

# PORENBEETON BERICHT 14

Mauerwerk aus Porenbeton  
Beispiele zur Bemessung  
nach Eurocode 6



# **MAUERWERK AUS PORENBETON**

**Beispiele zur Bemessung  
nach Eurocode 6 (DIN EN 1996-1-1 und NA  
und DIN EN 1996-3 und NA)**

**von**

**Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger, Dr.-Ing. Frank Steinigen  
TU Dresden / Jäger Ingenieure GmbH, Radebeul**

## Impressum

Herausgeber:

Bundesverband Porenbetonindustrie e. V.  
Kochstraße 6-7, 10969 Berlin  
Telefon 030-259282-14, Fax 030-259282-64  
[www.bv-porenbeton.de](http://www.bv-porenbeton.de)

Vertrieb:

BVP-Porenbeton-Informationen-GmbH  
Kochstraße 6-7, 10969 Berlin  
E-Mail: [info@bv-porenbeton.de](mailto:info@bv-porenbeton.de)

Gestaltung:

Jäger Ingenieure GmbH, Radebeul · E-Mail: [jj@jaeger-ingenieure.de](mailto:jj@jaeger-ingenieure.de)

Umschlag:

Dipl.-Designer Peter Lenz, Wiesbaden · E-Mail: [Peter\\_Lenz@t-online.de](mailto:Peter_Lenz@t-online.de)

Druck:

Druckerei Chmielorz GmbH, Ostring 13, 65205 Wiesbaden

Ausgabe:

6. Auflage August 2012, mit Ergänzungen September 2014

Veröffentlichungen, auch auszugsweise, bedürfen der schriftlichen Genehmigung des Herausgebers.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Impressum</b>	<b>2</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>1 Vorwort</b>	<b>5</b>
1.1 Allgemeines	5
1.2 DIN EN 1996	5
1.3 Standsicherheitsnachweise	6
<b>2 Beschreibung der Gebäude</b>	<b>7</b>
2.1 Einfamilienhaus in Berlin	7
2.2 Doppelhaus in Hövelhof	15
2.3 Mehrfamilienhaus in Dresden	22
<b>3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)</b>	<b>30</b>
3.1 Allgemeines	30
<b>3.2 Beispiel Innenwände</b>	<b>34</b>
3.2.1 mit hoher Auflast	34
3.2.1.1 Spannrichtung der Decken rechtwinklig zur Wand	34
3.2.1.2 Spannrichtung der Decken senkrecht und parallel zur Wand	37
3.2.2 mit geringer Auflast	41
<b>3.3 Beispiel Außenwände</b>	<b>44</b>
3.3.1 mit geringer Auflast, Deckenspannrichtung senkrecht und parallel zur Wand	44
3.3.2 mit hoher Auflast, Deckenspannrichtung senkrecht zur Wand	47
3.3.3 mit hoher Auflast, zweischalige Außenwand	54
<b>3.4 Beispiel kurze Wandabschnitte (Pfeiler)</b>	<b>57</b>
3.4.1 Innenwandpfeiler	57
3.4.1.1 mit geringer Auflast, Deckenspannrichtung senkrecht und parallel zur Wand	57
3.4.1.2 mit hoher Auflast	60
3.4.2 Außenwandpfeiler	63
3.4.2.1 mit geringer Auflast	63
3.4.2.2 mit hoher Auflast	66
<b>3.5 Beispiel Giebelwände</b>	<b>70</b>
3.5.1 vertikal unbelastet	70
3.5.2 belastet	74

<b>3.6</b>	<b>Beispiel Haustrennwände</b>	<b>89</b>
3.6.1	ohne aussteifende Querwände	89
3.6.2	mit aussteifenden Querwänden	92
<b>3.7</b>	<b>Beispiel Kelleraußenwände</b>	<b>95</b>
3.7.1	mit geringer Erdanschüttung und hoher Auflast	95
3.7.1.1	Lastabtrag der Wand einachsig (vertikal)	95
3.7.2	mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast	99
3.7.2.1	Lastabtrag der Wand einachsig (vertikal)	99
3.7.2.2	Lastabtrag der Wand zweiachsig	106
3.7.2.3	Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel	109
3.7.2.4	Lastabtrag durch geschosshohe Aussteifungsbalken	134
3.7.3	mit erhöhtem Erddruck	151
<b>3.8</b>	<b>Beispiel Aussteifungswand</b>	<b>156</b>
3.8.1	Aussteifungswand im Doppelhaus	156
3.8.2	Aussteifungswand im Mehrfamilienhaus	167
<b>3.9</b>	<b>Beispiel Stürze</b>	<b>179</b>
3.9.1	Porenbeton-Flachsturz nach bauaufsichtlicher Zulassung	179
<b>3.10</b>	<b>Beispiel Teilflächenpressung</b>	<b>185</b>
3.10.1	infolge Auflagerung von Stürzen	185
3.10.2	infolge Lasten aus Pfetten	188
3.10.3	infolge Einzellasten/Stützen	192
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>196</b>
<b>5</b>	<b>Produktkenndaten</b>	<b>197</b>
<b>6</b>	<b>Normen, Literatur</b>	<b>198</b>

## 1 Vorwort

### 1.1 Allgemeines

In diesem Berichtsheft werden Musterberechnungen nach dem Teilsicherheitskonzept des Eurocode 6 - DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] und DIN EN 1996-3:2010-12 [15] mit den nationalen Anhängen DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10] bzw. DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] - für ausgewählte Einzelbauteile aus Porenbeton-Mauerwerk gezeigt. Die Beispiele wurden aus folgenden realisierten Mauerwerksbauten, die nachfolgend noch genauer beschrieben werden, hergeleitet:

- Einfamilienhaus in Berlin
- Doppelhaus in Hövelhof
- Mehrfamilienhaus in Dresden

Anhand dieser bereits bestehenden Gebäude, die schon vor einiger Zeit nach älteren Normen berechnet und ausgeführt wurden, werden beispielhaft die wichtigsten und am häufigsten ausgeführten Wandkonstruktionen aus Porenbeton behandelt, in dem die maßgebenden Mauerwerksbauteile auf Grundlage des aktuellen Stands der Normung nach dem Teilsicherheitskonzept statisch nachgewiesen werden. Die Berechnungen sind übersichtlich aufgebaut und durch Erläuterungen und Skizzen sowie entsprechende Querverweise einfach nachvollziehbar.

Innen- und Außenwände, Wandpfeiler, Giebel- und Haustrennwände sowie zwei Aussteifungswände werden beispielhaft nachgewiesen. Zudem wird die Bemessung von Porenbeton-Flachstürzen gezeigt.

### 1.2 DIN EN 1996

Der Eurocode 6 „Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten“ gliedert sich wie folgt:

- Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk  
(DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] mit DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10])
- Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall  
(DIN EN 1996-1-2:2011-04 [11] mit E DIN EN 1996-1-2/NA:2012-04 - Entwurf [12])
- Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk  
(DIN EN 1996-2:2010-12 [13] mit DIN EN 1996-2/NA:2012-01 [14])
- Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten  
(DIN EN 1996-3:2010-12 [15] mit DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16])

Der Teil 1-1 enthält Angaben zu den Baustoffen, zur Dauerhaftigkeit, zur Ermittlung der Schnittgrößen, zum Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit.

higkeit (genauerer Verfahren), Hinweise zur Gebrauchstauglichkeit sowie bemessungsrelevante Angaben zur baulichen Durchbildung und Ausführung. Vereinfachte Berechnungs- und Nachweisverfahren sind im Teil 3 zusammengefasst. Damit können auch bei Anwendung des Eurocodes die statischen Nachweise für die Mehrzahl aller im Mauerwerksbau auftretenden Problemstellungen ohne großen Aufwand erbracht werden.

Die Nachweisführung erfolgt auf der Grundlage eines semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts (Teilsicherheitsbeiwerte) in Weiterführung der DIN 1053-100 [2]. Der Nachweis wird über aufnehmbare Schnittgrößen auf dem Bemessungswertniveau geführt.

Neu ist die Möglichkeit, auch im vereinfachten Berechnungsverfahren die teilweise Auflagerung der Decke auf die Wand ( $a < t$ ) berücksichtigen zu können.

Bei horizontal beanspruchten Aussteifungsscheiben können zusätzlich zum klassischen Kragarmmodell auch Modelle zur Schnittgrößenermittlung verwendet werden, die die günstige Wirkung einer Einspannung der Wand in die Geschossdecken berücksichtigen.

Die Anwendungsgrenzen der Nachweisformeln für durch Erddruck belastete Kelleraußenwände wurden so angepasst, dass eine Anschütthöhe bis Oberkante Kellerdecke möglich ist.

### 1.3 Standsicherheitsnachweise

In DIN EN 1996-1-1 [9] bzw. DIN EN 1996-3 [15] sind die folgenden Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit geregelt:

- Nachweis bei zentrischer und exzentrischer Druckbeanspruchung einschließlich Nachweis der Knicksicherheit
- Nachweis von Einzel- und Teilflächenlasten
- Nachweis bei Zug- und Biegezugbeanspruchung
- Nachweis bei Schubbeanspruchung

In Abhängigkeit der Beanspruchung können die in der Norm enthaltenen Nachweise bestimmten Bauteilen zugeordnet werden. So kann beispielsweise der Schubnachweis je nach Beanspruchung für Platten- oder Scheibenschub geführt werden. Plattenschub bei horizontaler Beanspruchung rechtwinklig zur Wandebene tritt in der Regel bei allen Außenwänden infolge Windbeanspruchung und bei Kelleraußenwänden infolge Erddrucks auf. Scheibenschub bei horizontaler Beanspruchung in Wandlängsrichtung tritt überwiegend bei Wänden auf, die zur Aussteifung eines Gebäudes herangezogen werden (Windscheiben). Die entsprechenden Nachweise sind daher immer für die maßgebenden Bauteile zu führen.

In den nachfolgenden Musterberechnungen sind die maßgebenden Nachweise für die jeweiligen Bauteile enthalten.

## 2 Beschreibung der Gebäude

### 2.1 Einfamilienhaus in Berlin

Grundlage der Berechnungsbeispiele sind die in Bild 3 bis Bild 6 dargestellten Grundrisse und der Schnitt in Bild 7.

Das Einfamilienhaus – geplant von Torge Gaa Wercker Architekten in Berlin – besteht aus zwei Vollgeschossen, einem Staffelgeschoss und einem Kellergeschoss. Die Gesamthöhe des Gebäudes liegt bei ca. 8,90 m über OK Gelände. Die lichte Geschosshöhe beträgt 2,77 m im Erd- und 1. Obergeschoss, 2,63 m im Staffelgeschoss sowie 2,57 m im Kellergeschoss. Die Geschossdecken sind 180 mm dick und als Elementdecke mit Ortbetonauflage in C25/30 ausgeführt. Die tragenden Wände haben eine Dicke von 175 mm, 300 mm und 365 mm. Die Außenwände wurden als einschaliges Mauerwerk ausgeführt.

Das Dachtragwerk des Flachdachs besteht aus einer 180 mm dicken Platte, die als Elementdecke mit Ortbetonauflage in C25/30 ausgeführt wurde.

Gemäß den geltenden Normen werden den Nachweisen die Baustoffe nach Tabelle 1 zugrunde gelegt.

Tabelle 1 Baustoffe für das Einfamilienhaus in Berlin

Dachkonstruktion	Stahlbeton C25/30, Betonstahl B500A und B500M
Decken, Stürze, Stützen	Stahlbeton C25/30, Betonstahl B500A und B500M
Fundamente, Ringbalken bzw. -anker	Stahlbeton C25/30, Betonstahl B500A und B500M
Mauerwerk – tragende Wände	Porenbeton-Plansteine gemäß Tabelle 2
Mauerwerk – nichttragende Wände	Porenbeton-Plansteine PP4-0,50, d = 115 mm (Wandflächengewicht inkl. Putz: 0,85 kN/m <sup>2</sup> )

## 2 Beschreibung der Gebäude

Tabelle 2 Eigenschaftswerte des tragenden Mauerwerks beim Einfamilienhaus in Berlin

	Erd-, Ober- und Staffelgeschoss		Kellergeschoss	
	Innenwände	Außenwände	Innenwände	Außenwände
Wanddicke [mm]	175	365	175	365 (300)
Mauersteine	Porenbeton-Plansteine	Porenbeton-Plansteine	Porenbeton-Plansteine	Porenbeton-Plansteine
Festigkeitsklasse Bezeichnung	4 PP4	2 (4) PP2 (PP4)	4 PP4	2 PP2
Mörtelart	Dünnbettmörtel	Dünnbettmörtel	Dünnbettmörtel	Dünnbettmörtel
Stoßfugenvermörtelung	ohne	ohne	ohne	ohne
Steinrohddichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	0,55	0,35 (0,55)	0,55	0,35
Berechnungsgewicht [kN/m <sup>3</sup> ]	6,5	4,5 (6,5)	6,5	4,5
Wärmeleitfähigkeit <sup>1)</sup> [W/(m·K)]	0,14	0,12 (0,14)	0,14	0,08
Putzdicke [cm]	0,5 + 0,5	0,5 + 1,5	---	0 + 1,5
Putzrohddichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	0,8	0,8	---	0,8
Wandflächengewicht [kN/m <sup>2</sup> ]	1,22	1,80 (2,53)	1,14	1,76 (1,47)
<sup>1)</sup> Bezüglich aktueller, verbesserter Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit siehe Produktinformationen der Hersteller				



