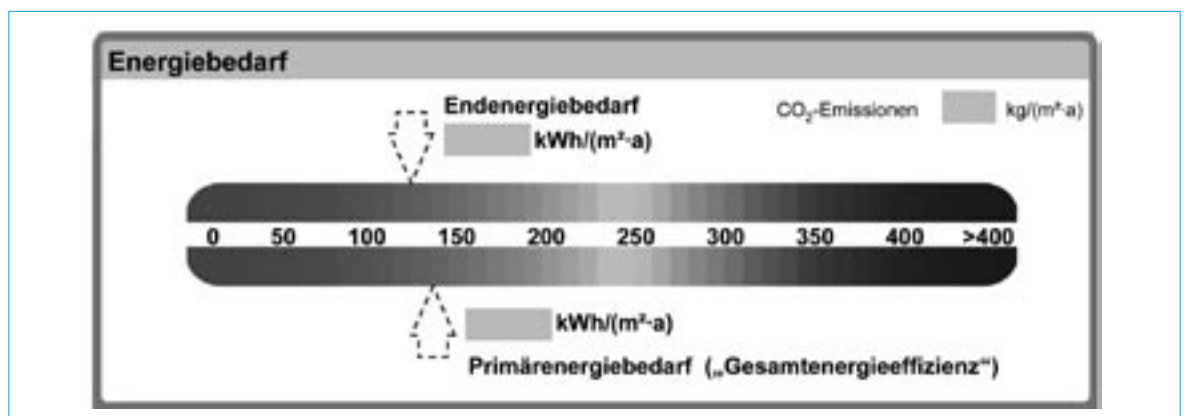
$$Q_p = (Q_h + Q_w) \cdot e_p \quad \text{Gl. (5.5)}$$

Für die Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfs Q_h stehen zwei Nachweisverfahren zur Auswahl: Vereinfachtes Verfahren (Heizperiodenbilanzverfahren) oder Monatsbilanzverfahren. Das vereinfachte Verfahren kann nur angewendet werden, wenn u. a. der Fensterflächenanteil f höchstens 30 % beträgt. Während das Monatsbilanzverfahren nach DIN V 4108-6 wegen des Umfangs nicht in der EnEV wiedergegeben wird und nur mit PC-Programmen durchgeführt werden kann,

benennt die Verordnung alle Rechenschritte und Kenngrößen für das vereinfachte Verfahren (Tab. 5.14 und 5.15). Die Berechnungsergebnisse sind Bestandteil des Energieausweises (Abb. 5.7). Der Energieausweis für zu errichtende Wohngebäude enthält insgesamt folgende Angaben:

- Beschreibung des Gebäudes
- Hinweise zu den Angaben über die energetische Qualität des Gebäudes
- Hinweise zur Verwendung des Energieausweises
- Berechneter Energiebedarf des Gebäudes (Endenergiebedarf und Primärenergiebedarf)
- Vergleichswerte zum Endenergiebedarf
- Nachweis der Anforderungen nach der EnEV (Primärenergiebedarf und energetische Qualität der Gebäudehülle)
- Sonstige Angaben (Einsetzbarkeit regenerativer Energien und Lüftungskonzept)
- Erläuterungen zum Berechnungsverfahren und zu Kenngrößen

Abb. 5.7: Darstellung des berechneten Energiebedarfs (Endenergiebedarf und Primärenergiebedarf) im Energieausweis für zu errichtende und bestehende Wohngebäude [137]



Zeile	Zu ermittelnde Größen	Gleichung	Zu verwendende Randbedingung	
	1	2	3	
1	Jahres-Heizwärmebedarf Q_h	$Q_h = F_{GT} \cdot (H_T + H_V) - \eta_{HP} (Q_s + Q_i)$ [kWh/a]	F_{GT}	η_{HP}
			kWh/a	-
			66	0,95
2	Spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T	$H_T = \sum (F_{xi} \cdot U_i \cdot A_i) + A \cdot \Delta U_{WB}$ [W/K]	Temperatur-Korrekturfaktoren F_{xi} nach EnEV, Anlage 1, Tabelle 3 Wärmebrückenzuschlag $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$	
	bezogen auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche	$H'_T = \frac{H_T}{A}$ [W/(m²K)]		
3	Spezifischer Lüftungswärmeverlust H_V	$H_V = 0,190 \frac{W}{K \cdot m^3} \cdot V_e$ [W/K]	ohne Dichtheitsprüfung nach EnEV, Anlage 4 Nr. 2	
		$H_V = 0,163 \frac{W}{K \cdot m^3} \cdot V_e$ [W/K]	mit Dichtheitsprüfung nach EnEV, Anlage 4 Nr. 2	
4	Solare Gewinne Q_s	$Q_s = \sum (I_{s,j,HP}) \cdot \sum 0,567 \cdot g_i \cdot A_i$ [kWh/a] $I_{s,HP}$ Solare Einstrahlung in der Heizperiode je Orientierung g Gesamtenergiedurchlassgrad [-] A Fläche der Fenster [m²] j Zählindex für Orientierungen i Zählindex für Gesamtenergiedurchlassgrad	Solare Einstrahlung: Orientierung j	
			$I_{s,HP}$	
			Südost bis Südwest	270 kWh/(m² a)
			Nordwest bis Nordost	100 kWh/(m² a)
			übrige Richtungen	155 kWh/(m² a)
			Dachflächenfenster mit Neigungen < 30°	225 kWh/(m² a)
Die Fläche der Fenster A mit der Orientierung j (Süd, West, Ost, Nord und horizontal) ist nach den lichten Fassadenöffnungsmaßen zu ermitteln.				
5	Interne Gewinne Q_i	$Q_i = 22 \frac{kWh}{m^2 a} \cdot A_N$ [kWh/a]	Gebäudenutzfläche nach EnEV Anlage 1, Nr. 1.4.4	

Tab. 5.14: Vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung des Jahres-Heizwärmebedarfs Q_h gemäß EnEV 2007 [137]

Wärmestrom nach außen über Bauteil i	Temperatur-Korrekturfaktor F_{xi} [-]
Außenwand, Fenster	1,0
Dach (als Systemgrenze)	1,0
Oberste Geschossdecke (Dachraum nicht ausgebaut)	0,8
Abseitenwand (Drempelwand)	0,8
Wände und Decken zu unbeheizten Räumen	0,5
Unterer Gebäudeabschluss: - Kellerdecke/-wände zu unbeheiztem Keller - Fußboden auf Erdreich - Flächen des beheizten Kellers gegen Erdreich	0,6

Tab. 5.15: Temperatur-Korrekturfaktoren F_{xi} gemäß EnEV 2007 [137]

Berechnungsbeispiel zum Nachweis des energiesparenden Wärmeschutzes

Berechnet wird eine unterkellerte Reihenhäuseranlage mit vier Reihenmittelhäusern und zwei Reihenendhäusern (Abb. 5.8). Das Dachgeschoss ist nicht ausgebaut. Die Außenwände bestehen aus monolithischem Porenbetonmauerwerk. Die Ausführung der Wärmebrückendetails erfolgt auf Basis der DIN 4108 Beiblatt 2. Die dort genannten wärmetechnischen Mindestanforderungen werden eingehalten. Eine Prüfung der Luftdichtheit des Gebäudes ist nicht vorgesehen. Da die Gebäude gleichzeitig erstellt werden, werden sie gemäß EnEV wie ein Gebäude behandelt. Die Anlagentechnik besteht aus einer Heizungsanlage und einer Anlage zur Trinkwarmwasserbereitung:

■ Heizung

- Freie Heizflächen im Außenwandbereich, P-Regler 2 K
- Systemtemperaturen 70/55 °C
- Horizontale Verteilung innerhalb der thermischen Hülle
- Verteilungsstränge innenliegend
- Gas-Niedertemperaturkessel, Aufstellung außerhalb der thermischen Hülle

■ Trinkwarmwasser

- Verteilung innerhalb der thermischen Hülle
- Mit Zirkulation
- Indirekt beheizter Speicher
- Gas-Niedertemperaturkessel

Abb. 5.8: Berechnungsbeispiel zum Nachweis des energiesparenden und des sommerlichen Wärmeschutzes einer Reihenhäuseranlage – Grundrisse



Tab. 5.16: Berechnungsbeispiel zum Nachweis des energiesparenden Wärmeschutzes einer Reihenhausanlage – Berechnungen

Spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T				
Bauteilflächen	A_i m^2	U_i $W/(m^2K)$	$F_{x,i}$ -	$A_i \cdot U_i \cdot F_{x,i}$ W/K
Außenwand (30 cm Porenbeton, $\lambda = 0,10$ W/(mK), verputzt)	385,36	0,30	1,0	115,61
Keller-Außenwand (36,5 cm Porenbeton, $\lambda = 0,14$ W/(mK))	206,46	0,36	0,6	44,60
Decke zum nicht ausgebauten Dachraum (Holzrahmen, 24 cm Dämmung)	403,20	0,16	0,8	51,61
Bodenplatte (Stahlbeton, 8 cm Dämmung, Estrich)	416,88	0,38	0,6	95,05
Fenster	117,33	1,30	1,0	152,53
Haustür	13,63	1,80	1,0	24,53
Kellerfenster im Bereich von Lichtschächten	13,56	1,50	1,0	20,34
$H_{T,FL} =$				504,27
Wärmebrücken: $H_{T,WB} = 0,05 \cdot A = 0,05 \cdot 1.556,42 =$				77,82
Summe: $H_T = H_{T,FL} + H_{T,WB} = 504,27 + 77,82 =$				582,09
Gebäudenutzflächenbezogen: $H'_T = H_T/A = 582,09/1.556,42 = 0,37$ W/(m ² K)				

Spezifischer Lüftungswärmeverlust H_V
$H_V = 0,19 \cdot V_e = 0,19 \cdot 3.226,30 \text{ m}^3 = 613,00$ W/K

Solare Warmegewinne Q_s					
Bauteil	Faktor -	A_i m^2	g_i -	I_i $kWh/(m^2a)$	$A_i \cdot g_i \cdot I_i$ kWh/a
Fenster Nord	0,567	35,17	0,55	100	1.096,78
Fenster Süd	0,567	76,80	0,55	270	6.466,52
Fenster Ost	0,567	5,36	0,55	155	259,08
$Q_s =$					7.822,38

Interne Warmegewinne Q_i
$Q_i = 22 \cdot A_N = 22 \cdot 1.032,42 = 22.713,24$ kWh/a

Jahres-Heizwärmebedarf Q_h
$Q_h = 66 \cdot (H_T + H_V) - 0,95 \cdot (Q_s + Q_i) = 66 \cdot (582,09 + 613,00) - 0,95 \cdot (7.822,38 + 22.713,24) = 49.867,10$ kWh/a
$Q_h'' = Q_h / A_N = 49.867,10/1.032,42 = 48,30$ kWh/(m ² a)

Gebäudegeometrie

Beheiztes Bauwerksvolumen	$V_e = 3.226,30 \text{ m}^3$
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	$A = 1.556,42 \text{ m}^2$
Geometrisches Verhältnis	$A/V_e = 0,48$
Gebäudenutzfläche	$A_N = 1.032,42 \text{ m}^2$

Aus den Berechnungen (Tab. 5.16) ist zu entnehmen, dass die bautechnischen Anforderungen an den gebäudehüllflächenbezogenen, spezifischen Transmissionswärmeverlust eingehalten werden:

$$H'_{T,vorh} = \frac{H_T}{A} \quad \text{Gl. (5.6)}$$

$$H'_{T,vorh} = \frac{582,09}{1.556,42} = 0,37 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$H'_{T,zul} = 0,3 + \frac{0,15}{(A/V_e)} \quad \text{Gl. (5.7)}$$

$$H'_{T,zul} = \frac{0,3 + 0,15}{(1.556,42 / 3.226,30)} = 0,61 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Der gebäudenutzflächenbezogene Jahres-Heizwärmebedarf des Gebäudes beträgt $Q_h'' = 48,30$ kWh/(m²a). Ausgehend von dieser Größe, dem in der EnEV festgelegten Energiebedarf für Warmwasser von $Q_w'' = 12,5$ kWh/(m²a) und einer Gebäudenutzfläche von $A_N = 1.032,40 \text{ m}^2$ liegen nach der energetischen Bewertung der Anlagentechnik gemäß DIN V 4701-10 folgende für den Energieausweis relevante Ergebnisse des gesamten Gebäudes vor:

- Jahres-Endenergiebedarf, gebäudenutzflächenbezogen: $Q_{E,vorh}'' = 78,72$ kWh/(m²a)
- Jahres-Primärenergiebedarf, gebäudenutzflächenbezogen: $Q_{p,vorh}'' = 88,08$ kWh/(m²a)
- Anlagen-Aufwandszahl: $e_p = 1,45$

Damit wird der Höchstwert des gebäudenutzflächenbezogenen Jahres-Primärenergiebedarfs von

$$Q_{p,zul} = \frac{50,94 + 75,29 \cdot A}{V_e} + \frac{2.600}{(100 + A_N)} \quad \text{Gl. (5.8)}$$

$$Q_{p,zul} = \frac{50,94 + 75,29 \cdot 1.556,42}{3.226,30} + \frac{2.600}{(100 + 1.032,42)} \\ = 89,56 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$$

nicht überschritten.

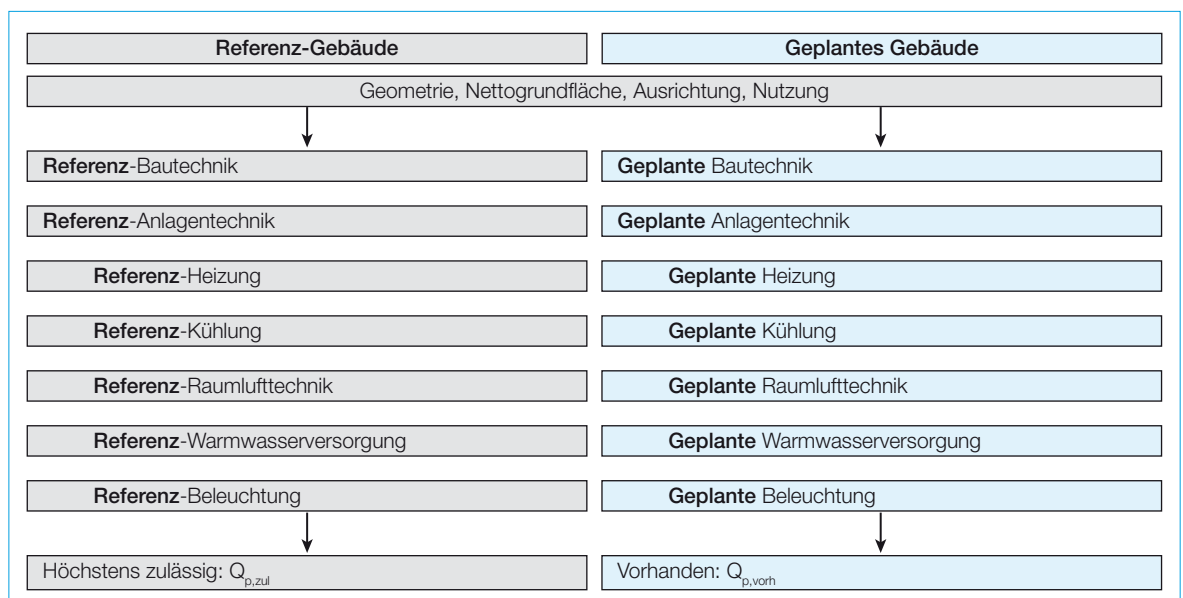
5.5.3 Zu errichtende Nichtwohngebäude

Nichtwohngebäude sind alle Gebäude, die nicht den Wohngebäuden zugeordnet werden können. Höchstwerte für den Jahres-Primärenergiebedarf Q_p und den spezifischen, gebäudehüllflächenbezogenen Transmissionswärmetransferkoeffizienten H'_T von Nichtwohngebäuden sind nicht wie bei Wohngebäuden tabellarisch festgelegt, sondern werden insbesondere wegen der vielen möglichen und unterschiedlichen Nutzungsprofile zunächst errechnet. Der zulässige Höchstwert des Jahres-Primärenergiebedarfs Q_p wird anhand eines sogenannten Referenzgebäudes ermittelt (Abb. 5.9). Dabei ist das Referenzgebäude in folgenden Punkten gleichermaßen beschaffen wie das geplante Gebäude: Geometrie, Nettogrundfläche, Ausrichtung und Nutzung. Bezüglich der bau- und anlagentechnischen Komponenten wird das Referenzgebäude nach Vorgaben der EnEV bewertet. Eine umfangreiche Tabelle

(EnEV 2007 Anlage 2 Tabelle 1) enthält die zur Ermittlung der Höchstwerte notwendigen Daten zu folgenden Systemkomponenten:

- Spezifischer, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogener Transmissionswärmetransferkoeffizient H'_T (in Abhängigkeit von Raum-Solltemperatur und Fensterflächenanteil)
- Gesamtenergiedurchlassgrad g_L und Lichttransmissionsgrad der Verglasung τ_{D65} von transparenten Bauteilen, Lichtbändern und Lichtkuppeln
- Einstufung der Gebäudedichtheit durch Bemessungswerte der Luftwechselrate n_{50} für ungeprüfte Gebäude
- Tageslichtversorgungsfaktor bei Sonnen- und/oder Blendschutz $C_{TL,Vers,SA}$ (in Abhängigkeit vom Vorhandensein eines Sonnenschutzes)
- Sonnenschutzvorrichtung wie beim geplanten Gebäude
- Beleuchtungsart (direkte Beleuchtung, verlustarmes Vorschaltgerät, stabförmige Leuchtstofflampe)
- Regelung der Beleuchtung (manuelle Präsenzkontrolle oder manuelle tageslichtabhängige Kontrolle)
- Heizung (Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung, Wärmeübergabe)
- Warmwasser (zentral oder dezentral, Wärmeerzeugung, Wärmespeicherung, Wärmeverteilung)
- Raumluftechnik (Abluftanlage, Zu- und Abluftanlage, Luftbefeuchtung)

Abb. 5.9: Nachweis des Jahres-Primärenergiebedarfs bei zu errichtenden Nichtwohngebäuden gemäß EnEV 2007 [137]



- Kühlbedarf für Gebäudezonen
- Raumkühlung (Kältesystem, Kaltwasserkreis)
- Kälteerzeugung
- Nutzungsrandbedingungen gemäß DIN V 18599-10 [98.10]

Aus diesen Vorgaben ergibt sich gemäß EnEV der Höchstwert des Jahres-Primärenergiebedarfs Q_p nach folgendem Zusammenhang:

$$Q_p = Q_{p,h} + Q_{p,c} + Q_{p,m} + Q_{p,w} + Q_{p,l} + Q_{p,aux} \quad \text{Gl. (5.9)}$$

Q_p	Jahres-Primärenergiebedarf [kWh/a]
$Q_{p,h}$	Jahres-Primärenergiebedarf für das Heizungssystem und die Heizfunktion der RLT-Anlage [kWh/a]
$Q_{p,c}$	Jahres-Primärenergiebedarf für das Kältesystem und die Kühlfunktion der RLT-Anlage [kWh/a]
$Q_{p,m}$	Jahres-Primärenergiebedarf für die Dampfversorgung [kWh/a]
$Q_{p,w}$	Jahres-Primärenergiebedarf für Warmwasser [kWh/a]
$Q_{p,l}$	Jahres-Primärenergiebedarf für Beleuchtung [kWh/a]
$Q_{p,aux}$	Jahres-Primärenergiebedarf für Hilfsenergien [kWh/a]

Außer dem Primärenergiebedarf Q_p wird auch der spezifische, gebäudehüllflächenbezogene Transmissionswärmetransferkoeffizient H'_T in Abhängigkeit von der Raum-Solltemperatur und dem Fensterflächenanteil begrenzt (Tab. 5.17).

Berechnet werden der zulässige und der vorhandene Jahres-Primärenergiebedarf von Nichtwohngebäuden nach dem Rechenverfahren der DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“ [98] (Abb. 5.10). In dieser aus zehn Teilen bestehenden Norm werden sowohl bautechnische als auch anlagentechnische Komponenten unter Berücksichtigung der Gebäudenutzung bis zur Ermittlung des Jahres-Endenergiebedarfs Q_E und des Jahres-Primärenergiebedarfs Q_p berechnet.

In Teil 1 der Norm finden sich die wesentlichen Bilanzierungsregeln, Begriffsbestimmungen, Zonierungsregeln und die Angabe von Primärenergiefaktoren für die Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Beleuchtung und Warmwasserbereitung.

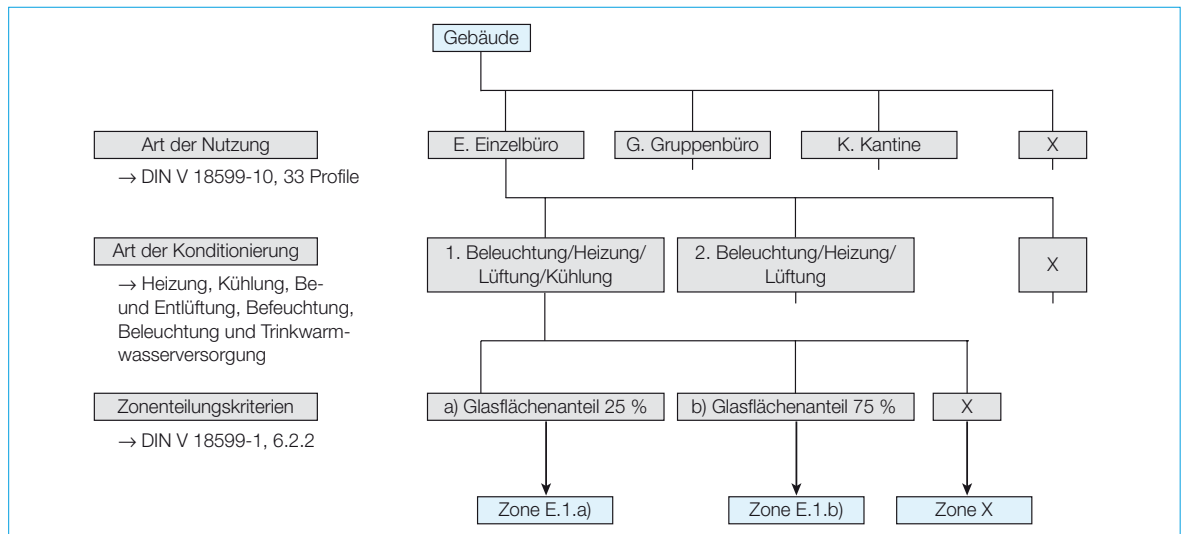
Gebäude und Gebäudeteile mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall $\geq 19^\circ\text{C}$ und Fensterflächenanteilen $\leq 30\%$	$H'_T = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) + \frac{0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})}{A/V_e} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$
Gebäude und Gebäudeteile mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall $\geq 19^\circ\text{C}$ und Fensterflächenanteilen $> 30\%$	$H'_T = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) + \frac{0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})}{A/V_e} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$
Gebäuden und Gebäudeteile mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall von 12 bis $< 19^\circ\text{C}$	$H'_T = 0,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) + \frac{0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})}{A/V_e} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$

Tab. 5.17: Höchstwerte des spezifischen, gebäudehüllflächenbezogenen Transmissionswärmetransferkoeffizienten H'_T gemäß EnEV 2007 [137]

DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung
Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger
Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen
Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung
Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung
Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen
Teil 6: Endenergiebedarf von Wohnungslüftungsanlagen und Luftheizungsanlagen für den Wohnungsbau
Teil 7: Endenergiebedarf von Raumluftechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau
Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen
Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen
Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten

Abb. 5.10: Gliederung der DIN V 18599 [98]

Abb. 5.11: Zonierung von Nichtwohngebäuden gemäß DIN V 18599 [98]



Da das Nutzungsprofil von Nichtwohngebäuden einen großen Einfluss auf den Energiebedarf hat, ist ein Gebäude vor Berechnungsbeginn in Zonen aufzuteilen, falls die Art der Nutzung von Räumen deutlich voneinander abweicht (Abb. 5.11). Unterschiedliche Bereiche eines Gebäudes, die ähnliche Nutzenergien bzw. im Falle der Heizung/Kühlung ähnliche Wärmequellen und Wärmesenken aufweisen, werden zu einer Zone zusammengefasst. Das wichtigste Merkmal für ähnliche Nutzenergie/Wärmequellen/Wärmesenken ist eine einheitliche Nutzung. Die Nutzungsrandbedingungen für Zonen werden Teil 10 der Norm entnommen.

Ergänzend ist bei gleicher Nutzung nur dann von ähnlichen Nutzenergien/Wärmequellen/Wärmesenken auszugehen, wenn die betroffenen Räume die gleiche Art der technischen Konditionierung aufweisen. Weichen die Arten der technischen Konditionierung deutlich voneinander ab, werden die Räume trotz gleicher Nutzung unterschiedlichen Zonen zugeordnet. Zusätzlich zur Nutzung und Art der Konditionierung gibt es noch weitere Kriterien, die zu derart unterschiedlichen Nutzenergien/Wärmequellen/Wärmesenken führen können, dass die betroffenen Räume nicht in einer gemeinsamen Energiebilanz abgebildet werden können. Diese zusätzlichen Zonenteilungskriterien betreffen vor allem gekühlte Räume mit unterschiedlich hohen Glasflächenanteilen. Der Energiebedarf des Gebäudes ergibt sich aus der Summe des Energiebedarfs aller GebäudEZonen.

Die Bilanzierung erfolgt in mehreren Schritten (Abb. 5.12).

- Feststellen der Nutzungsrandbedingungen, gegebenenfalls Zonierung des Gebäudes, Zusammenstellung der bau- und anlagentechnischen Eingangsdaten
- Ermittlung des Nutzenergiebedarfs und Endenergiebedarfs für die Beleuchtung sowie der Wärmequellen
- Ermittlung der Wärmequellen und -senken durch mechanische Lüftung
- Bestimmung der Wärmequellen und -senken aus Personen, Geräten und Prozessen
- Vorläufige Bilanzierung des Nutzwärme- und Nutzkältebedarfs
- Vorläufige Aufteilung der bilanzierten Nutzenergie auf die Versorgungssysteme RLT, Heizung, Kühlung
- Ermittlung der Wärmequellen durch Heizung sowie der Wärmequellen und -senken durch Kühlung
- Ermittlung der Wärmequellen durch Trinkwarmwasserbereitung
- Endgültige Bilanzierung des Nutzwärme- und Nutzkältebedarfs (Die Iteration mit den Schritten zwischen vorläufiger und endgültiger Bilanzierung des Nutzenergiebedarfs ist so lange zu wiederholen, bis zwei aufeinander folgende Ergebnisse für den Nutzwärmebedarf und den Nutzkältebedarf sich jeweils um nicht mehr als 0,1 % voneinander unterscheiden, jedoch höchstens zehn Schritte)
- Ermittlung des Nutzenergiebedarfs für die Luftaufbereitung und gegebenenfalls Saldierung des Nutzkühlbedarfs

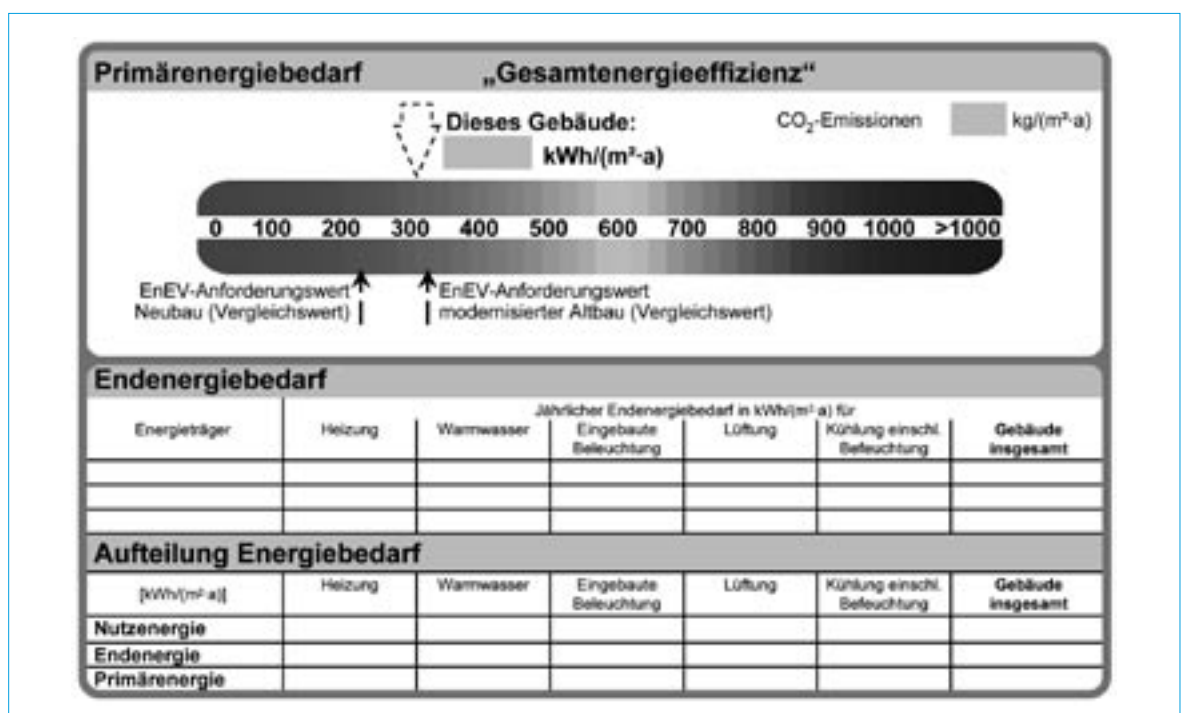
101

- Endgültige Aufteilung der bilanzierten Nutzenergie auf die Versorgungssysteme RLT, Heizung und Kühlung
- Ermittlung der Verluste der Übergabe, Verteilung und Speicherung für Heizung (Nutzwärmeabgabe des Erzeugers)
- Ermittlung der Verluste für Übergabe und Verteilung der luftführenden Systeme
- Ermittlung der Verluste der Übergabe, Verteilung und Speicherung für die Wärmeversorgung einer RLT-Anlage (Nutzwärmeabgabe des Erzeugers)
- Ermittlung der Verluste der Übergabe, Verteilung und Speicherung für die Kälteversorgung (Nutzkälteabgabe des Erzeugers)
- Ermittlung der Verluste der Übergabe, Verteilung und Speicherung für Trinkwarmwasserbereitung (Nutzwärmeabgabe des Erzeugers)
- Aufteilung der notwendigen Nutzwärmeabgabe und Nutzkälteabgabe aller Erzeuger auf die unterschiedlichen Erzeugungssysteme
- Ermittlung der Verluste bei der Erzeugung von Kälte, Dampf und Wärme
- Zusammenstellung der ermittelten Hilfsenergien, Endenergien und Energieträger
- Primärenergetische Bewertung

In den Teilen 2 bis 4 der Norm wird die Nutzenergie für konditionierte Gebäudeteile ermittelt. Teile 4 bis 8 betreffen die Ermittlung der Energieeffizienz der Anlagentechnik. Nach Teil 9 können die Energieaufwendungen in multifunktionalen Generatoren wie Blockheizkraftwerken bewertet werden. Die Berechnungsergebnisse werden als „Gesamtenergieeffizienz“ im Energieausweis dargestellt (Abb. 5.13). Entsprechend dem Berechnungsverfahren nach DIN V 18599 sind die Angaben im Energieausweis für Nichtwohngebäude insgesamt umfassender als bei Wohngebäuden. Der Energieausweis für zu errichtende Nichtwohngebäude enthält folgende Daten:

- Beschreibung des Gebäudes
- Hinweise zu den Angaben über die energetische Qualität des Gebäudes
- Hinweise zur Verwendung des Energieausweises
- Berechneter Energiebedarf des Gebäudes (Primärenergiebedarf) als Gesamtenergieeffizienz
- Vergleichswerte zum Primärenergiebedarf
- Nachweis der Anforderungen gemäß EnEV (Primärenergiebedarf und energetische Qualität der Gebäudehülle)
- Angabe des Endenergiebedarfs nach Energieträger und nach Bereichen der Anlagentechnik (Heizung, Warmwasser, Beleuchtung, Lüftung, Kühlung einschließlich Befeuchtung)

Abb. 5.13: Darstellung des berechneten Energiebedarfs im Energieausweis für zu errichtende und bestehende Nichtwohngebäude [98]



- Angabe des Energiebedarfs, aufgeteilt nach Nutzenergie, Endenergie und Primärenergie sowie nach Bereichen der Anlagentechnik
- Sonstige Angaben (Einsetzbarkeit erneuerbarer Energien und Lüftungskonzept)
- Angaben zu den Gebäudezonen
- Erläuterungen zum Berechnungsverfahren und zu Kenngrößen

5.5.4 Zu errichtende kleine Gebäude

Für kleine Gebäude, deren Nutzfläche $A \leq 50 \text{ m}^2$ ist, ist es nicht erforderlich, eine Primärenergiebedarfsbilanzierung durchzuführen oder den gebäudehüllflächenbezogenen, spezifischen Transmissionswärmeverlust H'_T nachzuweisen. Der Nachweis des energiesparenden Wärmeschutzes ist erbracht, wenn Anforderungen an die Wärmedurchgangskoeffizienten U von Außenbauteilen und in Abhängigkeit von der durchgeführten Baumaßnahme eingehalten werden. Diese Vorgaben gelten auch dann, wenn bei bestehenden Gebäuden Bauteile erneuert werden. Zusammenfassend werden die Anforderungen in Kapitel 5.5.6 „Bestehende Gebäude“ betrachtet.

5.5.5 Dichtheit und Wärmebrücken

Dichtheit

Mit geringer werdenden Transmissionswärmeverlusten infolge steigender wärmetechnischer Qualität der Bauteile der wärmeübertragenden Umfassungsfläche nimmt die Bedeutung der Lüftungswärmeverluste zu. Hinsichtlich der Anforderungen an die Luftdichtheit unterscheidet die EnEV zwischen funktionsbedingten Fugen von Fenstern, Fenstertüren und Dachflächenfenstern sowie der Dichtheit der gesamten Gebäudehülle. Von funktionsbedingten Fugen wird verlangt, dass sie in Abhängigkeit von der Anzahl der Vollgeschosse eines Gebäudes einer vorgeschriebenen Fugendurchlässigkeitsklasse entsprechen (Tab. 5.18).

Anzahl der Vollgeschosse des Gebäudes	Klasse der Fugendurchlässigkeit nach DIN EN 12 207-1: 2000-06
bis zu 2	2
mehr als 2	3

Tab. 5.18: Klassen der Fugendurchlässigkeit von außen liegenden Fenstern, Fenstertüren und Dachflächenfenstern gemäß EnEV 2007 [137]

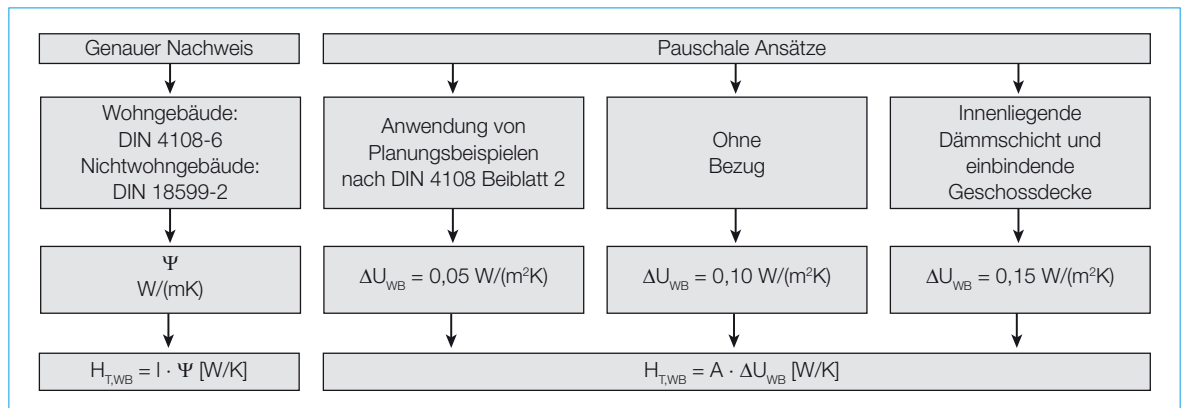
Um Energie einzusparen, ist die wärmeübertragende Umfassungsfläche eines Gebäudes dauerhaft luftundurchlässig auszubilden. Hierzu liefert z. B. DIN 4108-7 [71.5] Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele. Unter den auf Bauteilflächen bezogenen Beispielen in der Norm findet sich u. a. der Hinweis darauf, dass Mauerwerk, das mit einer Putzlage versehen ist, als luftdicht bewertet werden kann. Sinngemäß gilt diese Aussage auch für innenseitig verputzte Massivdächer aus Porenbeton-Dachplatten. Weitere Regelungen beziehen sich auf Fugen, Anschlüsse, Stoßstellen und Durchdringungen, die bei der Aufstellung eines Luftdichtheitskonzeptes in besonderem Maße zu beachten sind. Beispielsweise ist der Anschluss am Ortsgang, an dem verputzte, massive Porenbeton-Dachplatten auf verputztem Porenbetonmauerwerk aufliegen, auf einfache Art und Weise luftdicht herzustellen (Abb. 9.52). Alle Bauteilflächen und insbesondere Bauteilanschlüsse mit Konstruktions- oder Baustoffwechseln sind im Detail zu planen und den entsprechenden Gewerken im Rahmen der Ausschreibung zuzuordnen. Zur Umsetzung bei der Ausführung ist eine entsprechende Überwachung der Arbeiten erforderlich.

Wird die Dichtheit des Gebäudes geprüft, sind Anforderungen an die Luftwechselrate n_{50} einzuhalten. Während der Druckdifferenzprüfung, häufig auch als Blower-Door-Messung bezeichnet, darf die Luftwechselrate bei einer Unter- oder Überdruckdifferenz zwischen Raum- und Außenluft von 50 Pa den Wert von $n_{50} = 3,0 \text{ h}^{-1}$ bei Gebäuden ohne raumluftechnische Anlage bzw. von $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$ bei Gebäuden mit raumluftechnischen Anlage nicht überschreiten.

Auch hinsichtlich des Feuchteschutzes ist eine luftdichte Bauweise erforderlich, denn durch Konvektion können um ein Vielfaches größere Feuchtemassen als durch Diffusion transportiert werden. Tritt warme, feuchte Luft durch Undichtheiten in kältere Bauteile ein, so besteht bei bestimmten klimatischen Randbedingungen die Gefahr des Tauwasserausfalls. Die Folgen können Schimmelbildung, eingeschränkte Bauteilfunktion und Bauschäden sein.

Für die Notwendigkeit einer luftdichten Gebäudehülle spricht auch, dass ansonsten durch Undichtheiten für den Nutzer unangenehme Zugerscheinungen hervorgerufen werden können. Die thermische Behaglichkeit kann z. B. durch Einströmen kalter Außenluft erheblich verschlechtert werden.

Abb. 5.14: Berechnung der Transmissionswärmeverluste $H_{T,WB}$ an Wärmebrücken gemäß ENEC 2007 [137]



Wärmebrücken

Transmissionswärmeverluste im Bereich von Wärmebrücken sind Bestandteil der Berechnung des spezifischen Transmissionswärmeverlusts H_T (s. auch Tab. 5.14) und damit des Jahres-Heizwärmebedarfs Q_H . Grundsätzlich sind zu errichtende Gebäude so auszuführen, dass der Wärmebrückeneinfluss nach den anerkannten Regeln der Technik und den im jeweiligen Einzelfall wirtschaftlichen Maßnahmen so gering wie möglich gehalten wird. Dies ist z. B. der Fall, wenn Wärmebrücken nach den Konstruktionsbeispielen in DIN 4108 Beiblatt 2 geplant und ausgeführt werden. Entscheidend ist, dass die dort vorgegebenen wärmetechnischen Mindestanforderungen, die sich aus der Baustoffwahl und der Art der Konstruktion ergeben, eingehalten werden. Die üblichen Konstruktionen zu errichtender Gebäude, bei denen Außenwände aus Porenbeton errichtet werden, finden sich dort wieder. Der sogenannte verbleibende Einfluss konstruktiver Wärmebrücken wird gemäß EnEV auf den Energiebedarf angerechnet.

In der EnEV werden vier Methoden genannt, nach denen der spezifische Transmissionswärmeverlust $H_{T,WB}$ an Wärmebrücken ermittelt werden kann (Abb. 5.14). Die Berechnungsmethode ist nicht frei wählbar, sondern unterliegt bestimmten Voraussetzungen und Einschränkungen:

■ Genauer Nachweis

Die Längen l_i der einzelnen Wärmebrücken werden ermittelt und jeweils mit den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ_i (früher: Wärmebrückenverlustkoeffizient WBV) des betreffenden Wärmebrückendetails multipliziert. Dabei werden die ψ -Werte mit Hilfe von PC-Programmen berechnet oder aus Wärmebrückenkatalogen entnommen, z. B. dem Wärmebrückenkatalog der Porenbetonindustrie [18]. Vor allem dann, wenn ψ -Werte nicht tabellarisch ermittelt werden können, sondern berechnet werden

müssen, ist diese Nachweismethode aufwendig. Sie ist aber auch sehr genau und kann immer angewendet werden.

■ Pauschaler Ansatz unter Bezugnahme auf DIN 4108 Beiblatt 2

Sofern die geplanten Wärmebrückendetails den wärmetechnischen Mindestanforderungen aus DIN 4108 Beiblatt 2 entsprechen, kann durch Multiplikation eines Wärmebrückenzuschlagskoeffizienten von $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ mit der Gebäudehüllfläche A der spezifische Transmissionswärmeverlust $H_{T,WB}$ ermittelt werden. Diese Methode liefert im Regelfall höhere Wärmeverluste als die genaue Berechnung, dafür ist sie wenig aufwendig. Die Referenzkonstruktionen in DIN 4108 Beiblatt 2 beziehen sich in erster Linie auf zu errichtende Gebäude. Die Ausführung der wärmeübertragenden Umfassungsfläche bestehender Gebäude erfüllt die gezeigten Anforderungen im Regelfall nicht. Daher bleibt diese Methode auf zu errichtende Gebäude beschränkt und steht für die energetische Bewertung von Bestandsgebäuden nicht zur Verfügung. Falls nach einer energetischen Modernisierung das im Beiblatt gezeigte Wärmeschutzniveau erreicht wird, kann dieser pauschale Ansatz ebenfalls verwendet werden.

Bei der Planung zeigt sich häufig, dass geplante Details von den Beispielen in DIN 4108 Beiblatt 2 abweichen. Um dennoch auf den pauschalen Ansatz zur Berechnung der Transmissionswärmeverluste zurückgreifen zu können, darf die Gleichwertigkeit des geplanten Details gegenüber dem Referenzdetail nachgewiesen werden. Eine von mehreren Methoden des Gleichwertigkeitsnachweises besteht darin, z. B. durch Benutzung eines Wärmebrückenkataloges ψ -Werte zu ermitteln (Abb. 5.15) und somit nachzuweisen, dass im Einzelfall der zur jeweiligen Referenzkonstruktion in DIN 4108 Beiblatt 2 genannte ψ -Wert nicht überschritten wird.

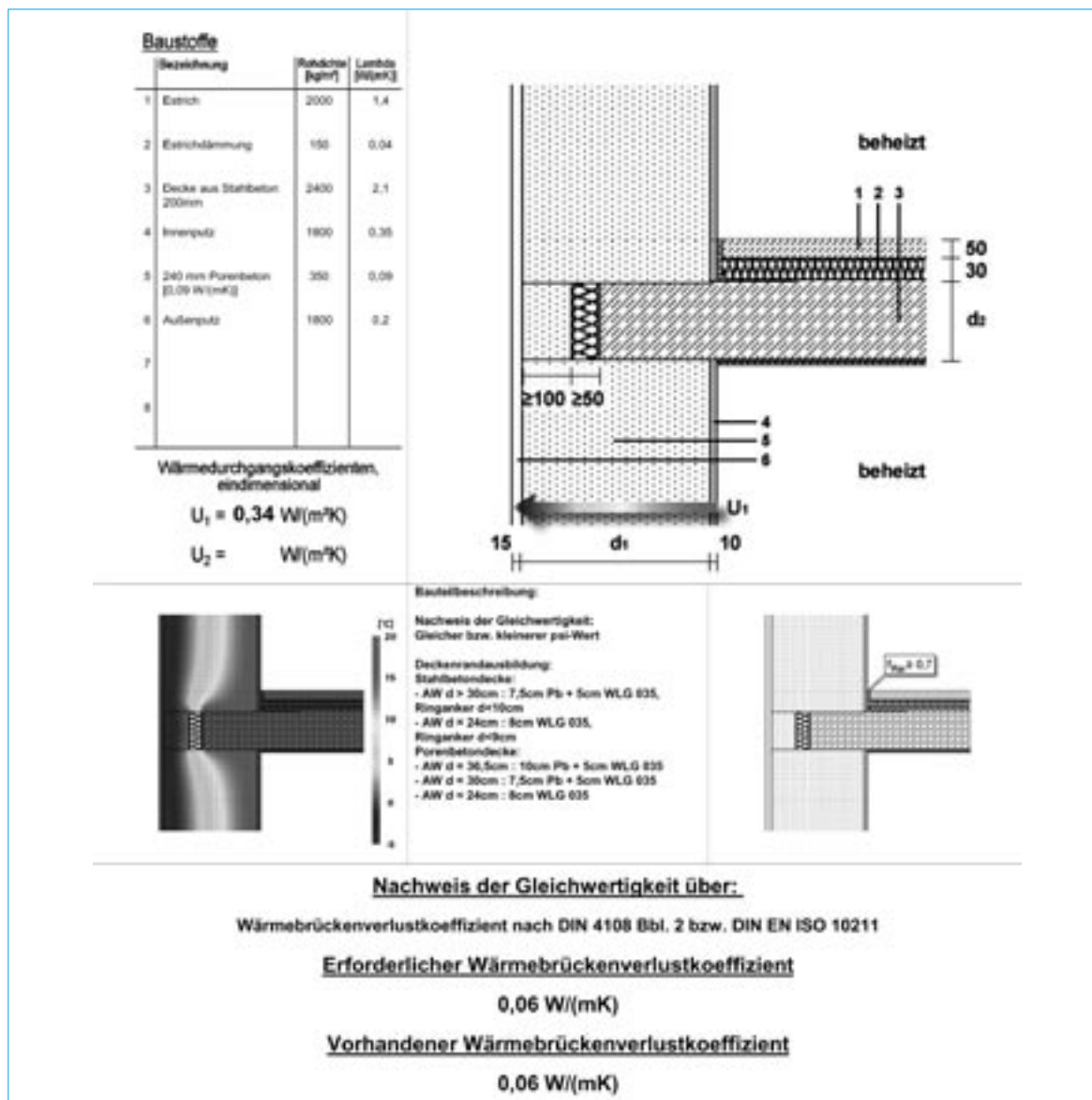


Abb. 5.15: Datenblatt zum Geschossdeckenanschluss bei monolithischem Mauerwerk aus Porenbeton [18]

■ Pauschaler Ansatz ohne Bezug

Im Unterschied zur vorgenannten Methode wird bei der Berechnung des spezifischen Transmissionswärmeverlusts $H_{T,WB}$ ein Wärmebrückenzuschlagskoeffizient von $\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ zugrunde gelegt. Im Falle von zu errichtenden Gebäuden führt diese Methode zu hohen berechneten Transmissionswärmeverlusten. Es ist zu beachten, dass solche Verluste an anderen Stellen kompensiert werden müssen, was zu einem wirtschaftlichen Mehraufwand führen kann. Bei der energetischen Bewertung bestehender Gebäude stellt diese Methode wegen der Einfachheit den Regelfall dar.

■ Pauschaler Ansatz bei innenliegender Dämmschicht und einbindender Geschossdecke

Die Verwendung eines Wärmebrückenzuschlagskoeffizienten von $\Delta U_{WB} = 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ wird nur bei der

energetischen Bewertung bestehender Gebäude mit den genannten Konstruktionsmerkmalen (Innendämmung, einbindende Geschossdecke) angewendet.

Die Größe des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ wird durch die Baustoffwahl und die Art der Konstruktion bestimmt. Aus DIN 4108 Beiblatt 2 und Wärmebrückenkatalogen kann entnommen werden, dass ψ -Werte für Porenbetonkonstruktionen im Allgemeinen niedrig sind. Insofern führt ein genauer Nachweis mit längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ und den entsprechenden Längen der jeweiligen Wärmebrücken beim Porenbeton-Bausystem zu äußerst niedrigen Wärmebrückenverlusten, die je nach Konstruktion nahe bei Null liegen können. Von Einfluss ist dabei die homogene Baustoffstruktur, die in vertikaler und horizontaler Richtung die gleichen wärmedämmenden Eigenschaften aufweist.

5.5.6 Bestehende Gebäude

Änderung und Erweiterung

Wenn ein bestehendes Gebäude energetisch modernisiert oder erweitert wird, können die Anforderungen an den energiesparenden Wärmeschutz durch Einhaltung vorgegebener Höchstwerte des Wärmedurchgangskoeffizienten U des betreffenden Bauteils oder über eine gesamtenergetische Bewertung nachgewiesen werden. Die für die Energiebedarfsbilanzierung erforderlichen Berechnungen werden nach einem Monatsbilanzverfahren oder vereinfachten Verfahren (Heizperiodenbilanzverfahren) durchgeführt, welches auch bei zu errichtenden Gebäuden angewendet wird. Dabei werden die zulässigen Grenzwerte für H'_T und Q_p'' um 40 % erhöht.

Beim Nachweis des energiesparenden Wärmeschutzes geänderter Gebäude über Wärmedurchgangskoeffizienten U sind bei erstmaligem Einbau, Ersatz oder Erneuerung von Bauteilen Höchstwerte einzuhalten (Tab. 5.19):

■ Außenwände

- Nr. 1a: Ersatz oder erstmaliger Einbau (Tab. 5.19 Zeile 1a)

■ Erneuerung

- Nr. 1b: Anbringen von Bekleidungen, Verschalungen oder Mauerwerks-Vorsatzschalen (Zeile 1b)
- Nr. 1c: Aufbringen von innenseitigen Bekleidungen oder Verschalungen (Zeile 1a)
- Nr. 1d: Einbau von Dämmschichten (Zeile 1b)
- Nr. 1e: Erneuerung des Außenputzes einer bestehenden Wand mit $U \geq 0,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (Zeile 1b)
- Nr. 1f: Einsetzen neuer Ausfachungen in Fachwerkwände (Zeile 1a)

■ Fenster, Fenstertüren und Dachflächenfenster

- Nr. 2a: Erneuerung des gesamten Bauteils oder erstmaliger Einbau (Zeilen 2 a oder 3 a)
- Nr. 2b: Erneuerung durch den Einbau zusätzlicher Vor- oder Innenfenster (Zeilen 2a oder 3a)
- Nr. 2c: Erneuerung durch Ersatz der Verglasung (Zeilen 2b oder 3b)

■ Außentüren

- Nr. 3: Erneuerung: Wärmedurchgangskoeffizient der Türfläche $U \leq 2,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

■ Decken, Dächer und Dachschrägen

- Steildächer
 - Nr. 4.1a: Ersatz oder erstmaliger Einbau (Zeile 4a)
 - Erneuerung

Tab. 5.19: Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen gemäß EnEV 2007 [137]

Zeile	Bauteil	Maßnahme nach EnEV, Anlage 3 Nr.	Wohngebäude und Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen $\geq 19^\circ\text{C}$	Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis $< 19^\circ\text{C}$
			maximaler Wärmedurchgangskoeffizient U_{max} [W/(m ² K)]	
	1	2	3	4
1a b	Außenwände	allgemein Nr. 1 b, d und e	0,45 0,35	0,75 0,75
2a b c	Außen liegende Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster Verglasungen Vorhangfassaden	Nr. 2a und b Nr. 2c allgemein	1,7 1,5 1,9	2,8 keine Anforderung 3,0
3a b c	Außen liegende Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster mit Sonderverglasungen Sonderverglasungen Vorhangfassaden mit Sonderverglasungen	Nr. 2a und b Nr. 2c Nr. 6 Satz 2	2,0 1,6 2,3	2,8 keine Anforderung 3,0
4a b	Decken, Dächer und Dachschrägen Flachdächer	Nr. 4.1 Nr. 4.2	0,3 0,25	0,4 0,4
5a b	Decken und Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich	Nr. 5 b und e Nr. 5 a, c, d und f	0,4 0,5	keine Anforderung keine Anforderung

- Nr. 4.1b: Ersatz oder Neuaufbau der Dachhaut oder außenseitiger Bekleidungen oder Verschalungen (Zeile 4a)
- Nr. 4.1c: Aufbringen oder Austausch innenseitiger Bekleidungen oder Verschalungen (Zeile 4a)
- Nr. 4.1d: Einbau von Dämmschichten (Zeile 4a)
- Nr. 4.1e: Einbau zusätzlicher Bekleidungen oder Dämmschichten an Wänden zum unbeheizten Dachraum (Zeile 4a)

■ Flachdächer

- Nr. 4.2a: Ersatz oder erstmaliger Einbau (Zeile 4b)
- Erneuerung
 - Nr. 4.2b: Ersatz oder Neuaufbau der Dachhaut oder außenseitiger Bekleidungen oder Verschalungen (Zeile 4b)
 - Nr. 4.2c: Aufbringen oder Austausch innenseitiger Bekleidungen oder Verschalungen (Zeile 4b)
 - Nr. 4.2d: Einbau von Dämmschichten (Zeile 4b)

■ Wände und Decken gegen unbeheizte Räume und gegen Erdreich

- Nr. 5a: Ersatz oder erstmaliger Einbau (Zeile 5b)
- Erneuerung
 - Nr. 5b: Anbringen oder Austausch von außenseitigen Bekleidungen oder Verschalungen, Feuchtigkeitssperren oder Dränagen (Zeile 5a)
 - Nr. 5c: Anbringen innenseitiger Bekleidungen oder Verschalungen an Wände (Zeile 5b)
 - Nr. 5d: Aufbau oder Erneuerung des Fußbodenaufbaus auf der beheizten Seite (Zeile 5b)
 - Nr. 5e: Anbringen von Deckenbekleidungen auf der Kaltseite (Zeile 5a)
 - Nr. 5f: Einbau von Dämmschichten (Zeile 5b)

■ Vorhangfassaden

- Nr. 6a: Ersatz oder erstmaliger Einbau des gesamten Bauteils (Zeile 2c oder 3c)
- Nr. 6b: Ersatz der Füllung (Verglasung oder Paneele) (Zeile 2c oder 3c)

Wärmedurchgangskoeffizienten von bestehenden Außenwänden aus Porenbeton-Plansteinmauerwerk der 50er bis 70er Jahre liegen je nach Dicke und Rohdichte zwischen $U = 0,41$ und $0,88 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (Tab. 5.20). Die Werte wurden auf Grund von Wärmeleitfähigkeiten gemäß Tab. 5.21 berechnet [139].

Dies bedeutet, dass im Falle der Erneuerung eines Außenputzes von Fassaden der Höchstwert des Wärmedurchgangskoeffizienten U gemäß Tab. 5.19 (Zeile 1b) nicht eingehalten werden muss, denn diese Anforderung tritt erst bei bestehenden Außenwänden mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von $U \geq 0,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ in Kraft. Das Aufbringen einer zusätzlichen Wärmedämmschicht im Zuge von Außenputzsanierungen ist daher bei Porenbetonwänden meistens nicht erforderlich.

Energieausweis bei Verkauf und Vermietung

Die EnEV schreibt vor, z. B. bei Verkauf oder Vermietung von Gebäuden oder Gebäudeteilen, einem potenziellen Käufer einen Energieausweis zugänglich zu machen. Ausgenommen hiervon sind kleine Gebäude und Bau- denkmäler.

Rohdichte ρ kg/m ³	Wärmedurchgangskoeffizient ¹⁾ U [W/(m ² K)]					
	$d = 24,0 \text{ cm}$		$d = 30,0 \text{ cm}$		$d = 36,5 \text{ cm}$	
	Planstein- Mauerwerk	Blockstein- Mauerwerk	Planstein- Mauerwerk	Blockstein- Mauerwerk	Planstein- Mauerwerk	Blockstein- Mauerwerk
470	0,60	0,76	0,49	0,63	0,41	0,52
550	0,67	0,82	0,54	0,68	0,46	0,57
640	0,76	0,91	0,63	0,76	0,52	0,64
780	0,88	1,03	0,73	0,85	0,61	0,72

¹⁾ ohne Putz

Tab. 5.20: Wärmedurchgangskoeffizienten U von Porenbetonmauerwerk der 50er bis 70er Jahre [139]

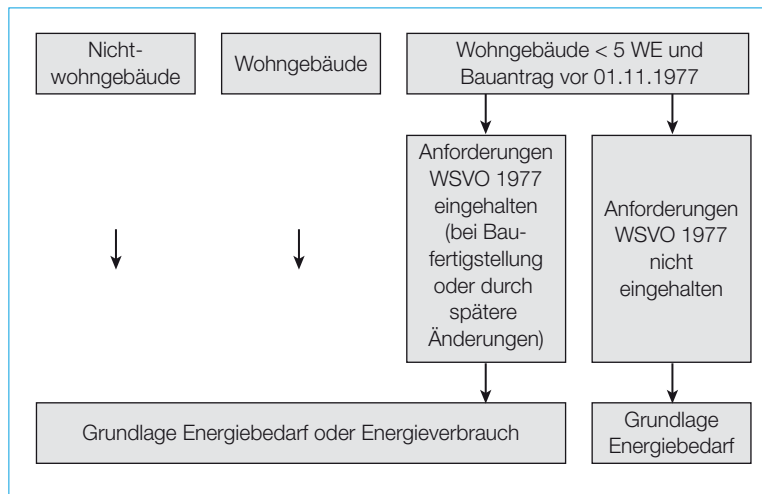
Rohdichte ρ kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit ¹⁾		
	λ_{tr} kcal/(m h grad)	λ_{tr} W/(mK)	$\lambda_{DIN 4108-4}$ ²⁾ W/(mK)
470	0,10	0,12	0,16
550	0,11	0,13	0,18
640	0,13	0,15	0,21
780	0,16	0,19	0,25

¹⁾ 1 kcal/(m h grad) = 1,163 W/(mK)

²⁾ Zuschlag von $\Delta\lambda = 0,05 \text{ W/(mK)}$ bei Blocksteinen, vermauert mit Normalmörtel

Tab. 5.21: Wärmeleitfähigkeit λ von Porenbetonprodukten der 50er bis 70er Jahre [139]

Abb. 5.16: Grundlage für die Ausstellung des Energieausweises für bestehende Gebäude gemäß EnEV 2007 [137]



Weitestgehend besteht Wahlfreiheit, ob ein Energieausweis auf Grundlage eines errechneten Energiebedarfs oder eines gemessenen Energieverbrauchs ausgestellt wird (Abb. 5.16). Nur für bestehende Wohngebäude, die weniger als fünf Wohnungen haben und für die der Bauantrag vor dem 1. November 1977 gestellt worden ist, ist der Energieausweis immer dann bedarfsorientiert zu erstellen, falls bei Baufertigstellung das Anforderungsniveau der Wärmeschutzverordnung (WSVO 1977) [136] nicht eingehalten

wurde oder durch spätere Änderungen dieses Niveau nicht erzielt wurde. Diese Regelung kommt ab dem 1. Oktober 2008 zum Tragen, so dass bis zu diesem Zeitpunkt die völlige Wahlfreiheit zwischen Energiebedarfs- oder Energieverbrauchsausweis besteht. Mit Hilfe der „Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand“ [37] kann geprüft werden, ob das Gebäude dem Anforderungsniveau der WSVO 1977 entspricht. In Abhängigkeit von der Grundrissform eines Gebäudes

sind dort Höchstwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauteilen festgelegt (Tab. 5.22). Darüber hinaus enthalten die Regeln Darstellungen und Beschreibungen von Bauteilquerschnitten, die die in Tab. 5.22 genannten Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten unterschreiten (Tab. 5.23). In Zeile 4 ist ein Außenwandaufbau aus Porenbetonmauerwerk zu sehen. An dieser Stelle ist auf die Bewertung älterer Porenbetonaußenwände im vorhergehenden Abschnitt hinzuweisen.

Wird ein Energieausweis auf Grundlage des Energiebedarfs ausgestellt, sind der Jahres-Primärenergiebedarf Q_p und der Jahres-Endenergiebedarf Q_E nachzuweisen.

Für die Anwendung des Monatsbilanzverfahrens auf Grundlage der DIN V 4108-6 bei bestehenden Wohngebäuden enthält die Energieeinsparverordnung Maßgaben zur Ermittlung der Transmissionswärmeverluste im Bereich von Wärmebrücken, zu Luftwechsel-

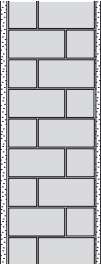
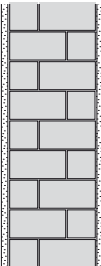
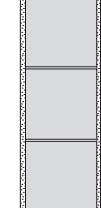
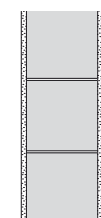
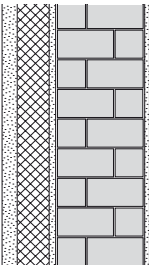
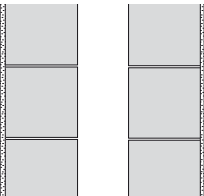
Tab. 5.22: Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{\max}$ für Bauteile gemäß „Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand“ [37]

Lfd. Nr.	Bauteil	$U_{\max}$ W/(m ² K)
1a)	Fassade 1 (Außenwand und Fenster) bei Grundrissformen des Gebäudes gemäß Abb. 1	$U_{m,AW+w} \leq 1,45$
1b)	Fassade 2 (Außenwand und Fenster) bei Grundrissform des Gebäudes gemäß Abb. 2	$U_{m,AW+w} \leq 1,55$
1c)	Fassade 2 (Außenwand und Fenster) bei Grundrissform des Gebäudes gemäß Abb. 3	$U_{m,AW+w} \leq 1,75$
2	oberste Geschossdecke, Dächer	$U_D \leq 0,45$
3	Kellerdecken, Bauteile gegen unbeheizte Räume	$U_G \leq 0,80$
4	Decke, Wände gegen Erdreich	$U_G \leq 0,90$
5	Fenster	Mindestens Doppel- oder Isolierverglasung

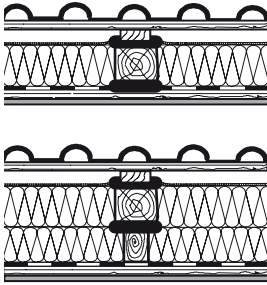
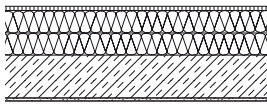
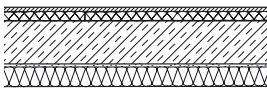
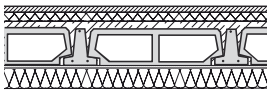
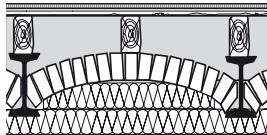
Abb. 1

Abb. 2

Abb. 3

Zeile	Bauteil	Aufbau des Bauteils	$U_{\max}$ W/(m ² K)
1	Beispielfassade 1 (80 % massive Außenwand und 20 % Fenster) 	Außenwand: Außenputz 38 cm Vollziegel-Mauerwerk (1.800 kg/m ³) $\lambda = 0,81$ W/(mK) Innenputz Fenster: Holz- oder Kunststofffenster, Doppel- oder Isolierverglasung $U_w = 3,0$ W/(m ² K) Bemerkung: Für Kalksandstein- oder Leichtbetonmauerwerk (Vollsteine, Zweikammersteine, KS-Lochsteine) siehe Zeile 5	$U_{m,AW+W} = 1,73$
2	Beispielfassade 2 (80 % massive Außenwand und 20 % Fenster) 	Außenwand: Außenputz 30 cm Hochlochziegel-Mauerwerk (1.400 kg/m ³) $\lambda = 0,58$ W/(mK) Innenputz Fenster: Holz- oder Kunststofffenster, Doppel- oder Isolierverglasung $U_w = 3,0$ W/(m ² K) Bemerkung: Für Kalksandstein- oder Leichtbetonmauerwerk (Vollsteine, Zweikammersteine, KS-Lochsteine) siehe Zeile 5	$U_{m,AW+W} = 1,65$
3	Beispielfassade 3 (80 % massive Außenwand und 20 % Fenster) 	Außenwand: Außenputz 24 cm Bimsstein-Mauerwerk $\lambda = 0,30$ W/(mK) Innenputz Fenster: Holz- oder Kunststofffenster, Doppel- oder Isolierverglasung $U_w = 3,0$ W/(m ² K)	$U_{m,AW+W} = 1,37$
4	Beispielfassade 4 (80 % massive Außenwand und 20 % Fenster) 	Außenwand: Außenputz 24 cm Porenbetonmauerwerk (700 kg/m ³) Blocksteine mit Normalmörtel $\lambda = 0,27$ W/(mK) Innenputz Fenster: Holz- oder Kunststofffenster, Doppel- oder Isolierverglasung $U_w = 3,0$ W/(m ² K)	$U_{m,AW+W} = 1,35$
5	Beispielfassade 5 (80 % massive Außenwand und 20 % Fenster) 	Außenwand: Außenputz 38 cm Kalksandstein-Mauerwerk (1.800 kg/m ³) $\lambda = 0,81$ W/(mK) mit äußerer Dämmschicht mit einer Dicke von 6 cm ($\lambda = 0,04$ W/(mK)) Innenputz Fenster: Holz- oder Kunststofffenster, Doppel- oder Isolierverglasung $U_w = 3,0$ W/(m ² K) Bemerkung: Ziegel- und Leichtbetonmauerwerke mit zusätzlicher Dämmung erreichen in der Regel noch kleinere U-Werte	$U_{m,AW+W} = 0,97$
6	Beispielfassade 6 (80 % massive Außenwand und 20 % Fenster) 	Außenwand (zweischalig): 2 cm Außenputz mit $\lambda = 0,87$ W/(mK) 12 cm Mauerwerk mit $\lambda = 0,68$ W/(mK) Variante 1: 8 cm Luftschicht ($R = 0,13$ m ² K/W) oder Variante 2: 8 cm Dämmung ($\lambda = 0,04$ W/(mK)) 12 cm Mauerwerk ($\lambda = 0,68$ W/(mK)) 1,5 cm Innenputz ($\lambda = 0,07$ W/(mK)) Fenster: Holz- oder Kunststofffenster, Doppel- oder Isolierverglasung $U_w = 3,0$ W/(m ² K)	Variante 1: $U_{m,AW+W} = 1,74$ Variante 2: $U_{m,AW+W} = 0,91$

Tab. 5.23: Beispiele zur Unterschreitung der Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{\max}$ für Bauteile nach Tab. 5.22 gemäß der „Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand“ [37]

Zeile	Bauteil	Aufbau des Bauteils	$U_{\max}$ W/(m²K)
7	Steildach 	Dacheindeckung: Dachlattung Unterspannbahn Variante 1: Dämmung/zwischen den Sparren (z.B. 15 cm) Variante 2: Aufdopplung des Sparrens bei zu geringem Hohlraum mit Dämmung (z.B. insgesamt 18 cm) Luftdichtheitsschicht Lattung Gipskartonplatte Bemerkung: Es ist eine Dämmung von mindestens 10 cm zwischen den Sparren notwendig, dies gilt ebenfalls für Auf- oder Untersparrendämmungen und für Flachdächer	Variante 1: $U_D = 0,25$ Variante 2: $U_D = 0,17$
8	Oberste Geschossdecke 	Spanplatte Dämmstoff (8 cm) Betondecke (14 cm) Putzschicht (1,5 cm) Bemerkung: ungedämmte oberste Geschossdecken (Beton- als auch Holzdecken) können den Höchstwert nach Tabelle 9 nicht unterschreiten, eine Dämmung von 8 cm ist mindestens erforderlich	$U_D = 0,44$
9	Kellerdecke - Beispiel 1 	Linoleum Magnesit-Estrich (4 cm) Mineralfasermatte (1,5 cm) Betondecke (15 cm) Putzschicht (1,5 cm) Zusätzlicher Dämmstoff (4 cm)	$U_G = 0,53$
10	Kellerdecke - Beispiel 2 	Linoleum Asphalt-Estrich (2 cm) Mineralfasermatte (1 cm) Rippendecke mit Füllkörpern aus Bimsbeton und Aufbeton (19 cm) Putzschicht (1,5 cm) Zusätzlicher Dämmstoff (4 cm)	$U_G = 0,52$
11	Kellerdecke - Beispiel 3 	Hobeldielen Kohleschlackefüllung Gemauertes Kappengewölbe Stahlträger Zusätzlicher Dämmstoff (ca. 8 cm zur Ausfüllung der Kappen)	$U_G = 0,34$

raten, zu solaren Wärmegewinnen und zu den Randbedingungen des zu verwendenden Klimas. Im Falle des vereinfachten Verfahrens ist der gesamte Rechengang mit den zu verwendenden Randbedingungen tabellarisch vorgegeben (Tab. 5.24). Falls die Geschosshöhe h_G bestehender Gebäude kleiner als 2,50 m oder größer als 3 m ist, wird die Gebäudenutzfläche A_N nicht wie bei zu errichtenden Wohngebäuden allein über einen pauschalen Faktor von 0,32 aus dem Bruttovolumen V_e berechnet, sondern muss korrigiert werden:

$$A_N = \frac{1}{h_G - 0,04} \cdot V_e \quad \text{Gl. (5.10)}$$

Für die energetische Bewertung bestehender Wohngebäude sind hinsichtlich der Anlagentechnik neben DIN V 4701-10 mit Angaben zum Rechenweg auch DIN V 4701-12 [77.3] bzw. ergänzend PAS 1027 [77.4] mit notwendigen Anlagenkenngrößen zu benutzen. Bestehende Nichtwohngebäude werden wie zu errichtende Nichtwohngebäude gemäß DIN V 18599 energetisch bewertet. Falls keine Unterlagen zum Gebäude vorhanden sind, z. B. in Form von Plänen oder Baubeschreibungen, können zur Berechnung des Energiebedarfes notwendige Daten eines bestehenden Gebäudes auf vereinfachte Weise nach den „Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand“ ermittelt werden. Die Vereinfachungen beziehen sich

Zeile	Zu ermittelnde Größen	Gleichung		Zu verwendende Randbedingung		
	1	2		3		
1	Jahres-Heizwärmebedarf Q_h	$Q_h = F_{GT} \cdot (H_T + H_v) - \eta_{HP} (Q_s + Q_i)$ [kWh/a]		$(H_T + H_v)/A_N$	F_{GT}	η_{HP}
				W/(m²K)	kKh/a	–
				< 2	66	0,95
				2 bis 4	75	0,9
				< 4	82	0,85
2	Spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T	$H_T = \sum (F_{xi} \cdot U_i \cdot A) + A \cdot \Delta U_{WB}$ [W/K]		Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} nach EnEV, Anlage 3, Nr. 8.1.1 in W/(m²K) Temperatur-Korrekturfaktoren F_{xi} nach EnEV Anlage 1 Tabelle 3		
	bezogen auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche	$H'_{T} = \frac{H_T}{A}$ [W/(m²K)]				
3	Spezifischer Lüftungswärmeverlust H_v	$H_v = 0,270 \cdot \frac{W}{Km^3} \cdot V_e$ [W/K]		bei offensichtlichen Undichtheiten		
		$H_v = 0,190 \cdot \frac{W}{Km^3} \cdot V_e$ [W/K]		ohne Dichtheitsprüfung nach EnEV, Anlage 4 Nr. 2		
		$H_v = 0,163 \cdot \frac{W}{Km^3} \cdot V_e$ [W/K]		mit Dichtheitsprüfung nach EnEV, Anlage 4 Nr. 2		
4	Solare Gewinne Q_s	$Q_s = \sum (I_{s,j,HP} \cdot \sum 0,567 \cdot g_i \cdot A_i)$ [kWh/a] $I_{s,HP}$ Solare Einstrahlung in der Heizperiode je Orientierung g Gesamtenergiedurchlassgrad [–] A Fläche der Fenster [m²] j Zählindex für Orientierungen i Zählindex für Gesamtenergiedurchlassgrad		Orientierung j	$\frac{(H_T + H_v)}{A_N}$	$I_{s,HP}$
					W/(m²K)	kWh/(m²a)
				Südost bis Südwest	< 2	270
					2 bis 4	410
					> 4	584
				Nordwest bis Nordost	< 2	100
					2 bis 4	215
					> 4	400
				übrige Richtungen	< 2	155
					2 bis 4	300
					> 4	480
				Dachflächenfenster mit Neigungen < 30°	< 2	225
					2 bis 4	455
					> 4	745
5	Interne Gewinne Q_i	$\frac{H_T + H_v}{A_N}$ [W/(m²K)]	kWh/a	A_N : Gebäudenutzfläche nach EnEV, Anlage 1 Nr. 1.4.4 in m²		
		< 2	$Q_i = 22 \cdot \frac{kWh}{m^2a} \cdot A_N$			
		2 bis 4	$Q_i = 29 \cdot \frac{kWh}{m^2a} \cdot A_N$			

Tab. 5.24: Vereinfachtes Verfahren zu Ermittlung des Jahres-Heizwärmebedarfs bei bestehenden Wohngebäuden gemäß ENEC 2007 [137]

auf die Flächenmaße der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, das beheizte Bauwerksvolumen, die wärmetechnische Qualität der Gebäudehülle und die energetische Qualität der Anlagentechnik. Außerdem lässt es die EnEV zu, dass ein Eigentümer die zur Ausstellung des Energieausweises erforderlichen Daten dem Aussteller von Energieausweisen zur Verfügung stellt.

Der Wärmedurchgangskoeffizient U_0 nicht nachträglich gedämmter bestehender Bauteile kann entsprechend der Regeln tabellarisch in Abhängigkeit von der Bauartklasse und nach der Unterscheidung, ob es sich um eine massive Konstruktion oder eine Holzkonstruktion handelt, ermittelt werden (Tab. 5.25).

Tab. 5.25: Pauschalwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten U von Bauteilen (ohne nachträgliche Wärmedämmung) gemäß der „Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand“ [37]

Bauteil	Konstruktion	Baualtersklasse ¹⁾							
		bis 1918	1919 bis 1948	1949 bis 1957	1958 bis 1968	1969 bis 1978	1979 bis 1983	1994 bis 1994	ab 1994
		Pauschalwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten $W/(m^2K)$							
Dach (auch Wände zwischen beheiztem und unbeheiztem Dachgeschoss)	Massive Konstruktion (insbesondere Flachdächer)	2,1	2,1	2,1	2,1	0,6	0,5	0,4	0,3
	Holzkonstruktion (insbesondere Steildächer)	2,6	1,4	1,4	1,4	0,8	0,5	0,4	0,3
Oberste Geschossdecke (auch Fußboden gegen außen, z. B. über Durchfahrten)	Massive Decke	2,1	2,1	2,1	2,1	0,6	0,5	0,4	0,3
	Holzbalkendecke	1,0	0,8	0,8	0,8	0,6	0,4	0,3	0,3
Außenwand (auch Wände zum Erdreich und zu unbeheizten (Keller-) Räumen)	Massive Konstruktion (Mauerwerk, Beton oder ähnlich)	1,7	1,7	1,4	1,4	1,0	0,8	0,6	0,5
	Holzkonstruktion (Fachwerk, Fertighaus oder ähnlich)	2,0	2,0	1,4	1,4	0,6	0,5	0,4	0,4
Bauteile gegen Erdreich oder Keller	Massive Bauteile	1,2	1,2	1,5	1,0	1,0	0,8	0,6	0,6
	Holzbalkendecke	1,0	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,4	0,4
Fenster Fenstertüren	Holzfenster, einfach verglast $g = 0,87^{3)}$	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	-	-
	Holzfenster, zwei Scheiben ²⁾ $g = 0,75^{3)}$	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	1,8
	Kunststofffenster, Isolierverglasung ²⁾ $g = 0,75^{3)}$	-	-	-	3,0	3,0	3,0	3,0	1,8
	Alu- oder Stahlfenster, Isolierverglasung ²⁾ $g = 0,75^{3)}$	-	-	-	4,3	4,3	4,3	4,3	1,8
Rolladenkästen	neu, gedämmt	1,8							
	alt, ungedämmt	3,0							
Türen		3,5							

¹⁾ Baualtersklasse des Gebäudes (bzw. des Bauteils bei neu eingebauten Bauteilen, insbes. Fenster). Die Baualtersklasse 1984 bis 1994 betrifft Gebäude, die nach der Wärmeschutzverordnung vom 24. Februar 1982 (Inkrafttreten 1.1.1984) errichtet wurden.

²⁾ Isolierverglasung, Kastenfenster oder Verbundfenster, nach 1995 Wärmeschutzverglasung

³⁾ g = Gesamtergiedurchlassgrad der Verglasung

Für zusätzlich gedämmte Bauteile kann der Wärmedurchgangskoeffizient U_D unter Zugrundelegung des Wärmedurchgangskoeffizienten U_0 für das Bauteil im Urzustand und die Dicke d_D der nachträglichen Dämmung wie folgt berechnet werden:

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{U_0} + \frac{d}{0,04}} \quad \text{Gl. (5.11)}$$

Alternativ wird der Wärmedurchgangskoeffizient U_D in Abhängigkeit von der Baualtersklasse und der Dicke einer zusätzlich aufgetragenen Wärmedämmschicht tabellarisch ermittelt (Tab. 5.26). Dabei wird vorausgesetzt, dass der Wärmedämmstoff eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$ hat.

Bei Nichtwohngebäuden bieten die „Regeln zur vereinfachten Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ [39] in folgenden Punkten Möglichkeiten zur Vereinfachung: Flächenmaße der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, beheiztes Bauwerksvolumen, wärmetechnische Qualität der Gebäudehülle, energetische Qualität der Anlagentechnik, Festlegung von Zonen, Bildung von Beleuchtungsbereichen, Verschattung, Tageslichtversorgung und sicherheitstechnische Lüftungseinrichtungen.

Ist nicht der berechnete Energiebedarf, sondern der gemessene Energieverbrauch Grundlage eines Energieausweises für bestehende Wohngebäude (Abb. 5.17) oder Nichtwohngebäude (Abb. 5.18), wird ein Energieverbrauchskennwert angegeben, der z. B. aus dem Brennstoffverbrauch ermittelt wird. Dabei wird nach

Urzustand	zusätzliche Dämmung							
	2 cm	5 cm	8 cm	12 cm	16 cm	20 cm	30 cm	40 cm
Pauschalwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten $[W/(m^2K)]$								
> 2,5	1,20	0,63	0,43	0,30	0,23	0,19	0,13	0,10
> 2,0 ... 2,5	1,11	0,61	0,42	0,29	0,23	0,19	0,13	0,10
> 1,5 ... 2,0	1,00	0,57	0,40	0,29	0,22	0,18	0,13	0,10
> 1,0 ... 1,5	0,86	0,52	0,38	0,27	0,21	0,18	0,12	0,09
> 0,7 ... 1,0	0,67	0,44	0,33	0,25	0,20	0,17	0,12	0,09
> 0,5 ... 0,7	0,52	0,37	0,29	0,23	0,18	0,16	0,11	0,09
$\leq 0,5$	0,40	0,31	0,25	0,20	0,17	0,14	0,11	0,08

Tab. 5.26: Pauschalwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten U von Bauteilen (mit nachträglicher Wärmedämmung) gemäß der „Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand“ [37]

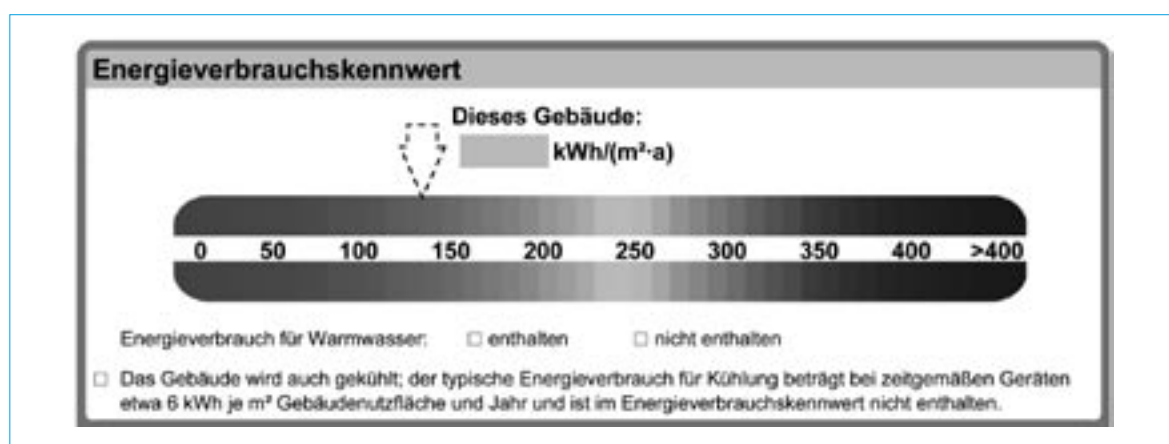


Abb. 5.17: Darstellung des berechneten Energieverbrauchskennwertes im Energieausweis für bestehende Wohngebäude [137]

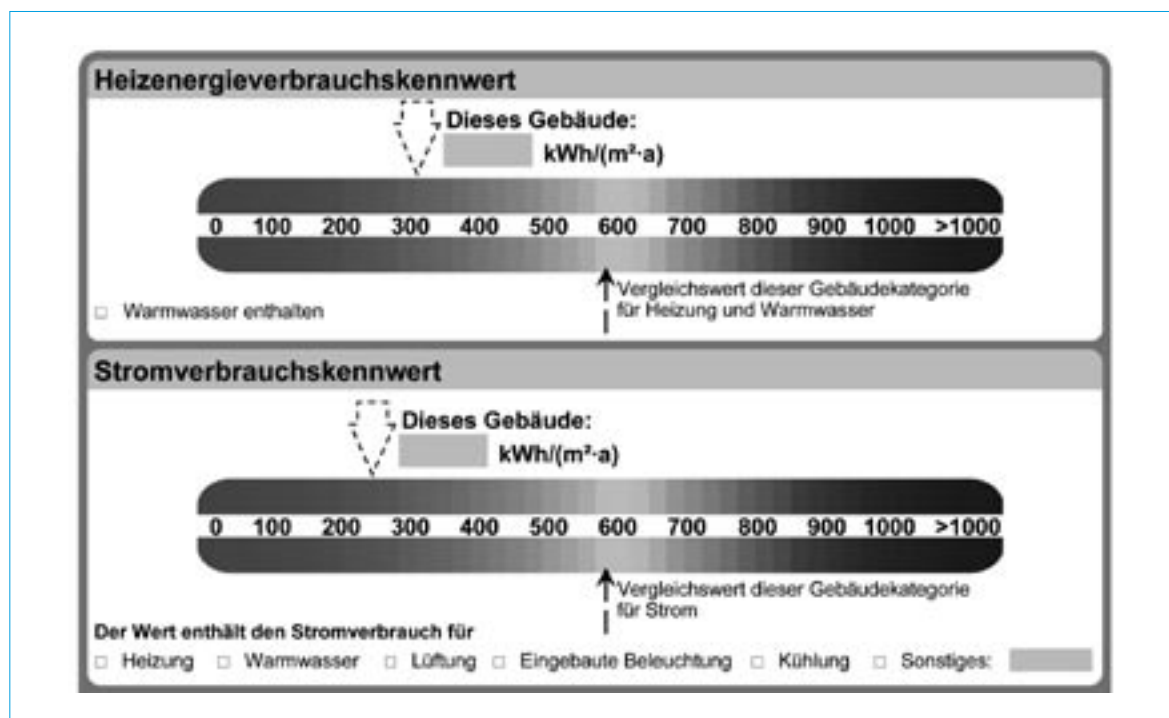


Abb. 5.18: Darstellung des berechneten Heizenergie- und Stromverbrauchskennwertes im Energieausweis für bestehende Nichtwohngebäude [137]

witterungsabhängigen Anteilen (Heizung) und witterungsunabhängigen Anteilen (Trinkwarmwassererwärmung) unterschieden. Der witterungsabhängige Anteil für die Gebäudeheizung wird vor der Berechnung des Energieverbrauchskennwertes einer Witterungsereinigung unterzogen. Hierzu erforderliche Klimafaktoren werden vom Gesetzgeber bekanntgemacht [109]. Berechnungsgrundlage für den Energieverbrauchskennwert sind die „Regeln für Energieverbrauchskennwerte im Wohngebäudebestand“ [38] und die „Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“ [40].