Bild 1 Einfamilienhaus in Berlin



Bild 2 Einfamilienhaus in Berlin

## 2 Beschreibung der Gebäude

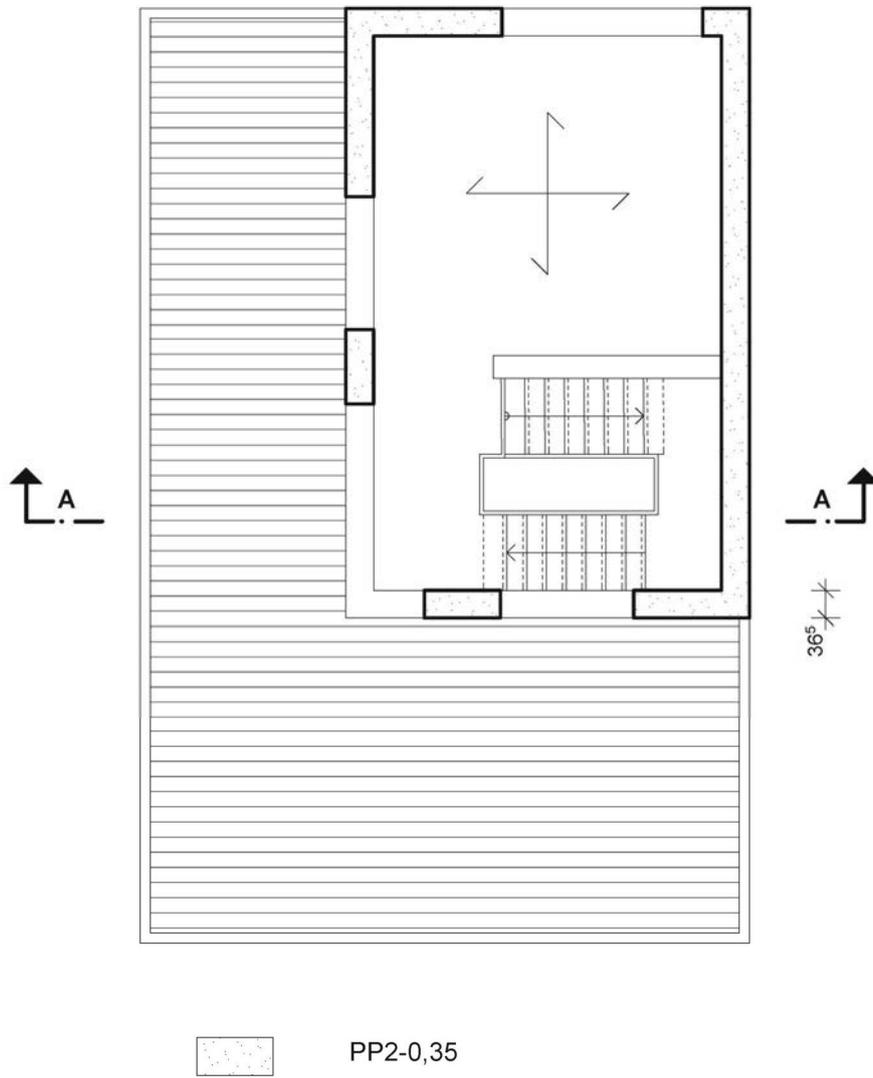


Bild 3 Einfamilienhaus in Berlin, Grundriss Staffel-/Dachgeschoss

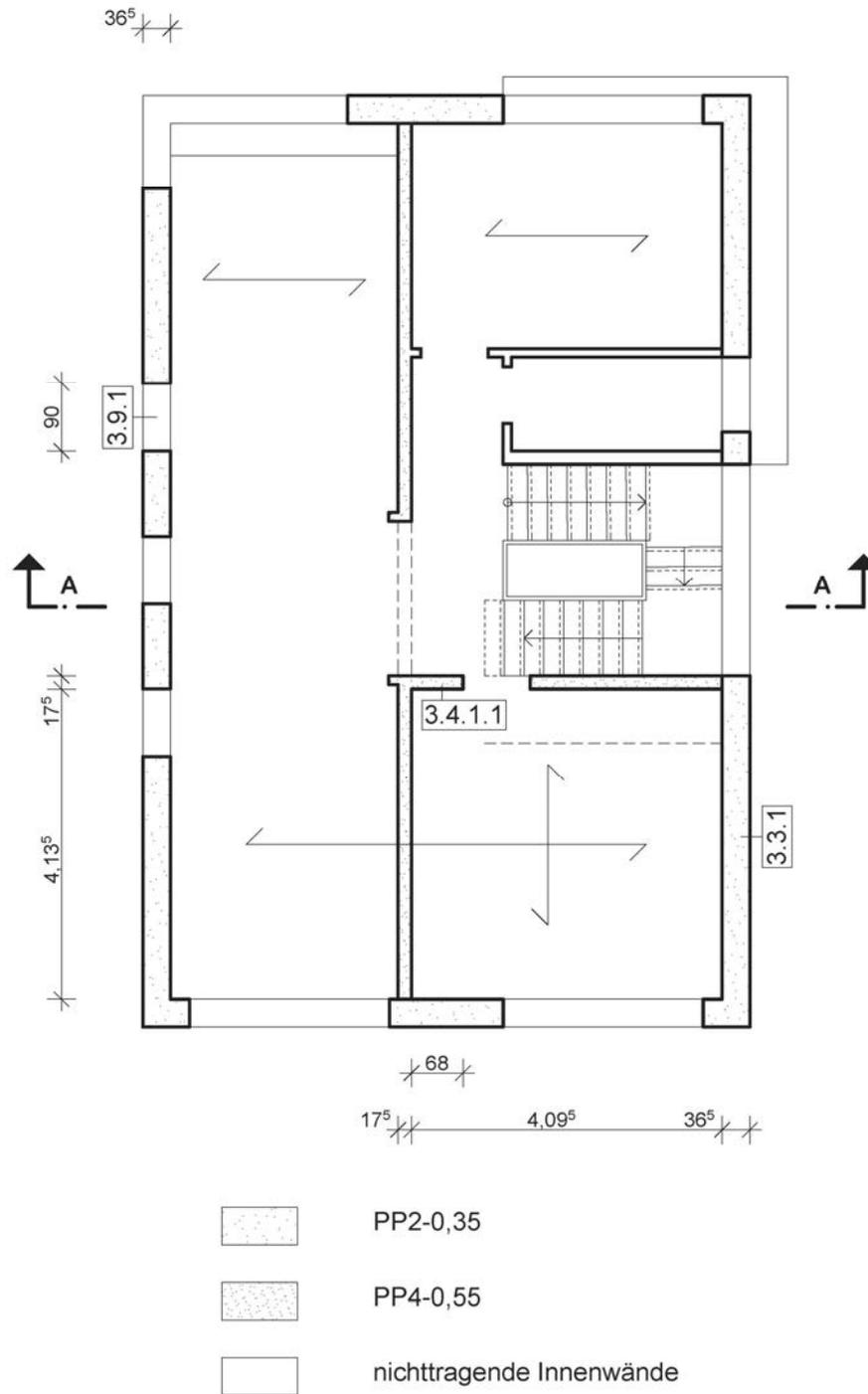


Bild 4 Einfamilienhaus in Berlin, Grundriss Obergeschoss

## 2 Beschreibung der Gebäude

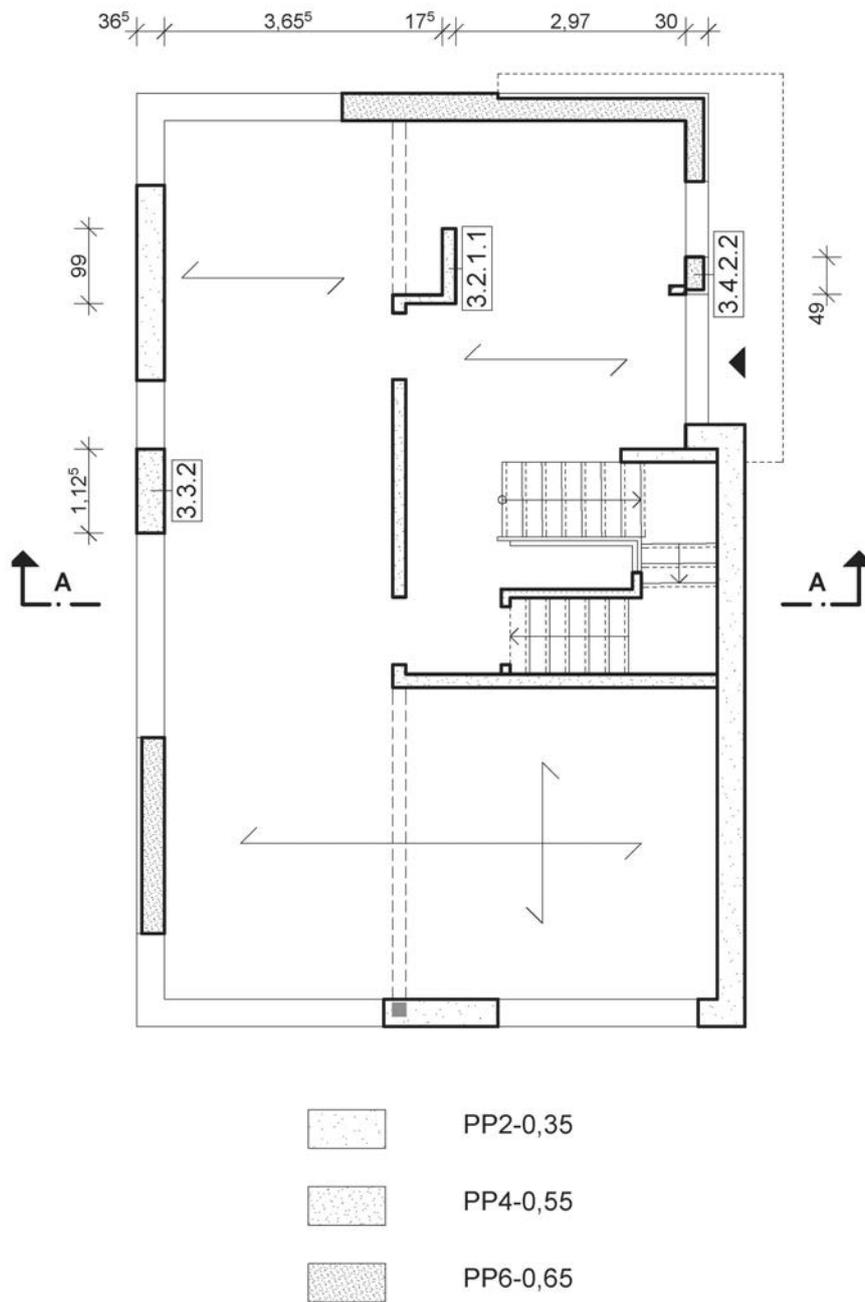


Bild 5 Einfamilienhaus in Berlin, Grundriss Erdgeschoss

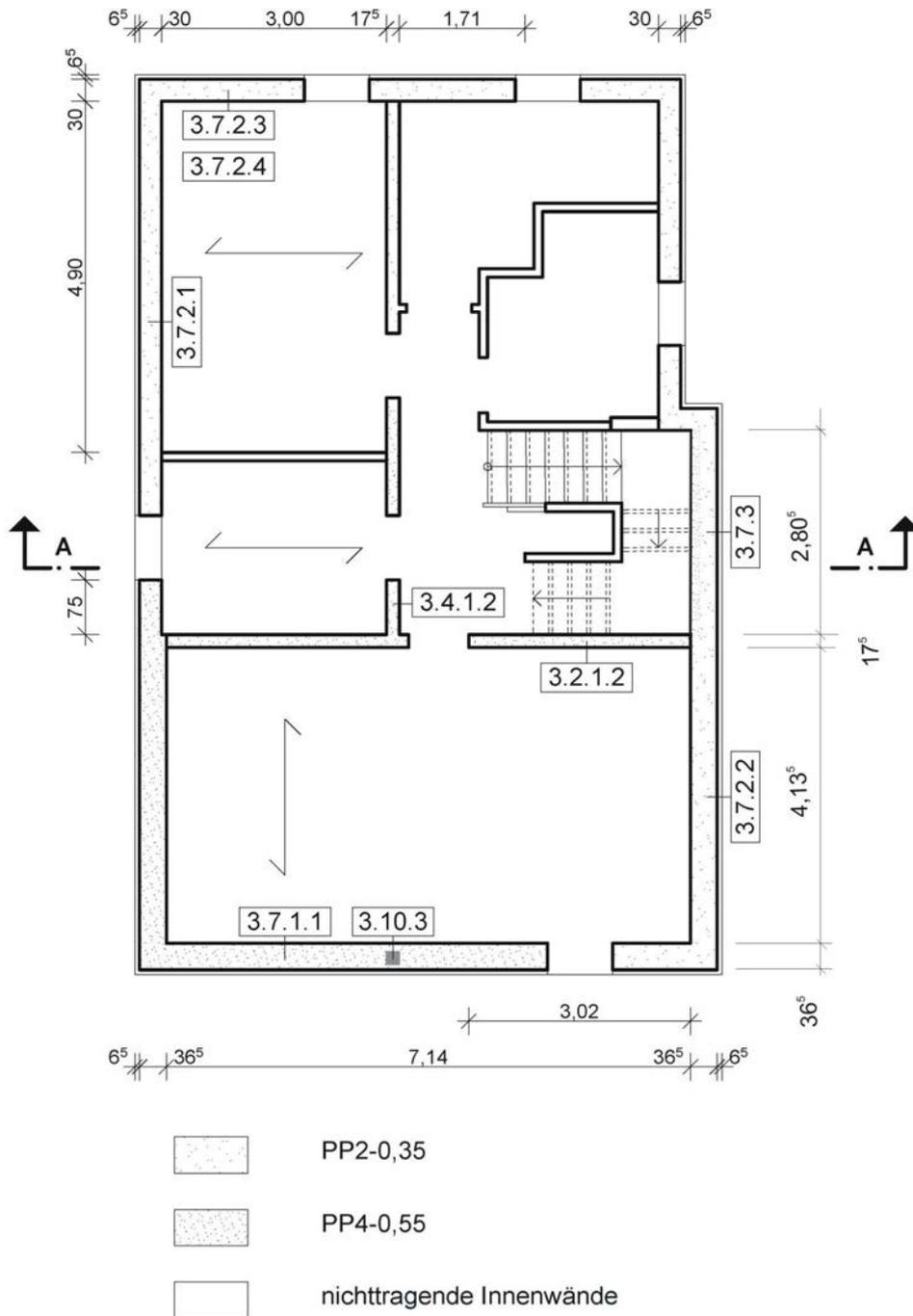


Bild 6 Einfamilienhaus in Berlin, Grundriss Kellergeschoss

## 2 Beschreibung der Gebäude

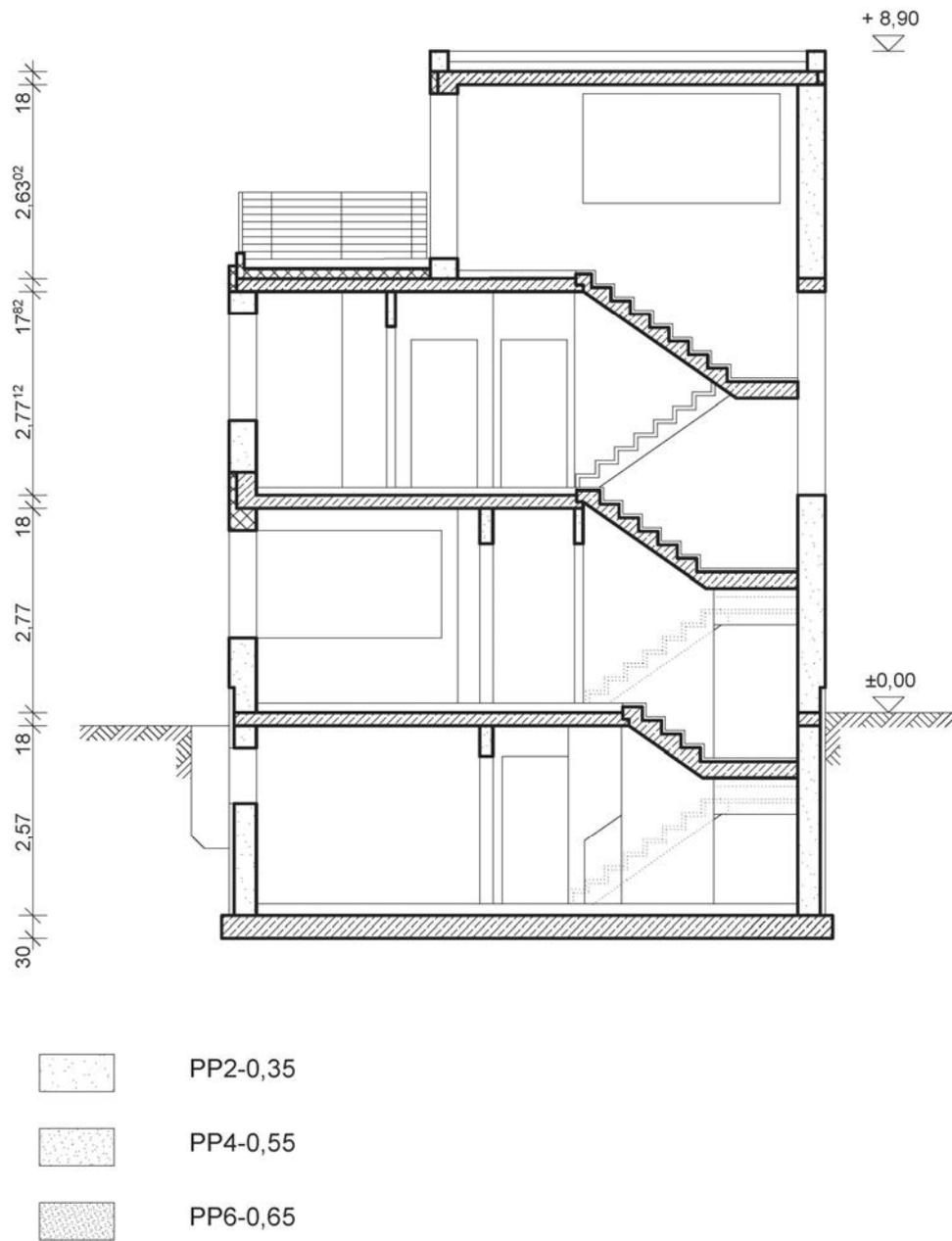


Bild 7 Einfamilienhaus in Berlin, Schnitt A – A

## 2.2 Doppelhaus in Hövelhof

Grundlage der Berechnung sind die in Bild 10 bis Bild 12 dargestellten Grundrisse sowie der in Bild 13 gezeigte Schnitt.

Das von dem Architekten Konrad Mathey aus Paderborn geplante Doppelhaus besteht aus einem Vollgeschoss, einem ausgebauten Dachgeschoss und einem Studio im Spitzboden. Die Gesamthöhe des Gebäudes liegt bei 8,88 m über OK Gelände. Die lichte Geschosshöhe beträgt 2,75 m im Erdgeschoss, 2,63 m im Dachgeschoss und 2,62 m im Studio. Die Stahlbetondecke über dem Erdgeschoss ist 220 mm dick. Die tragenden Wände haben eine Dicke von 115 mm, 150 mm und 365 mm. Die Außenwände wurden als einschaliges Mauerwerk ausgeführt.

Das Satteldach mit einer Dachneigung von 38° wurde als Pfettendach ausgebildet.

Gemäß den geltenden Normen werden den Nachweisen die Baustoffe entsprechend Tabelle 3 zugrunde gelegt.