Unabhängig vom Anlass zur Ausstellung eines Energieausweises, wie er z. B. bei Verkauf oder Vermietung von Gebäuden oder Gebäudeteilen vorliegt, ist für Gebäude mit mehr als 1.000 m² Nutzfläche, in denen Behörden oder sonstige Einrichtungen für eine große Anzahl von Menschen öffentliche Dienstleistungen erbringen und die deshalb von diesen Menschen häufig aufgesucht werden, ein Energieausweis immer zu erstellen und an einer für die Öffentlichkeit gut sichtbaren Stelle auszuhängen.

Nachrüstverpflichtung

Eigentümer von Gebäuden sind verpflichtet, unter bestimmten Voraussetzungen Maßnahmen zur energetischen Verbesserung von Anlagen und Gebäude durchzuführen:

■ Alle Gebäude

- Heizkessel, die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickt werden oder die vor dem 01.10.1978 eingebaut oder aufgestellt wurden und die so ertüchtigt worden sind, dass die zulässigen Abgasverluste eingehalten sind oder deren Brenner nach dem 01.11.1996 erneuert worden sind, müssen bis zum 31.12.2008 außer Betrieb genommen werden.

Für folgende Fälle gilt die Außerbetriebnahme nicht:

- Niedertemperatur- oder Brennwertkessel
- Heizungstechnische Anlagen, deren Nennleistung weniger als 4 Kilowatt oder mehr als 400 Kilowatt beträgt
- Heizkessel für unübliche Brennstoffe
- Anlagen zur ausschließlichen Warmwasserbereitung
- Küchenherde und Geräte zur Beheizung des Raumes, in dem sie eingebaut oder aufgestellt sind, und die daneben auch Warmwasser liefern
- Geräte mit einer Nennleistung von weniger als 6 kW zur Versorgung eines Warmwasserspeichersystems mit Schwerkraftumlauf

■ Wohngebäude mit nicht mehr als zwei

Wohnungen, von denen der Eigentümer eine Wohnung am 01.02.2002 selbst bewohnt hat

- Heizkessel müssen w.o. außer Betrieb genommen werden (erst bei Eigentümerwechsel nach dem 01.02.2002 mit einer Frist von zwei Jahren)
- Bei heizungstechnischen Anlagen müssen ungedämmte, zugängliche Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen, die sich nicht in beheizten Räumen befinden, gedämmt werden (erst bei Eigentümerwechsel nach dem 01.02.2002 mit einer Frist von zwei Jahren) (Tab. 5.12).
- Ungedämmte, nicht begehbare, aber zugängliche oberste Geschossdecken beheizter Räume müssen so gedämmt werden, dass der Wärmedurchgangskoeffizient der Geschossdecke den Wert von $U = 0,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ nicht überschreitet (erst bei Eigentümerwechsel nach dem 01.02.2002 mit einer Frist von zwei Jahren).

5.6 Sommerlicher Wärmeschutz

Einflussgrößen auf den sommerlichen Wärmeschutz

Für den sommerlichen Wärmeschutz sind die solare Einstrahlung, die sich aus dem Gebäudestandort ergibt, die Fenster-, die Baustoff- und damit die Bauteileigenschaften sowie die Möglichkeit der Nachtlüftung von Bedeutung:

■ Solare Einstrahlung (Gebäudestandort)

■ Fenstereigenschaften

- Fläche
- Neigung
- Rahmenanteil
- Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung
- Sonnenschutz
- Himmelsrichtung

■ Baustoff- und Bauteileigenschaften

- Spezifische Wärmekapazität der Baustoffe
- Wirksame Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile
- Wärmeeindringkoeffizient
- Temperaturleitfähigkeit
- Temperaturamplitudenverhältnis
- Phasenverschiebung

■ Nachtlüftung

Während die solare Einstrahlung und die Fenstereigenschaften von großem Einfluss sind, ist bei den Baustoff- und Bauteileigenschaften zu differenzieren. Nennenswerte Bedeutung haben die spezifische Wärmekapazität von Baustoffen und die wirksame Wärmespeicherfähigkeit von Bauteilen (s. Kapitel 5.2 „Wärmespeicherung“).

Der Wärmeeindringkoeffizient b gibt Auskunft darüber, wie schnell Wärme von einem Bauteil aufgenommen oder abgegeben wird [28]:

$$b = \sqrt{c \cdot \lambda \cdot \rho} \quad \text{Gl. (5.12)}$$

Die Temperaturleitfähigkeit a benennt die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Temperaturfeldes in einem Stoff:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad \text{Gl. (5.13)}$$

Periodische Temperaturschwankungen der Außenluft im 24-Stunden-Rhythmus setzen sich als Schwingungen durch ein Außenbauteil von außen nach innen fort. Die Temperaturamplitude wird während dieses Durchgangs abgeschwächt. Das Verhältnis der maximalen Temperaturschwankung an der inneren Bauteiloberfläche zur maximalen Schwankung an der äußeren Bauteiloberfläche ist das Temperaturamplitudenver-

hältnis TAV. Die zeitliche Verzögerung der Wellenbewegung durch das Bauteil wird als Phasenverschiebung φ bezeichnet.

An einer 250 mm dicken Porenbetonwand, schwarz gestrichen und nach Westen orientiert, wurden im Verlauf von 24 Stunden die Oberflächentemperaturen gemessen (Abb. 5.19). Die dort aufgetretenen Temperaturschwankungen $\Delta\theta_{se}$ auf der Außenseite von etwa 70 K wurden durch die Wand so stark abgemindert, dass auf der Innenseite nur noch eine Temperaturänderung $\Delta\theta_{si}$ von 2 K gemessen wurde [106]. Demnach beträgt das Temperaturamplitudenverhältnis $TAV = 0,03$ [-] und die Phasenverschiebung $\varphi = 7$ h.

Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes

Infolge passiver Solarenergienutzung erwärmen sich Räume von Gebäuden. Durch eine der Situation angepasste Bauausführung ist darauf zu achten, dass keine unzumutbaren Temperaturen entstehen. Denn dies würde dazu führen, dass Räume unter Einsatz von Energie gekühlt werden müssten. Vor dem Hintergrund des energiesparenden Bauens, das sich nicht nur auf die winterliche sondern auch auf die sommerliche Situation bezieht, verlangt die Energieeinsparverordnung den Nachweis den sommerlichen Wärmeschutzes gemäß DIN 4108-2. Der Nachweis, der raumbezogen durchgeführt wird, besteht darin, dass ein „vorhandener“ Sonneneintragskennwert einen „höchstens zulässigen“ Sonneneintragskennwert nicht überschreitet.

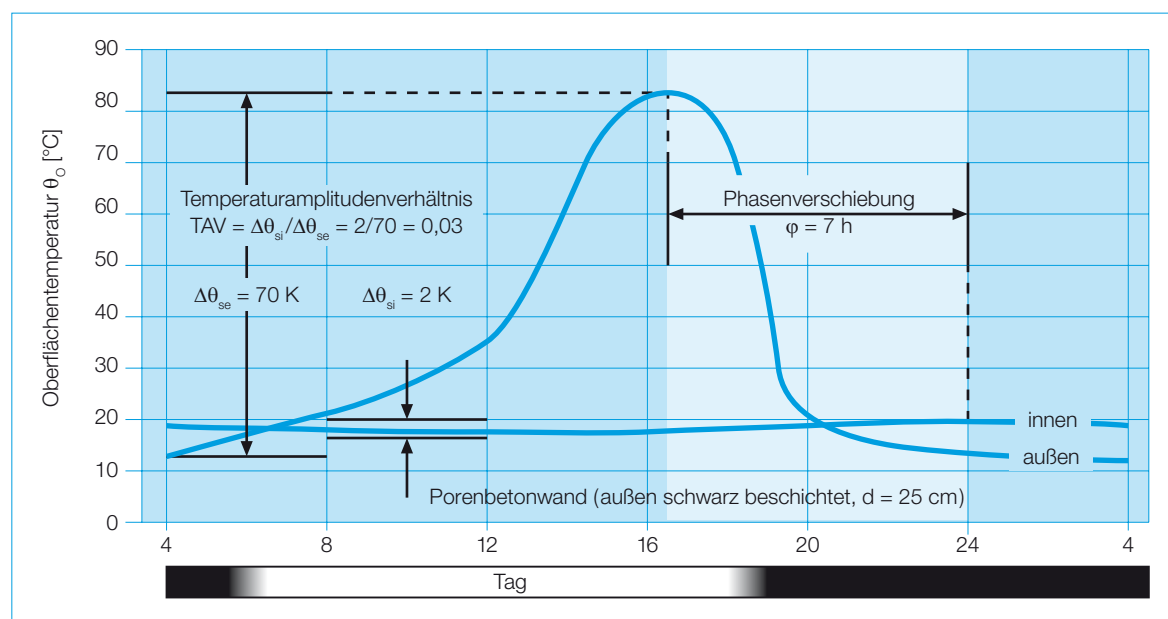


Abb. 5.19: Temperaturverläufe an der inneren und äußeren Oberfläche einer Porenbetonwand

Tab. 5.27: Zulässige Werte des grundflächenbezogenen Fensterflächenanteils gemäß DIN 4108-2, unterhalb dessen auf einen Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes verzichtet werden kann [71.1]

Neigung der Fenster gegenüber der Horizontalen	Orientierung der Fenster ²⁾	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil ¹⁾ f_{AG} [%]
Über 60° bis 90°	Nord-West über Süd bis Nord-Ost	10
	Alle anderen Nordorientierungen	15
von 0° bis 60°	Alle Orientierungen	7

¹⁾ Der Fensterflächenanteil f_{AG} ergibt sich aus dem Verhältnis der Fensterfläche zur Grundfläche des betrachteten Raumes oder der Raumgruppe. Sind dort mehrere Fassaden oder z. B. Erker vorhanden, ist f_{AG} aus der Summe aller Fensterflächen zur Grundfläche zu berechnen.

²⁾ Sind beim betrachteten Raum mehrere Orientierungen mit Fenster vorhanden, ist der kleinere Grenzwert für f_{AG} bestimmend.

Liegt der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil f_{AG} in Abhängigkeit von der Fensterneigung und der Fensterorientierung unterhalb bestimmter Grenzen, kann auf den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes verzichtet werden (Tab. 5.27). Der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil f_{AG} ergibt sich aus den Fensterflächen A_w und der Nettogrundfläche A_G des Raumes:

$$f_{AG} = \frac{A_w}{A_G} \quad \text{Gl. (5.14)}$$

Der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} wird aus der Fensterfläche A_w , dem Gesamtenergiedurchlassgrad einschließlich Sonnenschutzvorrichtung g_{total} und der Nettogrundfläche des Raumes A_G ermittelt:

$$S_{\text{vorh}} = \frac{\sum_i (A_{w,i} \cdot g_{\text{total},i})}{A_G} \quad \text{Gl. (5.15)}$$

Dabei wird der Gesamtenergiedurchlassgrad einschließlich Sonnenschutzvorrichtung g_{total} vereinfacht aus dem Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung g und dem Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen F_C (Tab. 5.28) berechnet:

$$g_{\text{total}} = g \cdot F_C \quad \text{Gl. (5.16)}$$

Tab. 5.28: Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen gemäß DIN 4108-2 [71.1]

Sonnenschutzvorrichtung ¹⁾	F_C
Ohne Sonnenschutzvorrichtung	1,0
Innenliegend oder zwischen den Scheiben ²⁾ : weiß oder reflektierende Oberfläche mit geringer Transparenz helle Farben oder geringe Transparenz ³⁾ dunkle Farbe oder höhere Transparenz	0,75 0,8 0,9
Außenliegend drehbare Lamellen, hinterlüftet Jalousien und Stoffe mit geringer Transparenz ³⁾ , hinterlüftet Jalousien, allgemein Rollläden, Fensterläden Vordächer, Loggien, freistehende Lamellen ⁴⁾ Markisen ⁴⁾ , oben und seitlich ventiliert Markisen, allgemein	0,25 0,25 0,4 0,3 0,5 0,4 0,5

¹⁾ Die Sonnenschutzvorrichtung muss fest installiert sein. Übliche dekorative Vorhänge gelten nicht als Sonnenschutzvorrichtung.

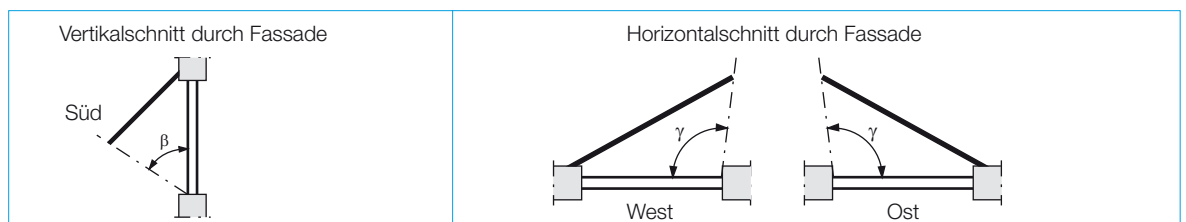
²⁾ Für innen und zwischen den Scheiben liegende Sonnenschutzvorrichtungen ist eine genaue Ermittlung zu empfehlen, da sich erheblich günstigere Werte ergeben können.

³⁾ Eine Transparenz der Sonnenschutzvorrichtung unter 15 % gilt als gering.

⁴⁾ Dabei muss näherungsweise sichergestellt sein, dass keine direkte Besonnung des Fensters erfolgt. Dies ist der Fall, wenn

- bei Südorientierung der Abdeckwinkel $\beta \geq 50^\circ$ ist;
- bei Ost- oder Westorientierung der Abdeckwinkel $\beta \geq 85^\circ$ oder $\gamma \geq 115^\circ$ ist.

Zu den jeweiligen Orientierungen gehören Winkelbereiche von $\pm 22,5^\circ$. Bei Zwischenorientierungen ist der Abdeckwinkel $\beta \geq 80^\circ$ erforderlich.



Für innenliegende oder zwischen den Scheiben liegende Sonnenschutzvorrichtungen befinden sich die Werte zwischen $F_c = 0,75$ und $F_c = 0,9$. Damit ist die Schutzwirkung im Vergleich zu außenliegenden Sonnenschutzvorrichtungen mit Werten zwischen $F_c = 0,25$ und $F_c = 0,5$ relativ gering. Ein niedriger Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen außenliegender Rollläden mit $F_c = 0,3$ führt dazu, dass bei entsprechend ausgestatteten Gebäuden im Regelfall auf den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes verzichtet werden kann.

Der Höchstwert des Sonneneintragskennwertes S_{zul} stellt eine Summe aus anteiligen Sonneneintragskennwerten S_x dar:

$$S_{zul} = \sum S_x \quad \text{Gl. (5.17)}$$

Folgende Situationen, die auf das Maß der Erwärmung der Räume Einfluss haben, werden durch anteilige Sonneneintragskennwerte S_x (Tab. 5.29) erfasst:

- S_1 : Klimaregion, in der sich das Gebäude befindet
- S_2 : Bauart (schwer, mittel oder leicht)
- S_3 : Erhöhte Nachtlüftung (möglich oder nicht möglich)
- S_4 : Sonnenschutzverglasung (vorhanden oder nicht vorhanden)
- S_5 : Fensterneigung (Neigung größer oder kleiner als 60° gegenüber der Horizontalen)
- S_6 : Fensterorientierung

Gebäudelage bzw. Bauart, Fensterneigung und Orientierung	Anteiliger Sonneneintragskennwert S_x
Klimaregion ¹⁾	
Gebäude in Klimaregion A	0,04
Gebäude in Klimaregion B	0,03
Gebäude in Klimaregion C	0,015
Bauart ²⁾	
leichte Bauart: $C_{wirk}/A_G < 50 \text{ Wh}/(\text{Km}^2)$ ohne Nachweis von C_{wirk}/A_G	$0,06 f_{gew}^c$
mittlere Bauart: $50 \text{ Wh}/(\text{Km}^2) \leq C_{wirk}/A_G \leq 130 \text{ Wh}/(\text{Km}^2)$	$0,10 f_{gew}^c$
schwere Bauart: $C_{wirk}/A_G > 130 \text{ Wh}/(\text{Km}^2)$	$0,115 f_{gew}^c$
Erhöhte Nachtlüftung ⁴⁾ während der zweiten Nachthälfte $n \geq 1,5 \text{ h}^{-1}$	
bei mittlerer ²⁾ und leichter ²⁾ Bauart	+0,02
bei schwerer Bauart ²⁾	+0,03
Sonnenschutzverglasung ⁵⁾ mit $g \leq 0,4$	+0,03
Fensterneigung: $0^\circ \leq \text{Neigung} \leq 60^\circ$ (gegenüber der Horizontalen)	$-0,12 f_{neig}^f$
Orientierung: Nord-, Nordost- und Nordwestorientierte Fenster soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen $> 60^\circ$ ist sowie Fenster, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind	$+0,10 f_{nord}^g$

Tab. 5.29: Anteilige Sonneneintragskennwerte S_x zur Bestimmung des zulässigen Höchstwertes des Sonneneintragskennwertes S_{zul} gemäß DIN 4108-2 [71.1]

¹⁾ Höchstwerte der mittleren monatlichen Außenlufttemperaturen nach DIN 1408-2 Tabelle 6;

²⁾ Im Zweifelsfall kann nach DIN V 4108-6 die wirksame Wärmespeicherfähigkeit für den betrachteten Raum bzw. Raumbereich bestimmt werden, um die Bauart einzuordnen

C_{wirk} wirksame Wärmespeicherfähigkeit
 A_G Nettogrundfläche nach DIN 4108-2, Abschnitt 8.4

³⁾ $f_{gew} = (A_W + 0,3 \cdot A_{AW} + 0,1 \cdot A_D)/A_G$
 f_{gew} gewichtete Außenflächen bezogen auf die Nettogrundfläche; die Gewichtungsfaktoren berücksichtigen die Relation zwischen dem sommerlichen Wärmedurchgang üblicher Außenbauteile

A_W Fensterfläche (einschließlich Dachfenster) nach DIN 4108-2, Abschnitt 8.4

A_{AW} Außenwändfläche (Außenmaße)

A_D wärmeübertragende Dach- oder Deckenfläche nach oben oder unten gegen Außenluft,

Erdreich und unbeheizte Dach- und Kelleräume (Außenmaße)

A_G Nettogrundfläche (lichte Maße) nach DIN 4108-2, Abschnitt 8.4

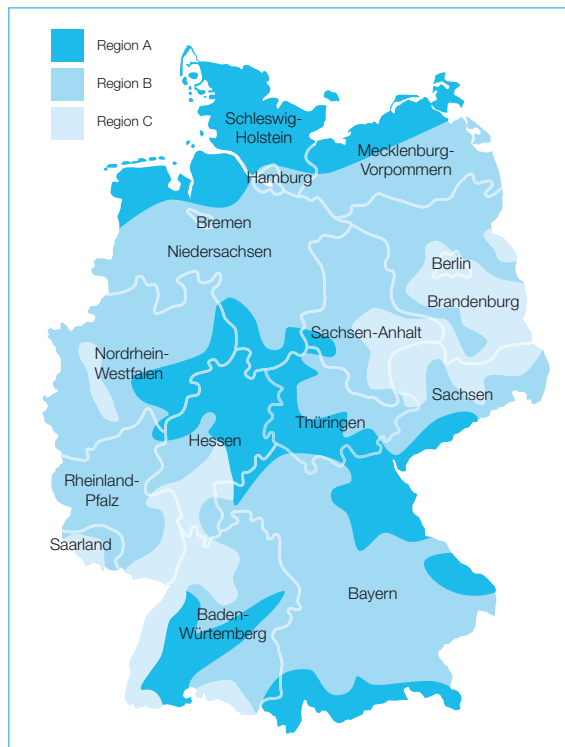
⁴⁾ Bei Ein- und Zweifamilienhäusern kann in der Regeln von einer erhöhten Nachtlüftung ausgegangen werden

⁵⁾ Als gleichwertige Maßnahme gilt eine Sonnenschutzvorrichtung, die die diffuse Strahlung permanent reduziert und deren $g_{total} < 0,4$ erreicht

⁶⁾ $f_{neig} = A_{W,neig}/A_G$
 $A_{W,neig}$ geneigte Fensterfläche
 A_G Nettogrundfläche

⁷⁾ $f_{nord} = A_{W,nord}/A_{W,gesamt}$
 $A_{W,nord}$ Nord-, Nordost- und Nordwestorientierte Fensterfläche soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen $> 60^\circ$ ist sowie Fensterflächen, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind
 $A_{W,gesamt}$ gesamte Fensterfläche

Abb. 5.20: Klimaregionen für den sommerlichen Wärmeschutz gemäß DIN 4108-2 [71.1]



Zur Festlegung des anteiligen Sonneneintragskennwertes S_1 werden die Sommerklimaregionen A, B und C gemäß DIN 4108-6 durch den Höchstwert der monatlichen mittleren Außentemperatur unterschieden und durch die Merkmale sommerkühl (z. B. Kiel), gemäßigt (z. B. Hannover) und sommerheiß (z. B. Freiburg) charakterisiert (Abb. 5.20).

Zur Feststellung, ob es sich zur Ermittlung des anteiligen Sonneneintragskennwertes S_2 um eine schwere, mittlere oder leichte Bauart handelt, ist zunächst die wirksame Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} eines Raumes zu berechnen und dann die Bauart zu bestimmen (s. Kap. 5.3 „Wärmespeicherung“). Daneben sind die gewichteten Außenflächen f_{gew} , die Fensterflächen A_w , die Außenwandflächen A_{AW} und die Dachflächen A_D sowie die Nettogrundfläche A_G für den anteiligen Sonneneintragskennwert S_2 von Belang:

$$S_2 = 0,06 \cdot f_{\text{gew}} \quad (\text{bei leichter Bauart}) \quad \text{Gl. (5.18)}$$

$$S_2 = 0,10 \cdot f_{\text{gew}} \quad (\text{bei mittlerer Bauart}) \quad \text{Gl. (5.19)}$$

$$S_2 = 0,115 \cdot f_{\text{gew}} \quad (\text{bei schwerer Bauart}) \quad \text{Gl. (5.20)}$$

$$f_{\text{gew}} = \frac{A_w + 0,3 \cdot A_{\text{AW}} + 0,1 \cdot A_D}{A_G} \quad \text{Gl. (5.21)}$$

Berechnungsbeispiel zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes

Ein einfaches Berechnungsbeispiel zeigt den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes für einen südorientierten Raum mit Wänden aus Porenbeton (Abb. 5.8). Der Nachweis ist erforderlich, da der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil f_{AG} gemäß Gl. (5.14) über 10 % liegt:

- Fensterfläche Süd: $A_{w,S} = 7,80 \text{ m}^2$

- Fensterfläche Ost: $A_{w,O} = 1,52 \text{ m}^2$

- Nettogrundfläche: $A_G = 59,54 \text{ m}^2$

- $f_{\text{AG}} = \frac{7,80 + 1,52}{59,54} = 0,16 \text{ [-]}$

Im nächsten Schritt werden die Daten für den vorhandenen Sonneneintragskennwert S_{vorh} ermittelt:

- Gesamtenergiedurchlassgrad einschließlich Sonnenschutzvorrichtung g_{total} gemäß Gl. (5.16)

- Gesamtenergiedurchlassgrad $g = 0,62 \text{ [-]}$

- Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen (außenliegende Jalousie): $F_C = 0,4 \text{ [-]}$

$$g_{\text{total}} = 0,62 \cdot 0,4 = 0,25 \text{ [-]}$$

- Vorhandener Sonneneintragskennwert S_{vorh} gemäß Gl. (5.15)

- Fensterfläche Süd: $A_{w,S} = 7,80 \text{ m}^2$

- Fensterfläche Ost: $A_{w,O} = 1,52 \text{ m}^2$

- Nettogrundfläche: $A_G = 59,54 \text{ m}^2 \text{ [-]}$

$$S_{\text{vorh}} = \frac{\sum_i (A_{w,i} \cdot g_{\text{total},i})}{A_G} = \frac{7,80 \cdot 0,25 + 1,52 \cdot 0,25}{59,54} = 0,04 \text{ [-]}$$

Durch Addition der anteiligen Sonneneintragskennwerte S_x wird der Höchstwert des Sonneneintragskennwertes S_{zul} ermittelt:

- Klimaregion, in der sich das Gebäude befindet
Klimaregion B (Hannover)
 $S_1 = 0,03 \text{ [-]}$

■ Bauart

- Gewichtete Außenflächen
- f_{gew}
- gemäß Gl. (5.21):

$$f_{\text{gew}} = \frac{9,32 + 0,3 \cdot 30,31 + 0,1 \cdot 0}{59,54} = 0,31 \text{ [-]}$$

- Ermittlung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit

 C_{wirk} gemäß Gl. (5.1) (Tab. 5.30)

-
- $C_{\text{wirk}} = 6.358 \text{ Wh/K}$

- Ermittlung der Bauart gemäß Gl. (5.2):

$$\frac{C_{\text{wirk}}}{A_G} = \frac{6.358}{59,54} = 107 \text{ Wh/(m}^2\text{K)}$$

→ Mittlere Bauart

Anteiliger Sonneneintragskennwert S_2

bei mittlerer Bauart gemäß Gl. (5.19):

$$S_2 = 0,10 \cdot 0,31 = 0,03 \text{ [-]}$$

■ Erhöhte Nachtlüftung

Möglich

$$S_3 = 0,02 \text{ [-]}$$

■ Sonnenschutzverglasung

Nicht vorhanden

$$S_4 = 0$$

■ Fensterneigung

Neigung 90° gegenüber der Horizontalen

$$S_5 = 0$$

■ Fensterorientierung

Ost- und südorientiert

$$S_6 = 0$$

■ Höchstwert des Sonneneintragskennwertes S_{zul}

gemäß Gl. (5.17):

$$S_{\text{zul}} = 0,03 + 0,03 + 0,02 = 0,08 \text{ [-]}$$

Damit ist der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes gemäß DIN 4108-2 erbracht, da der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} den Höchstwert des Sonneneintragskennwertes S_{zul} nicht überschreitet:

$$S_{\text{vorh}} = 0,04 < S_{\text{zul}} = 0,08$$

Bauteil	Baustoff	Spezifische Wärmekapazität c_i		Rohdichte ρ_i kg/m ³	Wirksame Schichtdicke d_i m	Bauteilfläche A_i m ²	Wirksame Wärmespeicherfähigkeit $C_{\text{wirk}} = c_i \cdot \rho_i \cdot d_i \cdot A_i$ Wh/K
		J/(kgK)	Wh/(kgK)				
Fußboden	Zementstrich	1.000	0,278	2.000	0,050	59,54	1.655
Außenwand Süd	Putz	1.000	0,278	600	0,015	7,45	19
	Porenbeton	1.000	0,278	400	0,085	7,45	70
Außenwand Ost	Putz	1.000	0,278	600	0,015	22,86	57
	Porenbeton	1.000	0,278	400	0,085	22,86	216
Haustrennwand	Putz	1.000	0,278	600	0,015	24,40	61
	Porenbeton	1.000	0,278	600	0,070	24,40	285
Innenwand	Putz	1.000	0,278	600	0,015	13,25	33
	Porenbeton	1.000	0,278	600	0,070	13,25	155
Decke	Stahlbeton	1.000	0,278	2.300	0,100	59,54	3.807
Summe							6.358

Tab. 5.30: Berechnungsbeispiel zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes – Wirksame Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk}

FEUCHTE

6.1 Feuchtegehalt von Porenbeton

In einem Baustoff, der sich über längere Zeit in Luft konstanter relativer Luftfeuchte und Temperatur befindet, stellt sich ein bestimmter Feuchtegehalt ein. Dabei handelt es sich um die sogenannte Gleichgewichtsfeuchte eines Baustoffes zu der betreffenden Luft, die in Sorptionsisothermen zusammengefasst wird. Den sich einstellenden Feuchtegehalt von Porenbeton zeigt eine Sorptionsisotherme, die auf Grundlage von Untersuchungen an verschiedenen Bauteilen niedrig und normal beheizter Gebäude entstanden ist (Abb. 6.1). Es ist erkennbar, dass der massebezogene Feuchtegehalt von Porenbeton in einer Umgebung mit einer relativen Raumluftfeuchte zwischen 50 und 70 % im Bereich von $u = 3$ bis 4 % liegt [10]. Entsprechend sind in DIN EN ISO 12524 [82] die Ausgleichsfeuchtegehalte von 2,6 % ($\theta = 23^\circ\text{C}$, $\phi = 50\%$) und 4,5 % ($\theta = 23^\circ\text{C}$, $\phi = 80\%$) genormt.

Absorptionsfähige Baustoffe mit feinporigen, saugfähigen Oberflächen nehmen bei gleicher relativer Luftfeuchte mehr Feuchte auf als weniger absorptionsfähige Oberflächen wie Fliesen. Dadurch kann in gewissen Grenzen die Raumluftfeuchte beeinflusst werden, d. h. im Falle absorptionsfähiger Oberflächen kommt es bei einer Feuchteproduktion im Raum zu einem etwas geringeren Anstieg der relativen Raumluftfeuchte. Bei langfristigen Feuchteschwankungen, insbesondere durch den Wechsel zwischen winterlichen und sommerlichen Randbedingungen (Winter: $\phi = 30\ldots 55\%$, Sommer: $\phi = 50\ldots 70\%$) können die Einflüsse der Sorption auf das feuchtetechnische Verhalten von Baustoffen diejenigen der Diffusion überlagern und ggf. auch größer sein.

Der Ausgleichsfeuchtegehalt von Porenbeton ist nicht unmittelbar nach Errichten eines Gebäudes vorhanden. Zunächst ist von einer erhöhten Ausgangsfeuchte auszugehen, weil Baustoffe produktionsbedingt Rest-

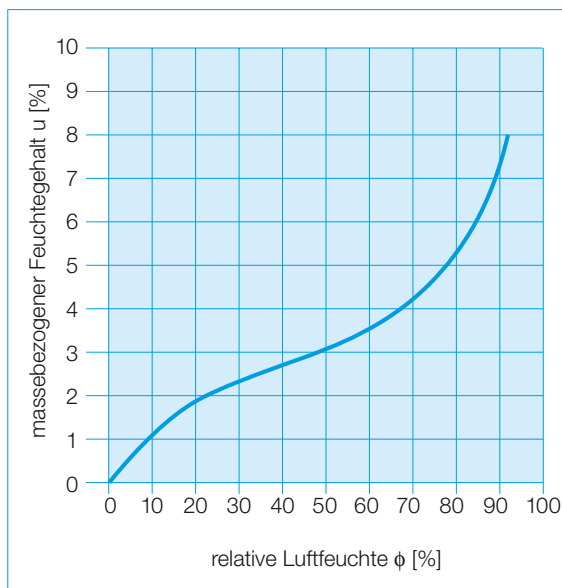


Abb. 6.1: Sorptionsisotherme von Porenbeton

feuchte aufweisen. Die volumenbezogene Herstellfeuchte von Porenbeton beträgt etwa $\Psi = 15\%$. Unter Beachtung der Rohdichten von Wasser und dem betreffenden Baustoff lässt sich nach folgendem Zusammenhang der massebezogene Wassergehalt u ermitteln:

$$u = \frac{\rho_w}{\rho_B} \cdot \Psi \quad \text{Gl. (6.1)}$$

Auch durch Mauer- und Putzmörtel sowie Betonbauteile und Estriche wird Feuchte in Bauwerke eingetragen. In früheren Zeiten vergingen bei den damals üblichen Bauweisen, z. B. Mauerwerk mit hohem Mörtelanteil und Putz, viele Jahre, bis ein Haus „trockengewohnt“ war. Hinsichtlich des Feuchteintrags aus Mörtelfugen weist Mauerwerk aus Plansteinen heute ein feuchtetechnisch günstigeres Verhalten auf, weil der Anteil der Mörtelfugen nur 1 bis 2 % gegenüber Normalmörtel-Mauerwerk mit 6 bis 20 % beträgt. Auch die Putzdicke kann bei Plansteinmauerwerk reduziert werden. Die erhöhte Anfangsfeuchte (Ψ) von Außenwänden aus Porenbeton sinkt bereits bis zum Beginn

Außenputz: Leichtputz, weiß
Außenwand: Porenbeton PP2-0,40, d = 36,5 cm

Zeit t	Volumenbezogener Feuchtegehalt v [%]
01.04.00	16.0
01.10.00	10.5
01.04.01	4.5
01.10.01	2.2
01.04.02	2.3
01.10.02	1.5
01.04.03	1.8
01.10.03	1.2
01.04.04	1.6
01.10.04	1.2
01.04.05	1.6
01.10.05	1.2
01.04.06	1.5

■ Außenwände

- Ein- und zweischaliges Mauerwerk nach DIN 1053-1 (auch mit Kerndämmung), jeweils mit Innenputz und folgenden Außenschichten
 - Putz nach DIN V 18550-1 oder Verblendmauerwerk nach DIN 1053-1
 - Angemörtelte oder angemauerte Bekleidungen nach DIN 18515-1 und DIN 18515-2, bei einem Fugenanteil von mindestens 5 %
 - Hinterlüftete Außenwandbekleidungen nach DIN 18516-1 mit und ohne Wärmedämmung
 - Außendämmungen nach DIN 1102 oder nach DIN 18550-3 oder durch ein zugelassenes Wärmedämmverbundsystem
- Wände mit Innendämmung mit folgenden Konstruktionsvarianten
 - Wände wie oben, aber mit Innendämmung mit einem Wärmedurchlasswiderstand der Wärmedämmschicht von $R \leq 1 \text{ m}^2\text{K/W}$ sowie einem Wert der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicke der Wärmedämmschicht mit Innenputz bzw. Innenbekleidung von $s_{di} \geq 0,5 \text{ m}$
 - Wände aus Mauerwerk nach DIN 1053-1, jeweils mit den oben genannten Außenschichten (ohne Außendämmung), mit Innendämmung aus verputzten bzw. bekleideten Holzwolle-Leichtbauplatten nach DIN 1101 mit einem Wärmedurchlasswiderstand der Innendämmung von $R \leq 0,5 \text{ m}^2\text{K/W}$

■ Dächer

- Nicht belüftete Dächer aus Porenbeton nach DIN 4223 mit Dachabdichtung, ohne diffusionshemmende Schicht an der Unterseite und ohne zusätzliche Wärmedämmung

Durch diese Liste wird berücksichtigt, dass Feuchte nicht nur als Wasserdampf auf dem Wege der Diffusion, wie beim Glaser-Verfahren vorausgesetzt, sondern auch in flüssiger Form durch Kapillarleitung durch Außenbauteile hindurch transportiert wird. Das Ausmaß der jeweiligen Transportvorgänge ist von den Diffusions- und Kapillareigenschaften der Baustoffschichten sowie den klimatischen Randbedingungen abhängig. Bei folgenden Konstruktionen ist der Feuchtetransport durch Diffusion vorrangig:

- Leichtkonstruktionen mit nicht kapillarleitenden, aber wasserdampfdurchlässigen Wärmedämmschichten, z. B. Mineralwolle-Dämmplatten
- Mehrschichtige, nicht belüftete Flachdächer
- Wasserabweisende Außenputze, bei denen durch Anschlüsse und Fehlstellen Wasser eindringen und durch Diffusion wieder abgeführt werden kann

Das kapillare Wasseraufnahmeverhalten wird durch den Wasseraufnahmekoeffizienten W_w beschrieben, der für Porenbeton je nach Rohdichte im Bereich von 4 bis 8 $\text{kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0,5})$ liegt. Abb. 6.3 zeigt das Wasseraufnahmevermögen von Porenbeton im Vergleich zu anderen Baustoffen.

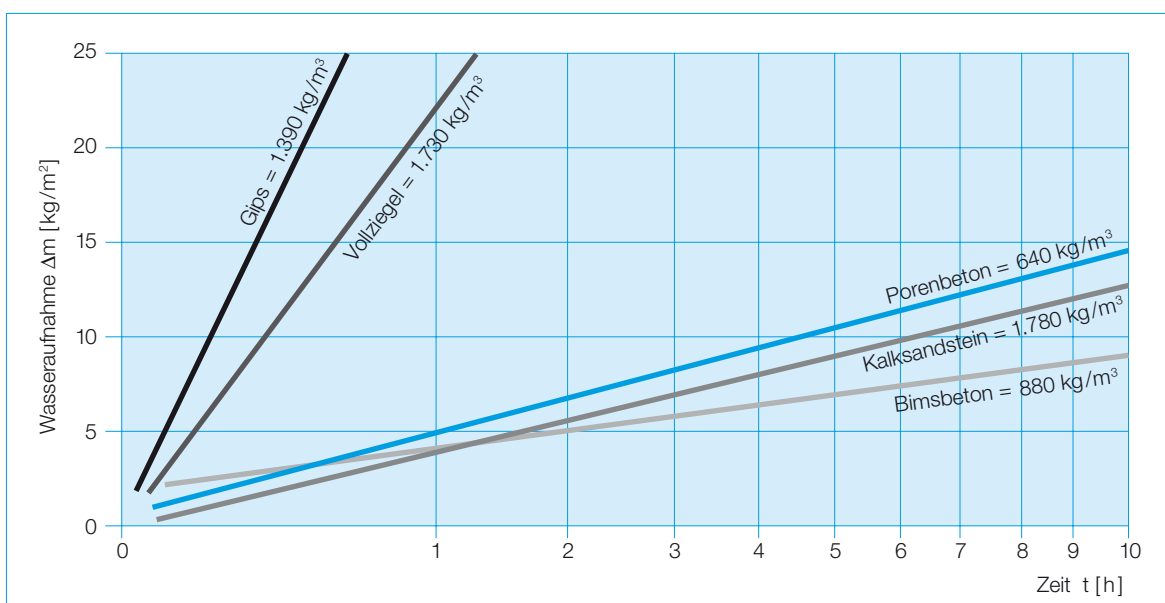
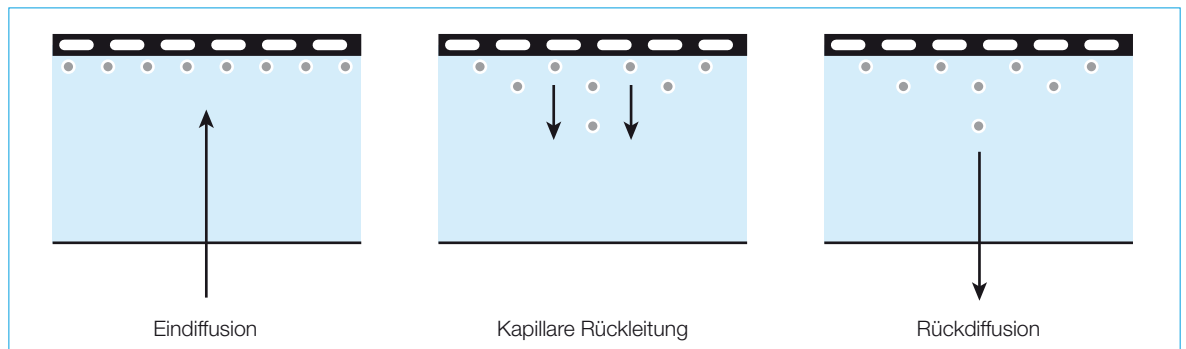


Abb. 6.3: Wasseraufnahme von Baustoffen

Abb. 6.4: Kombiniertes Feuchtetransport in nicht belüfteten Flachdächern aus Porenbeton mit Dachabdichtung



Die Bedeutung des grundsätzlichen Zusammenhanges von Wasserdampf- und Flüssigwassertransport bei Porenbeton soll am Beispiel eines nicht belüfteten Flachdaches aus Porenbeton-Dachplatten mit Dachabdichtung erläutert werden (Abb. 6.4). Dadurch wird deutlich, dass durch einen kombinierten Feuchtetransport aus Diffusion und Kapillarleitung, der die drei Vorgänge Eindiffundieren, kapillare Rückleitung und Rückdiffusion umfasst, in Porenbeton bei durchschnittlichen Raumluftbedingungen keine Feuchteerhöhung eintritt [15]:

■ Eindiffundieren

Unter einem Wasserdampfpartialdruckgefälle von innen nach außen diffundiert Wasserdampf in Richtung der Außenseite. Unterhalb der Dachabdichtung fällt Tauwasser aus, wodurch der Feuchtegehalt im Porenbeton erhöht wird.

■ Kapillare Rückleitung

Infolge Kapillartransport verteilt sich das ausgefallene Tauwasser von der oberen Schicht des Porenbetons in trockenere, tiefere Schichten und gelangt somit in wärmere Bereiche mit höheren Wasserdampf-Sättigungsdrücken.

■ Ausdiffundieren nach innen (Rückdiffusion)

Wasser, das sich jetzt in einem Bereich mit hohem Wasserdampf-Sättigungsdruck befindet, kann zur Raumluft mit einem niedrigeren Wasserdampfpartialdruck ausdiffundieren.

tive Luftfeuchte von $\phi = 100\%$ aufweist. An diesem Punkt ist die Taupunkttemperatur der Raumluft erreicht. Handelt es sich um feinporige, saugfähige Oberflächen, sind die Verhältnisse komplexer. Sinkt die Oberflächentemperatur ab, steigt der Wassergehalt in der Oberflächenzone allmählich an. Wenn an der Oberfläche über etwa vier Wochen eine relative Luftfeuchte von $\phi = 80\%$ herrscht, besteht die Gefahr von Schimmelpilzbefall. Bei einer Raumlufttemperatur von $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ und einer relativen Raumluftfeuchte von $\phi = 50\%$ ist an saugfähigen Oberflächen zur Verhinderung einer Schimmelpilzbildung eine Oberflächentemperatur θ_{si} von mindestens $12,6^\circ\text{C}$ erforderlich. Ausgedrückt wird dieser Sachverhalt durch den Temperaturfaktor f_{Rsi} :

$$f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si} - \theta_e)}{(\theta_i - \theta_e)} \quad \text{Gl. (6.2)}$$

Unter Annahme der für Berechnungen genormten Außenlufttemperatur von $\theta_e = -5^\circ\text{C}$ bedeutet dies, dass der Temperaturfaktor f_{Rsi} mindestens 0,7 [-] betragen muss.

Schimmelpilzbefall tritt üblicherweise zuerst im Bereich von Wärmebrücken auf, weil dort die geringsten Oberflächentemperaturen vorhanden sind. Beim Nachweis des Mindestwärmeschutzes im Bereich von Wärmebrücken ist zu prüfen, ob die Bedingung $f_{Rsi} \geq 0,7$ eingehalten ist. Dies geschieht durch Berechnung mit Hilfe von PC-Programmen, durch Benutzung von Wärmebrückenkatalogen oder durch Anwendung von DIN 4108 Beiblatt 2 [71.6].

6.3 Tauwasser- und schimmelpilzfreie Bauteiloberflächen

Bei der Beurteilung der Gefahr von Tauwasser- oder Schimmelpilzbildung an raumseitigen Bauteiloberflächen ist zu unterscheiden, ob es sich um saugfähige oder nicht saugfähige Oberflächen handelt. Bei nicht saugfähigen Oberflächen wie Glas oder Metall kommt es infolge der Abkühlung von warmfeuchter Raumluft dann zum Tauwasserausfall, wenn die Oberfläche eine rela-

Eine konstruktive Ausbildung von Details gemäß DIN 4108 Beiblatt 2 bedeutet nicht nur, dass unter den zugrunde gelegten Randbedingungen die Transmissionswärmeverluste im Bereich von Wärmebrücken auf ein zufriedenstellendes Maß begrenzt werden (s. Kap. 5 „Wärme“), sondern auch, dass eine ausreichend hohe Oberflächentemperatur θ_{si} bzw. ein ausreichend

hoher Temperaturfaktor f_{Rsi} vorhanden ist. Weicht die Ausbildung der Details von den Referenzkonstruktionen ab, können im Rahmen eines sogenannten Gleichwertigkeitsnachweises Wärmebrückenkataloge benutzt werden, wie sie auch die Porenbetonindustrie herausgibt [18].

Im Falle von Bauteilflächen wird der Nachweis wie bei der Begrenzung der Transmissionswärmeverluste über die dort genannten Wärmedurchlasswiderstände geführt.

6.4 Schlagregenschutz von Außenwänden

Schlagregenbeanspruchung

In DIN 4108-3 wird die Schlagregenbeanspruchung von Außenwänden in Abhängigkeit von der Jahresniederschlagsmenge und dem Einfluss einer ggf. exponierten oder windgeschützten Lage des Gebäudes unterschieden:

■ Beanspruchungsgruppe I (Geringe Schlagregenbeanspruchung)

- Gebiete mit Jahresniederschlagsmengen unter 600 mm
- Besonders windgeschützte Lagen auch in Gebieten mit größeren Niederschlagsmengen

■ Beanspruchungsgruppe II (Mittlere Schlagregenbeanspruchung)

- Gebiete mit Jahresniederschlagsmengen von 600 mm bis 800 mm
- Windgeschützte Lagen auch in Gebieten mit größeren Niederschlagsmengen

- Hochhäuser oder Häuser in exponierter Lage in Gebieten, die aufgrund der regionalen Regen- und Windverhältnisse einer geringen Schlagregenbeanspruchung zuzuordnen wären

■ Beanspruchungsgruppe III (Starke Schlagregenbeanspruchung)

- Gebiete mit Jahresniederschlagsmengen über 800 mm
- Windreiche Gebiete auch mit geringeren Niederschlagsmengen (z. B. Küstengebiete, Mittel- und Hochgebirgslagen, Alpenvorland)

- Hochhäuser oder Häuser in exponierter Lage in Gebieten, die aufgrund der regionalen Regen- und Windverhältnisse einer mittleren Schlagregenbeanspruchung zuzuordnen wären

Durch Benutzung einer Übersichtskarte aus DIN 4108-3 kann der Standort eines Gebäudes innerhalb der Bundesrepublik Deutschland einer Beanspruchungsgruppe zugeordnet werden (Abb. 6.5). Unter weiterer Berücksichtigung der Exposition sowie der Regen- und Windverhältnisse liefert die Norm Ausführungsbeispiele für Wandbauarten, mit denen die jeweiligen



Abb. 6.5: Schlagregenbeanspruchung in der Bundesrepublik Deutschland gemäß DIN 4108-3 [71.2]

Tab. 6.1: Beispiele für Wandbauarten in Abhängigkeit von der Schlagregenbeanspruchung gemäß DIN 4108-3 [71.2]

Beanspruchungsgruppe I geringe Schlagregenbeanspruchung	Beanspruchungsgruppe II mittlere Schlagregenbeanspruchung	Beanspruchungsgruppe III starke Schlagregenbeanspruchung
Außenputz ohne besondere Anforderungen an den Schlagregenschutz nach DIN 18550-1 auf - Außenwänden aus Mauerwerk, Wandbauplatten, Beton u. ä. - Holzwole-Leichtbauplatten und Mehrschicht-Leichtbauplatten nach DIN 1101, ausgeführt nach DIN 1102	Wasserhemmender Außenputz nach DIN 18550-1 auf	Wasserabweisender Außenputz nach DIN 18550-1 bis DIN 18550-4 oder Kunstharzputz nach DIN 18558 auf
Einschaliges Sichtmauerwerk nach DIN 1053-1 mit einer Dicke von 31 cm (mit Innenputz)	Einschaliges Sichtmauerwerk nach DIN 1053-1 mit einer Dicke von 37,5 cm (mit Innenputz)	Zwischaliges Verblendmauerwerk nach DIN 1053-1 mit Lufschicht und Wärmedämmung oder mit Kerndämmung (mit Innenputz)
Außenwände mit im Dickbett oder Dünnbett angemörtelten Fliesen oder Platten nach DIN 18515-1		Außenwände mit im Dickbett oder Dünnbett angemörtelten Fliesen oder Platten nach DIN 18515-1 mit wasserabweisendem Ansetzmörtel
Außenwände mit gefügedichter Betonaußenschicht nach DIN EN 206-1 bzw. DIN 1045-2 sowie DIN 4219-1 und DIN 4219-2		
Wände mit hinterlüfteten Außenwandbekleidungen nach DIN 18516-1, DIN 18516-3 und DIN 18516-4 ¹⁾		
Wände mit Außendämmung durch ein Wärmedämmputzsystem nach DIN 18550-3 oder durch ein zugelassenes Wärmedämmverbundsystem		
Außenwände in Holzbauart mit Wetterschutz nach DIN 68800-2:1996-05, 8.2		

¹⁾ Offene Fugen zwischen den Bekleidungsplatten beeinträchtigen den Regenschutz nicht.

Beanspruchungen bei Schlagregen erfüllt werden können (Tab. 6.1). Der Schlagregenschutz von Außenwänden aus Porenbeton wird durch folgende Konstruktionen sichergestellt:

- Wasserhemmende oder wasserabweisende Außenputze
- Zweischaliges Verblendmauerwerk
- Hinterlüftete Außenwandbekleidungen
- Angemauerte oder angemörtelte Bekleidungen

Wasserhemmende oder wasserabweisende Außenputze

Außenputze für Porenbeton-Bausysteme sind immer wasserabweisend eingestellt. Dadurch ist sichergestellt, dass sich Fehler bei der Zuordnung des Gebäudes zur Beanspruchungsgruppe nicht nachteilig auswirken. Das wasserabweisende Verhalten verhindert, dass die hohe Wärmedämmfähigkeit des Porenbetons ggf. durch zu hohen Wassergehalt der Wand verringert wird. Wasserabweisende Außenputze sind so eingestellt, dass zwischen der Wasseraufnahme einer Wand bei Beregnung und der Wasserabgabe bei Trocknung ein ausgewogenes Verhältnis besteht [15] (Abb. 6.6):

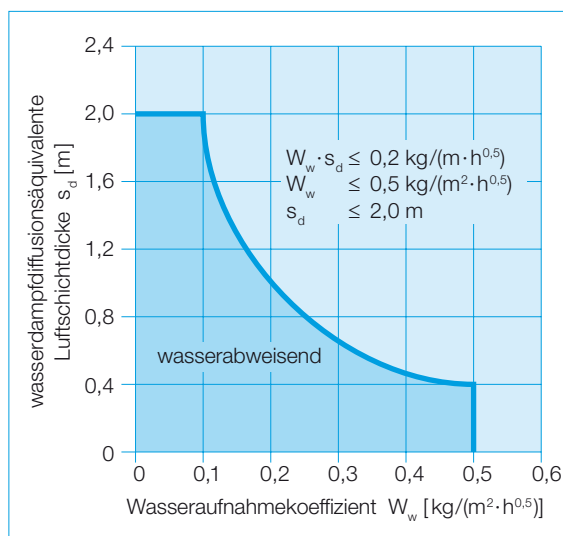
■ Wasseraufnahmekoeffizient $W_w \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$

Durch Vorgabe eines maximalen Wasseraufnahmekoeffizienten W_w wird eine kurzfristige Feuchterhöhung bei Beregnung begrenzt. Dies ist sinnvoll, auch wenn bei höheren Wasseraufnahmekoeffizienten eine langfristige Austrocknung sichergestellt wäre.

■ Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke $s_d \leq 2 \text{ m}$

Bei kleinen Wasseraufnahmekoeffizienten W_w des Außenputzes ist grundsätzlich ein hoher Diffusionswiderstand zulässig. Im Putz können jedoch Fehlstellen enthalten sein, die zu einer nicht berechenbaren Wasseraufnahme führen. Daher bietet sich eine Begrenzung der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicke s_d an, um einer Austrocknung nach erhöhter Wasseraufnahme nur einen relativ geringen Widerstand entgegenzusetzen.

Abb. 6.6: Wasserabweisendes Verhalten von Außenputzen



■ Produkt $W_w \cdot s_d \leq 0,2 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0,5})$

Die Begrenzung des Produktes aus Wasseraufnahmekoeffizient W_w und diffusionsäquivalenter Luftschichtdicke s_d soll sicherstellen, dass die kapillar aufgenommene Feuchte durch Diffusion wieder abgegeben werden kann. Je größer die Wasseraufnahme ist, desto kleiner muss der Wasserdampfdiffusionswiderstand sein.

Zweischaliges Verblendmauerwerk

Bei besonders starker Beanspruchung durch Wind und Regen hat sich die Verblendung einer Außenwand durch Vormauerschalen bewährt, auch wenn mit modernen Putzsystemen eine schlagregendichte Außenhaut hergestellt werden kann. Daher ist beispielsweise im norddeutschen Küstenbereich zweischaliges Mauerwerk eine übliche Ausführungsform für Außenwände.

Besteht die innere Mauerwerksschale z. B. wegen der wärmedämmenden Eigenschaften oder der vergleichsweise hohen Festigkeit aus Porenbeton, stehen für die äußere Verblendung Vormauersteine oder Verblendsteine aus Ziegel, Klinker oder Kalksandsteinen zur Verfügung. Zweischaliges Mauerwerk wird in unterschiedlichen Formen ausgeführt, wobei die innere Schale die Funktion des Wärmeschutzes und der Lastabtragung übernimmt, während die äußere Schale dem Schlagregenschutz dient. Ggf. wird zur Erhöhung der wärme-

technischen Qualität der Außenwand zwischen den Schalen eine Wärmedämmschicht eingefügt, so dass für zweischaliges Mauerwerk drei Ausführungsvarianten üblich sind (Abb. 6.7):

- Zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht
- Zweischaliges Mauerwerk mit Wärmedämmschicht und Luftschicht
- Zweischaliges Mauerwerk mit Wärmedämmschicht als Kerndämmung

Auf Grund der heutigen Anforderungen zum energiesparenden Wärmeschutz ist das zweischalige Mauerwerk nur mit Luftschicht kaum noch in der Anwendung. Im Regelfall wird zwischen die innere tragende Mauerwerksschale und die Vormauerschale eine hydrophobierte Kerndämmschicht eingebaut.

Für die Ausführung von Mauerwerk hinsichtlich Bewegungsfugen, Verankerung der Schalen, Abfangungen, Luftschicht, Belüftung, Mörtelarten usw. gelten die Bestimmungen der DIN 1053-1 [63.1]. Neben dieser Norm sind Hinweise der Hersteller von Vormauersteinen zu beachten, da sich die innere und die äußere Schale, die jeweils charakteristische Eigenschaften aufweisen, unterschiedlich verhalten. Dies gilt insbesondere für die hygrischen und thermischen Längenänderungen, weshalb folgende Grundsätze zu berücksichtigen sind:

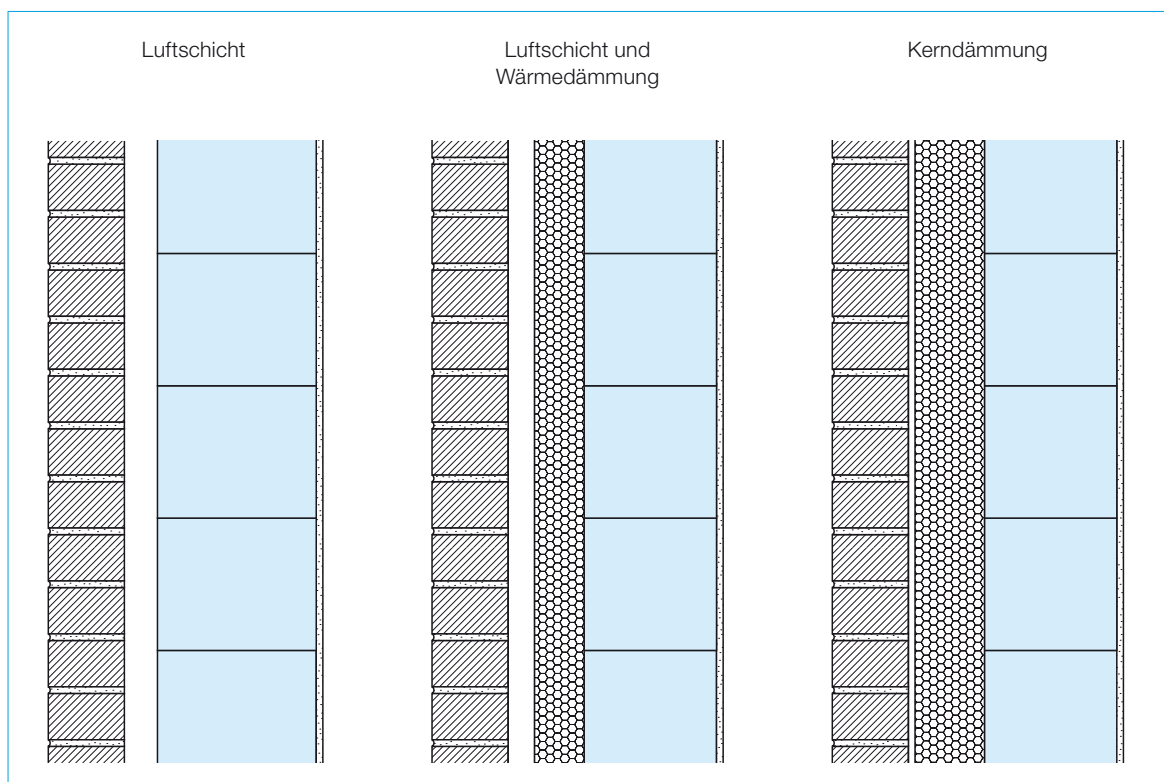


Abb. 6.7: Ausführungsvarianten von zweischaligem Mauerwerk

- Anordnung von Bewegungsfugen an den Gebäudeecken und in Wandflächen, deren Länge 8 m übersteigt, sowie in stark gegliederten Wandflächen
- Freie Beweglichkeit der Vorsatzschale in vertikaler Richtung
- Sorgfältige Ausführung der Luftschicht in Bezug auf ihre Dicke und die Vermeidung von Mörtelbrücken zwischen den Schalen, auch im Bereich von Tür- und Fensteranschlüssen
- Sorgfältige punktuelle Verankerung der Schalen miteinander

Hinterlüftete Außenwandbekleidungen

Außenwandbekleidungen in Form hinterlüfteter Elemente sind eine bauphysikalisch sehr gute und zudem fehlerunempfindliche Ausführungsform. Sie können mittels gebräuchlicher Unterkonstruktionen an einer tragenden Schale aus Porenbeton befestigt werden. Eingesetzt werden z.B. Tafeln aus Faserzement, Glas, Keramik oder auch kleinformartige Elemente aus Holz, Holzwerkstoffen oder Schiefer.

Kleinformartige Elemente werden auf einem in der Dimensionierung dem Bekleidungsmaterial angepassten Gitter aus Lattung und Konterlattung angebracht. Die Befestigung der Latten am Porenbetonuntergrund erfolgt mit handelsüblichen Befestigungsmitteln. Die vielfältigen Techniken zur Verankerung der Unterkonstruktion vorgehängter hinterlüfteter Fassaden (VHF) an Untergründen aus Porenbeton werden ausführlich in Abschnitt 10.5 „Befestigungen“ dargestellt.

Bei Außenwänden aus Porenbeton mit hinterlüfteten Außenwandbekleidungen ist im Regelfall eine Wärmedämmschicht im Bauteilquerschnitt nicht erforderlich.

Angemauerte oder angemörtelte Bekleidungen

Eine Möglichkeit des Schlagregenschutzes besteht darin, Bekleidungen aus keramischen Platten anzumörteln. Wegen des unterschiedlichen thermischen Verhaltens von Porenbeton und Keramik sollten keramische Beläge auf Außenwänden aus Porenbeton jedoch vermieden werden. Es besteht die Gefahr, dass der Belag durch Abscheren vom Untergrund getrennt wird. Im Einzelfall ist es erforderlich, die Richtlinien der Keramikindustrie zu beachten.

6.5 Abdichtung von Kelleraußenwänden

Wasserbeanspruchung erdberührter Bauteile

Für die Abdichtung von Bauwerken zum Schutz vor Wasser im Baugrund stehen unterschiedliche Abdichtungssysteme zur Verfügung, die in der Normenreihe DIN 18195 [93] geregelt sind. Vor Festlegung der geeigneten Abdichtungsmethode ist festzustellen, wie das Gebäude genutzt wird und welcher Wasserbeanspruchung das Bauwerk standhalten muss. Dazu ist es u. a. erforderlich, Kenntnisse über die Geländeform und den Baugrund zu haben sowie Informationen über den höchsten Grundwasserstand einzuholen. Ebenso sind thermische und mechanische Beanspruchungen in die Planung mit einzubeziehen. Die Wasserbeanspruchung erdberührter Bauteile sowie die entsprechenden Abdichtungsmaßnahmen gemäß DIN 18195 sind in Abb. 6.8 zusammengestellt. Bei erdberührten Bauteilen wie Kellerwänden und Bodenplatten sind für die Bestimmung der Lastfälle insbesondere die Teile 4 [93.1] und 6 [93.2] der Norm von Bedeutung. Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass zum Zwecke der Austrocknung zum Raum hin die raumseitigen Oberflächen von abgedichteten Kelleraußenwänden diffusionsoffen sein müssen.

Abb. 6.8: Wasserbeanspruchung und Abdichtung erdberührter Bauteile gemäß DIN 18195 [93]

Wände und Bodenplatten oberhalb des Bemessungswasserstandes			Wände, Decken- und Bodenplatten unterhalb des Bemessungswasserstandes
Bodenfeuchtigkeit (Kapillarwasser, Haftwasser, Saugwasser, Sickerwasser)			Grundwasser, Stauwasser
stark durchlässiger Boden	wenig durchlässiger Boden		jede Bodenart
	mit Dränung	ohne Dränung	
Bodenfeuchtigkeit und nicht stauendes Sickerwasser		aufstauendes Sickerwasser	drückendes Wasser von außen
DIN 18195-4		DIN 18195-6	
Abdichtung gegen Bodenfeuchte und nicht stauendes Sickerwasser		Abdichtung gegen von außen drückendes Wasser und aufstauendes Sickerwasser	

Untergrundvorbereitung

Der Untergrund, auf den eine Abdichtungsschicht aufgebracht werden soll, muss frostfrei, fest, eben, frei von klaffenden Rissen, Graten und schädlichen Verunreinigungen sein. Vertiefungen, die größer als 5 mm sind, sind mit geeigneten Mörteln zu schließen. Sofern keine Abdichtungen mit rissüberbrückenden Werkstoffen verwendet werden, sind offene Mauerwerksstoßfugen oder Unebenheiten entweder durch Verputzen, Vermörteln, Dichtungsschlämme oder Kratzspachtelung zu verschließen und zu glätten. Innenecken und Boden-Wand-Anschlüsse sind als Hohlkehlen auszubilden. Kanten müssen gefast und Kehlen sollten gerundet sein.

Abdichtung gegen Bodenfeuchte bei stark durchlässigen Böden und bei wenig durchlässigen Böden mit Dränung (nicht stauendes Sickerwasser)

Die Abdichtung erdberührter Bauteile bei den Lastfällen „Bodenfeuchte bei stark durchlässigen Böden“ und „Bodenfeuchte bei wenig durchlässigen Böden mit Dränung (nicht stauendes Sickerwasser)“ werden in DIN 18195-4 geregelt (Abb. 6.9). Bodenfeuchte ist im Erdreich vorhandenes, kapillar gebundenes und durch Kapillarkräfte auch entgegen der Schwerkraft fortleitbares Wasser. Bodenfeuchte ist als Mindestbeanspruchung immer vorhanden. Eine dem Lastfall „Bodenfeuchte“ vergleichbare Belastung wird durch das von Niederschlägen herrührende nicht stauende Sickerwasser erzeugt. Mit diesem Lastfall wird gerechnet, wenn das Baugelände bis zu einer ausreichenden Tiefe unter der Fundamentsohle und auch das Verfüllmaterial

der Arbeitsräume aus stark durchlässigen Böden wie Sand oder Kies bestehen. Außerdem muss die Möglichkeit gegeben sein, dass das Wasser ständig von der Geländeoberfläche bis zum freien Grundwasserstand unterhalb der Fundamentsohle versickern kann und sich auch nicht vorübergehend, beispielsweise bei starken Niederschlägen, aufstaut. Dies erfordert einen Wasserdurchlässigkeitsbeiwert des Bodens $k > 10^{-4}$ m/s gemäß DIN 18130-1 [89]. Von einer ähnlich hohen Wasserbeanspruchung ist auszugehen, wenn bei wenig durchlässigen Böden eine Dränung gemäß DIN 4095 [68] vorhanden ist.

■ Horizontale Abdichtung in oder unter Wänden

Außen- und Innenwände sind durch mindestens eine horizontale Querschnittsabdichtung gegen aufsteigende Feuchte zu schützen (Abb. 9.3 und 9.4). Für die Abdichtungsschicht zwischen Bodenplatte und Wand können bitumenverträgliche Abdichtungsbahnen verwendet werden. Ebenso bewährt haben sich flexible Dichtungsschlämme. Die Ausführung erfolgt gemäß der Richtlinie für die Planung und Ausführung von Abdichtungen erdberührter Bauteile mit flexiblen Dichtungsschlämmen [42]. Sie werden mit einem seitlichen Überstand von jeweils 100 mm und in einer Dicke von 2 mm auf die Betonsohle aufgebracht, wobei der Betonuntergrund vorher mit einer Dispersion oder einer wässrigen Lösung grundiert wird. Diese nicht genormte Ausführungsart ist mit dem Auftraggeber ausdrücklich zu vereinbaren.

Neben der Anwendung als horizontale Querschnittsabdichtung werden flexible Dichtungsschlämme

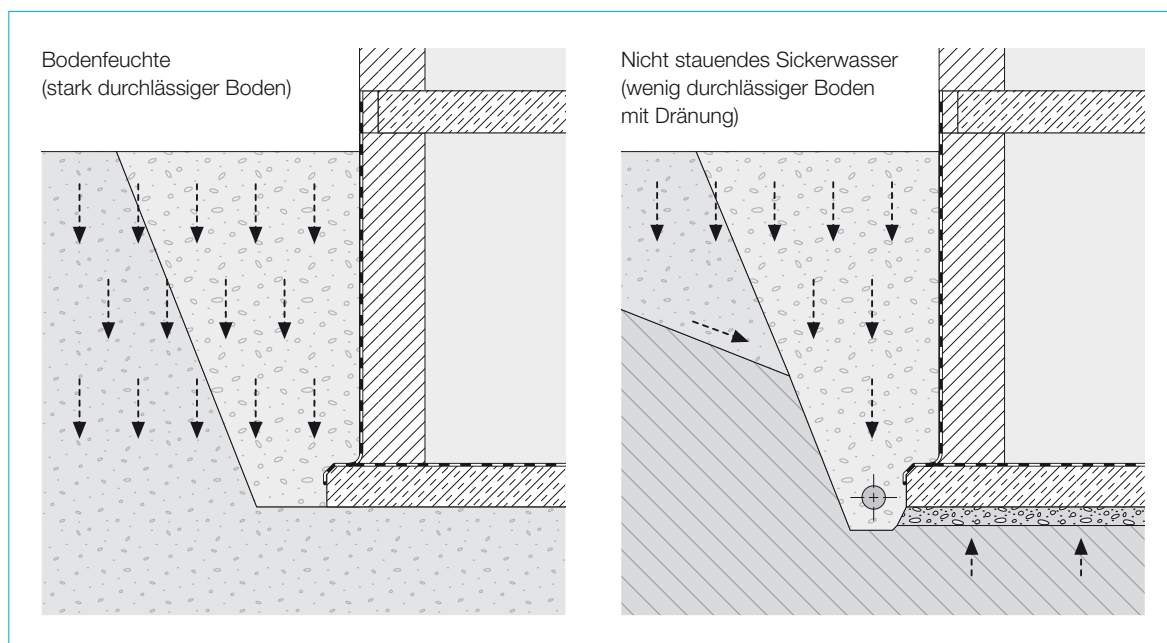


Abb. 6.9: Lastfälle „Bodenfeuchte“ und „nicht stauendes Sickerwasser“

auch als sogenannte Zwischenabdichtung im Bereich des Wandfußes verwendet, die folgenden Zweck erfüllt: Falls während der Bauphase Wasser in das Bauwerk eindringt, kann es zu einer Durchfeuchtung des Mauerwerks unmittelbar über der Sohlplatte kommen. Infolgedessen ist die Haftfestigkeit einer Vertikalabdichtung aus kunststoffmodifizierter Bitumendickbeschichtung (KMB) auf dem Untergrund stark eingeschränkt. Bewährt hat sich daher eine Zwischenabdichtung aus flexibler Dichtungsschlämme, die eventuelle Haftfestigkeitsprobleme verhindert. Die Zwischenabdichtung wird vor dem Auftrag einer vertikalen Wandabdichtung nach unten mindestens 100 mm über die Sohlkante und an der Wandaußenseite vertikal mindestens 250 mm in die Höhe geführt.

Horizontale Querschnittsabdichtungen, die mit Abdichtungsbahnen hergestellt werden, bestehen aus mindestens einer Lage. Die Auflagerflächen werden mit dem jeweils verwendeten Mauermörtel so abgeglichen, dass horizontale Oberflächen ohne die Bahnen schädigende Unebenheiten entstehen. Die Bahnen werden nicht aufgeklebt und bilden eine durchgehende Abdichtungslage. Das Überdeckungsmaß an Stoßstellen beträgt mindestens 200 mm, wobei ein Verkleben der Überdeckungen zulässig ist.

■ Vertikale Abdichtung der Außenwandflächen

Alle vom Erdboden berührten Außenflächen der Wände sind gegen seitliche Wasserbeanspruchung abzudichten. Als Abdichtungswerkstoff haben sich für die vertikale Abdichtung der Außenwandflächen kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtungen bewährt. Bei Verwendung von KMB ist je nach Herstellerangaben auf den Untergrund ein Voranstrich aufzubringen. Durch den Voranstrich wird eine Haftung der Abdichtung auf dem Untergrund sichergestellt, indem der Oberflächenstaub gebunden wird. Verarbeitet wird die KMB im Spachtel- oder Spritzverfahren. Der Auftrag erfolgt in mindestens zwei Arbeitsgängen, ggf. mit Gewebeeinlage. Bei Bodenfeuchte und nichtstauendem Sickerwasser können die Aufträge frisch in frisch erfolgen. Besonders wichtig ist bei KMB der fehlstellenfreie und gleichmäßig dicke Auftrag. Die vorgeschriebene Mindesttrockschichtdicke von 3 mm darf an keiner Stelle unterschritten werden. Eine Schutzschicht wird erst nach ausreichender Trocknung der KMB eingebaut. Bei Arbeitsunterbrechungen, die nicht an Ecken, Kanten oder Graten erfolgen darf, wird die KMB auf Null ausgestrichen. Bei Wiederaufnahme der Arbeiten ist überlappend weiterzuarbeiten.

Bei Verwendung von zweikomponentigen kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtungen als Abdichtungsschicht kann die Ausrundung der Hohlkehlen im Zuge der Untergrundvorbereitung je nach Herstellerangabe in bestimmten Grenzen ebenfalls aus KMB erfolgen. Statt der Ausbildung von Hohlkehlen kann eine KMB zur Aufnahme der Beanspruchungen am Boden-Wand-Anschluss sowie im Bereich von Kanten auch mit einer Gewebeeinlage verstärkt werden. Diese Ausführungsart ist jedoch nicht genormt und sollte mit dem Auftraggeber vereinbart werden.

Am unteren Ende der Kelleraußenwand reicht die Abdichtung mit KMB über die Zwischenabdichtung hinweg bis an den Fundamentabsatz und wird somit an den Überstand der horizontalen Querschnittsabdichtung herangeführt (Abb. 9.3). Anschließend wird die KMB bis etwa 100 mm auf die seitliche Stirnfläche der vorstehenden Bodenplatte geführt. Beim Auftrag der KMB ist eine Regeneinwirkung bis zum Erreichen der Regenfestigkeit zu vermeiden. Wasserbelastung und Frosteinwirkung sind bis zur vollständigen Trocknung der KMB auszuschließen. Gegebenenfalls wird beim Lastfall „nichtstauendes Sickerwasser“ eine Dränung gemäß DIN 4095 [68] eingebaut.

Im Bereich des Sockels einer einschaligen Außenwand wird die Abdichtungsschicht am oberen Ende bis zu einer Höhe von 300 mm über Gelände geführt, um ausreichende Anpassungsmöglichkeiten der Geländeoberfläche sicherzustellen (Abb. 9.6). Im Endzustand darf dieses Maß 150 mm nicht unterschreiten. Oberhalb des Geländes wird als Sockelabdichtung häufig eine flexible Dichtungsschlämme verwendet. Sie hat wasserabweisende Abdichtungseigenschaften sowie eine gute Haftung zum Untergrund und Sockelputz. Diese Ausführungsart entspricht einer in DIN 18195-4 genormten Regelung, die besagt, dass die Wandabdichtung in Höhe der Geländeoberfläche enden darf, wenn darüber ausreichend wasserabweisende Bauteile verwendet werden. Dadurch ergibt sich unterhalb der Geländeoberfläche eine mindestens 100 mm breite Überlapung von Dichtungsschlämme und kunststoffmodifizierter Bitumendickbeschichtung. Die Ausführung im Bereich des Sockels einer zweischaligen Außenwand zeigt Abb. 9.14.

Eine andere Abdichtungsmöglichkeit besteht in der Verwendung von Bitumenabdichtungsbahnen. Bei

vertikalen Abdichtungen von Außenwänden mit Abdichtungsbahnen werden die Wandflächen mit einem kaltflüssigen Voranstrich versehen. Mit einer Klebermasse werden die Bahnen mindestens einlagig aufgeklebt. Bitumen-Schweißbahnen werden im entsprechenden Schweißverfahren aufgebracht.

Abdichtung gegen aufstauendes Sickerwasser und von außen drückendes Wasser

Bei den Lastfällen „aufstauendes Sickerwasser“ und „von außen drückendes Wasser“ nach DIN 18195-6 wirkt das Wasser mit hydrostatischem Druck auf das Bauwerk ein (Abb. 6.10). Je nach Wasserbeanspruchung werden Bauteile, die in das Grundwasser eintauchen, und Bauteile, die sich oberhalb des Bemessungswasserstandes befinden, differenziert betrachtet.

Gegen aufstauendes Sickerwasser ist abzudichten, wenn sich Kelleraußenwände oder Bodenplatten mit Gründungstiefen bis zu 3 m unter Geländeoberkante in wenig durchlässigen Böden befinden und eine Dränung nicht vorhanden ist. Voraussetzung ist auch, dass Bodenart und Geländeform so beschaffen sind, dass nur Stauwasser zu erwarten ist und der nach Möglichkeit langjährig ermittelte Bemessungswasserstand mindestens 300 mm unterhalb der Kellersohle liegt. Während bei den Lastfällen „Bodenfeuchte“ und „nicht-stauendes Sickerwasser“ die Aufträge einer KMB frisch in frisch erfolgen, wird beim Lastfall „aufstauendes Sickerwasser“ die zweite Schicht erst nach Trocknung der ersten Schicht aufgebracht. Die vorgeschriebene Mindestdrockenschichtdicke der KMB beträgt 4 mm.

Von außen drückendes Wasser ist dann vorhanden, wenn Gebäude bzw. Bauteile dem Grund- oder Schichtenwasser ausgesetzt sind. Einfluss auf die Wasserbeanspruchung haben Gründungstiefe, Eintauchtiefe und Bodenart. Bei diesem Lastfall ist es grundsätzlich möglich, Kelleraußenwände aus Porenbeton zu erstellen. Es empfiehlt sich jedoch, erdreichberührte Bauteile im Falle von drückendem Wasser aus Beton mit hohem Wassereindringwiderstand (WU-Beton) zu errichten, d.h. das Kellergeschoss als „Weiße Wanne“ auszubilden.

Einbau von Schutzschichten

Schutzschichten bewahren eine Abdichtungsschicht vor schädlichen Einflüssen statischer, dynamischer oder thermischer Art. Sie können gleichzeitig die Funktion einer Wärmedämm- oder Dränschicht übernehmen. Durch geeignete Maßnahmen, z. B. Gleitschichten, ist sicherzustellen, dass Bewegungen aus dem Erdreich nicht auf die Abdichtungsschicht übertragen werden. Die Baugrube wird lagenweise verfüllt. Beim Verdichten ist darauf zu achten, dass die Schutzschicht nicht beschädigt wird. Bauschutt, Splitt oder Geröll dürfen nicht unmittelbar an die abgedichteten Wandflächen angeschüttet werden. Folgende Schutzschichten haben sich bewährt:

- Expandierte und extrudierte Polystyrol-Hartschaumplatten
- Noppenbahnen mit Gleitschicht
- Schaumglasplatten
- Schutzestriche auf Trennfolie

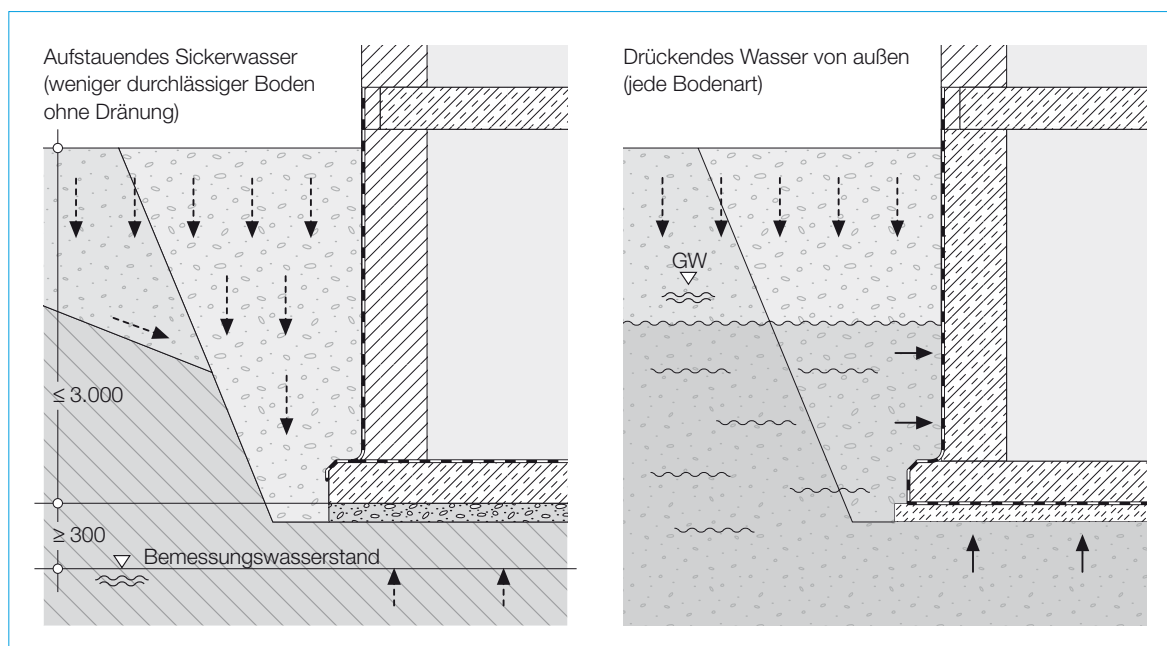


Abb. 6.10: Lastfälle „von außen drückendes Wasser“ und „aufstauendes Sickerwasser“

SCHALL

7

7.1 Anforderungen und Nachweise

Für die Gesundheit und das Wohlbefinden von Menschen, die sich in Gebäuden aufhalten, hat der Schallschutz große Bedeutung. Hervorzuheben ist der Schallschutz im Wohnungsbau, denn Wohnungen dienen zur Entspannung und zum Ausruhen. Außerdem schirmen sie die Privatsphäre des eigenen Wohnbereiches gegenüber den Nachbarn ab. Aber auch in anderen Gebäuden, die dem zeitweisen Aufenthalt von Menschen dienen, z.B. Schulen oder Krankenhäuser, ist der Schallschutz wichtig.

Der Nachweis des Schallschutzes wird auf Grundlage der Normenreihe DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“ [72] mit ihren Beiblättern geführt, in der entsprechend der Schutzziele die Anforderungen an die Schalldämmung von Bauteilen festgelegt sind. Dadurch soll der Geräuschpegel aus benachbarten Räumen oder von außen unterhalb bestimmter, durch die Nutzung vorgegebener Grenzen gehalten werden. Durch Festlegung dieser Anforderungen kann aber nicht erwartet werden, dass Geräusche, die aus benachbarten Räumen oder von außen stammen, nicht mehr wahrgenommen werden. Eine gegenseitige Rücksichtnahme von Menschen ist unverzichtbar. Jedoch kann im Zuge der schalltechnischen Planung das Maß der gewünschten Schalldämmung, die ein Bauteil aufweisen soll, unterschiedlich hoch festgelegt werden. Die bauaufsichtlichen Mindestanforderungen enthält DIN 4109 [72.1]. Ihre Einhaltung ist obligatorisch. Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz sind in DIN 4109 Beiblatt 2 [72.5] festgelegt. Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren für den schalltechnischen Nachweis sind DIN 4109 Beiblatt 1 [72.4] zu entnehmen.

Vereinbarungen zu einem vom Mindestschallschutz nach DIN 4109 abweichenden Schallschutz sind zwischen den Beteiligten immer schriftlich zu vereinbaren. Welche Bedeutung den Anforderungen nach DIN 4109 hinsichtlich des geschuldeten Schallschutzes zukommt, wird in einem Merkblatt der Deutschen Gesellschaft für

Mauerwerksbau [23] beschrieben. Auch ein Memorandum der Deutschen Gesellschaft für Akustik [22] enthält Hinweise zu schalltechnischen Anforderungen an Bauteile von Gebäuden. Einer anderen Systematik folgend werden schalltechnische Anforderungen gemäß der bauaufsichtlich nicht eingeführten VDI 4100 [133] mit einem erweiterten Anforderungskatalog in Schallschutzstufen eingeordnet. Auch die Anwendung dieses Regelwerkes setzt eine schriftliche Vereinbarung der Beteiligten voraus.

Beim Nachweis des Schallschutzes gemäß DIN 4109 sind im Wesentlichen folgende Werte zu ermitteln, mit denen die schalldämmenden Eigenschaften von Bauteilen wie Wände oder Decken festgelegt werden:

- Luftschalldämmung:
Bewertetes Bau-Schalldämm-Maß R'_w [dB]
- Trittschalldämmung:
Bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ [dB]

R'_w und $L'_{n,w}$ sind die wichtigsten Einflussgrößen für den Schallschutz zwischen zwei Räumen. Dennoch können bei gleichen Schalldämmwerten von Bauteilen die Unterschiede des vorhandenen Schallschutzes erheblich sein, weil R'_w und $L'_{n,w}$ nicht die akustisch relevanten Raumgrößen, die unterschiedliche Geräuschentwicklung in den Räumen und die Geräuschempfindlichkeit berücksichtigen. Daher ist vorgesehen, zukünftig nachhallzeitbezogene Schallpegel und Schallpegeldifferenzen in eine situationsbezogene und schallschutzorientierte Planung mit einzubeziehen. Diese Änderungen fließen in die zukünftige Normenreihe DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“ ein, welche voraussichtlich aus folgenden Teilen bestehen wird:

- Teil 1: Anforderungen [72.2]
- Teil 2: Rechnerischer Nachweis der Erfüllung der Anforderungen
- Teil 3: Eingangsdaten für den rechnerischen Nachweis des Schallschutzes (Bauteilkatalog)
- Teil 4: Handhabung bauakustischer Prüfungen

Die zukünftigen Mindestanforderungen im Entwurf der Neufassung der DIN 4109-1 sind mit dem derzeitigen Anforderungsniveau vergleichbar. Eingeführt wird der Schallschutz zwischen Räumen und nicht mehr wie bisher die Schalldämmung von Bauteilen. Eine wesentliche Neuerung sind somit folgende Nachweisgrößen:

■ **Luftschalldämmung:**

Bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ [dB]

■ **Trittschalldämmung:**

Bewerteter Standard-Norm-Trittschallpegel $L_{nT,w}$ [dB]

Mit $D_{nT,w}$ und $L_{nT,w}$ wird auch die Nachhallzeit im Empfangsraum berücksichtigt. Räume werden bestimmten Raumgruppen zugeordnet und die Anforderungen an den Luft- und Trittschallschutz von der Situation der Raumgruppen zueinander abhängig gemacht.

Der rechnerische Nachweis des zu erwartenden Schallschutzes zwischen Räumen gemäß dem zukünftigen Teil 2 wird voraussichtlich dem in DIN EN 12354 [81] vorgegebenen „vereinfachten Verfahren“ entsprechen. Teil 3 soll schalltechnische Daten von Bauteilen und Konstruktionen für den rechnerischen Nachweis in Form von Einzahlangaben enthalten. Hierzu werden die Daten aus dem bisherigen Beiblatt 1 umfassend überarbeitet. Teil 4 wird unter Beachtung der derzeitigen DIN 4109-11 [72.3] die bauakustischen Prüfungen regeln.

Das Einführungsdatum der neuen Norm, die auch die veränderten Rechenverfahren aufgrund der europäischen Normung mit einschließt, ist noch nicht absehbar. Daher ist DIN 4109 vom November 1989 mit ihren Beiblättern Grundlage folgender Ausführungen. Folgende Situationen werden durch ihre schalltechnischen Anforderungen erfasst:

- Schutz gegen Geräusche aus fremden Räumen, die bei deren bestimmungsgemäßem Gebrauch entstehen, z. B. aus Nachbarwohnungen (s. Abschnitt 7.2)
- Schutz gegen Außenlärm, z. B. Verkehrslärm und Lärm aus Gewerbe- und Industriebetrieben, die nicht mit den Aufenthaltsräumen baulich verbunden sind (s. Abschnitt 7.3)
- Schutz gegen Geräusche von Anlagen der Technischen Gebäudeausrüstung und aus Betrieben im selben oder in baulich damit verbundenen Gebäuden (s. Abschnitt 7.4)

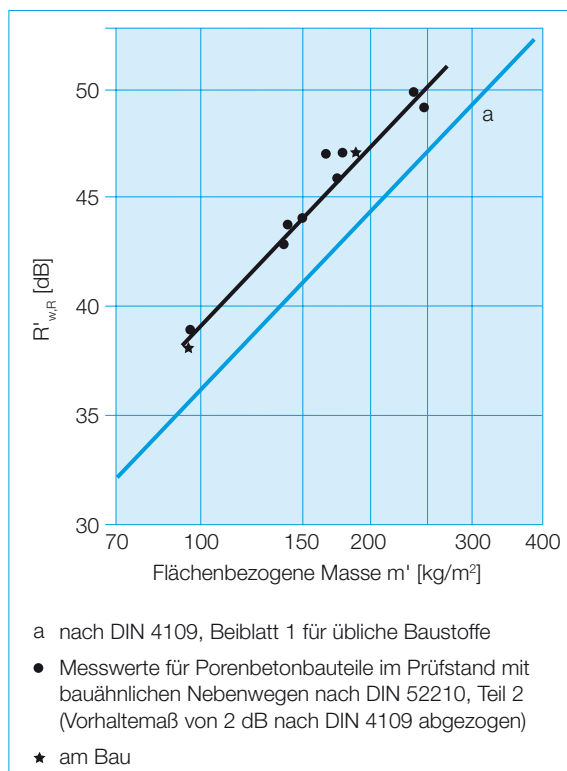
7.2 Geräusche aus fremden Räumen

7.2.1 Luftschalldämmung in horizontaler Richtung

Einschalige Innenwände

Die schalltechnische Qualität eines einschaligen, biegesteifen Bauteils, definiert als bewertetes Bau-Schalldämm-Maß $R'_{w'}$, ist abhängig von der flächenbezogenen Masse eines Bauteils und wird in DIN 4109 Beiblatt 1 tabellarisch erfasst (Tab. 7.1). Diese normative Regelung basiert auf der Frequenz- und Masseabhängigkeit von Bauteilen gemäß dem Berger'schen Massegesetz sowie dem Einfluss der Koinzidenz. In Untersuchungen, die in Prüfständen durchgeführt wurden, hat sich gezeigt, dass abweichend vom vorgenannten Zusammenhang die Schalldämmung von Porenbetonwänden etwa 2 bis 4 dB größer ist als die gleich schwerer Wände aus anderen Baumaterialien (Abb. 7.1). Die Ursache dieses günstigeren schalltechnischen Verhaltens ist darauf zurückzuführen, dass Porenbeton eine höhere innere Dämpfung hat. Dabei wird bei Porenbetonwänden im Vergleich zu anderen Wänden ein größerer Teil der Schallenergie in Wärmeenergie umgewandelt [16]. Dokumentiert ist dieses Verhalten in einer Fußnote zu DIN 4109 Beiblatt 1 Tab. 1, die besagt, dass bei verputzten Wänden aus dampfgehärtetem Porenbeton mit Steinrohddichten $\rho \leq 800 \text{ kg/m}^3$

Abb. 7.1: Bewertetes Schalldämm-Maß $R'_{w'}$ von einschaligen Wänden und Decken aus Porenbeton, gemessen in Prüfständen mit Schallnebenwegen bzw. am Bau



und bei einer flächenbezogenen Masse $m' \leq 250 \text{ kg/m}^2$ das bewertete Bau-Schalldämm-Maß $R'_{w,R}$ um 2 dB höher angesetzt werden darf.

Bei Ermittlung der rechnerisch anzusetzenden flächenbezogenen Masse sind Mörtelart und Rohdichte des verwendeten Materials zu berücksichtigen. Da Produkte aus Porenbeton eine Rohdichte aufweisen, die immer unter 1.000 kg/m^3 liegt und generell mit Dünnbettmörtel verarbeitet werden, beträgt die Abminderung bei Porenbetonbauteilen grundsätzlich 50 kg/m^3 (Tab. 7.2). Dies gilt ebenso für Montagebauteile. Für Mauerwerk aus anderen Produkten und Mörtelarten (Leichtmörtel, Normalmörtel) gelten andere Größen. Ergänzend liefert die Norm Rechenwerte der flächenbezogenen Massen für Wandputze, abhängig von der Art und der Dicke des Putzes (Tab. 7.3).

Rohdichteklasse	Rohdichte	Abminderung
$> 1,0$	$> 1.000 \text{ kg/m}^3$	100 kg/m^3
$\leq 1,0$	$\leq 1.000 \text{ kg/m}^3$	50 kg/m^3

Tab. 7.2: Abminderung $\Delta\rho$ für Wände aus Leichtbeton und Porenbeton sowie bei Wänden aus in Dünnbettmörtel verlegten Plansteinen und -platten gemäß DIN 4109 Beiblatt 1 [72.4]

Putzdicke mm	Flächenbezogene Masse von	
	Kalkgipsputz, Gipsputz kg/m ²	Kalkputz, Kalkzementputz, Zementputz kg/m ²
10	10	18
15	15	25
20	-	30

Tab. 7.3: Flächenbezogene Masse m' von Wandputz gemäß DIN 4109 Beiblatt 1 [72.4]

Der Rechenwert des bewerteten Schalldämm-Maßes $R'_{w,R}$ einer 24 cm dicken Wand aus Porenbeton-Plansteinen der Rohdichte 600 kg/m^3 , beidseitig mit 1 cm Gipsputz versehen, wird wie folgt berechnet:

- Rohdichte: $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$
- Abminderung: $\Delta\rho = 50 \text{ kg/m}^3$
- Rechenwert der Rohdichte:
 $\rho = 600 - 50 = 550 \text{ kg/m}^3$
- Flächenbezogene Masse:
 $m' = 550 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,24 \text{ m}$
 $= 132 \text{ kg/m}^2$
- Flächenbezogene Masse des Putzes:
 $m' = 2 \cdot 10 \text{ kg/m}^2 = 20 \text{ kg/m}^2$

Flächenbezogene Masse m' kg/m ²	Bewertetes Schalldämm-Maß $R'_{w,R}$ dB
85 ³⁾	34
90 ³⁾	35
95 ³⁾	36
105 ³⁾	37
115 ³⁾	38
125 ³⁾	39
135	40
150	41
160	42
175	43
190	44
210	45
230	46
250	47
270	48
295	49
320	50
350	51
380	52
410	53
450	54
490	55
530	56
580	57
630	58
680	59
740	60
810	61
880	62
960	63
1.040	64

¹⁾ Gültig für flankierende Bauteile mit einer mittleren flächenbezogenen Masse $m'_{L,Mittel}$ von etwa 300 kg/m^2 . Weitere Bedingungen für die Gültigkeit der Tabelle 1 siehe DIN 4109 Beiblatt 1 Abschnitt 3.1

²⁾ Messergebnisse haben gezeigt, daß bei verputzten Wänden aus dampfgehärtetem Gasbeton und Leichtbeton mit Blähtonzuschlag mit Steinrohichte $\leq 0,8 \text{ kg/dm}^3$ bei einer flächenbezogenen Masse bis 250 kg/m^2 das bewertete Schalldämm-Maß $R'_{w,R}$ um 2 dB höher angesetzt werden kann. Das gilt auch für zweischaliges Mauerwerk, sofern die flächenbezogene Masse der Einzelschale $m' \leq 250 \text{ kg/m}^2$ beträgt.

³⁾ Sofern Wände aus Gips-Wandbauplatten nach DIN 4103 Teil 2 ausgeführt und am Rand ringsum mit 2 mm bis 4 mm dicken Streifen aus Bitumenfilz eingebaut werden, darf das bewertete Schalldämm-Maß $R'_{w,R}$ um 2 dB höher angesetzt werden.

⁴⁾ Diese Werte gelten nur für die Ermittlung des Schalldämm-Maßes zweischaliger Wände aus biegesteifen Schalen nach DIN 4109 Beiblatt 1 Abschnitt 2.3.2.

Tab. 7.1: Bewertetes Schalldämm-Maß $R'_{w,R}$ ^{1) 2)} von einschaligen, biegesteifen Wänden und Decken (Rechenwerte) gemäß DIN 4109 Beiblatt 1 [72.4]

■ Rechenwert der flächenbezogenen Masse insgesamt:
 $m' = 132 + 20 = 152 \text{ kg/m}^2$

■ Rechenwert des bewerteten Schalldämm-Maßes (ohne „Porenbeton-Bonus“):
 $R'_{w,R} = 41 \text{ dB}$

■ Erhöhung des bewerteten Schalldämm-Maßes („Porenbeton-Bonus“):
 $\Delta R'_{w,R} = 2 \text{ dB}$

■ Rechenwert des bewerteten Schalldämm-Maßes (mit „Porenbeton-Bonus“):
 $R'_{w,R} = 41 + 2 = 43 \text{ dB}$

Diese Berechnung berücksichtigt, dass die mittlere flächenbezogene Masse der flankierenden Bauteile etwa 300 kg/m^2 beträgt. Ist sie niedriger oder höher, muss zur Ermittlung des bewerteten Schalldämm-Maßes R'_w der oben ermittelte Rechenwert um einen Korrekturwert $K_{L,1}$ abgemindert oder erhöht werden, der in Abhängigkeit von der Art des trennenden Bauteils und der mittleren flächenbezogenen Masse $m'_{L,\text{mittel}}$ der flankierenden Bauteile zu ermitteln ist:

$$R'_w = R'_{w,R} + K_{L,1} [\text{dB}] \quad \text{Gl. (7.1)}$$

Tab. 7.4 enthält eine Übersicht mit Schalldämm-Maßen $R'_{w,R}$ (Rechenwerte) von einschaligen Wänden aus Porenbeton-Plansteinen, Porenbeton-Mauertafeln, Porenbeton-Wandtafeln und Porenbeton-Wandplatten, wobei Putzschichten oder sonstige Beläge nicht berücksichtigt werden. Beidseitig angebrachte Putzschichten erhöhen $R'_{w,R}$ je nach verwendeter Putzart und -dicke um 1 bis 2 dB. Eingerechnet wurde der „Porenbeton-Bonus“ von 2 dB. Ausgegangen wird von einer mittleren flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile von $m'_{L,\text{mittel}} = 300 \text{ kg/m}^2$. Lässt man einen davon abweichenden Einfluss flankierender Bauteile außer acht, ist der Übersicht zu entnehmen, dass im Wohnungsbau mit einschaligen Innenwänden üblicher Dicke aus Porenbeton die Anforderungen an den Schallschutz gegen Geräusche aus fremden Räumen bei horizontaler Übertragung mit $R'_w = 53 \text{ dB}$ gemäß DIN 4109 nicht erfüllt werden können. Dann wird entweder ein schwererer Baustoff gewählt oder eine mehrschalige Konstruktion ausgeführt. Das bewertete Schalldämm-Maß einer leichten Trennwand mit Vorsatzschale beträgt nach Untersuchungen im Prüfstand mit bauüblichen Nebewegen $R'_{w,P} = 53 \text{ dB}$, wenn die

Wand mit einem Prüfgewicht von 102 kg/m^2 folgendermaßen aufgebaut ist [116]:

- Innenputz, $d = 10 \text{ mm}$
- Porenbeton-Planbauplatten Ppl 0,60, $d = 100 \text{ mm}$
- Gips-Ansetzbinder als Spachtelmasse, $d = 2 \text{ mm}$
- Mineralfasermatten nach DIN 18165-1 [91.1], $d = 40 \text{ mm}$
- Spachtelmasse, $d = 2 \text{ mm}$
- Gipsbatzen, ca. 6 Stück/ m^2 , $d = 20 \text{ mm}$
- Gipskartonplatten, $d = 12,5 \text{ mm}$

Dämm-Maße aus Prüfstands-Untersuchungen werden unter Berücksichtigung eines Vorhaltemaßes von 2 dB gemäß folgender Gleichung in Rechenwerte umgerechnet:

$$R'_{w,R} = R'_{w,P} - 2 [\text{dB}] \quad \text{Gl. (7.2)}$$

Mit Wänden aus mehreren Porenbetonschalen können darüber hinaus erhöhte Anforderungen an den Schallschutz gemäß DIN 4109 Beiblatt 2 erzielt werden. Ein Beispiel hierfür sind zweischalige Haustrennwände.

Zweischalige Haustrennwände

Zweischalige Haustrennwände sind Wände, die nach den Bauordnungen der Länder zwischen fremden Hauseinheiten wie Reihenhäusern oder Doppelhäusern, sinngemäß aber auch zwischen mehrgeschossigen Wohnhäusern zu errichten sind. An diese Wände werden besondere Schallschutzanforderungen gestellt, welche durch das günstigere Verhalten zweischaliger Wände gegenüber einschaligen Wänden leicht erfüllt werden können. Wich-

Tab. 7.4: Rechenwerte der Schalldämm-Maße $R'_{w,R}$ von einschaligen Wänden aus Porenbeton-Plansteinen, Porenbeton-Plan-elementen, Porenbeton-Mauertafeln, Porenbeton-Wandtafeln und Porenbeton-Wandplatten (ohne Putz oder sonstige Beläge, $m'_{L,\text{mittel}} = 300 \text{ kg/m}^2$, einschließlich „Porenbeton-Bonus“ von 2 dB)

Rohdichte-klasse	Rechenwert der Rohdichte gemäß DIN 4109 Beiblatt 1 [72.4] oder allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung	Rechenwert der Schalldämm-Maße $R'_{w,R}$ bei Bauteildicke d m						
		150	175	200	225	240	300	365
0,40	350	-	-	-	-	36	39	41
0,50	450	-	-	37	38	39	42	44
0,60	550	-	38	39	40	41	44	46
0,70	650	38	39	41	42	43	46	48

tig ist dabei, dass die Trennfuge zwischen den Einzelschalen ausreichend breit ist und ordnungsgemäß ausgeführt wird. Die Trennfuge, beginnend von der Unterkante des Gebäudes bis unter die Dachhaut, darf nicht durch Schallbrücken wie Mörtelreste oder unsauber eingeschalteten Beton im Deckenbereich gestört werden.

Entscheidende Bedeutung kommt auch dem Dämmstoff in der Trennfuge zu: Es dürfen nur mineralische Trittschalldämmplatten Typ WTH nach DIN EN 13162 [83] oder Typ WTH-sh nach DIN V 4108-10 [71.7], früher Typ T nach DIN 18165-2 [91.2], verwendet werden.

Der mindestens geforderte Schallschutz zweischaliger Haustrennwände ist in DIN 4109 mit einem Schalldämm-Maß von $R'_{w} = 57$ dB festgelegt. Da DIN 4109 durch Einföhrungserlasse in das Baurecht der Länder übernommen wurde, sind ihre Anforderungen baurechtlich geschuldet. Obwohl diese Anforderung um 4 dB deutlich über den Anforderungen von Wohnungstrennwänden im Mehrgeschossbau liegt, ist davon auszugehen, dass sie bei den heutigen Erwartungshaltungen und technischen Möglichkeiten als nicht zufriedenstellend einzustufen ist.

Zur Festlegung der zu erbringenden Schalldämmung von zweischaligen Haustrennwänden, abweichend von den nicht zufriedenstellenden Anforderungen der DIN 4109, nennt die Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau im Merkblatt zum Schallschutz aus Sicht der Mauerwerksindustrie je nach Trennfugenausbildung folgende Werte:

■ Vollständige Trennung

- Sie liegt beim unterkellerten Gebäude vor, d. h. die Wandschalen weisen eine schallbrückenfreie Trennung bis zur Unterkante des Kellergeschossfundaments auf.
- Mindestens erreichbarer Schallschutz ab Erdgeschoss aufwärts: $R'_{w} \geq 62$ dB

■ Unvollständige Trennung

- Sie liegt beim nicht unterkellerten Gebäude vor, selbst dann, wenn das Fundament getrennt wird. Die Trennung des Fundaments ist bei nicht unterkellerten Gebäuden schalltechnisch ohne nennenswerten Einfluss.

- Sie liegt beim unterkellerten Gebäude vor, wenn das Kellergeschoss über mehrere Häuser z. B. aus einer durchlaufenden Weißen Wanne besteht.
- Mindestens erreichbarer Schallschutz im Erdgeschoss: $R'_{w} \geq 59$ dB

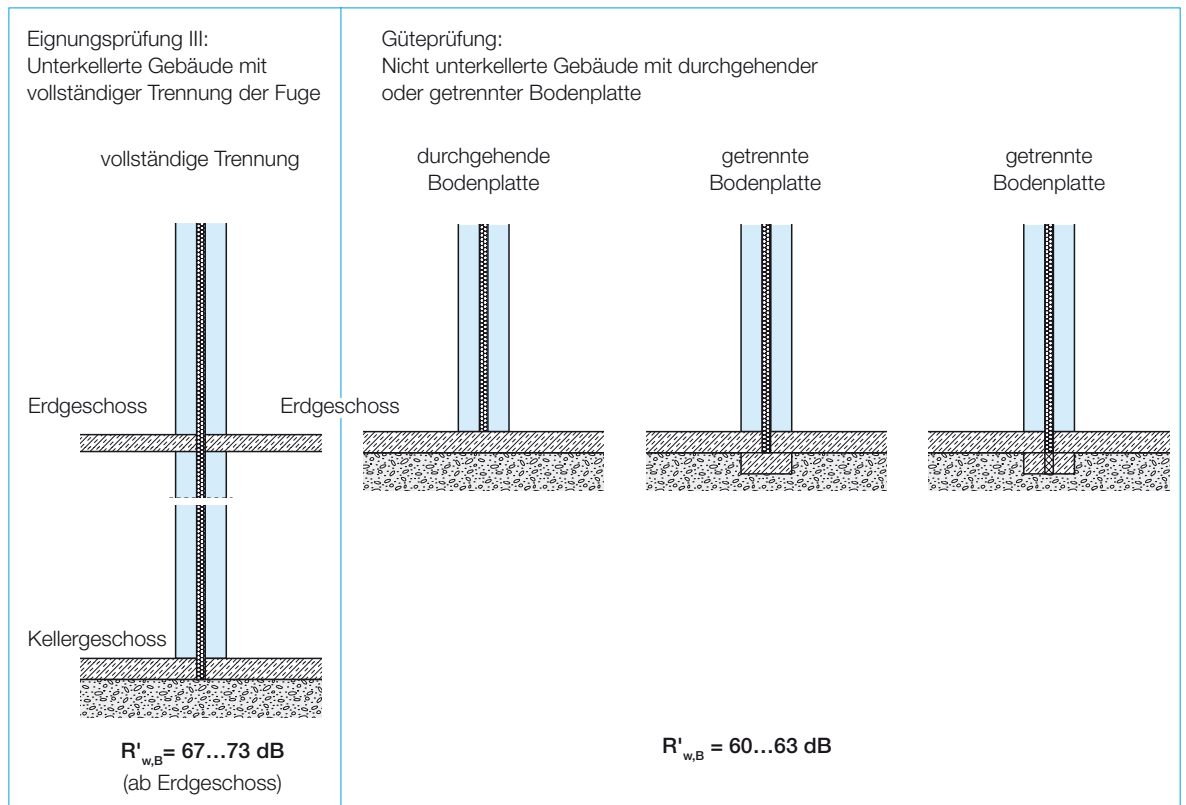
Unabhängig vom baurechtlich geschuldeten Schallschutz können privatrechtlich vertragliche Vereinbarungen getroffen werden, die über den Mindestschallschutz hinausgehen (s. Abschnitt 7.1 „Anforderungen und Nachweise“).

Gemäß DIN 4109 Beiblatt 1 wird das bewertete Schalldämm-Maß R'_{w} für zweischalige Haustrennwände aus dem Rechenwert des bewerteten Schalldämm-Maßes $R'_{w,R}$ in Abhängigkeit von der Summe der abgeminderten flächenbezogenen Massen m'_{1} und m'_{2} der Einzelschalen und des „Porenbeton-Bonus“ von 2 dB berechnet sowie durch Addition eines Zuschlages von 12 dB zur Berücksichtigung der Wirkung der Trennfuge. Zu beachten ist dabei, dass die Trennfuge bei zweischaligen Wänden aus Porenbeton, deren Einzelschalen mindestens 100 kg/m² und höchstens 150 kg/m² schwer sind, mindestens 50 mm dick ist. Dann gilt folgender Zusammenhang:

$$R'_{w} = R'_{w,R,m'1 + m'2} + 12 \text{ [dB]} \quad \text{Gl. (7.3)}$$

Neben dem rechnerischen Nachweis gemäß Gl. (7.1) lässt DIN 4109 auch den Eignungsnachweis der Bauteileignung mit bauakustischen Prüfungen im Prüfstand (Eignungsprüfung I) oder in Bauten (Eignungsprüfung III) zu. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die Güte der Ausführung durch eine Güteprüfung nachzuweisen. Die Ergebnisse aus bauakustischen Prüfungen von Bauteilen aus Porenbeton sind immer besser als der rechnerische Nachweis, weil der Zuschlag von 12 dB zur Berücksichtigung der Zweischaligkeit deutlich zu gering gewählt ist [33]. Dies bestätigen Ergebnisse aus Eignungs- und Güteprüfungen.

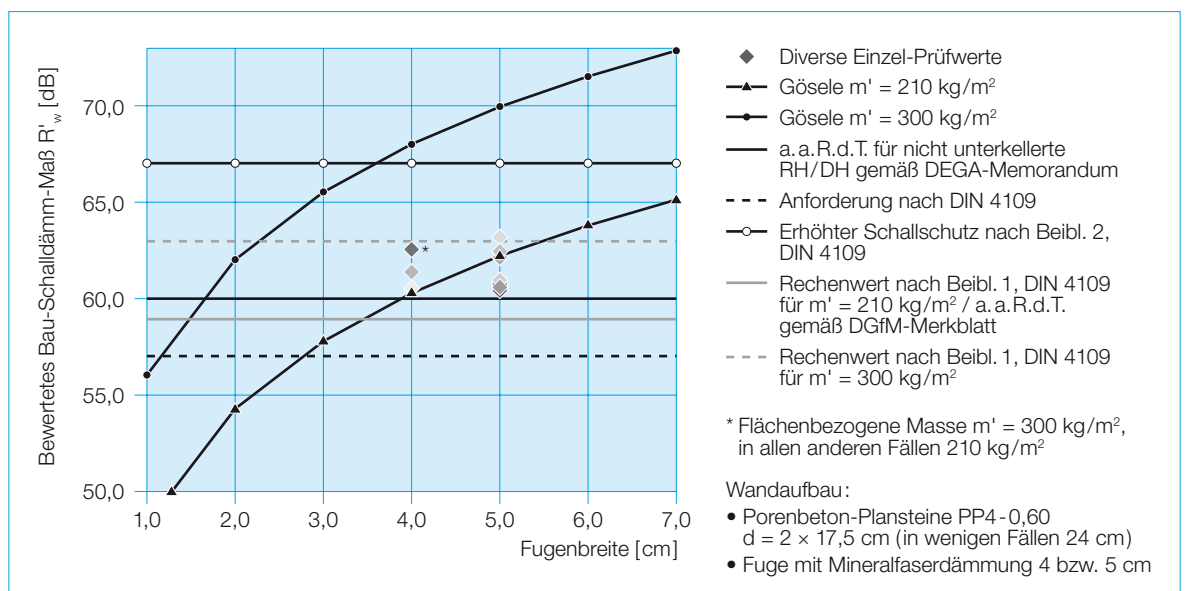
Abb. 7.2: Konstruktionen und Schalldämm-Maße $R'_{w,B}$ zweischaliger Haustrennwände, an denen Eignungs- und Güteprüfungen durchgeführt wurden



Eignungsprüfungen III, die an zweischaligen Haustrennwänden unterkellerten Gebäude aus Porenbeton mit vollständiger Trennung durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass der geforderte Mindestschallschutz gemäß DIN 4109 und auch die Empfehlungen für einen erhöhten Schallschutz gemäß DIN 4109 Beiblatt 2 mit $R'_{w,B} \geq 67 \text{ dB}$ erfüllt werden können. Messungen in drei Objekten mit folgenden Wandkonstruktionen lieferten Schalldämm-Maße $R'_{w,B}$ im Bereich von 67 bis 73 dB [117, 119] (Abb. 7.2 links):

- Innenputz, $d = 10 \text{ mm}$
- Porenbeton-Plansteine PP4-0,60, $d = 175 \text{ mm}$
- Trennfuge, $d = 50 \text{ mm}$, mineralische Faserdämmplatten Typ WTH nach DIN EN 13162, $d = 40 \text{ mm}$
- Porenbeton-Plansteine PP4-0,60, $d = 175 \text{ mm}$
- Innenputz, $d = 10 \text{ mm}$

Abb. 7.3: Schalldämm-Maße $R'_{w,B}$ von zweischaligen Haustrennwänden nicht unterkellerten Gebäude, gemessen in Bauten (Güteprüfung) [26]



Bei Eignungsprüfungen in ausgeführten Bauten und bei Güteprüfungen gilt:

$$R'_{w,B} = R'_{w,R} \text{ [dB]} \quad \text{Gl. (7.4)}$$

Güteprüfungen an zweischaligen Haustrennwänden aus Porenbeton nicht unterkellerten Gebäude (unvollständige Trennung), bei denen die Schalldämmung im untersten Geschoss gegenüberliegender Wohnungen gemessen wurde, lieferten Werte zwischen $R'_{w,B} = 60$ und $R'_{w,B} = 63$ dB [19] (Abb. 7.3). Damit werden Anforderungen an den geschuldeten Schallschutz nach verschiedenen Regelwerken (DIN 4109, DGfM-Merkblatt, DEGA-Memorandum) erfüllt. Folgende Wandkonstruktionen lagen den Prüfungen zugrunde (Abb. 7.2 rechts):

- Porenbeton-Plansteine PP4-0,60, $d = 175$ mm, in wenigen Fällen $d = 240$ mm
- Trennfuge, $d = 40$ oder 50 mm, darin Mineralfaser-Trittschalldämmplatten, $d = 40$ mm
- Porenbeton-Plansteine PP4-0,60, $d = 175$ mm, in wenigen Fällen $d = 240$ mm

7.2.2 Luftschalldämmung in vertikaler Richtung und Trittschalldämmung

Luftschalldämmung

Bei der Luftschalldämmung in vertikaler Richtung sind Wände aus Porenbeton nicht als trennende, sondern als flankierende Bauteile zu betrachten. Ihre schalltechnischen Eigenschaften fließen über die flächenbezogene Masse m' in die Berechnung der mittleren flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile $m'_{L,mittel}$ und die anschließende Ermittlung des Korrekturwertes $K_{L,1}$ ein. Zur Berechnung des bewerteten Schalldämm-Maßes R'_w ist $R'_{w,R}$ des trennenden Bauteils, z. B. einer Stahlbetondecke oder einer Decke aus Porenbeton-Deckenplatten, je nach Situation nicht nur um $K_{L,1}$ zu mindern oder zu erhöhen. Soll die Schalldämmung in vertikaler Richtung durch Hinzufügen von Vorsatzschalen vor die flankierenden Wände verbessert werden, ist Gl. (7.1) um den Korrekturwert $K_{L,2}$ zu ergänzen, der von der Anzahl der biegeweichen Vorsatzschalen abhängig ist:

$$R'_w = R'_{w,R} + K_{L,1} + K_{L,2} \text{ [dB]} \quad \text{Gl. (7.5)}$$

Folgende Beispiele zeigen den Nachweis des erforderlichen Luftschallschutzes:

Beispiel A: Wohnungstrenndecke aus Stahlbeton, flankierende Wände ohne Vorsatzschale

■ Bauteile:

- Trennendes Bauteil Stahlbetondecke
 - Stahlbeton, $d = 200$ mm, $\rho = 2.300$ kg/m³
 - Schwimmender Estrich, $s' = 20$ MN/m³

■ Flankierende Porenbetonaußenwand

- Porenbeton-Plansteine PP2-0,40, $d = 300$ mm
- Leichtputz außen, $d = 15$ mm
- Gipsputz innen, $d = 10$ mm

■ Drei flankierende Porenbetoninnenwände

- Porenbeton-Plansteine PP4-0,60, $d = 175$ mm
- Gipsputz beidseitig, jeweils $d = 10$ mm

■ Berechnung der flächenbezogenen Masse m' und Ermittlung des Rechenwertes des bewerteten Schalldämm-Maßes $R'_{w,R}$ von Massivdecken gemäß DIN 4109 Beiblatt 1 Tab. 12:

$$m' = \rho \cdot d = 2.300 \cdot 0,2 = 460 \text{ kg/m}^2$$

$$R'_{w,R} = 58 \text{ dB}$$

■ Berechnung der mittleren flächenbezogenen Masse $m'_{L,mittel}$ und Ermittlung des Korrekturwertes $K_{L,1}$ der flankierenden Bauteile gemäß DIN 4109 Beiblatt 1 Tab. 13:

$$m'_{L,1} = (400 - 50) \cdot 0,3 + 2 \cdot 10 = 125 \text{ kg/m}^2$$

(Flankierendes Bauteil Außenwand)

$$m'_{L,2,3,4} = (600 - 50) \cdot 0,175 + 2 \cdot 10 = 116 \text{ kg/m}^2$$

(Flankierendes Bauteil Innenwand)

$$m'_{L,mittel} = \frac{(m'_{L,1} + m'_{L,2} + m'_{L,3} + m'_{L,4})}{4} = \frac{(125 + 3 \cdot 116)}{4} = 118 \text{ kg/m}^2$$

$$K_{L,1} = -4 \text{ dB}$$

■ Berechnung des bewerteten Schalldämm-Maßes R'_w unter Berücksichtigung der flankierenden Bauteile:

$$R'_w = R'_{w,R} + K_{L,1} = 58 + (-4) = 54 \text{ dB}$$

Mit einem vorhandenen Schalldämm-Maß von $R'_{w,vorh} = 54$ dB wird die Anforderung an Wohnungstrenndecken in Geschosshäusern mit Wohnungen gemäß DIN 4109 mit $R'_{w,erf} = 54$ dB erfüllt. Wird die Stahlbetondecke statt 200 mm nur 160 mm dick ausgeführt und bleiben die flankierenden Bauteile unverändert, würde mit einem dann vorhandenen Schalldämm-Maß

von $R'_{w, \text{vorh}} = 52$ dB noch den Anforderungen an Wohnungstrenndecken in Gebäuden mit nicht mehr als zwei Wohnungen gemäß DIN 4109 mit $R'_{w, \text{erf}} = 52$ dB entsprechen.

Beispiel B: Wohnungstrenndecke aus Stahlbeton, flankierende Wände mit Vorsatzschalen

■ Bauteile:

- Trennendes Bauteil Stahlbetondecke
 - Stahlbeton, $d = 200$ mm, $\rho = 2.300$ kg/m³
 - Schwimmender Estrich, $s' = 20$ MN/m³
- Flankierende Porenbetonaußenwand
 - Porenbeton-Plansteine PP2-0,40, $d = 300$ mm
 - Leichtputz außen, $d = 15$ mm
 - Gipsputz innen, $d = 10$ mm
- Drei flankierende Porenbetoninnenwände, davon zwei mit biegeweicher Vorsatzschale
 - Porenbeton-Plansteine PP4-0,60, $d = 175$ mm
 - Gipsputz beidseitig, jeweils $d = 10$ mm
- Berechnung der flächenbezogenen Masse m' und Ermittlung des Rechenwertes des bewerteten Schalldämm-Maßes $R'_{w,R}$ von Massivdecken gemäß DIN 4109 Beiblatt 1 Tab. 12:

$$m' = \rho \cdot d = 2.300 \cdot 0,16 = 368 \text{ kg/m}^2$$

$$R'_{w,R} = 56 \text{ dB}$$

- Berechnung der mittleren flächenbezogenen Masse $m'_{L, \text{mittel}}$ und Ermittlung des Korrekturwertes $K_{L,1}$ der flankierenden Bauteile gemäß DIN 4109 Beiblatt 1 Tab. 13:

$$m'_{L,1} = (400 - 50) \cdot 0,3 + 2 \cdot 10 = 125 \text{ kg/m}^2$$

(Flankierendes Bauteil Außenwand)

$$m'_{L,2,3,4} = (600 - 50) \cdot 0,175 + 2 \cdot 10 = 116 \text{ kg/m}^2$$

(Flankierendes Bauteil Innenwand)

$$m'_{L, \text{mittel}} = \frac{(m'_{L,1} + m'_{L,2} + m'_{L,3} + m'_{L,4})}{4}$$

$$= \frac{(125 + 3 \cdot 116)}{4} = 118 \text{ kg/m}^2$$

$$K_{L,1} = -4 \text{ dB}$$

- Ermittlung des Korrekturwertes zur Berücksichtigung biegeweicher Vorsatzschalen vor flankierenden Bauteilen $K_{L,2}$ gemäß DIN 4109 Beiblatt 1 Tab. 15:

$$K_{L,2} = +3 \text{ dB}$$

- Berechnung des bewerteten Schalldämm-Maßes R'_w unter Berücksichtigung der flankierenden Bauteile und der biegeweichen Vorsatzschalen:

$$R'_w = R'_{w,R} + K_{L,1} + K_{L,2} = 56 + (-4) + 3 = 55 \text{ dB}$$

Nach DIN 4109 Beiblatt 1 kann durch Anbringen einer Unterdecke der Schallschutz rechnerisch verbessert werden. Jedoch hat die Praxis gezeigt, dass Unterdecken bei leichten Bauweisen praktisch keine schalltechnische Verbesserungen zur Folge haben. Aus Tab. 7.5 können weitere Schalldämm-Maße von Porenbeton-Decken entnommen werden.

Trittschalldämmung

Kennzeichnende Größe für die Trittschalldämmung ist der bewertete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$. Die Trittschalldämmung von Decken setzt sich aus der Dämmwirkung der Rohdecke, ausgedrückt durch den Rechenwert des äquivalenten, bewerteten Norm-Trittschallpegels

Tab. 7.5: Schalldämm-Maße $R'_{w,P}$ und Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w,P}$ von Porenbeton-Decken, gemessen im Prüfstand mit Nebenebenen

Konstruktion	Prüfgewicht m' kg/m ²	Bewertes Schalldämm-Maß $R'_{w,P}$ dB	Bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w,P}$ dB	Nachweis
Porenbeton-Deckenplatten, Rohdichteklasse 0,70, $d = 200$ mm	145	46	80	Prüfzeugnis [121]
Zementstrich, $d = 40$ mm Abdeckpapier Mineralfaser-Trittschalldämmplatten, $d = 35/30$ mm Porenbeton-Deckenplatten, Rohdichteklasse 0,70, $d = 200$ mm	235	53	47	Prüfzeugnis [122]
Zementstrich, $d = 40$ mm Abdeckpapier Mineralfaser-Trittschalldämmplatten, $d = 35/30$ mm Porenbeton-Deckenplatten, Rohdichteklasse 0,70, $d = 200$ mm Lattung 30×50 mm Stahlblech-Federbügel und Mineralfasermatten, $d = 40$ mm Gipsfaserplatten, $d = 10$ mm	251	56	42	Prüfzeugnis [123]

$L'_{n,w,eq,R'}$ und aus der Eigenschaft des Fußbodenaufbaus, gekennzeichnet durch den Rechenwert des bewerteten Trittschallverbesserungsmaßes $\Delta L_{w,R}$ zusammen. Außerdem geht das sogenannte Vorhaltemaß von 2 dB in die Berechnung mit ein:

$$L'_{n,w} = L'_{n,w,eq,R} + \Delta L_{w,R} - 2 \text{ [dB]} \quad \text{Gl. (7.6)}$$

Angaben zu bewerteten Norm-Trittschallpegeln von Porenbeton-Decken enthält Tab. 7.5. Die dort genannten Ergebnisse beruhen auf Untersuchungen, die in Prüfständen durchgeführt wurden. Trittschallpegel aus Prüfstands-Untersuchungen werden unter Berücksichtigung eines Vorhaltemaßes von 2 dB gemäß folgender Gleichung in Rechenwerte umgerechnet:

$$L'_{n,w,R} = L'_{n,w,P} + 2 \text{ [dB]} \quad \text{Gl. (7.7)}$$

7.3 Außenlärm

Bei einschaligen, homogenen Bauteilen wie Wohnungstrennwänden ist das Schalldämm-Maß von der flächenbezogenen Masse abhängig. Diese Regel hat bei Außenwänden geringere Bedeutung als bei Innenwänden, in denen keine Öffnungen enthalten sind. Für Außenbauteile, die Fenster oder Türen enthalten, ist der Rechenwert des resultierenden Schalldämm-Maßes $R'_{w,R, \text{res}}$ entscheidend für die schalltechnische Beurteilung. Es errechnet sich gemäß Gl. (7.8) aus den Re-

chenwerten der bewerteten Schalldämm-Maße $R'_{w,R}$ der jeweiligen Bauteile und deren Flächenanteilen S :

$$R'_{w,R, \text{res}} = -10 \log \left(\frac{1}{S_{\text{ges}}} \cdot \sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{\frac{-R_{w,R,i}}{10}} \right) \quad \text{Gl. (7.8)}$$

Die schematische Darstellung (Abb. 7.4) zeigt, dass bei einem Außenbauteil die flächenbezogene Masse des Wandbaustoffs, wenn ein Fenster mit einem Schalldämm-Maß von $R'_{w,R} = 30 \text{ dB}$ (Rechenwert) und einem Fensterflächenanteil von $f = 0,2$ bzw. 20 % eingebaut ist, bei Beurteilung des Schallschutzes gegen Außenlärm von geringem Einfluss ist. Die entsprechende Kurve in der Grafik ist weitgehend eine Parallele zur Abszisse. Diese Ausprägung nimmt mit größeren Fensterflächenanteilen zu. Sind in einem Außenbauteil Fenster mit niedrigen Schalldämm-Maßen enthalten, kann dies nur sehr begrenzt durch massive Wandbaustoffe mit höheren flächenbezogenen Massen ausgeglichen werden. Insofern wird das schalltechnische Verhalten von Außenwänden aus Porenbeton durch die vergleichsweise geringe flächenbezogene Masse nur wenig eingeschränkt, andererseits kann die wärmetechnische Qualität des Baustoffs ausgenutzt werden.

Tab. 7.6 enthält Vorschläge für einschalige Wandkonstruktionen aus Porenbeton, die die Anforderungen an die Lärmpegelbereiche I bis IV gemäß DIN 4109 erfüllen. Für höhere Lärmpegelbereiche sind einschalige Wandkonstruktionen nicht geeignet. Anforderungen der Lärmpegelbereiche V und VI können durch Umwandlung in zweischalige Konstruktionen erreicht werden.

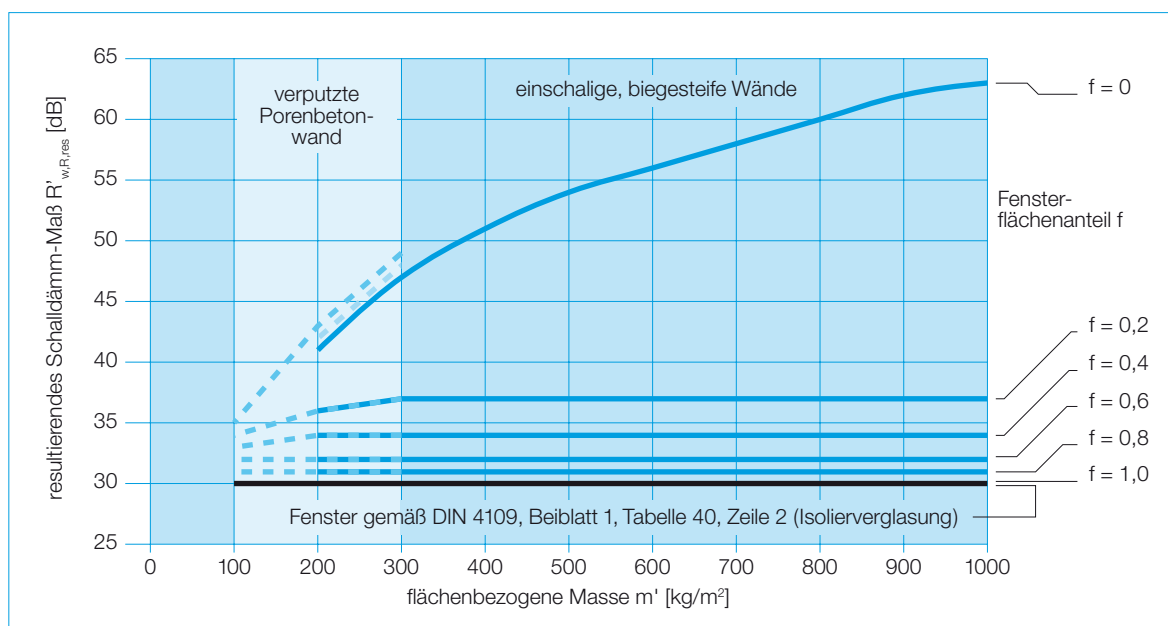


Abb. 7.4: Schallschutz homogener und zusammengesetzter Bauteile

Tab. 7.6: Anforderungen an den Schallschutz von Außenbauteilen und Konstruktionsvorschläge für Außenwände

Anforderungen gemäß DIN 4109							Konstruktionsvorschläge	
Lärm- pegel- bereich	„Maß- geblicher Außen- lärm- pegel“ dB	Erforderliches Schalldämm- Maß $R'_{w,res}$ des Außen- bauteils ¹⁾ dB	Erforderliches Schalldämm-Maß $R'_{w,res}$ ²⁾ für Wand/Fenster bei folgenden Fensterflächenanteilen				Rechenwerte des bewerteten Schalldämm- Maßes $R'_{w,R}$ für Wände aus Porenbeton- mauerwerk (innen und außen verputzt ³⁾)	
			10 % dB/dB	20 % dB/dB	30 % dB/dB	40 % dB/dB	Wandaufbau	$R'_{w,R}$ dB
I	bis 55	30	30/25	30/25	35/25	35/25	240 mm PP2-0,40	39
II	56 bis 60	30						
III	61 bis 65	35	35/30 40/25	35/30	35/32 40/30	40/30	300 mm PP2-0,40	41
IV	66 bis 70	40	40/32 45/30	40/35	45/35	45/35	365 mm PP2-0,50	46
V	71 bis 75	45	45/37 50/35	45/40 50/37	50/40	50/40	175 mm PP2-0,40 + Luft- bzw. Dämmschicht + 115 mm VMz 1,4	53
VI	76 bis 80	50	55/40	55/42	55/45	55/45	200 mm PP4-0,70 + Luft- bzw. Dämmschicht + 115 mm VMz 1,4	56

¹⁾ Anforderungen im Wohnungsbau

²⁾ für Wohngebäude mit üblicher Raumhöhe von etwa 2,50 m und Raumtiefe von etwa 4,50 m oder mehr

³⁾ Außenputz: $m' = 15 \text{ kg/m}^2$, Innenputz: $m' = 10 \text{ kg/m}^2$

Dabei ist es möglich, durch Einbau einer zusätzlichen Schale, z. B. einer Vormauerschale, das tragende Porenbeton-Innenmauerwerk dünner auszubilden. Im Einzelfall hängt die Ausführung von der Außenlärm-Situation, vom Fensterflächenanteil und der schalltechnischen Qualität der Fenster ab.

Für Dächer, die den oberen Abschluss schutzbedürftiger Aufenthaltsräume bilden, gelten ebenfalls die zuvor genannten Anforderungen an die Luftschalldämmung für Außenbauteile. Die in Tab. 7.7 genannten Dachkonstruktionen, deren Schalldämm-Maße $R'_{w,P}$ im

Prüfstand gemessen wurden, erfüllen die Anforderungen der Lärmpegelbereiche I bis VI.

Massive Dächer aus Porenbeton haben gegenüber konventionellen Dächern den Vorteil, dass sie eine höhere flächenbezogene Masse haben und daher einen besseren Schallschutz bieten. Darüber hinaus sind die brandschutztechnischen Merkmale und ihr positiver Einfluss auf das sommerliche Raumklima von Vorteil. Als baufertige Montagebauteile haben Porenbeton-Dachplatten bereits bei der Anlieferung die volle Tragfähigkeit und sind nach der Montage sofort begehbar.

Tab. 7.7: Schalldämm-Maße $R'_{w,P}$ von Porenbeton-Dächern, gemessen im Prüfstand mit Nebenwegen

Konstruktion	Prüfgewicht m' kg/m^2	Bewertetes Schalldämm-Maß $R'_{w,P}$ dB	Nachweis
2 Lagen Bitumen-Schweißbahn Porenbeton-Dachplatten, Rohdichteklasse 0,70, d = 125 mm	108	40	Prüfzeugnis [124]
2 Lagen Bitumen-Schweißbahn Porenbeton-Dachplatten, Rohdichteklasse 0,70, d = 200 mm	158	46	Prüfzeugnis [125]
Kiesschüttung 16/32 mm, d = 50 mm 2 Lagen Bitumen-Schweißbahn Porenbeton-Dachplatten, Rohdichteklasse 0,70, d = 125 mm	198	48	Prüfzeugnis [126]
Kiesschüttung 16/32 mm, d = 50 mm 2 Lagen Bitumen-Schweißbahn Porenbeton-Dachplatten, Rohdichteklasse 0,70, d = 200 mm	248	53	Prüfzeugnis [127]
Kiesschüttung 16/32 mm, d = 50 mm 2 Lagen Bitumen-Schweißbahn Porenbeton-Dachplatten, Rohdichteklasse 0,70, d = 200 mm Grundlattung 30 mm x 50 mm, d = 30 mm Konterlattung 30 mm x 50 mm mit 40 mm hohen Stahlblech-Federbügeln, d = 30 mm Gipsfaserplatten, d = 10 mm	262	57	Prüfzeugnis [128]

7.4 Geräusche von Anlagen der Technischen Gebäudeausrüstung

Der durch haustechnische Anlagen, insbesondere durch Wasserinstallationen verursachte Schalldruckpegel darf in Wohn- und Schlafräumen gemäß DIN 4109 höchstens 35 dB betragen, wobei dieser Wert in kurzzeitigen Spitzen um bis zu 10 dB überschritten werden kann.

Zur Vermeidung einer Lärmbelästigung durch Installationen ist eine sinnvolle Grundrissgestaltung das wichtigste Kriterium. Danach folgen die konstruktive Beschaffenheit der Armaturen und Geräte sowie die Bauart der Wände, an denen die Armaturen oder Geräte befestigt sind. DIN 4109 setzt voraus, dass solche Wände (einschalig) eine flächenbezogene Masse von 220 kg/m^2 aufweisen. Wände mit geringeren flächenbezogenen Massen dürfen verwendet werden, falls durch Eignungsprüfung nachgewiesen ist, dass sie sich in Bezug auf die Übertragung von Installationsgeräuschen nicht ungünstiger verhalten.

Eine Eignungsprüfung gemäß DIN 52219 [100] in einem Musterbau an einer 11,5 cm dicken, beidseitig verputzten Porenbetonwand mit einer flächenbezogenen Masse von $m' = 90 \text{ kg/m}^2$ und einer bestimmten Vorwandinstallation hat den erforderlichen Nachweis erbracht [103, 104]. Die geprüfte Vorwandinstallation bestand aus folgenden Elementen: WC und Wandeinbau-Spülkasten, Waschtischelement mit Mischarmatur und Rohrschacht mit Zubehör für Unterputzduscharmatur und Handbrause sowie die zugehörigen Trinkwasser- und Abwasserleitungen.

7.5 Lärm am Arbeitsplatz

Lärm kann je nach Belastung und Beanspruchung des arbeitenden Menschen die Gesundheit, die Leistungsfähigkeit und die Arbeitssicherheit beeinträchtigen. Durch angemessenen Schallschutz soll persönlichen Schäden und Gefahren, die durch ständige Lärmeinwirkung am Arbeitsplatz hervorgerufen werden, begegnet werden. Unter dem Begriff Arbeitsplatz werden Innenräume verstanden, in denen die Arbeitsaufgabe verrichtet wird und eine arbeitende Person ständig oder überwiegend tätig ist.

Die Lärmbelastung des Menschen hängt nicht nur von der Höhe des Schallpegels ab, sondern auch von der Dauer der Lärmeinwirkung. Aus diesen Einflussgrößen wird ein mittlerer Schallpegel für einen achtstündigen Arbeitstag bestimmt. Die dementsprechende Beurteilungsgröße, die durch Berechnungen oder Messungen ermittelt werden kann, ist der Beurteilungspegel L_r in dB(A). Er dient zur Abschätzung der Lärmgefährdung und der Lärmwirkung auf das menschliche Ohr. Eine Gefährdung, Schaden zu erleiden, besteht dann, wenn ein Beurteilungspegel von 85 dB(A) überschritten wird und über längere Dauer auf das menschliche Gehör einwirkt. Je höher der Lärmpegel ist, umso schneller wird der Beurteilungspegel von 85 dB(A) erreicht. Wirkt ein Lärmpegel von 115 dB(A) über eine halbe Minute auf das menschliche Gehör ein, hat dies die gleiche Wirkung, als ob über einen achtstündigen Arbeitstag der Beurteilungspegel von 85 dB(A) vorhanden wäre (Tab. 7.8).

Lärmpegel dB(A)	Dauer der täglichen Lärmeinwirkung
85	8 h
88	4 h
91	2 h
94	1 h
97	30 min.
100	15 min.
103	7,5 min.
115	0,5 min.

Tab. 7.8: Lärmpegel in Abhängigkeit von der täglichen Lärmeinwirkung, die einem Beurteilungspegel von 85 dB(A) gleichbedeutend sind

Tab. 7.9: Höchstwerte des Beurteilungspegels L_r für den Schallschutz am Arbeitsplatz

Tätigkeit	Beurteilungspegel L_r dB(A)	Regelwerk
Überwiegend geistige Tätigkeiten, z. B.: - Teilnahme an Besprechungen - Wissenschaftliches Arbeiten - Kalkulations- und Dispositionsarbeiten mit entsprechendem Schwierigkeitsgrad	≤ 55	VDI 2058 Blatt 3 [129]
Einfache oder überwiegend mechanisierte Bürotätigkeiten und vergleichbare Tätigkeiten, z. B.: - Disponieren, Datenerfassen, Textverarbeitung/Datenverarbeitung - Arbeiten in Betriebsbüros und Laboratorien - Verkaufen, Bedienen von Kunden, Tätigkeiten im Publikumsverkehr	≤ 70	
Sonstige Tätigkeiten, z. B.: - Arbeiten an Bearbeitungsmaschinen für Metall, Holz usw.	≤ 85	
Allgemein	≤ 85	Arbeitsstättenverordnung [134]
Weitere Tätigkeiten, die eine Kennzeichnung von Lärmpegelbereichen durch den Unternehmer erfordern und für die Gehörschutzmittel zur Verfügung gestellt werden müssen	> 85	UW Lärm [108]
Weitere Tätigkeiten, die eine Kennzeichnung von Lärmpegelbereichen durch den Unternehmer erfordern und bei denen Gehörschutzmittel benutzt werden müssen	> 95	

Grundsätzlich besagt die Arbeitsstättenverordnung [134], dass in Arbeitsstätten der Lärmpegel so niedrig zu halten ist, wie es nach der Art des Betriebes möglich ist. Soweit ein Beurteilungspegel von

85 dB(A) nach der betrieblich möglichen Lärminderung zumutbarer Weise nicht eingehalten wird, darf er bis zu 5 dB(A) überschritten werden. Weitere Höchstwerte des Beurteilungspegels für den Schall-

schutz am Arbeitsplatz (Tab. 7.9), die auf unterschiedliche Tätigkeiten bezogen sind, finden sich in folgenden Regelwerken:

- UW Lärm [108]
- UW Arbeitsmedizinische Vorsorge [107]
- VDI 2058 Blatt 3 [129]

Innerhalb eines Raumes wird der Schallpegel durch direkten Schall und durch reflektierten Schall bestimmt (Abb. 7.5). In der Nähe der Schallquelle wird der Schallpegel nahezu allein durch den Direktschall bestimmt. Mit zunehmender Entfernung von der Schallquelle nimmt die Direktschalleinwirkung ab und der Schallpegel wird maßgeblich durch den reflektierten Schall bestimmt. Durch den Einfluss des reflektierten Schalls wird ein bestimmter Schallpegel im Raum nicht unterschritten. Die Entfernung von der Schallquelle, bei welcher der Direktschallpegel L_{dir} gleich dem Wert des Schallpegels L_{diff} im Nachhallfeld entspricht, wird als Hallradius r_H bezeichnet (Abb. 7.6).

Abb. 7.5: Schallausbreitung im Raum

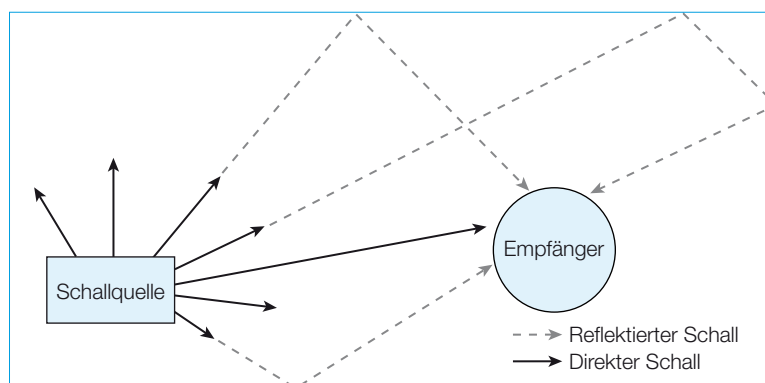
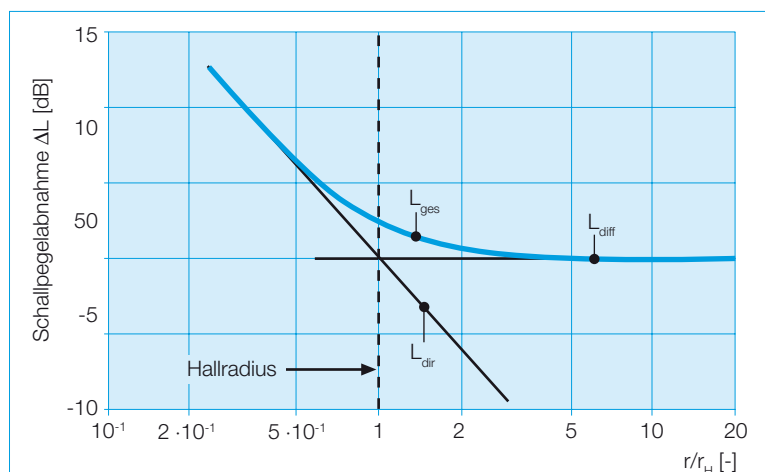


Abb. 7.6: Schallpegelverlauf im Raum



Außerhalb des Hallradius ergibt sich der Anteil des reflektierten Schalls am Schallpegel aus den Reflexionseigenschaften der Flächen im Raum (Wände, Böden, Decken, Einrichtungsgegenstände und Personen). In diesem Bereich kann der Schallpegel durch die Schallabsorptionseigenschaften der Oberflächen im Raum und durch zusätzliche Schallabsorptionsmaßnahmen beeinflusst werden. Rechenverfahren, nach denen eine raumakustische Projektierung vorgenommen wird, gehen von einem diffusen Schallfeld, d. h. von einer Gleichverteilung des Schalls aus [87]. Falls diese Voraussetzung nicht erfüllt ist, kann eine Minderung des Schallpegels durch Schallabsorptionsmaßnahmen geringer sein als berechnet wurde.

Eine Begrenzung der Lärmeinwirkung in Innenräumen kann grundsätzlich durch zwei Maßnahmen erreicht werden:

- Verminderung des Direktschalls an der Lärmquelle selbst
- Bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Schallabsorption zur Verminderung des reflektierten Schallanteils

Hinsichtlich der baulichen Maßnahmen ist für die schallabsorbierende Wirkung von Porenbeton die Porosität der Oberflächen und die Tiefe der offenporigen Schicht bestimmend. Rohdichte, Festigkeit und Dicke der Baustoffschicht sind ohne Bedeutung. Jede Veränderung der Oberfläche, z. B. durch schichtbildende Anstriche, wirkt sich unmittelbar auf die Schallabsorptionseigenschaften aus. Im Allgemeinen haben glatte Oberflächen geringere Schallabsorptionsgrade als poröse Oberflächen. Porenbetonoberflächen mit nicht filmbildenden Anstrichen weisen etwa fünf- bis zehnmal höhere Schallabsorptionsgrade auf als absolut glatte und schallharte Oberflächen (Tab. 7.10).

7.6 Lärm in der Nachbarschaft

Beim Schallschutz in der Nachbarschaft geht es darum, die umgebenden Bereiche vor dem Lärm aus gewerblichen und industriellen Produktionsprozessen zu schützen. Über die Außenflächen eines Gebäudes (Wände, Fenster, Türen, Dächer) wird der im Gebäudeinneren erzeugte Lärm nach außen übertragen. Neben den schalldämmenden Eigenschaften der Außenbauteile (s. Abschnitt 7.3 „Außenlärm“) und den Schallpegeln im Inneren sind für die Immission an einem bestimmten Ort gemäß DIN ISO 9613-2 [79] noch folgende Einflussfaktoren mehr oder weniger von Bedeutung:

- Größe und Orientierung der abstrahlenden Fläche
- Geometrie der Ausbreitung (kugelförmige Schallausbreitung von einer Punktschallquelle im Freifeld)
- Luftabsorption (abhängig von der Schallfrequenz, der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchte)
- Bodendämpfung (Oberflächenbeschaffenheit des Bodens)
- Abschirmung (z. B. Lärmschutzwall, u. a. geregelt in der Richtlinienreihe VDI 2720 „Schallschutz durch Abschirmung“ [132])
- Reflexionen (z. B. an Decken und Dächern im Freien und an Gebäudefassaden)
- Witterungsbedingungen
- Bewuchs (im Allgemeinen von geringem Einfluss)
- Industriegelände (Dämpfung durch Streuung an Installationen)
- Bebauung (z. B. Abschirmung durch Häuser)

Raumbegrenzungsfläche	Oktavband-Mittelfrequenz f_m [Hz]						Grundlage
	125	250	500	1000	2000	4000	
Porenbeton	0,08	0,10	0,12	0,15	0,20	0,22	Prüfzeugnis (105)
Beton	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	Literatur (24)
Mauerwerk verputzt	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	Literatur (25)
Fliesen	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	Literatur (24)

Tab. 7.10: Schallabsorptionsgrade α verschiedener Raumbegrenzungsflächen

Tab. 7.11: Immissionsrichtwerte für den Beurteilungspegel L_r [112]

Immissionsort	Immissionsrichtwert für den Beurteilungspegel L_r dB(A)	
	tags	nachts
Außerhalb von Gebäuden¹⁾		
In Industriegebieten	70	70
In Gewerbegebieten	65	50
In Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten	60	45
In allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten	55	40
In reinen Wohngebieten	50	35
In Kurgebieten, für Krankenhäuser und Pflegeanstalten	45	35
Innerhalb von Gebäuden²⁾		
Betriebsfremde schutzbedürftige Räume nach DIN 4109	35	25

¹⁾ Kurzzeitige Geräuschspitzen dürfen nicht überschritten werden. Tags: $\Delta L_r \leq 30$ dB, nachts: $\Delta L_r \leq 20$ dB

²⁾ Kurzzeitige Geräuschspitzen dürfen nicht überschritten werden. $\Delta L_r \leq 10$ dB

Ein Berechnungsverfahren zur Ermittlung des Gesamtimmissionsschallpegels ist in VDI 2571 [130] eingehend beschrieben. Die nach dieser Richtlinie ermittelten Werte dürfen die zulässigen Immissionsrichtwerte für den Beurteilungspegel gemäß TA Lärm [112] nicht überschreiten (Tab. 7.11).

Die Schallabstrahlung von großen Flächen, z. B. Außenwänden oder Dächern eines Gebäudes, ist gekennzeichnet durch das sogenannte Nahfeld und das daran anschließende Fernfeld. Innerhalb des Nahfeldes vor der schallabstrahlenden Wand nimmt der Schallpegel mit dem Abstand vom Bauteil nicht oder nur sehr schwach ab. Erst mit Beginn des Fernfeldes folgt das Schallfeld den Schallausbreitungsgesetzen für Punktschallquellen. Der Schallpegel L_2 am entfernteren Ort, den eine einzelne Schallquelle L_1 erzeugt, kann folgendermaßen berechnet werden [131]:

$$L_2 = L_1 - 20 \log \frac{r_2}{r_1} [\text{dB}] \quad \text{Gl. (7.9)}$$

Nach diesem Zusammenhang nimmt der Schallpegel einer sich verlustfrei und ungehindert nach allen Seiten (kugelförmig) von einer punktförmig angenommenen Schallquelle ausbreitenden Schallwelle bei Abstandsverdoppelung um 6 dB ab.

Für die Bauweise aus Porenbeton nennt Tab. 7.12 Vergleichswerte für den Gesamtschallpegel in einer Entfernung von 50 m bei einem vorgegebenen Halleninnenpegel. U. a. ist zu erkennen, dass die Minderung des Schallpegels im Innenraum bereits eine wesentliche Entlastung bedeutet, sowohl für die Lärmbelastung am Arbeitsplatz als auch für den Ausgangswert der Schallemissionen. Im Beispiel wurde angenommen, dass die Minderung des Schallpegels, die auf die Schallabsorption der Porenbetonoberflächen zurückzuführen ist, 8 dB(A) beträgt. Zu berücksichtigen ist, dass leichte und häufig nicht verschlossene Türen und Tore die Schalldämmung von Außenbauteilen verschlechtern.

Innenraum			Außenbauteile				Gesamt-schall-pegel	Eignung gemäß TA Lärm [112], tags		
Halleninnenpegel (Mittelwert gemäß VDI 2571 Anhang C [130])	Schallpegel-minderung durch Porenbeton-absorption [101]	Vorhandener Hallen-innenpegel (Mittelwert)	Wand		Dach			Gebiete	Immissi-onsricht-werte	
	ΔL dB(A)	$L_i - \Delta L$ dB(A)	Konstruktion	Bewertetes Schalldämm-Maß gemäß VDI 2571 [130] oder DIN 4109 [72.1]	Konstruktion	Bewertetes Schalldämm-Maß gemäß VDI 2571 [130] oder DIN 4109 [72.1]				
	L_i dB(A)			R'_w dB	R'_w dB	R'_w dB	L_z dB(A)			
	95 (Schreinerei, Druckerei, Blech-bearbeitung)	-	95	Porenbeton-Wandelemente mit Anstrich, $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ $d = 200 \text{ mm}$	38	Porenbeton-Dachplatten mit Anstrich innenseitig und Dachhaut, $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$, $d = 175 \text{ mm}$	37	46	Reine Wohngebiete	50
		8 (Wand und Dach)	87					38	Kur- und Krankenhausbereiche	45
5 (nur Dach)		90	Schweres Mauerwerk, verputzt, $\rho = 2.000 \text{ kg/m}^3$, $d = 115 \text{ mm}$	49	Porenbeton-Dachplatten mit Anstrich innenseitig und Dachhaut, $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$, $d = 175 \text{ mm}$	37	40	Kur- und Krankenhausbereiche	45	
-		95	Sichtbeton, $\rho = 2.300 \text{ kg/m}^3$, $d = 150 \text{ mm}$	54	Stahlbeton, $\rho = 2.300 \text{ kg/m}^3$, $d = 150 \text{ mm}$	54	45	Reine Wohngebiete	50	

Tab. 7.12: Gesamt-
immissionsschallpegel
 L_{eq} in 50 m von der
Schallquelle für unter-
schiedliche Bauaus-
führungen [101]

8.1 Baustoffklassen und Feuerwiderstandsklassen

8.1.1 Regelungen

Anforderungen zum Brandschutz von Gebäuden sind in Landesbauordnungen, Sonderbauverordnungen und Verwaltungsvorschriften geregelt. Aus diesen Regeln lassen sich die übergeordneten Ziele des Brandschutzes ableiten:

- Vorbeugung der Entstehung eines Brandes
- Vorbeugung der Ausbreitung von Feuer und Rauch
- Ermöglichung der Rettung von Menschen und Tieren im Brandfall
- Ermöglichung wirksamer Löscharbeiten

Entsprechend dieser Ziele kann der Brandschutz durch vorbeugende oder abwehrende Maßnahmen erreicht werden. Zum vorbeugenden Brandschutz gehören neben anlagentechnischen und betrieblich organisatorischen Möglichkeiten auch bauliche Vorkehrungen bei der Planung von Bauwerken, der Auswahl von Baustoffen und der Ausbildung von Bauteilen. Durch Anordnung von Brandabschnitten, durch Sicherung von Flucht- und Rettungswegen, durch die Berücksichtigung von Zufahrten und Rettungsflächen für die Feuerwehr, durch Abzugsmöglichkeiten für Rauch und Hitze sowie durch Maßnahmen zur Verhinderung des Feuerübergangs auf andere Gebäude wird die Brandgefahr durch planerische Vorkehrungen eingegrenzt. Zur Ausbildung der Bauteile ist die Gewährleistung einer ausreichenden Feuerwiderstandsdauer der Bauteile erforderlich. Außerdem dürfen nur Baustoffe verwendet werden, die im Brandfall nicht übermäßig viel Rauch und toxische Gase erzeugen. Oder es werden Baustoffe wie Porenbeton verwendet, bei denen es nicht zur Erzeugung von Rauch und schädlichen Gasen kommt.

In der Musterbauordnung MBO [111], die Grundlage der verbindlichen Regelungen der Landesbauordnungen ist, ist das Maß der Brandschutzanforderungen an

Wohngebäude in Abhängigkeit von Gebäudeklassen geregelt. Dabei werden die Gebäudehöhe sowie Zahl und Größe von Nutzungseinheiten berücksichtigt. Entsprechend unterschiedlich sind die Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen (nicht brennbar, schwer entflammbar oder normal entflammbar) und die Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen (feuerbeständig, hochfeuerhemmend oder feuerhemmend). Die Feuerwiderstandsfähigkeit bezieht sich bei tragenden und aussteifenden Bauteilen auf deren Standsicherheit im Brandfall, bei raumabschließenden Bauteilen auf deren Widerstand gegen Brandausbreitung. Die technische Umsetzung der Anforderungen erfordert eine Zuordnung der bauordnungsrechtlichen Begriffe zu Klassen von Baustoffen und Bauteilen, die sich aufgrund von Brandversuchen nach den technischen Regeln DIN 4102 [69], DIN EN 1363 [65], DIN EN 1364 [66] und DIN EN 1365 [67] ergeben.

Die deutsche brandschutztechnische Klassifizierung von Baustoffen und Bauteilen erfolgt gemäß DIN 4102. Auch das europäische Klassifizierungssystem gemäß DIN EN 13501 [84] ist bauaufsichtlich eingeführt und kann zum Nachweis des Brandverhaltens oder des Feuerwiderstandes angewendet werden.

8.1.2 Brandverhalten von Baustoffen

Die Klassifizierung des Brandverhaltens von Baustoffen ist in DIN 4102-1 [69.1] und DIN EN 13501-1 [84.1] unterschiedlich geregelt. Die deutsche Norm unterteilt in Baustoffklasse A (nicht brennbar) und Baustoffklasse B (brennbar) mit Unterklassen (Tab. 8.1). Der Nachweis der Zugehörigkeit zu einer bestimmten Baustoffklasse erfolgt nach einer in DIN 4102-1 festgelegten Versuchsdurchführung durch eine autorisierte Prüfstelle. Z. B. sind Baustoffe, die ohne Nachweis der Baustoffklasse A1 (ohne brennbare Bestandteile) zugeordnet werden können, in DIN 4102-4 [69.4, 69.5] aufgeführt. Das europäische System hingegen sieht 7 Klassen (A1, A2, B, C, D, E, F) vor (Tab. 8.2), wobei zusätzliche Klassifi-

Tab. 8.1: Baustoffklassen gemäß DIN 4102-1 [69.1]

Baustoffklasse	Bauaufsichtliche Benennung	Beispiele
A	Nicht brennbare Baustoffe	
A1	Ohne brennbare Bestandteile	Erden, Gips, Mörtel, Beton, Porenbeton, Steine und Bauplatten aus mineralischen Bestandteilen, Mineralfaser, Ziegel, Glas
A2	Mit geringen Anteilen an brennbaren Bestandteilen	Gipskartonplatten mit geschossener Oberfläche, Leichtbeton mit Polystyrolzuschlag
B	Brennbare Baustoffe	
B1	Schwer entflammbare Baustoffe	Holzwohle-Leichtbauplatten, Gipskartonplatten mit gelochter Oberfläche, Kunstharzputze
B2	Normal entflammbare Baustoffe	Holz, genormte Holzwerkstoffe, bestimmte kunststoffbeschichtete dekorative Flachpressplatten oder Holzfaserplatten
B3	Leicht entflammbare Baustoffe	Holz unter 2 mm Dicke, Holzwohle, Papier, unbehandelte Polystyrol-Hartschaumplatten

Tab. 8.2: Baustoffklassen gemäß DIN EN 13501-1 [84.1]

Baustoffklasse	Bauaufsichtliche Benennung	Zusatzanforderungen		Klasse gemäß DIN 4102-1
		Kein Rauch (s1)	Kein brennendes Abfallen/Abtropfen (d0)	
A1	Nicht brennbar	X	X	A1
A2 – s1, d0		X	X	A2
B – s1, d0	Schwer entflammbar	X	X	B1
C – s1, d0				
A2 – s2, d0				
A2 – s3, d0				
B – s2, d0		-	X	
B – s3, d0				
C – s2, d0				
C – s1, d0				
A2 – s1, d1				
A2 – s1, d2				
B – s1, d1		X	-	
B – s1, d2				
C – s1, d1				
C – s1, d2				
A2 – s3, d2				
B – s3, d2		-	-	
C – s3, d2				
D – s1, d0	Normal entflammbar		X	B2
D – s2, d0		-		
D – s3, d0				
E				
D – s1, d1				
D – s2, d1				
D – s3, d1				
D – s1, d2		-	X	
D – s2, d2				
D – s3, d2				
E – d2				
F	Leicht entflammbar	-	-	B3

Kriterium	Kurzzeichen	Bedeutung
Rauchentwicklung	s (smoke)	s3 Es wird keine Beschränkung der Rauchentwicklung gefordert
		s2 Die gesamte freigesetzte Rauchmenge sowie das Verhältnis des Anstiegs der Rauchentwicklung sind beschränkt
		s1 Strengere Kriterien als für s2 werden erfüllt
Brennendes Abtropfen/Abfallen	d (droplets)	d2 Keine Beschränkungen
		d1 Kein brennendes Abtropfen/Abfallen, das länger als eine vorgegebene Zeit andauert
		d0 Kein brennendes Abtropfen/Abfallen

Tab. 8.3: Zusätzliche Klassifizierungen „Rauchentwicklung“ und „brennendes Abtropfen/Abfallen“ gemäß DIN EN 13501-1 [84.1]

zierungskriterien hinsichtlich der Rauchentwicklung und des brennenden Abfallens oder Abtropfens aufgezählt werden (Tab. 8.3).

Mauersteine aus Porenbeton und bewehrte Porenbetonprodukte werden der europäischen Klasse A1 zugeordnet, entsprechend Klasse A nach deutscher Norm. Dies besagt, dass Produkte aus Porenbeton aufgrund ihrer mineralischen Zusammensetzung keinen Beitrag zum Brand leisten und keine brennbaren Bestandteile enthalten. Daher ist Porenbeton auch für hohe Beanspruchungen einsetzbar, z. B. für Brandwände und Komplextrennwände. Die Nichtbrennbarkeit bleibt auch dann erhalten, wenn die Oberfläche mit Anstrichen auf Dispersions- oder Alkydharzbasis oder mit üblichen Papier-Wandbekleidungen (Tapeten) versehen wird.

Dünnbettmörtel für Mauerwerk aus Porenbetonsteinen entsprechen ebenfalls der Baustoffklasse A1. Werden als Bindemittel nicht Zement, sondern Harze, z. B. ungesättigtes Polyesterharz oder Harze auf Vinyl-, Acryl- oder Dispersionsbasis verwendet, spricht man von Klebern. Sie gehören der Baustoffklasse B2 (normal entflammbar) an und werden zum Verkleben von Porenbeton-Wandplatten und Porenbeton-Wandtafeln verwendet. Im Verbund mit Porenbeton und unter der Voraussetzung, dass die Kleberfugendicke stets $d \leq 3$ mm ist, spielt die Brennbarkeit der Kleber brandschutztechnisch keine Rolle. In der Baupraxis sind die Fugen im Regelfall etwa 1,5 mm dick. Die durchgehende Kleberschicht wird ähnlich wie eine Sperrschicht aus brennbaren Baustoffen gegen aufsteigende Feuchtigkeit gewertet und hat auf die Benennung der Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen keinen Einfluss. Wärmedämmschichten in zweischaligen Außenwänden oder Thermoputze, für die nicht die Klassifizierung A1 gilt, haben keine Auswirkungen auf die Baustoffklassifizierung des verwendeten, nicht brennbaren Poren-

betons. Putze mit üblichen Anteilen an Zusatzmitteln werden gemäß DIN 4102-4 ebenfalls der Baustoffklasse A1 zugeordnet. Werden Zusatzmittel organischer Zusammensetzung über den in DIN V 18550 [95] bzw. DIN EN 998-1 [61] festgeschriebenen Rahmen hinaus zugesetzt, geht die Eigenschaft „nicht brennbar“ verloren.

8.1.3 Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen

Für die Sicherheit eines Bauwerks im Brandfall ist nicht nur die Brennbarkeit der Baustoffe, sondern insbesondere die Feuerwiderstandsdauer der Bauteile maßgebend. Sie ist definiert als die Mindestdauer in Minuten, während der dieses Bauteil bei einer Normbrandprüfung bestimmten Anforderungen standhält. Die Kriterien der deutschen Normbrandprüfung betreffen die Raumabschlusssfähigkeit und die Tragfähigkeit. Die Feuerwiderstandsdauer und damit die Feuerwiderstandsklasse eines Bauteils hängen von folgenden Einflüssen ab:

- Ein- oder mehrseitige Brandbeanspruchung
- Art des Baustoffs
- Abmessung und Qualität des Bauteils
- Bauliche Ausbildung der Anschlüsse, Auflager, Halterung, Befestigung, Fugen usw.
- Statisches System (statisch bestimmte oder unbestimmte Lagerung, einachsige oder zweiachsige Lastabtragung, Einspannung usw.)
- Ausnutzungsgrad der Festigkeiten der verwendeten Produkte infolge äußerer Lasten
- Anordnung von Bekleidungen

Tab. 8.4: Feuerwiderstandsklassen gemäß DIN 4102-2 [69.2]

Feuerwiderstandsklasse	Feuerwiderstandsdauer in Minuten
F 30	≥ 30
F 60	≥ 60
F 90	≥ 90
F 120	≥ 120
F 180	≥ 180

Die erreichte Feuerwiderstandsdauer wird in DIN 4102-2 [69.2] durch die Feuerwiderstandsklasse gekennzeichnet (Tab. 8.4) und um die verwendeten Baustoffklassen ergänzt. Desweiteren wird die Einordnung zu den bauaufsichtlichen Anforderungen angegeben (Tab. 8.5). Neben den F-klassifizierten Bauteilen werden nicht tragende Außenwände durch das Kurzzeichen W gekennzeichnet. Anders als nach DIN 4102 werden

Tab. 8.5: Baustoffe und Feuerwiderstandsklassen gemäß DIN 4102-2 [69.2] sowie bauaufsichtliche Benennung

Feuerwiderstandsklasse	Baustoffklassen der in den geprüften Bauteilen verwendeten Baustoffe für		Feuerwiderstandsklassen-Benennung ²⁾	Kurzbezeichnung	Bauaufsichtliche Benennung
	wesentliche Teile	übrige Bestandteile, die nicht unter den Begriff „wesentliche Teile“ fallen ¹⁾			
F 30	B	B	Feuerwiderstandsklasse F 30	F 30-B ³⁾	feuerhemmend
	A	B	Feuerwiderstandsklasse F 30 und in den wesentlichen Teilen aus nicht brennbaren Baustoffen ¹⁾	F 30-AB	-
	A	A	Feuerwiderstandsklasse F 30 und aus nicht brennbaren Baustoffen	F 30-A ³⁾	feuerhemmend und aus nicht brennbaren Baustoffen
F 60	B	B	Feuerwiderstandsklasse F 60	F 60-B	-
	A	B	Feuerwiderstandsklasse F 60 und in den wesentlichen Teilen aus nicht brennbaren Baustoffen ¹⁾	F 60-AB ⁴⁾	hoch feuerhemmend
	A	A	Feuerwiderstandsklasse F 60 und aus nicht brennbaren Baustoffen	F 60-A ⁴⁾	
F 90	B	B	Feuerwiderstandsklasse F 90	F 90-B	-
	A	B	Feuerwiderstandsklasse F 90 und in den wesentlichen Teilen aus nicht brennbaren Baustoffen ¹⁾	F 90-AB ^{5) 6)}	feuerbeständig
	A	A	Feuerwiderstandsklasse F 90 und aus nicht brennbaren Baustoffen	F 90-A ^{5) 6)}	feuerbeständig und aus nicht brennbaren Baustoffen
F 120	B	B	Feuerwiderstandsklasse F 120	F 120-B	-
	A	B	Feuerwiderstandsklasse F 120 und in den wesentlichen Teilen aus nicht brennbaren Baustoffen ¹⁾	F 120-AB	-
	A	A	Feuerwiderstandsklasse F 120 und aus nicht brennbaren Baustoffen	F 120-A	-
F 180	B	B	Feuerwiderstandsklasse F 180	F 180-B	-
	A	B	Feuerwiderstandsklasse F 180 und in den wesentlichen Teilen aus nicht brennbaren Baustoffen ¹⁾	F 180-AB	-
	A	A	Feuerwiderstandsklasse F 180 und aus nicht brennbaren Baustoffen	F 180-A	-

¹⁾ Zu den wesentlichen Teilen gehören:

- a) Alle tragenden oder aussteifenden Teile, bei nicht tragenden Bauteilen auch die Bauteile, die deren Standsicherheit bewirken (z. B. Rahmenkonstruktionen von nicht tragenden Wänden).
- b) Bei raumabschließenden Bauteilen eine in Bauteilebene durchgehende Schicht, die bei Prüfung nach dieser Norm (DIN 4102-2) nicht zerstört werden darf.
Bei Decken muss diese Schicht eine Gesamtdicke von mindestens 50 mm besitzen; Hohlräume im Innern dieser Schicht sind zulässig. Bei der Beurteilung des Brandverhaltens der Baustoffe können Oberflächendeckschichten oder andere Oberflächenbehandlungen außer Betracht bleiben.

²⁾ Diese Benennung betrifft nur die Feuerwiderstandsfähigkeit des Bauteils; die bauaufsichtlichen Anforderungen an Baustoffe für den Ausbau, die in Verbindung mit dem Bauteil stehen, werden hiervon nicht berührt.

³⁾ Bei nicht tragenden Außenwänden auch W 30 zulässig.

⁴⁾ Bei nicht tragenden Außenwänden auch W 60 zulässig.

⁵⁾ Bei nicht tragenden Außenwänden auch W 90 zulässig.

⁶⁾ Nach bestimmten bauaufsichtlichen Verwendungsvorschriften einiger Länder auch F 120 gefordert.

zukünftig die verschiedenen brandschutztechnisch bedeutsamen Kriterien wie Tragfähigkeit und Raumabschluss einzeln bewertet. Durch Kombination der einzelnen Kriterien entsteht ein differenzierteres Beurteilungssystem als bisher. Z. B. ist aus der bisherigen Bezeichnung F 90 nicht zu erkennen, ob es sich um ein tragendes oder ein nicht tragendes, ein raumabschließendes oder ein nicht raumabschließendes Bauteil handelt.

Es ist lediglich zu erkennen, dass eine Feuerwiderstandsdauer von mindestens 90 Minuten erreicht wurde. Das europäische Klassifizierungssystem verwendet neben der Feuerwiderstandsklasse mehrere Klassifizierungskennwerte (Tab. 8.6). Ebenso können die differenzierten Feuerwiderstandsklassen gemäß DIN EN 13501-2 [84.2] und DIN EN 13501-3 [84.3] den bauaufsichtlichen Benennungen zugeordnet werden [35] (Tab. 8.7).

Kurzzeichen	Eigenschaft	Anwendungsbereich
R (Résistance)	Tragfähigkeit	Beschreibung der Feuerwiderstandsfähigkeit
E (Étanchéité)	Raumabschluss	
I (Isolation)	Wärmedämmung (unter Brandeinwirkung)	
W (Radiation)	Begrenzung des Strahlungsdurchtritts	
M (Mechanical)	Widerstand gegen mechanische Beanspruchung	
C... (Closing)	Selbstschließende Eigenschaft (ggf. mit Anzahl der Lastspiele) einschließlich Dauerfunktion	Rauchschutztüren, Feuerschutzabschlüsse (einschließlich Abschlüsse für Förderanlagen)
S _m (Smoke _{max, leakage rate})	Rauchdichtheit; Ausschluss oder Verringerung	Rauchschutztüren (als Zusatzanforderung auch bei Feuerschutzabschlüssen), Lüftungsanlagen einschließlich Klappen
P	Aufrechterhaltung der Energieversorgung und/oder Signalübermittlung	Elektrische Kabelanlagen allgemein
G	Widerstandsfähigkeit gegen Rußbrand	Schornsteine
K ₁ , K ₂	Brandschutzvermögen	Wand- und Deckenbekleidungen (Brandschutzbekl.)
i → o i ← o i ↔ o (in – out)	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer	Nicht tragende Außenwände, Installations-schächte/-kanäle, Lüftungsanlagen/-klappen
C/C (Capped/Capped)	Rohrende geschlossen innerhalb des Prüfofens/ Rohrende geschlossen außerhalb des Prüfofens	Rohrabschottungen
C/U (Capped/Uncapped)	Rohrende geschlossen innerhalb des Prüfofens/ Rohrende offen außerhalb des Prüfofens	
U/C (Uncapped/Capped)	Rohrende offen innerhalb des Prüfofens/ Rohrende geschlossen außerhalb des Prüfofens	
U/U (Uncapped/Uncapped)	Rohrende offen innerhalb des Prüfofens/ Rohrende offen außerhalb des Prüfofens	
a ↔ b (above – below)	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer	Unterdecken
v _e , h _o (vertical, horizontal)	Für vertikalen/horizontalen Einbau klassifiziert	Lüftungsleitungen/-klappen
sn	Verhalten bei Beanspruchung mit Naturbrand ist eine bauaufsichtliche Anforderung	Leichte Unterdecken mit geringem Wärmeeindringverhalten
ef	Bestimmung des Leistungsverhaltens nach Außenbrandkurve statt nach Einheitstemperaturzeitkurve	
r	Bestimmung des Leistungsverhaltens nach konstanter Brandbeanspruchung statt nach Einheitstemperaturzeitkurve	

Tab. 8.6: Klassifizierungskriterien für den Feuerwiderstand gemäß DIN EN 13501-2 [84.2] und DIN EN 13501-3 [84.3]

Tab. 8.7: Feuerwiderstandsklassen gemäß DIN EN 13501-2 [84.2] und DIN EN 13501-3 [84.3] sowie bauaufsichtliche Benennung

Bauaufsichtliche Benennung	Bauteil					
	Tragende Bauteile		Nicht tragende Trennwände	Nicht tragende Außenwände	Doppelböden	Selbstständige Unterdecken
	ohne Raumabschluss	mit Raumabschluss				
Feuerhemmend	R 30	REI 30	EI 30	E 30 (i → o) und E 30-ef (i ← o)	REI 30	EI 30 (a ↔ b)
Hoch feuerhemmend	R 60	REI 60	EI 60	E 60 (i → o) und E 60-ef (i ← o)	-	EI 60 (a ↔ b)
Feuerbeständig	R 90	REI 90	EI 90	E 90 (i → o) und E 90-ef (i ← o)	-	EI 90 (a ↔ b)
Feuerwiderstandsfähigkeit 120 min	R 120	REI 120	-	-	-	-
Brandwand	-	REI 90-M	EI 90-M	-	-	-

Der brandschutztechnische Nachweis für Bauteile erfolgt über DIN 4102-4, einen Zulassungsbescheid oder über ein allgemein bauaufsichtliches Prüfzeugnis. In diesen Unterlagen sind z.B. Werte zur Feuerwiderstandsdauer von Porenbetonbauteilen, zu Brandwänden aus Porenbeton sowie zu den zu beachtenden Anschlussdetails an angrenzende Gebäudeteile enthalten.