Tabelle 3 Baustoffe für die Doppelhaushälfte in Hövelhof

Dachkonstruktion	Nadelholz Sortierklasse S10 bzw. C24
Decken, Stürze, Fundamente, Ringbalken bzw. -anker	Stahlbeton C20/25, Betonstahl B500A und B500M
Stützen	Profilstahl S235
Mauerwerk – tragende Wände	Porenbeton-Plansteine gemäß Tabelle 4
Mauerwerk – nichttragende Wände	Porenbeton-Plansteine PP4-0,5, d =115 mm (Wandflächengewicht inkl. Putz: 0,77 kN/m <sup>2</sup> )

## 2 Beschreibung der Gebäude

Tabelle 4 Eigenschaftswerte des tragenden Mauerwerks bei dem Doppelhaus in Hövelhof

	Erd- und Dachgeschoss			
	Innenwände	Haustrennwände	Innenwände (Treppenhaus)	Außenwände
Wanddicke [mm]	150	175	240	365
Mauersteine	Porenbeton-Plansteine	Porenbeton-Plansteine	Kalksandstein-Plansteine	Porenbeton-Plansteine
Festigkeitsklasse Bezeichnung	4 PP4	4 PP4	20 KS R(P) 20	2 PP2
Mörtelart	Dünnbettmörtel	Dünnbettmörtel	Dünnbettmörtel	Dünnbettmörtel
Stoßfugenvermörtelung	ohne	ohne	ohne	ohne
Steinrohddichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	0,55	0,6	2,0	0,35
Berechnungsgewicht [kN/m <sup>3</sup> ]	6,5	7,0	20,0	4,5
Wärmeleitfähigkeit <sup>1)</sup> [W/(m·K)]	0,14	0,18	1,10	0,08
Putzdicke [cm]	0,5 + 0,5	0 + 0,5	0,5 + 0,5	0,5 + 1,5
Putzrohddichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	0,8	0,8	0,8	0,8
Wandflächengewicht [kN/m <sup>2</sup> ]	1,06	1,27	4,88	1,80
<sup>1)</sup> Bezüglich aktueller, verbesserter Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit siehe Produktinformationen der Hersteller				



Bild 8 Doppelhaus in Hövelhof



Bild 9 Doppelhaus in Hövelhof

## 2 Beschreibung der Gebäude

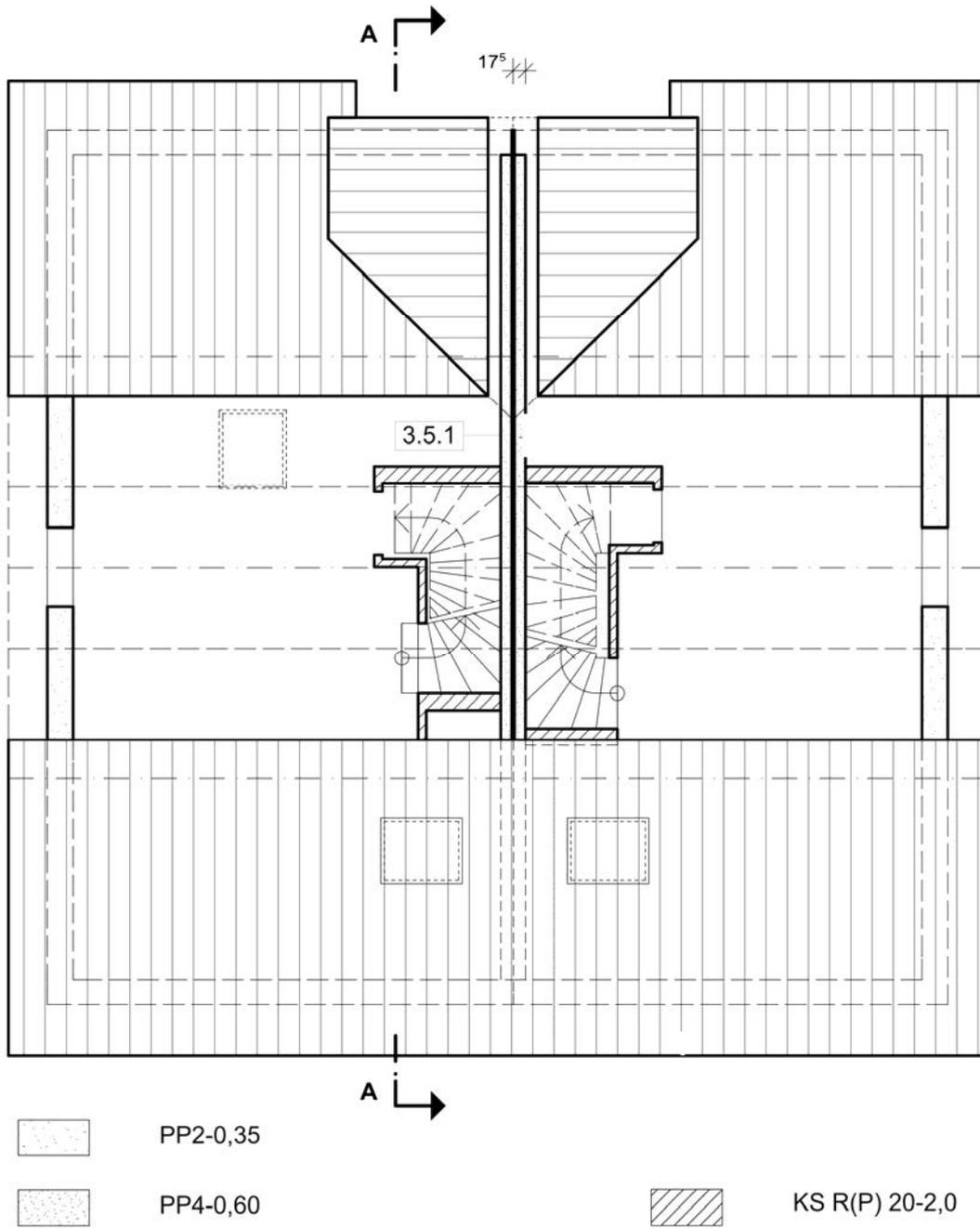


Bild 10 Doppelhaus in Hövelhof, Grundriss Studio

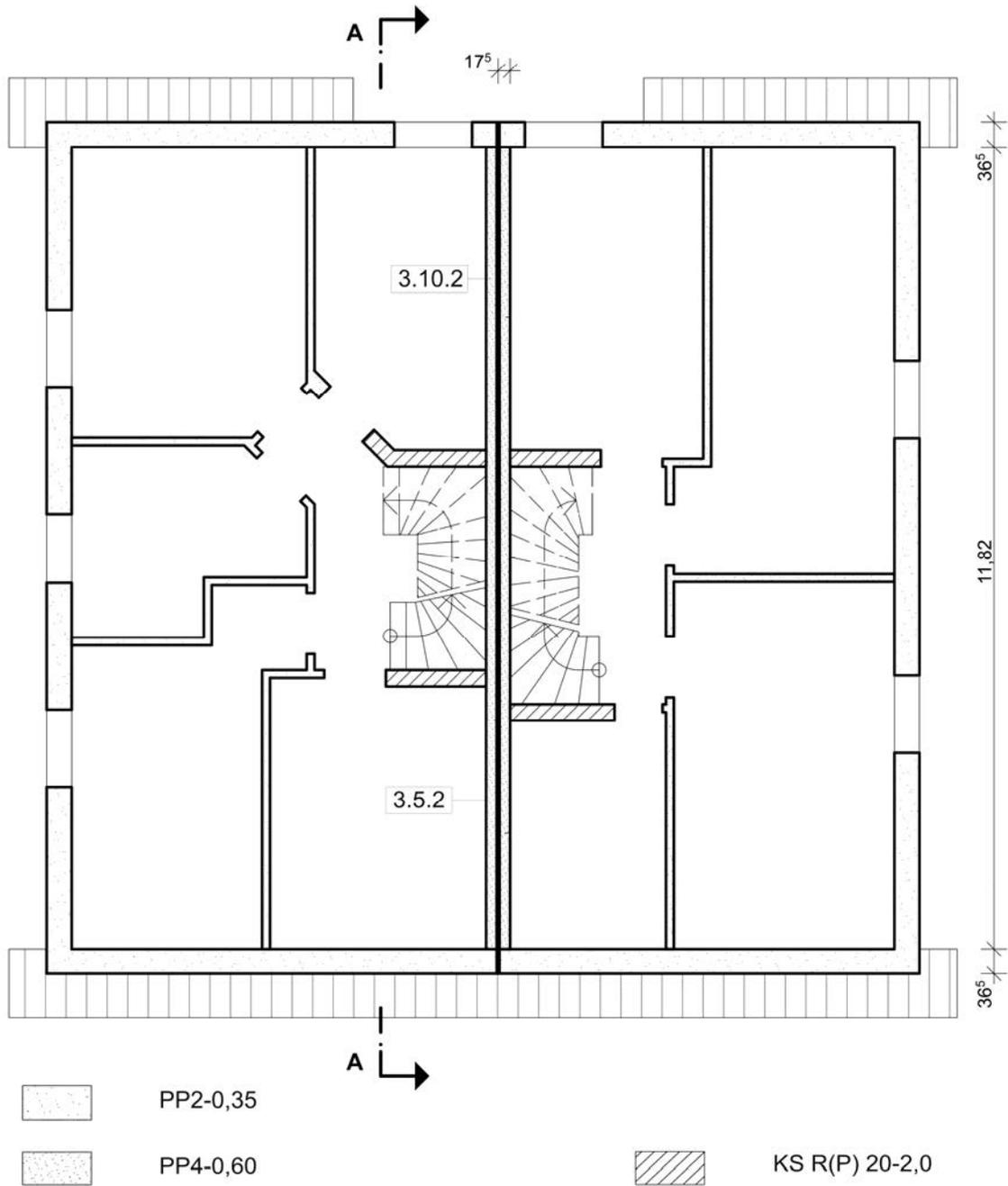


Bild 11 Doppelhaus in Hövelhof, Grundriss Dachgeschoss

## 2 Beschreibung der Gebäude

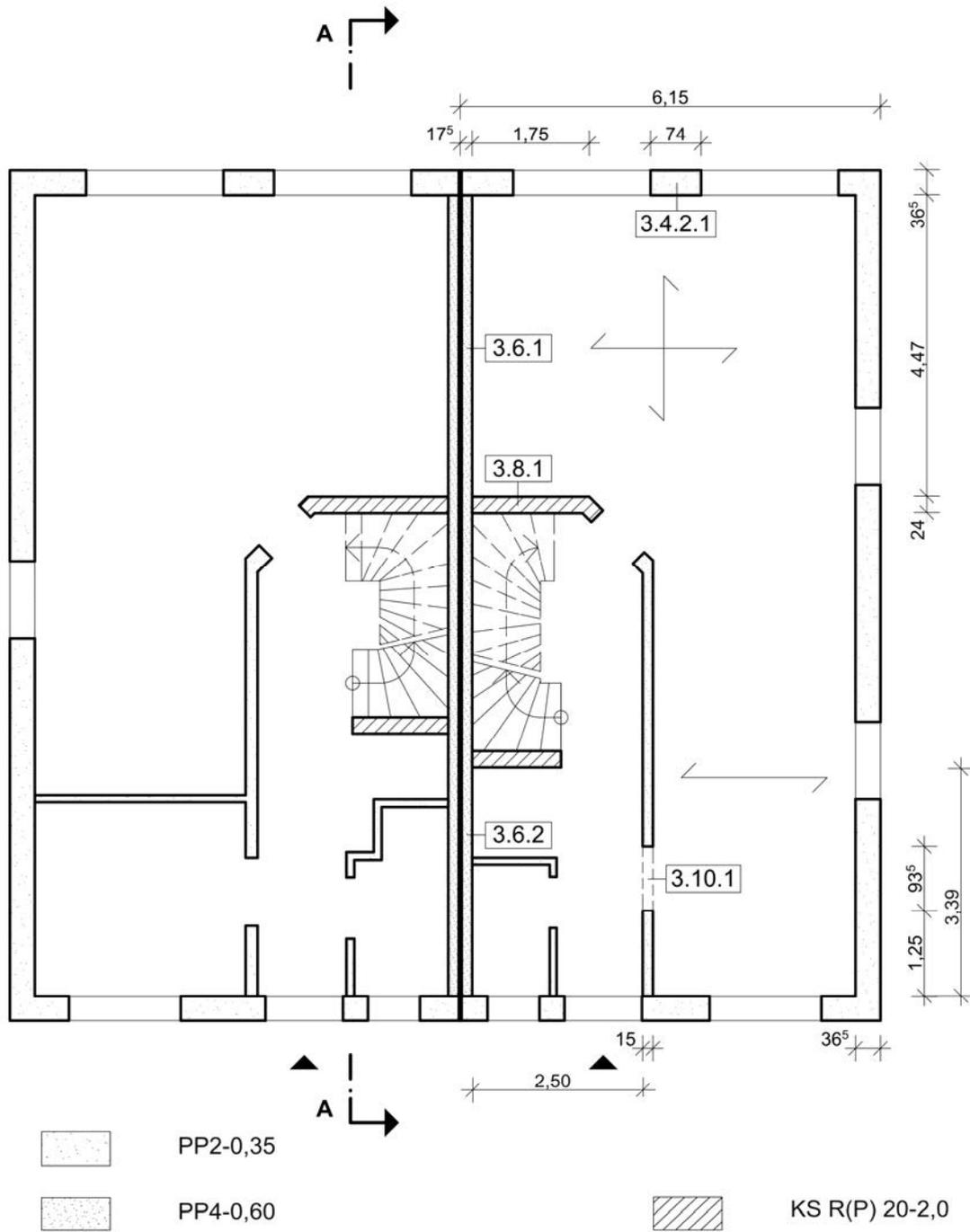


Bild 12 Doppelhaus in Hövelhof, Grundriss Erdgeschoss

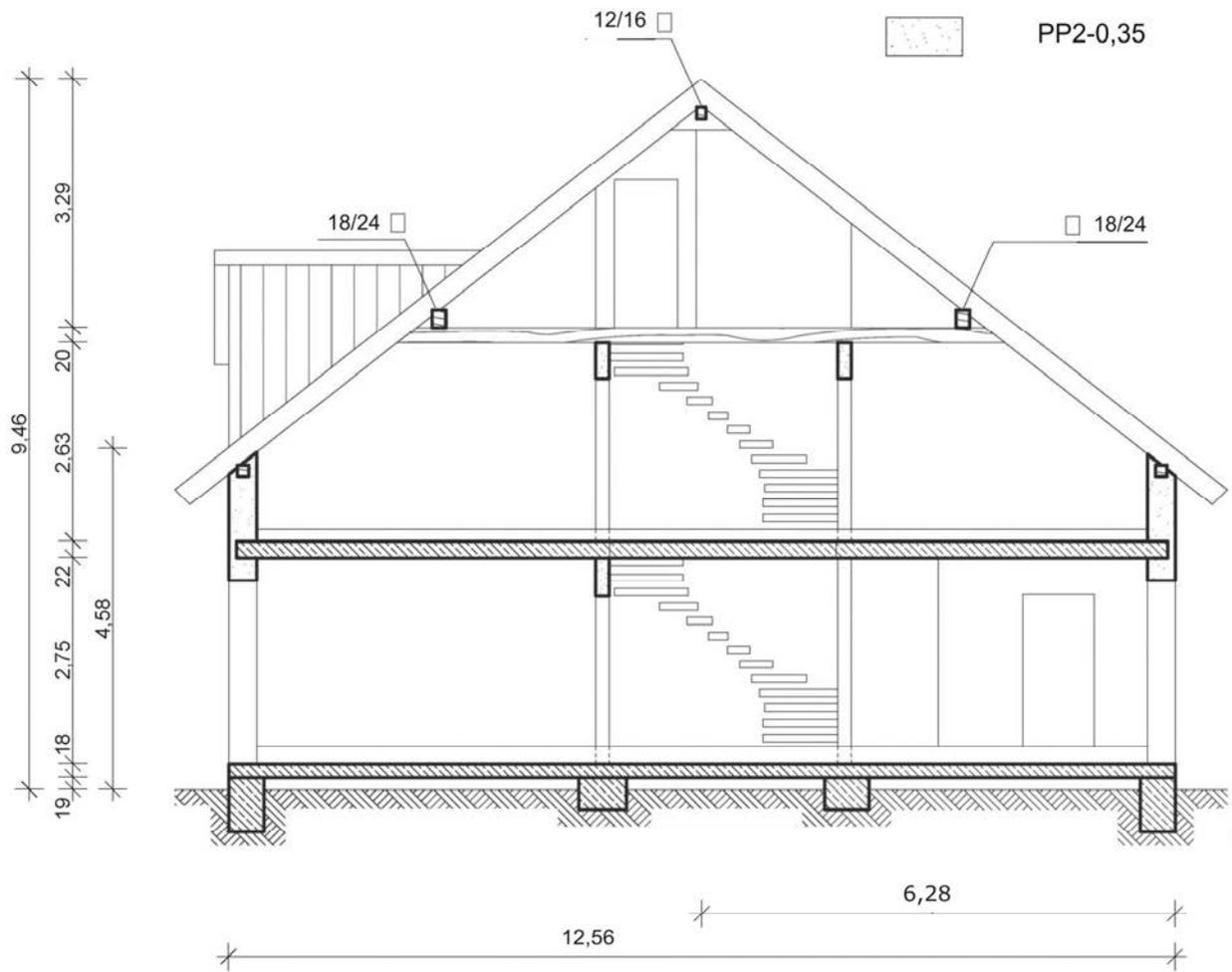


Bild 13 Doppelhaus in Hövelhof, Schnitt A - A

## 2 Beschreibung der Gebäude

### 2.3 Mehrfamilienhaus in Dresden

Grundlage der Berechnung sind die in Bild 16 bis Bild 19 dargestellten Grundrisse sowie der in Bild 20 gezeigt Schnitt.

Das Mehrfamilienhaus, das durch die TreuWoBau AG Dresden geplant wurde, besteht aus vier Vollgeschossen, einem Staffelgeschoss und einem Kellergeschoss mit integrierter Tiefgarage. Das Gebäude hat eine Gesamthöhe über OK Gelände von 16,45 m. Die lichte Geschosshöhe beträgt 2,875 m im Staffelgeschoss, 2,675 m im Erd- und in den Obergeschossen und 2,60 m im Kellergeschoss. Die Stahlbetondecken sind 200 mm, über dem 3. OG 300 mm dick.

Gemäß den geltenden Normen werden den Nachweisen die Baustoffe nach Tabelle 5 zugrunde gelegt.

Tabelle 5 Baustoffe für das Mehrfamilienhaus in Dresden

Dachkonstruktion	Nadelholz Sortierklasse S10 bzw. C24
Decken, Stürze, Fundamente, Ringbalken bzw. -anker, Wände im KG	Stahlbeton C25/30, Betonstahl B500A und B500M
Stützen	Stahlbeton C25/30, Betonstahl B500A
Mauerwerk – tragende Wände	Porenbeton und Kalksandstein Plansteine gemäß Tabelle 6
Mauerwerk – nichttragende Wände	Kalksandstein Plansteine

Tabelle 6 Eigenschaftswerte des tragenden Mauerwerks beim Mehrfamilienhaus in Dresden

	Staffel-, 2. und 3.Obergeschoss		1.Ober- und Erdgeschoss	
	Innenwände	Außenwände	Innenwände	Außenwände
Wanddicke [mm]	150	365	240	365
Mauersteine	Kalksandstein-Plansteine	Porenbeton-Plansteine	Kalksandstein-Plansteine	Porenbeton-Plansteine
Festigkeitsklasse Bezeichnung	12 KS R(P) 12	2 PP2	12 KS R(P) 12	4 PP4
Mörtelart	Dünnbettmörtel	Dünnbettmörtel	Dünnbettmörtel	Dünnbettmörtel
Stoßfugenvermörtelung	ohne	ohne	ohne	ohne
Steinrohddichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	2,0	0,35	2,0	0,55
Berechnungsgewicht [kN/m <sup>3</sup> ]	20,0	4,5	20,0	6,5
Wärmeleitfähigkeit <sup>1)</sup> [W/(m·K)]	1,10	0,08	1,10	0,14
Putzdicke [cm]	0,5 + 0,5	0,5 + 1,5	0,5 + 0,5	0,5 + 1,5
Putzrohddichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	0,8	0,8	0,8	0,8
Wandflächengewicht [kN/m <sup>2</sup> ]	3,08	1,80	4,88	2,53
<sup>1)</sup> Bezüglich aktueller, verbesserter Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit siehe Produktinformationen der Hersteller				

## 2 Beschreibung der Gebäude



Bild 14 Mehrfamilienhaus in Dresden



Bild 15 Mehrfamilienhaus in Dresden

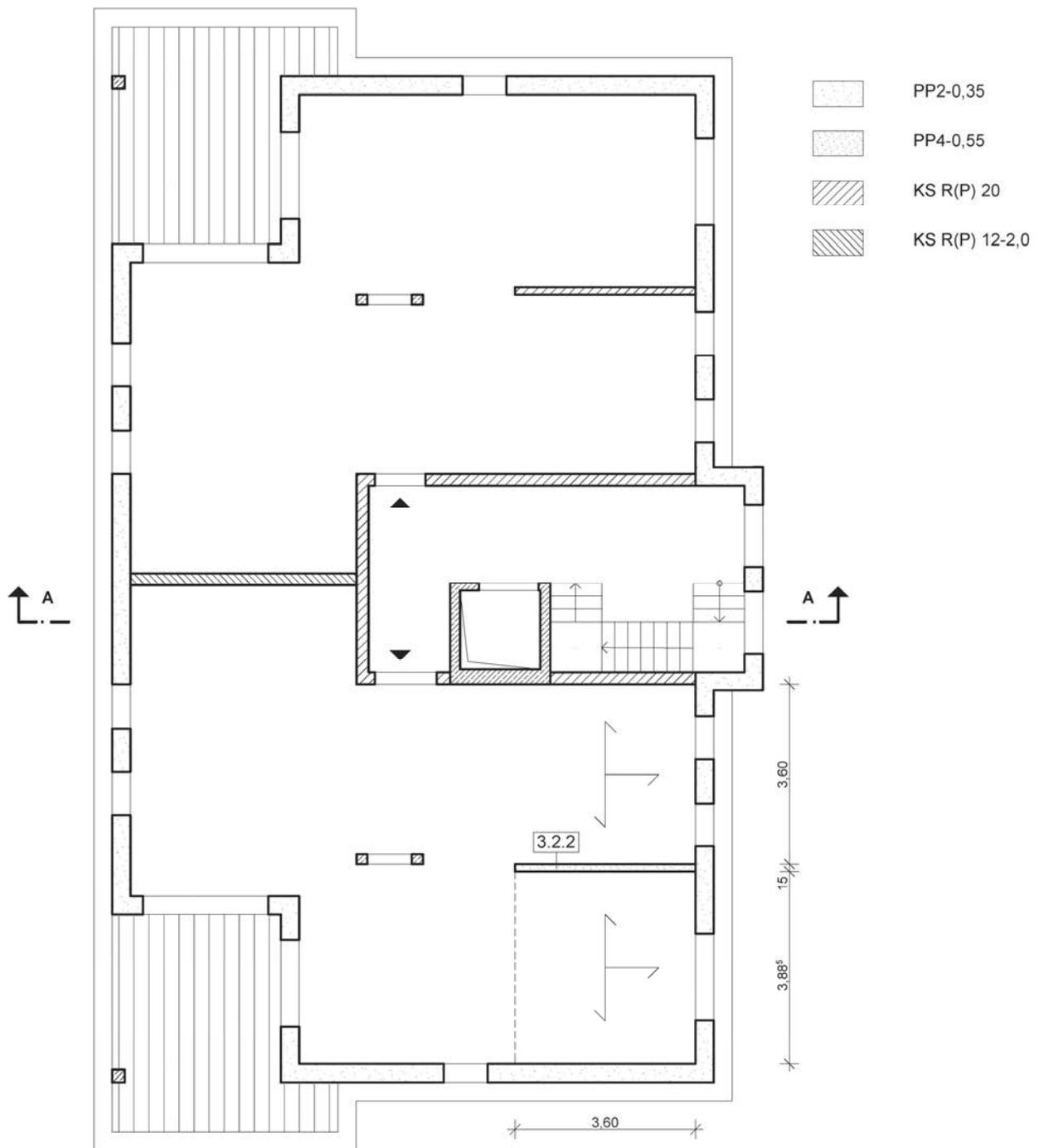


Bild 16 Mehrfamilienhaus in Dresden, Grundriss Staffelgeschoss

## 2 Beschreibung der Gebäude

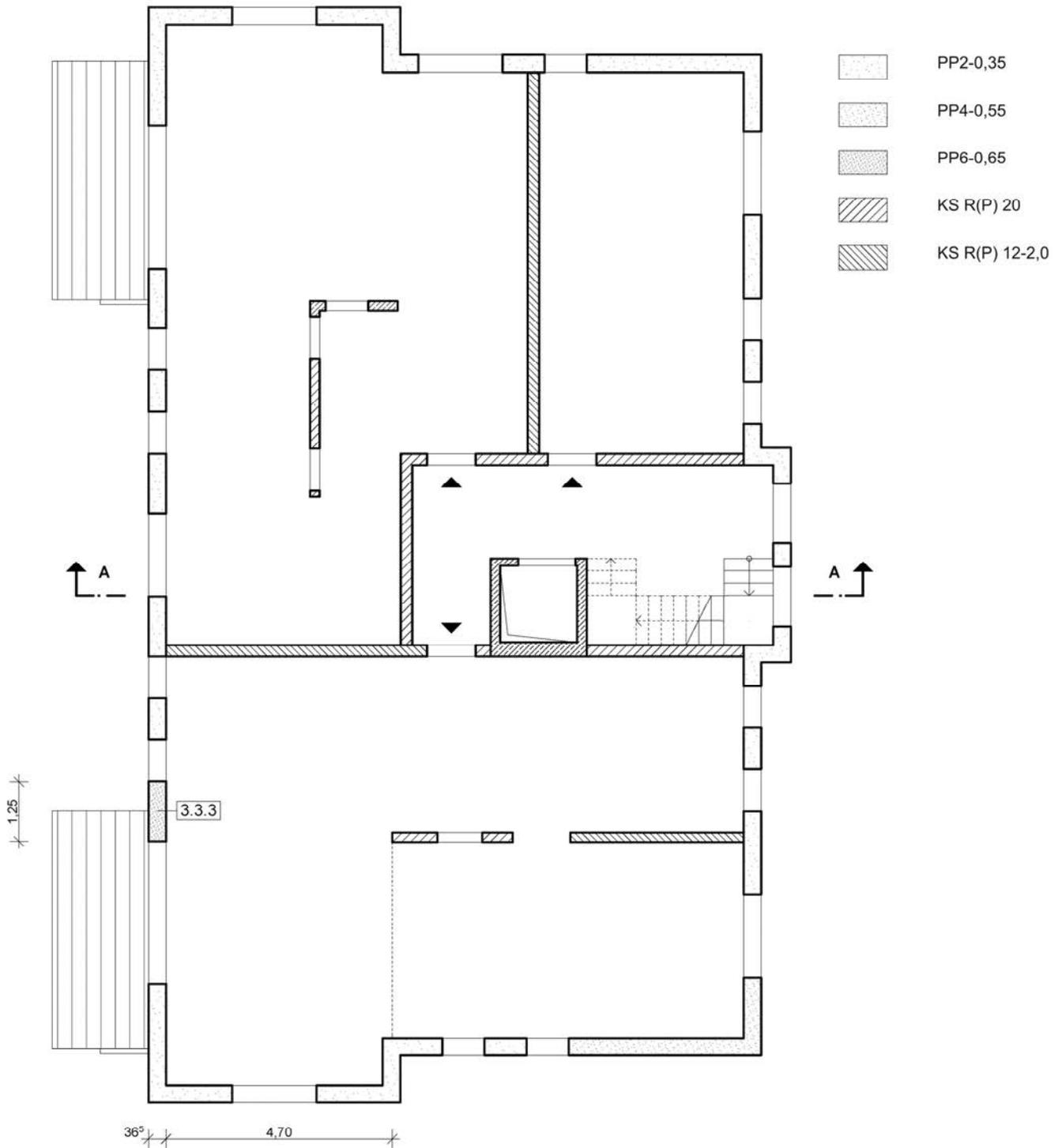


Bild 17 Mehrfamilienhaus in Dresden, Grundriss 1. – 3. Obergeschoss

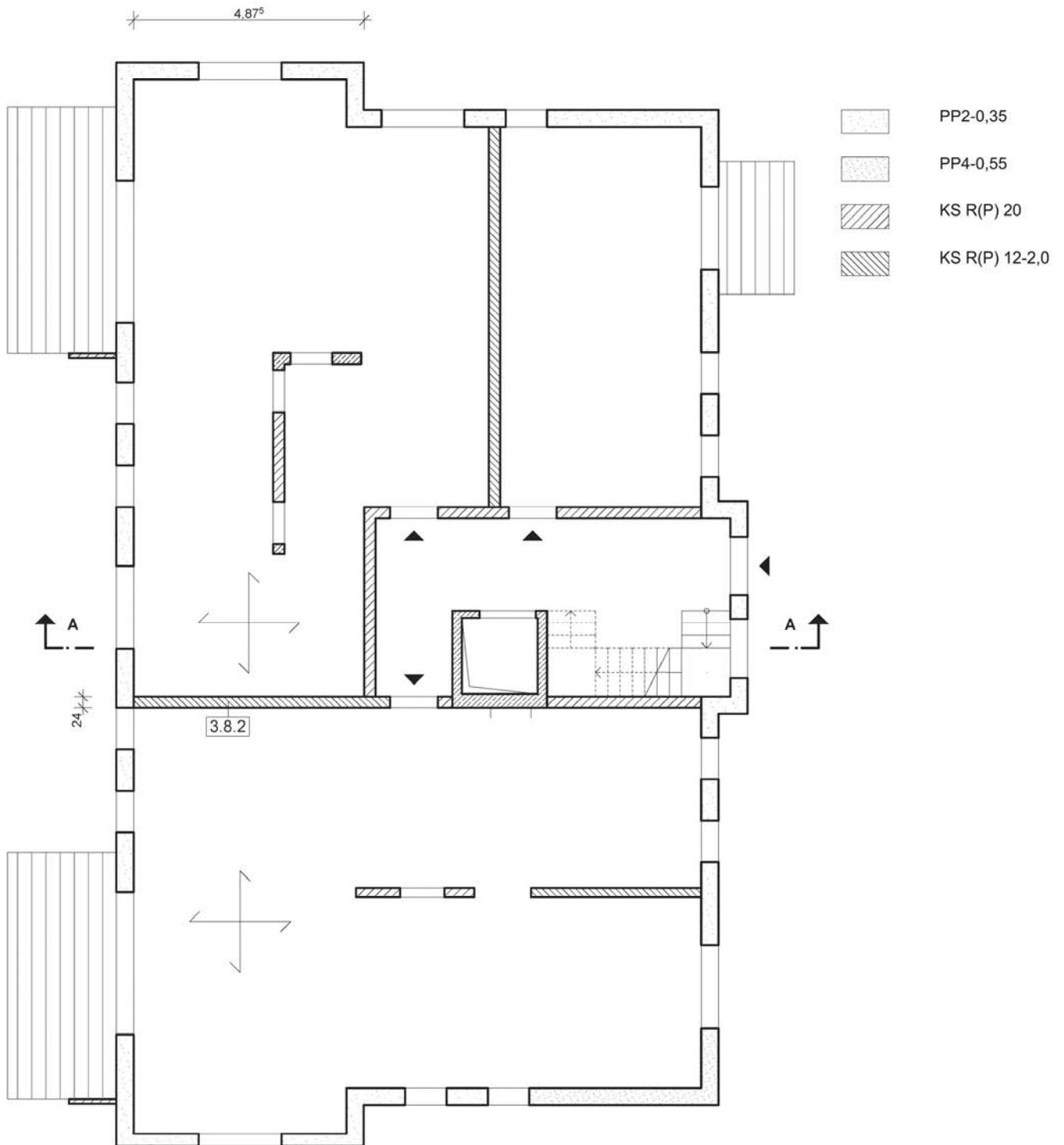


Bild 18 Mehrfamilienhaus in Dresden, Grundriss Erdgeschoss

## 2 Beschreibung der Gebäude

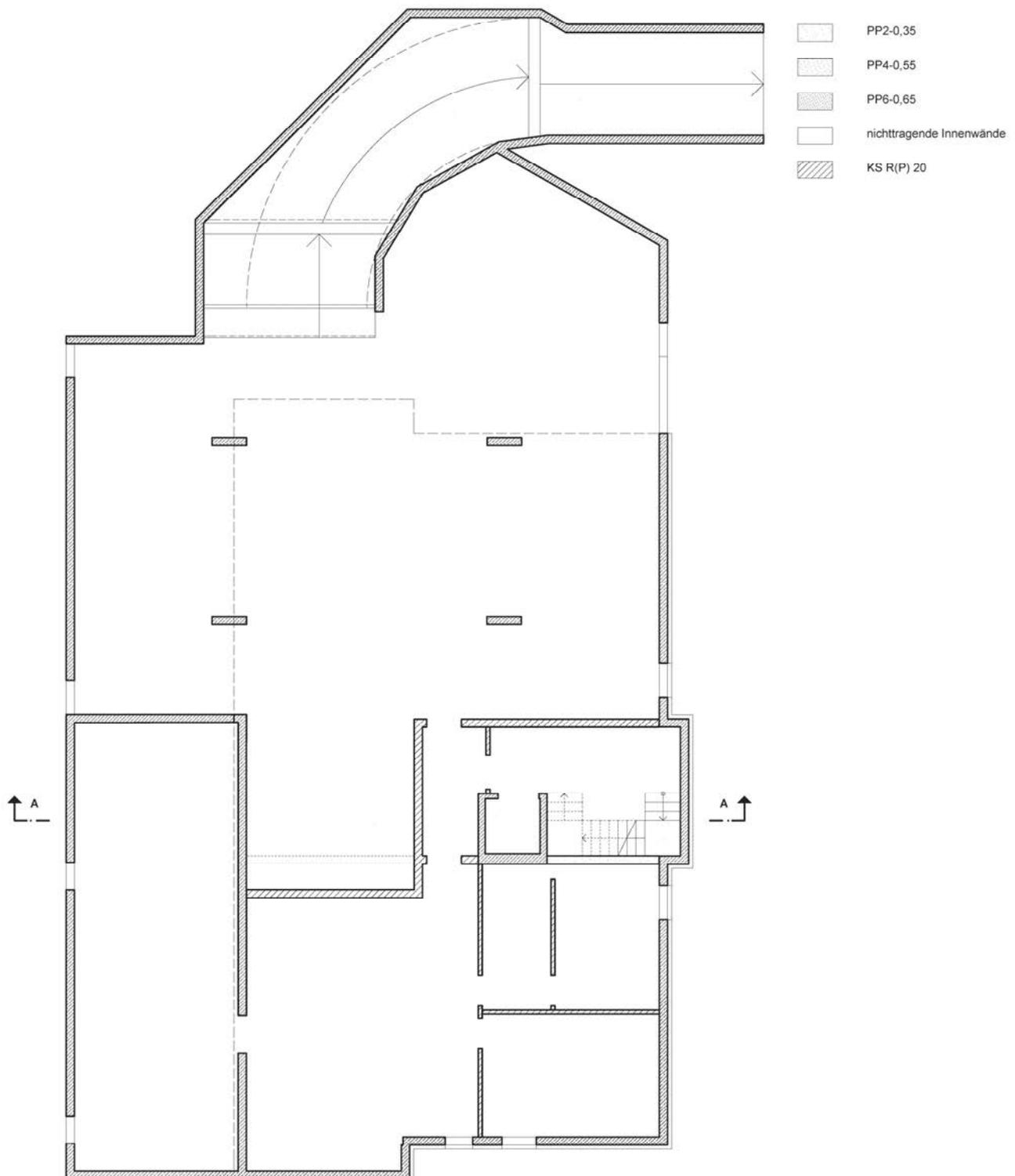
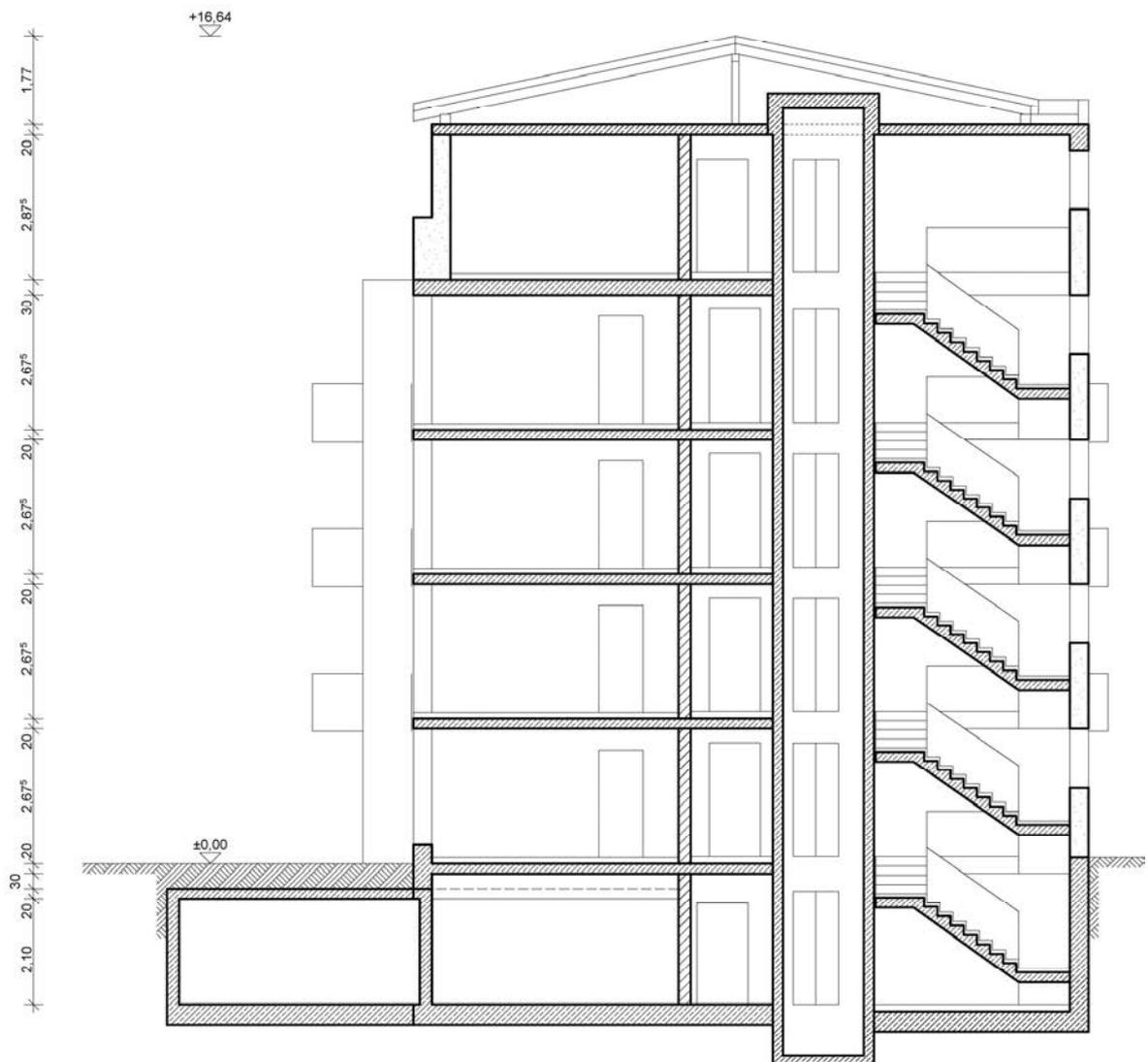