Viele Bauteile aus Porenbeton decken alle Feuerwiderstandsklassen bis F 180 ab. Tatsächlich kann die brandschutztechnische Qualität jedoch weit über diese gemäß DIN 4102-2 höchstmögliche Einstufung hinausgehen. Aus Versuchen, die an bewehrten Porenbetonplatten durchgeführt wurden, ist bekannt, dass die Anforderungen des Brandschutzes auch über die 360. Minute hinaus eingehalten werden [115].

8.2 Wände

8.2.1 F-klassifizierte Wände, Pfeiler und Wandabschnitte

Aus Sicht des Brandschutzes werden die Arten und Funktionen von F-klassifizierten Wänden in tragend und nicht tragend sowie in raumabschließend und nichtraumabschließend unterschieden (Abb. 8.1):

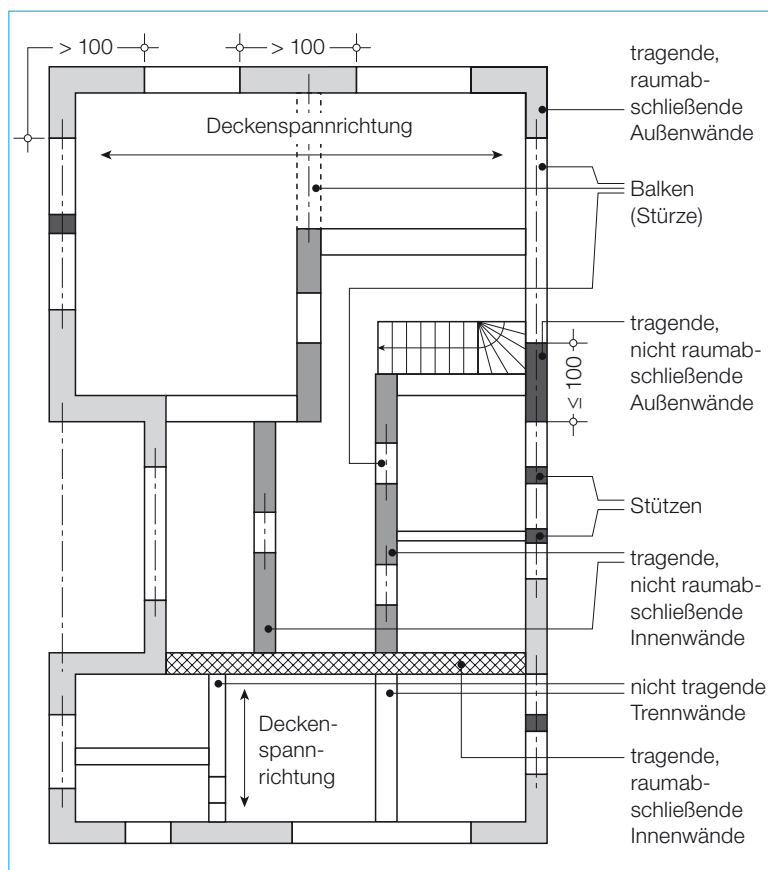
■ Nicht tragende Wände

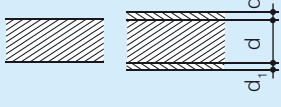
(immer raumabschließend): Nicht tragende Wände sind auch im Brandfall überwiegend durch ihre Eigenlast beanspruchte scheibenartige Bauteile, die nicht der Knickaussteifung tragender Wände dienen. Raumabschließende Wände werden nur einseitig vom Brand beansprucht. Die erforderlichen Mindestdicken enthält Tab. 8.8.

■ Tragende raumabschließende Wände:

Tragende raumabschließende Wände sind überwiegend auf Druck beanspruchte scheibenartige Bauteile zur Aufnahme lotrechter Lasten. Sie dienen zur Verhinderung der Brandübertragung von einem Raum zum anderen und halten im Brandfall die Trennung von zwei aneinander grenzenden Bereichen aufrecht. Tab. 8.9 können die erforder-

Abb. 8.1: Wandarten aus brandschutztechnischer Sicht [11]



Konstruktionsmerkmale		Mindestdicke d [mm] für die Feuerwiderstandsklassen- Benennung				
		F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A	F 180-A
Wände mit Dünnbettmörtel						
Porenbetonsteine gemäß DIN V 4165-100, nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung oder nach DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN V 20000-404						
Porenbeton-Planelemente nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung		50	75	75	115	150
Porenbeton-Mauertafeln nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung		(50)	(75)	(75)	(75)	(115)
Unbewehrte Porenbeton-Wandtafeln nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung						
Porenbeton-Planbauplatten nach DIN 4166						

Die Werte in () gelten für Wände mit beidseitigem Putz nach DIN 4102-4 Nr. 4.5.2.10

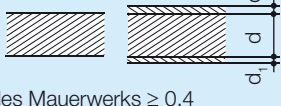
Tab. 8.8: Mindestdicke d nicht tragender raumabschließender Wände (einseitige Brandbeanspruchung) aus Porenbetonmauerwerk gemäß DIN 4102-4 [69.4] oder allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

Konstruktionsmerkmale		Mindestdicke d [mm] für die Feuerwiderstandsklassen- Benennung				
		F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A	F 180-A
Wände mit Dünnbettmörtel, Rohdichteklasse des Mauerwerks $\geq 0,4^{1)}$						
Porenbetonsteine gemäß DIN V 4165-100, allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung oder DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN V 20000-404						
Porenbeton-Planelemente gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung						
Porenbeton-Mauertafeln gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung						
Unbewehrte Porenbeton-Wandtafeln nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung						
Ausnutzungsfaktor $\alpha_2 = 0,2$		115	115	115	115	150
		(115)	(115)	(115)	(115)	(115)
Ausnutzungsfaktor $\alpha_2 = 0,6$		115	115	150	150	175
		(115)	(115)	(115)	(150)	(175)
Ausnutzungsfaktor $\alpha_2 = 1,0$		115	150	175	175 ¹⁾	200
		(115)	(115)	(150)	(175)	(200)

Die Werte in () gelten für Wände mit beidseitigem Putz nach DIN 4102-4 Nr. 4.5.2.10

¹⁾ Rohdichteklasse $\geq 0,35$ [118]

Tab. 8.9: Mindestdicke d tragender raumabschließender Wände (einseitige Brandbeanspruchung) aus Porenbetonmauerwerk nach DIN 4102-4 [69.4] oder allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

Konstruktionsmerkmale		Mindestdicke d [mm] für die Feuerwiderstandsklassen- Benennung				
		F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A	F 180-A
Wände mit Dünnbettmörtel, Rohdichteklasse des Mauerwerks $\geq 0,4$						
Porenbetonsteine gemäß DIN V 4165-100, allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung oder DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN V 20000-404						
Porenbeton-Planelemente gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung						
Porenbeton-Mauertafeln gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung						
Unbewehrte Porenbeton-Wandtafeln nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung						
Ausnutzungsfaktor $\alpha_2 = 0,2$		115	150	150	150	175
		(115)	(115)	(115)	(115)	(115)
Ausnutzungsfaktor $\alpha_2 = 0,6$		150	175	175	175	240
		(115)	(150)	(150)	(150)	(175)
Ausnutzungsfaktor $\alpha_2 = 1,0$		175	175	240	300	300
		(150)	(150)	(175)	(240)	(240)

Die Werte in () gelten für Wände mit beidseitigem Putz nach DIN 4102-4 Nr. 4.5.2.10

Tab. 8.10: Mindestdicke d tragender nicht raumabschließender Wände (mehrsseitige Brandbeanspruchung) aus Porenbetonmauerwerk nach DIN 4102-4 [69.4] oder allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

lichen Mindestdicken entnommen werden. Die Dicken sind u. a. abhängig vom Ausnutzungsfaktor α_2 . Er stellt das Verhältnis der vorhandenen Druckbeanspruchung zur zulässigen Druckbeanspruchung ($\sigma_{\text{vorh}}/\sigma_{\text{zul}}$) dar.

■ Tragende nicht raumabschließende Wände:

Tragende nicht raumabschließende Wände sind überwiegend auf Druck beanspruchte scheibenartige Bauteile zur Aufnahme lotrechter Lasten. Sie werden im Brandfall zwei-, drei- oder vierseitig beansprucht. Darunter fallen Wände innerhalb eines Brandabschnitts, z. B. innerhalb einer Wohnung. Erforderliche Mindestdicken gehen aus Tab. 8.10 hervor.

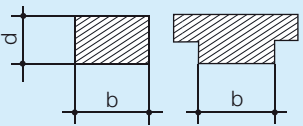
Als nicht raumabschließende Wandabschnitte aus Mauerwerk gelten Querschnitte, deren Fläche $> 0,1 \text{ m}^2$ und deren Breite $\leq 1,0 \text{ m}$ ist.

Als Pfeiler und kurze Wände (nicht tragende Wandabschnitte) aus Mauerwerk gelten Querschnitte, deren Fläche $A < 0,1 \text{ m}^2$ groß ist. Gemauerte Pfeiler, deren Fläche $A < 0,04 \text{ m}^2$ groß ist, sind als tragende Bauteile unzulässig. Ergänzend zur Mindestdicke ist bei Pfeilern

und Wandabschnitten die Mindestbreite für die brand-schutztechnische Dimensionierung relevant (Tab. 8.11).

Stürze über Wandöffnungen sind für eine dreiseitige Brandbeanspruchung zu bemessen. Die erforderliche Breite von Stürzen aus bewehrtem Porenbeton entspricht der geforderten Wanddicke. Anstelle eines Sturzes dürfen auch nebeneinander verlegte Stürze verwendet werden (Tab. 8.12).

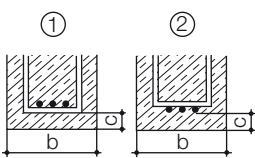
Tab. 8.11: Mindestdicke d und Mindestbreite b **tragender Pfeiler bzw. nicht raumabschließender Wandabschnitte** (mehreseitige Brandbeanspruchung) aus Porenbetonmauerwerk nach DIN 4102-4 [69.4] oder allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

Konstruktionsmerkmale		Mindestdicke d mm	Mindestbreite b [mm] für die Feuerwiderstandsklassen-Benennung				
			F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A	F 180-A
Wände mit Dünnbettmörtel, Rohdichteklasse des Mauerwerks $\geq 0,4$							
Porenbetonsteine gemäß DIN V 4165-100, allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung oder DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN V 20000-404							
Porenbeton-Planelemente nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung							
Unbewehrte Porenbeton-Wandtafeln nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung							
Ausnutzungsfaktor $\alpha_2 = 0,6$		175	365	365	490	490	615
		200	240	365	365	490	615
		240	240	240	300	365	615
		300	240	240	240	300	490
		365	175	175	240	240	365
Ausnutzungsfaktor $\alpha_2 = 1,0$		175	490	490	¹⁾	¹⁾	¹⁾
		200	365	490	¹⁾	¹⁾	¹⁾
		240	300	365	615	730	730
		300	240	300	490	490	615
		365	240	240	365	490	615

Die Werte in () gelten für Pfeiler mit allseitigem Putz nach DIN 4102-4 Nr. 4.5.2.10

¹⁾ Die Mindestbreite ist $b > 1,0 \text{ m}$. Bemessung bei Außenwänden daher als raumabschließende Wand nach Tab. 8.9

Tab. 8.12: Mindestbreite b und Mindesthöhe h **ausbetonierter U-Schalen, Fertigstürze und Flachstürze** aus Porenbeton nach DIN 4102-4 Abschnitt 4.5.3.5 [69.4]

Konstruktionsmerkmale	Mindestbetondeckung c mm	Mindesthöhe h mm	Mindestbreite b [mm] für die Feuerwiderstandsklassen-Benennung				
			F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A	F 180-A
Ausbetonierte U-Schalen aus Porenbeton	-	199	175	175	175	-	-
Fertigstürze aus Porenbeton  Mindeststabzahl $n = 3$	10	240	175 (175)	240 (200)	-	-	-
	20	240	175 (175)	240 (200)	300 ¹⁾ (240)	-	-
	30	240	175 (175)	175 (175)	200 (175)	-	-
Flachstürze aus Porenbeton	Mindesthöhe 124 mm, Betondeckung siehe Zulassung [47]		175 (115)	175 (115)	240 (175)	-	-

Die Werte in () gelten für Stürze mit dreiseitigem Putz nach DIN 4102-4 Nr. 4.5.2.10. Auf den Putz an der Sturzunterseite kann bei Anordnung von Stahl- oder Holzumfassungszargen verzichtet werden.

¹⁾ Mindeststabzahl $n = 4$

8.2.2 Anschlüsse

Die brandschutztechnische Eignung von Wänden hängt außer von den Baustoff- und Bauteileigenschaften, von der Wahl des statischen Systems, von Einbauten, von Installationen und vom Maß der Brandbeanspruchung auch von der Ausbildung der Fugen und Anschlüsse ab. DIN 4102-4 lässt je nach brandschutztechnischer Anforderung eine Vielzahl von Anschlussmöglichkeiten zu. Konstruktionsvorschläge hierzu enthalten die Berichtshefte 4 [11] und 17 [17] des Bundesverbandes Porenbeton.

Z.B. ist beim Stumpfstoßanschluss mit Mauerverbindern darauf zu achten, dass die Fuge zwischen den Wänden vollständig mit Mörtel verfüllt wird. Je nach statischen Erfordernissen, die an die anzuschließende Wand gestellt werden, ist bei F-klassifizierten Wänden auch das Füllen einer Fuge mit Mineralwolle und einem elastoplastischen Fugendichtstoff möglich. Anschlüsse tragender Wände können entsprechend den Ausführungen in DIN 1053 [63] und DIN 4102-4 ausgeführt werden (Abb. 8.2). Bei nicht tragenden Wänden sind zusätzlich die Regelungen der DIN 4103 [70] zu beachten.

Dämmschichten in Anschlussfugen, die oft u. a. aus schalltechnischen Gründen vorgesehen werden, bestehen aus mineralischen Fasern und entsprechen den Anforderungen gemäß DIN 4102-4 Nr. 4.5.2.6.

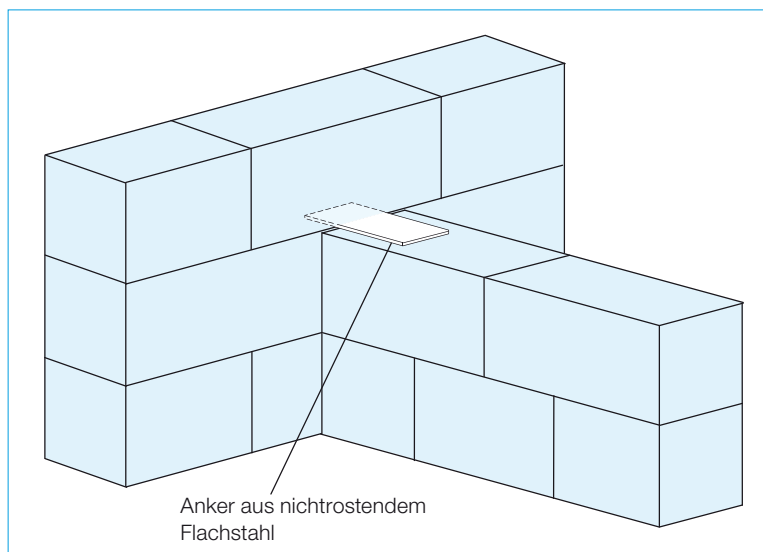


Abb. 8.2: Tragende Wände aus Mauerwerk, Stumpfstoßanschluss

8.2.3 Feuerschutzabschlüsse

Feuerschutzabschlüsse wie Drehflügeltüren, Schiebetüren oder Schiebetore sind selbstschließende Elemente, die dazu bestimmt sind, im eingebauten Zustand den Durchtritt des Feuers durch Öffnungen zu verhindern. Jede Bauart der Feuerschutzabschlüsse ist nach DIN 4102 von amtlicher Stelle geprüft und vom Deutschen Institut für Bautechnik durch Bescheid bauaufsichtlich zugelassen. Mit dem Ergebnis aus der Brandschutzprüfung wird ein Feuerschutzabschluss in die Feuerwiderstandsklasse T 30, T 60, T 90, T 120 oder T 180 eingeteilt. In Deutschland sind nur die Feuerwiderstandsklassen T 30 und T 90 verbreitet, wobei der Großteil von etwa 90 % auf T 30-Abschlüsse entfällt. Feuerschutztüren werden in allen Wandarten, über die sich der Zulassungs-

bescheid erstrecken soll, brand- und funktionstechnisch geprüft, z. B. in Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen mindestens der Festigkeitsklasse 4 gemäß DIN V 4165-100 [74] und DIN EN 771-4 [60] in Verbindung mit DIN V 20000-404 [99].

Die wichtigsten Bestimmungen, die beim Einbau von Feuerschutzabschlüssen im Planungsstadium zu beachten sind, betreffen die Wanddicken und Wandfestigkeiten. Im Allgemeinen sind die in Tab. 8.13 zusammengestellten Mindestwerte einzuhalten. Diese Tabelle gibt jedoch nur einen Überblick. Einzelheiten sind den Zulassungsbescheiden der Hersteller zu entnehmen.

Die Zulassungen geben die Ausführung der Wand, in die eine Feuerschutztür oder ein Feuerschutztor eingebaut wird, sowie die Befestigung der Zarge vor. Die Türen dür-

Bauart des Abschlusses	Mindestdicke d [mm]	
	Türöffnung $\leq b \times h = 3.000 \text{ mm} \times 3.000 \text{ mm}$	Türöffnung $\leq b \times h = 8.500 \text{ mm} \times 6.000 \text{ mm}$
T 30-1 (einflügelig)	150	240
T 30-2 (zweiflügelig)	175	240
T 90-1 (einflügelig)	200	240
T 90-2 (zweiflügelig)	240	240

Tab. 8.13: Beispiele für Mindestdicken d von Porenbetonwänden der Festigkeitsklasse ≥ 4 mit Feuerschutzabschlüssen nach DIN V 4165-100 [74] oder DIN EN 771-4 [60] in Verbindung mit DIN V 20000-404 [99]

fen die im Zulassungsbescheid angegebenen Baurichtmaße weder über- noch unterschreiten. Das Baurichtmaß, das lichte Durchgangsmaß und das Zargenaußenmaß werden entsprechend Abb. 8.3 ermittelt [17].

8.2.4 W-klassifizierte Wände

Nicht tragende Außenwände, welche Ausfachungswände oder Brüstungen sind, werden gemäß DIN 4102-3 [69.3] geprüft und in die Feuerwiderstandsklassen W 30 bis W 180 eingestuft. Die brandschutztechnischen Anforderungen an nicht tragende Außenwände sind geringer als an nicht tragende Innenwände. Daher können ohne weiteren Nachweis die Angaben der F-klassifizierten nicht tragenden Wände auf die W-klassifizierten nicht tragenden Außenwände übertragen werden. Für tragende Außenwände gelten die Anforderungen an F-klassifizierte Wände in Abhängigkeit von ihrer raumabschließenden Funktion.

8.2.5 Brandwände

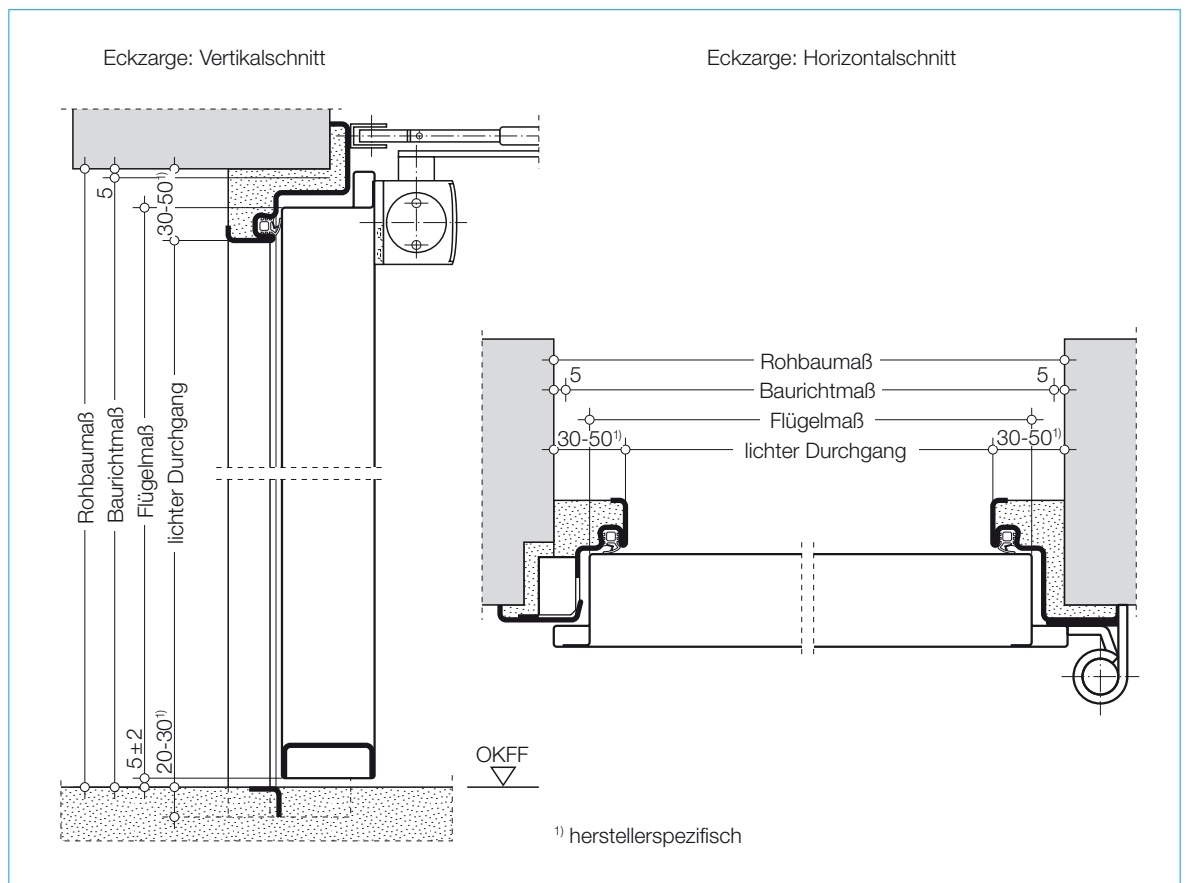
Im Sinne des Baurechts und gemäß DIN 4102 sind Brandwände von F-klassifizierten Wänden zu unterscheiden. Um im Falle eines Brandes die Brandaus-

breitung auf bestimmte Bereiche zu begrenzen, den Erhalt notwendiger Rettungswege sicherzustellen und die Ausbreitung auf andere Gebäude oder Brandabschnitte zu verhindern, werden Brandwände nach der Musterbauordnung an besonderen Stellen eines Gebäudes gefordert:

- Zum Abschluss eines Gebäudes zur Grundstücksgrenze hin
- Zur Trennung von aneinander gereihten Gebäuden
- Zur Unterteilung ausgedehnter Gebäude im Abstand von 40 m

Brandwände bestehen aus nicht brennbaren Baustoffen und entsprechen mindestens der Feuerwiderstandsklasse F 90. Darüber hinaus ertragen sie eine dreimalige Stoßbeanspruchung von 3.000 Nm, wobei die Standfestigkeit und der Raumabschluss gewahrt bleiben. Den Tab. 8.14 und 8.15 können die zulässigen Schlankheiten von Brandwänden aus Mauerwerk sowie die Mindestdicken von bewehrten Wandtafeln entnommen werden. Seitliche und obere Anschlüsse von Mauerwerkswänden aus Porenbeton an angrenzende Massivbauteile, die den Brandwand-Anforderungen der DIN 4102-4 genügen, zeigen die Abb. 8.4 bis 8.10.

Abb. 8.3: Baurichtmaß, lichte Durchgangsmaß und Zargenaußenmaß [17]



Produkt	Rohdichte- klasse	Stoßfugen- ausbildung	Mindestdicke d mm		Zulässige Schlankheit h_s/d -
			Einschalige Ausführung	Zweischalige Ausführung	
Porenbetonsteine gemäß DIN V 4165-100, allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung oder DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN V 20000-404	$\geq 0,55$	Alle gemäß DIN 1053	300	2×240	Bemessung gemäß DIN 1053-1 ³⁾
	$\geq 0,55$	Vermörtelt, auch bei Nut und Feder	240	2×175	
	$\geq 0,40$	Nut und Feder unvermörtelt ¹⁾	300	2×240	
	$\geq 0,40$	Glatt vermörtelt ²⁾	240	2×175	
Porenbeton-Planelemente gemäß DIN V 4165-100, allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung oder DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN V 20000-404	$\geq 0,55$	Vermörtelt, auch bei Nut und Feder	240	2×175	
Unbewehrte Wandtafeln gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Mauertafeln gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung	$\geq 0,40$	Unvermörtelt	300	2×240	

¹⁾ Bei Verwendung von Dünnbettmörtel und Plansteinen ohne Stoßfugenvermörtelung

²⁾ Mit Ringanker

³⁾ Exzentrizität $e \leq d/3$

Tab. 8.14: Zulässige Schlankheit h_s/d und Mindestdicke d von ein- und zweischaligen Brandwänden aus Porenbetonmauerwerk (einseitige Brandbeanspruchung) gemäß DIN 4102-4 [69.4] oder allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

Produkt	Rohdichte- klasse	Mindestdicke d mm		Mindestachs- abstand der Längs- bewehrung u mm	Zulässige Schlankheit h_s/d -
		Einschalige Ausführung	Zweischalige Ausführung		
Wandtafeln, unbewehrt	$\geq 0,55$	240	2×175	-	Bemessung gemäß allgemeiner bauaufsicht- licher Zulassung
	$\geq 0,40$	300	2×240	-	
Wandtafeln, bewehrt (Festigkeitsklasse 4,4)	$\geq 0,65$	200 ¹⁾	2×200 ¹⁾	20 ¹⁾	

¹⁾ Sofern infolge hohen Ausnutzungsfaktors nach DIN 4102-4 Tabelle 44 keine größeren Werte gefordert werden.

Tab. 8.15: Zulässige Schlankheit h_s/d , Mindestdicke d und Mindestachsabstand u von ein- und zweischaligen Brandwänden aus tragenden, stehend angeordneten Porenbeton-Wandtafeln W (einseitige Brandbeanspruchung) gemäß DIN 4102-4 [69.4] oder allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

Horizontalschnitt

Stumpfstoßanschluss mit vollfugiger Vermörtelung gemäß DIN 1053-1

Zulässig für folgende F-klassifizierte Wände:

- tragend
- nicht tragend

Zulässig für folgende Brandwände:

- mit statisch erforderlichem Anschluss
- mit statisch nicht erforderlichem Anschluss

Abb. 8.4: Seitlicher Anschluss von Mauerwerkswänden aus Porenbeton

Abb. 8.5: Seitlicher Anschluss von Mauerwerkswänden aus Porenbeton

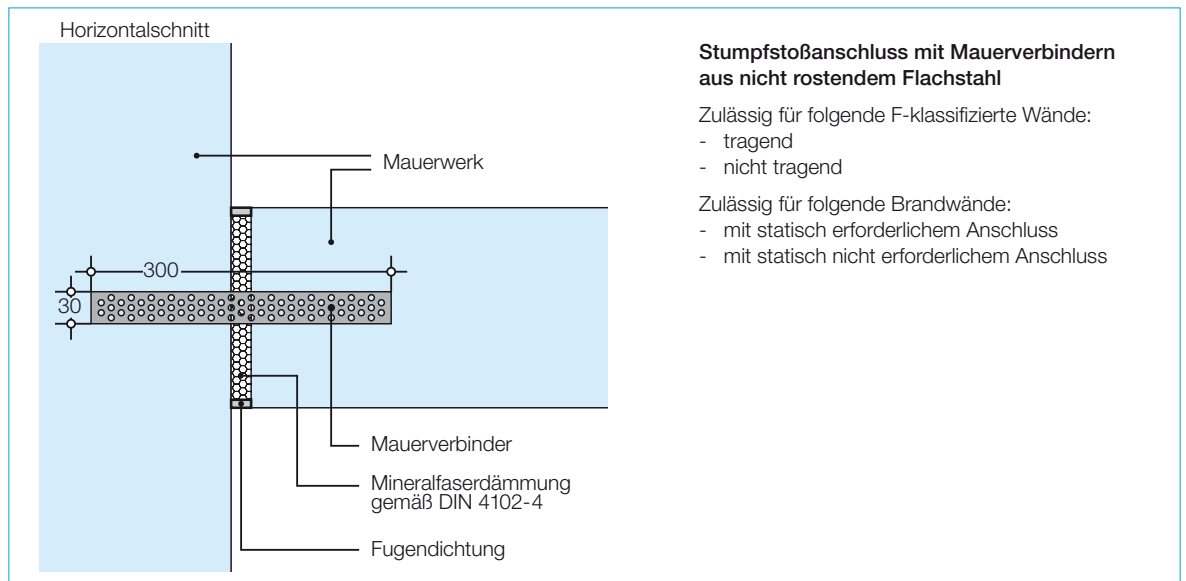


Abb. 8.6: Seitlicher Anschluss von Mauerwerkswänden aus Porenbeton

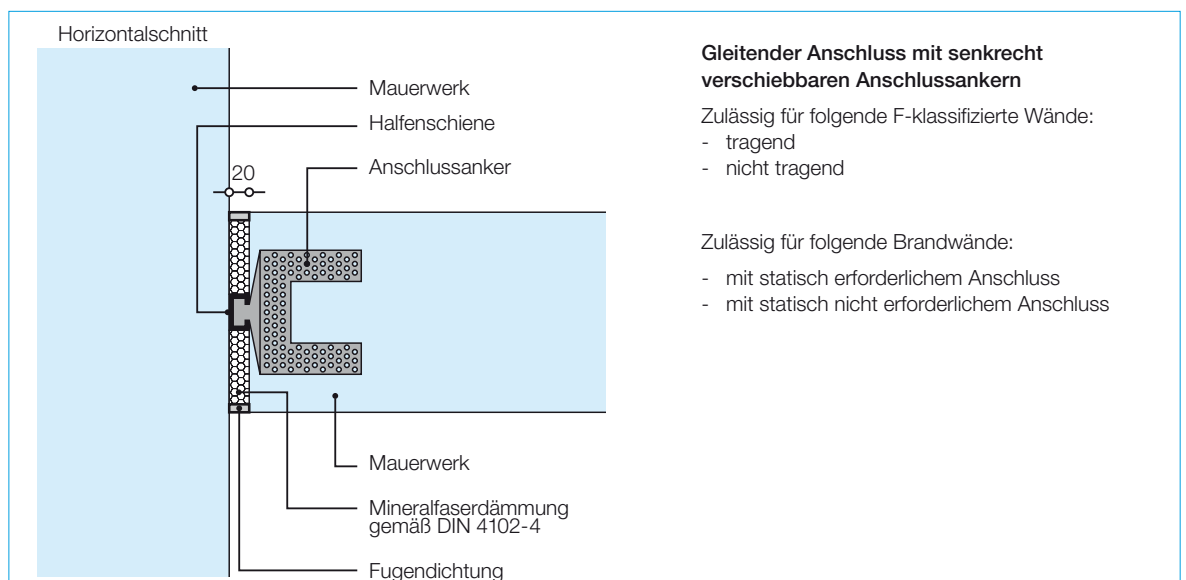
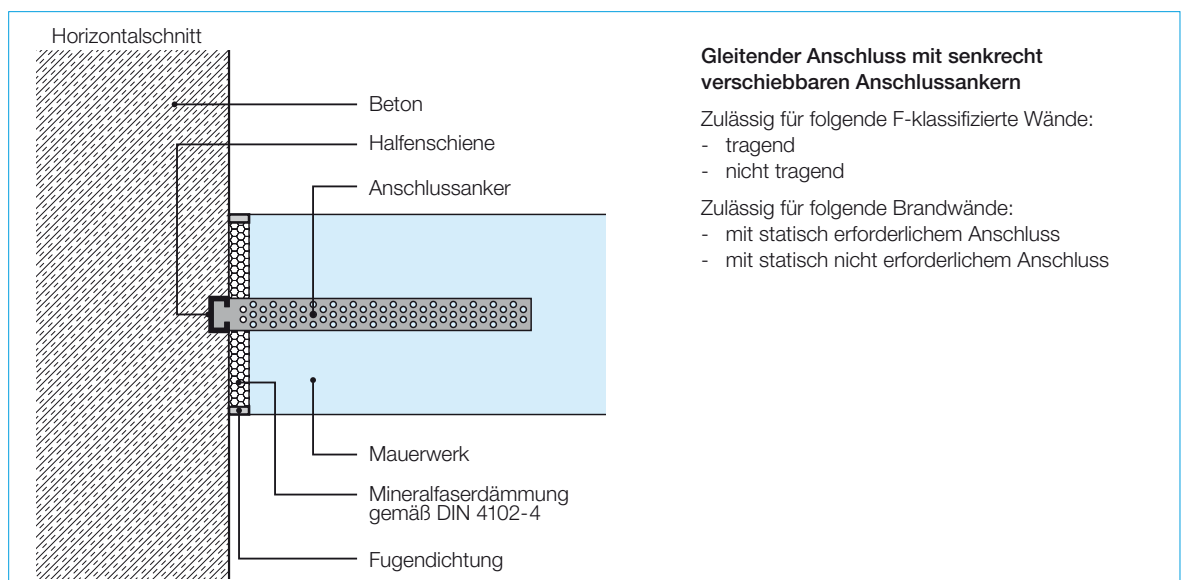


Abb. 8.7: Seitlicher Anschluss von Mauerwerkswänden aus Porenbeton



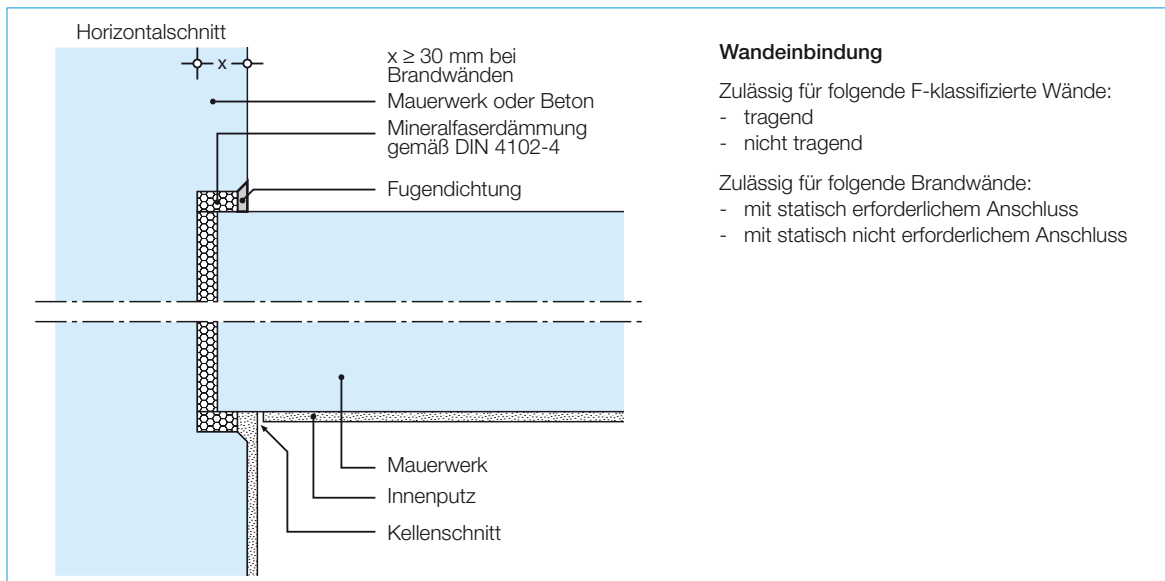


Abb. 8.8: Seitlicher Anschluss von Mauerwerkswänden aus Porenbeton

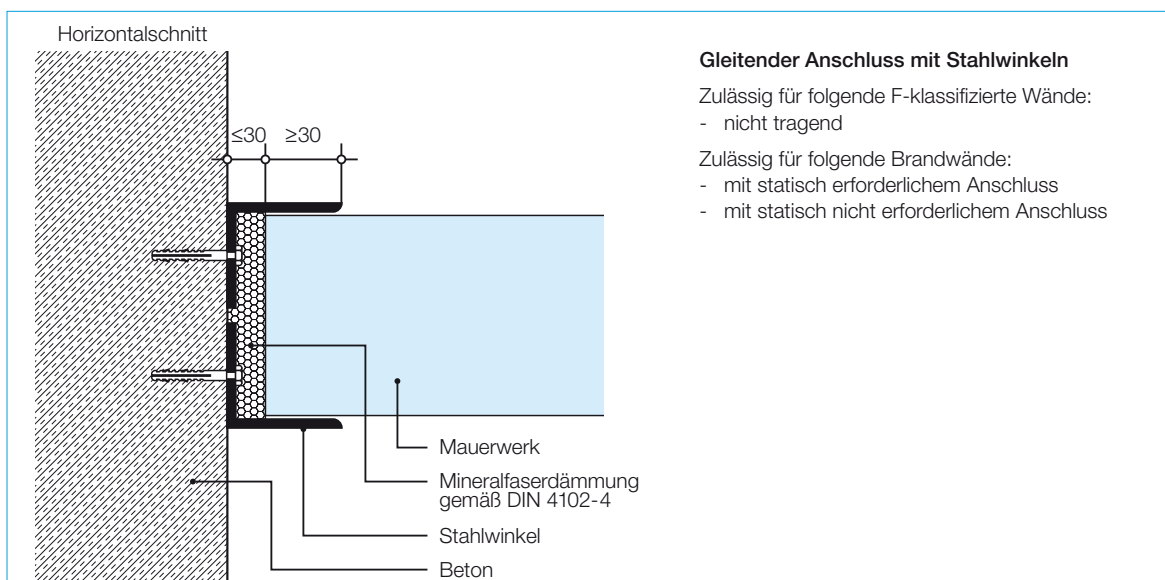


Abb. 8.9: Seitlicher Anschluss von Mauerwerkswänden aus Porenbeton

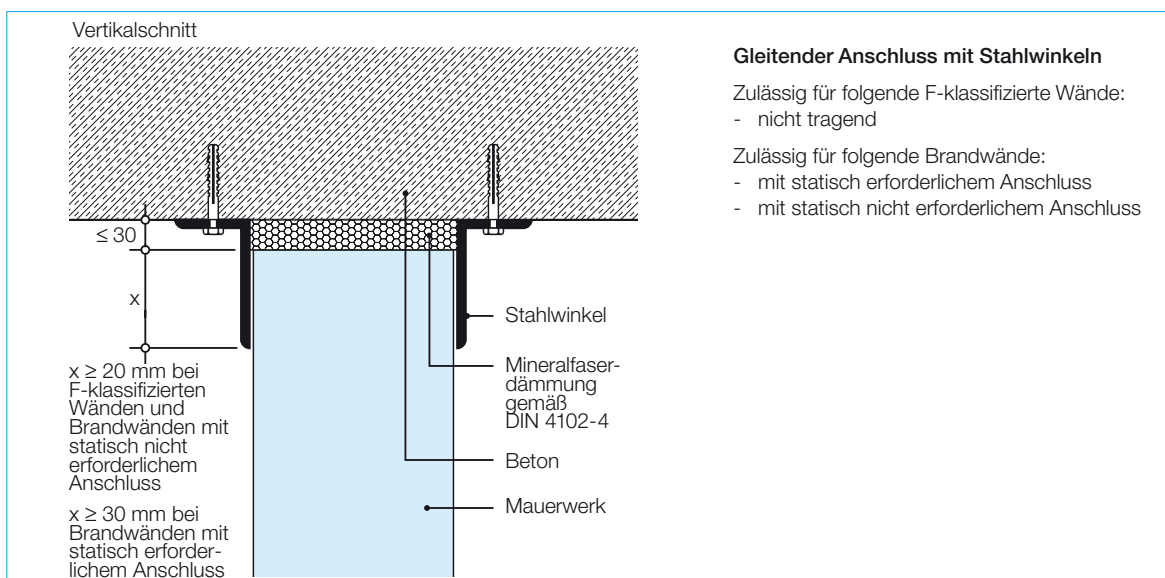


Abb. 8.10: Oberer Anschluss von Mauerwerkswänden aus Porenbeton

8.2.6 Komplextrennwände

Der Begriff „Komplextrennwand“ ist weder bauaufsichtlich noch durch Normen erfasst. Es handelt sich um einen Begriff, der aus versicherungstechnischen Gründen geprägt wurde. Von Feuerversicherern werden Komplextrennwände zur Abgrenzung bestimmter Produktionsbereiche oder zur Eingrenzung von besonderen Brandrisiken gefordert. Komplextrennwände entsprechen der Feuerwiderstandsklasse F 180 und widerstehen gegenüber Brandwänden einer erhöhten dreimaligen Stoßbeanspruchung von 4.000 Nm. Angaben zu brandschutztechnischen Einzelheiten von Komplextrennwänden aus Porenbetonmauerwerk enthält Tab. 8.16, Angaben zu Komplextrennwänden aus Wandtafeln finden sich in Tab. 8.17.

Durch gezielte Maßnahmen des baulichen Brandschutzes können z. B. bei Industriegebäuden mit risikobehafteten Bereichen Kosteneinsparungen durch geringere Versicherungsprämien erzielt werden. Anfangs höhere Investitionskosten für die Erstellung von Komplextrennwänden amortisieren sich somit in kurzer Zeit.

Die Praxis zeigt, dass die Verwendung von Porenbeton im Wand- und Deckenbereich sowie als Abschottung über die bauaufsichtlichen Anforderungen hinaus, z. B. als Komplextrennwand, von den Versicherern positiv bewertet und durch Prämieneinsparung belohnt wird. In erster Linie hängt die Prämienfestlegung von anderen Faktoren ab wie Nutzung, Lage, Ausstattung usw. Der bauliche Brandschutz selbst ist nur ein Aspekt von vielen. Für ein und dasselbe Objekt ergeben sich je nach Gewichtung der einzelnen Einflussgrößen unterschiedlich hohe Feuerversicherungsprämien.

Tab. 8.16: Zulässige Schlankheit h_s/d und Mindestdicke d von ein- und zweischaligen Komplextrennwänden aus Porenbetonmauerwerk¹⁾ (Steifigkeitsklassen 4 und 6, Rohdichteklasse $\geq 0,55$)

Produkt	Stoßfugenausbildung	Mindestdicke d mm		Zulässige Schlankheit h_s/d -
		Einschalige Ausführung	Zweischalige Ausführung	
Porenbeton-Plansteine gemäß DIN V 4165-100 oder DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN V 20000-404	Dünnbettmörtel in Stoß- und Lagerfugen, Nut ausgespart	365 ²⁾	$2 \times 240^{2)}$	Bemessung gemäß DIN 1053-1
Porenbeton-Planelemente gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung	Dünnbettmörtel in Stoß- und Lagerfugen	365	2×240	Bemessung gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

¹⁾ Mit konstruktiver oberer Halterung

²⁾ Die Mindestdicken gelten auch für unbewehrte Wandtafeln und Mauertafeln gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

Tab. 8.17: Zulässige Schlankheit h_s/d , Mindestdicke d und Mindestachsabstand u von ein- und zweischaligen Komplextrennwänden aus tragenden, stehend angeordneten Porenbeton-Wandtafeln (Festigkeitsklasse P 4,4, Rohdichteklasse $\geq 0,6$)

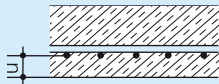
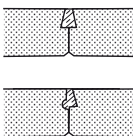
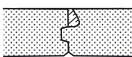
Ausnutzungsfaktor ¹⁾	Mindestdicke d mm		Mindestachsabstand der Längsbewehrung u mm	Zulässige Schlankheit h_s/d -
	Einschalige Ausführung	Zweischalige Ausführung		
$\alpha_4 = 0,5$	240	2×200	50	Bemessung gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung
$\alpha_4 = 1,0$	300	2×200	60	

¹⁾ Der Ausnutzungsfaktor α_4 beschreibt das Verhältnis der vorhandenen Beanspruchung zur zulässigen Beanspruchung gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

8.3 Decken und Dächer

Decken aus Porenbeton-Deckenplatten und Dächer aus Porenbeton-Dachplatten werden in Bezug auf ihre brandschutztechnische Bemessung ebenfalls Feuerwiderstandsklassen zugeordnet, die den Zulassungsbescheiden des Deutschen Instituts für Bautechnik entsprechen. DIN 4102-4 bzw. der Tab. 8.18 ist zu entnehmen, dass Decken- und Dachplatten bereits ab einer üblichen Dicke von 100 mm und entsprechender Bewehrungsüberdeckung für die Feuerwiderstands-

klasse 120 geeignet sind. Auf der Außenseite einer Dachplatte können zusätzliche Wärmedämmschichten und beliebige Abdichtungsschichten aufgebracht werden, ohne dass die Feuerwiderstandsklasse verändert wird. Durch einen unterseitig aufgetragenen Putz kann die Feuerwiderstandsdauer von Decken und Dächern erhöht werden (Tab. 8.19). Die Mindestauflagertiefen von Porenbetonplatten sind vom Material der Unterkonstruktion und von der Feuerwiderstandsklasse abhängig (Tab. 8.20).

Konstruktionsmerkmale 	Mindestdicke d [mm] für die Feuerwiderstandsklassen- Benennung					Mindestachsabstand u [mm] für die Feuerwiderstandsklassen- Benennung								
	F 30	F 60	F 90	F 120	F 180	F 30	F 60	F 90	F 120	F 180				
Unbekleidete Porenbetonplatten, unabhängig von der Anordnung eines Estrichs bei Fugen gemäß DIN 4223														
	75	75	75	100	125	10	20	30	40	55 ¹⁾				
														
														
	75	75	100	125	150									
Bekleidete Porenbetonplatten														
Mit Putz gemäß DIN 4102-4	Abminderungen nach Tab. 8.19 sind möglich, d jedoch nicht kleiner als					Abminderungen nach Tab. 8.19 sind möglich, u jedoch nicht kleiner als 10 mm								
	50	50	75	100	125									
Mit Unterdecken, Konstruktion gemäß DIN 4102-4	50					10								

¹⁾ Bei einer Betondeckung $c > 50$ mm ist eine Schutzbewehrung gemäß DIN 4102-4 erforderlich

Putzart	Erforderliche Putzdicke als Ersatz für 10 mm Porenbeton mm	Maximal zulässige Putzdicke mm
Putz ohne Putzträger gemäß DIN 4102-4 bei ausreichender Haftung bei Putzmörtel der Gruppen P II und P IVc DIN 18550-2	18	20
Putz ohne Putzträger gemäß DIN 4102-4 bei ausreichender Haftung bei Putzmörtel der Gruppen P IVa und P IVb DIN 18550-2	12	25
Putz mit Putzträger gemäß DIN 4102-4 bei Putzmörtel der Gruppen P II und P IVa bis P IVc DIN 18550-2	10	25 ¹⁾
Vermiculite- oder Perlite-Putz gemäß DIN 4102-4 ²⁾	6	30 ¹⁾

¹⁾ Bemessen über Putzträger

²⁾ Anstelle der in DIN 4102-4 angegebenen Vermiculite- oder Perlite-Putze auf Putzträger können auch Vermiculite- oder Mineralfaser-Spritzputze mit gültigem Zulassungsbescheid des DIBt ohne Putzträger verwendet werden

Tab. 8.18: Mindestdicke d und Mindestachsabstand u der Bewehrung von Porenbeton-Deckenplatten und Porenbeton-Dachplatten

Tab. 8.19: Putzdicke als Ersatz für den Achsabstand u oder die Plattendicke d (zu Tab. 8.18)

Tab. 8.20: Mindestauflagertiefen von Decken- und Dachplatten aus Porenbeton aus brand-schutztechnischer Sicht¹⁾

Unterkonstruktion	Mindestauflagertiefe mm				
	F 30	F 60	F 90	F 120	F 180
Holzbalken	50	80	110	– ²⁾	– ²⁾
Stahlträger, Stahlbeton- oder Spannbetonbauteile	50				
Mauerwerk	70				

¹⁾ Für die Auflagertiefe und die Ausbildung der Bewehrung im Auflagerbereich sind im Übrigen DIN 4223 und die Bestimmungen der jeweils gültigen Zulassungsbescheide zu beachten.

²⁾ Für F 120- und F 180-Holzbalken gibt es keine Klassifizierungen.

8.4 Bekleidungen aus Porenbeton

Durch fachgerecht ausgeführte Bekleidungen kann bei ausreichender Befestigung und unter Berücksichtigung brandschutztechnischer Gesichtspunkte die Feuerwiderstandsdauer eines Bauteils erheblich verbessert werden. Die Verlängerung der Feuerwiderstandsdauer hängt u. a. von folgenden Einflüssen ab:

- Baustoff, der bekleidet wird
- Bekleidungsdicke
- Art der Bekleidungsbefestigung (z. B. Anschlussart, Auflager, Halterung, Verbindungsmittel, Spannweite)

Folgende Bekleidungsarten werden unterschieden:

- Putzbekleidungen
- Vorsatzschalen
- Unterdecken

Vorsatzschalen sind z. B. Bekleidungen von Stahlstützen aus Porenbetonmauerwerk. Sie werden im Verband errichtet und entsprechen in DIN 4102-4 festgelegten Mindestdicken (Tab. 8.21).

Tab. 8.21: Mindestbekleidungsdicke von Stahlstützen in mm ($U/A \leq 300 \text{ m}^{-1}$) mit einer Bekleidung aus Porenbeton-Plansteinen, Porenbeton-Planbauplatten oder bewehrtem Porenbeton

Bekleidungsart	Feuerwiderstandsklasse ¹⁾				
	F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A	F 180-A
Bewehrter Porenbeton gemäß DIN 4223	50 (30)	50 (30)	50 (40)	60 (50)	75 (60)
Porenbeton-Plansteine gemäß DIN V 4165-100, allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung oder DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN V 20000-404	50 (50)	50 (50)	50 (50)	50 (50)	70 (50)
Porenbeton-Planelemente gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung					
Porenbeton-Planbauplatten gemäß DIN 4166					

¹⁾ 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.

KONSTRUKTIONEN

9

9.1 Übersicht

Porenbeton besitzt sowohl hohe Festigkeiten als auch gute Wärmedämm- und Brandschutzeigenschaften. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, auf Baustoffkombinationen und mehrschichtige Bauweisen weitgehend zu verzichten. Ausführungsfehler, wie sie häufig beim Zusammenfügen unterschiedlicher Baustoffe in einem Bauteil entstehen, können dadurch vermieden werden.

Beispielhaft werden in diesem Kapitel Konstruktionsdetails gezeigt. Sie umfassen folgende Bauteile:

- Wände aus Porenbetonmauerwerk und Porenbeton-Wandtafeln
- Flachdächer aus Porenbeton-Dachplatten
- Geneigte Dächer aus Porenbeton-Dachplatten
- Decken aus Porenbeton-Deckenplatten

Über diese Beispiele hinaus sind viele weitere Lösungen möglich und gebräuchlich, die sich teilweise auch an regionalen Traditionen orientieren können.

9.2 Wände aus Porenbetonmauerwerk und Porenbeton-Wandtafeln

Zunächst werden die unterschiedlichen Aufbaumöglichkeiten von Außenwänden gezeigt (Abb. 9.1). In Ergänzung dazu finden sich Vorschläge zum Aufbau von Haustrennwänden, Innenwänden und Wänden mit Vorsatzschalen (Abb. 9.2). Weiterhin sind Konstruktionen einschaliger Außenwände (Abb. 9.3 bis 9.12) und zweischaliger Außenwände (Abb. 9.13 bis 9.15) dargestellt. Es folgen die Darstellungen einer Keller-Außenwand mit Fenster (Abb. 9.16) und zweischaliger Haustrennwände (Abb. 9.17 bis 9.22). Daran schließen sich untere, seitliche und obere Anschlussmöglichkeiten von Wänden an (Abb. 9.23 bis 9.28) sowie die Ausführung von Stumpfstoßanschlüssen (Abb. 9.29 und 9.30). Mit Konstruktionsvorschlägen zur Fachwerkausmauerung (Abb. 9.31 und 9.32) und zum Einbau von Feuer-schutztüren (Abb. 9.33 bis 9.35) endet dieser Abschnitt. Außenwanddetails in Verbindung mit Dachanschlüssen (Traufe beim geneigten Dach und Attika beim Flachdach) enthalten die Abschnitte 9.3 und 9.4.

Abb. 9.1: Außenwand-
Aufbauten aus Poren-
betonmauerwerk

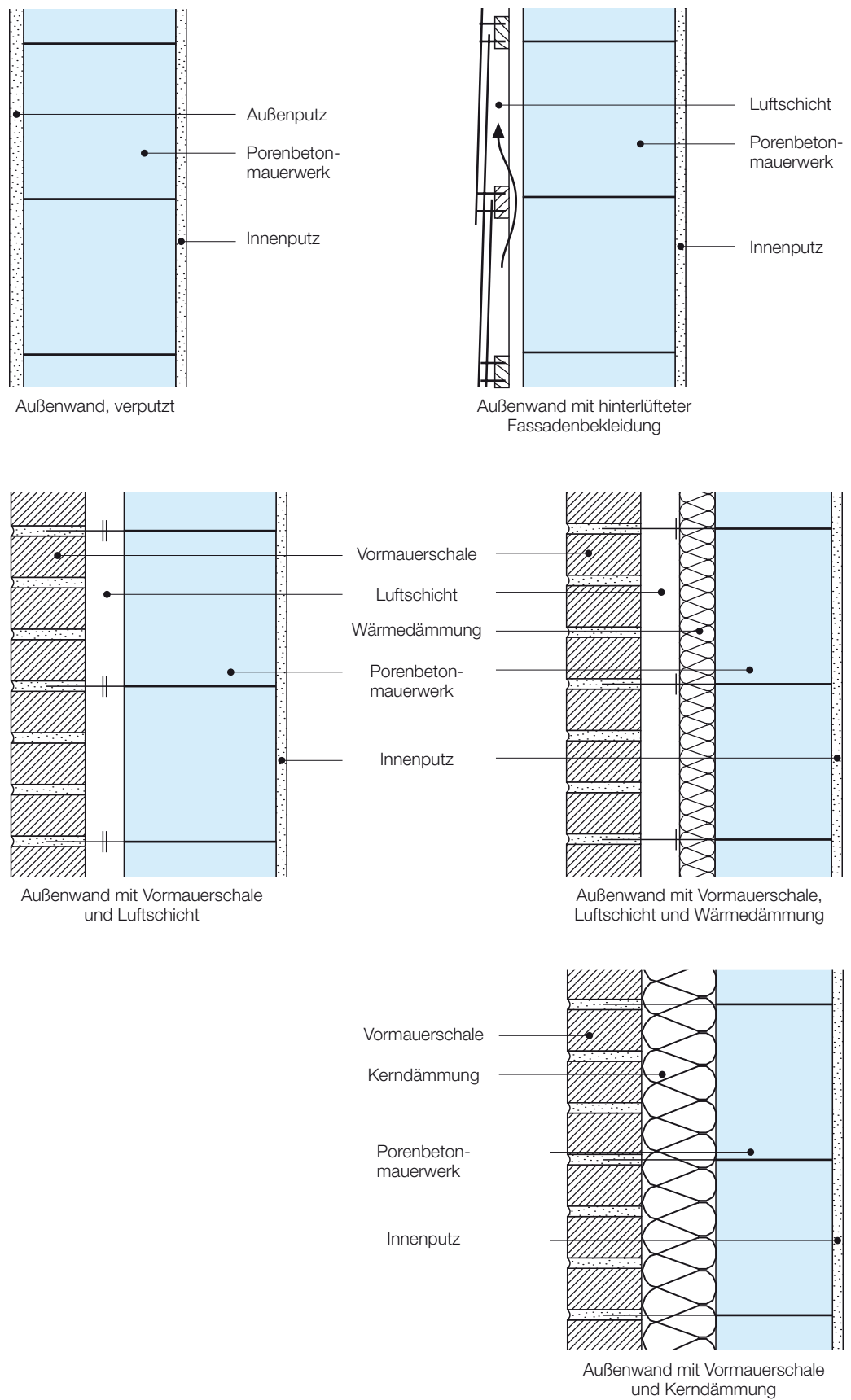


Abb. 9.2: Weitere
Wandaufbauten
aus Porenbeton-
mauerwerk

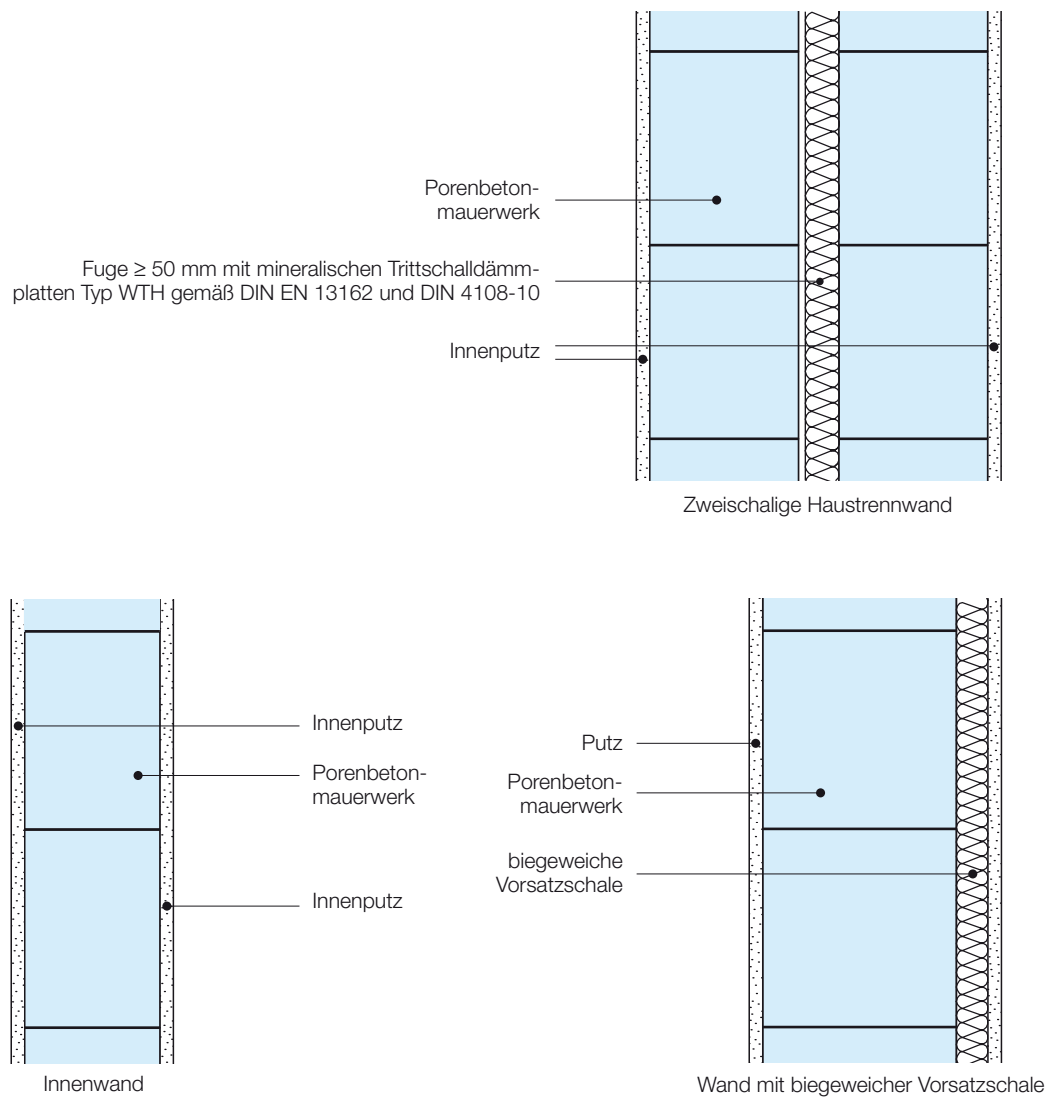


Abb. 9.3: Abdichtung am Boden-Wand-Anschluss gegen Bodenfeuchte bei stark durchlässigem Boden

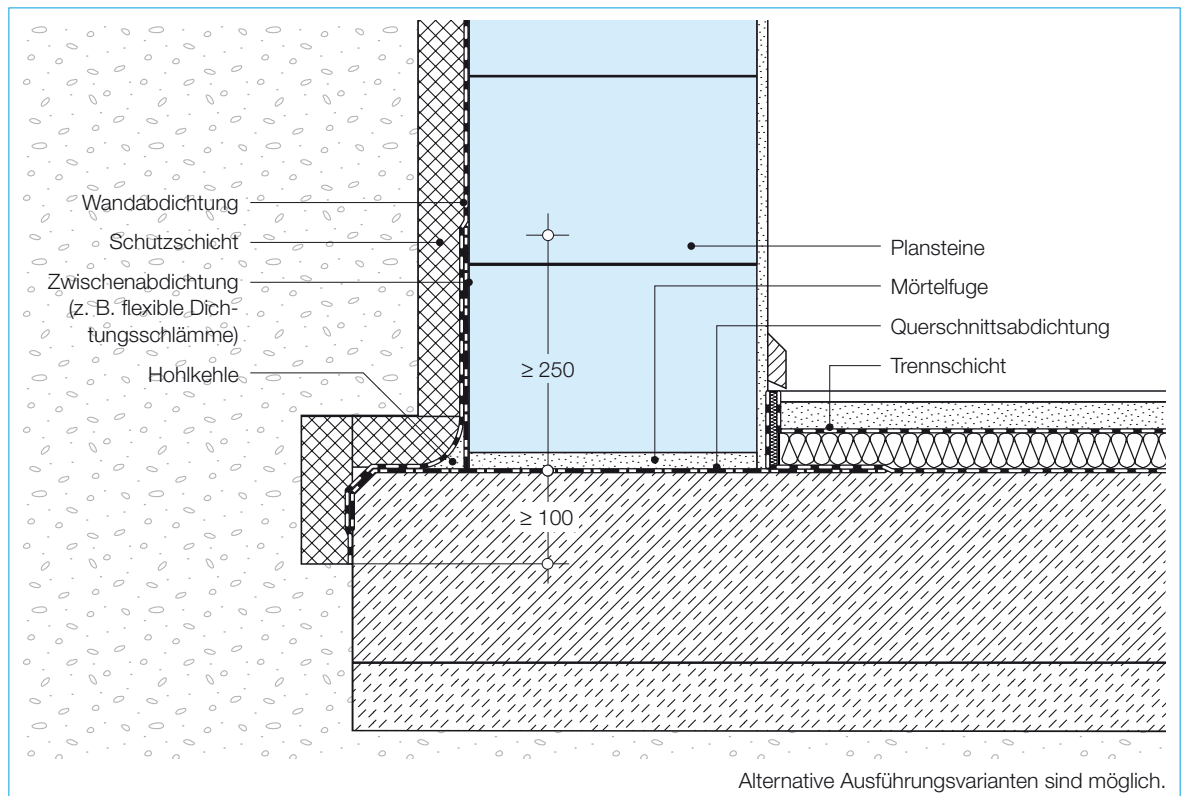
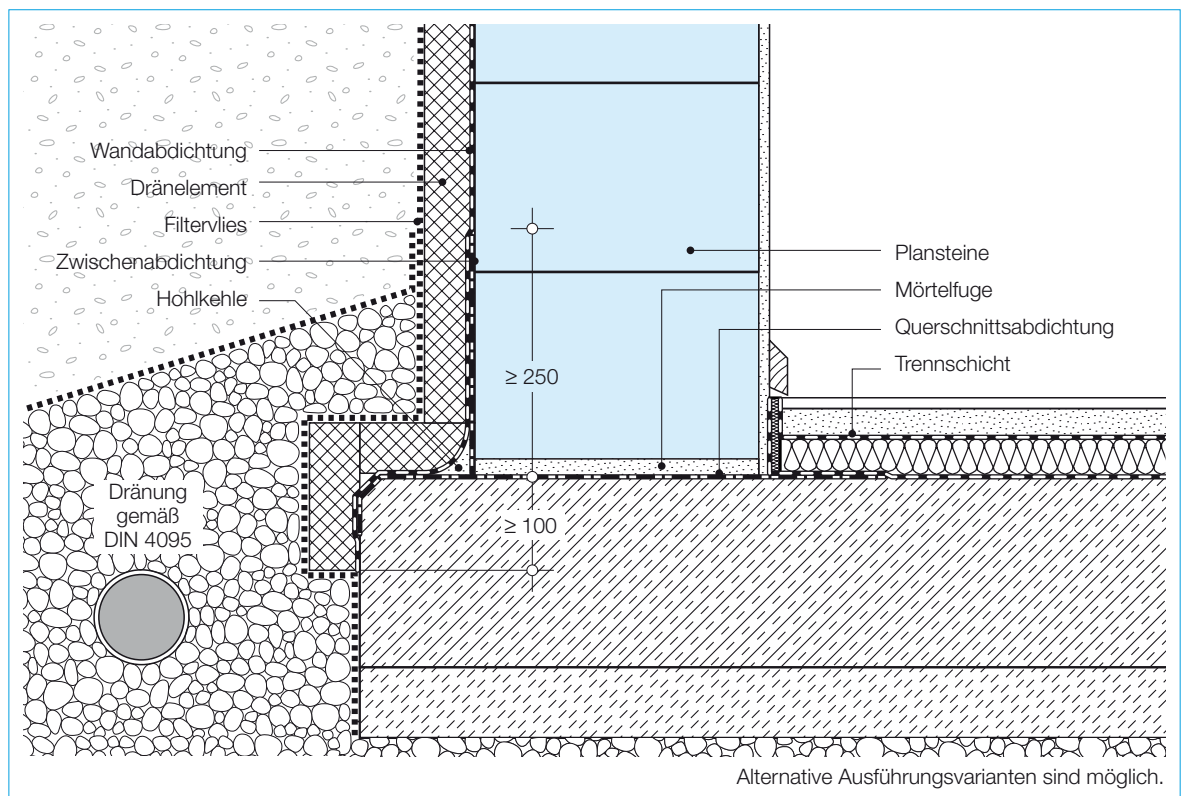


Abb. 9.4: Abdichtung am Boden-Wand-Anschluss gegen Bodenfeuchte bei wenig durchlässigem Boden mit Dränung



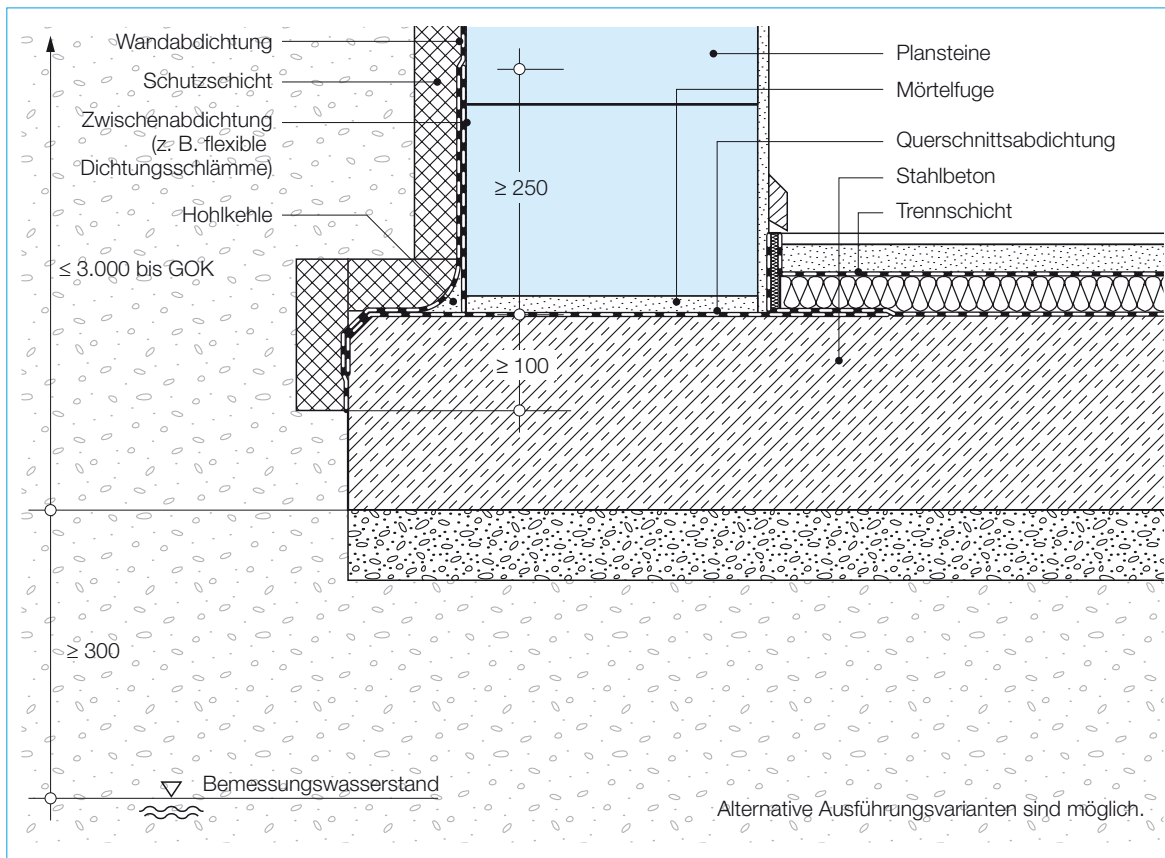


Abb. 9.5: Abdichtung am Boden-Wand-Anschluss gegen aufstauendes Sickerwasser

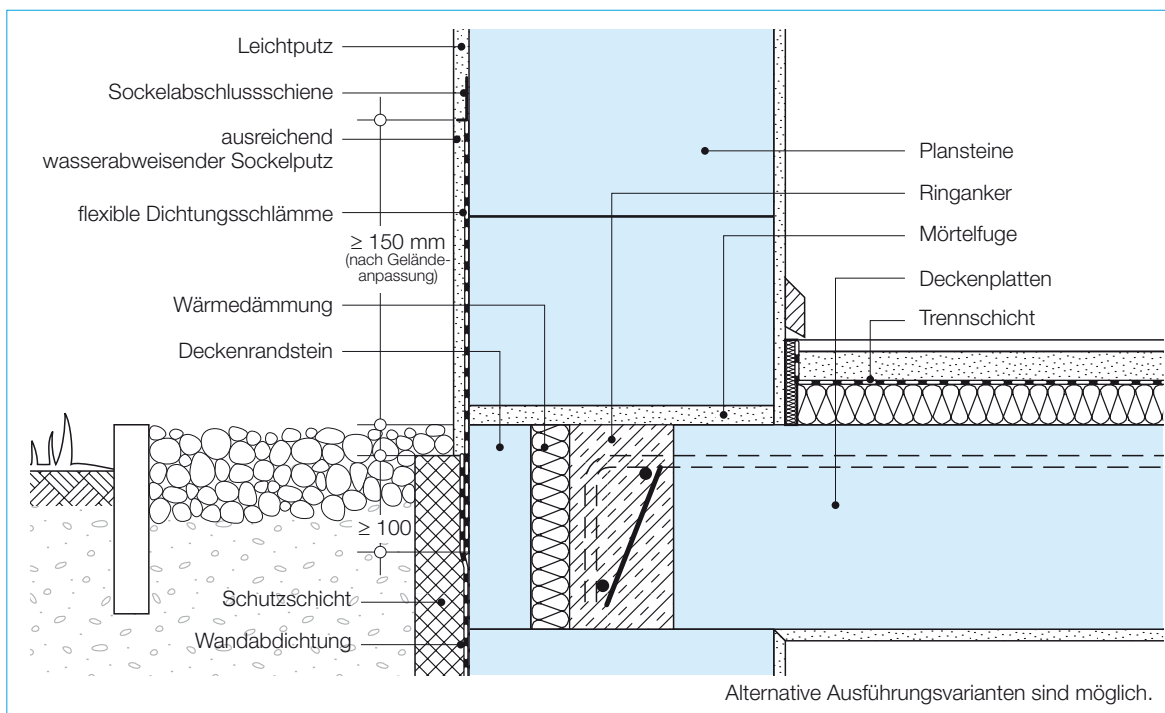
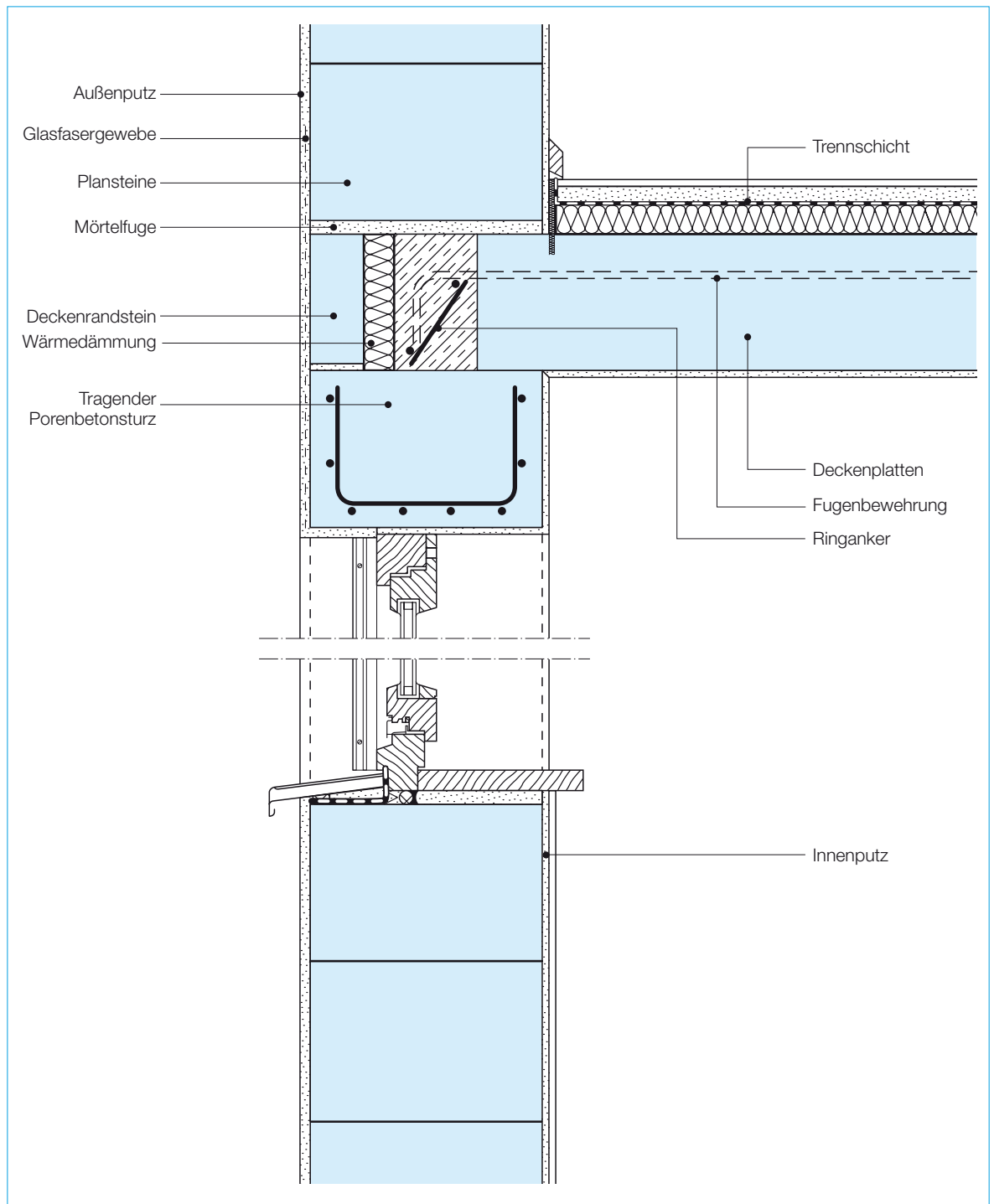


Abb. 9.6: Abdichtung im Sockelbereich eines einschaligen Mauerwerks

Abb. 9.7: Einschalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk mit Geschossdeckenanschluss (Porenbeton-Deckenplatten) und tragendem Porenbeton-Fertigsturz



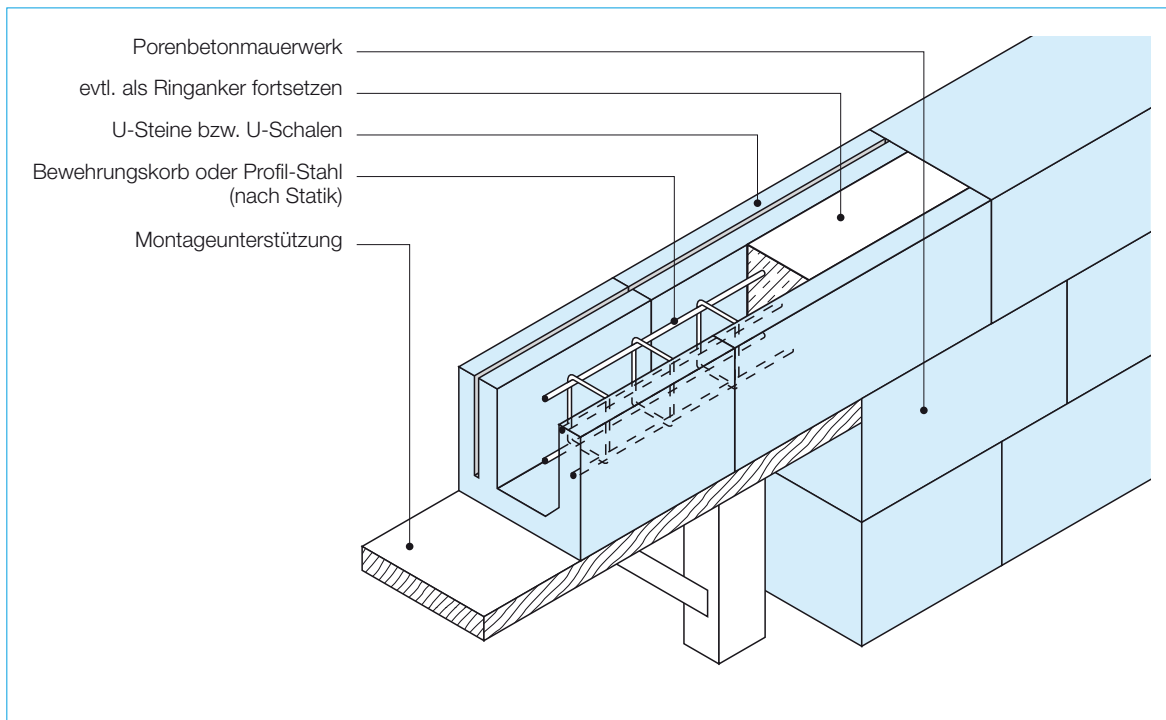


Abb. 9.8: Sturzausbildung mit Porenbeton-U-Steinen bzw. Porenbeton-U-Schalen

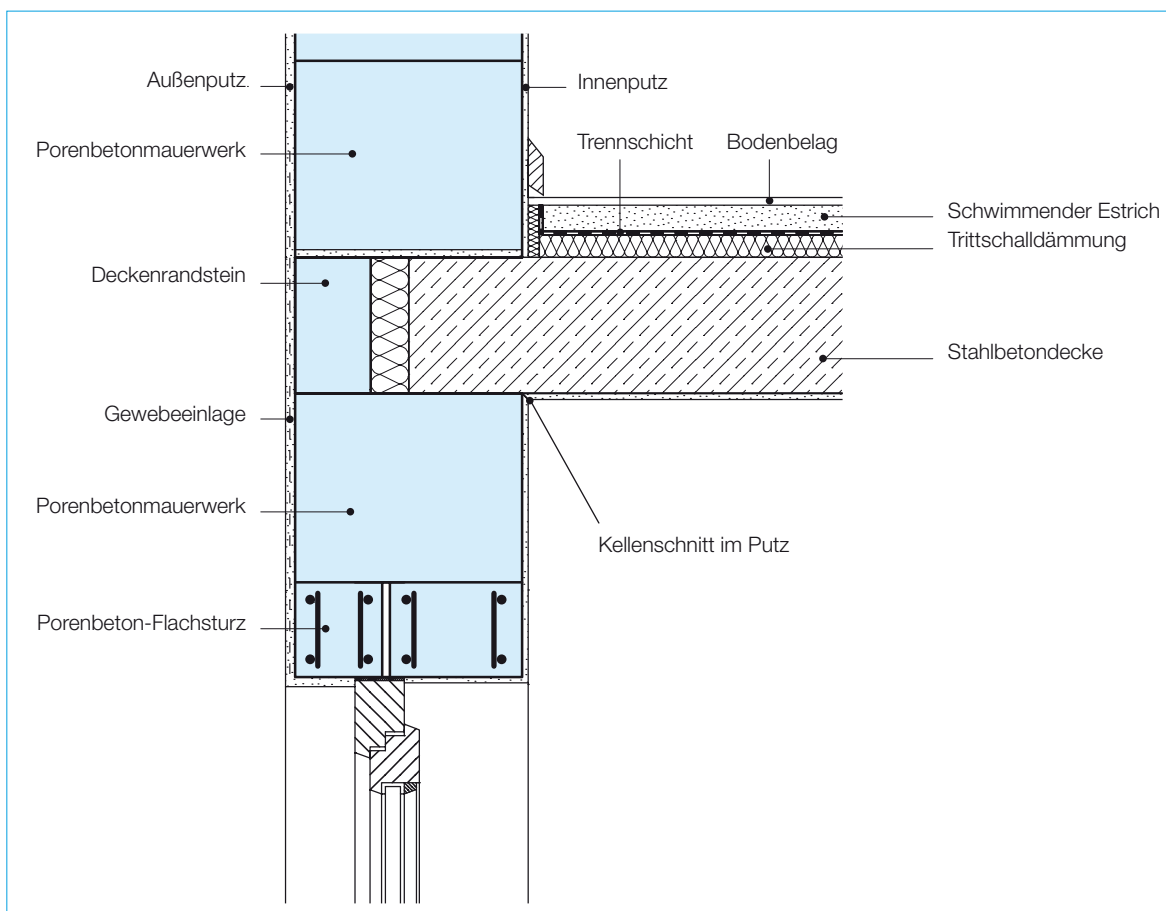


Abb. 9.9: Einschalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk mit Stahlbeton-Geschossdeckenanschluss und Porenbeton-Flachsturz