Bild 19 Mehrfamilienhaus in Dresden, Grundriss Kellergeschoss



	PP2-0,35		nichttragende Innenwände
	PP4-0,55		KS R(P) 20
	PP6-0,65		

Bild 20 Mehrfamilienhaus in Dresden, Schnitt A - A

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

#### 3.1 Allgemeines

Nachfolgend werden Musterberechnungen nach DIN EN 1996 mit dem zugehörigen nationalen Anhang (NA) für Einzelbauteile aus Porenbeton-Mauerwerk gezeigt. Die Beispiele wurden aus den nach älteren Normen berechneten und bereits vor einiger Zeit fertig gestellten Mauerwerksbauten

- Einfamilienhaus in Berlin
- Doppelhaushälfte in Hövelhof
- Mehrfamilienhaus in Dresden

hergeleitet und an die aktuellen Baustoff- und Lastnormen angepasst. Sie sind so ausgewählt, dass die wichtigsten und am häufigsten ausgeführten Wandkonstruktionen aus Porenbeton-Mauerwerk unter Berücksichtigung unterschiedlicher Belastungen behandelt werden. Zu den im Folgenden nachgewiesenen Einzelbauteilen (Wandkonstruktionen) gehören:

- Innenwände
- Außenwände
- Innenwandpfeiler
- Außenwandpfeiler
- zweischalige Giebelwände
- zweischalige Haustrennwände
- Kelleraußenwände
- Aussteifungswände
- Porenbeton-Flachsturz
- Wände mit einwirkenden Einzellasten

Grundlage der Standsicherheitsnachweise ist die Bemessung nach dem Teilsicherheitskonzept entsprechend DIN EN 1996 mit dem zugehörigen nationalen Anhang. Es werden alle nach dieser Norm erforderlichen Nachweise geführt, auch wenn das in der Praxis in einer solchen Ausführlichkeit nicht üblich ist. Je nach Erfordernis erfolgt die Berechnung nach den vereinfachten Berechnungsmethoden gemäß DIN EN 1996-3 [15] mit DIN EN 1996-3/NA [16] oder nach den genaueren Berechnungsmethoden gemäß DIN EN 1996-1-1 [9] mit DIN EN 1996-1-1/NA [10].

Die Berechnung ist übersichtlich aufgebaut und durch entsprechende Erläuterungen bzw. Querverweise einfach nachvollziehbar. Die bei den Nachweisen angesetzten Einwirkungen (Wandaufasten, Nutzlast auf der Decke etc.) sowie die Abmessungen wurden den statischen Berechnungen und Ausführungszeichnungen der einzelnen Gebäude entnommen, an die heute üblichen Lastannahmen angepasst und in Bemessungswerte nach dem Teilsicherheitskonzept umgerechnet. Zudem erfolgte der Nachweis der Standsicherheit einer Kelleraußenwand im Einfamilienhaus unter Be-

rücksichtigung unterschiedlicher Tragwerksmodelle. Zusätzlich zu den in den o. g. Gebäuden vorhandenen Wandkonstruktionen wurde die Beispielberechnung der unbelasteten Giebelwand aufgenommen, wobei der Lastermittlung sinnvolle Annahmen zugrunde liegen. Die beispielhaften Berechnungen für die Aussteifungswand im Doppelhaus und im Mehrfamilienhaus erfolgten jeweils mit Kalksandstein.

Weiterhin erfolgte zusätzlich die beispielhafte Bemessung einer zweischaligen Außenwandkonstruktion mit einer 17,5 cm dicken Tragschale anhand eines Wandpfeilers im Mehrfamilienhaus.

Nachfolgend ist in Tabelle 7, Tabelle 8 und Tabelle 9 zunächst eine Übersicht für jedes Gebäude mit den anschließend nach [9] und [10] bzw. [15] und [16] nachgewiesenen Einzelbauteilen zusammengestellt.

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Tabelle 7 Nachgewiesene Einzelbauteile / Einfamilienhaus Berlin

Beispiel	Bauteil	Geschoss	Belastung / Lastabtrag	Nachweis	Seite
3.2.1.1	Innenwand	Erdgeschoss	hohe Auflast / Spannrichtung der Decken rechtwinklig zur Wand	[15] – 4.2	34
3.2.1.2	Innenwand	Kellergeschoss	hohe Auflast / Spannrichtung der Decken senkrecht und parallel zur Wand	[15] – 4.2	37
3.3.1	Außenwand	Obergeschoss	geringe Auflast / Spannrichtung der Decken senkrecht und parallel zur Wand	[15] – 4.2	44
3.3.2	Außenwand	Erdgeschoss	hohe Auflast / Spannrichtung der Decken senkrecht zur Wand	[9] – 6.1.2	47
3.4.1.1	Innenwandpfeiler	Obergeschoss	geringe Auflast / Spannrichtung der Decken senkrecht und parallel zur Wand	[15] – 4.2	57
3.4.1.2	Innenwandpfeiler	Kellergeschoss	hohe Auflast	[15] – 4.2	60
3.4.2.2	Außenwandpfeiler	Erdgeschoss	hohe Auflast	[15] – 4.2	66
3.7.1.1	Kelleraußenwand	Kellergeschoss	hohe Auflast / geringe Erdanschüttung / Lastabtrag einachsig (vertikal)	[15] – 4.5	95
3.7.2.1	Kelleraußenwand	Kellergeschoss	geringe Auflast / hohe Erdanschüttung / Lastabtrag einachsig (vertikal)	[15] – 4.5	99
3.7.2.2	Kelleraußenwand	Kellergeschoss	geringe Auflast / hohe Erdanschüttung / Lastabtrag zweiachsig	[15] – 4.5	106
3.7.2.3	Kelleraußenwand	Kellergeschoss	geringe Auflast / hohe Erdanschüttung / Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel	[9] – 6.3.4 [7]	109
3.7.2.4	Kelleraußenwand	Kellergeschoss	geringe Auflast / hohe Erdanschüttung / Lastabtrag durch geschosshohe Aussteifungsbalken	[9] – 6.3.4 [7]	134
3.7.3	Kelleraußenwand	Kellergeschoss	mit erhöhtem Erddruck	[10] – NCI zu 6.3.4	151
3.9.1	Porenbeton-Flachsturz	Obergeschoss	Decke über OG	[25] [9] – 6.1.3	179
3.10.3	Wand unter Einzelast	Kellergeschoss	infolge Einzellast aus Stütze im Erdgeschoss	[9] – 6.1.3	192

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Tabelle 8 Nachgewiesene Einzelbauteile / Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel	Bauteil	Geschoss	Belastung / Lastabtrag	Nachweis	Seite
3.4.2.1	Außenwandpfeiler	Erdgeschoss	geringe Auflast	[15] – 4.2	63
3.5.1	Giebelwand (zweischalig)	Dachgeschoss (Studio)	vertikal unbelastet	[16] – NCI Anhang NA.C	70
3.5.2	Giebelwand (zweischalig)	Dachgeschoss	belastet	[15] – 4.2 [9] – 6.1.2 [16] – NCI Anhang NA.C	74
3.6.1	Haustrennwand (zweischalig)	Erdgeschoss	ohne aussteifende Querwände	[15] – 4.2	89
3.6.2	Haustrennwand (zweischalig)	Erdgeschoss	mit aussteifenden Querwänden	[15] – 4.2	92
3.8.1	Aussteifungswand	Erdgeschoss	horizontal belastet durch Wind	[9] – 6.1.2 [9] – 6.2	156
3.10.1	Wand unter Einzelast	Erdgeschoss	Infolge Einzellast aus Sturz	[9] – 6.1.3	185
3.10.2	Wand unter Einzelast	Dachgeschoss	infolge Einzellast aus Pfette	[9] – 6.1.3	188

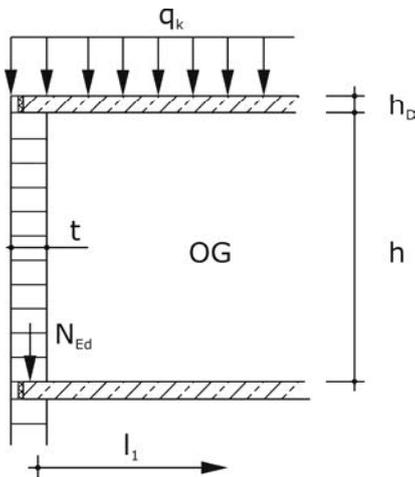
Tabelle 9 Nachgewiesene Einzelbauteile / Mehrfamilienhaus in Dresden

Beispiel	Bauteil	Geschoss	Belastung / Lastabtrag	Nachweis	Seite
3.2.2	Innenwand	Staffelgeschoss	geringe Auflast	[15] – 4.2	41
3.3.3	Außenwand (zweischalig)	1.Obergeschoss	hohe Auflast	[15] – 4.2	54
3.8.2	Aussteifungswand	Erdgeschoss	horizontal belastet durch Wind	[9] – 6.1.2 [9] – 6.2	167

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

**Beispiel 3.2 Beispiel Innenwände**  
**3.2.1 mit hoher Auflast**  
**3.2.1.1 Spannrichtung der Decken rechtwinklig zur Wand**



Vereinfachtes Verfahren nach DIN EN 1996-3:2010-12 [15] und  
DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16]

#### **Gegeben:**

Innenwand im Erdgeschoss

- Baustoffe  
Porenbeton-Plansteine PP4-0,55  
Dünnbettmörtel
- Abmessungen  
Wanddicke  $t = 0,175 \text{ m}$   
Wandhöhe  $h = 2,77 \text{ m}$   
Wandlänge  $l = 0,99 \text{ m}$   
Deckenstützweite  $l_1 = 3,86 \text{ m}$   
 $l_2 = 3,15 \text{ m}$   
Deckendicke  $h_D = 0,18 \text{ m}$
- Belastung  
Nutzlast Decke  $q_k = 2,25 \text{ kN/m}^2$   
Normalkraft Wandfuß  $N_{Ed} = 209,1 \text{ kN} (= 211,2 \text{ kN/m})$

#### **Gesucht:**

Standsicherheitsnachweise

- Überprüfen der Voraussetzungen
- Schlankheit
- Abminderungsbeiwert
- Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

#### **Berechnungsgang:**

##### **a) Überprüfen der Voraussetzungen**

- Gebäudehöhe über Gelände

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.1.1

**Beispiel 3.2 Beispiel Innenwände**  
**3.2.1 mit hoher Auflast**  
**3.2.1.1 Spannrichtung der Decken rechtwinklig zur Wand**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

$H = 8,90 \text{ m} < 20,00 \text{ m}$  zulässig

- Stützweite der aufliegenden Decken (Bild 5)

$$l_1 = 0,18 / 2 + 3,685 + 0,175 / 2 = 3,86 \text{ m} < 6,00 \text{ m} \Rightarrow \text{zulässig}$$

$$l_2 = 0,175 / 2 + 2,97 + 0,18 / 2 = 3,15 \text{ m} < 6,00 \text{ m} \Rightarrow \text{zulässig}$$

Innenwand  $115 \text{ mm} \leq t = 175 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \Rightarrow \text{zulässig}$

- lichte Wandhöhe

$$h = 2,77 \text{ m} \approx 2,75 \text{ m} \Rightarrow \text{zulässig}$$

- Nutzlast

$$q_k = 2,25 \text{ kN/m}^2 < 5 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \text{zulässig}$$

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
5.3.2.2

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tabelle NA.2, Zeile 1

Die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens sind damit eingehalten.

#### b) Schlankheit

$$b' = b = l - 0,115 / 2 = 0,93 \text{ m} < 15 \cdot 0,175 = 2,625 \text{ m}$$

=> Die Wand kann als dreiseitig gehalten betrachtet werden.

Deckenauflagerung

$$a = t = 175 \text{ mm} = 175 \text{ mm} \text{ zulässig}$$

=> Abminderungsfaktor der Knicklänge  $\rho_2 = 0,75$

Knicklänge

$$h_{\text{ef}} = \frac{1}{1 + \left( \alpha_3 \frac{\rho_2 \cdot h}{3b'} \right)^2} \cdot \rho_2 \cdot h \geq 0,3 \cdot h$$

mit  $\alpha_3 = 1,0$  (planmäßiges Überbindemaß  $\geq 0,4$ ) folgt

$$h_{\text{ef}} = \frac{1}{1 + \left( \frac{0,75 \cdot 2,77}{3 \cdot 0,93} \right)^2} \cdot 0,75 \cdot 2,77 = 1,34 \text{ m} > 0,3 \cdot 2,77 = 0,83 \text{ m}$$

Schlankheit

$$h_{\text{ef}} / t_{\text{ef}} = h_{\text{ef}} / t = 1,34 / 0,175 = 7,64 < 27 \text{ zulässig}$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.4, (NA.7), (NA.8) u.  
(NA.9)

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Gl. (NA.6) sowie (NA.5)

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.2 Beispiel Innenwände  
3.2.1 mit hoher Auflast  
3.2.1.1 Spannrichtung der Decken rechtwinklig  
zur Wand

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.5

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.3, Gln. (NA.1) bis  
(NA.4)

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.2

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.2, (NA.3)

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.1, Zeile A

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.2, (NA.2)

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.D.9

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.2, Gl. (4.4)

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.1, Gl. (4.3)

#### c) Abminderungsbeiwert

$\Phi_1$  nicht maßgebend (Zwischenaufleger der Decke)

$$\Phi_2 = 0,85 - 0,0011 \cdot 7,64^2 = 0,78$$

$$\Rightarrow \Phi = 0,78$$

#### d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand

$$A = 0,175 \cdot 0,99 = 0,173 \text{ m}^2$$

Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung „kurzer Wände“ = 1,0  
(Wand mit  $A > 0,1 \text{ m}^2$ )

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = 3,0 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 3,0 / 1,5 = 1,7 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft

$$N_{Rd} = 0,78 \cdot 1,7 \cdot 10^3 \cdot 0,173 = 229,4 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\underline{N_{Ed} = 209,1 \text{ kN} < N_{Rd} = 229,4 \text{ kN}}$$

**Beispiel 3.2 Beispiel Innenwände**  
**3.2.1 mit hoher Auflast**  
**3.2.1.2 Spannrichtung der Decken senkrecht und parallel zur Wand**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**In Berlin**

Vereinfachtes Verfahren nach DIN EN 1996-3:2010-12 [15] und DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16]

**Gegeben:**

Innenwand im Kellergeschoss

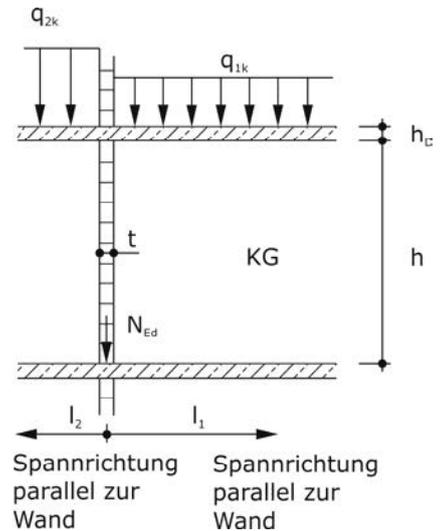
- Baustoffe
  - Porenbeton-Plansteine PP4-0,55
  - Dünnbettmörtel
- Abmessungen
 

Wanddicke	$t =$	0,175 m
Wandhöhe	$h =$	2,57 m
Wandlänge	$l =$	3,02 m
Deckenstützweite	$l_1 =$	4,31 m
	$l_2 =$	4,21 m

(parallel zur Wand; Treppenauge/Podest)
- Deckendicke
 

$h_D =$	0,18 m
---------	--------
- Belastung
 

Nutzlast Decke	$q_k =$	2,25 kN/m <sup>2</sup>
Normalkraft Wandfuß		
Bereich Treppenauge	$N_{Ed} =$	349,4 kN (= 115,7 kN/m)
Bereich neben Tür	$N_{Ed} =$	149,23 kN auf 1-m-Streifen



Es wurde ein angemessener Streifen der parallel zur Wand verlaufenden Decke (Podest und Treppenlauf) berücksichtigt.

**Gesucht:**

Standsicherheitsnachweise

- a) Überprüfen der Voraussetzungen
- b) Schlankheit
- c) Abminderungsbeiwert
- d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.2 Beispiel Innenwände  
3.2.1 mit hoher Auflast  
3.2.1.2 Spannrichtung der Decken senkrecht  
und parallel zur Wand

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.1.1

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
5.3.2.2

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tabelle NA.2, Zeile 1

#### **Berechnungsgang:**

##### **a) Überprüfen der Voraussetzungen**

- Gebäudehöhe über Gelände  
 $H = 8,90 \text{ m} < 20,00 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Stützweite der aufliegenden Decken (Bild 6)  
 $l_1 = 0,175 / 2 + 4,135 + 0,18 / 2 = 4,31 \text{ m} < 6,00 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig  
 $l_2 \Rightarrow$  kein Kriterium (Spannrichtung parallel zur Wand)
- Innenwand  
 $115 \text{ mm} \leq t = 175 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \Rightarrow$  zulässig
- lichte Wandhöhe  
 $h = 2,57 \text{ m} < 2,75 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Nutzlast  
 $q_k = 2,25 \text{ kN/m}^2 < 5 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow$  zulässig

Die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens sind damit eingehalten.

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.4, (NA.7), (NA.8) u.  
(NA.9)

##### **b) Schlankheit**

$b' = b = l = 3,02 > 15 \cdot 0,175 = 2,625 \text{ m}$   
 $\Rightarrow$  Die Wand muss als zweiseitig gehalten betrachtet werden.

Deckenauflagerung

$a = t = 175 \text{ mm} = 175 \text{ mm}$  zulässig

$\Rightarrow$  Abminderungsfaktor der Knicklänge  $\rho_2 = 0,75$

Knicklänge

$h_{ef} = 0,75 \cdot 2,57 = 1,93 \text{ m}$

Schlankheit

$h_{ef} / t_{ef} = h_{ef} / t = 1,93 / 0,175 = 11,03 < 27 \Rightarrow$  zulässig

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Gl. (NA.5)

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.5

Beispiel 3.2 Beispiel Innenwände  
 3.2.1 mit hoher Auflast  
 3.2.1.2 Spannrichtung der Decken senkrecht  
 und parallel zur Wand

Projekt:  
 Einfamilienhaus  
 in Berlin

#### c) Abminderungsbeiwert

Die Innenwand wirkt im Bereich des Treppenauges als Endauflager.

$$\Phi_1 = 1,6 - 4,31 / 6 = 0,88 \leq 0,9 \cdot 1$$

$$\Phi_2 = 0,85 - 0,0011 \cdot 11,03^2 = 0,72$$

$$\Rightarrow \Phi = 0,72$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
 NCI zu 4.2.2.3, Gl. (NA.1) bis  
 (NA.4)

#### d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

- Wandbereich im Treppenauge - Endauflager

Belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand

$$A = 0,175 \cdot 3,02 = 0,528 \text{ m}^2$$

Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung „kurzer Wände“ = 1,0

(Wand mit  $A > 0,1 \text{ m}^2$ )

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = 3,0 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 3,0 / 1,5 = 1,7 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft wird für den Bereich  
 des Treppenauges mit einer Wandlänge von  $l_{TA} = 2,18 \text{ m}$  bestimmt

$$N_{Rd} = 0,72 \cdot 1,7 \cdot 10^3 \cdot 0,175 \cdot 2,18 = 466,96 \text{ kN}$$

Einwirkende Normalkraft

$$N_{Ed} = 115,7 \cdot 2,18 = 252,23 \text{ kN}$$

Nachweis

$$N_{Ed} = 252,23 \text{ kN} < N_{Rd} = 466,96 \text{ kN}$$

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
 4.2.2.2

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
 NCI zu 4.2.2.2, (NA.3)

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
 NCI zu 4.2.2.2, (NA.2)

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
 NCI zu 4.2.2.2, (NA.2)

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
 Tab. NA.D.9

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
 2.4.1 (1) sowie DIN EN 1996-1-  
 1/NA:2012-05 [10] – NCI zu  
 6.1.2.1, (NA.8)

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
 4.2.2.2, Gl. (4.4)

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
 4.2.2.1, Gl. (4.3)

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.2 Beispiel Innenwände  
3.2.1 mit hoher Auflast  
3.2.1.2 Spannrichtung der Decken senkrecht  
und parallel zur Wand

Der Wandstreifen neben der Türöffnung im Keller erhält eine größere Belastung als der Bereich im Treppenauge. Da hier das Knicken maßgebend ist, muss dieser ebenfalls nachgewiesen werden.

- Nachweis eines m-Streifens neben der Türöffnung im Keller

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft wird für den m-Streifen neben der Tür zum Kellerraum bestimmt

$$N_{Rd} = 0,72 \cdot 1,7 \cdot 10^3 \cdot 0,175 \cdot 1,00 = 214,20 \text{ kN}$$

Einwirkende Normalkraft

$$N_{Ed} = 149,23 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\underline{N_{Ed} = 149,23 \text{ kN} < N_{Rd} = 214,20 \text{ kN}}$$

**Beispiel 3.2 Beispiel Innenwände**  
**3.2.2 mit geringer Auflast**

**Projekt:**  
**Mehrfamilienhaus**  
**in Dresden**

Vereinfachtes Verfahren nach DIN EN 1996-3:2010-12 [15] und  
 DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16]

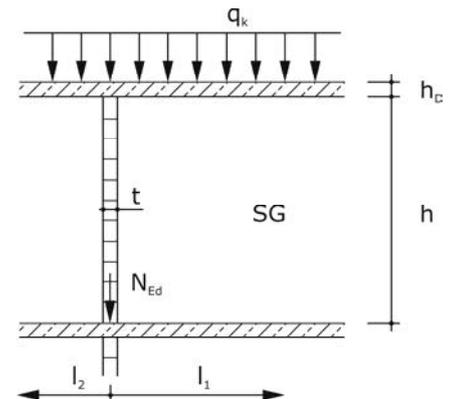
**Gegeben:**

Innenwand im Staffelgeschoss

- Baustoffe
  - Porenbeton-Plansteine PP4-0,55
  - Dünnbettmörtel
- Abmessungen
 

Wanddicke	$t = 0,15 \text{ m}$
Wandhöhe	$h = 2,875 \text{ m}$
Wandlänge	$l = 3,50 \text{ m}$
Deckenstützweite	$l_1 = 3,81 \text{ m}$
	$l_2 = 4,08 \text{ m}$
Deckendicke	$h_D = 0,20 \text{ m}$
- Belastung
 

Nutzlast Decke	$q_k = 2,25 \text{ kN/m}^2$
Normalkraft Wandfuß	$N_{Ed} = 182,8 \text{ kN} (= 52,2 \text{ kN/m})$



**Gesucht:**

Standsicherheitsnachweise

- a) Überprüfen der Voraussetzungen
- b) Schlankheit
- c) Abminderungsbeiwert
- d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

**Berechnungsgang:**

Abweichend von der ausgeführten Konstruktion, die für sämtliche Innenwände Kalksandstein vorsah, wird hier der Nachweis beispielhaft für eine Ausführung mit Porenbeton durchgeführt.

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Mehrfamilienhaus  
In Dresden

Beispiel 3.2 Beispiel Innenwände  
3.2.2 mit geringer Auflast

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.1.1

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
5.3.2.2

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tabelle NA.2, Zeile 1

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.4, (NA.7), (NA.8) u.  
(NA.9)

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Gl. (NA.5)

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.5

#### a) Überprüfen der Voraussetzungen

- Gebäudehöhe über Gelände  
 $H = 16,45 \text{ m} < 20,00 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Stützweite der aufliegenden Decken (Bild 16)  
 $l_1 = 0,15 / 2 + 3,635 + 0,20 / 2 = 3,81 \text{ m} < 6,00 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig  
 $l_2 = 0,20 / 2 + 3,9 + 0,15 / 2 = 4,08 \text{ m} < 6,00 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Wanddicke  
Innenwand  $115 \text{ mm} \leq t = 150 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \Rightarrow$  zulässig
- Wandhöhe  
 $h = 2,875 \text{ m} \approx 2,75 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig  
(Aufgrund der geringen Belastung der Wand ist die geringe Überschreitung der zulässigen Wandhöhe akzeptabel.)
- Nutzlast  
 $q_k = 2,25 \text{ kN/m}^2 < 5 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow$  zulässig

Die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens sind damit eingehalten.

#### b) Schlankheit

- $b' = b = l = 3,50 < 15 \cdot 0,15 = 2,25 \text{ m}$   
 $\Rightarrow$  Die Wand muss als zweiseitig gehalten betrachtet werden.
- Deckenauflagerung  
 $a = t = 15 \text{ mm} < 175 \text{ mm} \Rightarrow$  zulässig  
 $\Rightarrow$  Abminderungsfaktor der Knicklänge  $\rho_2 = 0,75$
- Knicklänge  
 $h_{ef} = 0,75 \cdot 2,875 = 2,16 \text{ m}$
- Schlankheit  
 $h_{ef} / t = 2,16 / 0,15 = 14,4 < 27 \Rightarrow$  zulässig

Beispiel 3.2 Beispiel Innenwände  
3.2.2 mit geringer Auflast

Projekt:  
Mehrfamilienhaus  
in Dresden

#### c) Abminderungsbeiwert

$\Phi_1$  nicht maßgebend (Zwischenaufleger der Decke)

$$\Phi_2 = 0,85 - 0,0011 \cdot 14,4^2 = 0,62$$

$$\Rightarrow \Phi = 0,62$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.3, Gln. (NA.1) bis  
(NA.4)

#### d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand

$$A = 0,15 \cdot 3,50 = 0,525 \text{ m}^2$$

Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung „kurzer Wände“ = 1,0

(Wand mit  $A > 0,1 \text{ m}^2$ )

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = 3,0 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 3,0 / 1,5 = 1,7 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft

$$N_{Rd} = 0,62 \cdot 1,7 \cdot 10^3 \cdot 0,525 = 553,4 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\underline{N_{Ed} = 182,8 \text{ kN} < N_{Rd} = 553,4 \text{ kN}}$$

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.2

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.2, (NA.3)

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.1, Zeile A

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.2, (NA.2)

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.D.9

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
2.4.1 (1) sowie DIN EN 1996-1-  
1/NA:2012-05 [10] – NCI zu  
6.1.2.1, (NA.8)

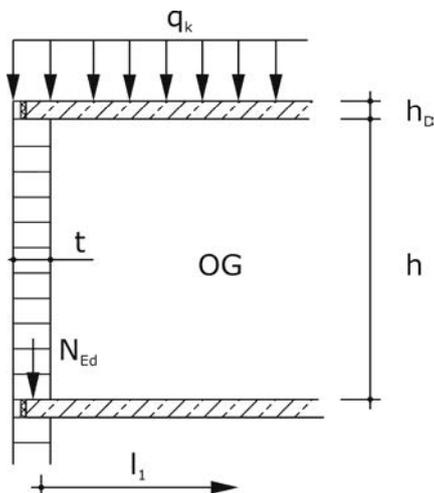
DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.2, Gl. (4.4)

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.1, Gl. (4.3)

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

**Beispiel 3.3 Beispiel Außenwände**  
**3.3.1 mit geringer Auflast, Deckenspannrichtung senkrecht und parallel zur Wand**



Vereinfachtes Verfahren nach DIN EN 1996-3:2010-12 [15] und DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16]

#### **Gegeben:**

Außenwand im Obergeschoss

- Baustoffe  
Porenbeton-Plansteine PP2-0,35  
Dünnbettmörtel
- Abmessungen  
Wanddicke  $t = 0,365 \text{ m}$   
Wandhöhe  $h = 2,77 \text{ m}$   
Wandlänge  $l = 4,135 \text{ m}$   
Deckenstützweite  $l_1 = 4,27 \text{ m}$   
 $l_2 = 4,32 \text{ m}$   
  
Deckendicke  $h_D = 0,18 \text{ m}$   
Deckenaullast  $a = 0,24 \text{ m}$
- Belastung  
Nutzlast Decke  $q_k = 4,00 \text{ kN/m}^2$   
Normalkraft Wandfuß  $N_{Ed} = 136,7 \text{ kN} (= 33,1 \text{ kN/m})$

#### **Gesucht:**

Standsicherheitsnachweise

- Überprüfen der Voraussetzungen
- Schlankheit
- Abminderungsbeiwert
- Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Beispiel 3.3 Beispiel Außenwände  
 3.3.1 mit geringer Auflast, Deckenspannrichtung senkrecht und parallel zur Wand

Projekt:  
 Einfamilienhaus  
 in Berlin

**Berechnungsgang:**

**a) Überprüfen der Voraussetzungen**

- Gebäudehöhe über Gelände  
 $H = 8,90 \text{ m} < 20,00 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Stützweite der aufliegenden Decken (Bild 4)  
 $l_1 = 0,18 / 2 + 4,095 + 0,175 / 2 = 4,27 \text{ m} < 6,00 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig  
 $l_2 = 0,18 / 2 + 4,135 + 0,18 / 2 = 4,32 \text{ m} < 6,00 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Wanddicke  
 Außenwand  $240 \text{ mm} < t = 365 \text{ mm} \Rightarrow$  zulässig
- lichte Wandhöhe  
 $h = 2,77 \text{ m} < 12 \cdot 0,365 = 4,38 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Nutzlast  
 $q_k = 4,00 \text{ kN/m}^2 < 5 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow$  zulässig

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – NCI zu 4.2.1.1

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] – 5.3.2.2

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – Tabelle NA.2, Zeile 6

Die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens sind damit eingehalten.

**b) Schlankheit**

*Wandlänge*

$$b = l = 4,135 \text{ m} < 30 \cdot 0,365 = 10,95 \text{ m}$$

$\Rightarrow$  Die Wand kann als vierseitig gehalten betrachtet werden.

*Deckenauflagerung*

$$t = 365 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$$

$\Rightarrow$  Abminderungsfaktor der Knicklänge  $\rho_2 = 1,0$

*Knicklänge*

$$h_{ef} = \frac{1}{1 + \left( \alpha_4 \frac{\rho_2 \cdot h}{b} \right)^2} \cdot \rho_2 \cdot h$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – NCI zu 4.2.2.4, (NA.7), (NA.8) u. (NA.9)

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – Gl. (NA.7)

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.3 Beispiel Außenwände  
3.3.1 mit geringer Auflast, Deckenspannrichtung senkrecht und parallel zur Wand

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.4 (NA.5)

mit  $\alpha_4 = 1,0$  (planmäßiges Überbindemaß  $\geq 0,4$ ) folgt

$$h_{ef} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1,0 \cdot 2,77}{4,135}\right)^2} \cdot 1,0 \cdot 2,77 = 1,91 \text{ m}$$

*Schlankheit*

$$h_{ef} / t_{ef} = h_{ef} / t = 1,91 / 0,365 = 5,3 < 27 \Rightarrow \text{zulässig}$$

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.5

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.D.9

#### c) Abminderungsbeiwert

*Charakteristische Druckfestigkeit*

$$f_k = 1,8 \text{ N/mm}^2$$

$\Rightarrow \Phi_1 = 0,333$  (Decke über dem obersten Geschoss)

$$\Phi_2 = 0,85 \cdot 0,24 / 0,365 - 0,0011 \cdot 5,3^2 = 0,53$$

$$\Rightarrow \Phi = 0,333$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.3 Gln. (NA.1) bis  
(NA.4)

#### d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand

$$A = 0,365 \cdot 4,135 = 1,509 \text{ m}^2$$

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.2

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.2, (NA.3)

Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung „kurzer Wände“ = 1,0

(Wand mit  $A > 0,1 \text{ m}^2$ )

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.1, Zeile A

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.2, (NA.2)

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.D.9

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = 1,8 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
2.4.1 (1) sowie DIN EN 1996-1-  
1/NA:2012-05 [10] – NCI zu  
6.1.2.1, (NA.8)

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,8 / 1,5 = 1,02 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.2, Gl. (4.4)

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft

$$N_{Rd} = 0,333 \cdot 1,02 \cdot 10^3 \cdot 1,509 = 512,5 \text{ kN}$$

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.1, Gl. (4.3)

Nachweis

$$\underline{N_{Ed} = 136,7 \text{ kN} < N_{Rd} = 512,5 \text{ kN}}$$

**Beispiel 3.3 Beispiel Außenwände**  
**3.3.2 mit hoher Auflast, Deckenspannrichtung senkrecht zur Wand**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

Genauerer Verfahren nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] und DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]

**Gegeben:**

Außenwand im Erdgeschoss

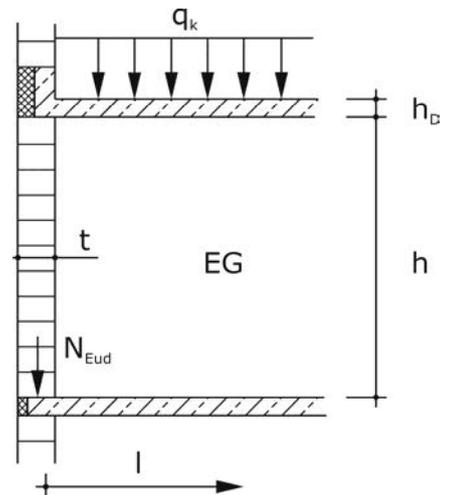
- Baustoffe
  - Porenbeton-Plansteine PP4-0,55
  - Dünnbettmörtel
- Abmessungen
 

Wanddicke	$t$	=	0,365 m
Wandhöhe	$h$	=	2,77 m
Wandlänge	$l$	=	1,125 m
Deckenstützweite	$l_D$	=	3,21 m
Deckendicke	$h_D$	=	0,18 m
Deckenaufleger	$a$	=	0,24 m
- Belastung
 

veränderliche Last Decke	$q_k$	=	2,25 kN/m <sup>2</sup>
ständige Last Decke	$g_k$	=	6,30 kN/m <sup>2</sup>

Normalkraft

Wandkopf	$N_{Eod}$	=	166,96 kN (= 148,4 kN/m)
Wandfuß	$N_{Eud}$	=	177,60 kN (= 157,9 kN/m)



**Gesucht:**

Standsicherheitsnachweise

- a) Schnittgrößen am Wand-Decken-Knoten
- b) Schlankheit
- c) Abminderungsbeiwert
- d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.3 Beispiel Außenwände  
3.3.2 mit hoher Auflast, Deckenspannrichtung senkrecht zur Wand

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 5.5.1.1 (NA.5) sowie NCI  
Anhang NA.C (5)

#### Berechnungsgang:

Die Lasten aus der Geschossdecke und dem aufgehenden Mauerwerk werden über einen Stahlbetonüberzug in die Wand eingeleitet. Dieser bewirkt eine Zentrierung der Last innerhalb der Auflagerbreite  $a$ . Der Nachweis der Wandtragfähigkeit erfolgt nach dem genaueren Verfahren. Die Berechnung der Momente erfolgt wie für eine teilweise aufliegende Deckenplatte.