Abb. 9.10: Einschalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk mit Geschossdeckenanschluss (Porenbeton-Deckenplatten) und nicht tragendem Rollladenkasten

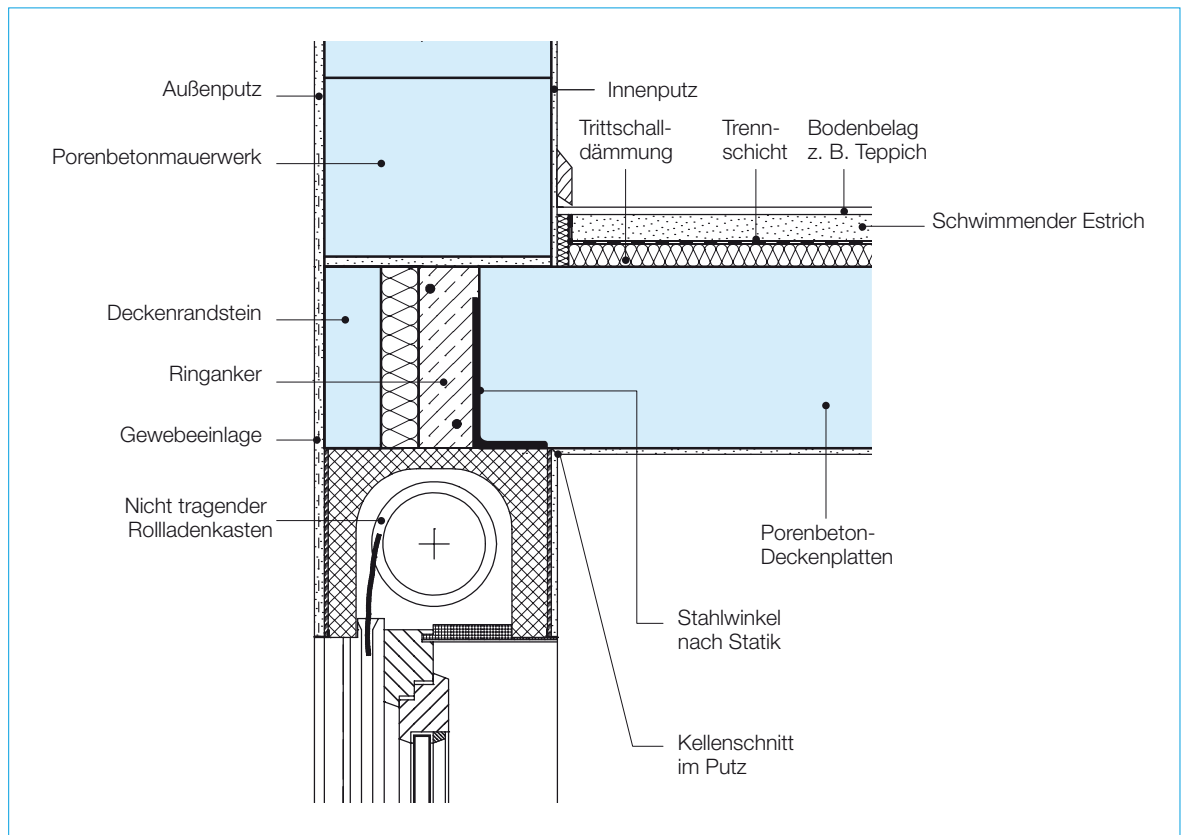
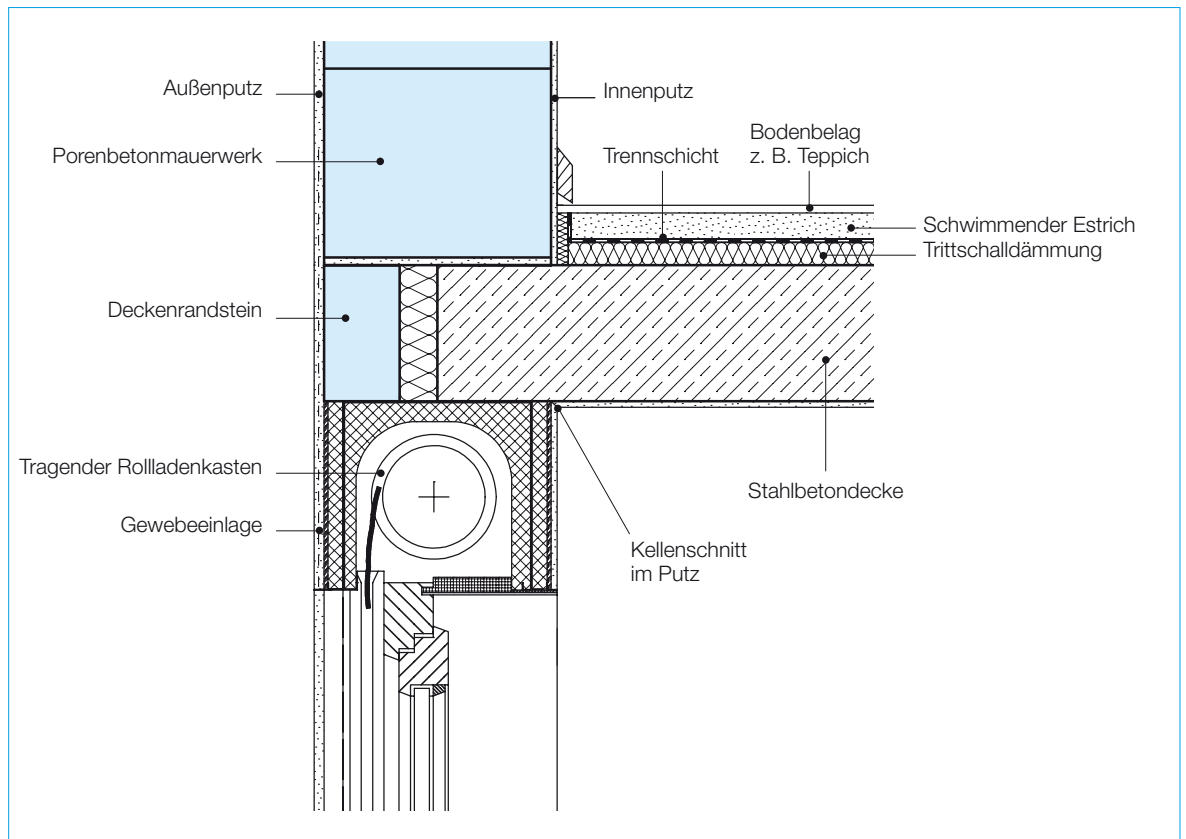


Abb. 9.11: Einschalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk mit Stahlbeton-Geschossdeckenanschluss und tragendem Rollladenkasten



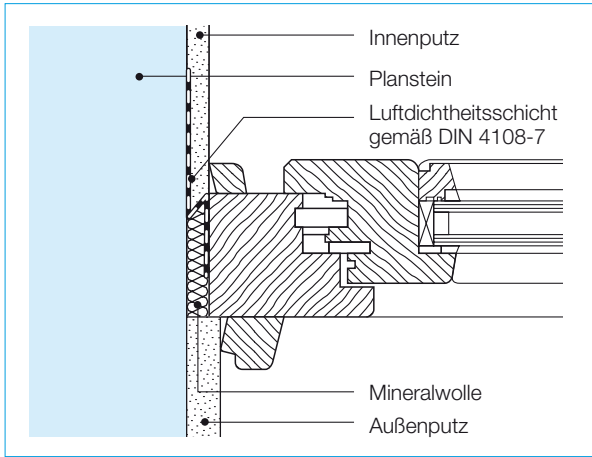


Abb. 9.12: Einschalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk, Fensterlaibung ohne Anschlag

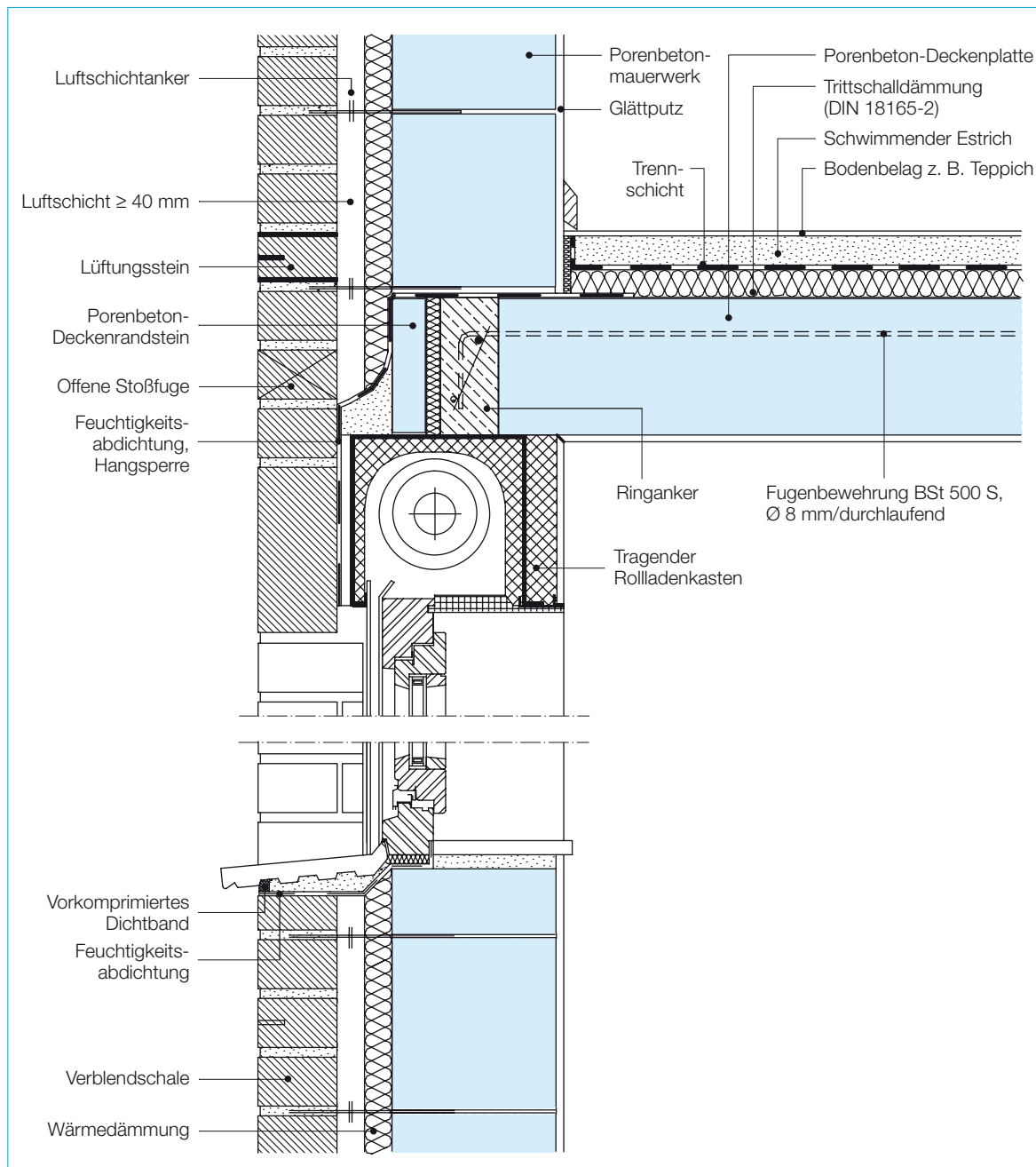


Abb. 9.13: Zwei-
schalige Außenwand
(mit Wärmedämmung
und Luftschicht) mit
Geschossdeckenan-
schluss (Porenbeton-
Deckenplatten) und
tragendem Rolladen-
kasten

Abb. 9.14: Abdichtung
im Sockelbereich
eines zweischaligen
Mauerwerks

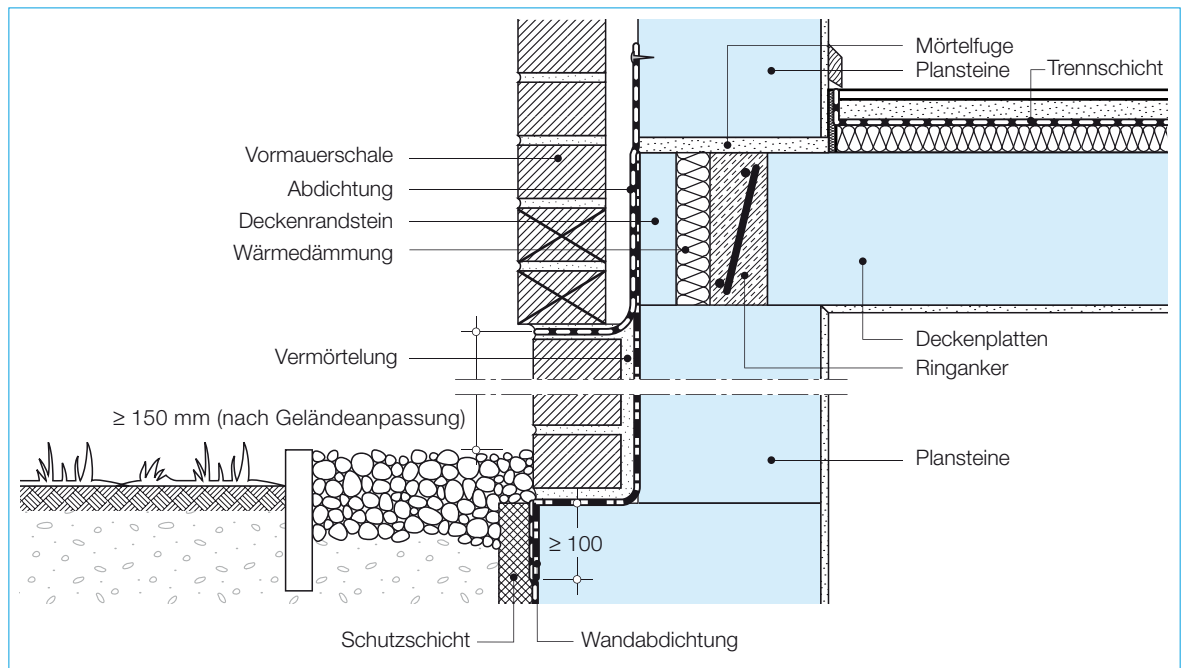
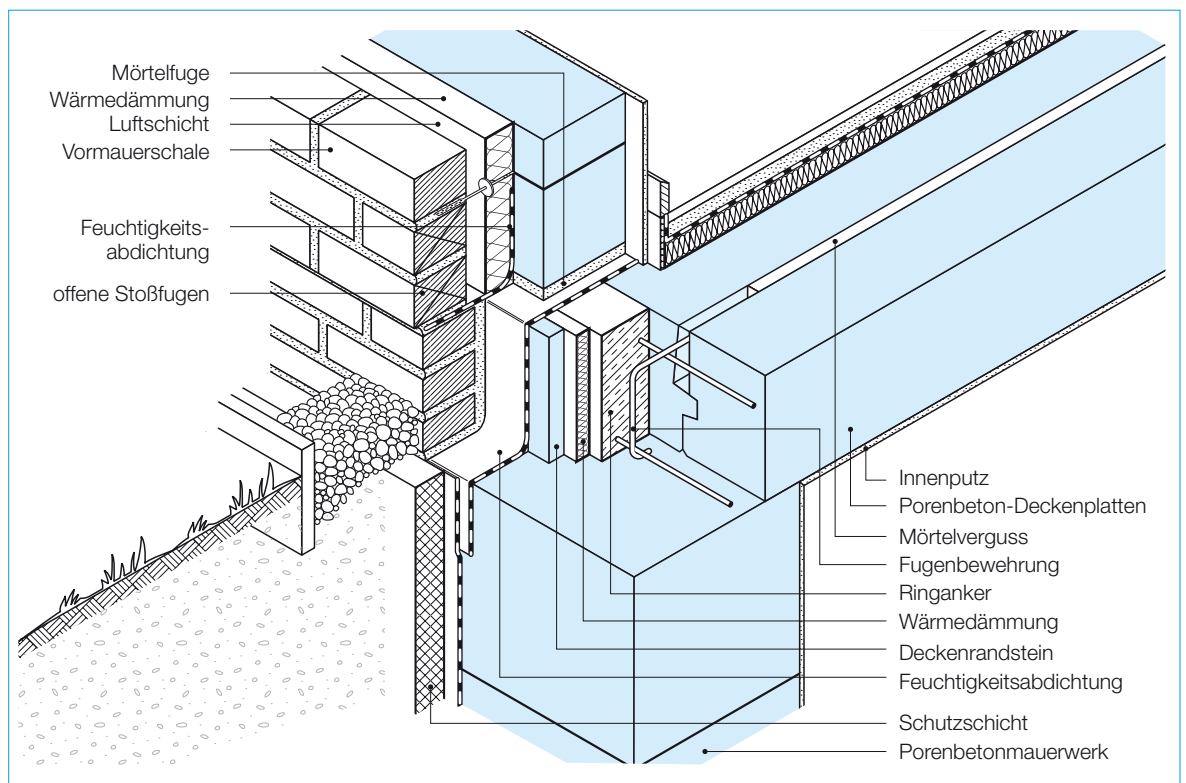


Abb. 9.15: Zwei-
schalige Außenwand
(mit Wärmeschutzschicht
und Luftschicht) im
Sockelbereich. Siehe
auch Abb. 9.14



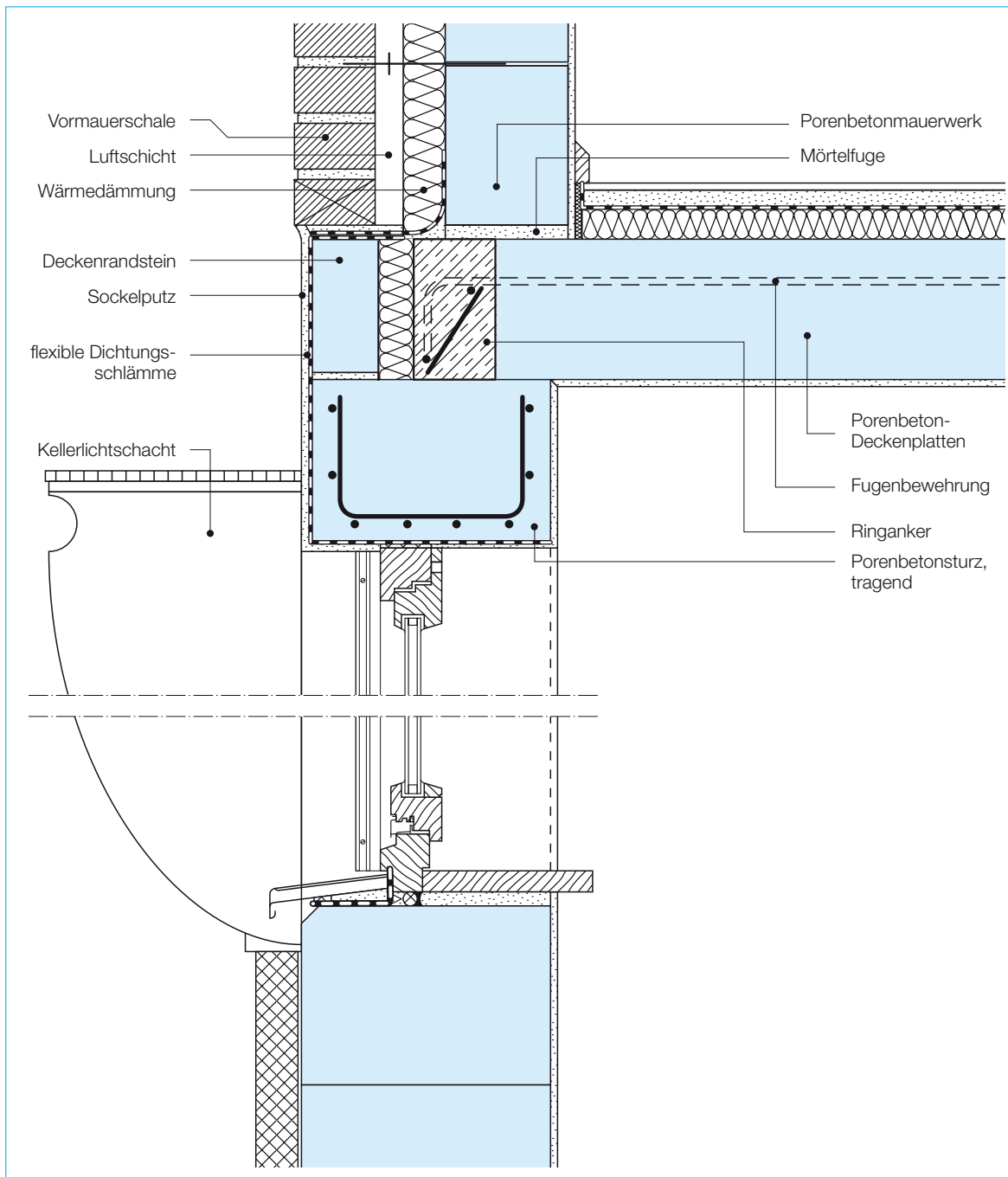


Abb. 9.16: Keller-Außenwand aus Porenbetonmauerwerk mit Fenster, tragendem Porenbeton-Sturz und Geschosseckenanschluss (Porenbeton-Deckenplatten)

Abb. 9.17: Zweischalige Haustrennwand mit Ringanker und Deckenanschluss

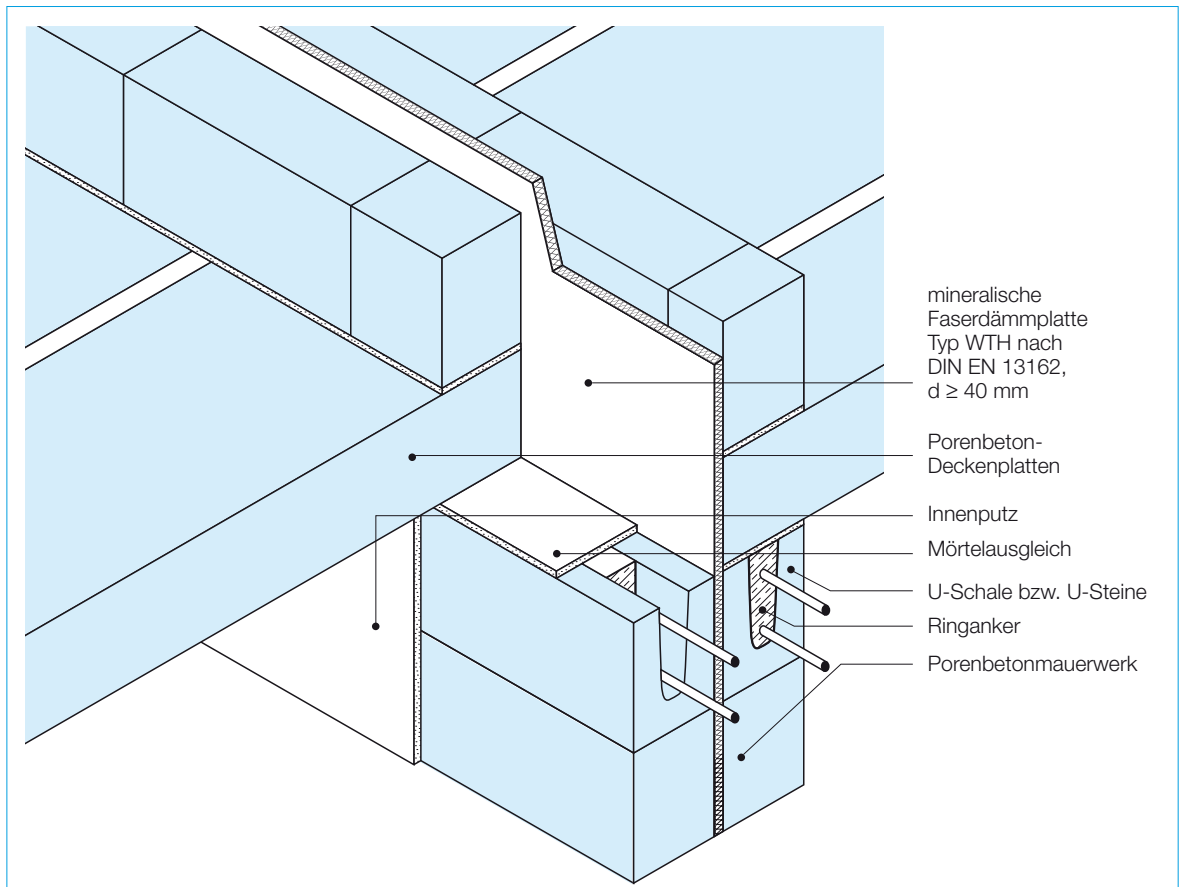
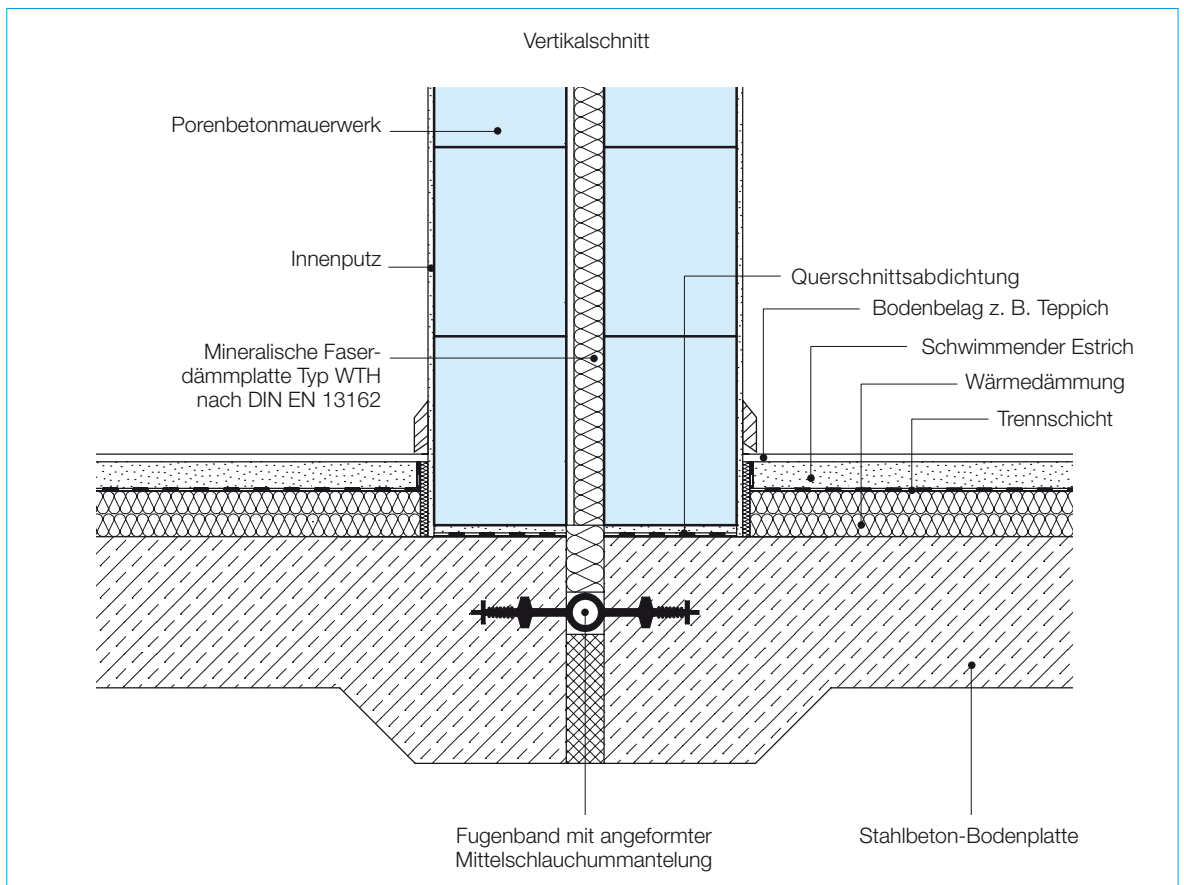


Abb. 9.18: Boden-Wand-Anschluss bei zweischaliger Haustrennwand (getrennte Bodenplatte)



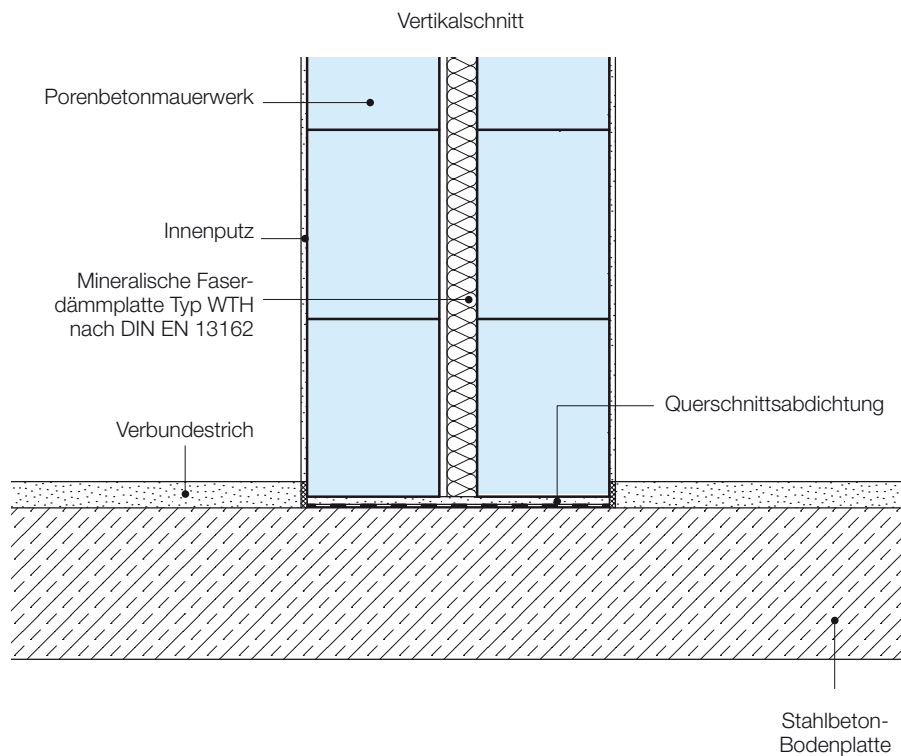


Abb. 9.19: Boden-Wand-Anschluss bei zweischaliger Haus-trennwand (durchgehende Bodenplatte)

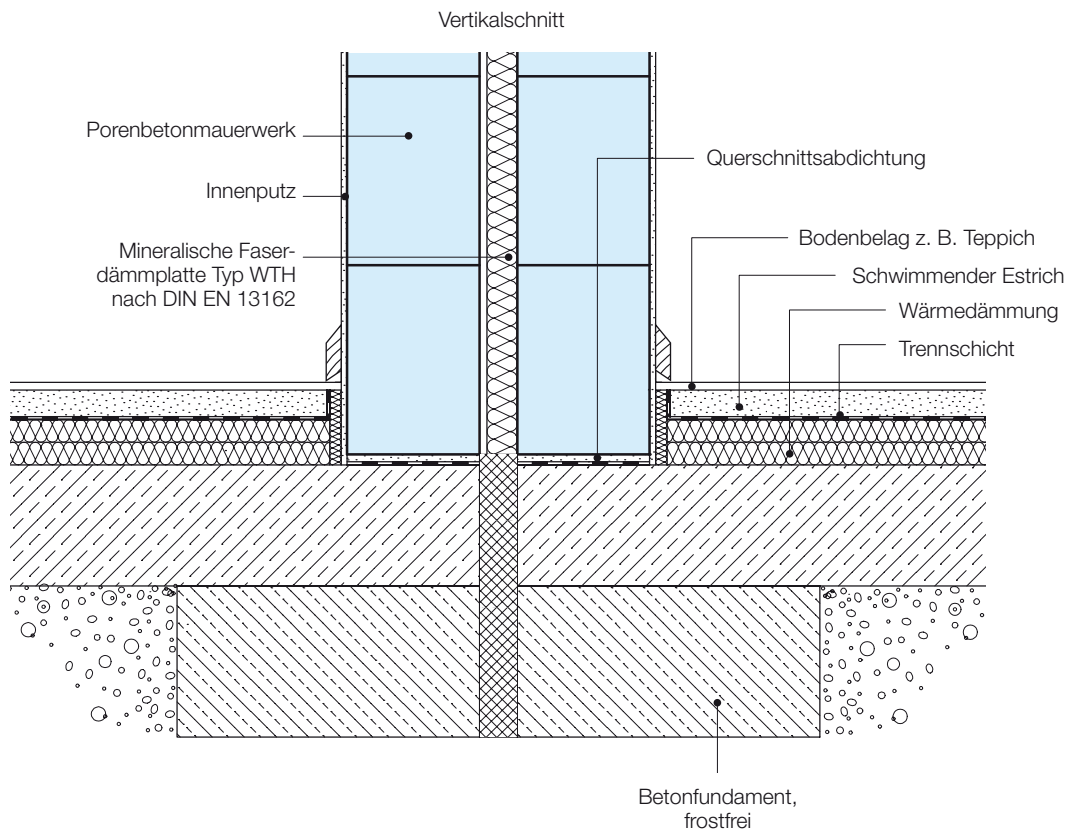


Abb. 9.20: Boden-Wand-Anschluss bei zweischaliger Haus-trennwand (nicht unterkellertes Gebäude)

Abb. 9.21: Seitlicher Anschluss einer zweischaligen Haustrennwand an eine Außenwand (mit Putzabschlussprofil)

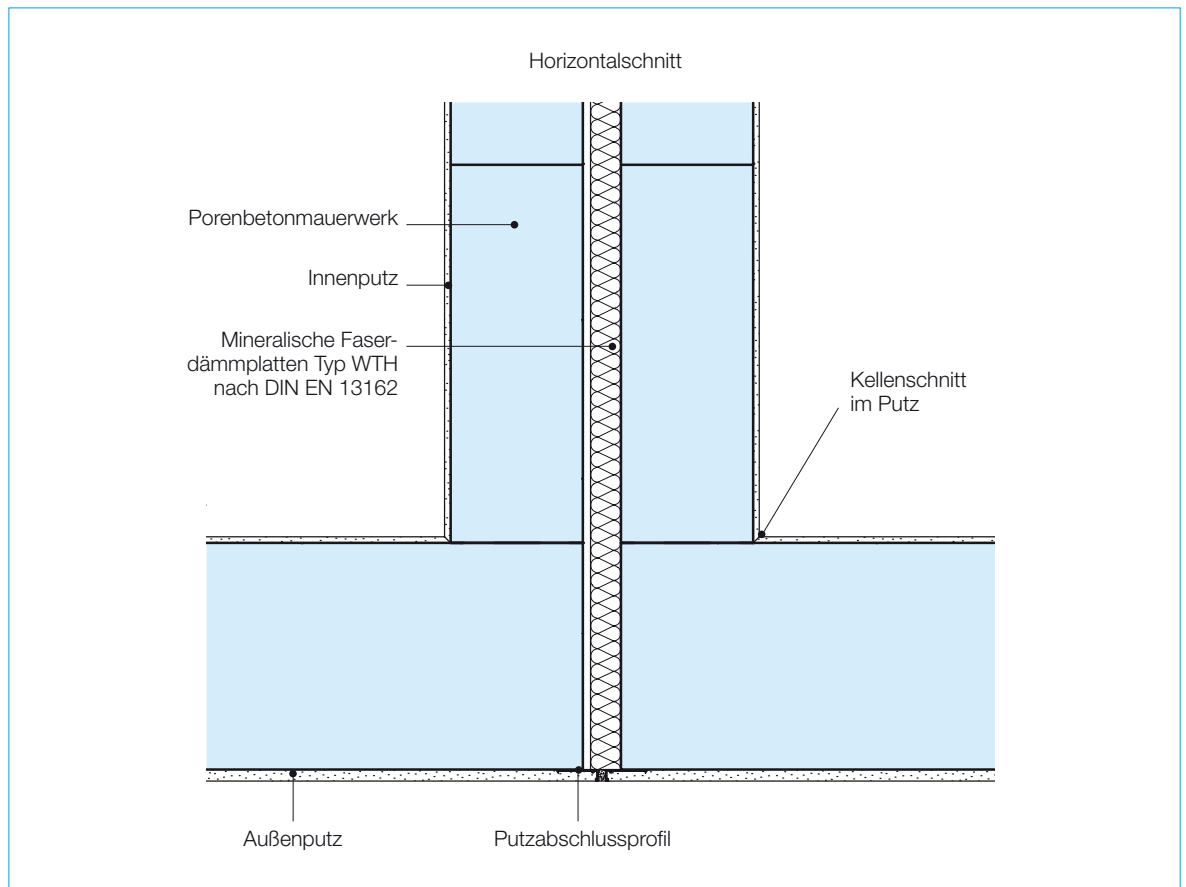
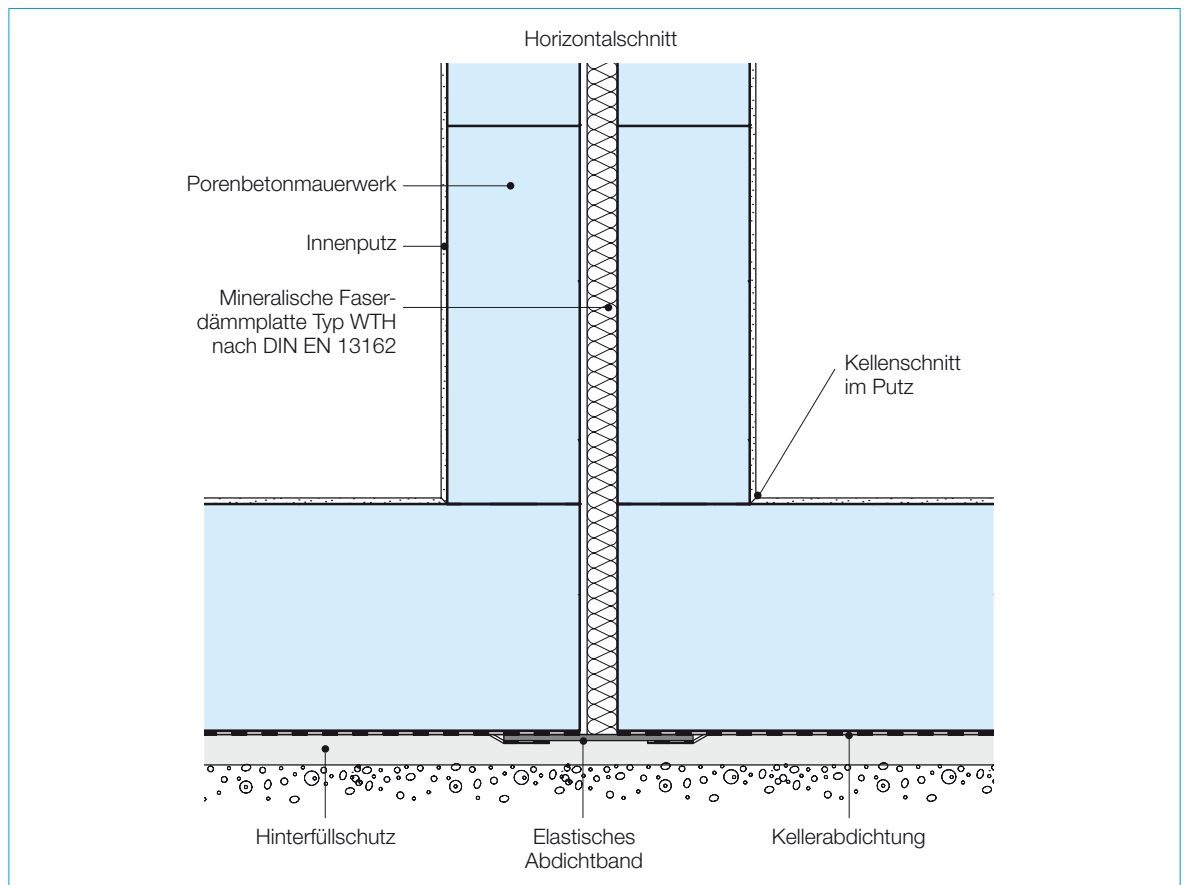


Abb. 9.22: Seitlicher Anschluss einer zweischaligen Haustrennwand an eine Außenwand (vertikale Abdichtung)



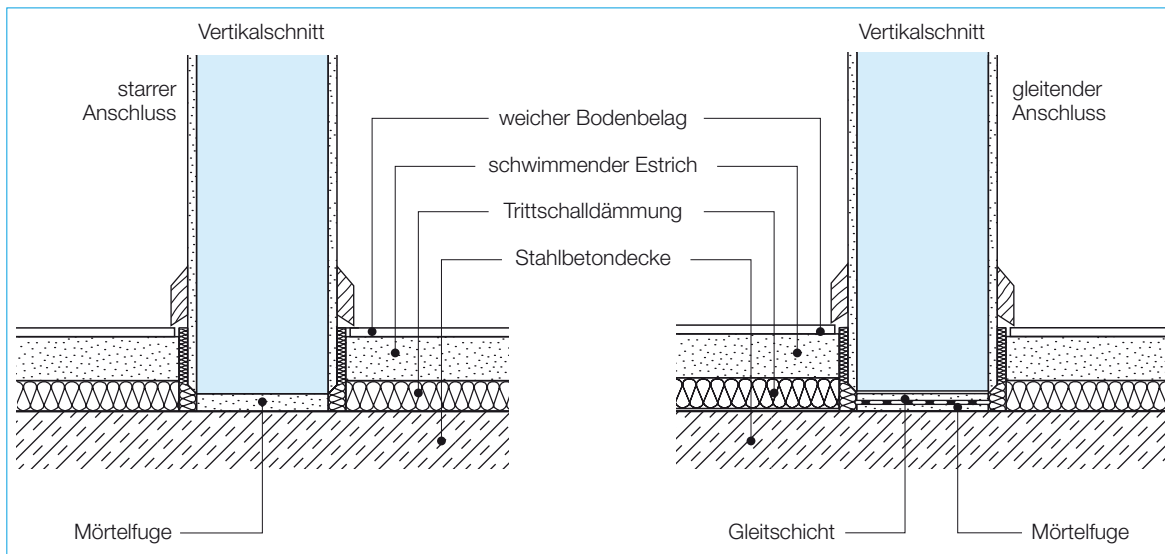


Abb. 9.23: Unterer Anschluss nicht tragender Innenwände aus Porenbetonmauerwerk

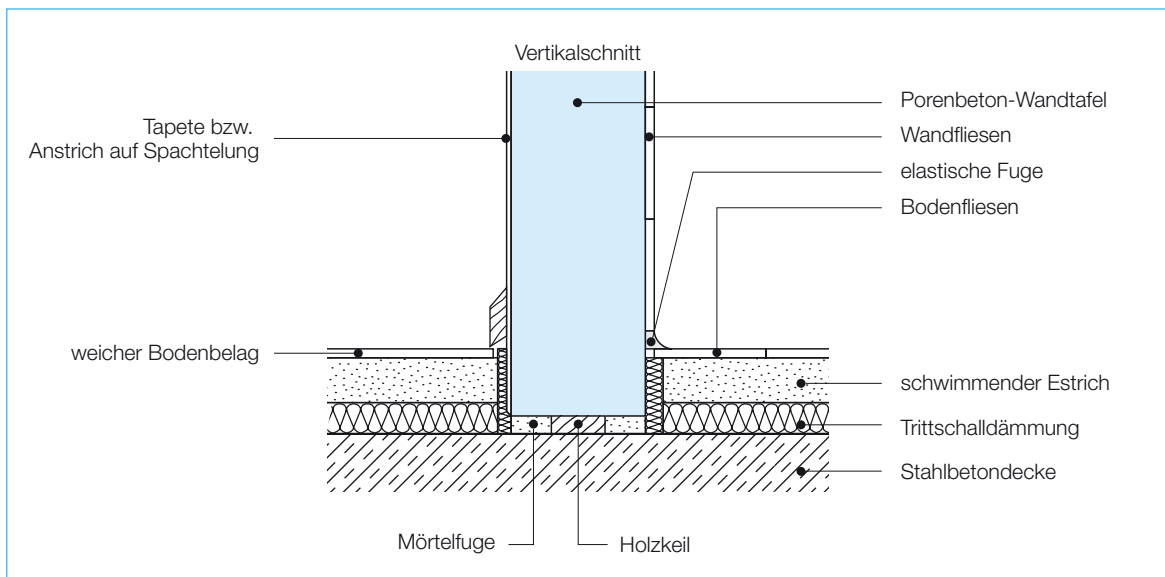


Abb. 9.24: Unterer Anschluss nicht tragender Innenwände aus Porenbeton-Wandtafeln

Abb. 9.25: Seitlicher Anschluss nicht tragender Innenwände aus Porenbeton-mauerwerk

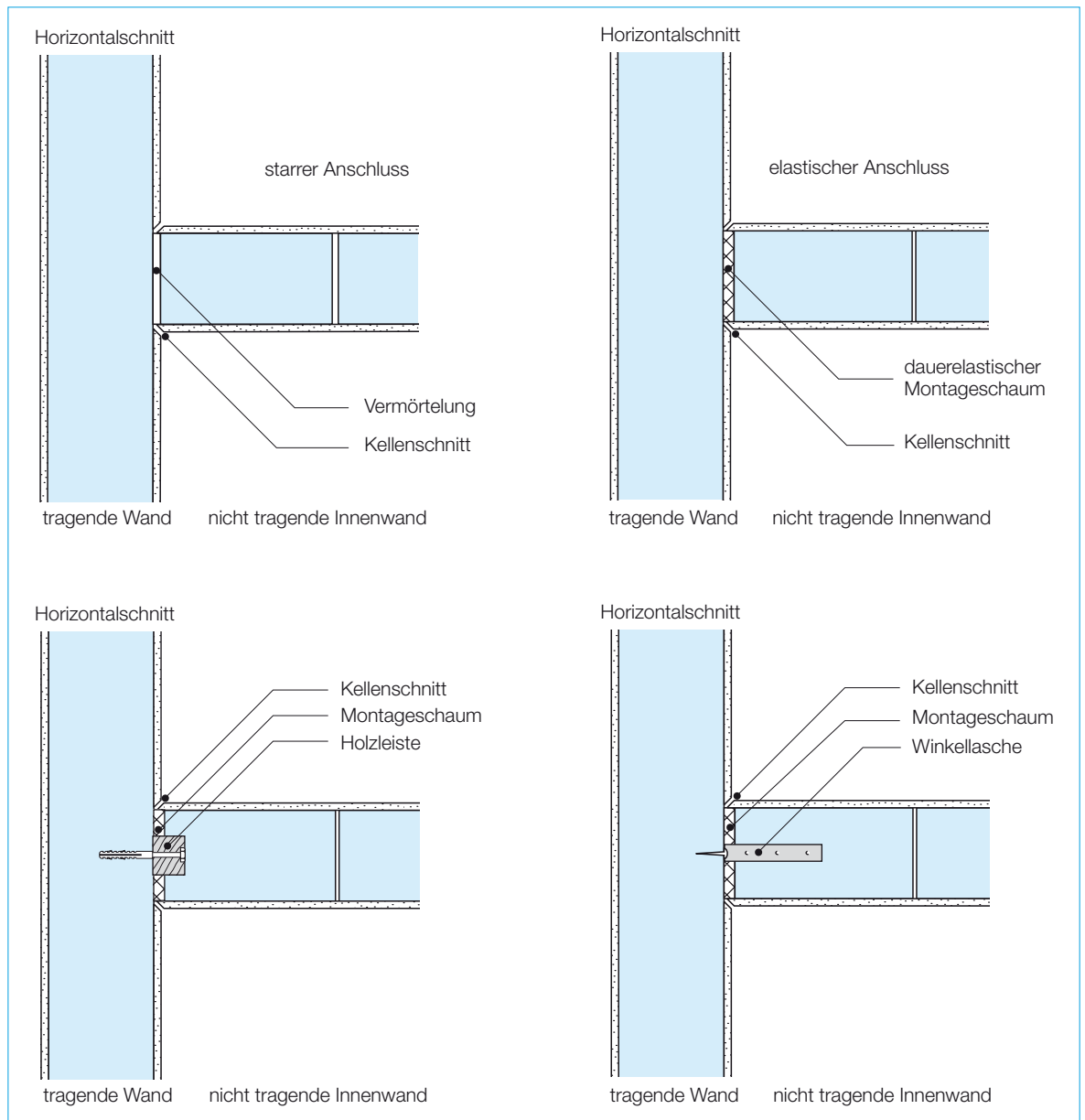
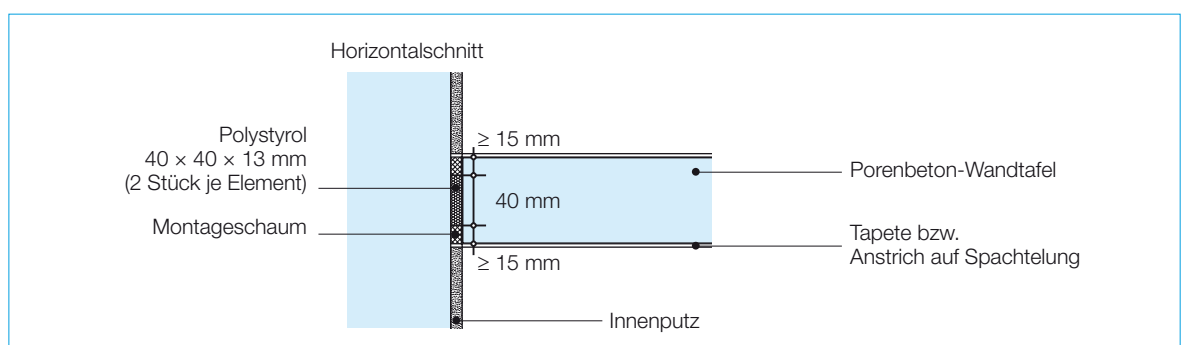


Abb. 9.26: Seitlicher Anschluss nicht tragender Innenwände aus Porenbeton-Wand- tafeln



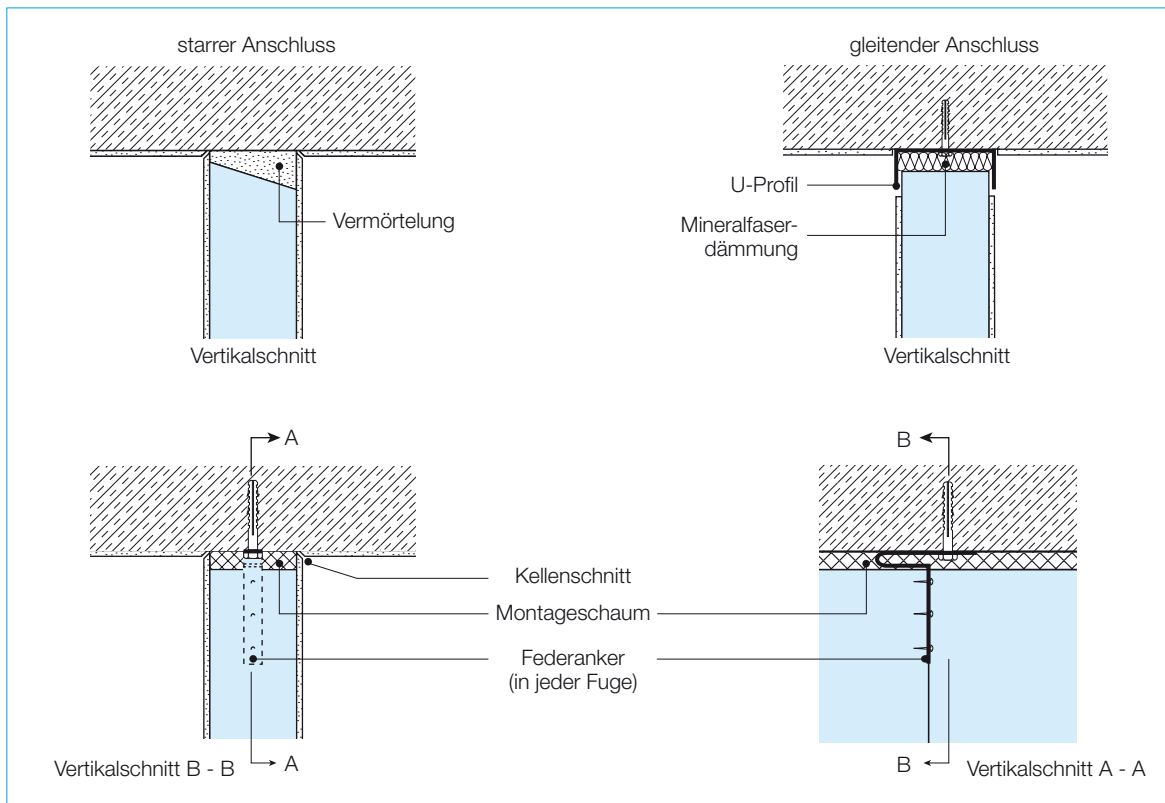


Abb. 9.27: Oberer Anschluss nicht tragender Innenwände aus Porenbetonmauerwerk

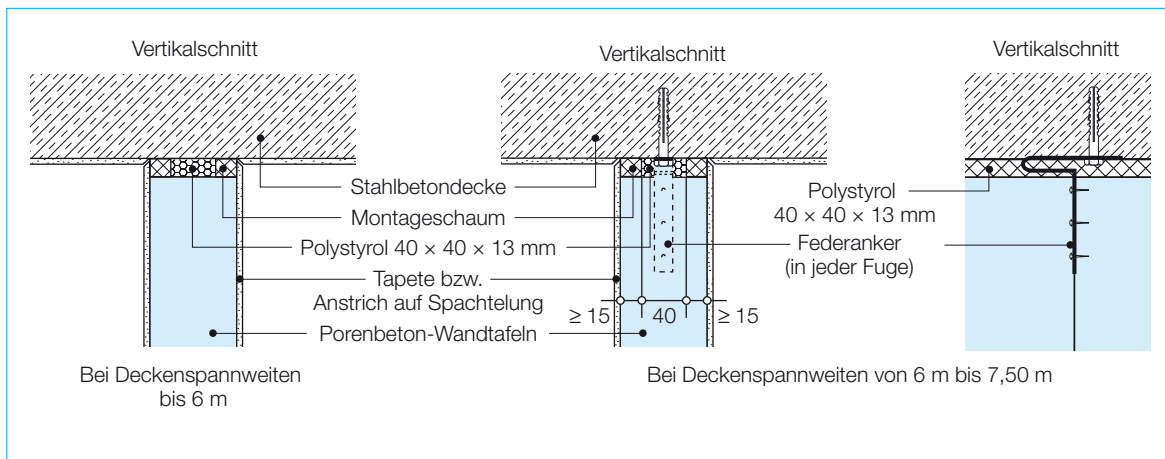


Abb. 9.28: Oberer Anschluss nicht tragender Innenwände aus Porenbeton-Wandtafeln

Abb. 9.29: Stumpfstoßanschluss bei gleichen Schichthöhen von aussteifender und auszusteiender Wand

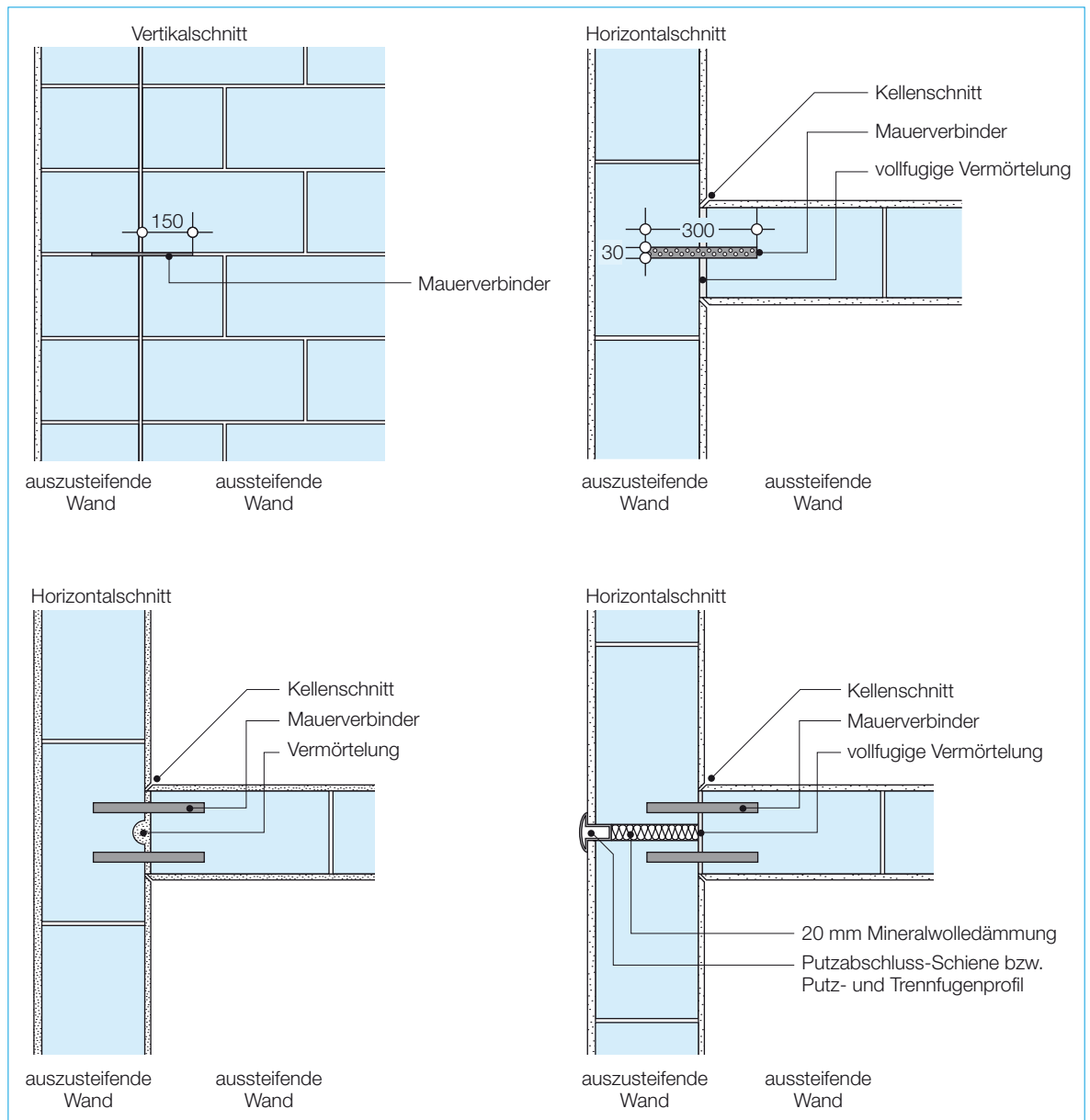
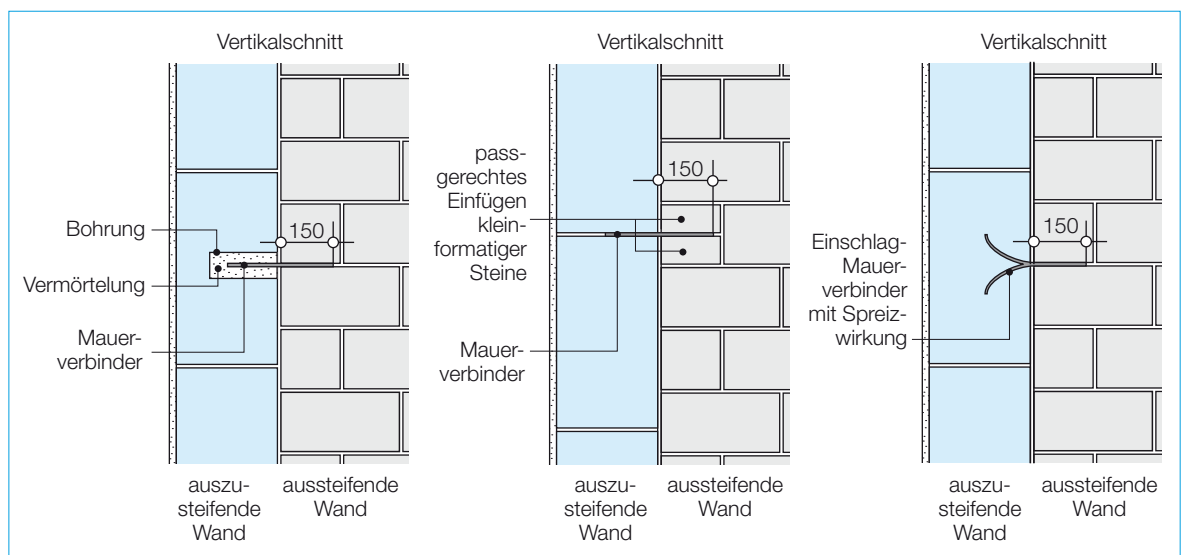


Abb. 9.30: Stumpfstoßanschluss bei unterschiedlichen Schichthöhen von aussteifender und auszusteiender Wand



The diagrams illustrate four different construction methods for masonry walls:

- Top Left:** Außen und innen bündig mit dem Fachwerk. This method shows the masonry blocks aligned with the timber frame on both sides.
- Top Right:** Porenbeton-Ausmauerung innen über das Fachwerk geführt. This method shows the masonry blocks extending beyond the timber frame on the interior side.
- Bottom Left:** Porenbeton-Ausmauerung: Innere Bekleidung der Wand mit Gipskarton. This method shows the masonry blocks with a plaster layer on the exterior and a gypsum board (Gipskartonplatte) on the interior.
- Bottom Right:** Porenbeton-Ausmauerung mit innenliegender Wärmedämmung. This method shows the masonry blocks with a plaster layer on the exterior and an additional insulation layer (Zusatzdämmung) on the interior.

Common labels across the diagrams include: Dämmputz $d \geq 10$ mm, Porenbeton-Plansteine, Wärmedämm-Mörtel, Holzständer, Dreikanteleiste, umlaufend, unvermörtelte Stoßfuge, knirsch ausgeführt, and Innenputz $d \geq 10$ mm.

183

Abb. 9.33: Beispiele für Zargenausbildungen von Feuerschutztüren (T30/T90) zum Einbau in Porenbetonwänden

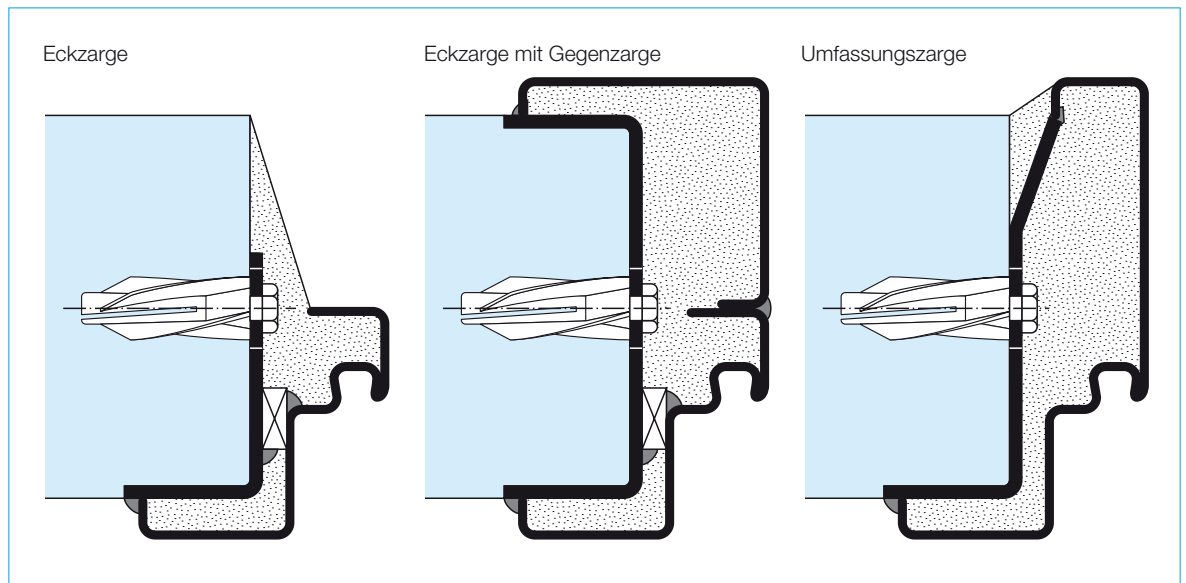
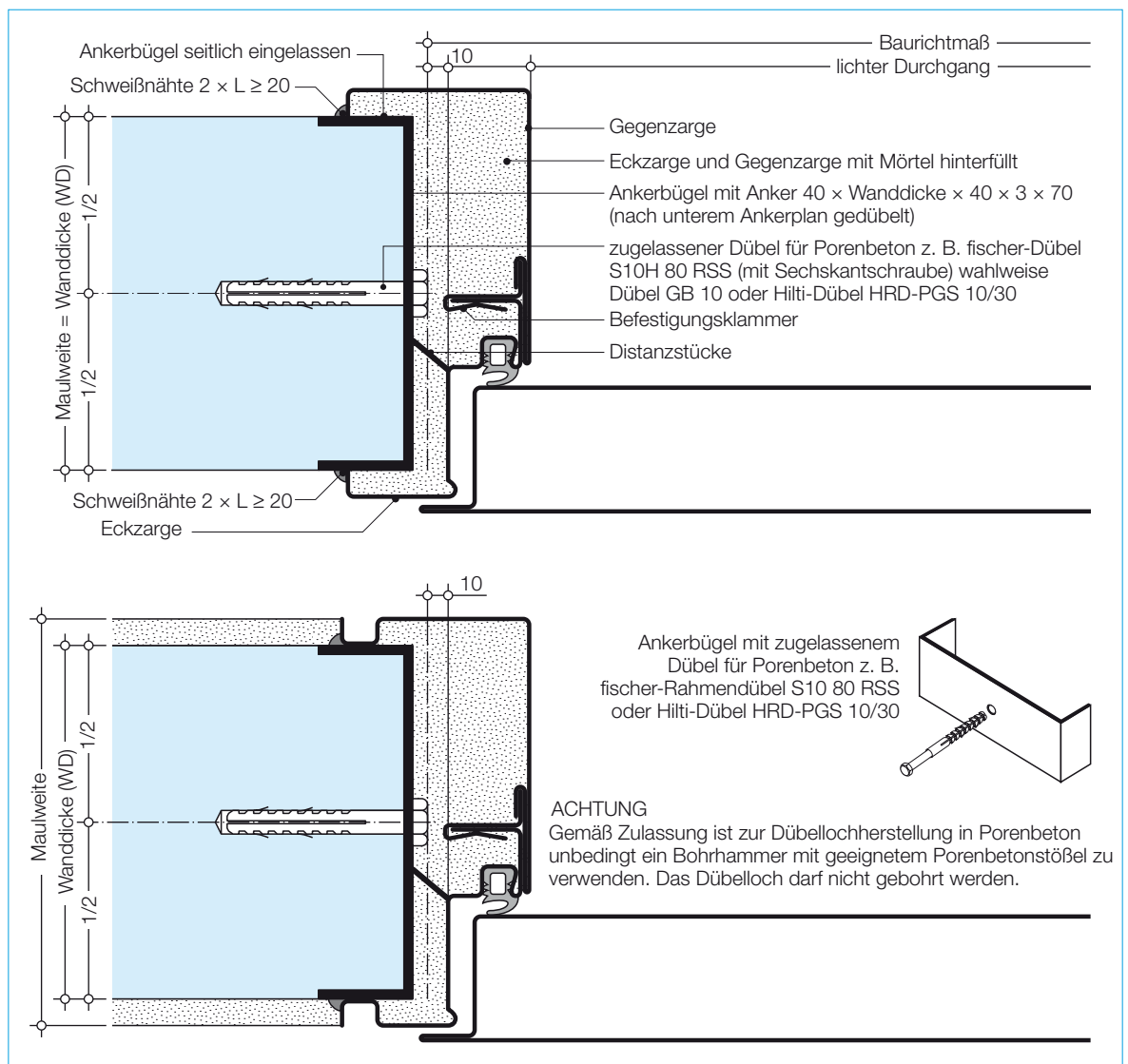


Abb. 9.34: Beispiele für die Dübelmontage zur Befestigung von Zargen ein- und zweiflügeliger Feuerschutztüren (T30/T90) in Porenbetonwänden. Die Zargenausbildung ist abhängig vom Zulassungsbescheid



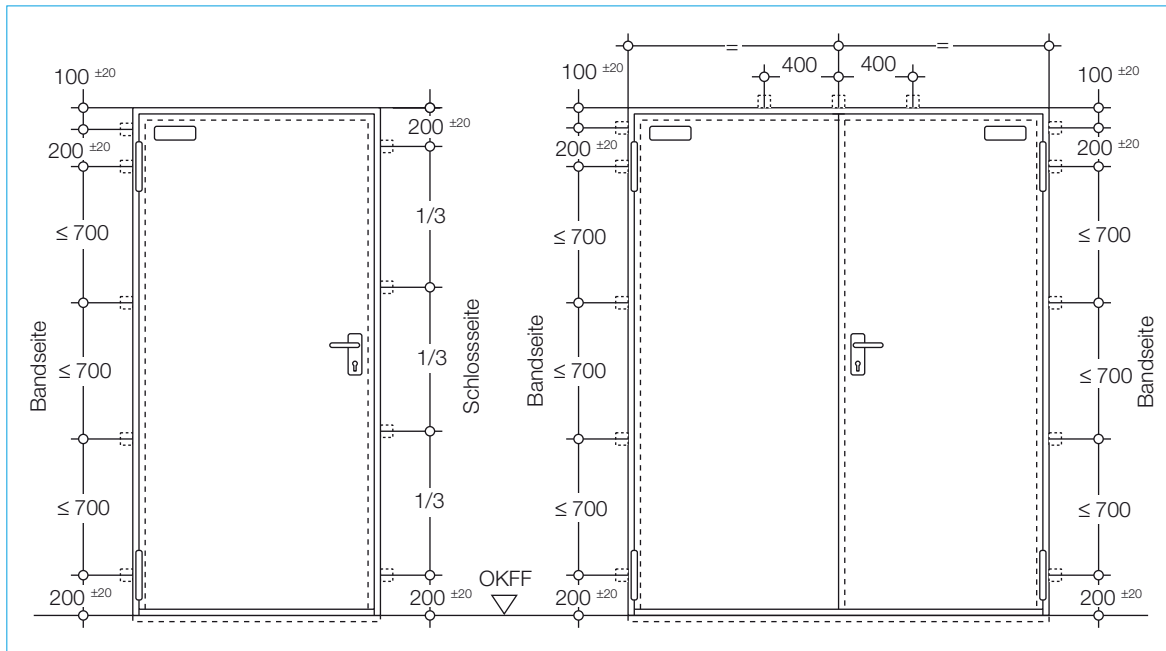


Abb. 9.35: Beispiele für Dübelabstände bei der Befestigung von Zargen ein- und zweiflügeliger Feuer-schutztüren (T30/T90) in Porenbetonwänden. Die Zargenausbildung ist abhängig vom Zu-lassungsbescheid und von den Ausführungen in DIN 18093 [88]

9.3 Flachdächer aus Porenbeton-Dachplatten

Angaben zu Auflagertiefen von Porenbeton-Deckenplatten auf Unterkonstruktionen stehen am Beginn dieses Abschnittes. Sie betragen bei Zwischen- und Endauflagerungen gemäß DIN 4223 1/80 der Stützweite, wobei je nach Unterkonstruktion bestimmte Mindestwerte einzuhalten sind (Abb. 9.36 und 9.37).

Verschiedene Details zeigen konstruktive Möglichkeiten der Zwischenauflagerung (Abb. 9.38 bis 9.40) und der Endauflagerung (Abb. 9.41 bis 9.43). Verankerungen sind nur bei statischen Erfordernissen erforderlich. Öffnungen in Flachdächern aus Porenbeton-Dachplatten sind in unterschiedlichen Abmessungen herstellbar. Dabei wird zwischen Durchbrüchen in einzelnen Platten, z. B. für Rohrdurchführungen (Abb. 9.44), und Auswehlungen (Abb. 9.45) unterschieden.

Abb. 9.36: Zwischenauflagerung von Porenbeton-Dachplatten auf verschiedenen Unterkonstruktionen

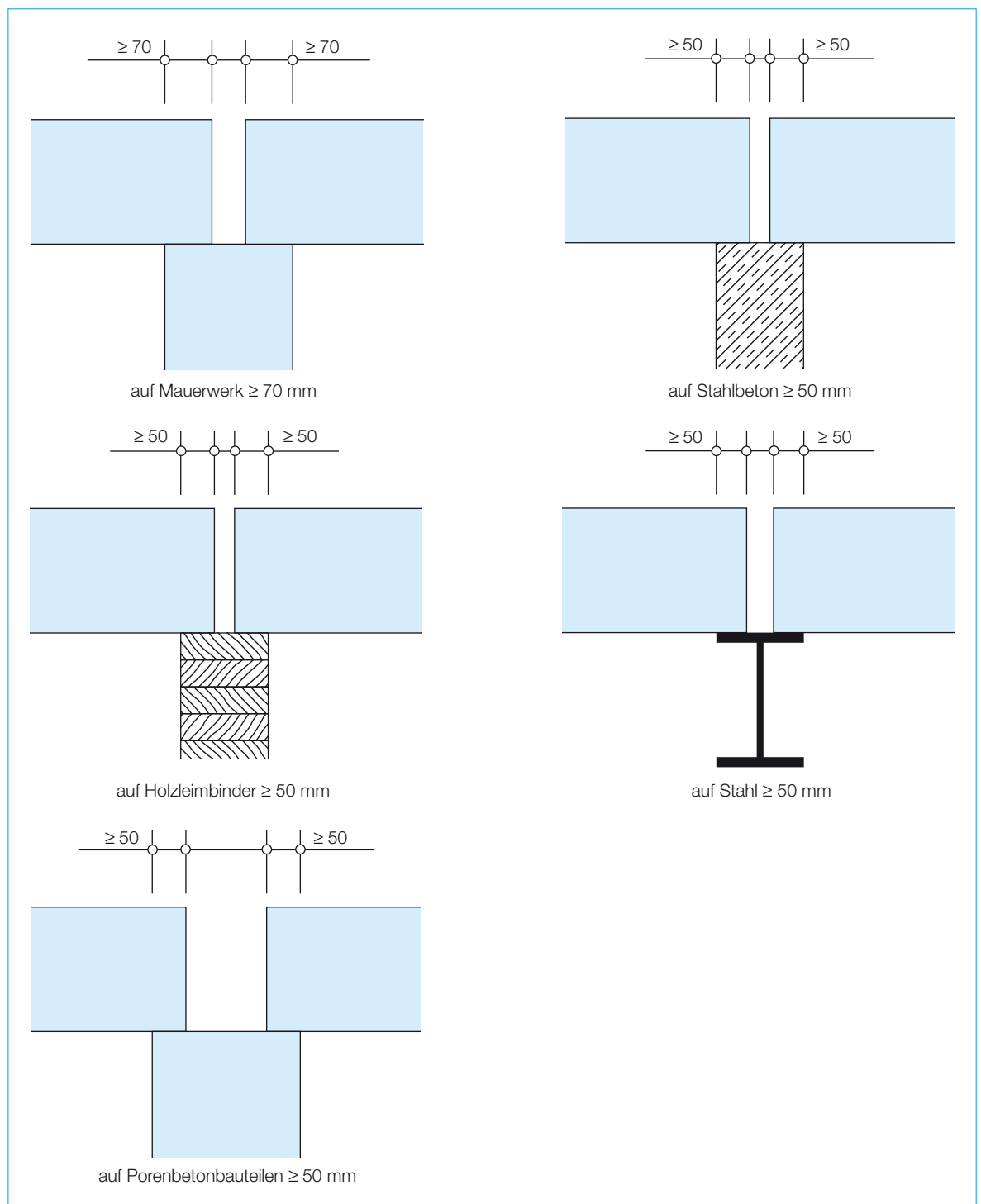
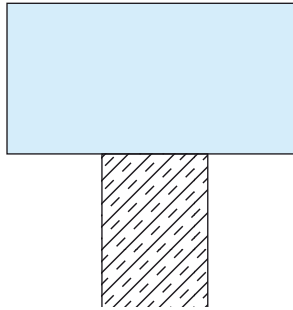
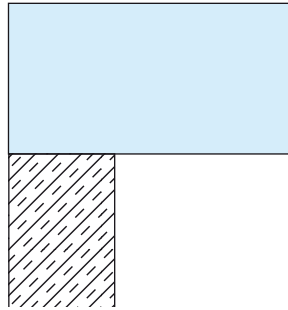


Abb. 9.37: Endauflagerung von Porenbeton-Dachplatten auf verschiedenen Unterkonstruktionen

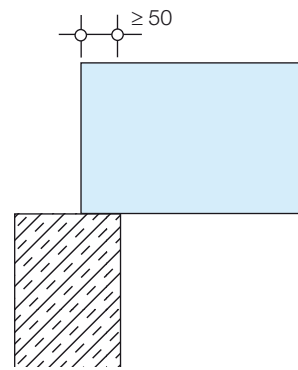
a) Unterkonstruktion aus Beton, Stahlbeton oder Holzleimbindern



Endauflager mit Auskragung

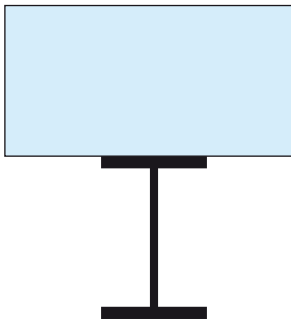


bündiges Endauflager

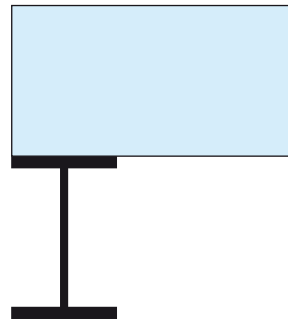


Endauflager mit Mindestauflagertiefe (1/80 bzw. 50 mm)

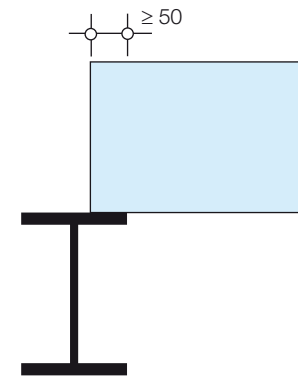
b) Unterkonstruktion aus Stahl



Endauflager mit Auskragung

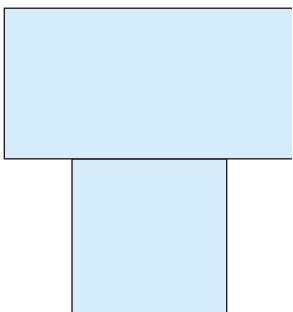


bündiges Endauflager



Endauflager mit Mindestauflagertiefe (1/80 bzw. 50 mm)

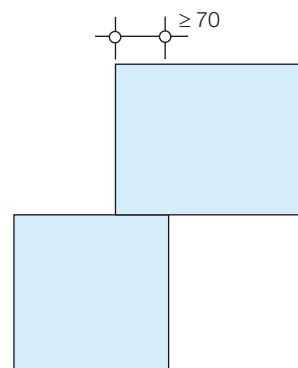
c) Unterkonstruktion aus Mauerwerk



Endauflager mit Auskragung

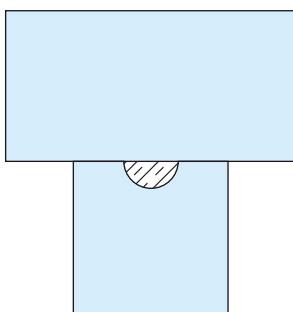


bündiges Endauflager

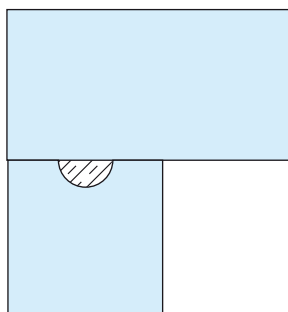


Endauflager mit Mindestauflagertiefe (1/80 bzw. 70 mm)

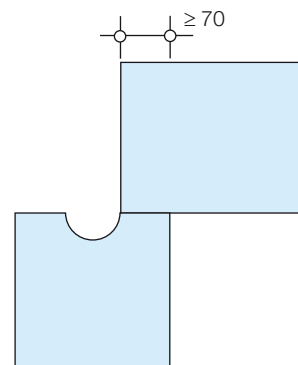
d) Unterkonstruktion aus Porenbeton-Wandtafeln



Endauflager mit Auskragung

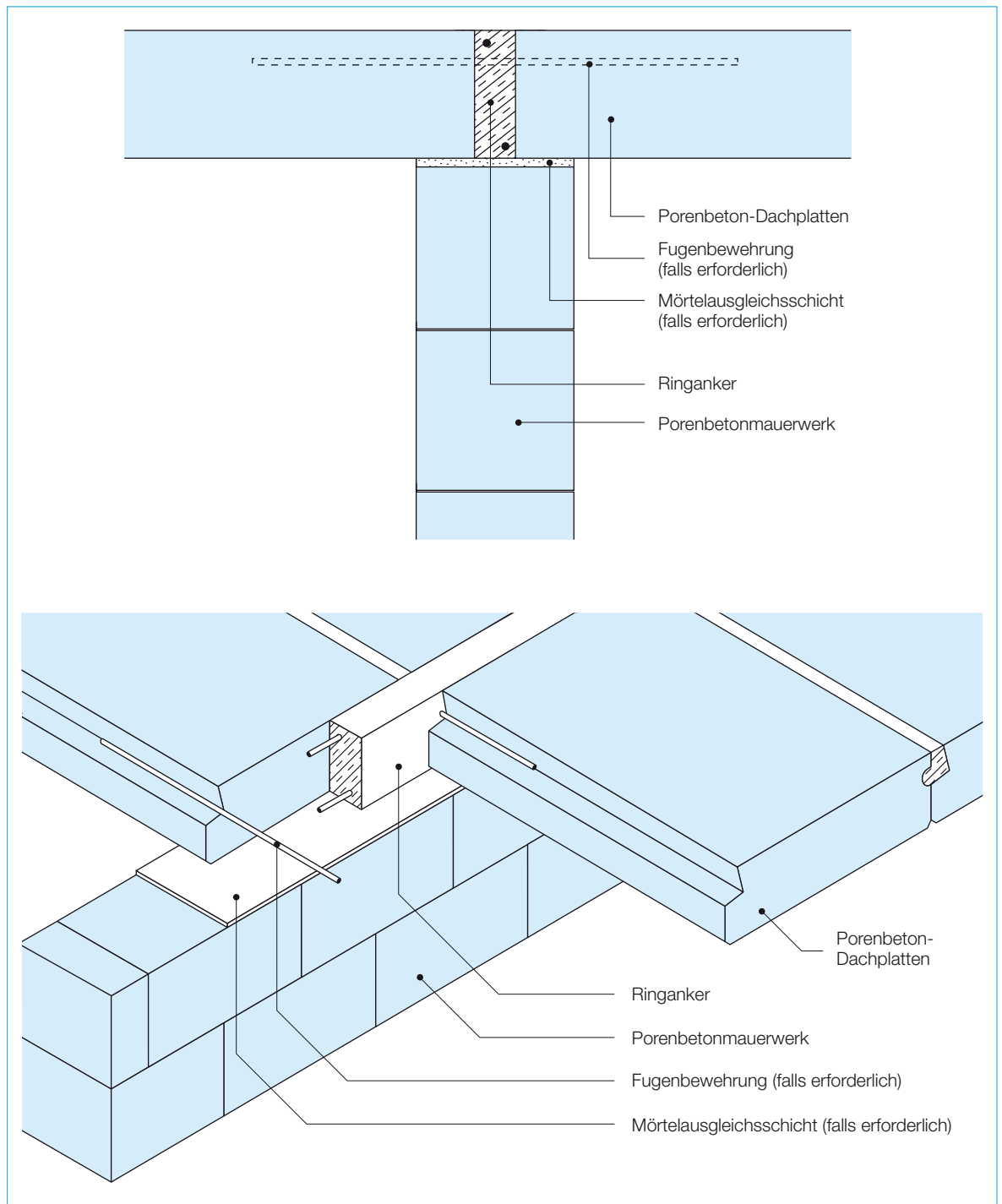


bündiges Endauflager



Endauflager mit Mindestauflagertiefe (1/80 bzw. 70 mm)

Abb. 9.38: Zwischen-
auflagerung und Ver-
ankerung von Poren-
beton-Dachplatten auf
Mauerwerk, Ringanker
in der Dachplatten-
ebene



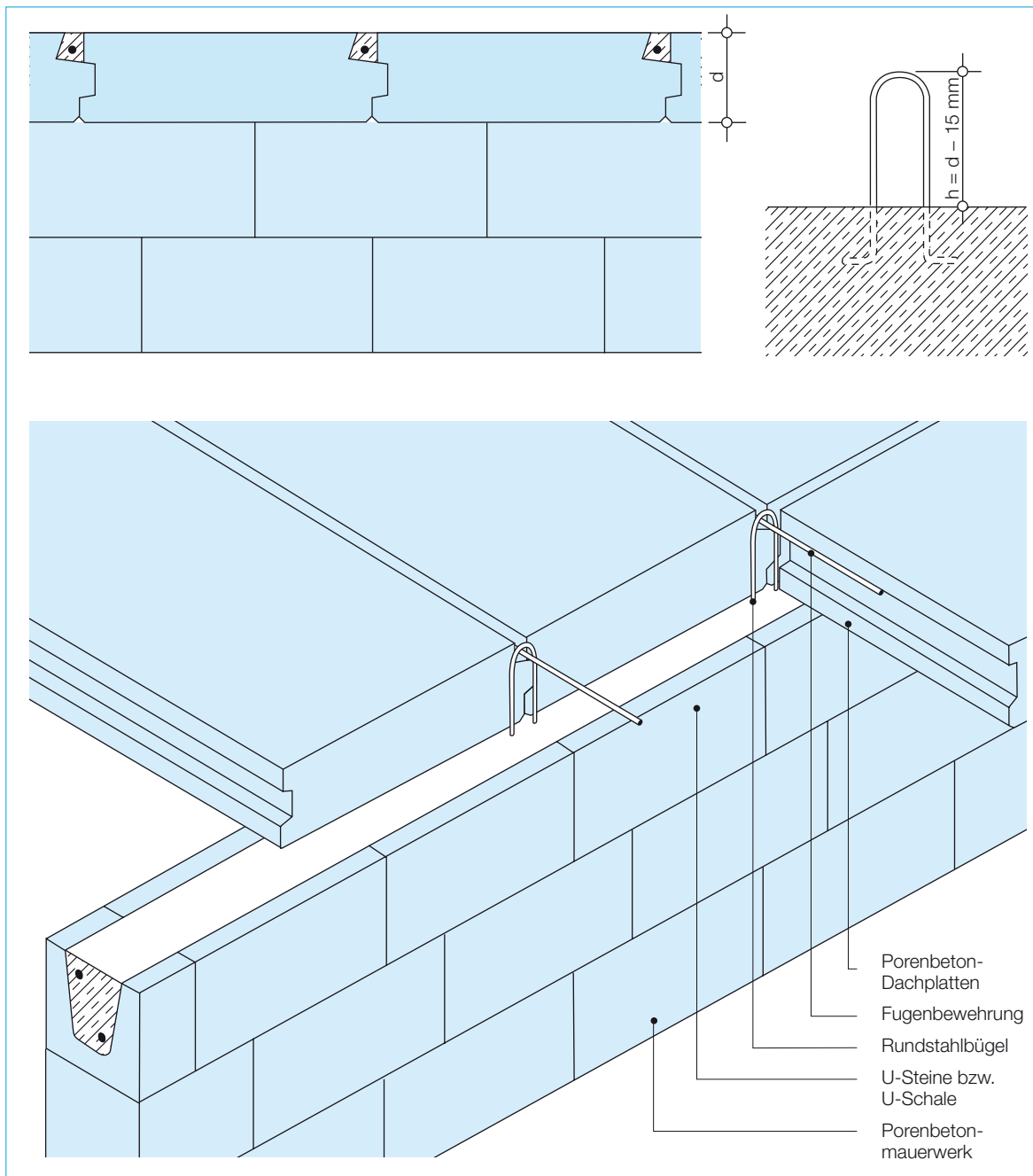
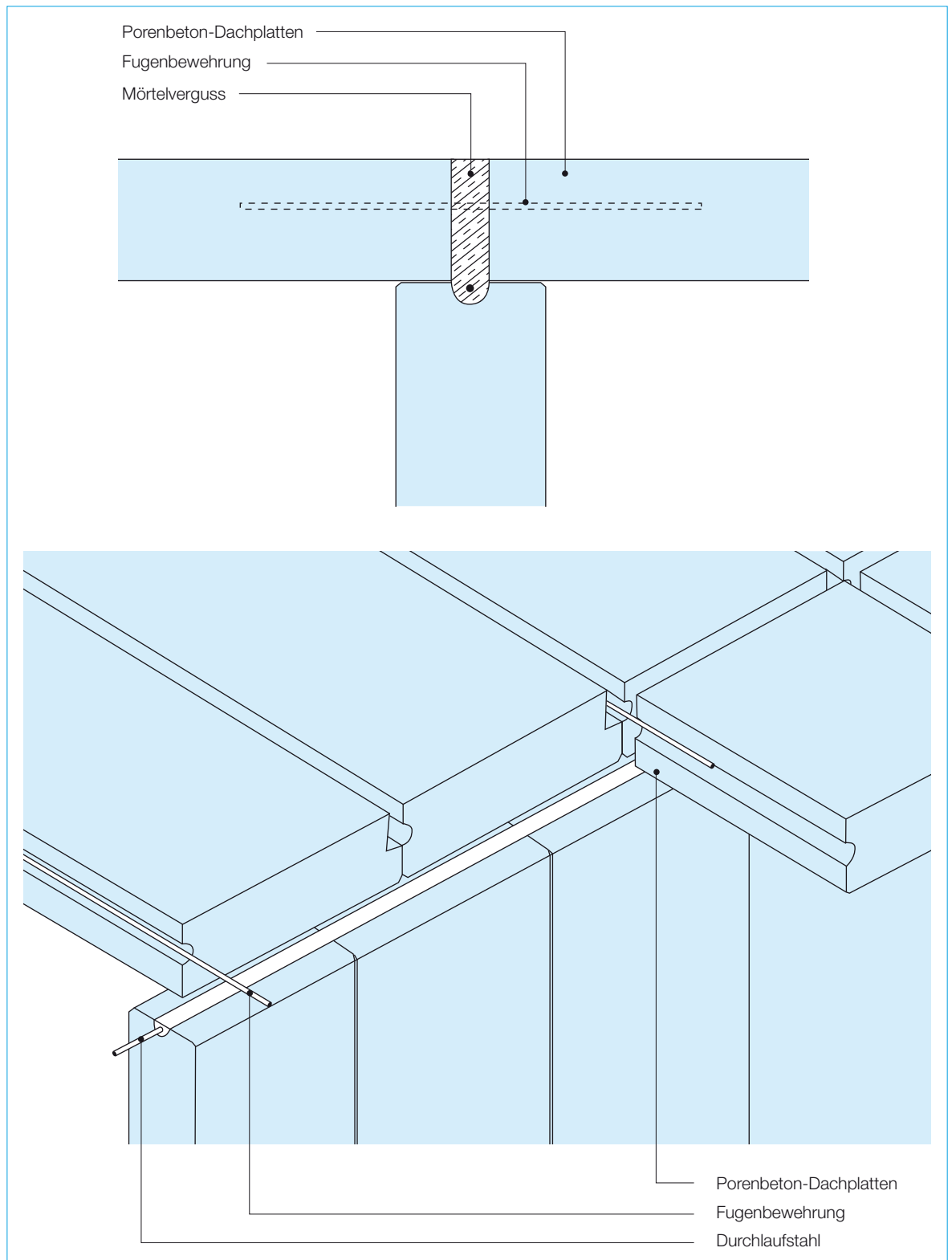


Abb. 9.40: Zwischen-
auflagerung von Poren-
beton-Dachplatten auf
Porenbeton-Wand-
tafeln mit bewehrter
Vergussnut



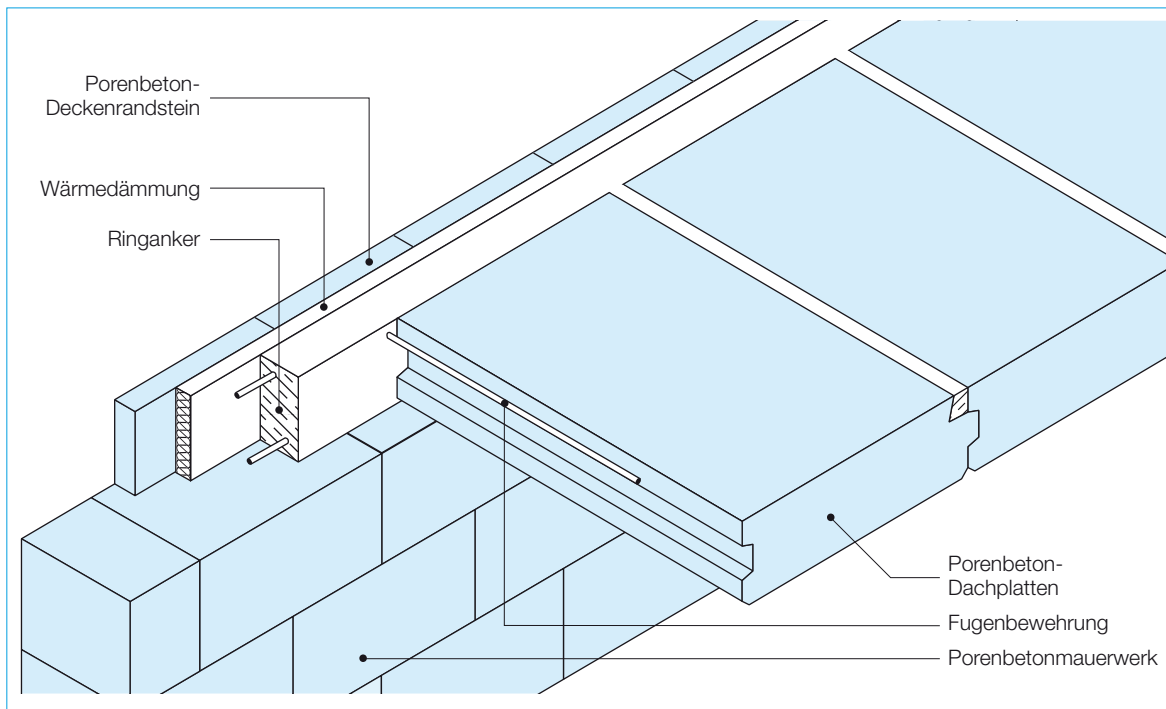


Abb. 9.41: Endauflage-
rung von Porenbeton-
Dachplatten auf
Porenbetonmauerwerk,
Ringanker in der Dach-
plattenebene

Abb. 9.42: Endauflagerung von Porenbeton-Dachplatten mit Auskragung auf Porenbetonmauerwerk, Ringanker in U-Schalen bzw. U-Steinen unterhalb der Dachplatten-ebene

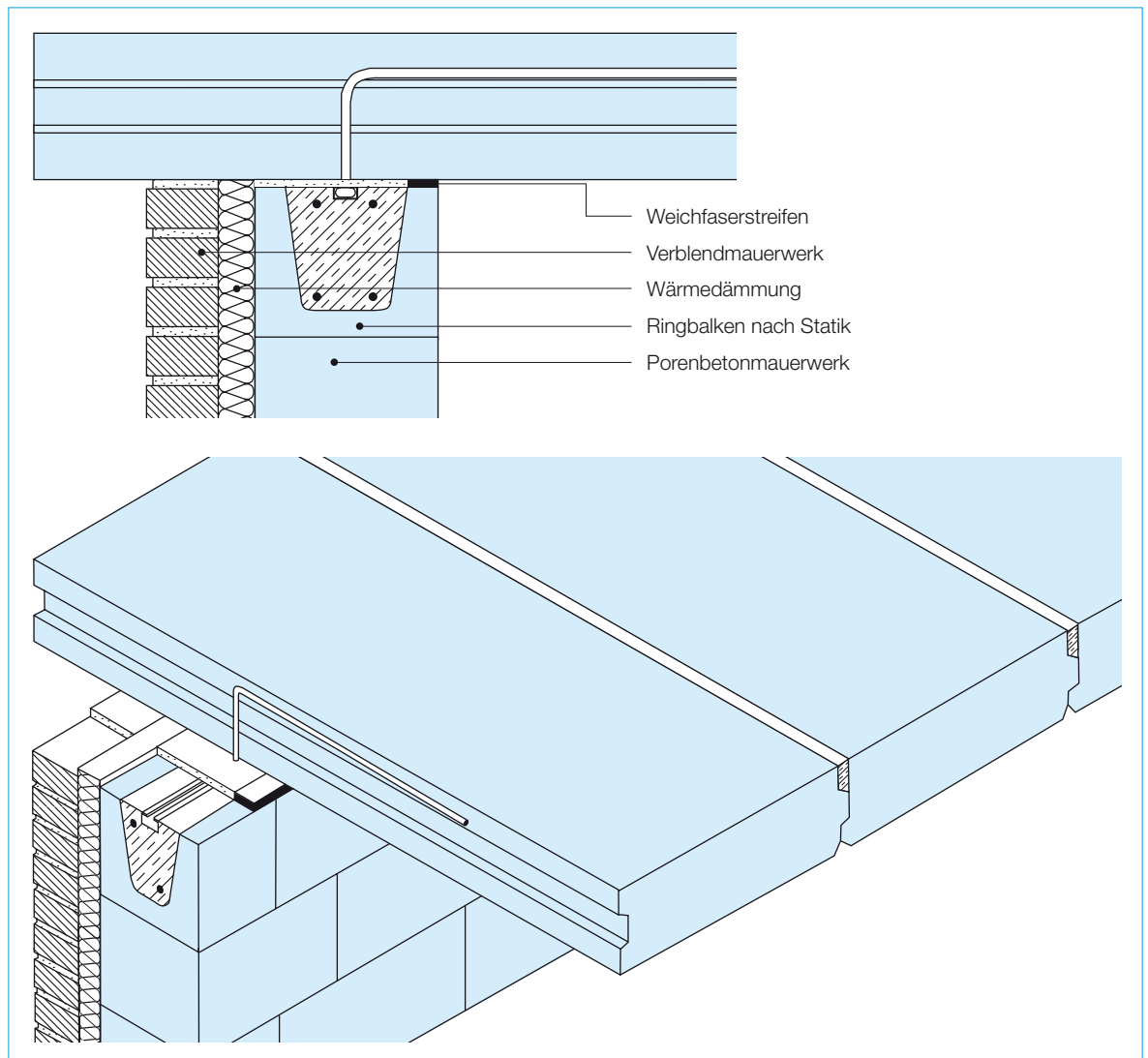
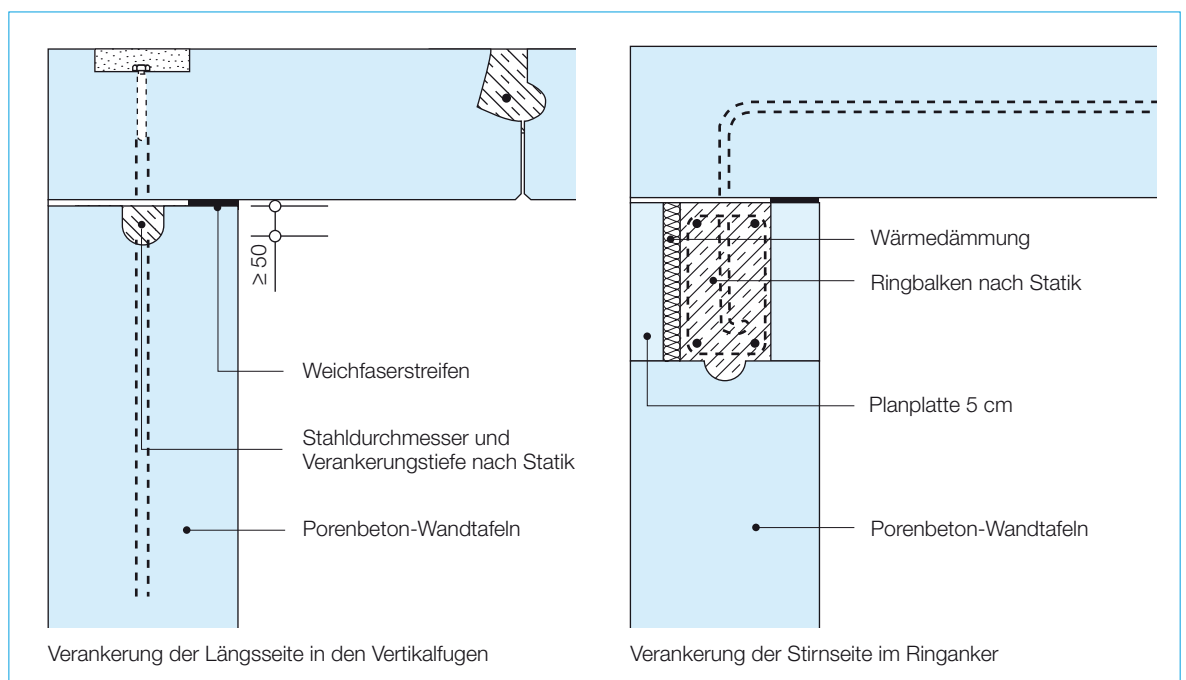


Abb. 9.43: Endauflagerung und Verankerung von Porenbeton-Dachplatten auf Porenbeton-Wandtafeln



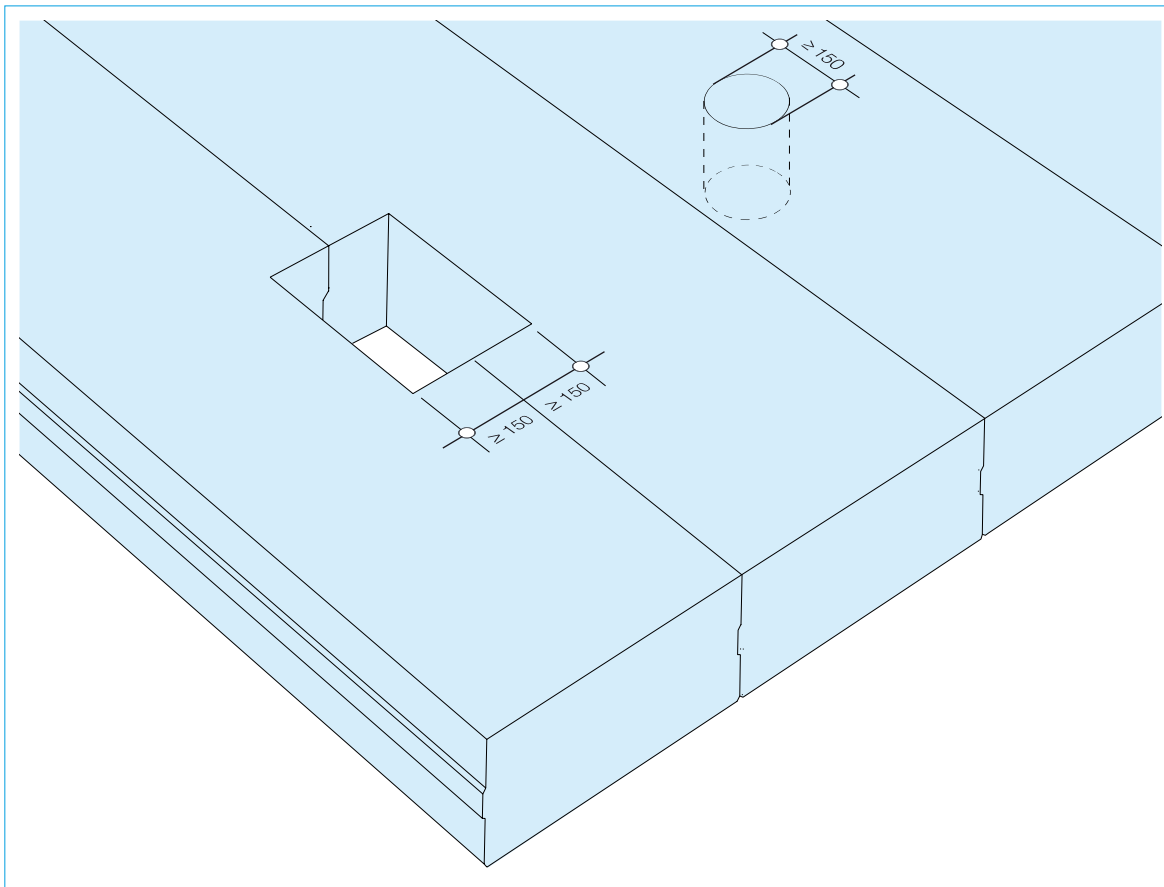


Abb. 9.44: Maximale Abmessungen runder und rechteckiger Durchbrüche in Porenbeton-Dachplatten. Die Ausbildung rechteckiger Aussparungen in gegenüberliegenden Dachplatten ist in bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt

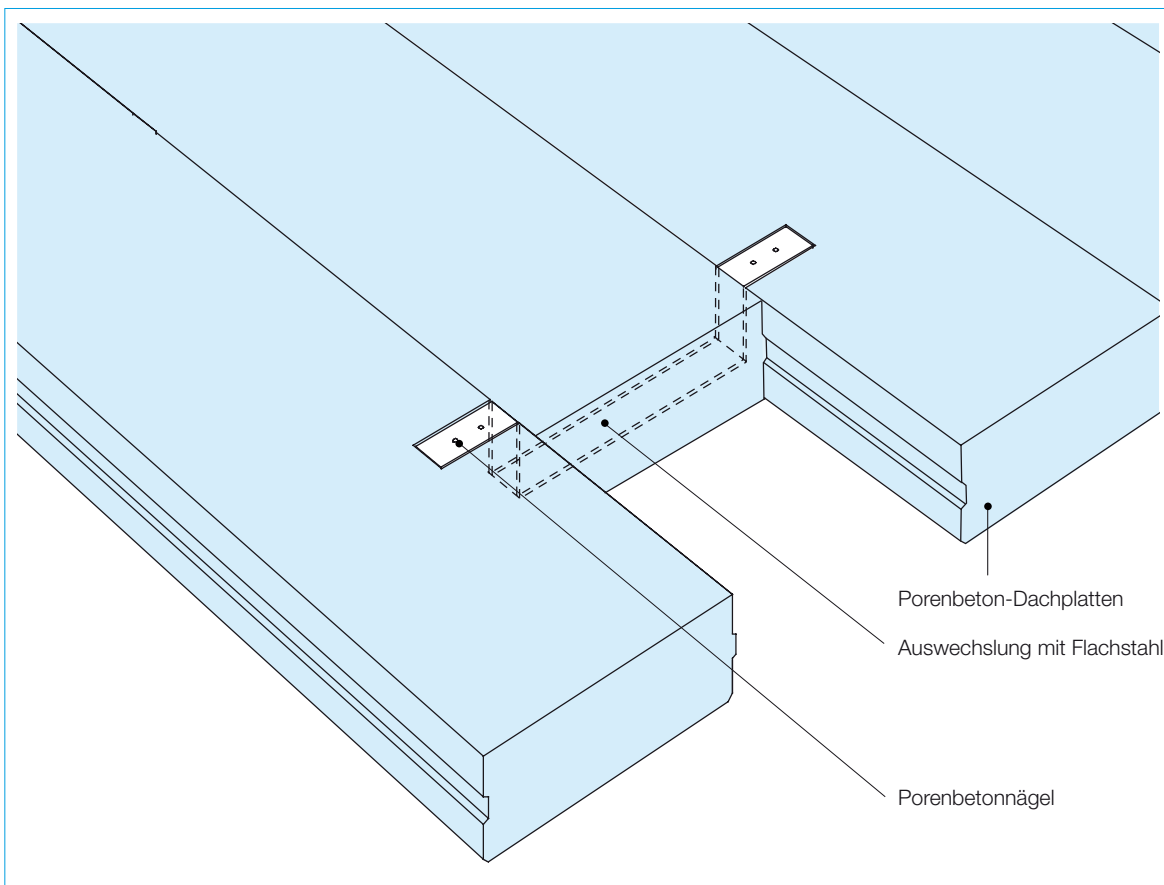


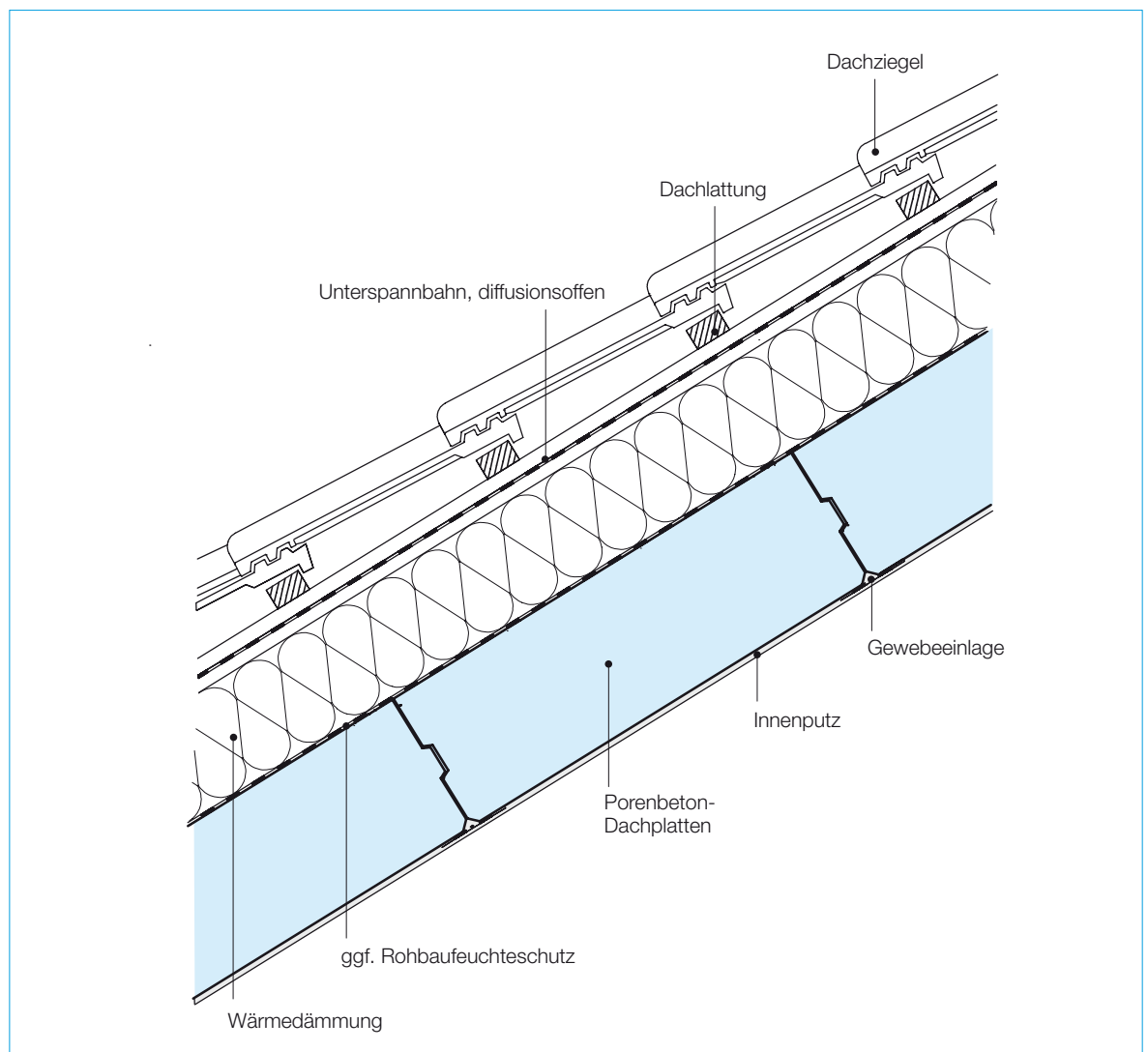
Abb. 9.45: Auswechslung einer Porenbeton-Dachplatte mit Flachstahl. Die seitlich angrenzenden Dachplatten erhalten eine Sonderbewehrung nach Statik

9.4 Geneigte Dächer aus Porenbeton-Dachplatten

Der Abschnitt enthält folgende Konstruktionsdetails:

- Aufbau eines Massivdaches aus Porenbeton-Dachplatten (Abb. 9.46). Alle für geneigte Dächer üblichen Eindeckungen sind möglich: z. B. Dachziegel, Dachsteine, Welltafeln oder Trapezbleche
- Zwischenauflagerung (Abb. 9.47 bis 9.50)
- Endauflagerung und Ortgang (Abb. 9.51 und 9.52)
- First (Abb. 9.53)
- Traufe (Abb. 9.54 und 9.55)
- Gaube (Abb. 9.56 und 9.57)
- Kamindurchführung (Abb. 9.58)
- Stahlrahmenauswechslung für zwei Plattenbreiten (Abb. 9.59)
- Dachflächenfenster-Anschluss (Abb. 9.60)

Abb. 9.46: Geneigtes Dach aus Porenbeton-Dachplatte. Üblicher Aufbau mit Wärmedämmschicht



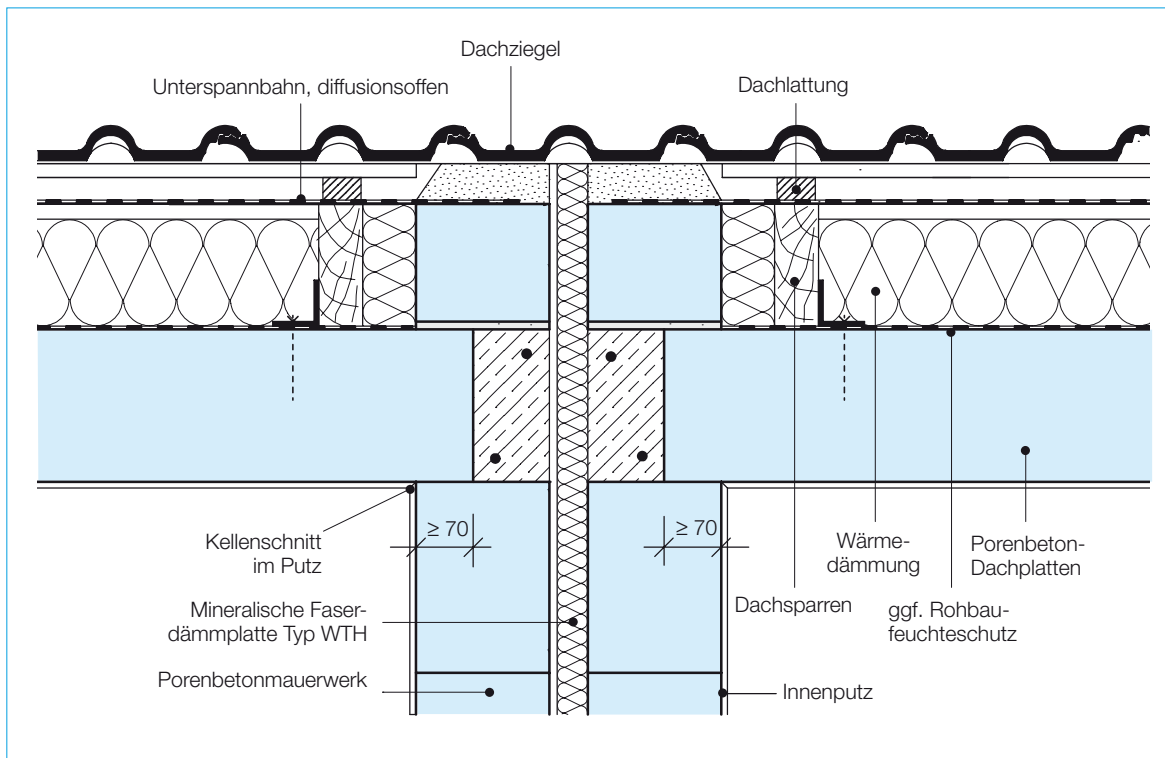


Abb. 9.47: Zwischenauflagerung von Porenbeton-Dachplatten auf zweischaliger Haustrennwand aus Porenbetonmauerwerk (Ringanker unterhalb der Dachplattenebene)

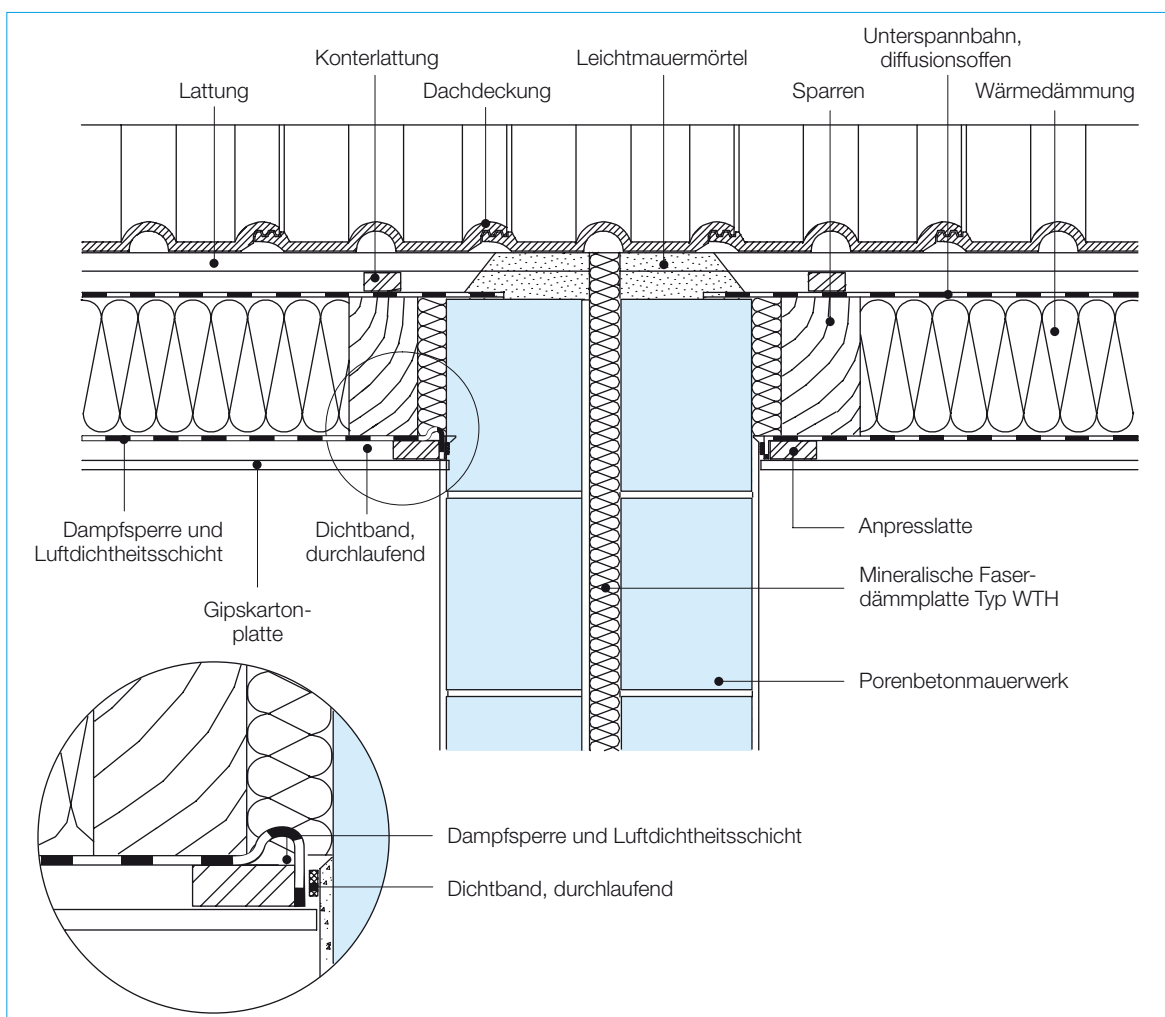


Abb. 9.48: Dachanschluss bei zweischaliger Haustrennwand aus Porenbetonmauerwerk (Holzdach)

Abb. 9.49: Pultdach-Anschluss bei zwei-schaliger Haustrenn-wand aus Poren-betonmauerwerk in Firstrichtung (Ringanker in Dachplattenebene)

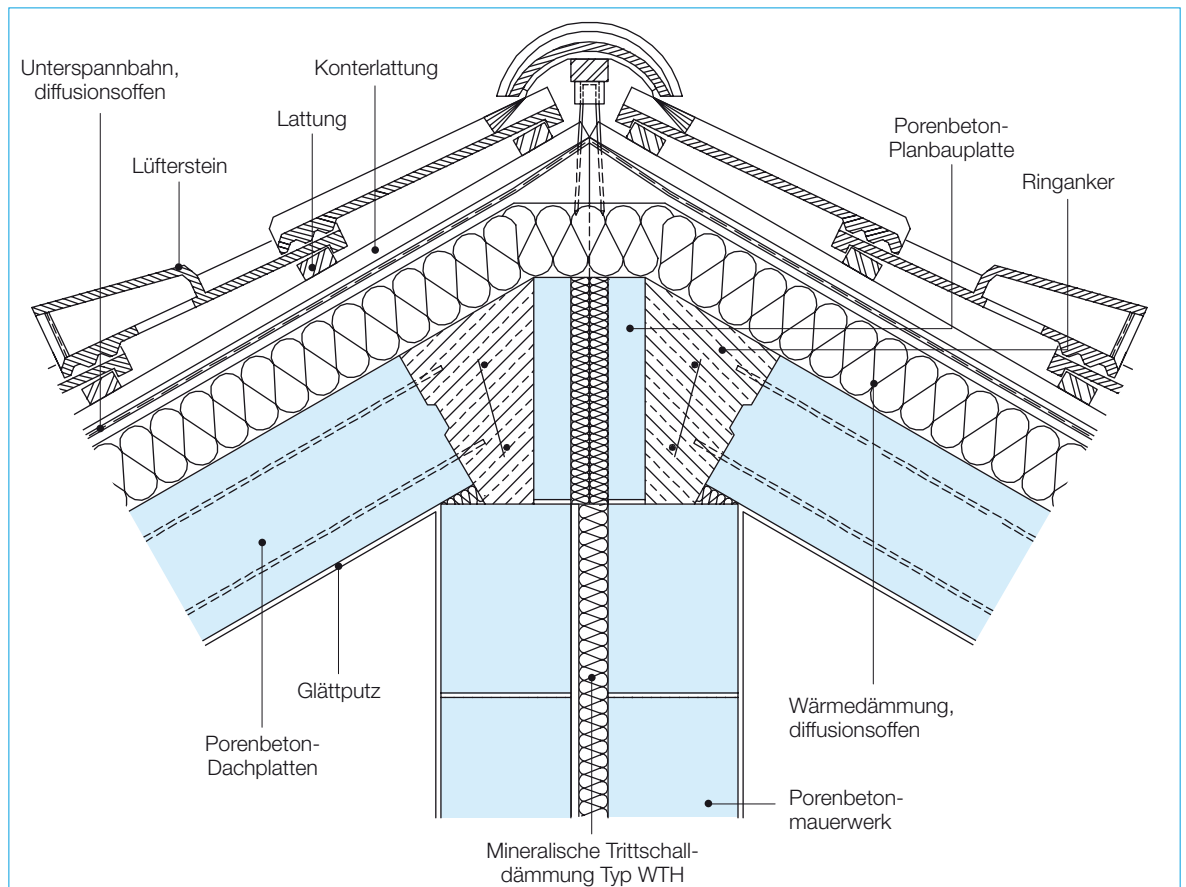


Abb. 9.50: Zwischen-auflagerung von Poren-beton-Dachplatten auf einschaliger Wand aus Porenbetonmauerwerk, Ringanker in Dachplat-tenebene (Ausbildung der Plattenecken als Eckdübel soweit sta-tisch erforderlich)

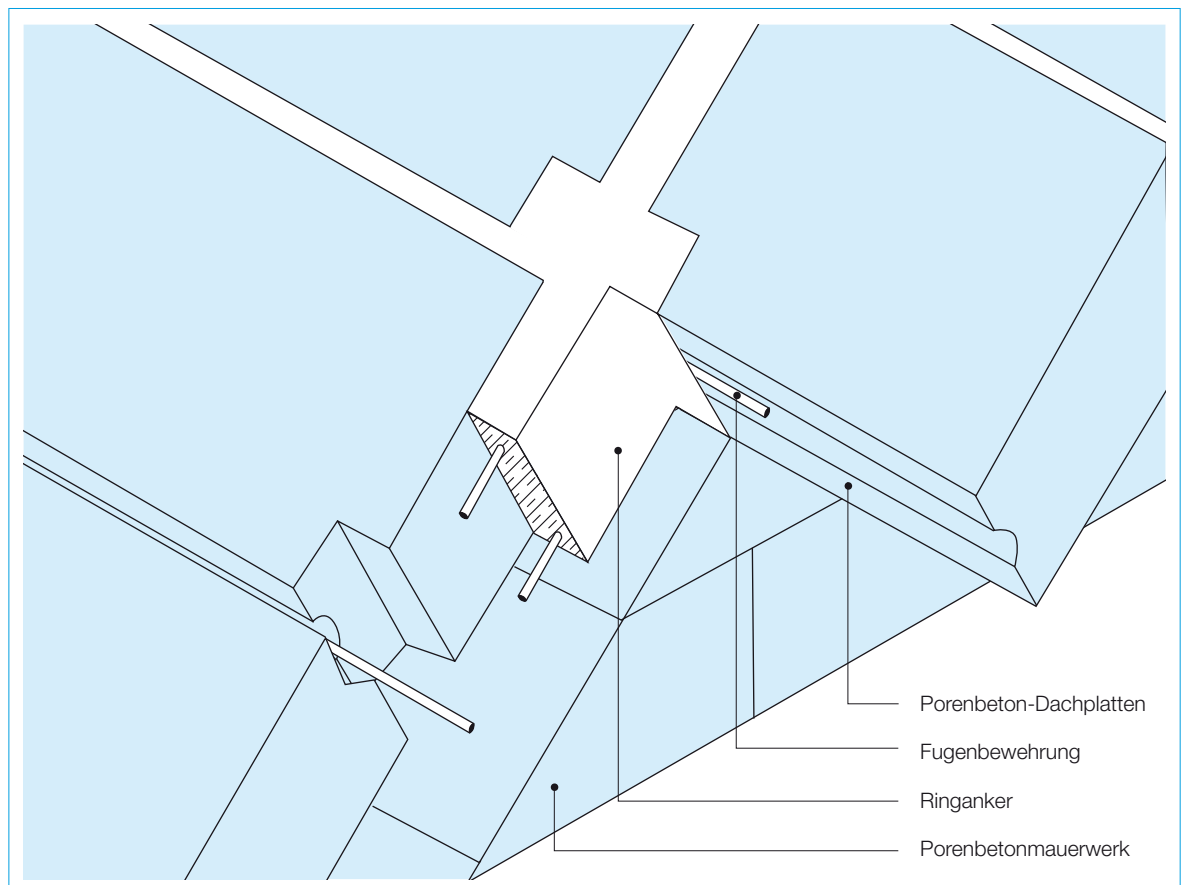


Abb. 9.51: Endauf-
lagerung von Poren-
beton-Dachplatten
am Ortgang mit Aus-
kragung (nach Statik),
Ringanker in U-Schalen
bzw. U-Steinen unter-
halb der Dachplatten-
ebene

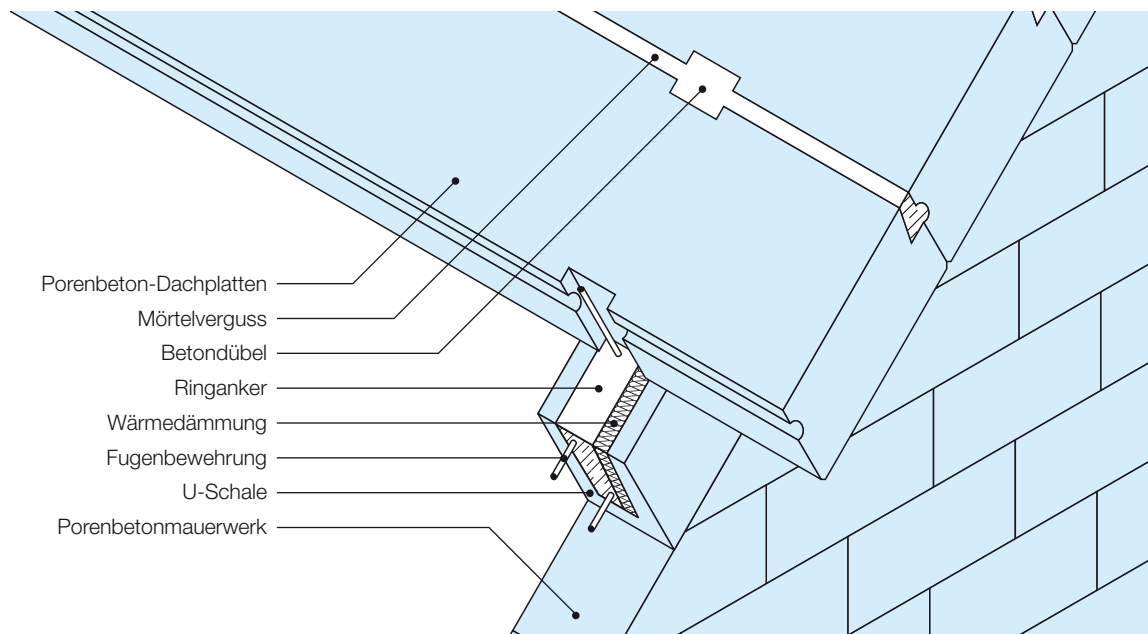
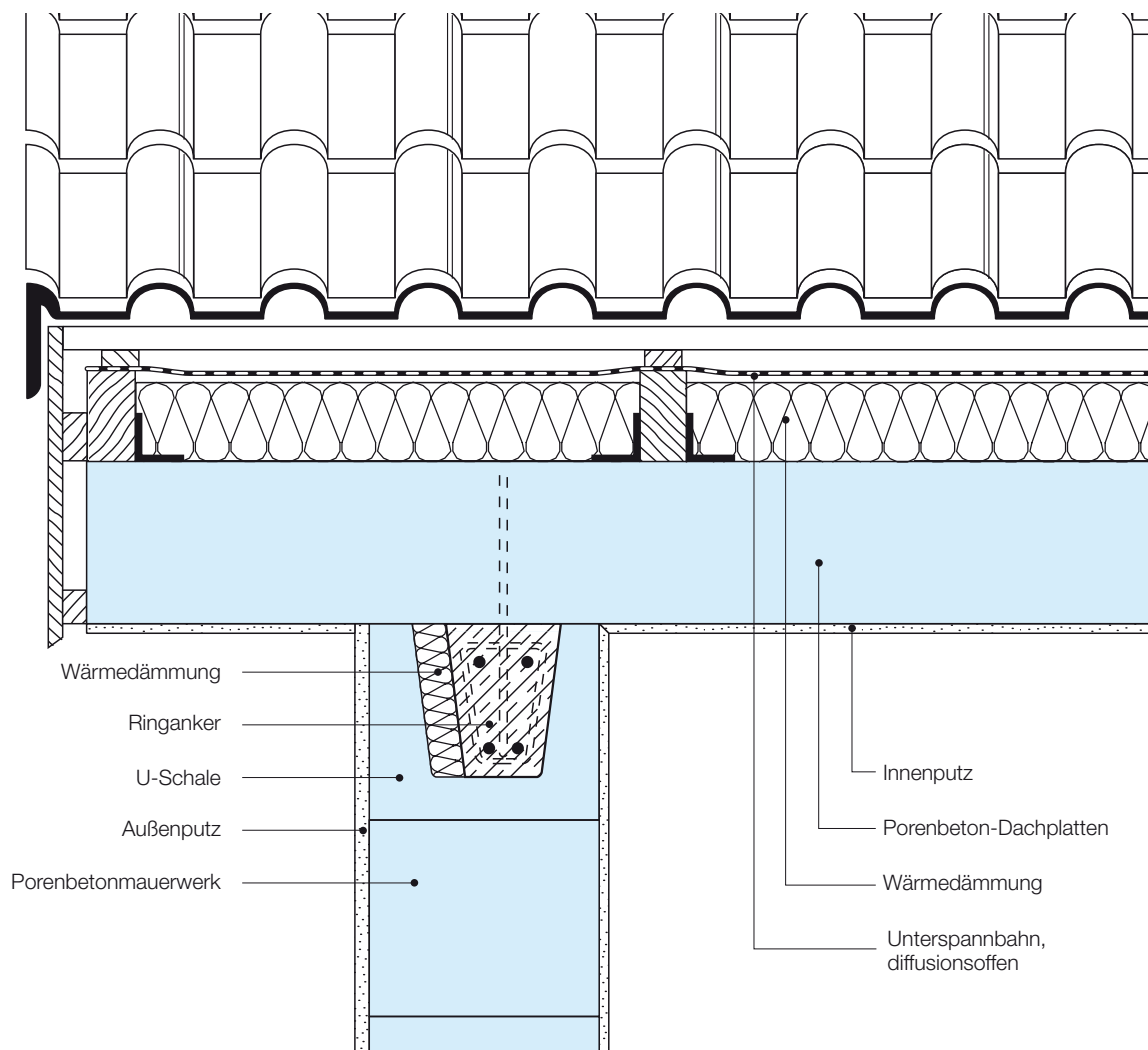
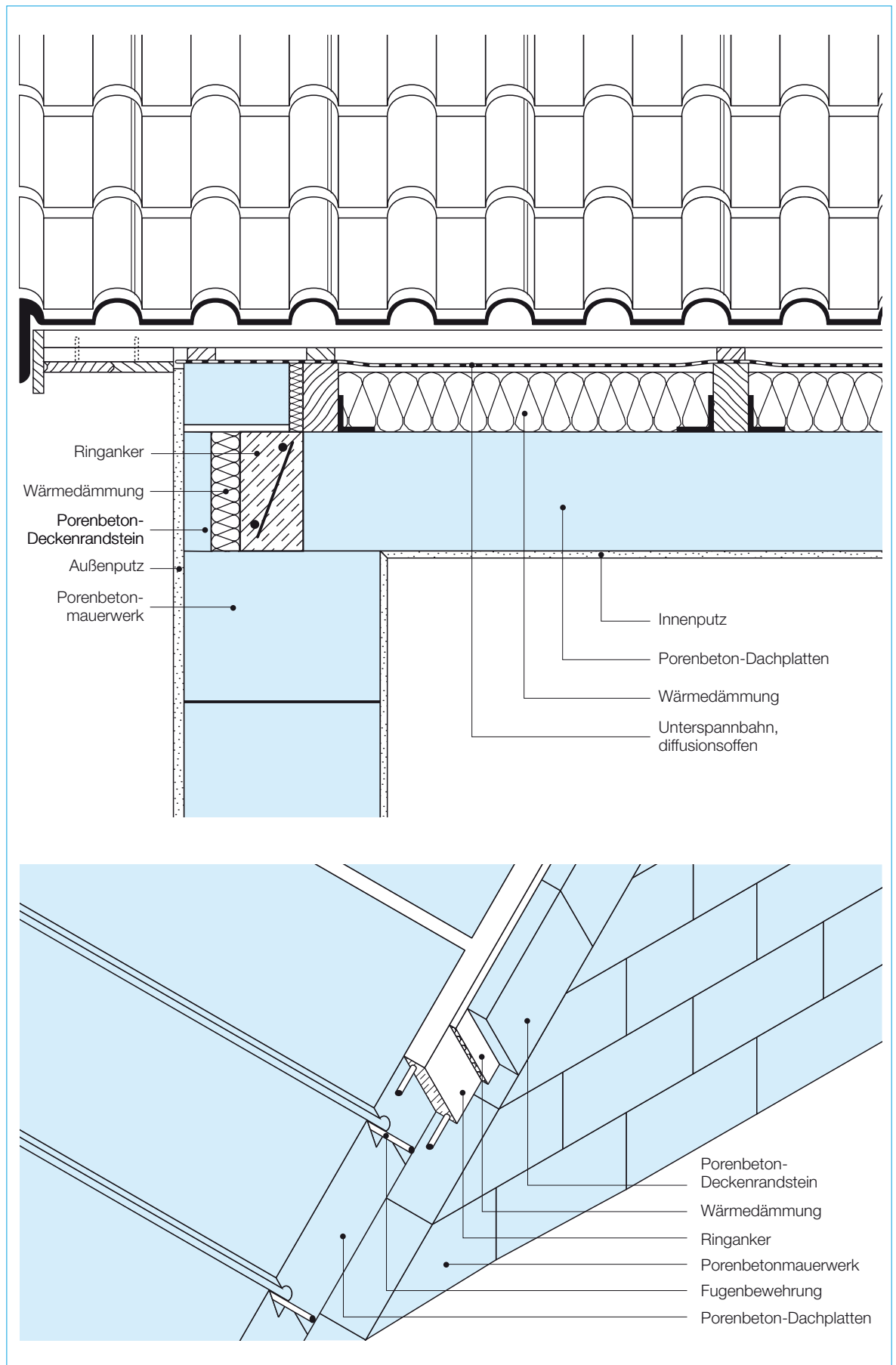


Abb. 9.52: Endauflage-
rung von Porenbeton-
Dachplatten am Ort-
gang ohne Auskragung,
Ringanker in Dach-
plattenebene



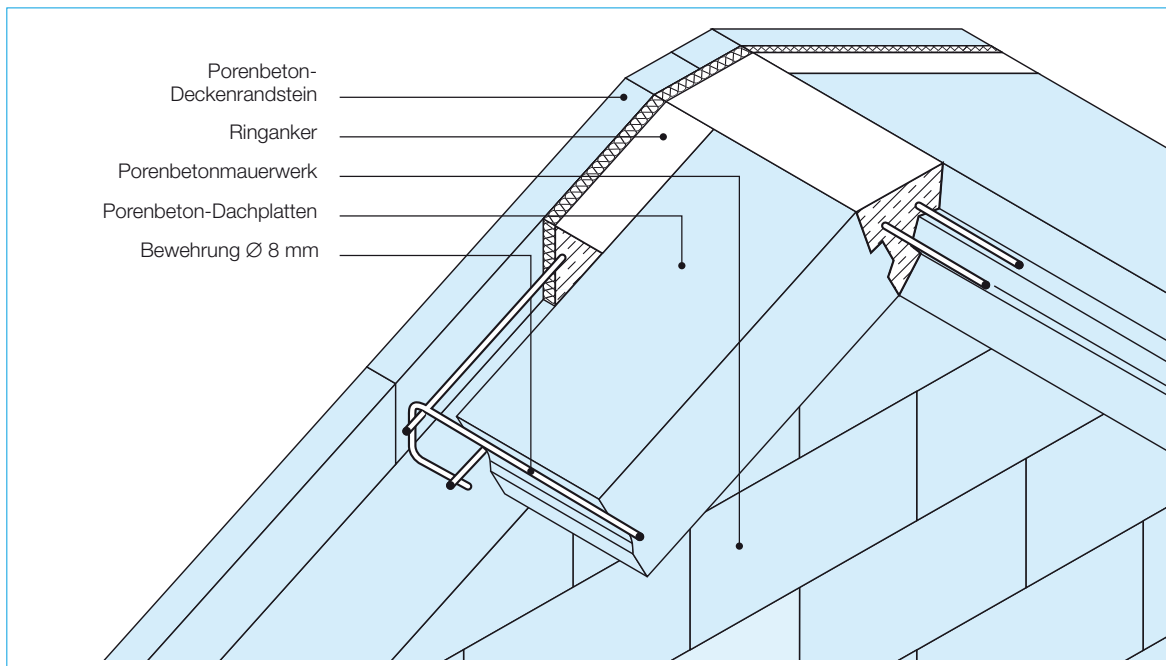


Abb. 9.53: Endauflage-
rung von Porenbeton-
Dachplatten am Ort-
gang mit Ringanker in
Dachplattenebene so-
wie Firstausbildung

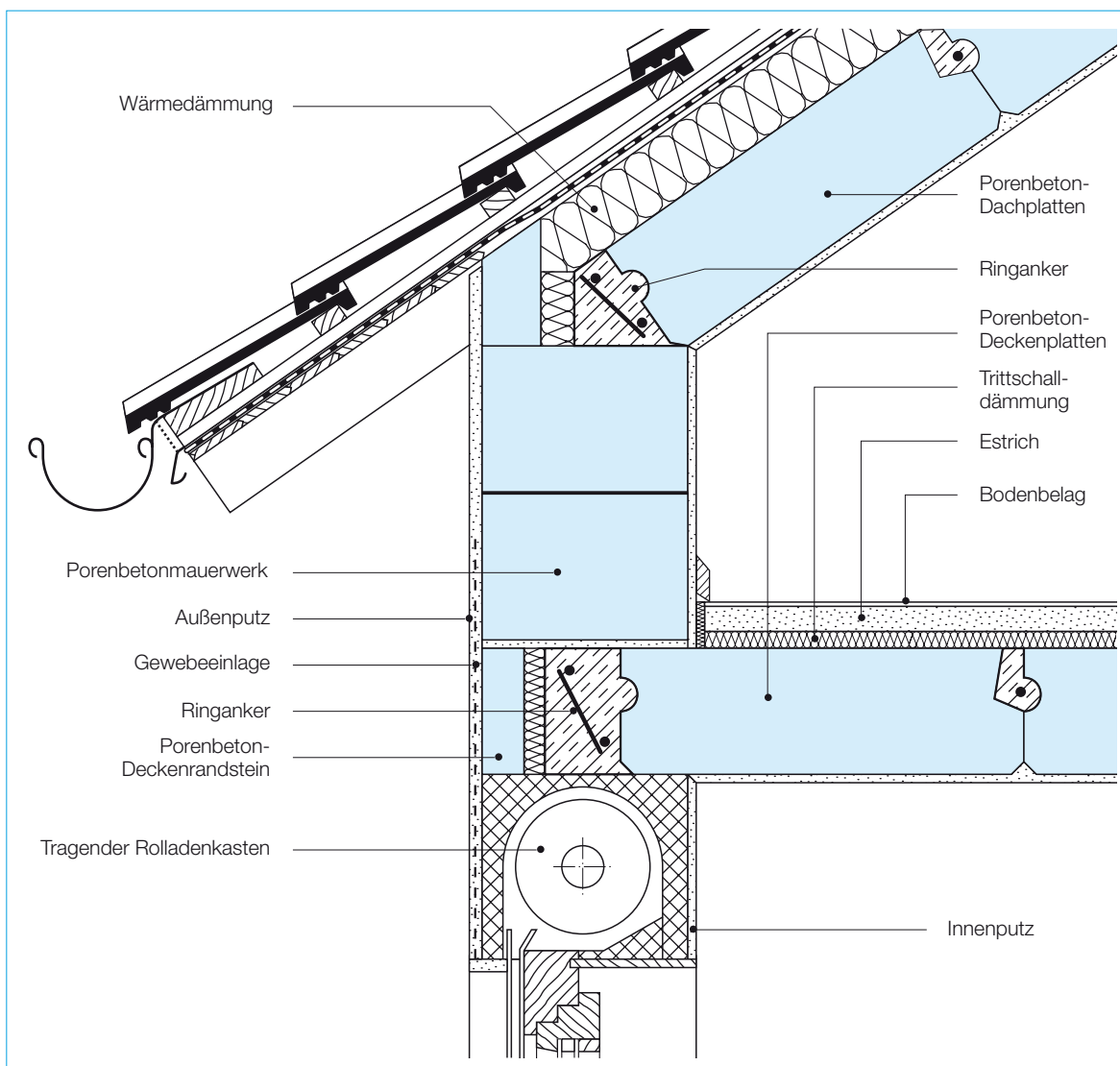
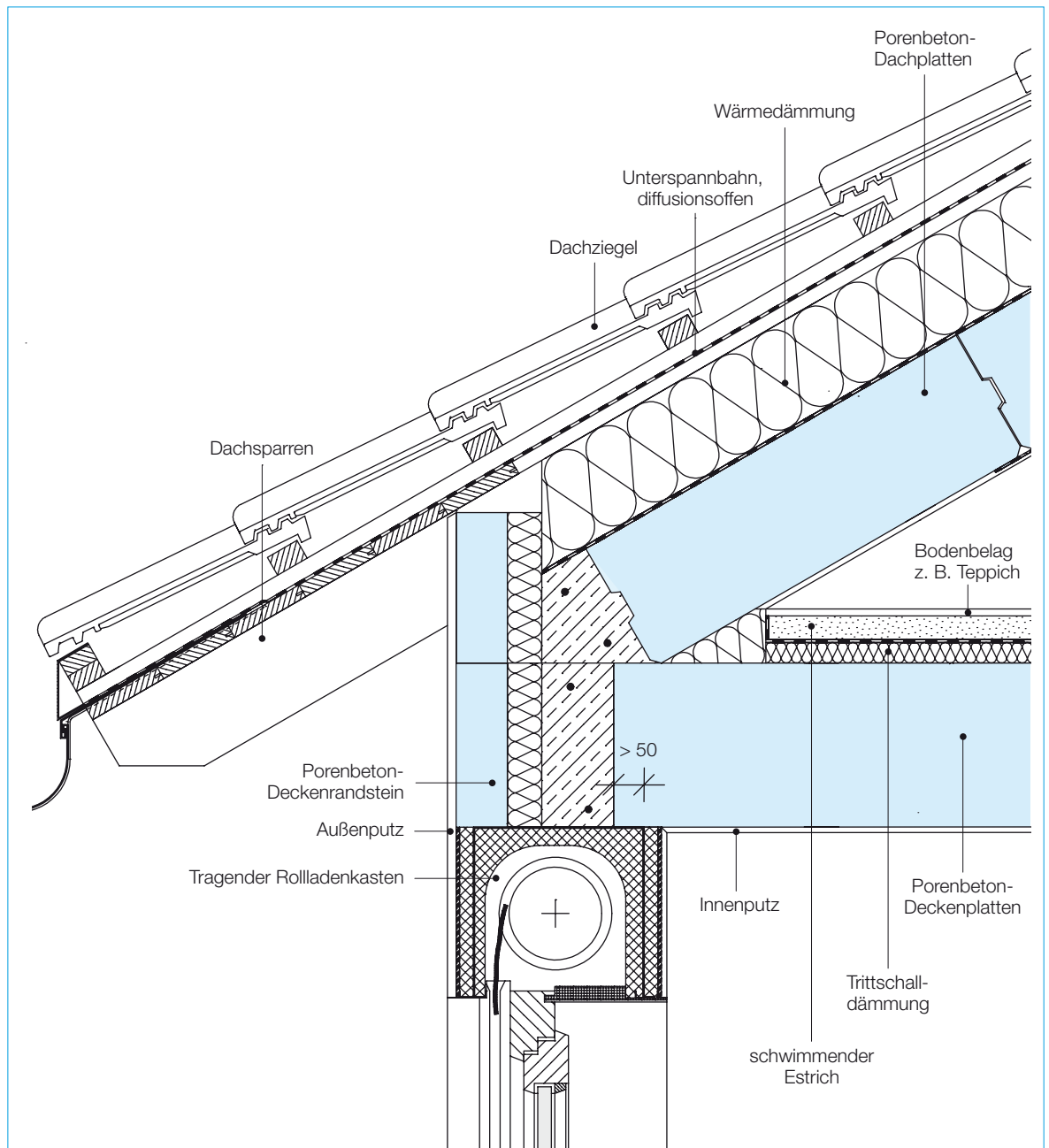


Abb. 9.54: Traufe mit
Kniestock, Decken-
anschluss und nicht
tragendem Rolladen-
kasten

Abb. 9.55: Traufe mit Ringanker in Dachflächen- und Deckenebene



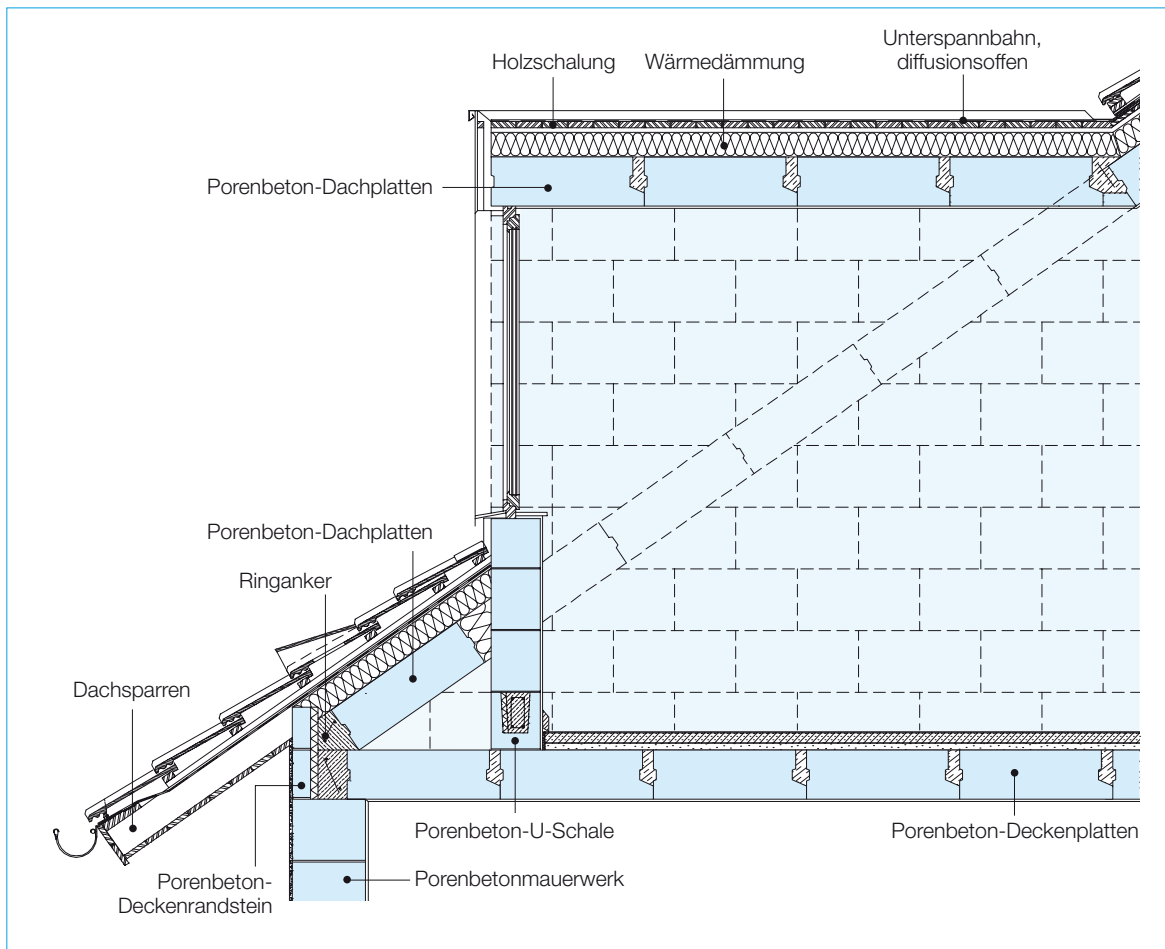


Abb. 9.56: Gaube mit Lastabtragung über die seitlichen Wände

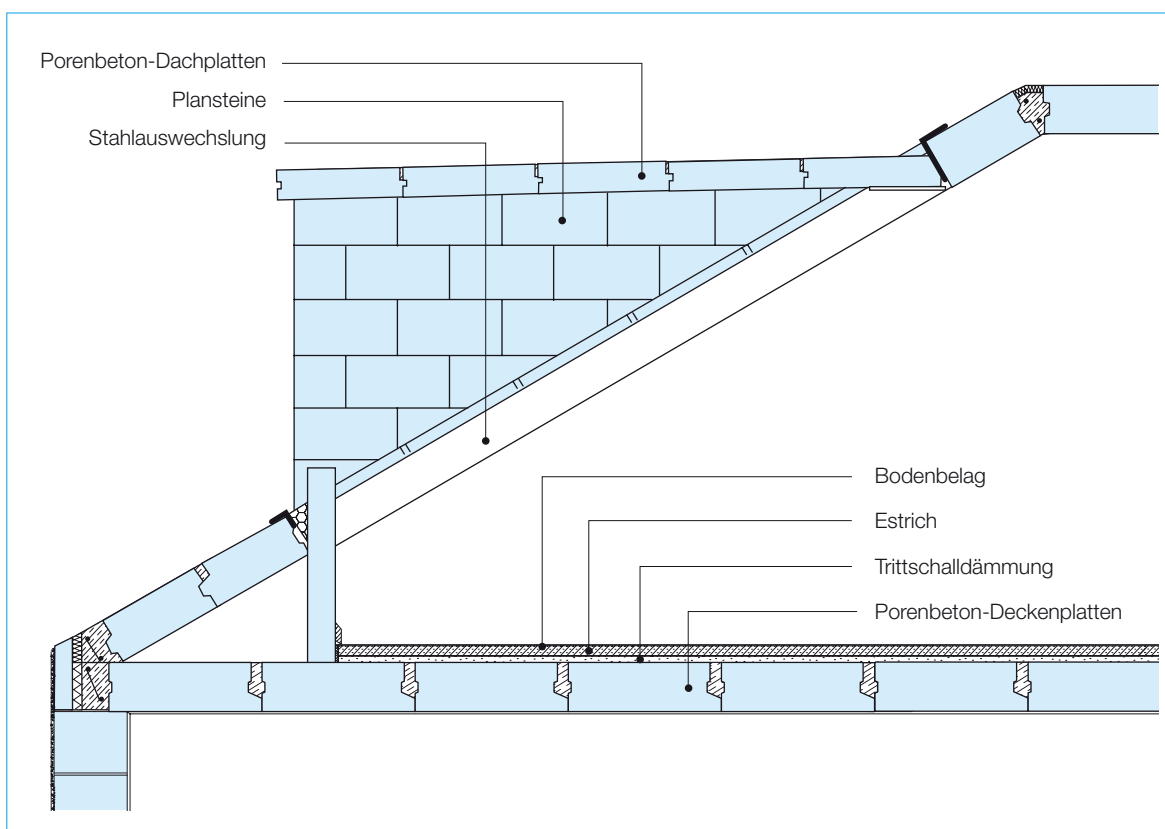
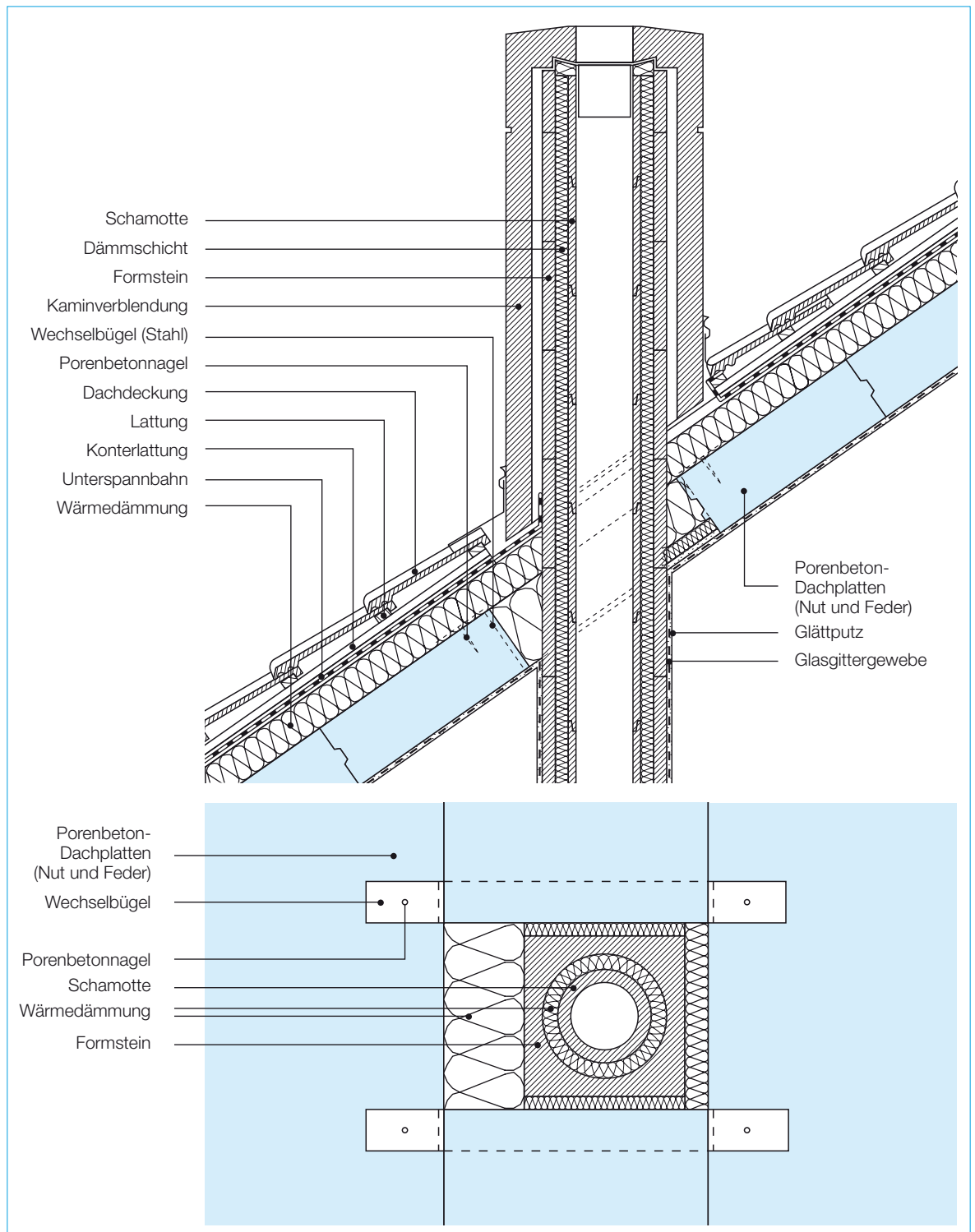


Abb. 9.57: Gaube mit Auswechslung in der Dachebene

Abb. 9.58: Kamin-
durchführung mit
Auswechslung aus
Flachstahlbügeln



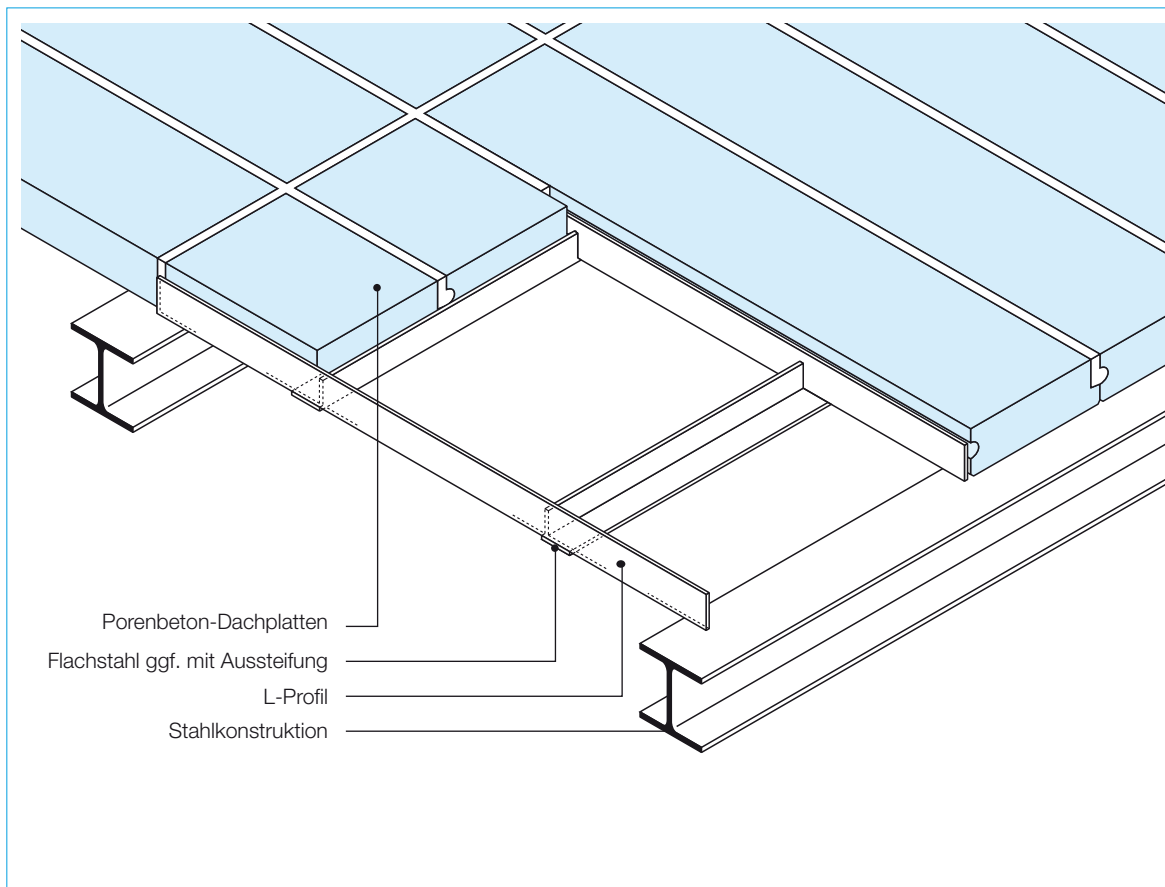


Abb. 9.59: Auswechslung von Porenbeton-Dachplatten mit Stahlrahmen für zwei Plattenbreiten. Die Bemessung des Stahlrahmens erfolgt nach Statik. Die seitlichen Flachstähle erhalten gegebenenfalls eine Aussteifung

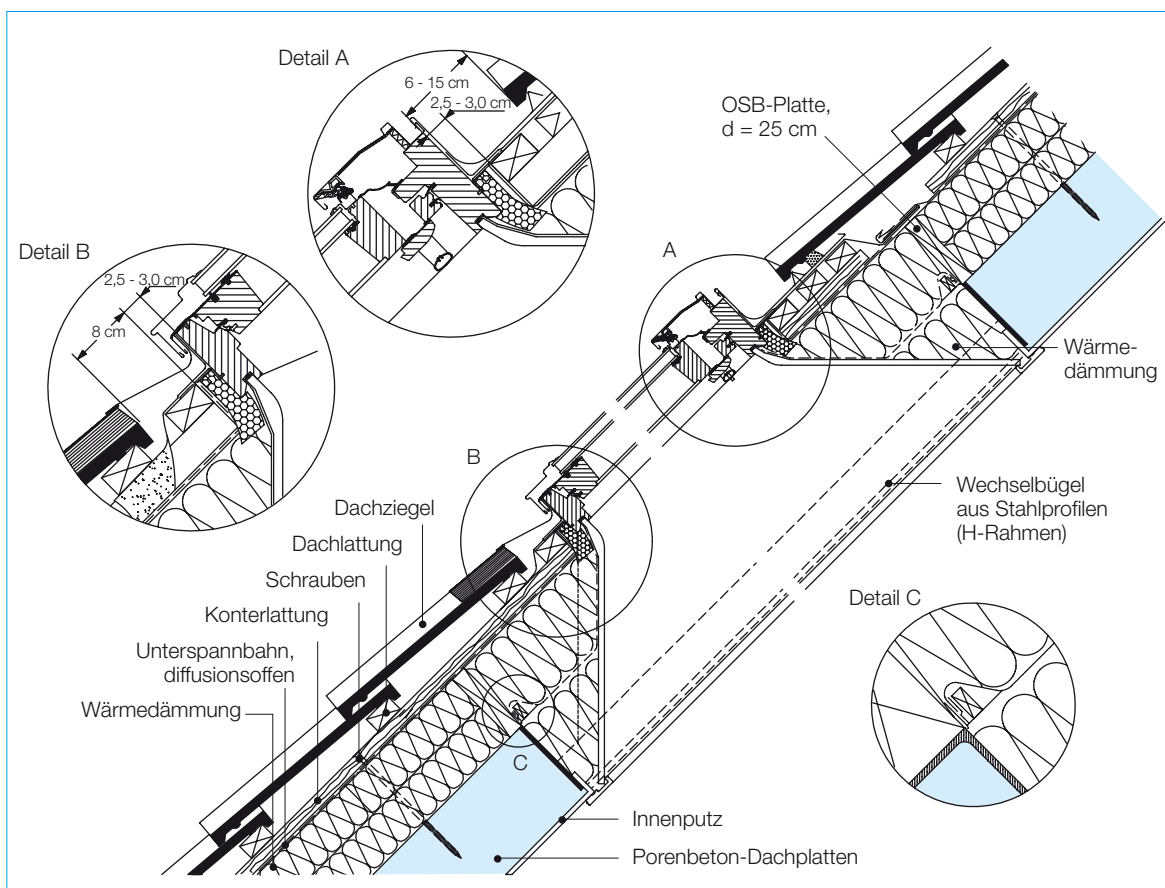


Abb. 9.60: Dachflächenfenster mit Auswechslung in der Dachflächenebene

9.5 Decken aus Porenbeton-Deckenplatten

Die grundsätzlichen Möglichkeiten der Auflagerung von Porenbeton-Deckenplatten auf verschiedenen Untergründen entsprechen denen für Porenbeton-Dachplatten (s. Abschnitt 9.3 „Flachdächer aus Porenbeton-Dachplatten“). Dort gezeigte Details können sinngemäß für Deckenplatten übernommen werden. Durch konstruktive Maßnahmen können Porenbeton-Decken-

platten und Porenbeton-Dachplatten zu horizontalen Scheiben zusammengeschlossen werden. Im Weiteren finden sich in diesem Abschnitt folgende Konstruktionsdetails:

- End- und Zwischenauflagerungen (Abb. 9.61 bis 9.64)
- Deckenaussparungen (Abb. 9.65 und 9.66)
- Loggien und Balkone (Abb. 9.67 bis 9.69)

Abb. 9.61: Endauflagerung von Porenbeton-Deckenplatten auf Porenbetonmauerwerk, Ringanker in Dachplattenebene