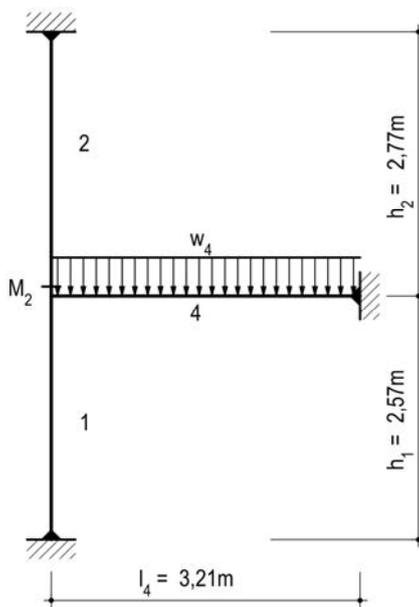
DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI Anhang NA.C

#### a) Schnittgrößen am Wand-Decken-Knoten

Es wird das Knotenmoment am Wandfußpunkt berechnet.

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.12

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
Tab. 3.1



System

#### • Vorwerte

Elastizitätsmodul

$$E_1 = E_2 = E_{MW} = k_E \cdot f_k = 550 \cdot 3,0 = 1650 \text{ MN/m}^2$$

$$E_4 = E_D = 31000 \text{ MN/m}^2$$

Deckenstützweite

belastete Wand (EG)

$$l_4 = l_D = 3,21 \text{ m}$$

Wand

lichte Höhe  $h_2 = h = 2,77 \text{ m}$ ; rechnerische Dicke  $t_2 = 0,24 \text{ m}$   
darunter liegende Wand (KG)

lichte Höhe  $h_1 = 2,57 \text{ m}$ ; rechnerische Dicke  $t_1 = 0,24 \text{ m}$

Flächenmomente 2. Grades

$$t_1 = t_2 = t_{\text{cal}} = 0,24 \text{ m}$$

$$I_1 = I_2 = I \cdot t^3 / 12 = 1,125 \cdot 0,24^3 / 12 = 1,296 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_4 = I \cdot d^3 / 12 = 1,125 \cdot 0,18^3 / 12 = 5,47 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

**Beispiel 3.3 Beispiel Außenwände**  
**3.3.2 mit hoher Auflast, Deckenspannrichtung senkrecht zur Wand**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

Stabsteifigkeiten

$$c_1 = \frac{n_1 E_1 I_1}{h_1} = \frac{4 \cdot 1650 \cdot 1,296 \cdot 10^{-3}}{2,57} = 3,328 \text{ MNm}$$

$$c_2 = \frac{n_2 E_2 I_2}{h_2} = \frac{4 \cdot 1650 \cdot 1,296 \cdot 10^{-3}}{2,77} = 3,088 \text{ MNm}$$

$$c_3 = 0$$

$$c_4 = \frac{n_4 E_4 I_4}{l_4} = \frac{4 \cdot 31000 \cdot 5,47 \cdot 10^{-4}}{3,21} = 21,130 \text{ MNm}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – NCI Anhang NA.C,  $c_i$  sind hier Glieder der Gl. (C.1)

Der Überzug hat hinsichtlich der Lasteinleitung eine zentrierende Wirkung. Er erlaubt allerdings keine Verdrehung des Wandkopfes, weshalb für  $n_2 = 4$  gesetzt wird.

Bemessungslast des Stabes 4

$$w_4 = l \cdot [1,35 \cdot (g_k + q_k/2) + 1,5 \cdot q_k/2]$$

$$w_4 = 1,125 \cdot [1,35 \cdot (6,3 + 2,25/2) + 1,5 \cdot 2,25/2]$$

$$w_4 = 13,17 \text{ kN/m}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – NCI zu 2.4.2

- Stabendmoment am Wandfuß

Moment nach Gl. (NA.C1)

$$M_2 = \frac{c_2}{c_1 + c_2 + c_3 + c_4} \left[ -\frac{w_4 l_4^2}{4(n_4 - 1)} \right]$$

$$M_2 = \frac{3,088}{3,328 + 3,088 + 0 + 21,130} \left[ -\frac{13,17 \cdot 3,21^2}{4 \cdot (4 - 1)} \right] = -1,268 \text{ kNm}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – Gl. (NA.C1)

Abminderungsfaktor

$$k_m = \frac{c_3 + c_4}{c_1 + c_2} = \frac{0 + 21,130}{3,328 + 3,088} = 3,29 > 2,0 \Rightarrow k_m = 2,0$$

$$\eta = 1 - k_m/4 = 1 - 2/4 = 0,5$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – Gl. (NA.C2) sowie (3)

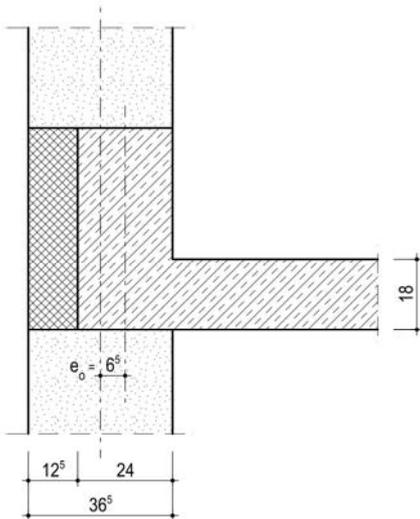
abgemindertes Fußmoment

$$M_{ud} = \eta \cdot M_2 = 0,5 \cdot (-1,268) = -0,634 \text{ kNm}$$

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.3 Beispiel Außenwände  
3.3.2 mit hoher Auflast, Deckenspannrichtung senkrecht zur Wand



- Stabendmoment am Wandkopf  
zentrierte Lasteinleitung über den Stahlbetonüberzug, Bezug auf Schwerpunkt Deckenauflagerfläche  
 $M_{od} = 0$
- Moment in Wandmitte aus der Berechnung am Wand-Decken-Knoten für die Einbindung der Decke über Kellergeschoss  
 $M_{md} = (M_{ud} + M_{od}) / 2 = (-0,634 + 0) / 2 = 0,317 \text{ kNm}$
- Moment am Wandfuß  
 $M_{ud} = 0,634 \text{ kNm}$

#### b) Schlankheit

Die Wand ist zweiseitig gehalten.

Deckenauflagerung

$$a / t = 0,24 / 0,365 = 0,66 = 2 / 3$$

=> Abminderungsfaktor der Knicklänge  $\rho_2 < 1,0$  nicht zulässig

=> Abminderungsfaktor der Knicklänge  $\rho_2 = 1,0$

Knicklänge

$$h_{ef} = 1,0 \cdot 2,77 = 2,77 \text{ m}$$

Schlankheit

$$h_{ef} / t = 2,77 / 0,365 = 7,6 < 27 \text{ zulässig}$$

#### c) Abminderungsbeiwert

- Wandkopf

planmäßige Lastausmitte

$e_{o1} = 0$ , wegen der zentrierenden Wirkung des Überzuges

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
5.5.1.2, (11))

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
Gl. (5.2)

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
6.1.2.2

Die Nachweisführung erfolgt in Bezug auf die Auflagerfläche der Deckenplatte, weshalb hier der Versatz der Deckenplatte zur Schwerachse der Wand nicht berücksichtigt wird.

**Beispiel 3.3 Beispiel Außenwände**  
**3.3.2 mit hoher Auflast, Deckenspannrichtung senkrecht zur Wand**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

ungewollte Ausmitte

$$e_{\text{init}} = 0$$

Ausmitte infolge horizontaler Lasten

$$e_{\text{he}} = 0$$

Lastexzentrizität

$$e_o = e_{o1} + e_{\text{init}} + e_{\text{he}} = 0,0 < 0,05 \cdot a = 0,05 \cdot 0,24 = 0,012 \text{ m}$$

$$e_o = 0,012 \text{ m}$$

Abminderungsbeiwert

$$\Phi_o = 1 - 2 \cdot e_i / a = 1 - 2 \cdot 0,012 / 0,24 = 0,9$$

- Wandmitte

Wandeigenlast (s. Tabelle 2)

$$g_{\text{wk}} = 2,53 \text{ kN/m}^2$$

Wandnormalkraft

$$N_{\text{Emd}} = N_{\text{Eud}} - 0,5 \cdot l \cdot h \cdot 1,35 \cdot g_{\text{wk}}$$

$$N_{\text{Emd}} = 177,6 - 0,5 \cdot 1,125 \cdot 2,77 \cdot 1,35 \cdot 2,53 = 172,3 \text{ kN}$$

planmäßige Lastausmitte

Zur Exzentrizität in Wandmitte ist der Versatz der Schwerachse zwischen Deckenaufleger und Wand hinzuzurechnen.

$$e_{m1} = |M_{\text{md}}| / N_{\text{Emd}} + (t - a) / 2$$

$$e_{m1} = 0,317 / 172,3 + (0,365 - 0,24) / 2 = 0,064 \text{ m}$$

ungewollte Ausmitte

$$e_{\text{init}} = h_{\text{ef}} / 450 = 2,77 / 450 = 6,16 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Ausmitte infolge horizontaler Lasten

$$e_{\text{hm}} = 0$$

Endkriechzahl

$$\phi_{\infty} = 0,5$$

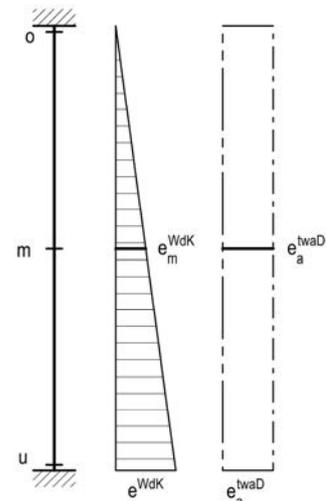
Grenزشlankheit

$$\lambda_c = 20$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – NCI zu 6.1.2.2

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
 Gl. (6.5)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – NCI zu 6.1.2.2, (NA.4)



DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – NCI zu 6.1.2.2, (NA.4)

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
 5.5.1.1

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – Tab. NA.13

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – Tab. NA.17

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.3 Beispiel Außenwände  
3.3.2 mit hoher Auflast, Deckenspannrichtung senkrecht zur Wand

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NDP zu 6.1.2.2

Ausmitte infolge Kriechen

$$h_{ef} / t = 7,6 < \lambda_c = 20$$

$$e_k = 0$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
Gl. (6.6)

Lastexzentrizität

$$e_{mk} = e_{m1} + e_{init} + e_{hm} + e_k = 0,070 > 0,05 \cdot t = 0,05 \cdot 0,365 = 0,018$$

$$e_{mk} = 0,070 \text{ m}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI Anhang NA.G, Gl. (NA.G.1)

Abminderungsbeiwert

$$\Phi_m = 1,14 \cdot (1 - 2 \cdot e_{mk} / t_{ef}) - 0,024 \cdot h_{ef} / t_{ef} \leq 1 - 2 \cdot e_{mk} / t_{ef}$$

$$\Phi_m = 1,14 \cdot (1 - 2 \cdot 0,070 / 0,365) - 0,024 \cdot 7,6 \leq 1 - 2 \cdot 0,070 / 0,365$$

$$\Phi_m = 0,52$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.1.2.2

- Wandfuß

planmäßige Lastausmitte

$$e_{u1} = |M_{ud}| / N_{Eud} = 0,643 / 177,6 = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

ungewollte Ausmitte

$$e_{init} = 0$$

Ausmitte infolge horizontaler Lasten

$$e_{he} = 0$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
Gl. (6.5)

Lastexzentrizität

$$e_u = e_{u1} + e_{init} + e_{he} = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m} < 0,05 \cdot a = 0,05 \cdot 0,24 = 0,012 \text{ m}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.1.2.2, (NA.4)

$$\Rightarrow e_u = 0,012 \text{ m}$$

Abminderungsbeiwert

$$\Phi_u = 1 - 2 \cdot e_i / a = 1 - 2 \cdot 0,012 / 0,24 = 0,9$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
6.1.2

#### d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand

Wandkopf / Wandfuß

$$A_{o,u} = 0,24 \cdot 1,125 = 0,27 \text{ m}^2$$

Wandmitte

$$A_m = 0,365 \cdot 1,125 = 0,411 \text{ m}^2$$

Beispiel 3.3 Beispiel Außenwände  
3.3.2 mit hoher Auflast, Deckenspannrichtung senkrecht zur Wand

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung „kurzer Wände“ = 1,0 (Wand mit  $A > 0,1 \text{ m}^2$ )

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Steinfestigkeit

$$f_{st} = 5,0 \text{ N/mm}^2$$

Druckfestigkeit des Mörtels

$$f_m = 10,0 \text{ N/mm}^2$$

Parameter

$$K = 0,9$$

$$\alpha = 0,75$$

$$\beta = 0$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = K \cdot f_{st}^\alpha \cdot f_m^\beta = 0,9 \cdot 5,0^{0,75} \cdot 10,0^0 = 3,0 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 3,0 / 1,5 = 1,7 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft

$$N_{o,Rd} = 0,90 \cdot 1,7 \cdot 10^3 \cdot 0,270 = 413,10 \text{ kN}$$

$$N_{m,Rd} = 0,52 \cdot 1,7 \cdot 10^3 \cdot 0,411 = 363,32 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 0,90 \cdot 1,7 \cdot 10^3 \cdot 0,270 = 413,10 \text{ kN}$$

Nachweis

$$N_{m,Ed} = 172,3 \text{ kN} < N_{m,Rd} = 363,32 \text{ kN}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.3

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.10

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
3.6.1.2

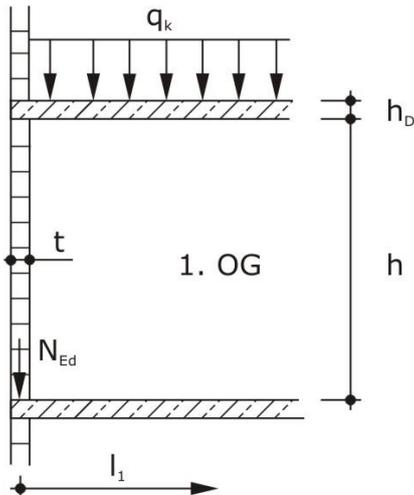
DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NDP zu 3.6.1.2

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

**Projekt:**  
**Mehrfamilienhaus**  
**in Dresden**

**Beispiel 3.3 Beispiel Außenwände**  
**3.3.3 mit hoher Auflast, zweischalige Außenwand**

Vereinfachtes Verfahren nach DIN EN 1996-3:2010-12 [15] und  
DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16]



#### **Gegeben:**

Außenwand im 1. Obergeschoss

- Baustoffe  
Porenbeton-Plansteine PP6-0,65  
Dünnbettmörtel
- Abmessungen  
Wanddicke  $t = 0,175 \text{ m}$   
Wandhöhe  $h = 2,68 \text{ m}$   
Wandlänge  $l = 1,25 \text{ m}$   
Deckenstützweite  $l_1 = 4,89 \text{ m}$   
Deckendicke  $h_D = 0,20 \text{ m}$   
Deckenaufleger  $a = 0,175 \text{ m}$
- Belastung  
Nutzlast Decke  $q_k = 2,30 \text{ kN/m}^2$   
Normalkraft Wandfuß  $N_{Ed} = 358,6 \text{ kN} (= 286,9 \text{ kN/m})$

#### **Gesucht:**

Standsicherheitsnachweise

- Überprüfen der Voraussetzungen
- Schlankheit
- Abminderungsbeiwert
- Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Zur Demonstration des Rechengangs für eine zweischalige Außenwand, wird für dieses Beispiel von der ausgeführten Variante mit  $d = 365 \text{ mm}$  PP4-0,55 abgewichen.

Beispiel 3.3 Beispiel Außenwände  
3.3.3 mit hoher Auflast, zweischalige Außenwand

Projekt:  
Mehrfamilienhaus  
in Dresden

#### Berechnungsgang:

##### a) Überprüfen der Voraussetzungen

- Gebäudehöhe über Gelände

$$H = 16,45 \text{ m} < 20,00 \text{ m} \Rightarrow \text{zulässig}$$

- Stützweite der aufliegenden Decken (Bild 17)

$$l_1 = 0,20 / 2 + 4,70 + 0,175 / 2 = 4,89 \text{ m} < 6,00 \text{ m} \Rightarrow \text{zulässig}$$

- Wanddicke

Außenwand  $t = 175 \text{ mm}$  nach Tabelle NA.2, Zeile 5  $\Rightarrow$  zulässig

- lichte Wandhöhe

$$h = 2,68 \text{ m} < 2,75 \text{ m} \Rightarrow \text{zulässig}$$

- Nutzlast

$$q_k = 2,30 \text{ kN/m}^2 < 3 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \text{zulässig}$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.1.1

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
5.3.2.2

Die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens sind damit eingehalten.