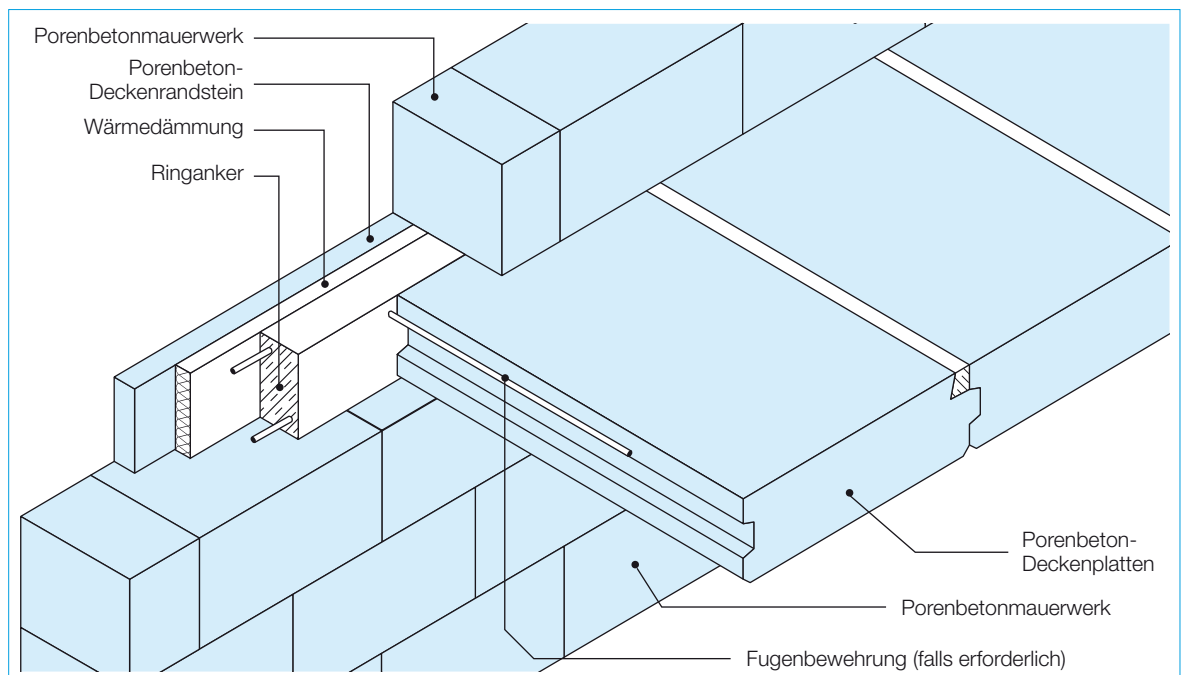
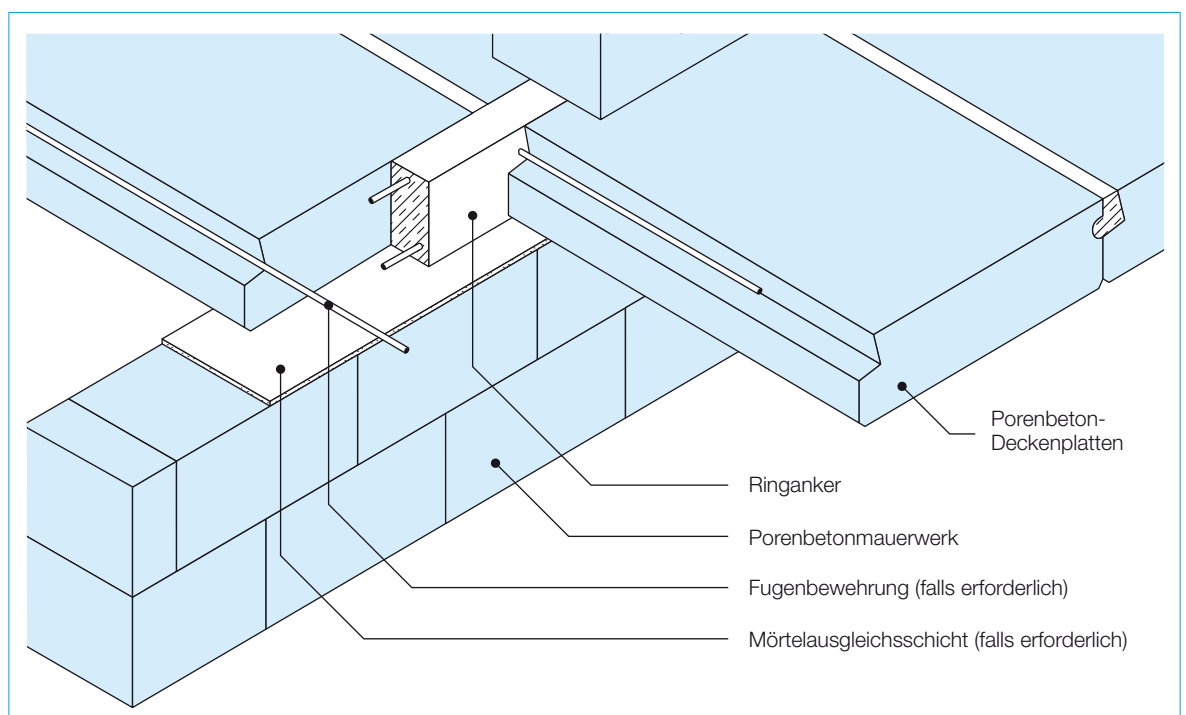


Abb. 9.62: Zwischenauflagerung von Porenbeton-Deckenplatten auf tragender Innenwand aus Porenbetonmauerwerk, Ringanker in Dachplattenebene



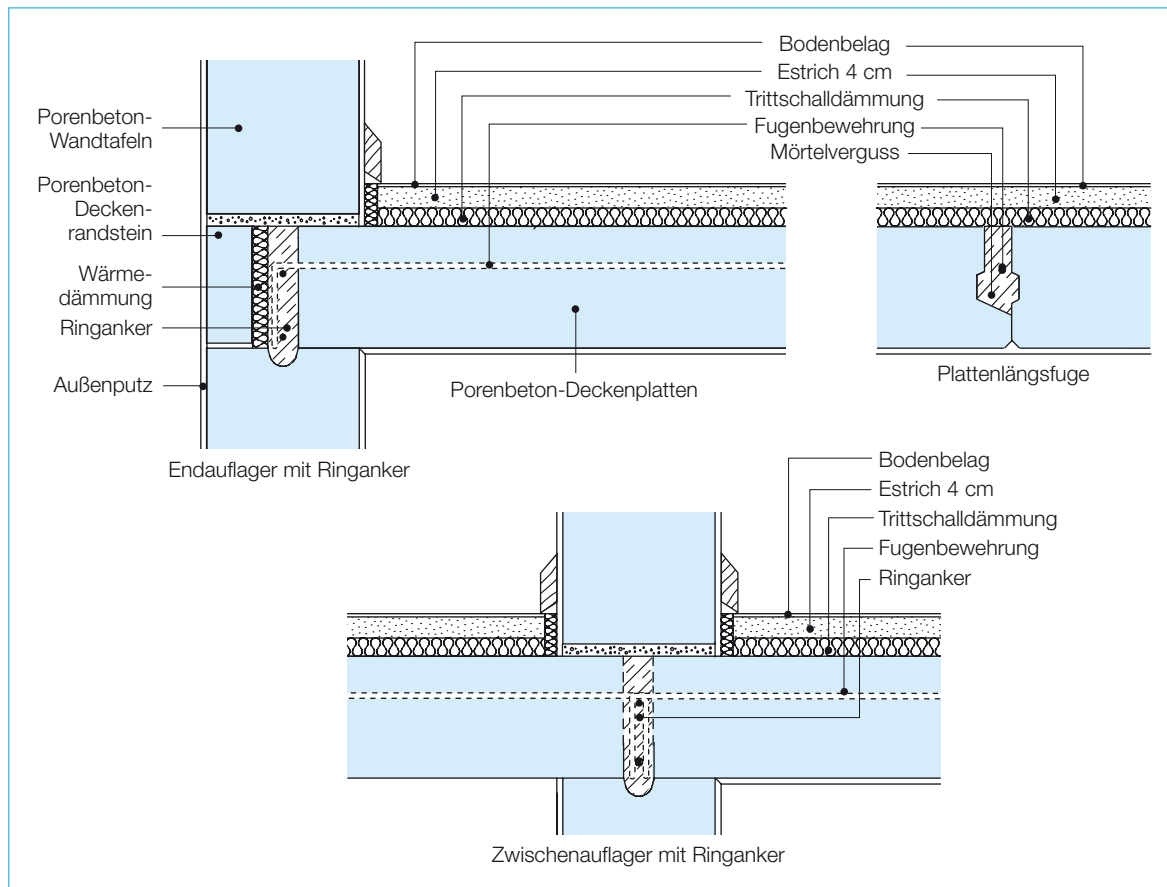


Abb. 9.63: End- und Zwischenauflagerung von Porenbeton-Deckenplatten auf Porenbeton-Wandtafeln, Verkehrslasten $\leq 3,5 \text{ kN/m}^2$

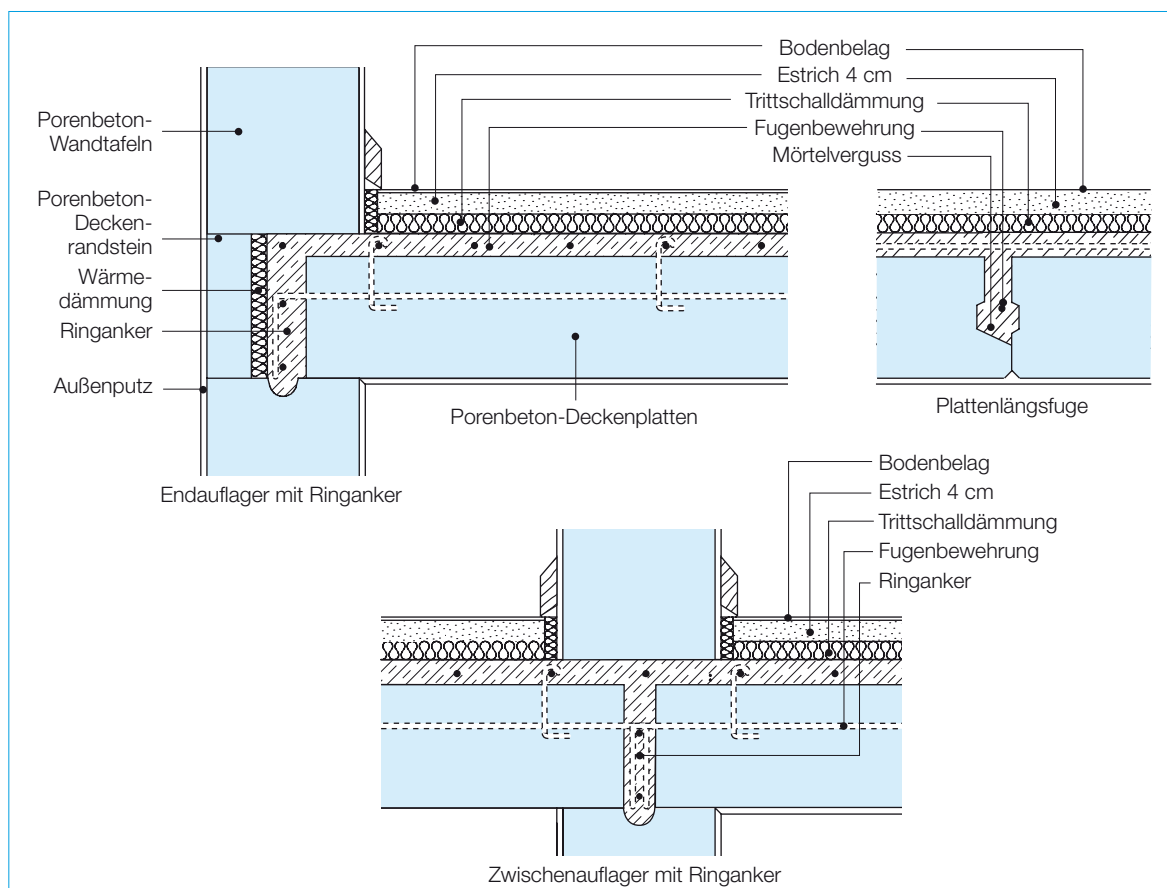
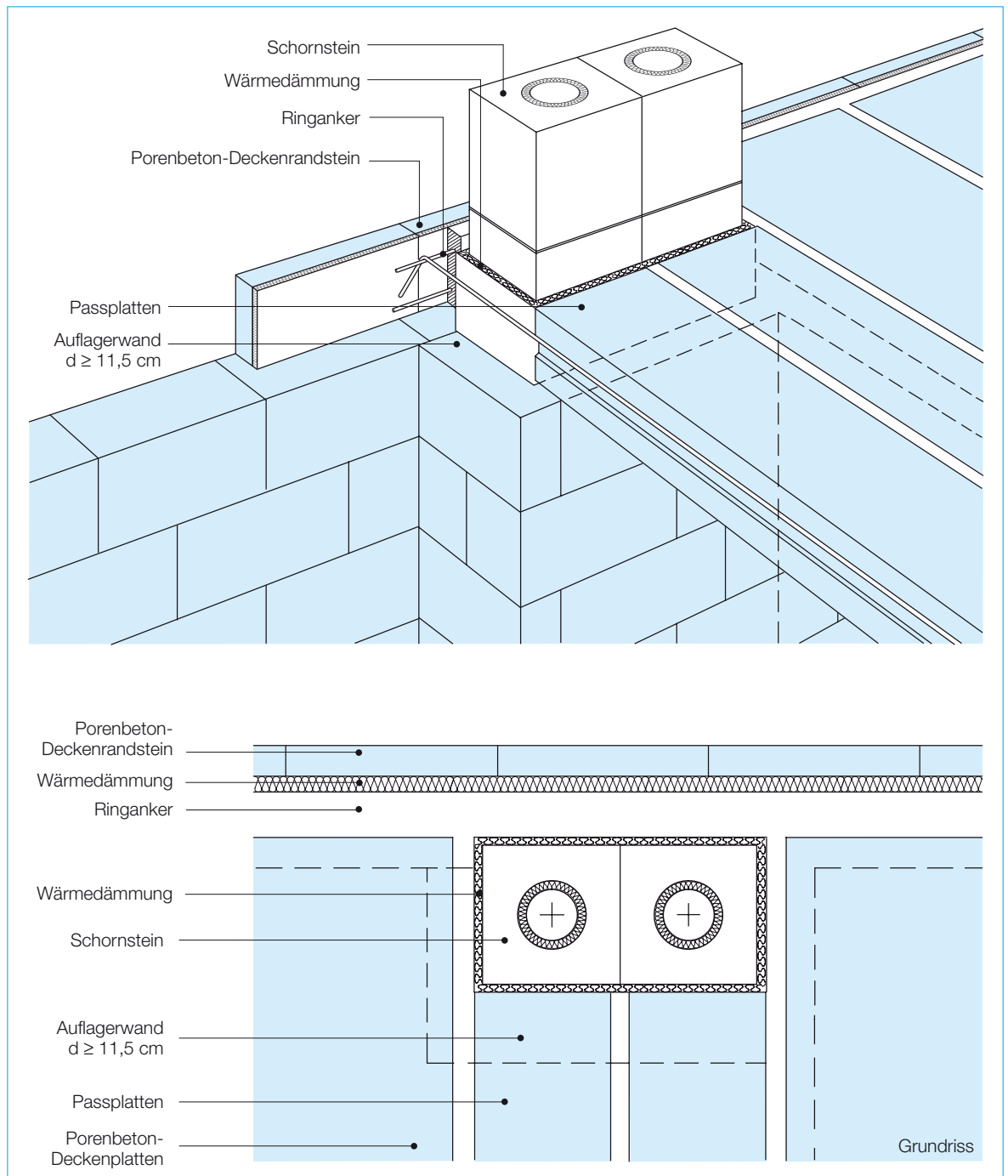


Abb. 9.64: End- und Zwischenauflagerung von Porenbeton-Deckenplatten mit Überbeton auf Porenbeton-Wandtafeln, Verkehrslasten $\leq 5 \text{ kN/m}^2$. Ausbildung der Decke als Scheibe

Abb. 9.65: Decken-
aussparung für einen
Kamin, Auflagerung der
Porenbeton-Decken-
platten auf einer Aufla-
gerwand $d \geq 115 \text{ mm}$



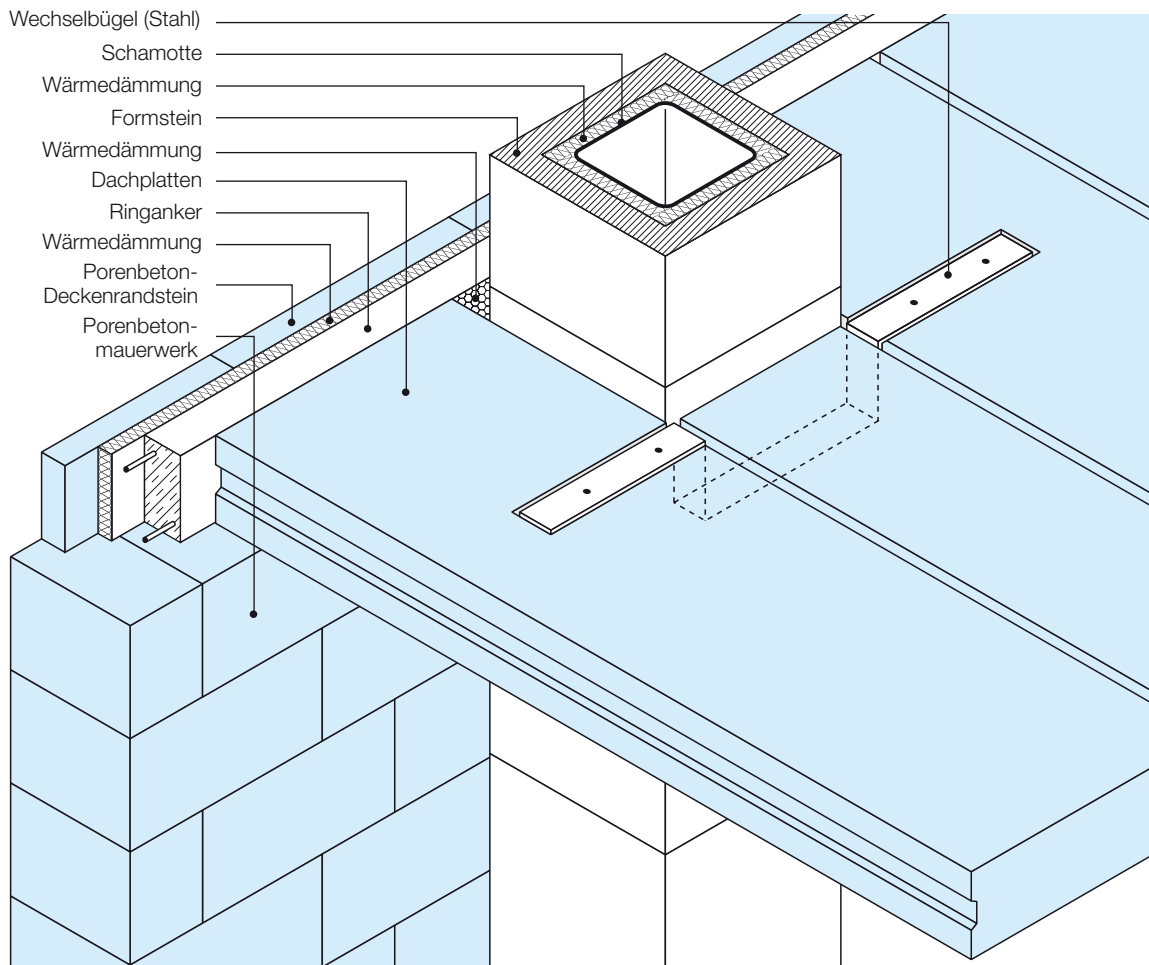


Abb. 9.66: Deckenaussparung für einen Kamin, Auswechselbügel aus Stahl

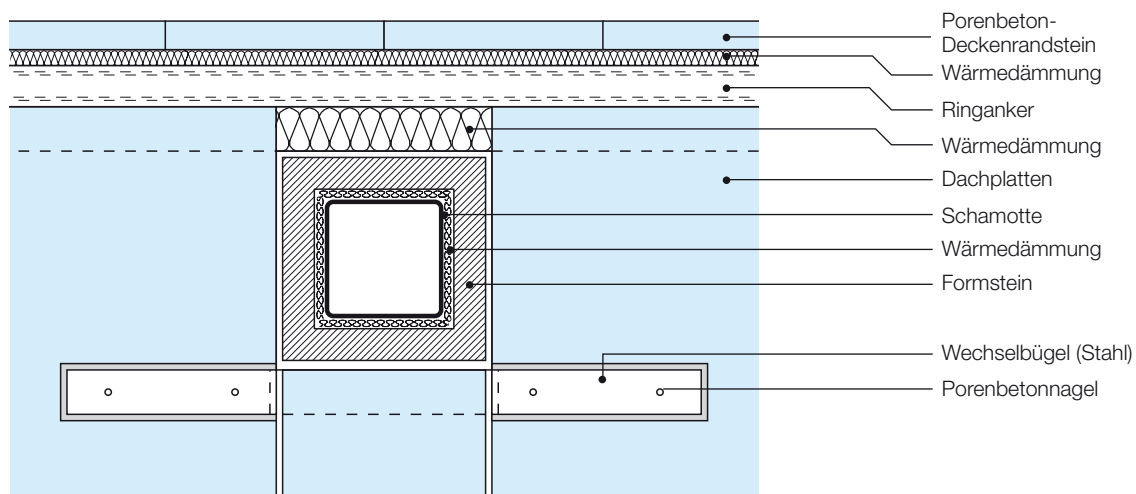


Abb. 9.67: Balkon
(thermisch getrennte
Stahlbetondecke),
Wandbereich

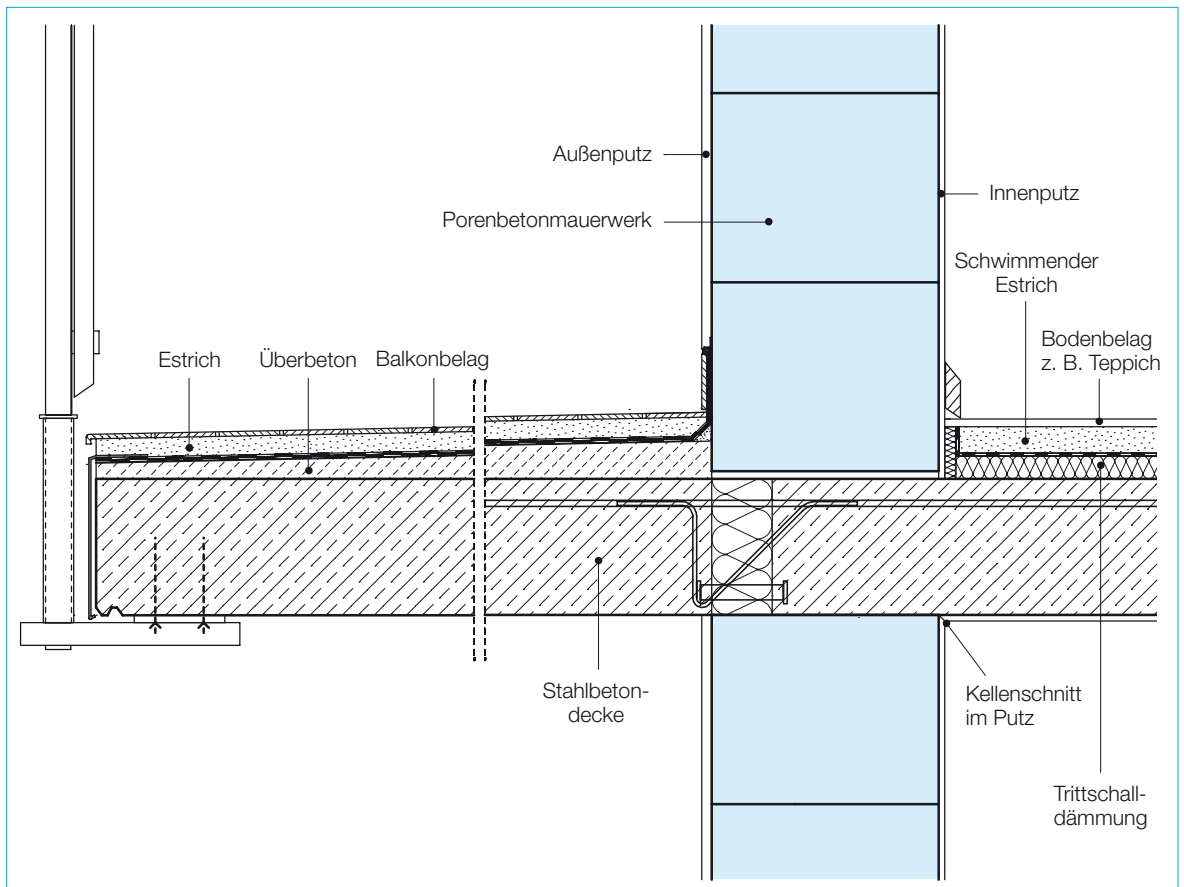
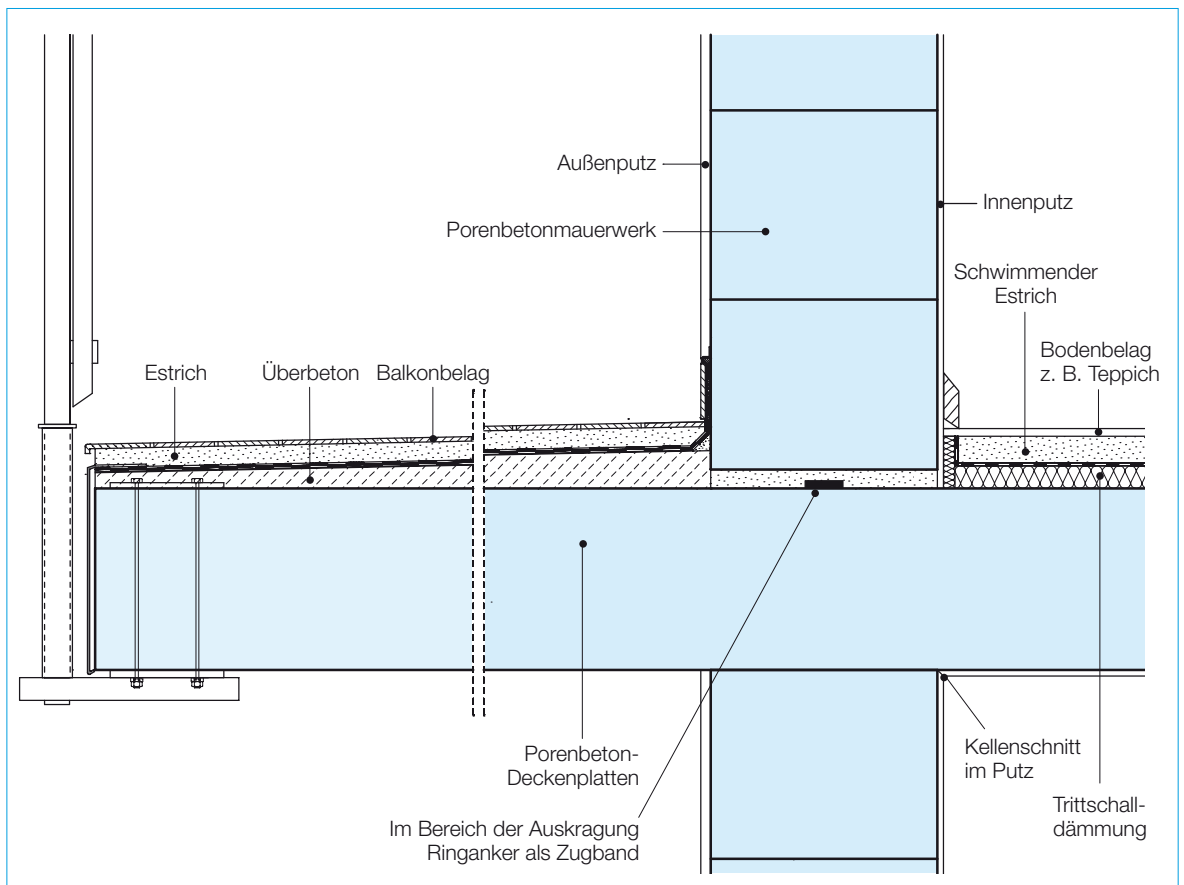


Abb. 9.68: Balkon
(auskragende Porenbeton-Deckenplatte),
Wandbereich



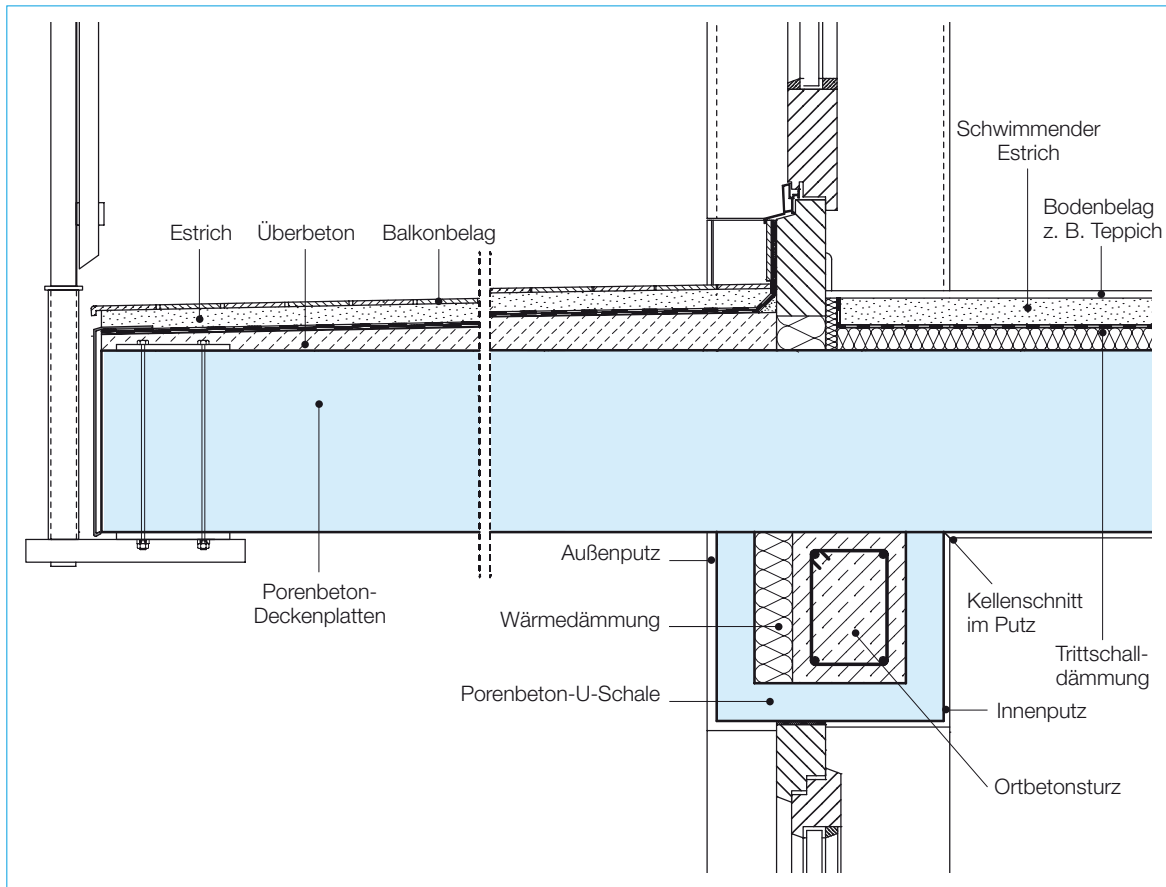


Abb. 9.69: Balkon
(auskragende Porenbeton-Deckenplatte),
Türbereich

AUSFÜHRUNG

10

10.1 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit der Bauausführung und damit die Gesamtkosten eines Objektes sind zu einem großen Teil auf Lohn- und Materialkosten zurückzuführen. Daher wird angestrebt, sie bei gleichbleibender Qualität zu reduzieren. Eine Möglichkeit besteht darin, bei der Entwicklung und Herstellung von Bausystemen einen Teil der sonst auf der Baustelle erforderlichen Arbeitsschritte und Kosten in die Fertigung großformatiger Produkte vorzuverlagern. Mit der Größe der Produkte nimmt die Effektivität zu, was z. B. aus der Anzahl der zu verarbeitenden Mauersteine unmittelbar ablesbar ist (Abb. 10.1). Also entscheidet das Produktformat auch über die Gesamtkosten.

Großformatige Porenbeton-Planelemente, die ebenso wie Porenbeton-Plansteine z. B. für Haustrennwände, Außen- und Innenwände sowie für Kellerwände verwendet werden, führen zu einem deutlichen Rationalisierungsvorteil (Abb. 10.2). Bei einer 300 mm dicken Wand liegt die Tagesleistung eines Maurers, der Poren-

beton-Plansteine verarbeitet, bei etwa 4 m³. Dies ist gegenüber etwa 1,5 bis 2,5 m³/Tag bei Bauweisen mit traditionell kleineren Formaten eine nennenswerte Steigerung. Werden Porenbeton-Planelemente verarbeitet, steigt die Leistung auf über 5 m³/Tag. Mit stehenden wandhohen Elementen kann die Tagesleistung mehr als 12 m³ erreichen. Durch geringe Verarbeitungszeiten werden höhere Materialpreise vorgefertigter, großformatiger Produkte kompensiert. Somit sind Bauunternehmer in der Lage, die Gewinnmarge und die Wettbewerbsfähigkeit bei Einsatz rationeller Bausysteme zu beeinflussen. Unternehmer können mit rationellen Bausystemen entweder bei gleichen Baupreisen höhere Erträge als mit traditionellen Methoden erarbeiten oder durch höhere Produktivität bei gleichen Gewinnmargen günstiger anbieten.

Damit die wirtschaftlichen Vorteile beim Arbeiten mit großen Formaten voll zum Tragen kommen, ist eine gute Planung und durchdachte Baustellenorganisation unerlässlich. Je nachdem, ob es sich um stark gegliedertes, weniger gegliedertes oder Mauerwerk ohne

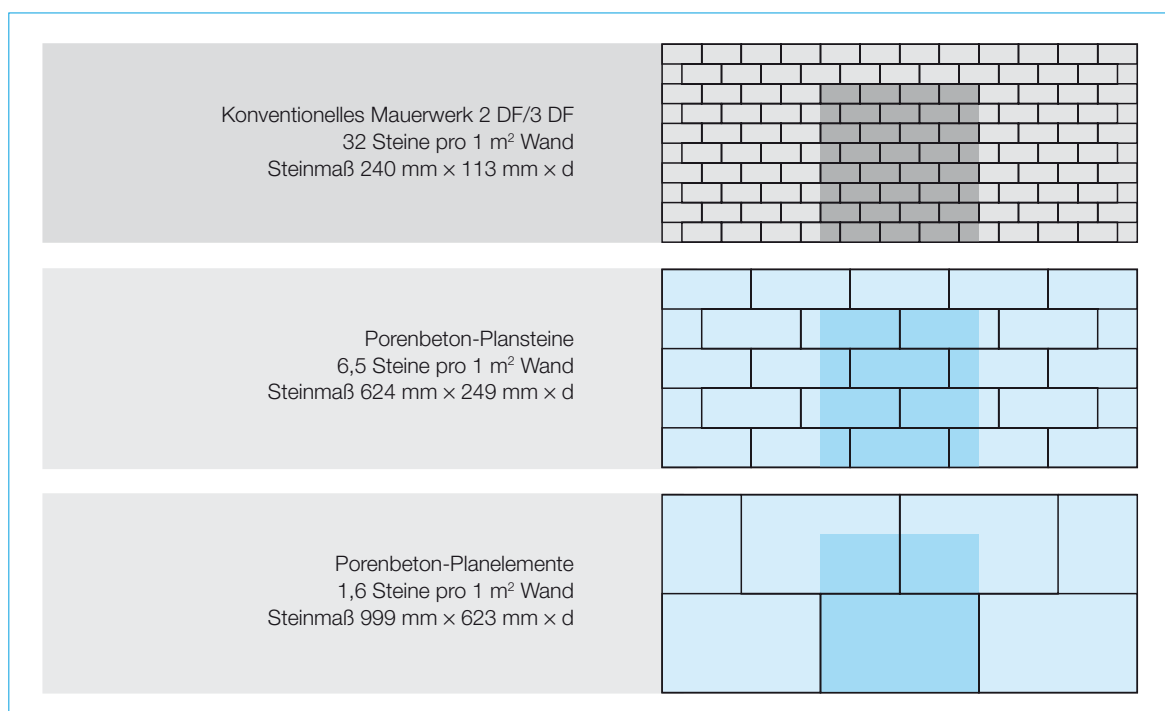
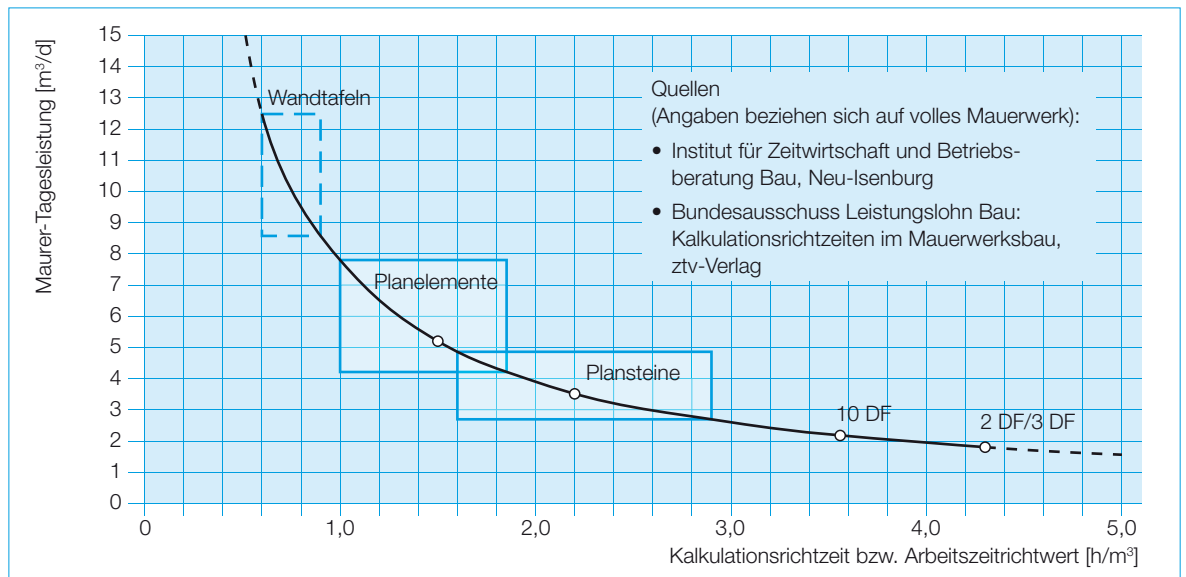


Abb. 10.1: Anzahl der Steine pro m² Wandfläche bei konventionellem Mauerwerk, Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen und aus Porenbeton-Planelementen

Abb. 10.2: Produktivität bei der Verarbeitung von Mauersteinen mit unterschiedlichen Formaten



Öffnungen (z. B. Haustrennwände) handelt, ist zu entscheiden, welches großformatige Porenbetonprodukt sinnvoll eingesetzt werden kann. Durch die abgestimmte Modulordnung ist ein Wechsel zwischen einzelnen Porenbetonprodukten wie auch zu den Formaten anderer Mauersteinarten möglich. Dies gilt gleichermaßen für die Länge und die Höhe der Produkte.

Eine wirtschaftliche Bauausführung ergibt sich besonders dann, wenn Teile eines Bausystems so gut aufeinander abgestimmt sind, dass entweder nachgeschaltete Arbeitsgänge vereinfacht werden (z. B. die Oberflächenbehandlung oder das Herstellen von Aussparungen) oder völlig entfallen können (z. B. Verzicht auf Stoßfugenvermörtelung).

Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit hat auch die Art der Vermörtelung. Traditionelles Mauerwerk ist durch einen hohen Mörtelverbrauch gekennzeichnet, der bis zu 20 % und mehr des Gesamtbauvolumens betragen kann. Neben den Ungenauigkeiten in der Verarbeitung hat dies einen hohen handwerklichen Aufwand und auch lange Austrocknungszeiten zur Folge. Produkte aus Porenbeton, industriell hergestellt und mit geringen Maßabweichungen, in den Lagerfugen mit Dünnbettmörtel vermauert und ohne Stoßfugenvermörtelung, erlauben deutliche Einsparungen bei Mörtelverbrauch und Herstellungszeit.

Lohnkosten sind u. a. von der Materialbearbeitung abhängig. Dem kommt die leichte Bearbeitbarkeit von Porenbeton entgegen. Relativ schnell können durch Sägen, Bohren oder Fräsen Zuschnitte, Aussparungen, Durchbrüche und Schlitzte hergestellt werden. Technik, Werkzeuge und Maschinen entsprechen weitgehend

denen, die auch für die Bearbeitung von Holzwerkstoffen eingesetzt werden. Planebene Oberflächen können direkt verfliesen oder mit Dünnlagenputz versehen werden. Auf Porenbeton abgestimmte Putzsysteme bieten die Möglichkeit einer schnellen Verarbeitung mit geringem Materialbedarf. Eventuelle Beschädigungen von Bauteilen aus Porenbeton können leicht ausgebessert werden. Mit einem speziellen Ausbesserungsmörtel wird eine Struktur erreicht, die der des Porenbetons entspricht. Nach dem Erhärten wird die ausgebesserte Stelle dann so abgeschliffen, dass sie gegenüber der regulären Bauteiloberfläche nicht aufragt. So werden kurze Bearbeitungszeiten bei hoher Genauigkeit ermöglicht.

Vor allem bei Modernisierungen und anderen Bauaufgaben mit differenzierten oder unregelmäßigen Anschlüssen, bei denen viele Anpassungen erforderlich sind, wirkt sich die Möglichkeit der einfachen Materialbearbeitung positiv auf die Lohnkosten aus.

Der Produkttransport ist ein weiterer Faktor für eine wirtschaftliche Bauausführung. Grundsätzlich gilt für alle Produkte aus Porenbeton, dass auf Grund des geringen Gewichts auch geringere Transportkosten vom Werk zur Baustelle entstehen. Das günstige Verhältnis von Gewicht zu Volumen erlaubt es, die Transportkapazitäten voll auszunutzen. Das geringe Gewicht des Porenbetons wirkt sich auch beim Transport auf der Baustelle von der Zwischenlagerfläche zum Einbauort aus.

10.2 Verarbeitung

10.2.1 Plansteine

Für einen raschen und fachgerechten Baufortschritt und zur Erleichterung der Arbeit werden im Porenbeton-Bausystem folgende Werkzeuge eingesetzt (Abb. 10.3):

- Rührquirl (1) oder Rührwerk zum Anrühren des Dünnbettmörtels
- Plansteinkellen in unterschiedlichen Breiten zum vollflächigen Auftragen von Dünnbettmörtel für alle Mauerwerksdicken aus Porenbeton (2)
- Gummihammer zum Ausrichten der Steine (3)
- Wasserwaage zum Ausrichten der Steine (4)
- Widia-Handsäge (5), elektrischer Fuchsschwanz oder Bandsäge zum Schneiden von Pass-Stücken
- Porenbeton-Reibebrett und -Hobel (6) zum Abgleichen eventueller baubedingter Unebenheiten in den Lagerfugen und Wandoberflächen
- Anreisswinkel als Hilfe für winkelgenaues Sägen (7)

Außen- und Innenwände von Gebäuden werden vor dem Errichten gemäß DIN 18195 [93] durch eine horizontale Querschnittsabdichtung gegen aufsteigende Feuchte zwischen Bodenplatte und erster Steinlage geschützt, wobei die Abdichtungsschicht, bestehend aus einer besandeten Bitumenbahn, im Mörtelbett verlegt wird (Abb. 10.4). Alternativ kann die Querschnittsabdichtung aus einer flexiblen Dichtungsschlämme hergestellt werden (s. Kapitel 6 „Feuchte“). Sie wird nach der Grundierung des Untergrundes mit einer wässrigen Suspension in zwei Schichten mit einer Bürste frisch in frisch aufgetragen (Abb. 10.5). Die

Abdichtungsschicht hat zu beiden Seiten der Mauerwerkswand einen Überstand von 10 cm.

Auf die Querschnittsabdichtung wird ein Mörtelbett der Mörtelgruppe III aufgetragen (Abb. 10.6), wodurch ein flucht- und lotrechtes Ausrichten der ersten Steinlage und damit ein exaktes Versetzen der Wand ermöglicht wird. Auf das Mörtelbett wird an jeder Gebäudeecke



Abb. 10.4: Querschnittsabdichtung aus besandeter Bitumenbahn gegen aufsteigende Feuchte



Abb. 10.5: Querschnittsabdichtung aus flexibler Dichtungsschlämme gegen aufsteigende Feuchte

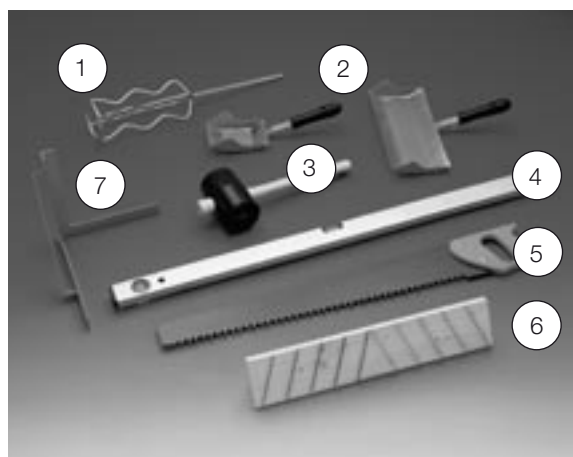


Abb. 10.3: Verarbeitungswerkzeuge für das Porenbeton-Bausystem



Abb. 10.6: Porenbeton-Plansteine; Auftrag eines Mörtelbetts zwischen Querschnittsabdichtung und erster Steinlage

ein Stein gesetzt und in Höhe und Flucht exakt mit einer Schlauchwaage oder einem Nivelliergerät ausgerichtet. Der nächste Stein wird per Hand versetzt und mit einem Gummihammer ausgerichtet (Abb. 10.7). Die waagerechte und fluchtgerechte Verlegung der ersten Steinlage ist mit Richtschnur und Wasserwaage zu kontrollieren, denn zu diesem Zeitpunkt entscheidet sich bereits, ob die Wand gerade versetzt wird. Wird

bei der ersten Steinlage besonders sorgfältig gearbeitet, liegen auch die Folgeschichten waagerecht und fluchtgerecht. Gegebenenfalls können ausführungsbedingte Unebenheiten in der waagerechten Oberfläche der versetzten Steinlage mit einem Plansteinhobel oder einem Schleifbrett beseitigt werden (Abb. 10.8).

Die weiteren Steinlagen werden unter Beachtung des Überbindemaßes mit Dünnbettmörtel (Werk trockenmörtel MG III) vermauert. Das Überbindemaß beträgt in der Regel $0,4 \times h$ gemäß DIN 1053, kann aber auch bei durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen geregelten großformatigen Steinen $0,2 \times h$ betragen. Nachdem Staub und lose Teile abgekehrt wurden, wird mit einer der Steindicke entsprechenden Plansteinkelle der Dünnbettmörtel vollflächig auf die Lagerfuge aufgetragen (Abb. 10.9). Der Planstein wird möglichst genau aufgesetzt und mit einem Gummihammer ausgerichtet und festgeklopft. Mörtel, der dabei aus den Fugen austritt, wird nicht glattgestrichen, sondern mit der Kelle entfernt. Mörtelreste würden sonst die Haftung zwischen Mauerwerk und später aufzutragendem Putz beeinträchtigen.

An Wandecken wird Mauerwerk aus Porenbeton als einbindende Verzahnung ausgebildet. Alle übrigen Wandanschlüsse, z. B. die zug- und druckfeste Verbindung von aussteifenden Innenwänden und aussteifenden Außenwänden, werden in Stumpfstoßtechnik hergestellt (Abb. 10.10). Dazu werden Maueranker in die satt aufgetragene Dünnbettmörtel-Lagerfuge der aussteifenden Wand eingelegt. Die Anzahl der erforderlichen Maueranker ist von der Wandauflast der aussteifenden Wand und der Tragfähigkeit der Anker abhängig (Abb. 10.11). Die aussteifenden Wände werden erst eingebaut, wenn die auszusteienden Wände insgesamt stehen. Beim Verbinden der Wände werden

Abb. 10.7: Porenbeton-Plansteine; Ausrichten mit Wasserwaage und Gummihammer



Abb. 10.8: Porenbeton-Plansteine; Beseitigen von ausführungsbedingten Unebenheiten mit einem Schleifbrett



Abb. 10.9: Porenbeton-Plansteine; Auftrag von Dünnbettmörtel mittels Plansteinkelle



Abb. 10.10: Porenbeton-Plansteine; Zug- und druckfeste Verbindung von Wänden durch Stumpfstoßanschluss

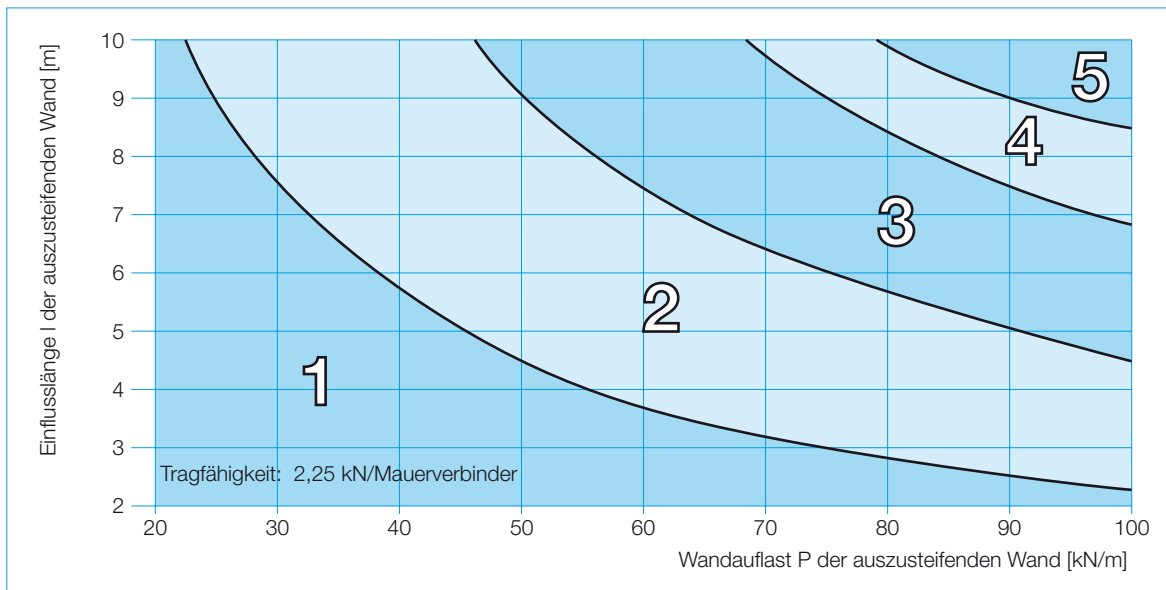


Abb. 10.11: Porenbeton-Plansteine;
Anzahl Mauerverbinder
je Wandhöhendrittel

die Maueranker in die Lagerfugen-Mörtelschichten der aussteifenden Wand gedrückt. Die Stoßfuge zwischen den Wänden wird vollständig vermörtelt.

Luftschichtanker für zweischaliges Mauerwerk erfordern ebenso wie Mauerverbinder einen waagerechten Einbau. Bei unterschiedlichen Schichthöhen zwischen innerer, tragender Mauerwerksschale und Vormauerschale werden spezielle Anker, deren Einbauhöhe sich an den Fugen der Vormauerschale orientiert, in die Hintermauerschale aus Porenbeton gedübelt.

10.2.2 Planelemente

Mauerwerk aus Porenbeton-Planelementen wird mit Hilfe von Minikran und Versetzzange idealerweise im Zwei-Mann-Team errichtet. Dies ermöglicht einen zügigen Baufortschritt und entlastet die Handwerker. Ein Maurer versetzt mit Hilfe des Minikrans Porenbeton-Planelemente und richtet sie aus. Er legt Öffnungen an,

baut Mauerverbinder für Stumpfstoßanschlüsse und Luftschichtanker für zweischaliges Mauerwerk ein. Der Helfer bedient den Minikran und ist für das Bereitstellen und Aufnehmen der Planelemente, das zeitgerechte Anfertigen von Füll- und Pass-Steinen sowie das Bereitstellen und Mischen des Dünnbettmörtels zuständig.

Bereits in der Planungsphase sollte ein Wandabwicklungsplan erstellt werden, damit Grundriss und Steinformat optimal aufeinander abgestimmt sind. Nach Möglichkeit werden ganze Planelemente verwendet, um den Aufwand für die Herstellung von Füll- und Pass-Steinen und damit die Verarbeitungszeiten und Materialkosten zu verringern. Auch bei der Ausführung auf der Baustelle ist auf einen rationellen Bauablauf zu achten (Abb. 10.12): Begonnen wird mit dem Mauern der Wandecken. Anschließend wird das dazwischen liegende Mauerwerk abschnittsweise entsprechend dem Schwenkbereich des Minikrans errichtet.

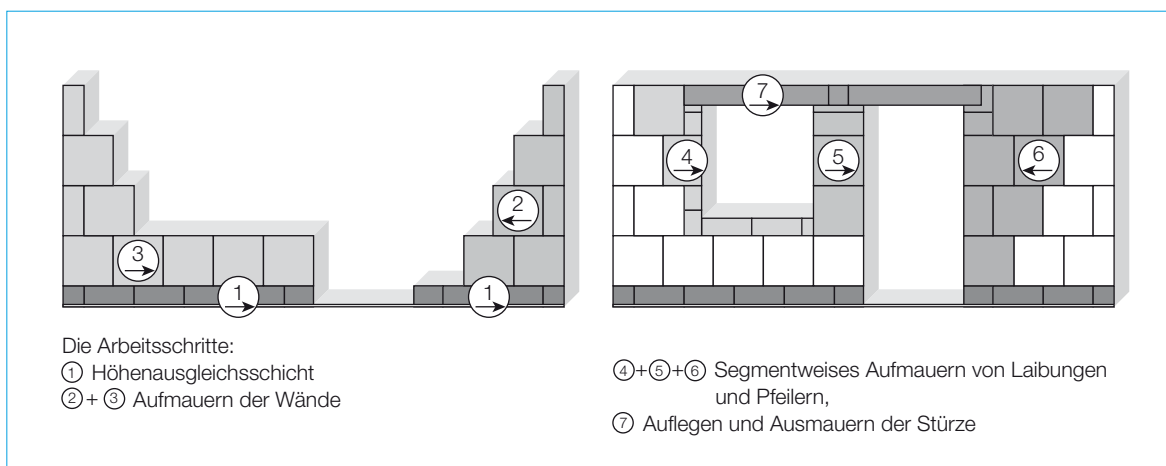


Abb. 10.12: Porenbeton-Planelemente;
Wandabwicklungsplan

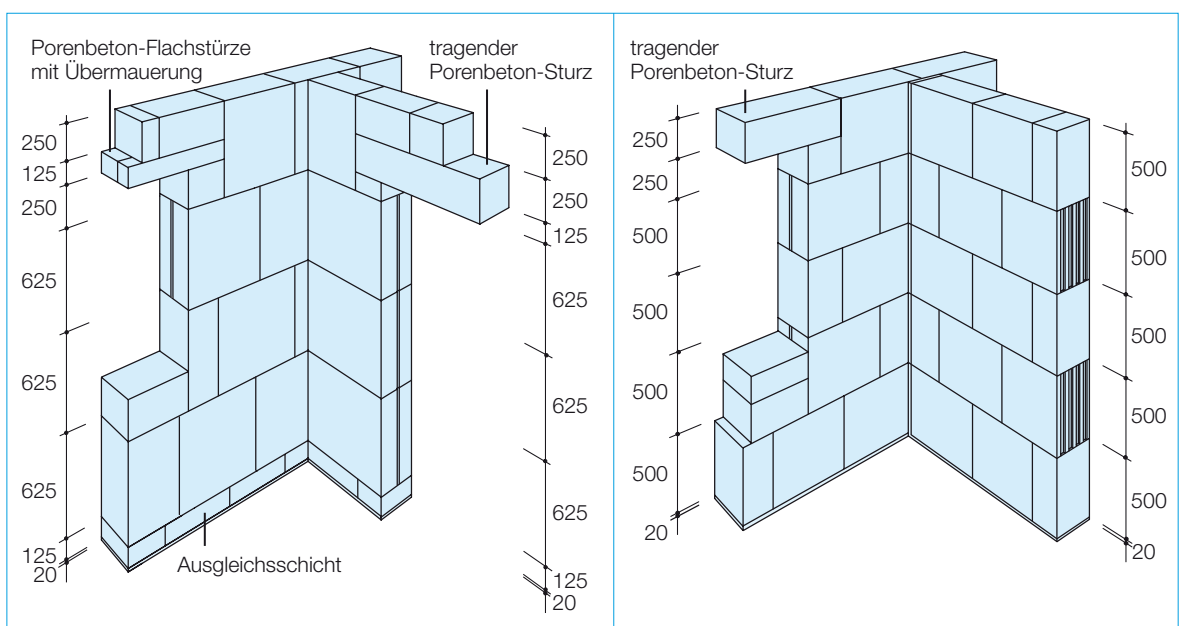
Abb. 10.13: Porenbeton-Planelemente; Anlegen einer Höhenausgleichsschicht



Abb. 10.14: Porenbeton-Planelemente; Versetzen mittels Mini-kran und Greifzange



Abb. 10.15: Porenbeton-Planelemente; Planung der Geschosshöhe mit oder ohne Höhenausgleichssteine



Ebenso wie beim Plansteinmauerwerk wird beim Mauerwerk aus Planelementen zunächst eine Querschnittsabdichtung in einem Mörtelbett (MG III) auf die Bodenplatte aufgebracht. Um die geplante Geschosshöhe zu erzielen, kann eine Ausgleichsschicht aus Höhenausgleichsteinen erforderlich sein (Abb. 10.13). Die weitere Verarbeitung erfolgt in Dünnbettmörtel. Das Planelement wird möglichst passgenau auf den endgültigen Platz eingeschwenkt (Abb. 10.14), in das Mörtelbett abgesetzt, ausgerichtet und festgeklopft.

Die Rationalisierungsvorteile des Mauerns mit Porenbeton-Planelementen machen sich schon bei mittlerem Bauvolumen bemerkbar. Bei größeren Bauvorhaben mit wenig gegliedertem Mauerwerk werden die wirtschaftlichen Vorteile optimal genutzt. Gute Planung und Baustellenorganisation sowie auf das Raster abgestimmte Steinmaße sind Voraussetzungen, um Arbeitszeit und Arbeitskraft einzusparen.

Die aufeinander abgestimmten Standardhöhen der verschiedenformatigen Porenbeton-Planelemente schaffen Flexibilität beim Wandhöhenentwurf. Jede gewünschte Geschosshöhe kann mit oder ohne Höhenausgleichsschicht errichtet werden, ohne dass Planelemente geschnitten werden müssen (Abb. 10.15). Pass-Steine für den Längenausgleich und im Auflagerbereich von Stützen werden aus Porenbeton-Plansteinen oder Porenbeton-Planelementen auf der Bandsäge vor Ort millimetergenau zugeschnitten.

10.2.3 Wandtafeln

Porenbeton-Wandtafeln sind grundsätzlich für alle Grundrissgestaltungen einsetzbar. Vorteilhaft ist es jedoch, ein Planungsraster zugrunde zu legen, das auf der Wandtafelbreite oder einem Teil davon aufbaut. Die Systemplanung sieht grundsätzlich deckengleiche Stürze vor. Sollen dagegen Stürze oder Rolladenkästen eingebaut werden, stehen für den Auflagerbereich auch kürzere als geschosshohe Wandtafeln zur Verfügung. Im Brüstungsbereich kommen Pass-Stücke in verschiedenen Höhen und entsprechenden Wanddicken zum Einsatz.

Querschnittsabdichtungen, Mörtelbett und Stumpfstoßtechnik werden wie bei Mauerwerk aus kleinformatierten Porenbetonprodukten ausgeführt.

Zu Beginn der Montage liegt ein Plan mit genauer Einbaulage der einzelnen Wandtafeln vor. Die Ausführung beginnt nach Herstellung der Querschnittsabdichtung mit dem Auftrag von Dünnbettmörtel auf eine Mörtel-Ausgleichsschicht (Abb. 10.16) und auf die Stoßfugen der noch nicht eingebauten, auf der Lieferpalette liegenden Wandplatte. Diese wird anschließend mit einem Kran zur Verarbeitungsstelle gebracht und entsprechend dem Verlegeplan möglichst genau abgesetzt.

Das Versetzen beginnt ausgehend von einer Außen-ecke oder einer raumhohen Öffnung im Uhrzeigersinn. Durchgehende Wände werden von einem Wandanschluss ausgehend montiert. Nach Fertigstellung von etwa 25 % einer Wandfläche werden die Baumaße überprüft. Unvermeidliche Maßungenauigkeiten in Stahlbeton-Boden- oder -Deckenplatten können durch Variieren der Fugenbreite sowie durch Aufputzen oder Kürzen an Wandenden ausgeglichen werden. An raumhohen Öffnungen liegen die Maßabweichungen in der Regel im Bereich der zulässigen Toleranzen.

Nach Ausrichten mit Gummihammer und Wasserwaage werden Porenbeton-Wandtafeln durch Einschlagen eines Justierplättchens in die vertikale, kopfseitige Fuge fixiert (Abb. 10.17) und durch Streben gesichert (Abb. 10.18).



Abb. 10.16: Porenbeton-Wandtafeln; Dünnbettmörtel auf Mörtelausgleichsschicht



Abb. 10.17: Porenbeton-Wandtafeln; Fixierung durch Justierplättchen



Abb. 10.18: Porenbeton-Wandtafeln; Sicherung durch Streben

10.2.4 Decken- und Dachplatten

Einbaufertige Porenbeton-Deckenplatten werden mit einem Kran direkt vom Lieferfahrzeug aus einzeln verlegt (Abb. 10.19). Die äußere Abmauerung im Bereich von Geschossdeckenauflagern besteht aus Porenbeton-Deckenrandsteinen, die u. a. als Schalung bei der Herstellung von Ringankern genutzt werden. Nach Einbau des Deckenrandsteins werden die Ringanker- und die Fugenbewehrung eingelegt, die Ringankerquer-

schnitte und Fugen vorgehäst, mit feinkörnigem Beton ($\geq C 12/15$, Größtkorn ≤ 8 mm) ausgefüllt und verdichtet (Abb. 10.20 und 10.21). Ringanker und Deckenrandsteine schließen an der Deckenoberkante bündig ab. Nach Erhärten des Betons wird die Oberfläche von Mörtelresten gereinigt und abgefeigt, so dass das nächste Geschoss aufgemauert werden kann. Beim Lagern von Einzellasten während der Bauphase, z. B. von Steinpaletten, ist die Tragfähigkeit der Geschossdecke bzw. der Deckenplatten zu beachten. Bei größeren Stützweiten empfiehlt es sich, die Decken vorübergehend abzustützen oder Lasten nur im Bereich der Auflager abzusetzen.

Gleichermaßen erfolgt die Verlegung von Porenbeton-Dachplatten mit Nut- und Feder-Ausbildung (Abb. 10.22), jedoch entfällt der Fugenverguss und stattdessen werden Verankerungsteile eingebaut. Bei geneigten Dächern wird zu Beginn der Verlegung die erste Dachplatte an der Traufe gegen Abrutschen gesichert.

Abb. 10.19: Porenbeton-Deckenplatten; Verlegung mit einem Kran direkt vom Lieferfahrzeug



Abb. 10.20: Porenbeton-Deckenplatten; Abmauerung mit Porenbeton-Deckenrandsteinen und Einbau der Bewehrung (Fugen und Ringanker)



Abb. 10.21: Porenbeton-Deckenplatten; Ringanker- und Fugenbetonierung



Abb. 10.22: Porenbeton-Dachplatten; Verlegung

10.3 Bearbeitung

Pass-Stücke

Pass-Stücke können leicht per Hand zugeschnitten werden, da sich Porenbeton ähnlich einfach wie Holz sägen, bohren und fräsen lässt (Abb. 10.23). Ein schnelleres und rationelleres Schneiden von Pass-elementen ist mit einer Bandsäge möglich (Abb. 10.24). Die Sägezähne des Bandsägeblatts sind gehärtet oder hartmetallbestückt.

Durchbrüche und Auswechlungen

Durchbrüche in Mauerwerk aus Porenbeton werden so angelegt, wie es im Mauerwerksbau üblich ist. Dabei wirkt sich die gute Bearbeitbarkeit des Materials günstig aus. Durchbrüche, Ausnehmungen usw. dürfen



Abb. 10.23 (links):
Bearbeitung; Her-
stellung von Pass-
Stücken per Hand



Abb. 10.24 (rechts):
Bearbeitung; Her-
stellung von Pass-
Stücken mittels Band-
säge



Abb. 10.25 (links):
Bearbeitung; Bohren
von Aussparungen
für Unterputzschalter
und Verteilerdosen mit
einem Steckdosen-
bohrer



Abb. 10.26 (rechts):
Bearbeitung; Aus-
kratzen von Leitungs-
schlitzen mit einem
Schlitzkratzer

nicht gestemmt werden. Es sind immer materialgerechte Werkzeuge wie Fräsen, Sägen und Bohrer zu verwenden. Kleinere Durchbrüche in bewehrten Porenbetonprodukten (Decken- und Dachplatten) bis zu einem Durchmesser von 150 mm und bis zu einem Abstand von 150 mm vom Plattenrand werden bereits im Werk oder während der Verlegung angelegt (Abb. 9.44).

Öffnungen in der Breite einer Decken- oder Dachplatte werden durch eine Auswechslung mit gebogenem Flachstahl oder mit Profilstahl hergestellt. Die seitlich anschließenden Platten erhalten eine entsprechende Sonderbewehrung (Abb. 9.45). Öffnungen mit einer Breite von mehr als der einer Decken- oder Dachplatte erhalten eine H-förmige Auswechslung aus Stahl in der Länge einer Platte. In diesem Fall werden die Auflasten unmittelbar zum Auflager, z. B. einer Wand, abgeleitet, ohne die angrenzenden Platten zusätzlich zu belasten (Abb. 9.59).



Abb. 10.27: Bear-
beitung; Fräsen von
Leitungsschlitzen mit
einer Mauerfräse

Schlitze und Bohrungen für Installationen

Für die Herstellung von Aussparungen für Unterputzschalter und Verteilerdosen werden Steckdosenbohrer benutzt (Abb. 10.25). Vertiefungen und Leitungsschlitze lassen sich mit einem Schlitzkratzer (Abb. 10.26) oder einer Elektrofräse (Abb. 10.27) herstellen.

10.4 Oberflächenbehandlung

10.4.1 Allgemeines

Porenbetonprodukte sind Bauteile für den Rohbau, die durch geeignete Maßnahmen gegen Witterungseinflüsse geschützt werden. Im Vergleich zu anderen Rohbauteilen haben sie Eigenschaften, die sich vorteilhaft auf die Oberflächengestaltung auswirken:

- Die Oberflächen von Porenbetonprodukten sind sehr eben und maßhaltig
- Sehr ebene Bauteiloberflächen erfordern einen nur dünnen Putz

Das Spektrum der Möglichkeiten bei der Wandoberflächengestaltung reicht von Putzen über Beschichtungen bis hin zu Bekleidungen. Die Auswahl kann weitgehend nach funktionalen und gestalterischen Kriterien oder auch in Anlehnung an die am jeweiligen Ort üblichen Ausführungen erfolgen.

Auch für besondere Beanspruchungen stehen Systeme aus Porenbeton, Putz und Beschichtung zur Verfügung, z. B. in folgenden Situationen:

- Hohe Luftfeuchte (z. B. in Schwimmbädern)
- Aggressives Innenraumklima (z. B. in der Industrie)
- Extreme Temperaturwechsel innen und außen
- Erschütterungen (z. B. durch Nutzung)

Zu den verschiedenen Arten der Oberflächenbehandlung enthalten die technischen Merkblätter und Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller von Putzen, Beschichtungen und Bekleidungen sowie das entsprechende Berichtsheft des Bundesverbandes Porenbeton zur Oberflächenbehandlung [12] viele Hinweise.

10.4.2 Putze

Außen- und Innenputze sind Beläge aus Mörteln, die auf Wänden und Decken in bestimmter Dicke aufgetragen werden und die nach Verfestigung am Baukörper ihre endgültigen Eigenschaften besitzen. Putze übernehmen je nach verwendetem Mörtel oder Beschichtungsstoff gestalterische oder auch bauphysikalische Aufgaben, z. B. den Schlagregenschutz von Fassaden.

Für die Erhärtung der Putze sorgen mineralische oder organische Bindemittel. Putzmörtel mit mineralischen Bindemitteln werden nach DIN V 18550 [95] in vier Putzmörtelgruppen gegliedert. Dieser Gliederung entsprechen als Unterscheidungskriterien das Bindemittel (Kalk, Kalk-Zement-Gemische, Zement, Gips, Gips-Kalk-Gemische), die Druckfestigkeit sowie der Anwendungsbereich. Wichtig ist, dass die Druckfestigkeit des Putzmörtels niedriger ist als die des Untergrundes. Ebenso soll bei mehreren aufeinanderfolgenden Putzlagen im Regelfall die Festigkeit der einzelnen Schichten zum Deckputz hin abnehmen. Dadurch soll verhindert werden, dass in äußeren Putzschichten höhere Spannungen entstehen als die darunter liegende Schicht aufnehmen kann. Brandschutztechnisch gehören Putze mit mineralischen Bindemitteln zur Baustoffklasse A1 (nicht brennbar). Kriterien der Herstellung von mineralischen Putzen sind DIN EN 998-1 [61] zu entnehmen.

Für Putze mit organischen Bindemitteln, den Kunstharzputzen nach DIN 18556 [96] und DIN 18558 [97], wird als Bindemittel eine Kunstharzdispersion verwendet, während die übrigen Bestandteile mineralische Zuschlagstoffe und Füllstoffe, Pigmente und Zusatzmittel sind. Kunstharzputze haben als Oberputze auf mineralischen Putzen oder Wärmedämmverbundsystemen eine weite Verbreitung gefunden. Putze mit organischen Bindemitteln gehören brandschutztechnisch zur Baustoffklasse B2 (schwer entflammbar).

Früher wurden Putzmörtel auf der Baustelle aus mineralischen Bindemitteln mit Sanden gemischt. Solche Baustellenmörtel können die heute an einen Putz gestellten Anforderungen nur noch teilweise erfüllen. Daher werden meistens fabrikmäßig hergestellte Werk trockenmörtel verwendet, die eine wesentlich größere Anwendungssicherheit bieten. Durch kontrollierte Produktionsbedingungen können die Hersteller eine gleichbleibende Lieferqualität gewährleisten. Durch Zugabe von Wasser und durch Mischen auf der Baustelle entsteht aus Werk trockenmörtel ein gebrauchsfertiger Frischmörtel in verarbeitungsfertiger Konsistenz.

Vor dem Auftrag eines Putzmörtels hat der Putzgrund bestimmte Eigenschaften aufzuweisen. Er muss fest, frostfrei, frei von Staub, frei von losen Teilen und frei von trennenden Substanzen sein. Vor Beginn der Putzarbeiten können je nach Situation und System folgende vorbereitende Arbeiten notwendig sein:

- Abfegen von Staub und losen Teilen sowie die Entfernung von Mörtelresten.
- Verspachtelung von Ausbrüchen und Schlitzten sowie Verfüllung größerer Aussparungen wie Griffhilfen und Nuten im Wandeckbereich mit Dämm-Mörtel. Für das Verfüllen von an der Wandoberfläche sichtbarer Griffhilfen und Nuten sowie von Transport- und Montagebeschädigungen werden Füllmörtel verwendet, die geeignet sind, mit Porenbeton zusammen einen homogenen Untergrund zu gewährleisten.
- Schließen von senkrechten Fugen, deren Breite größer als 5 mm ist, mit Leichtmörtel.
- Einbetten von Putzbewehrungen in Form rissverteilender Gewebe an Stellen, an denen der Untergrund wechselt, z. B. beim Anschluss von Porenbetonmauerwerk an Rolladenkästen. Ebenso werden Glasfasergewebe an kerbrissgefährdeten Stellen eingelegt, wie einspringende Ecken von Brüstungen oder Stürzen. Eine Gewebeeinlage verhindert nicht das Entstehen von Rissen, sie sorgt jedoch dafür, dass aus einer Rissaufweitung resultierende Spannungen auf einen größeren Bereich mit kleineren, unschädlichen Rissbreiten verteilt werden.
- Einbau von Sockelabschluss-Schienen (Abb. 10.28) und Eckschutzprofilen an Wandecken (Abb. 10.29).
- Gegebenenfalls Vornässen oder Grundieren des Putzgrundes. In Einzelfällen ist der Untergrund mit einem Spritzbewurf zu versehen.

10.4.3 Außenputze

Putze auf Außenwänden haben die Aufgabe, die Wand vor Witterungseinflüssen zu schützen. Gleichzeitig sind sie durch ihre Struktur und Farbe ein wesentliches Gestaltungselement für das Gebäude. Der Witterungsschutz ist umso wirkungsvoller, je mehr bereits durch konstruktive Maßnahmen ein Schutz gegen Feuchtigkeit, Regen und Beschädigungen geschaffen wurde (s. Kapitel 6 „Feuchte“).

Außenputzsysteme werden nach Beanspruchung bzw. Anwendungsbereich unterschieden:

- Außenwandputz
- Außensockelputz im spritzwassergefährdeten Bereich
- Kelleraußenwandputz im Bereich der Erdanschüttung
- Außendeckenputz auf Deckenunterseiten, die der Witterung ausgesetzt sind



Abb. 10.28: Verputzen von Porenbeton-Wänden; Sicherung von Gebäudekanten durch Sockelabschluss-Schienen



Abb. 10.29: Verputzen von Porenbeton-Wänden; Sicherung von Gebäudekanten durch Eckschutzprofile

Außenputze werden ein- oder mehrlagig auf den Untergrund aufgetragen. Auf Porenbeton-Fassaden werden mineralische Leichtputzsysteme als Werk trockenmörtel verwendet. Diese Putze sind in ihren physikalischen Eigenschaften auf Porenbeton abgestimmt und entsprechen den Anforderungen der Porenbeton-Hersteller. Außenputze auf Porenbeton weisen ähnliche Rohdichten und Festigkeiten auf wie der Untergrund.

Leichtputze werden einlagig oder zweilagig als Leichtunterputz und Leichtoberputz verarbeitet. Die Verarbeitungsrichtlinien der Putzmörtel-Hersteller, insbesondere hinsichtlich der Untergrundvorbereitung, sind zu beachten. Ein Spritzbewurf oder eine Grundierung des Untergrundes ist nicht immer notwendig. Ein Vornässen kann jedoch bei anhaltender Trockenheit, Hitze oder starkem Wind notwendig sein.

Außenwandputz – Einlagige Leichtputze auf Porenbetonmauerwerk

Weißer oder farbiger einlagiger Putz wird mit dem gleichen Material in zwei Arbeitsschritten in folgenden Arbeitsschritten aufgebracht:

- Je nach Herstellerangabe Vornässen oder Grundieren des Untergrundes
- Aufbringen der ersten Schicht in einer Dicke von mindestens 10 mm von Hand oder mit einer Putzmaschine (Abb. 10.30)
- Planebenes Abziehen mit einem Richtscheit (Abb. 10.31)

Abb. 10.30: Einlagiger Leichtputz als Außenputz auf Porenbeton-Mauerwerk; Aufbringen der ersten Schicht von Hand



Abb. 10.31: Einlagiger Leichtputz als Außenputz auf Porenbeton-Mauerwerk; Planebenes Abziehen mit einem Richtscheit



Abb. 10.32: Einlagiger Leichtputz als Außenputz auf Porenbeton-Mauerwerk; Aufbringen der zweiten Schicht in Kornstärke und Strukturierung der Oberfläche



- Nach einem Tag Standzeit Auftragen der zweiten Schicht in Kornstärke von Hand oder mit einer Putzmaschine und unmittelbar anschließender Strukturierung der Oberfläche (Abb. 10.32)
- Da es bei gefärbten Putzen häufig zum wolkigen Auftrocknen kommt, wird ein egalisierender Anstrich mit Silikatfarbe im gleichen Farbton empfohlen.

Außenwandputz - Zweilagige Leichtputze auf Porenbetonmauerwerk

Folgende Komponenten charakterisieren ein zweilagiges Leichtputzsystem:

- Unterputz (Grundputz)
- Gegebenenfalls Grundierung im Farbton des Oberputzes
- Oberputz (Deckputz) in unterschiedlichen Struktur- und Farbtonvarianten

Folgende Arbeitsgänge sind üblich:

- Je nach Herstellerangabe Vornässen oder Grundieren des Untergrundes
- Aufbringen eines Unterputzes in einer Dicke von mindestens 7 mm von Hand oder mit einer Putzmaschine
- Planebenes Abziehen mit einem Richtscheit
- Je nach Herstellerangaben Auftrag einer Grundierung im Farbton des Oberputzes nach vorausgegangener Standzeit
- Auftragen eines Oberputzes von Hand oder mit einer Putzmaschine und unmittelbar anschließende Strukturierung oder Glättung der Oberfläche

Außensockelputz auf Porenbetonmauerwerk

Sockelputze müssen ausreichend fest, wasserabweisend und widerstandsfähig gegen kombinierte Einwirkungen aus Feuchtigkeit und Frost sein. Deshalb wird eine Festigkeit von mindestens 2,5 N/mm² sowie die Verwendung von Mörteln der Kategorie CS IV nach DIN EN 998-1 bzw. bei Mauerwerk aus Steinen der Festigkeitsklasse ≤ 8 der Kategorie CS III verlangt. Auf Mauerwerk geringer Festigkeitsklasse wie Porenbetonmauerwerk werden passend zum Untergrund Leichtsockelputze verwendet. Als Werk trockenmörtel enthalten sie Zusätze, die ein wasserabweisendes Verhalten des erhärteten Mörtels bewirken.

Aus den Anforderungen zur Bauwerksabdichtung gemäß DIN 18 195 [93] ergibt sich, dass eine Vertikalabdichtung bis etwa 300 mm über Gelände hinter einem Sockelputz hochzuziehen ist (s. Kapitel 6 „Feuchte“). Unterhalb des Geländes ist die Vertikalabdichtung des Sockelbereiches ca. 100 mm unter die spätere Sockelputzunterkante hinunterzuführen (Abb. 9.6). Die Vertikalabdichtung des erdhinterfüllten Kellerwandbereiches wird nach Fertigstellung des Sockelputzes bis Unter- kante Sockelputz ergänzt. Eine wasserabweisende Grundierung des Sockelbereiches über Gelände ist zusätzlich zum vorgesehenen Anstrich zu empfehlen. Als Vertikalabdichtungen im Sockelbereich haben sich flexible Dichtungsschlämmen bewährt, die sowohl eine gute Haftung zum Untergrund als auch zum Sockelputz aufweisen.

Keller-Außenwandputz auf Porenbetonmauerwerk

Die für die Bauwerksabdichtung geltende DIN 18195 fordert einen glatten Untergrund für die Abdichtungsschicht der Keller-Außenwand. Dies bedeutet jedoch nicht, dass das Kellermauerwerk zu verputzen ist. Wegen der glatten, fast fugenlosen Oberfläche kann bei Kellermauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen, Porenbeton-Planelementen, Porenbeton-Wandtafeln oder Porenbeton-Mauertafeln auf einen Keller-Außenwandputz verzichtet werden. Die Abdichtungsschicht wird direkt auf die Porenbetonoberfläche aufgebracht.

10.4.4 Innenputze

Innenputze geben Wänden und Decken eine ebene und fugenfreie Oberfläche und können in bestimmten Grenzen die Raumluftheuchte durch Feuchtigkeitsaufnahme und -abgabe ausgleichen. Bei Innenputzsystemen, die auf Untergründen aus Porenbeton ein- oder mehrlagig aufgetragen werden, wird nach Anwendungsbereich unterschieden:

- Innenwand- und Innendeckenputzsysteme für Räume mit üblicher Luftfeuchte einschließlich häuslicher Küchen und Bäder

- Innenputze auf Gips-, Kalk-, oder Kalkzementbasis gemäß DIN V 18550, $d = 8$ bis 15 mm, Auftrag maschinell oder per Hand

- **Gipshaltige Putze**

Die Formulierung von Gipsputz-Werktrockenmörteln sollte auf die Eigenschaften stark saugender Untergründe abgestimmt sein. Andernfalls ist zur Reduktion des Saugvermögens eine

geeignete Grundierung als Aufbrennsperre aufzutragen, die vor dem Verputzen abgetrocknet sein muss.

- **Kalk- bzw. Kalkzementputze**

Bei stark saugenden Putzuntergründen sieht DIN V 18550 im Regelfall eine Vorbehandlung (geeigneter Haftmörtel, voll deckender Spritzbewurf), die Verwendung eines speziellen Putzmaterials oder einer geeigneten Verfahrensweise (zweischichtiges Spritzen „nass in nass“ in einer Putzlage) als notwendig an. Bei Porenbeton ist ein Spritzbewurf nicht üblich. Lediglich für Wände in Feuchträumen (z. B. Dusch- oder Waschanlagen, Großküchen, Feuchträume in der Industrie) sollte ein Unterputz aus Zementmörtel die wasserabweisenden Eigenschaften des Fliesenbelages weiter verbessern.

- Weitere Putzsysteme für Porenbeton

- **Glättputz (einlagiger Feinputz auf Gipsbasis), $d \sim 5$ mm**

Durch eine Kunststoffvergütung ist sein Wasserrückhaltevermögen so weit verbessert, dass im Gegensatz zu normalen Innenputzen nicht grundiert werden muss. Nach dem Auftrag wird der Putz sofort geglättet. Bei Fertigteil-Deckenplatten ist die Einbettung eines Fugenbrückenbandes in den Putz zu empfehlen. Bei Verwendung geeigneter Tapeten kann diese Maßnahme entfallen.

- **Dünnlagenputz (einlagiger Putz auf Kalk-Zement-Basis), $d \leq$ bis 5 mm**

Bei Dünnlagenputzen sind besondere Anforderungen an die Ebenheit des Untergrundes zu stellen.

- **Kunstharzputz**

Entsprechend der DIN 18558 handelt es sich um Beschichtungen mit putzartigem Aussehen, welche auf einen mineralischen Unterputz aufgebracht werden.

- **Leichtputz**

Leichtputze, die üblicherweise im Außenbereich verwendet werden, sind auch als Innenputze geeignet.

- Innenwand- und Innendeckenputzsysteme für Feuchträume (hier sind zusätzliche feuchtetechnische Schutzmaßnahmen erforderlich und es dürfen keine gipshaltigen Putze verwendet werden)

- Unterputz aus Zementmörtel

- Keramischer Belag im Dünnbettverfahren oder Beschichtung

10.4.5 Keramische Beläge im Innenbereich

Keramische Fliesen oder Platten können als Innenwandbekleidung einfach und wirtschaftlich auf alle Porenbeton-Wandoberflächen aufgebracht werden. In den meisten Fällen sind die unverputzten Oberflächen ausreichend eben, so dass im Dünnbettverfahren gearbeitet werden kann. Vor Beginn der Arbeiten ist es erforderlich, die Wandoberflächen mit einem Besen kräftig abzukehren, um Staub, Verunreinigungen und lose Teile zu entfernen (Abb. 10.33). Ggf. vorhandene Unebenheiten lassen sich mit einem Schleifbrett beseitigen oder durch Ausgleichsschichten egalisieren. Es dürfen jedoch keine gipshaltigen Mörtel eingesetzt werden. Das Verlegen erfolgt mit handelsüblichen Mörteln gemäß DIN 18156 [97] oder vorwiegend mit Dispersionsklebern (Abb. 10.34). Bei der Auswahl eines Klebers sind die Herstellerangaben zu beachten, denn bestimmte Produkte erfordern ein Vornässen oder ein Grundieren des Untergrundes. Übliche Fliesenkleber mit hoher Haft- und Klebewirkung und Zusätzen aus Kunstharz-Dispersionen halten das zum Abbinden not-

Abb. 10.33: Keramische Beläge; Entfernen von Staub, Verunreinigungen und losen Teilen vor Beginn der Arbeiten



Abb. 10.34: Keramische Beläge; Ansetzen von Fliesen auf Porenbetonmauerwerk im Dünnbettverfahren



wendige Wasser zurück, so dass ein Vornässen oder Grundieren im Regelfall nicht erforderlich ist.

Das Ansetzen von Fliesen im Dickbettverfahren ist nur noch zum Ausgleich unebener Untergründe erforderlich. Hier wird nach dem Abfegen der Wandoberfläche der Spritzbewurf aufgebracht. Nach dessen Abbinden über mindestens 24 Stunden können die Fliesen vollflächig im Mörtelbett angesetzt werden. Für die Verfügung und die Anordnung von Dehnfugen gelten die gleichen Regeln wie beim Dünnbettverfahren.

Bei Wandflächen die durch Brauch- und Reinigungswasser hoch beansprucht werden, z. B. von Dusch- und Waschanlagen und Feuchträumen in der Industrie, ist vor der Fliesenverlegung eine Abdichtung zum Schutz des Mauerwerks vor Feuchteschäden vorzusehen. Für solchermaßen hoch beanspruchte Wandflächen stehen folgende Abdichtungsstoffe zur Verfügung [102]:

- **Polymerdispersionen**
Gemische aus Polymerdispersionen und organischen Zusätzen mit oder ohne Anreicherung mit mineralischen Füllstoffen
- **Kunststoff-Zement-Mörtelkombinationen**
Gemische aus hydraulisch abbindenden Bindemitteln, mineralischen Zuschlägen und organischen Zusätzen sowie Polymerdispersionen in pulverförmiger oder flüssiger Form, z. B. flexible Dichtungsschlämmen
- **Reaktionsharze**
Gemische aus synthetischen Harzen und organischen Zusätzen mit oder ohne Anreicherung mit mineralischen Füllstoffen

Es empfiehlt sich, bei der Auswahl von Abdichtungsstoff, Fliesenkleber, Fugenfüllstoff und Dichtungsbändern auf herstellerspezifische Systeme zurückzugreifen.

Fliesen werden so verlegt, dass sie nicht kraftschlüssig an andere Bauteile wie angrenzende Wände, Böden oder Decken anschließen. An diesen Stellen sind Dehnfugen erforderlich, die bis auf den Untergrund reichen und mit elastischen Fugenmassen geschlossen werden. Ebenso werden Fliesenflächen mit Längen von mehr als 4 m durch Dehnfugen unterbrochen. Die Verfügung der Fliesenfläche erfolgt möglichst spät nach der Verlegung, um eine gute Austrocknung des Ansetzmörtels sicherzustellen.

Im Gegensatz zu Innenwänden ist ein direktes Aufbringen von keramischen Belägen auf Porenbeton-Außenwandflächen zu vermeiden, da insbesondere wegen der thermischen Beanspruchung und der daraus resultierenden unterschiedlichen Formänderungen der Materialien die Gefahr des Abscherens des Belages vom Untergrund besteht.

10.4.6 Beschichtungen im Innenbereich

Beschichtungen haben die Aufgabe, den Baustoff vor Witterungs-, Umwelt- und ggf. chemischen und mechanischen Beanspruchungen zu schützen. Sie ermöglichen eine Reinigung oder vermindern die Verschmutzung einer Bauteiloberfläche. Anstriche und Beschichtungen von verputzten oder unverputzten Innenwandflächen aus Porenbetonmauerwerk haben im Wesentlichen gestalterische Funktion. Sie werden als Kalk-, Leim-, Silikat- oder Kunstharzdispersionsbeschichtungen appliziert. Räume, in denen Anstrich- oder Beschichtungsarbeiten durchgeführt werden, sind ausreichend zu belüften und zu beheizen.

10.5 Befestigungen

10.5.1 Übersicht

Befestigungen und Verankerungen in Porenbetonbauteilen lassen sich einfach vornehmen. Das homogene und leicht bearbeitbare tragfähige Material erlaubt unter Berücksichtigung der zu erwartenden Belastung die Verwendung unterschiedlicher Befestigungsmittel. Je nach Anwendungsbereich und Größe der aufzunehmenden Belastung stehen unterschiedliche Befestigungsmittel zur Verfügung:

- Nägel, Spiralnägel und Schrauben, die unmittelbar in Porenbeton befestigt werden
- Dübel aus Kunststoff, als Injektionssysteme und aus Metall
- Bolzen (Gewindebolzen) zur Durchsteckmontage

Befestigungsmittel für den Außenbereich sind korrosionsgeschützt oder nicht korrodierend. Die gleiche Eigenschaft empfiehlt sich auch im Gebäudeinneren, besonders im Bereich von Feuchträumen. Nägel und Dübel werden sowohl unter Zug- und Schrägzug- als

auch unter Druckbelastung beansprucht. Dübel und Nagelverbindungen sollen langfristig belastbare Systeme darstellen, die auch noch weiteren Beanspruchungen wie Temperatur, Brand oder Korrosion ausgesetzt sein können.

Für die Befestigung von Außenwandbekleidungen ist DIN 18516 [94] zu beachten, für die Befestigung von Deckenbekleidungen und Unterdecken ist DIN 18168 [92] relevant.

Ausführliche Informationen zu Befestigungsmitteln enthält das Berichtsheft 18 des Bundesverbandes Porenbeton [13]. Da Befestigungsmittel ständig weiterentwickelt werden und zum Teil auch bauaufsichtlich zugelassen oder geprüft werden, empfiehlt es sich, verbindliche Daten nach dem jüngsten Stand der Entwicklung bei den jeweiligen Herstellern zu erfragen.

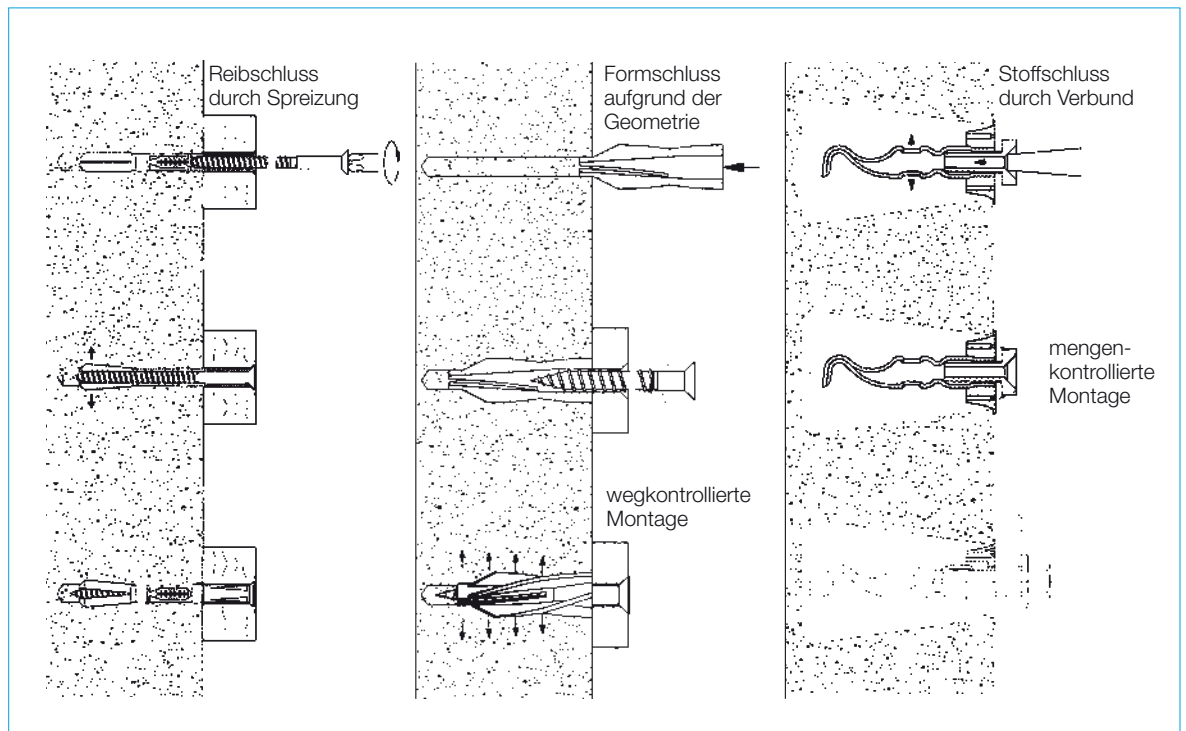
10.5.2 Nägel, Spiralnägel und Schrauben

Für Porenbeton wurden Nägel und Schrauben entwickelt, die unmittelbar in den Porenbeton eingetrieben werden können. Sie dienen zur Befestigung leichter Ausbauteile, z. B. von Konterlattungen für Holzbekleidungen. Dabei ist die empfohlene Gebrauchslast abhängig von der Festigkeitsklasse des Porenbetons. Nägel setzen eine handwerksgerechte Verarbeitung voraus. Die Belastbarkeit von Stahlnägeln mit Halteblech hängt von der Festigkeitsklasse des Porenbetons ab. Auch Schrauben, die speziell für die Befestigung in Porenbeton entwickelt wurden, können unmittelbar eingeschraubt werden.

10.5.3 Dübel

Die Auswahl eines Dübels richtet sich nach dem Verankerungsgrund, der Art der Montage (Vorsteck-, Durchsteck- oder Abstandsmontage), der Art der Belastung sowie der Belastungsgröße, welche für die Dübelgröße maßgebend ist. Mit steigendem Außendurchmesser und größerer Verankerungstiefe nimmt die aufnehmbare Belastung proportional zu. Die Kraftübertragung in den Ankergrund geschieht durch folgende Tragmechanismen, die die Art der äußeren am Befestigungselement angreifenden Last in das Bauteil beschreiben (Abb. 10.35):

Abb. 10.35: Tragmechanismen von Porenbetondübeln



- Reibschluss durch Spreizung
- Formschluss auf Grund der Geometrie im eingebauten Zustand
- Stoffschluss durch Verbund bei Injektionssystemen

In bestimmten Fällen kann eine Kombination aus Reib- und Formschluss oder eine Kombination aus Form- und Stoffschluss als Tragmechanismus wirken. Zur Anwendung in Porenbeton werden folgende, speziell für den Baustoff Porenbeton entwickelte Kunststoffdübel, Injektionssysteme und Metaldübel eingesetzt:

- Kunststoff-Standarddübel (Abb. 10.36)
- Kunststoff-Rahmendübel (Abb. 10.37)
- Metall-Einschlagdübel (Abb. 10.38)
- Hinterschnittdübel (Abb. 10.39)
- Injektionssysteme ohne Hinterschnitt (Abb. 10.40)
- Injektionssysteme mit Hinterschnitt (Abb. 10.41)
- Dübel für die Befestigung von Wärmedämmverbundsystemen (Abb. 10.42)

Für die meisten der genannten Dübelausführungen gibt es Produkte mit und ohne bauaufsichtliche Zulassung. Hinterschnittdübel und Injektionssysteme mit Hinterschnitt haben immer eine bauaufsichtliche Zulassung, während Injektionssysteme ohne Hinterschnitt keine Zulassung besitzen. Dübel mit bauaufsichtlicher

Zulassung dürfen für die Befestigung von tragenden Konstruktionen eingesetzt werden. In diesem Fall sind die Angaben zur Belastungsfähigkeit Bestandteil der Zulassung. Andere Dübel, die keine bauaufsichtliche Zulassung benötigen, werden für untergeordnete Anwendungsfälle entsprechend den Hinweisen der Dübelhersteller eingesetzt.

Zwischen den einzelnen Dübeln sowie im Bereich von freien Ecken und Kanten des Verankerungsgrundes sind Mindestabstände einzuhalten, die ebenfalls Bestandteil der jeweiligen Zulassung sind. Bei Dübeln ohne Zulassung sind die Angaben der Hersteller zu beachten.

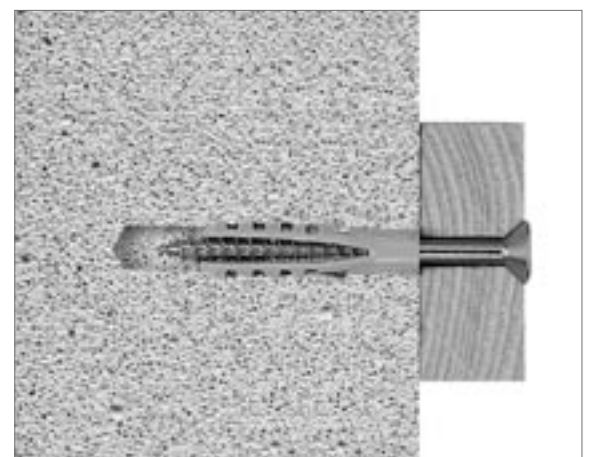


Abb. 10.36: Kunststoff-Standarddübel

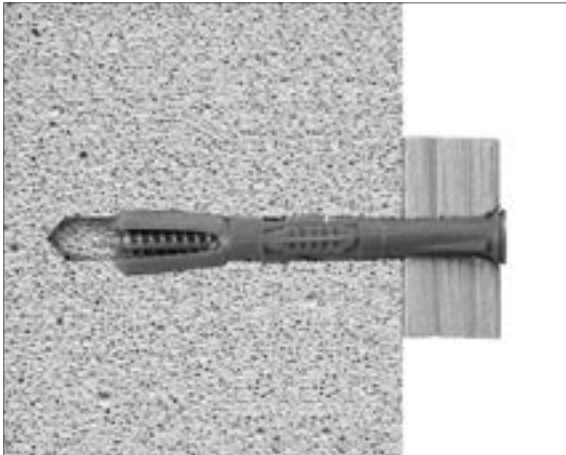


Abb. 10.37 (links):
Kunststoff-Rahmen-
dübel



Abb. 10.38 (rechts):
Metall-Einschlagdübel

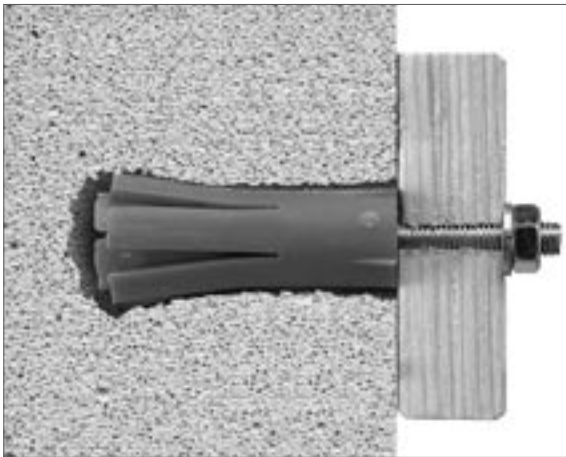


Abb. 10.39 (links):
Hinterschnittdübel

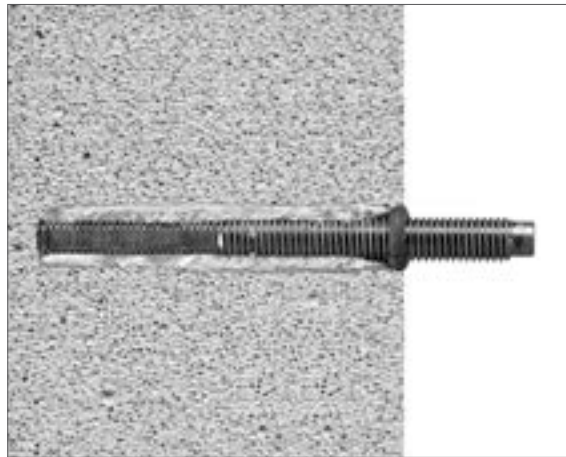


Abb. 10.40 (rechts):
Injektionssysteme ohne
Hinterschnitt

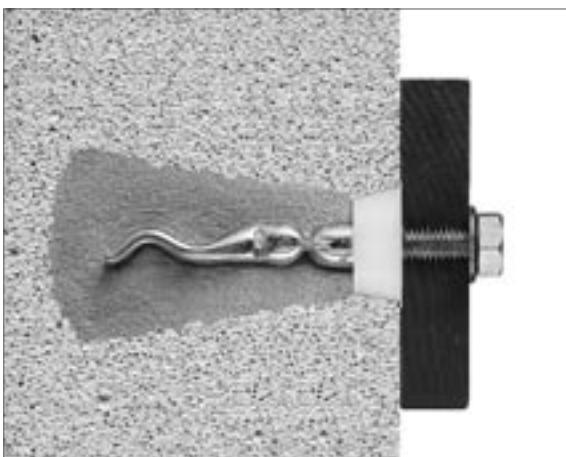


Abb. 10.41 (links):
Injektionssysteme mit
Hinterschnitt

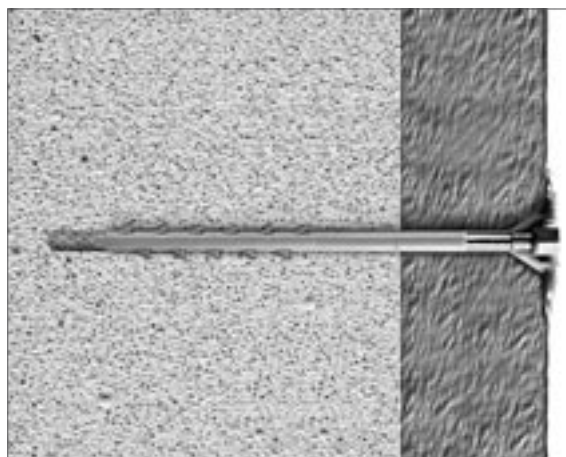


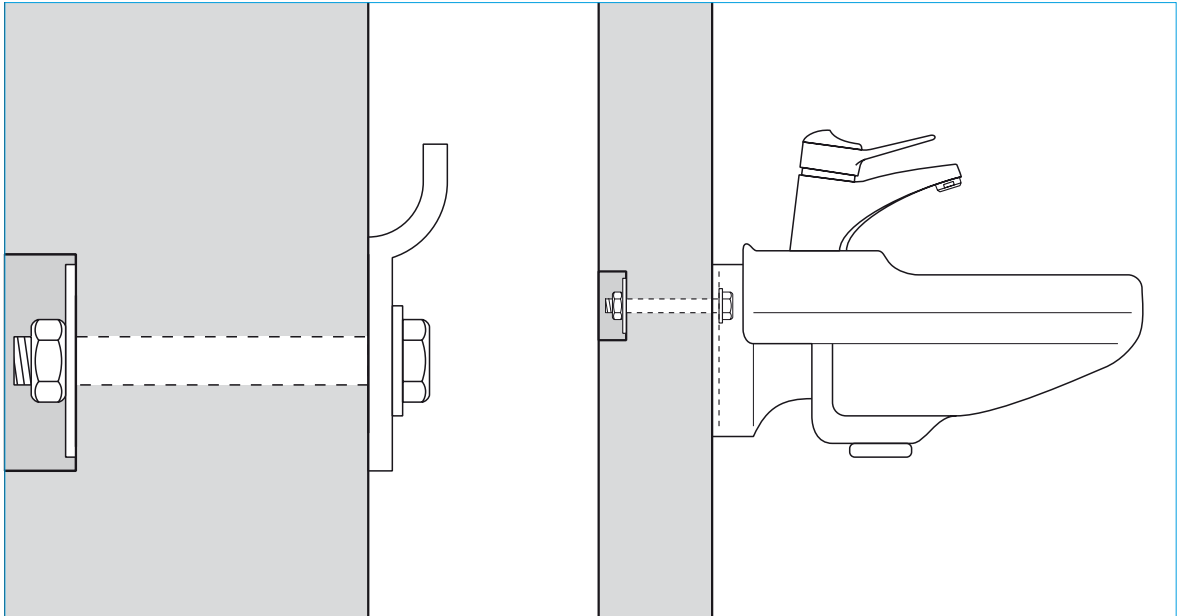
Abb. 10.42 (rechts):
Dübel für die
Befestigung von
Wärmedämmverbund-
systemen

10.5.4 Bolzen

Für schwere oder auch dynamische Lasten kann die Befestigung als Durchsteckmontage ausgeführt werden (Abb. 10.43). Hierzu wird zunächst die Wand durchbohrt, wobei der Durchmesser des Bohrlochs dem Bolzendurchmesser entspricht. Auf der Gegenseite wird anschließend eine Vertiefung angelegt, die eine

Ankerplatte in Form einer Unterlegscheibe oder eines Flacheisens aufnehmen kann. Dann wird ein Gewindebolzen in geeigneter Abmessung durch das Porenbetonbauteil gesteckt und auf der Gegenseite durch die Ankerplatte und eine Verschraubung gesichert. Zum Schluss wird die Vertiefung auf der Gegenseite mit Dämm-Mörtel verfüllt.

Abb. 10.43: Gewindebolzen bei Durchsteckmontage



10.6 Ausmauerung von Holzfachwerk

Porenbeton bietet sich zur Ausmauerung von Holzfachwerk an, weil er ähnlich wie Holz leicht zu bearbeiten ist (Abb. 10.44 bis 10.49). Dadurch ist eine einfache Anpassung an unregelmäßige Gefache möglich, die aus statischen oder architektonischen Gründen von der Rechteckform abweichen. Auch Unregelmäßigkeiten durch Setzungen oder Belastungen können leicht ausgeglichen werden. Allerdings lassen sich mit einer Ausmauerung allein in den Dicken der Fachwerkhölzer die heutigen Anforderungen des energiesparenden Wärmeschutzes nicht erfüllen. Daher ist es eine einfache Lösung, die Ausfachungsdicke nach innen zu verstärken und hinter das Fachwerkholz herumzuführen (Abb. 9.32, oben rechts). In der Praxis ist die Ausführung so, dass zunächst eine Mauerwerksschale zwischen den Hölzern eingebaut wird und dann eine zweite Schale innenseitig vor die gesamte Außenwand gestellt wird. Zur Verbesserung der wärmetechnischen Qualität können statt einer zweiten Porenbetonschale auch andere Dämmstoffe verwendet werden (Abb. 9.32, unten rechts). Zu berücksichtigen ist dabei, dass die wasser-

dampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d der zusätzlichen Innendämmung, bestehend aus der das Fachwerk überdeckenden Wärmedämmschicht und einer Putz- oder Gipskartonplattenschicht, größer als 0,5 und kleiner als 2 m sein muss. Je nach Ergebnis einer feuchtetechnischen Untersuchung des Konstruktionsaufbaus und der jeweiligen Randbedingungen kann es erforderlich sein, auf der Innenseite eine diffusionshemmende Schicht vorzusehen. Zu vermeiden ist ein Lufthohlraum zwischen äußerer Schale und der inneren Dämmschicht. Besonders hinzuweisen ist auf das Berichtsheft 9 des Bundesverbandes Porenbeton [14] und die Merkblätter der Wissenschaftlich-Technischen Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA) zur Fachwerkinstandsetzung [138].

Die Fuge zwischen dem Holz und der Ausfachung aus Porenbeton-Plansteinen wird mit einem 10 bis 12 mm dicken Wärmedämm-Mörtel ausgefüllt, um Toleranzen und Verformungen auszugleichen. Der Wärmedämm-Mörtel ermöglicht ein Austrocknen eingedrungener Feuchtigkeit durch die Fuge. Der Anschluss zwischen Holz und Ausfachung wird durch eine Dreikantleiste



Abb. 10.44 bis 10.49:
Ausmauerung von
Holzfachwerk



hergestellt, die mit korrosionsgeschützten Nägeln am Fachwerk befestigt wird. Die Leisten tragen zu einer besseren Winddichtheit bei und halten die Ausfachung fest. Die erforderliche Nut wird aus dem Porenbetonstein mit einer Handsäge ausgesägt. Damit Regenwasser ungehindert an der Fassade ablaufen kann, wird das Mauerwerk um das Maß der Außenputzdicke hinter die Holzaußenkante versetzt. Ist es nicht möglich, dass Außenputz und Fachwerkoberkante in einer

Ebene liegen, werden bei einer herausspringenden Ausfachung die Randbereiche bündig abgeschrägt. Die Mindestdicke des Außenputzes mit einem Wasseraufnahmekoeffizienten von W_w zwischen 0,3 und $2,0 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0,5})$ im Gefachbereich beträgt 15 mm. Stärker wasserabweisende Außenputze dürfen nicht verwendet werden, weil sie die Trocknungsmöglichkeit durch Kapillartransport von innen nach außen einschränken würden.

BEISPIELE FÜR DAS BAUEN UND GESTALTEN MIT PORENBETON

11.1 Planungsaspekte

Architektur entsteht immer als eine Synthese aus unterschiedlichen Einflüssen, die Architektinnen und Architekten bei ihren Planungen berücksichtigen.

Primär wird durch die Architektur ein Gehäuse für eine bestimmte **Funktion** geschaffen, die durch die Bauaufgabe vorgegeben ist. Häufig ist diese Funktion eindeutig, festgelegt durch eine bestimmte Nutzung. Oft aber ist die Funktion gerade dadurch gekennzeichnet, dass die Nutzung im Laufe der Jahre wechselt. Dieser Wechsel erfordert eine Flexibilität der Funktion und eine Anpassung des Gebäudes an diese Flexibilität.

Die **Form** wird ebenfalls aus der Bauaufgabe abgeleitet. Davon betroffen sind die Gestaltung des äußeren Baukörpers und seiner Räume sowie die Art der Durchdringung von außen und innen. Die Form entsteht aber auch im Wechselspiel der Konstruktionen und Materialien, nicht zuletzt auch als bewusste Formgebung durch die Planerinnen und Planer im Sinne eines bestimmten gestalterischen Konzepts.

Konstruktion und Materialwahl wiederum entsprechen zunächst der Bauaufgabe. Bestimmte Spannweiten oder bauphysikalische Eigenschaften müssen mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand erreicht werden. Dennoch bleibt weiterer Spielraum, innerhalb dessen rationale Gesichtspunkte wie die Konstruktion anderen Einflussfaktoren wie dem gestalterischen Konzept angepasst werden können.

Schließlich hat auch der **Herstellungsprozess** des Gebäudes in der Art der Produkt- und Bauteilherstellung und der Montage einen bestimmenden Einfluss – nicht nur für die Wirtschaftlichkeit, sondern z. B. auch für die Materialwahl. Jeder dieser Einflussfaktoren hat sein Gewicht bei der Konzeption und der Ausführung des Gebäudes. Und jeder steht mit den übrigen in einer engen Wechselbeziehung. Planungsaufgabe ist es, für diese Wechselbeziehungen die angemessene Synthese zu finden. So wird in der Praxis durchaus einmal der eine, ein anderes Mal ein anderer Faktor das größere

Gewicht haben und von seiner Logik her das Gebäude mehr prägen, immer bleiben aber auch die übrigen mitbestimmend.

Im Folgenden sind einige Beispiele dargestellt, die die unterschiedlichen Möglichkeiten des Bauens mit dem vielseitigen Baustoff Porenbeton zeigen.

11.2 Einfamilienhäuser und Reihenhäuser

Verdichtete Bebauung am Hang, Terrassenhäuser Kiel-Möltenort

Architekt: Dr.-Ing. Thomas F. Hansen, Kiel

Wertvolle Grundstücke im stadtnahen Bereich erfordern verdichtete Bebauungen. Nicht nur hohe Grundstückspreise führen zu dieser Forderung. Oft sind verdichtete Bauformen allein aus der Tatsache erforderlich, dass entsprechende Grundstücke nur in sehr geringer Zahl zur Verfügung stehen. Dies gilt besonders für solche Lagen, die z. B. wegen der Topografie oder der Aussicht ausgezeichnet sind.

Möltenort mit seinem Hang und der Aussicht auf die Kieler Förde ist ein Beispiel dafür. Hier eine verdichtete Bebauung zu planen, stellt besonders hohe Anforderungen. Die zehn Terrassenhäuser, die auf einem ca. 3.300 m² großen, nach Westen zur Förde hin abfallenden Hanggrundstück realisiert wurden, besitzen alle Qualitäten eines Einfamilienhauses, haben jedes für sich Teil an der Aussicht auf die Förde und sind zudem so gruppiert, dass die Großzügigkeit des Grundstücks mit entsprechender Bepflanzung noch betont werden konnte.

Die dichte Bebauung konnte dadurch realisiert werden, dass die Häuser mit Split-Level-Aufteilung terrassenförmig unmittelbar hintereinander angeordnet wurden und dass ein Teil des Daches jeweils die Terrasse des darüber liegenden Hauses bildet. Selbstverständlich erfordert eine solche Anordnung sehr viel Sorgfalt in

Abb. 11.1a und 11.1b:
Terrassenhäuser in
Kiel-Möltenort



der Planung und Ausführung eines jeden Details. Besonderer Wert muss z. B. darauf gelegt werden, dass keine akustischen Belästigungen durch die Bewohner der angrenzenden Häuser übertragen werden. Dies gilt vor allem in Bezug auf die Decken, die Außenwände und die Haustrennwände. Porenbeton wurde auch wegen der guten wärmedämmenden Eigenschaften bei diesem Objekt der Vorzug gegeben.



Reduzierung auf das Wesentliche, Drei-Generationen-Haus in Oldenburg

Architekt: Dipl.-Ing. Uwe Oltmanns, Oldenburg

Das geometriete betonte Gebäude in den Farben Weiß, Grau und Gelb übt mit dem gewölbten Tonnendach auf jeden Betrachter große Anziehungskraft aus. Äußerlich gliedert es sich in drei Baukörper. Auch im Inneren dominieren sachliche Strenge, Helligkeit und Großzügigkeit – ein Anklang an den Bauhaus-Stil.



Abb. 11.2a und 11.2b:
Drei-Generationen-Haus in Oldenburg

Einschließlich einer Einliegerwohnung bietet das Haus 189 m² Wohnfläche. Es ist nicht unterkellert. Die Außenwände bestehen aus Porenbeton-Plansteinen der Rohdichteklasse 0,40, einem mineralisch gebundenen Außenputz und einem

Innenputz. Kombiniert mit hochwertigen Fenstern und dem wärmegeprägten Dach – eine Konstruktion aus Leimbindern und Holzbalken, eingedeckt mit Aluminium-Wellblechplatten – erfüllt das Gebäude alle Anforderungen an eine zeitge-

mäße, energiesparende Bauweise. Zusätzliche Wärmedämm-Maßnahmen für die Außenwände waren nicht erforderlich.



Weitere Objekte

Abb. 11.3a und 11.3b:
Einfamilienhaus in
Lübeck





Abb. 11.4a und 11.4b:
Einfamilienhaus in Ost-
friesland



Abb. 11.5a und 11.5b:
Doppelhaus in Borsfleth





Abb. 11.6a und 11.6b:
Passiv-Reihenhaus mit
vier Wohneinheiten in
Hamburg-Wilhelms-
krug



Abb. 11.7a und 11.7b:
Kapitänsviertel in
Bremerhaven





Abb. 11.8a und 11.8b:
Einfamilienhaus in
Hamburg



Abb. 11.9a und 11.9b:
Reihenhäuser in
Hamburg-Heimfeld





Abb. 11.10a und
11.10b: Reihenhäuser
in Lübeck



11.3 Mehrfamilienhäuser

Anspruchsvolle Architektur – verwirklicht mit Effizienz und Wirtschaftlichkeit, Rostock-Toitenwinkel

Architekt: Architektengemeinschaft Baumbachs und Bräuer

Moderne Architektur mit farblich kontrastierenden Fassaden – das ist kennzeichnend für das Wohngebiet Toitenwinkel in Rostock. 19.000 Einwohner zählt das im Nordosten der Hafenstadt zwischen einem Gewerbegebiet und Plattenbauten gelegene Neubaugebiet. In nur zwei Jahren entstanden 19 viereinhalbgeschossige Mehrfamilienhäuser mit 188 schlüsselfertigen Wohnungen.

Wesentliche äußere Gestaltungselemente der Gebäude sind die markanten architektonischen Detaillösungen: Außergewöhnliche Giebel, Lisenen, Vorsprünge und Nischen, Rundungen und Durchgänge sowie außenliegende Treppenhäuser aus Stahl. Ergänzt wird der Formenreichtum durch eine ungewöhnliche Dachlandschaft mit zehn verschiedenen Dachformen, ausgeführt mit Bahnen- oder Blecheindeckung, aber auch als Glasdach.

Für die Außenwände wurden Porenbeton-Planelemente im Format 99,9 cm × 62,3 cm × 36,5 cm verwendet – wegen der erforderlichen Druckfestigkeit im Kellergeschoss in der Festigkeitsklasse PP6 und wegen der notwendigen höheren Wärmedämmung in den Wohngeschossen in den Festigkeitsklassen PP2 und PP4.

Abb. 11.11a und 11.11b: Wohnanlage in Rostock-Toitenwinkel





Der erhebliche Produktivitätsvorteil, den die großformatigen Porenbetonbauteile bieten, machte sich in Toitenwinkel mit einer zehnprozentigen Bauzeitverkürzung bezahlt. Der in der Planungs- und Erschließungsphase entstandene Bauverzug von rund drei Monaten konnte dadurch ausgeglichen werden. Als Arbeitszeitrichtwert für den Rohbau waren 1,5 h/m³ Mauerwerk vorgegeben.

Diese Leistung wurde im Mittel mit 1,3 h/m³ unterschritten, wobei zwei bis vier Kolonnen mit je drei Arbeitskräften die Planelemente mit einem Minikran versetzten. Aufgrund der planebenen Oberflächen des Mauerwerks verzichtete man im Kellergeschoss auf den Innenputz.

Weitere Objekte

Abb. 11.12: Mehrfamilienhaus in Bremen



Abb. 11.13: Mehrfamilienhaus in Hamburg-Habichtshorst





Abb. 11.14: Stadt villen
in Bremen



Abb. 11.15: Mehrfami-
lienhaus in Kirchheim

Abb. 11.16: Mehrfamilienhaus in Bielefeld



Abb. 11.17: Mehrfamilienhaus in Dessau



11.4 Sanierte und modernisierte Häuser

Anspruchsvolle Sanierung Glandorpshof, Glandorpsgang, Illhornstift und Zerrentiens Armenhaus, Lübeck

Architekten: Dipl.-Ing. G. Höfler,
H. Hamann, H.-E. Schumacher,
Lübeck

Sanierungs- und Modernisierungsaufgaben stellen besonders hohe Ansprüche – nicht nur an das Einfühlungsvermögen und die Phantasie des planenden Architekten, sondern auch an die Qualifikation und die Anpassbarkeit der eingesetzten Materialien.

Die Anlage Glandorpshof/Glandorpsgang stammt aus dem frühen 17. Jahrhundert. Sie besteht aus einem langgestreckten dreigeschossigen Backsteinhaus, zwei Flügelgebäuden mit je sieben zweigeschossigen Häusern und dreizehn sogenannten Gangbuden. Das benachbarte Illhornstift ist ein zweigeschossiges Hofgebäude aus der Mitte des 16. Jahrhunderts mit einem Vorhaus. Unweit davon liegt der aus drei Wohnhäusern bestehende Komplex von Zerrentiens Armenhaus.



Abb. 11.18a: Sanierung Glandorpshof in Lübeck

Im Rahmen der Sanierung wurden Wohnungen unterschiedlicher Größe geschaffen, zum Teil auch für alte und behinderte Menschen.

Die vorhandenen Konstruktionen der Häuser mit massiven Wänden wurden weitgehend erhalten. Die erforderlichen Änderungen der historischen Grundrisse machten jedoch viele Umbauten im Inneren erforderlich, aber auch an der zum Teil schlechten tragenden Bausub-

stanz mussten erhebliche Sanierungsarbeiten bis hin zum Ersatz ganzer Wandteile vorgenommen werden.

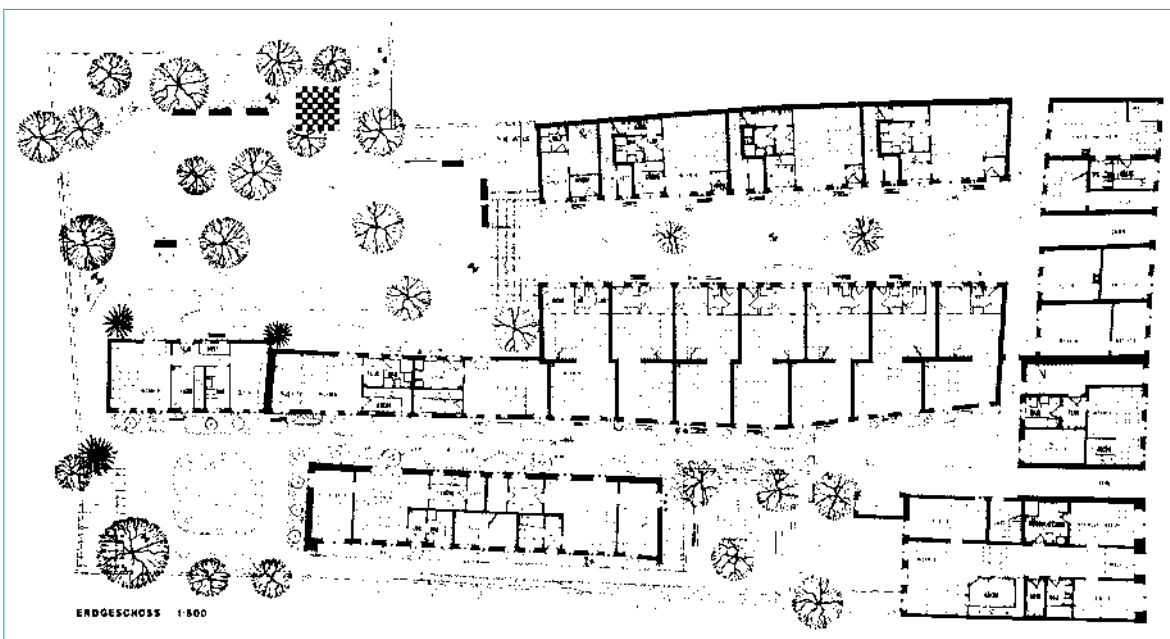
Der gesamte innere Kern der Gebäude wurde aus Gründen der Konstruktion und der Anpassbarkeit mit Porenbetonsteinen erneuert. Die alten Außenwände erhielten an ihren Innenseiten Vorsatzschalen aus Porenbeton.

Abb. 11.18b und
11.18c: Sanierung
Glandorpshof
in Lübeck





Abb. 11.18d und
11.18e: Sanierung
Glandorpshof
in Lübeck



Weitere Objekte

Abb. 11.19: Haus
Bungart in Linz



Abb. 11.20: Die Glocke
in Hennef





Abb. 11.21: Bäckerei und Biedermeier-Galerie in Göttingen



Abb. 11.22: Aufstockung eines Wohn- und Geschäftshauses in Oldenburg

11.5 Wirtschaftsgebäude

Abb. 11.23: Fa.
Merschbrock Kunst-
stoff Spritzguss GmbH,
Verl



Abb. 11.24: Produk-
tions- und Verwal-
tungsgebäude, Fa.
PACK2000, Landshut





Abb. 11.25: Schulz
Systemtechnik GmbH,
Visbek

SYMBOLVERZEICHNIS

Formelzeichen					
A	[m ²]	Fläche, Lasteinzugsfläche, überdrückte Querschnittsfläche	K	[dB]	Korrekturwert
A_{Ed}	[N/mm ²]	Nennwert für seismische Einwirkungen	L	[dB]	Trittschallpegel
A_G	[m ²]	Grundfläche, Nettogrundfläche	N	[kN/m]	Auflast
A_N	[m ²]	Gebäudenutzfläche	P_k	[N/mm ²]	Vorspannung
A_d	[N/mm ²]	Nennwert für außergewöhnliche Einwirkungen	Q	[kN]	Querkraft
B	[-]	Bewertungszahl für die natürliche Radioaktivität	Q_E	[kWh/a]	Jahres-Endenergiebedarf
C	[Wh/K]	Wärmespeicherfähigkeit	Q_N	[kWh/a]	Jahres-Nutzenergiebedarf
C_{TL}	[-]	Tageslichtversorgungsfaktor	Q_h	[kWh/a]	Jahres-Heizwärmebedarf
D	[dB]	Schallpegeldifferenz	Q_i	[kWh/a]	Jährliche Interne Wärmegewinne
E	[MN/m ²]	Elastizitätsmodul	Q_k	[N/mm ²]	Veränderliche Einwirkungen
E_d	[N/mm ²]	Bemessungswert einer Beanspruchung	Q_p	[kWh/a]	Jahres-Primärenergiebedarf
E_k	[N/mm ²]	Einwirkungen im Gebrauchszustand	Q_s	[J/(m ² K)]	Gespeicherte Wärmemenge
F	[kN]	Einzellast	Q_s	[kWh/a]	Jährliche Solare Wärmegewinne
F_C	[-]	Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen	Q_w	[kWh/a]	Jahres-Energiebedarf für Trinkwarmwassererwärmung
F_{Gt}	[-]	Gradtagzahlfaktor	R_d	[N/mm ²]	Bemessungswert eines Tragwiderstandes
F_x	[-]	Temperatur-Korrekturfaktor	R	[m ² K/W]	Wärmedurchlasswiderstand
G_k	[N/mm ²]	Ständige Einwirkungen	R_{se}, R_{si}	[m ² K/W]	Wärmeübergangswiderstand außen, innen
H_T	[W/K]	Spezifischer Transmissionswärmeverlust, Spezifischer Transmissionswärmetransferkoeffizient	R_T	[m ² K/W]	Wärmedurchgangswiderstand
H_V	[W/K]	Spezifischer Lüftungswärmeverlust, Spezifischer Lüftungswärmetransferkoeffizient	R	[dB]	Schalldämm-Maß
I	[kWh/(m ² a)]	Solare Einstrahlung	S	[-]	Untergrundparameter, Sonneneintragskennwert
			S	[m ²]	Bauteilfläche
			TAV	[-]	Temperaturamplitudenverhältnis
			U	[W/(m ² K)]	Wärmedurchgangskoeffizient, flächenbezogen
			ΔU	[W/(m ² K)]	Wärmebrückenzuschlagskoeffizient
			V	[m ³]	Volumen

W_w	[kg/(m ² h ^{0,5})]	Wasseraufnahmekoeffizient	l	[m]	Länge
a	[Bq]	Spezifische Aktivität eines Radionuklids	l_0	[mm]	Lichte Weite
a	[m ² /s]	Temperaturleitfähigkeit	m'	[kg/m ²]	Flächenbezogene Masse
a, a_0	[mm]	Auflagertiefe	Δm	[kg/m ²]	Flächenbezogene Massenzunahme
a_g	[m/s ²]	Bemessungswert der Bodenbeschleunigung	n	[h ⁻¹]	Luftwechselrate
b, b'	[m]	Breite, Abstand	p	[kN/m ²]	Erddruck, Nutzlast, Verkehrslast
b	[J/(m ² K s ^{0,5})]	Wärmeeindringkoeffizient	q	[kN/m ²]	Geschwindigkeitsdruck
c	[-]	Faktor zur Berücksichtigung der Schubspannungsverteilung	q_k	[kN/m ²]	Flächenlast
c	[Wh/(kgK)], [J/(kgK)]	Spezifische Wärmekapazität	r	[m]	Radius
c	[mm]	Betondeckung	s_d	[m]	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke
c_{pe}	[-]	Außendruckbeiwert für den Geschwindigkeitsdruck	s_i	[kN/m ²]	Schneelast auf Dächern
d	[m], [cm], [mm]	Dicke	s_k	[kN/m ²]	Schneelast auf dem Boden
e	[-]	Aufwandszahl	s'	[MN/m ³]	Dynamische Steifigkeit
f	[-], [%]	Fensterflächenanteil	t	[m]	Wanddicke
f	[Hz]	Frequenz	t	[a, d, h]	Zeit
f_{Rsi}	[-]	Temperaturfaktor	u	[%], [-]	Massebezogener Feuchtegehalt
f_{gew}	[-]	Gewichtete Außenflächen	u	[mm]	Mindestachsabstand
f_k	[N/mm ²]	Charakteristische Druckfestigkeit von Mauerwerk	v	[m/s]	Windgeschwindigkeit
f_p	[-]	Primärenergiefaktor	w_e	[kN/m ²]	Auf die Außenfläche eines Gebäudes wirkender Winddruck
g	[m/s ²]	Erdbeschleunigung	z_e	[m]	Bezugshöhe für den Außendruck
g	[-]	Gesamtenergiedurchlassgrad	θ	[°C], [K]	Temperatur
h	[m]	Höhe, Gebäudehöhe	Ψ	[-]	Beiwert
h_G	[m]	Geschosshöhe	Ψ	[W/(mK)]	Wärmedurchgangskoeffizient, längenbezogen
h_e	[m]	Anschütthöhe	Ψ	[%], [-]	Volumenbezogener Feuchtegehalt
h_k	[m]	Knicklänge	Ψ_M	[-]	Teilsicherheitsbeiwert für Baustoffeigenschaften
h_k/d	[-]	Schlankheit	ϕ	[%], [-]	Relative Luftfeuchte
h_s	[m]	Lichte Geschosshöhe, lichte Wandhöhe	β	[-]	Faktor zur Bestimmung der Knicklänge
k	[-]	Beiwert	β	[N/mm ²]	Nennwert der Steindruckfestigkeit
k	[-]	Abminderungsfaktor			
k	[m/s]	Wasserdurchlässigkeitsbeiwert			

γ_F	[-]	Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen in Tragwerken	Indizes und Exponenten	
γ_G	[-]	Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen	A	Auskühlung
γ_M	[-]	Teilsicherheitsbeiwert für Baustoffeigenschaften	AG	Grundflächenbezogen
γ_Q	[-]	Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen	AW	Außenwand
γ_i	[-]	Bedeutungsbeiwert für Hochbauten	B	Baustoff
ϵ_R	[-]	Randdehnung	B	Messung am Bau
η	[-]	Ausnutzungsgrad, Abminderungsbeiwert	D	Dach
λ	[W/(mK)]	Wärmeleitfähigkeit	D	Dämmung
μ	[-]	Formbeiwert der Schneelast, Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl	D	Druck
ρ	[kg/m³]	Rohdichte	E	Erdrreich
σ	[N/mm²]	Druckfestigkeit	H	Hall
σ_D	[MN/m²]	Druckspannung	HP	Heizperiode
σ_{DM}	[MN/m²]	Mittlere zugehörige Druckspannung	Ka	Kalium-40
σ_Z	[MN/m²]	Zugspannung	L	Auf flankierende Bauteile bezogen
σ_{oHZ}	[MN/m²]	Zulässige abgeminderte Haftscherfestigkeit	N	Nord
σ_0	[MN/m²]	Grundwert der zulässigen Druckspannungen	O	Ost
τ	[MN/m²]	Schubspannung	P	Messung im Prüfstand
τ	[-]	Lichttransmissionsgrad	R	Rechenwert
φ	[h]	Phasenverschiebung	Ra	Radium-226
			S	Schnee
			S	Süd
			T	Temperatur
			T	Transmission
			T	Nachhallzeitbezogen
			Th	Thorium-232
			TW	Trinkwasser
			V	Ventilation (Lüftung)
			W	Wasser
			W	West
			W	Wind
			WB	Wärmebrücke

aux	Auxiliary (Hilfsenergie)	$\perp$	Senkrecht zur Bauteiloberfläche
c	Cooling (Kühlung)	'	Wärme: Auf den Wärmestrom senkrecht zur Bauteiloberfläche bezogen
ce	Control and emission (Übergabe)	"	Wärme: Auf den Wärmestrom parallel zur Bauteiloberfläche bezogen
d	Distribution (Verteilung)	'	Wärme: Auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogen
diff	Diffus	"	Wärme: Auf die Gebäudenutzfläche oder Nettogrundfläche bezogen
dir	Direkt	'	Schall: Unter Beachtung bauüblicher Nebenwege
e	Exterior (außen)		
eq	Äquivalent		
g	Gas (Luft), glazing (Verglasung)		
g	Generation (Erzeugung)		
h	Heating (Heizung)		
i	Interior (innen)		
l	Leichte Bauart		
l	Beleuchtung		
m	Moisture (Feuchtigkeit, Wasserdampf)		
m	Mittelwert		
n	Norm		
p	Primärenergie		
r	Beurteilung		
res	Resultierend		
s	Surface (Oberfläche)		
s	Schwere Bauart		
s	Storage (Speicherung)		
total	Einschließlich Sonnenschutz		
vorh	Vorhanden		
w	Bewertet		
w	Trinkwarmwasser		
w	Window (Fenster)		
wirk	Wirksam		
zul	Zulässig, Höchstwert		
0	Auf den Urzustand bezogen		
50	Auf eine Druckdifferenz von 50 Pa bezogen		

LITERATUR

13.1 Bücher, Broschüren, Aufsätze

- [1] Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau e.V.: 4. Monitoring-Bericht Bauabfälle (Erhebung 2002). Berlin, 2005
- [2] Arbeitsgemeinschaft umweltverträgliches Bauprodukt e.V.: AUB Umweltdeklaration nach ISO 14025, Deklarationsnummer AUB-XEL-11005-D. Königswinter 2005
- [3] Arbeitsgemeinschaft umweltverträgliches Bauprodukt e.V.: Regeln für AUB-Produktdeklarationen – Porenbeton. Königswinter 2004
- [4] Brandt, J., Rechenberg, W.: Umwelt, Radioaktivität und Beton – Sachstandsbericht. Beton-Verlag, Düsseldorf 1994
- [5] Brundtland, G.H.: Our Common Future. World Commission on Environment and Development. Oxford University Press, 1987
- [6] Bundesamt für Strahlenschutz: Infoblatt Maßnahmen zum Schutz vor erhöhten Radonkonzentrationen in Gebäuden. Berlin 2007
- [7] Bundesamt für Strahlenschutz: Infoblatt Natürliche Radionuklide in Baumaterialien. Berlin 2007
- [8] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro – Dokumente – Agenda 21. Bonn 1992
- [9] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Januar 2001
- [10] Bundesverband Porenbeton e.V. (Herausgeber): Feuchtigkeitsverhältnisse in Außenwänden und Flachdächern – Bericht 1+2. Wiesbaden 2001
- [11] Bundesverband Porenbeton e.V. (Herausgeber): Brandverhalten von Porenbetonbauteilen – Bericht 4. Hannover 2008
- [12] Bundesverband Porenbeton e.V. (Herausgeber): Oberflächenbehandlung; Putze, Beschichtungen, Bekleidungen – Bericht 7. Hannover 2007
- [13] Bundesverband Porenbeton e.V. (Herausgeber): Befestigungsmittel – Bericht 8. Wiesbaden 2002
- [14] Bundesverband Porenbeton e.V. (Herausgeber): Ausmauerung von Holzfachwerk – Bericht 9. Wiesbaden 2000
- [15] Bundesverband Porenbeton e.V. (Herausgeber): Wärme- und Feuchteschutz – Bericht 11. Wiesbaden 1997
- [16] Bundesverband Porenbeton e.V. (Herausgeber): Schallschutz – Bericht 13. Wiesbaden 2002
- [17] Bundesverband Porenbeton e.V. (Herausgeber): Einbau von Feuerschutztüren und -toren – Bericht 17. Wiesbaden 2001
- [18] Bundesverband Porenbeton e.V. (Herausgeber): Wärmebrückenkatalog 2004 auf CD-ROM. Wiesbaden 2004

- [19] Bundesverband Porenbeton e.V.: Anforderungen bestens erfüllt: Schallschutz von zweischaligen Haustrennwänden aus Porenbeton. Eigenveröffentlichung, Hannover ohne Datum
- [20] Bundesverband Porenbeton e.V.: Nachhaltig Bauen mit Porenbeton. Eigenveröffentlichung, Wiesbaden 2003
- [21] Deutsche Energie-Agentur (dena): Energiepass für Gebäude: Evaluation des Feldversuchs – Zusammenfassung der Ergebnisse. Karlsruhe 2005
- [22] Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V., Fachausschuss Bau- und Raumakustik: Memorandum: Die DIN 4109 und die allgemein anerkannten Regeln der Technik in der Bauakustik – DEGA BR 0101. Berlin 2005
- [23] Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau e.V.: Schallschutz nach DIN 4109. Berlin 2006
- [24] Fasold, W., Veres, E.: Schallschutz + Raumakustik in der Praxis. Verlag für Bauwesen, Berlin 1998
- [25] Fischer, H.-M.: Kapitel Schall. In: Lehrbuch der Bauphysik, Teubner Verlag, Stuttgart 2002
- [26] Flassenberg, G., Schoch, T.: Zweischalige Haustrennwände aus Porenbeton. In: Das Mauerwerk. Heft 10/2006
- [27] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Fourth Assessment Report (AR4). 2007
- [28] Jenisch, R. und Stohrer, M.: Kapitel Wärme. In: Lehrbuch der Bauphysik, Teubner Verlag, Stuttgart 2002
- [29] Kümmel, J. u. a.: Wirkungsanalyse und Auswertung in der Steine-Erden-Industrie. Eigenveröffentlichung des Bundesverbandes Baustoffe Steine und Erden. Frankfurt 1999
- [30] PE Europe GmbH: Ökobilanz Porenbeton – Studie im Auftrag des Bundesverbandes Porenbeton e.V. Leinfelden-Echterdingen 2006
- [31] Prüfamf für bituminöse Baustoffe und Kunststoffe der Technischen Universität München: Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit von Porenbeton. Bericht Nr. 9761a/96. Februar 1996
- [32] Rahmstorf, S. und Schellnhuber, H.J.: Der Klimawandel. Verlag C.H. Beck. München 2006
- [33] Sälzer, E.: Kommentar zur DIN 4109, Schallschutz im Hochbau. Bauverlag, Wiesbaden 1995
- [34] Wicke, L. u. a.: Kyoto plus – So gelingt die Klimawende. Verlag C.H. Beck, München 2006

13.2 Gesetze, Verordnungen, Regelwerke, Zulassungen, Prüfberichte

- [35] Bauregelliste A Teil 1. Ausgabe 2007/1
- [36] Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft: Merkblatt für das Handhaben von Mauersteinen (BGI 695). Ausgabe Oktober 1992
- [37] Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand. Vom 26. Juli 2007
- [38] Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte im Wohngebäudebestand. Vom 26. Juli 2007
- [39] Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand. Vom 26. Juli 2007
- [40] Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand. Vom 26. Juli 2007
- [41] Bundesverband Porenbeton e.V.: Merkblatt zum Deponieren von Porenbeton. Wiesbaden, ohne Datum

- [42] Deutsche Bauchemie u. a.: Richtlinie für die Planung und Ausführung von Abdichtungen erdberührter Bauteile mit flexiblen Dichtungsschlämmen. Ausgabe 2006-04
- [43] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-2.1-4.1: Bewehrte Porenbeton-Deckenplatten W aus dampfgehärtetem Porenbeton der Festigkeitsklassen 2,2, 3,3 und 4,4 zur Ausbildung von Decken und Deckenscheiben mit Bezug auf DIN 1045: 1988-07 und DIN 1045-1: 2001-07. Berlin 2004
- [44] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-2.1-4.2: Bewehrte Porenbeton-Dachplatten W aus dampfgehärtetem Porenbeton der Festigkeitsklassen 2,2, 3,3 und 4,4 zur Ausbildung von Dächern und Dachscheiben mit Bezug auf DIN 1045: 1988-07 und DIN 1045-1: 2001-07. Berlin 2003
- [45] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-2.1-4.2.1: Bewehrte Porenbeton-Dachplatten W aus dampfgehärtetem Porenbeton der Festigkeitsklassen 2,2, 3,3 und 4,4 mit Nut-Feder-Verbindung ohne Vermörtelung mit Bezug auf DIN 1045: 1988-07 und DIN 1045-1: 2001-07. Berlin 2003
- [46] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-2.1-15: Bewehrte Porenbetonstürze W aus dampfgehärtetem Porenbeton der Festigkeitsklasse 4,4. Berlin 2003
- [47] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-2.1-36: Bewehrte geschosshohe Wandtafeln W aus dampfgehärtetem Porenbeton der Festigkeitsklassen 3,3 und 4,4. Berlin 2003
- [48] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-17.1-28: Geschosshohe tragende Porenbeton-Wandelemente W (System-Wandelemente) und Porenbeton-Wandtafeln W aus unbewehrtem, dampfgehärtetem Porenbeton der Festigkeitsklassen 2, 4 und 6. Berlin 2005
- [49] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-17.1-484: Mauerwerk aus Porenbeton-Planelementen W mit einem Überbindemaß von mindestens 0,4 h. Berlin 2003
- [50] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-17.1-540: Porenbeton-Plansteine W der Rohdichteklassen 0,50 und 0,55 in der Festigkeitsklasse 4 und der Rohdichteklassen 0,60 und 0,65 in der Festigkeitsklasse 6. Berlin 2004
- [51] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-17.1-543: Porenbeton-Plansteine W der Rohdichteklasse 0,50 in der Festigkeitsklasse 4. Berlin 2006
- [52] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-17.1-547: Mauerwerk aus Porenbeton-Planelementen (bezeichnet als HK-Elemente). Berlin 2006
- [53] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-17.1-634: Porenbeton-Flachstürze W. Berlin 2003
- [54] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-17.1-692: Mauerwerk aus Porenbeton-Planelementen (bezeichnet als Porenbeton-Planelemente W und Porenbeton-Planelemente W, lang). Berlin 2004
- [55] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-17.1-828: Porenbeton-Plansteine W der Rohdichteklasse 0,30 und 0,35 in der Festigkeitsklasse 1,6. Berlin 2004
- [56] Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-17.1-831: Mauerwerk aus Mauertafeln mit Porenbeton-Planelementen. Berlin 2005
- [57] DIN EN 196: Prüfverfahren für Zement. Mehrere Teile
- [58] DIN EN 459: Baukalk. Mehrere Teile
- [59] DIN 488: Betonstahl. Mehrere Teile
- [59.1] Teil 4: Betonstahlmatten. Entwurf 2006-11
- [60] DIN EN 771-4: Festlegungen für Mauersteine – Teil 4: Porenbetonsteine. Ausgabe 2005-05

- [61] DIN EN 998-1: Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau - Teil 1: Putzmörtel. Ausgabe 2003-09
- [62] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Ausgabe 2001-07
- [63] DIN 1053: Mauerwerk
 - [63.1] Teil 1: Berechnung und Ausführung. Ausgabe 1996-11
 - [63.2] Teil 3: Bewehrtes Mauerwerk; Berechnung und Ausführung. Ausgabe 1990-02
 - [63.3] Teil 4: Fertigbauteile. Ausgabe 2004-02
 - [63.4] Teil 100: Berechnung auf der Grundlage eines semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts. Ausgabe 2006-08
- [64] DIN 1055: Einwirkungen auf Tragwerke
 - [64.1] DIN 1055-1: Wichten und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen. Ausgabe 2002-06
 - [64.2] DIN 1055-3: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten. Ausgabe 2006-03
 - [64.3] DIN 1055-4: Windlasten. Ausgabe 2005-04
 - [64.4] DIN 1055-5: Schnee- und Eislasten. Ausgabe 2005-07
 - [64.5] DIN 1055-100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln. Ausgabe 2001-03
- [65] DIN EN 1363: Feuerwiderstandprüfungen. Mehrere Teile
- [66] DIN EN 1364: Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile. Mehrere Teile
- [67] DIN EN 1365: Feuerwiderstandprüfungen für tragende Bauteile. Mehrere Teile
- [68] DIN 4095: Baugrund; Dränung zum Schutz baulicher Anlagen; Planung, Bemessung und Ausführung. Ausgabe 1996-06
- [69] DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
 - [69.1] Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Ausgabe 1998-05
 - [69.2] Teil 2: Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Ausgabe 1977-09
 - [69.3] Teil 3: Brandwände und nichttragende Außenwände, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Ausgabe 1977-09
 - [69.4] Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile. Ausgabe 1994-03
 - [69.5] Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile; Änderung 1. Ausgabe 2004-11
- [70] DIN 4103-1: Nichttragende innere Trennwände
 - [70.1] Teil 1: Anforderungen, Nachweise. Ausgabe 1984-07
- [71] DIN 4108: Wärmeschutz und Energieeinsparung im Hochbau
 - [71.1] Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Ausgabe 2003-07
 - [71.2] Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Ausgabe 2001-07
 - [71.3] Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte. Vornorm 2007-06

- [71.4] Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und Jahresheizenergiebedarfes. Vornorm 2003-06
- [71.5] Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden; Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele. Ausgabe 2001-08
- [71.6] Beiblatt 2: Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele. Ausgabe 2006-03
- [71.7] Teil 10: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe – Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe. Vornorm 2004-06
- [72] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau
- [72.1] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau; Anforderungen und Nachweise. Ausgabe 1989-11
- [72.2] Teil 1: Anforderungen. Entwurf 2006-10
- [72.3] Teil 11: Nachweis des Schallschutzes; Güte- und Eignungsprüfung. Ausgabe 2003-09
- [72.4] Beiblatt 1: Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren. Ausgabe 1989-11
- [72.5] Beiblatt 2: Hinweise für Planung und Ausführung; Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz; Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich. Ausgabe 1989-11
- [73] DIN 4149: Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten. Ausgabe 2005-04
- [74] DIN V 4165-100: Porenbetonsteine – Teil 100: Plansteine und Planelemente mit besonderen Eigenschaften. Vornorm 2005-10
- [75] DIN 4166: Porenbeton-Bauplatten und Porenbeton-Planbauplatten. Ausgabe 1997-10
- [76] DIN 4223: Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton
- [76.1] Teil 1: Herstellung, Eigenschaften, Übereinstimmungsnachweis. Ausgabe 2003-12
- [76.2] Teil 2: Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung, Entwurf und Bemessung. Ausgabe 2003-12
- [76.3] Teil 3: Wände aus Bauteilen mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung, Entwurf und Bemessung. Ausgabe 2003-12
- [76.4] Teil 4: Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung, Anwendung in Bauwerken. Ausgabe 2003-12
- [76.5] Teil 5: Sicherheitskonzept. Ausgabe 2003-05
- [77] DIN 4701: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen
- [77.1] Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. Vornorm 2003-08
- [77.2] Beiblatt 1 zu Teil 10: Anlagenbeispiele. Vornorm 2007-02
- [77.3] Teil 12: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen im Bestand – Wärmeerzeuger und Trinkwassererwärmung. Vornorm 2004-02
- [77.4] PAS 1027: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen im Bestand – Ergänzung zur DIN V 4701-12 Blatt 1. Ausgabe 2004-02
- [78] DIN EN ISO 6946: Bauteile; Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient; Berechnungsverfahren. Ausgabe 2003-10
- [79] DIN ISO 9613-2: Akustik; Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien. Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren. Ausgabe 1999-10
- [80] DIN EN 10025: Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen. Mehrere Teile

- [81] DIN EN 12354: Bauakustik; Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften. Mehrere Teile
- [82] DIN EN ISO 12524: Baustoffe und -produkte; Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften; Tabellierte Bemessungswerte. Ausgabe 2000-07
- [83] DIN EN 13162: Wärmedämmstoffe für Gebäude; Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW); Spezifikationen. Ausgabe 2001-10
- [84] DIN EN 13501: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten
- [84.1] Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten. Ausgabe 2007-05
- [84.2] Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen. Entwurf 2006-06
- [84.3] Teil 3: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen an Bauteilen von haustechnischen Anlagen: Feuerwiderstandsfähige Leitungen und Brandschutzklappen. Ausgabe 2006-03
- [85] DIN ISO 14025: Umweltkennzeichnungen und -deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen – Grundsätze und Verfahren. Entwurf 2005-07
- [86] DIN EN ISO 14040: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Ausgabe 2006-10
- [87] DIN 18041: Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen. Ausgabe 2004-05
- [88] DIN 18093: Feuerschutzabschlüsse; Einbau von Feuerschutztüren in massive Wände aus Mauerwerk oder Beton; Ankerlagen, Ankerformen, Einbau. Ausgabe 1987-06
- [89] DIN 18130-1: Baugrund – Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes. Teil 1: Laborversuche. Ausgabe 1998-05
- [90] DIN V 18164: Schaumkunststoffe als Dämmstoffe für das Bauwesen – Teil 1: Dämmstoffe für die Wärmedämmung. Vornorm 2002-01
- [91] DIN 18165: Faserdämmstoffe für das Bauwesen
- [91.1] Teil 1: Dämmstoffe für die Wärmedämmung. Ausgabe 2002-01
- [91.2] Teil 2: Dämmstoffe für die Trittschalldämmung. Ausgabe 2001-09
- [92] DIN 18168: Gipsplatten-Deckenbekleidungen und Unterdecken. Mehrere Teile
- [93] DIN 18195: Bauwerksabdichtungen
- [93.1] Teil 4: Abdichtungen gegen Bodenfeuchte (Kapillarwasser, Haftwasser) und nichtstauendes Sickerwasser an Bodenplatten und Wänden; Bemessung und Ausführung. Ausgabe 2000-08
- [93.2] Teil 6: Abdichtungen gegen von außen drückendes Wasser auf Deckenflächen und in Nassräumen; Bemessung und Ausführung. Ausgabe 2000-08
- [94] DIN 18516: Außenwandbekleidungen, hinterlüftet. Mehrere Teile
- [95] DIN V 18550: Putz und Putzsysteme – Ausführung. Vornorm 2005-04
- [96] DIN 18556: Prüfung von Beschichtungsstoffen für Kunstharzputze und von Kunstharzputzen. Ausgabe 1985-01
- [97] DIN 18558: Kunstharzputze – Begriffe, Anforderungen, Ausführung. Ausgabe 1985-01
- [98] DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung

- [98.1] Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger. Vornorm 2007-02
- [98.2] Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen. Vornorm 2007-02
- [98.3] Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung. Vornorm 2007-02
- [98.4] Teil 4: Nutz- und Energiebedarf für Beleuchtung. Vornorm 2007-02
- [98.5] Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen. Vornorm 2007-02
- [98.6] Teil 6: Endenergiebedarf von Wohnungslüftungsanlagen und Luftheizungsanlagen für den Wohnungsbau. Vornorm 2007-02
- [98.7] Teil 7: Endenergiebedarf von Raumluftheiz- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau. Vornorm 2007-02
- [98.8] Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen. Vornorm 2007-02
- [98.9] Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Vornorm 2007-02
- [98.10] Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten. Vornorm 2007-02
- [99] DIN V 20000-404: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 404: Regeln für die Verwendung von Porenbetonsteinen nach DIN EN 771-4: 2005-05. Vornorm 2006-01
- [100] DIN 52219: Bauakustische Prüfungen; Messung von Geräuschen der Wasserinstallation in Gebäuden. Ausgabe 1993-07
- [101] Dr. Gruschka VBI: Gutachten Nr. 1267 vom 16.05.1983. Viernheim 1983 vom Juli 1999 (BGV B 3)
- [102] Fachverband Deutsches Fliesengewerbe im Zentralverband des deutschen Baugewerbes e.V.: Verbundabdichtungen – Hinweise für die Ausführung von Verbundabdichtungen mit Bekleidungen und Belägen aus Fliesen- und Platten für den Innen- und Außenbereich. Ausgabe Januar 2005
- [103] Fraunhofer-Institut für Bauphysik: Prüfbericht P-BA 459/1995. Stuttgart 1995
- [104] Fraunhofer-Institut für Bauphysik: Gutachten G-BA 11/1995. Stuttgart 1995
- [105] Fraunhofer-Institut für Bauphysik: Prüfzeugnis GS 205/82. Stuttgart 1982
- [106] Gertis, K.: Thermische Eigenspannungen und Verformungen von Gasbeton-Außenbauteilen. Holzkirchen, April 1974
- [107] Gewerbliche Berufsgenossenschaften: Unfallverhütungsvorschrift Arbeitsmedizinische Vorsorge vom 1. Oktober 1993 in der Fassung vom 1. Januar 1997 mit Durchführungsanweisungen vom Oktober 1993 (BGV A 4)
- [108] Gewerbliche Berufsgenossenschaften: Unfallverhütungsvorschrift Lärm vom 1. Oktober 1990 in der Fassung vom 1. Januar 1997 mit Durchführungsanweisungen
- [109] Klimafaktoren zu den Bekanntmachungen für Energieverbrauchskennwerte
- [110] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Mitteilung Nr. 20; Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Rohstoffen/Abfällen – Technische Regeln. Erich Schmidt Verlag, Neuburg an der Donau 1995
- [111] Musterbauordnung – MBO – in der Fassung vom November 2002
- [112] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998
- [113] Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz) vom 14. Mai 1993

- [114] TU Braunschweig: Prüfzeugnis Nr. 3770/3654 vom 14.07.1995 für Wände aus Porenbeton-Plansteinen PP der Festigkeitsklasse 2 und Rohdichteklasse $\geq 0,4$ mit Nut und Feder ohne Stoßfugenvermörtelung
- [115] TU Braunschweig: Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis P-3590/4066-MPA BS: Nichttragende, raumabschließende Brandwände aus liegend bzw. stehend angeordneten bewehrten Porenbetonplatten nach DIN 4102-3: 1977-09 bei einseitiger Brandbeanspruchung mit einer erhöhten Feuerwiderstandsdauer und erhöhter mechanischer Beanspruchung. Braunschweig 2007
- [116] TU Braunschweig: Prüfstand mit Nebenwegen (Prüfzeugnis Nr. 85 1147-2). Braunschweig, ohne Datum
- [117] TU Braunschweig: Eignungsprüfung DIN 4109 (Prüfzeugnis Nr. 2217/843). Braunschweig 1994
- [118] TU Braunschweig: Prüfbericht 3872/1162
- [119] TU Braunschweig: Eignungsprüfung DIN 4109 (Prüfzeugnis Nr. 2037/6334). Braunschweig 2004
- [120] TU Braunschweig: Prüfzeugnis 3603/2714
- [121] TU Braunschweig: Prüfstand mit Nebenwegen (Prüfzeugnis Nr. 83 1173-1). Braunschweig, ohne Datum
- [122] TU Braunschweig: Prüfstand mit Nebenwegen (Prüfzeugnis Nr. 83 1173-2). Braunschweig, ohne Datum
- [123] TU Braunschweig: Prüfstand mit Nebenwegen (Prüfzeugnis Nr. 83 1173-4). Braunschweig, ohne Datum
- [124] TU Braunschweig: Prüfstand mit Nebenwegen (Prüfzeugnis Nr. 83 254-1). Braunschweig, ohne Datum
- [125] TU Braunschweig: Prüfstand mit Nebenwegen (Prüfzeugnis Nr. 83 254-4). Braunschweig, ohne Datum
- [126] TU Braunschweig: Prüfstand mit Nebenwegen (Prüfzeugnis Nr. 83 254-2). Braunschweig, ohne Datum
- [127] TU Braunschweig: Prüfstand mit Nebenwegen (Prüfzeugnis Nr. 83 254-5). Braunschweig, ohne Datum
- [128] TU Braunschweig: Prüfstand mit Nebenwegen (Prüfzeugnis Nr. 83 254-7). Braunschweig, ohne Datum
- [129] VDI 2058 Blatt 3: Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten. Ausgabe 1999-02
- [130] VDI 2571: Schallabstrahlung von Industriebauten. Ausgabe 1976-08
- [131] VDI 2714: Schallausbreitung im Freien. Ausgabe 1988-01
- [132] VDI 2720: Schallschutz durch Abschirmung. Mehrere Teile
- [133] VDI 4100: Schallschutz von Wohnungen; Kriterien für Planung und Beurteilung. Ausgabe 1994-09
- [134] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 24. August 2004
- [135] Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung – AVV) vom 24.07.2002
- [136] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV) vom 11. August 1977
- [137] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 24. Juli 2007
- [138] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA): Fachwerkinstandsetzung nach WTA;
- [139] Xella Baustoffe GmbH: Energetische Sanierung von einschaligen Außenwänden aus Porenbeton nach Energieeinsparverordnung – Feststellung der wärmetechnischen Bemessungswerte. Technischer Bericht 5/2003. November 2003
- [140] Zentralverband des deutschen Baugewerbes e.V. u. a.: Arbeitszeit-Richtwerte Hochbau (ARH). Zeittechnik-Verlag, Neu-Isenburg 2002

SACHWORTVERZEICHNIS

A

Abbindereaktion	14
Abbruch	29
Abdichtung	128
Abdichtungsbahnen	129
Abfallvermeidung	20
Abmauerung	218
Abstandsmontage	225
Aerodynamischer Beiwert	53
Aluminium	12, 14
Anhydrit	12
Anlagenaufwandszahl	94
Anreisswinkel	213
Anströmrichtung	54
Arbeitsschutz	25
Armaturen	143
Auflager	
Dachplatten	76, 186
Deckenplatten	78, 204
Geschossdecken	218
Auflagerpressung	64
Auftreiben	14
Ausfachungswände	70, 158
Ausführung	211
Ausgleichsfeuchtegehalt	121
Ausgleichsschicht	216
Auskragung	78
Auskühlzeit	88
Ausrichten	213
Außendruckbeiwert	53
Außenlärm	141
Außenputz	126, 221
Außensockelputz	222
Außenwandbekleidung	128
Aussparungen	68
Austrocknungskurve	122
Auswechslung	218
Autoklavhärtung	15
Aylsworth	11

B

Bandsäge	213
Baugrund	128
Baureststoffaufkommen	20
Bau-Schalldämm-Maß	133
Baustellenorganisation	211
Baustoff	11
Baustoffklasse	149
Bausystem „Modernisierung“	46
Bausystem „Wirtschaftsbau“	45
Bausystem „Wohnbau“	43
Beanspruchungsgruppe	125
Bearbeitung	218
Bedeutungskategorien von Bauwerken	60
Befestigungen	225
Behaglichkeit	27
Beispiele	231
Bekleidungen	
angemauert oder angemörtelt	128
aus Porenbeton	164
Bemessungssituationen	51, 72
Bemessungswasserstand	131
Berechnung	51
Anforderungen an Entwurf und Ausführung	51
Einwirkungen	72
gemäß DIN 1053-1	63
gemäß DIN 1053-100	71
Berger'sches Massegesetz	134
Beschichtungen	225
Beurteilungspegel	143
Bewehrung	62
Bewehrungskörbe	14
Bewehrungsstäbe	14
Bindemittel	12, 220
Bitumendickbeschichtung	130
Blower-Door-Messung	103
Bodenfeuchte	129
Bohrungen	219
Bolzen	228

Brandbeanspruchung	151	Einfassungsbauteile	62
Brandschutz	149	Energieausweis	
Brandverhalten	149	bestehende Gebäude	107, 113
Brandwände	158	zu errichtende Nichtwohngebäude	102
Brennbarkeit	149	zu errichtende Wohngebäude	94
Brennstoffverbrauch	112	Energiebedarf	108
Brundtland-Bericht	21	Energiebilanz	26
Brüstungen	158	Energieeinsparung	88
		Energieeinsparverordnung	90
		Änderung bestehender Gebäude	106
		erstmaliger Einbau, Ersatz oder	
		Erneuerung von Bauteilen	106
		zu errichtende kleine Gebäude	103
		zu errichtende Nichtwohngebäude	98
		zu errichtende Wohngebäude	92
		Energieverbrauch	108
		Energieverbrauchskennwert	112
		Entwicklung von Porenbeton	11
		Erdbebenlasten	59
		Konstruktionsregeln	61
		Erdbebenzonen	60
		Erddruck	68
		Eriksson	11
		Erstarrungszeit	13
		Exzentrizitäten	74
C		F	
Calciumaluminathydrat	14	Fensterflächenanteil	116
Calciumhydroxid	14	Fernfeld	146
Calciumsilikathydrat	15	Fertigstürze	
chemische Reaktion	14	nicht tragend	79
CO ₂	19	tragend	79
		Feststoffgehalt	12
		Feuchtegehalt	121
		Feuchtetransport	124
		Feuerschutzabschlüsse	157
		Feuerschutztüren	157
		Feuerwiderstandsdauer	151
		Feuerwiderstandsfähigkeit	151
		Feuerwiderstandsklasse	152
		F-klassifizierte Wände	154
		Flachdächer	55, 186
		Flachstürze	80
		flankierende Bauteile	136, 139
		Fugenbewehrung	218
D		G	
Dächer		Gebäudenutzung	26
flach	186	Gebrauchstauglichkeitsnachweis	51
geneigt	194	Geländeform	128
Dachplatten	36		
Ausführung	218		
Berechnung	76		
Dampfdruckhärtung	12		
Dämpfung, innere	134		
Decken	163, 204		
Deckenplatten	36		
Ausführung	218		
Berechnung	78		
Deckenrandsteine	38, 218		
Deponiefähigkeit	30		
Dichtungsschlämme	129		
Diffusion	124		
Doppelhaus	236		
Drahtanker	69		
Druckdifferenzprüfung	103		
Druckfestigkeit	72		
Druckspannungen	64		
Dübel	225		
Durchbrüche	218		
Durchsteckmontage	225, 228		
Dyer	11		
E			
Eigenlasten			
Baustoffe und Bauteile	52		
Hochbauten	53		
Eignungsprüfung	143		
Einfamilienhäuser	231		

Geländehöhe	58	Klimafaktoren	114
Geräte	143	Knicklänge	67
Geräusche	134	Kricksicherheitsnachweis	64
Geräuschpegel	133	Kohlendioxid	19
Gesamtenergiedurchlassgrad	116	Kombinationsregeln	72
Gesamtimmissionsschallpegel	146	Komplextrennwände	162
Geschwindigkeitsdruck	57	Konstruktionen	165
Gewährleistung	18	Korrosionsschutz	14
Gips	12	Kosten	211
Glaser-Verfahren	122	Kragarmdurchbiegung	78
Gleichgewichtsfeuchte	121	Kunststoffdübel	226
Grundwasserstand	128		
Gummihammer	213		
Gütesicherung	18	L	
		Lärm	
		am Arbeitsplatz	143
		in der Nachbarschaft	145
H		Lärmbelastung	143
Haftscherfestigkeit	74	Lärmeinwirkung	143
Hallradius	144	Lärmpegelbereiche	141
Halterung von Wänden	66	Lastannahmen	52
Haustrennwände	136	Lebensdauer	29
Herstellfeuchte	121	Leichtputze	221, 222
Herstellung	12	Lohnkosten	212
Hoffmann	11	Luftdichtheit	103
Höhenausgleichssteine	38, 216	Luftschalldämmung	139
Holzfachwerk	228	Luftschichtanker	215
Horizontalbewehrung	62	Luftschichtdicke,	
Humanisierung	25	wasserdampfdiffusionsäquivalent	123, 126
		Luftschicht, ruhend	83
		Lüftungswärmeverluste	103
		Luftwechselrate	103
I		M	
Idealkreislauf	20	Materialbearbeitung	212
Injektionssysteme	226	Maueranker	214
Innenputze	223	Mauertafeln	35
Innenwände, nicht tragend	70	Bemessung	74
Installationsgeräusche	143	Mauerwerk	63
Intermittierendes Heizen	87	Mauerwerksbauten	61
		Mehrfamilienhäuser	242
J		Metalldübel	226
Jahres-Endenergiebedarf	108	Michaelis	11
Jahres-Heizwärmebedarf	94	Mindestschallschutz	133
Jahresniederschlagsmenge	125	Mindestwärmeschutz	89
Jahres-Primärenergiebedarf	91, 108	Minikran	215
		Modernisierung	247
K		Monatsbilanzverfahren	94
Kapillarleitung	123	Mörtel-Ausgleichsschicht	217
Kelleraußenwände	68, 128	Mörtelbett	213
Keller-Außenwandputz	223		
Keramische Beläge	224		
klaffende Fugen	64, 74		

N

Nachhallfeld	144
Nachhallzeit	134
Nachhaltigkeit	19, 21
Nachnutzungsphase	29
Nachrüstverpflichtung	114
Nägel	225
Nahfeld	146
Nettogrundfläche	116
Norm-Trittschallpegel	133, 140
Nutzlasten	53
Nutzungsdauer	29

O

Oberflächentemperaturen	124
Öffnungen	219
Ökobilanz	22

P

Passiv-Reihenhäuser	237
Passivschicht	14
Pass-Stücke	218
Patent	11
Pfeiler	154
Phasenverschiebung	115
pH-Wert	14
Planbauplatten	35
Planelemente	33
Ausführung	215
Plansteine	33
Ausführung	213
Plansteinkelle	213
Planungsaspekte	231
Planungsraster	217
Porenbeton-Bonus	136
Porenbildner	12
Porenvolumen	12
Porosität	
Baustoff	14
Oberflächen	145
Primärenergieverbrauch	22
Primärrohstoffe	13
Produktivität	211
Produkttransport	212
Profilieren	14
Profilmesser	14
Punktschweißen	14
Putz	220

Q

Quarzsand	12
Querschnittsabdichtung	129, 213
Querwände	66

R

Radioaktivität	28
Rationalisierung	211, 216
Raumabschlussfähigkeit	151
Raumklima	27
Raumluftqualität	28
Recycling	20
Recyclingmaterial	13
Referenzgebäude	98
Referenzkonstruktionen	125
Reflexionseigenschaften	145
Regelmäßigkeitskriterien	59
Reibebrett	213
Reibschluss	226
Reihenhäuser	231
Restwanddicke	68
Ringanker	67
Ringankerbewehrung	218
Rohstoffeinsatz	17
Rohstoffmischung	13
Rohstoffsituation	21
Rückbau	29
Rückdiffusion	124
Rückgutschlamm	13
Rückleitung, kapillar	124
Rührquirl	213

S

Sachbilanz	22
Sand	12
Sanierung	247
Satteldächer	57
Schadstoffkonzentration	28
Schallabstrahlung	146
Schallausbreitung	146
Schalldämm-Maß	
bewertet	135
Korrekturwert	136, 139
resultierend	141
Schall, direkt	144
Schallfeld, diffus	145
Schallimmission	145
Schallpegel	143

Schallquelle	146	Tobermorit	17
Schallreflexion	144	Tragfähigkeit	51, 61, 151
Schallschutz	133	Tragmechanismen	225
Schalöl	13	Tragwiderstand	71, 72
Schimmelbildung	89, 124	Transmissionswärmefestwert	91
Schlagregenschutz	125	Transmissionswärmeverlust	91
Schlitze	68, 219	Transportbewehrung	75
Schneelasten	58	Transportkosten	212
Schneelastzonen	58	Treibhauseffekt	19
Schneiden	14	Trennfugenausbildung	137
Schnittgröße	71	Trennwände, nicht tragend	70
Schrauben	225	Trennwandzuschlag	70
Schubfestigkeit	74	Treppenstufen	40
Schubnachweis	66	Trinkwarmwasserbereitung	94
Schubwände	61	Trittschalldämmung	140
Schutzschichten	131	Trittschallverbesserungsmaß	141
Schwingungen	53		
Sicherheitskonzept	71	U	
Sickerwasser	131	Überbeton	78
Siliciumdioxid	12, 15	Überbindemaß	214
Solarenergienutzung	87	Umweltdeklaration	30
Sommerlicher Wärmeschutz	114	Umweltverträglichkeit	19, 21
Sonneneintragskennwert	115	Umweltwirkungen	22
Sorptionsisotherme	121	Unterdecke	140
Spannungsnachweis	64	Untergrundvorbereitung	129
Spiralnägel	225	U-Schalen	39
Stahldraht	14	U-Steine	39
Stahlform	13		
Standard-Norm-Trittschallpegel	134	V	
Standard-Schallpegeldifferenz	134	Verankerungen	225
Standicherheit	59, 61	Verarbeitung	213
Stoffschluss	226	Verarbeitungsgewicht	25
Stoff- und Energieströme	22	Verarbeitungszeiten	211
Strahlenexposition	28	Verblendmauerwerk	127
Stumpfstoßtechnik	214	Verbrennungsprozess	19
Stürze		Verdichtete Bebauung	231
aus U-Schalen und U-Steinen	80	Versetzzange	215
Fertigstürze	38, 79	Vorhaltemaß	141
		Vorsatzschale	139
		Vorwandinstallation	143
T			
Tagesleistung	211	W	
Tauchbad	14	Wandabschnitte	154
Teilflächenpressungen	65	Wandabwicklungsplan	215
Teilsicherheitsbeiwert	72, 74	Wandanschlüsse	214
Teilsicherheitskonzept	63	Wandplatten	40
Temperaturamplitudenverhältnis	115		
Temperaturfaktor	89, 124		
Temperaturleitfähigkeit	115		
Terrassenhäuser	231		

Wandtafeln	36	Z	
Ausführung	217	Zement	12
Berechnung	75	Zernikow	11
Wärmebrücken	89, 104, 124	Zugfestigkeit	74
Wärmebrückenkatalog	105	Zug- und Biegezugfestigkeit	74
Wärmebrückenverlustkoeffizient	104	Zug- und Biegezugspannungen	65
Wärmedurchgangskoeffizient	84	Zuschlagsstoff	12
Wärmedurchgangswiderstand	84	Zwei-Mann-Team	215
Wärmedurchlasswiderstand	83, 89	Zwischenabdichtung	130
Wärmeeindringkoeffizient	115		
Wärmekapazität	115		
Wärmekonvektion	81		
Wärmeleitfähigkeit	83		
Wärmeleitung	81		
Wärmemenge, gespeichert	88		
Wärmeschutz	81, 90		
Wärmeschutz, sommerlicher	87, 114		
Wärmeschutzverordnung	108		
Wärmespeicherfähigkeit	87, 115		
Wärmespeicherung	86		
Wärmestrahlung	81		
Wärmeübergang	81		
Wärmeübergangswiderstand	81		
Wasser	12		
Wasseraufnahmekoeffizient	123, 126		
Wasseraufnahmeverhalten	123		
Wasserbeanspruchung	128		
Wasserdampfdiffusion	122		
Wasserinstallationen	143		
Wasserstoffgas	14		
Wasser, drückend	131		
Wasserwaage	213		
Werk trockenmörtel	220		
Werkzeuge	213		
Werterhaltung	20		
Wichten	52		
Widia-Handsäge	213		
Wiederaufbereitung	29		
Winddruck	53		
Windlasten	53		
Windzonen	57		
Wirkungsabschätzung	25		
Wirkungsindikatoren	25		
Wirkungskategorien	25		
Wirtschaftlichkeit	211, 212		
Wirtschaftsbau	40		
Wirtschaftsgebäude	252		
Witterungsschutz	221		
W-klassifizierte Wände	158		
Wohnungstrenndecken	139		