##### b) Schlankheit

Die Wand ist zweiseitig gehalten.

Deckenauflagerung

$$t = 175 \text{ mm} = 175 \text{ mm} \text{ zulässig}$$

$\Rightarrow$  Abminderungsfaktor der Knicklänge  $\rho_2 = 0,75$

Knicklänge

$$h_{\text{ef}} = \rho_2 \cdot h = 0,75 \cdot 2,68 = 2,01 \text{ m}$$

Schlankheit

$$h_{\text{ef}} / t = 2,01 / 0,175 = 11,5 < 27$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.4

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Gl. (NA.5)

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.5

##### c) Abminderungsbeiwert

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = 4,1 \text{ N/mm}^2 > 1,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \Phi_1 = 1,6 - 4,89 / 6 = 0,785 < 0,9 \cdot 1$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.3

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.D.9

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Mehrfamilienhaus  
in Dresden

Beispiel 3.3 Beispiel Außenwände  
3.3.3 mit hoher Auflast, zweischalige Außenwand

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.2

$$\Phi_2 = 0,85 \cdot 1 - 0,0011 \cdot 11,5^2 = 0,705$$

$$\Rightarrow \Phi = 0,705$$

#### d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand

$$A = 0,175 \cdot 1,25 = 0,219 \text{ m}^2$$

Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung „kurzer Wände“ = 1,0 (Wand mit  $A > 0,1 \text{ m}^2$ )

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = 4,1 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 4,1 / 1,5 = 2,323 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft

$$N_{Rd} = 0,705 \cdot 2,323 \cdot 10^3 \cdot 0,219 = 358,7 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\underline{N_{Ed} = 358,6 \text{ kN} < N_{Rd} = 358,7 \text{ kN}}$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.D.9

**Beispiel 3.4 Beispiel kurze Wandabschnitte (Pfeiler)**  
**3.4.1 Innenwandpfeiler**  
**3.4.1.1 mit geringer Auflast, Deckenspannrichtung senkrecht und parallel zur Wand**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

Vereinfachtes Verfahren nach DIN EN 1996-3:2010-12 [15] und DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16]

**Gegeben:**

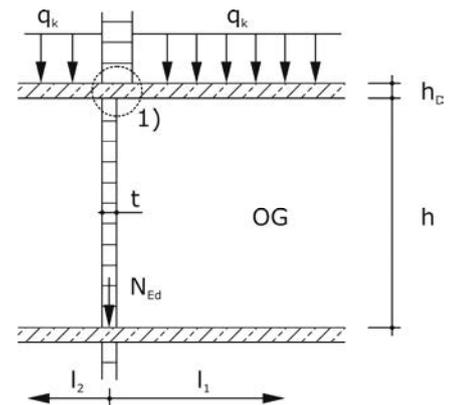
Innenwandpfeiler im Obergeschoss

- Baustoffe  
Porenbeton-Plansteine PP2-0,40  
Dünnbettmörtel
- Abmessungen

Wanddicke	$t = 0,175 \text{ m}$
Wandhöhe	$h = 2,77 \text{ m}$
Wandlänge	$l = 0,68 \text{ m}$
Deckenstützweite	$l_1 = 4,20 \text{ m}$
	$l_2 = 1,06 \text{ m}$

(Spannrichtung parallel zum Pfeiler)
- Belastung

Nutzlast Decke	$q_k = 2,25 \text{ kN/m}^2$
Normalkraft Wandfuß	$N_{Ed} = 98,5 \text{ kN} (= 144,9 \text{ kN/m})$



1) Versatz zulässig, s.

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – NCI zu 4.2.1.1, (NA.4)

**Gesucht:**

Standsicherheitsnachweise

- a) Überprüfen der Voraussetzungen
- b) Schlankheit
- c) Abminderungsbeiwert
- d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.4 Beispiel kurze Wandabschnitte (Pfeiler)  
3.4.1 Innenwandpfeiler  
3.4.1.1 mit geringer Auflast, Deckenspannrichtung senkrecht und parallel zur Wand

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.1.1

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
5.3.2.2

#### Berechnungsgang:

##### a) Überprüfen der Voraussetzungen

- Gebäudehöhe über Gelände  
 $H = 8,90 \text{ m} < 20,00 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Stützweite der aufliegenden Decken (Bild 4)  
 $l_1 = 0,18 / 2 + 4,135 + 0,175 / 2 = 4,31 \text{ m} < 6,00 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig  
 $l_2 \Rightarrow$  kein Kriterium (Spannrichtung parallel zur Wand)
- Wanddicke  
Innenwand  $t = 175 \text{ mm}$  nach [16] Tabelle NA.2, Zeile 1  $\Rightarrow$  zulässig
- lichte Wandhöhe  
 $h = 2,77 \text{ m} \approx 2,75 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Nutzlast  
 $q_k = 2,25 \text{ kN/m}^2 < 5 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow$  zulässig

Die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens sind damit eingehalten.

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.4

##### b) Schlankheit

$b' = b = 0,68 < 15 \cdot 0,175 = 2,625 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig  
 $\Rightarrow$  Die Wand kann als dreiseitig gehalten betrachtet werden.

Deckenauflagerung

$a = t = 175 \text{ mm} = 175 \text{ mm} \Rightarrow$  zulässig

$\Rightarrow$  Abminderungsfaktor der Knicklänge  $\rho_2 = 0,75$

Knicklänge

$$h_{\text{ef}} = \frac{1}{1 + \left( \alpha_3 \frac{\rho_2 \cdot h}{3b'} \right)^2} \cdot \rho_2 \cdot h \geq 0,3 \cdot h$$

mit  $\alpha_4 = 1,0$  (planmäßiges Überbindemaß  $\geq 0,4$ ) folgt

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Gl. (NA.6)

**Beispiel 3.4 Beispiel kurze Wandabschnitte (Pfeiler)**  
**3.4.1 Innenwandpfeiler**  
**3.4.1.1 mit geringer Auflast, Deckenspannrichtung senkrecht und parallel zur Wand**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

$$h_{\text{ef}} = \frac{1}{1 + \left( \frac{0,75 \cdot 2,77}{3 \cdot 0,68} \right)^2} \cdot 0,75 \cdot 2,77 = 1,02 \text{ m} > 0,3 \cdot 2,77 = 0,83 \text{ m}$$

Schlankheit

$$h_{\text{ef}} / t = 1,02 / 0,175 = 5,83$$

#### c) Abminderungsbeiwert

Der Innenwandpfeiler wirkt als Endauflager, da eine Decke parallel zum Pfeiler gespannt ist.

$$\Phi_1 = 1,6 - 4,2 / 6 = 0,9 \leq 0,9 \cdot 1$$

$$\Phi_2 = 0,85 - 0,0011 \cdot 5,83^2 = 0,813$$

$$\Rightarrow \Phi = 0,81$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
 NCI zu 4.2.2.3

#### d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand

$$A = 0,175 \cdot 0,68 = 0,119 \text{ m}^2$$

Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung „kurzer Wände“ = 1,0 (Wand mit  $A > 0,1 \text{ m}^2$ )

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = 1,8 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,8 / 1,5 = 1,02 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft

$$N_{Rd} = 0,813 \cdot 1,02 \cdot 10^3 \cdot 0,119 = 98,7 \text{ kN}$$

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
 4.2.2.2

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
 Tab. NA.D.9

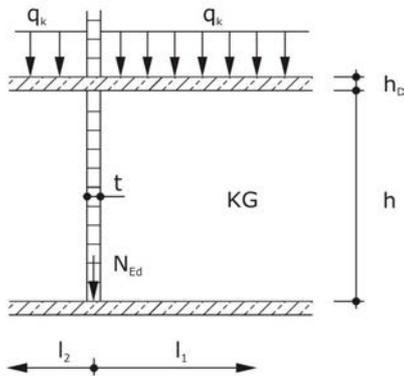
Nachweis

$$N_{Ed} = 98,5 \text{ kN} < N_{Rd} = 98,7 \text{ kN}$$

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

**Beispiel 3.4 Beispiel kurze Wandabschnitte (Pfeiler)**  
**3.4.1 Innenwandpfeiler**  
**3.4.1.2 mit hoher Auflast**



Vereinfachtes Verfahren nach DIN EN 1996-3:2010-12 [15] und  
DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16]

#### **Gegeben:**

Innenwandpfeiler im Kellergeschoß

- Baustoffe  
Porenbeton-Plansteine PP4-0,55  
Dünnbettmörtel
- Abmessungen  
Wanddicke  $t = 0,175 \text{ m}$   
Wandhöhe  $h = 2,57 \text{ m}$   
Wandlänge  $l = 0,75 \text{ m}$   
Deckenstützweite  $l_1 = 1,80 \text{ m}$   
 $l_2 = 3,18 \text{ m}$   
Deckendicke  $h_D = 0,18 \text{ m}$
- Belastung  
Nutzlast Decke  $q_k = 2,25 \text{ kN/m}^2$   
Normalkraft Wandfuß  $N_{Ed} = 177,1 \text{ kN} (= 236,1 \text{ kN/m})$

#### **Gesucht:**

Standsicherheitsnachweise

- Überprüfen der Voraussetzungen
- Schlankheit
- Abminderungsbeiwert
- Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

#### **Berechnungsgang:**

##### **a) Überprüfen der Voraussetzungen**

- Gebäudehöhe über Gelände  
 $H = 8,90 \text{ m} < 20,00 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.1.1

**Beispiel 3.4 Beispiel kurze Wandabschnitte (Pfeiler)**  
**3.4.1 Innenwandpfeiler**  
**3.4.1.2 mit hoher Auflast**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

- Stützweite der aufliegenden Decken (Bild 6)

$$l_1 = 0,175 / 2 + 1,71 = 1,80 \text{ m} < 6,00 \text{ m} \Rightarrow \text{zulässig}$$

$$l_2 = 0,18 / 2 + 3,0 + 0,175 / 2 = 3,18 \text{ m} < 6,00 \text{ m} \Rightarrow \text{zulässig}$$

- Wanddicke

Innenwand  $t = 175 \text{ mm}$  nach [16] Tabelle NA.2, Zeile 1  $\Rightarrow$  zulässig

- lichte Wandhöhe

$$h = 2,57 \text{ m} < 2,75 \text{ m} \Rightarrow \text{zulässig}$$

- Nutzlast

$$q_k = 2,25 \text{ kN/m}^2 < 5 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \text{zulässig}$$

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
5.3.2.2

Die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens sind damit eingehalten.

#### b) Schlankheit

$$b' = b = l = 0,75 < 15 \cdot 0,175 = 2,62 \text{ m} \text{ zulässig}$$

$\Rightarrow$  Die Wand kann als dreiseitig gehalten betrachtet werden.

Deckenauflagerung

$$a = t = 175 \text{ mm} = 175 \text{ mm} \text{ zulässig}$$

$\Rightarrow$  Abminderungsfaktor der Knicklänge  $\rho_2 = 0,75$

Knicklänge

$$h_{ef} = \frac{1}{1 + \left( \alpha_3 \frac{\rho_2 \cdot h}{3b'} \right)^2} \cdot \rho_2 \cdot h \geq 0,3 \cdot h$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.4

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Gl. (NA.6)

mit  $\alpha_3 = 1,0$  (planmäßiges Überbindemaß  $\geq 0,4$ ) folgt

$$h_{ef} = \frac{1}{1 + \left( \frac{0,75 \cdot 2,57}{3 \cdot 0,75} \right)^2} \cdot 0,75 \cdot 2,57 = 1,11 \text{ m} > 0,3 \cdot 2,57 = 0,77 \text{ m}$$

Schlankheit

$$h_{ef} / t = 1,11 / 0,175 = 6,34 < 27$$

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.5

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.4 Beispiel kurze Wandabschnitte (Pfeiler)  
3.4.1 Innenwandpfeiler  
3.4.1.2 mit hoher Auflast

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.3

#### c) Abminderungsbeiwert

$\Phi_1$  nicht maßgebend (Zwischenaufleger der Decke)

$$\Phi_2 = 0,85 - 0,0011 \cdot 6,34^2 = 0,78$$

$$\Rightarrow \Phi = 0,81$$

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.2

#### d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand

$$A = 0,175 \cdot 0,75 = 0,131 \text{ m}^2$$

Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung „kurzer Wände“ = 1,0 (Wand mit  $A > 0,1 \text{ m}^2$ )

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = 3,0 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 3,0 / 1,5 = 1,7 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft

$$N_{Rd} = 0,81 \cdot 1,7 \cdot 10^3 \cdot 0,131 = 180,4 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\underline{N_{Ed} = 177,1 \text{ kN} < N_{Rd} = 180,4 \text{ kN}}$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.2, (NA.2)

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.D.9

**Beispiel 3.4 Beispiel kurze Wandabschnitte (Pfeiler)**  
**3.4.2 Außenwandpfeiler**  
**3.4.2.1 mit geringer Auflast**

**Projekt:**  
**Doppelhaus**  
**in Hövelhof**

Vereinfachtes Verfahren nach DIN EN 1996-3:2010-12 [15] und  
 DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16]

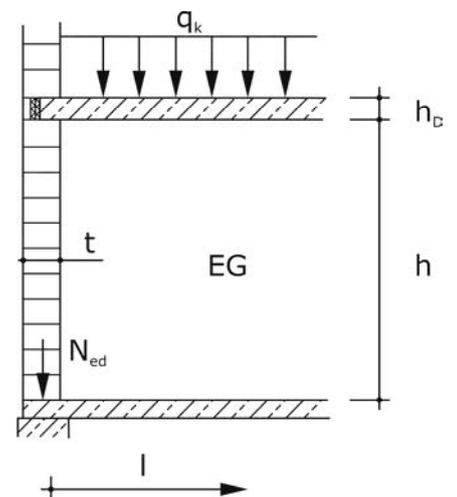
**Gegeben:**

Außenwandpfeiler im Erdgeschoss

- Baustoffe
  - Porenbeton-Plansteine PP2-0,35
  - Dünnbettmörtel
- Abmessungen
 

Wanddicke	$t$	=	0,365 m
Wandhöhe	$h$	=	2,75 m
Wandlänge	$l$	=	0,74 m
Deckenstützweite	$l_1$	=	5,80 m
Deckendicke	$h_D$	=	0,22 m
Deckenaufleger	$a$	=	0,24 m
- Belastung
 

Nutzlast Decke	$q_k$	=	2,75 kN/m <sup>2</sup>
Normalkraft Wandfuß	$N_{Ed}$	=	119,10 kN



**Gesucht:**

Standsicherheitsnachweise

- a) Überprüfen der Voraussetzungen
- b) Schlankheit
- c) Abminderungsbeiwert
- d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

**Berechnungsgang:**

**a) Überprüfen der Voraussetzungen**

- Gebäudehöhe über Gelände  
 $H = 9,46 \text{ m} < 20,00 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
 NCI zu 4.2.1.1

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus  
in Hövelhof

Beispiel 3.4 Beispiel kurze Wandabschnitte (Pfeiler)  
3.4.2 Außenwandpfeiler  
3.4.2.1 mit geringer Auflast

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
5.3.2.2

- Stützweite der aufliegenden Decken (Bild 12)  
 $l_1 = 0,15 / 2 + 5,61 + 0,22 / 2 = 5,80 \text{ m} < 6,00 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Wanddicke  
Außenwand  $t = 365 \text{ mm}$  nach Tabelle NA.2, Zeile 6  $\Rightarrow$  zulässig
- lichte Wandhöhe  
 $h = 2,75 \text{ m} \leq 12 \cdot 0,365 = 4,38 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Nutzlast  
 $q_k = 2,75 \text{ kN/m}^2 < 5 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow$  zulässig

Die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens sind damit eingehalten.

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.4

#### b) Schlankheit

Der Wandpfeiler ist zweiseitig gehalten.

Deckenauflagerung

$$t = 365 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$$

$\Rightarrow$  Abminderungsfaktor der Knicklänge  $\rho_2 = 1,0$

Knicklänge

$$h_{\text{ef}} = 1,0 \cdot 2,75 = 2,75 \text{ m}$$

Schlankheit

$$h_{\text{ef}} / t = 2,75 / 0,365 = 7,6 < 27$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Gl. (NA.5)

#### c) Abminderungsbeiwert

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = 1,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \Phi_1 = 1,6 - 5,80/6 = 0,63 > 0,9 \cdot 0,24/0,365 = 0,59 \Rightarrow \Phi_1 = 0,59$$

$$\Phi_2 = 0,85 \cdot 0,24/0,365 - 0,0011 \cdot 7,6^2 = 0,50$$

$$\Rightarrow \Phi = 0,50$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.3

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.D.9

#### d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand

$$A = 0,365 \cdot 0,74 = 0,270 \text{ m}^2$$

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.2

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Beispiel 3.4 Beispiel kurze Wandabschnitte (Pfeiler)  
3.4.2 Außenwandpfeiler  
3.4.2.1 mit geringer Auflast

Projekt:  
Doppelhaus  
in Hövelhof

Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung „kurzer Wände“ = 1,0 (Wand mit  $A > 0,1 \text{ m}^2$ )

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = 1,8 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,8 / 1,5 = 1,02 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft

$$N_{Rd} = 0,50 \cdot 1,02 \cdot 10^3 \cdot 0,270 = 137,7 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\underline{N_{Ed} = 119,1 \text{ kN} < N_{Rd} = 137,7 \text{ kN}}$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.D.9

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.4 Beispiel kurze Wandabschnitte (Pfeiler)  
3.4.2 Außenwandpfeiler  
3.4.2.2 mit hoher Auflast

Vereinfachtes Verfahren nach DIN EN 1996-3:2010-12 [15] und  
DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16]

#### Gegeben:

Außenwandpfeiler im Erdgeschoss

- Baustoffe

Porenbeton-Plansteine PP6-0,65

Dünnbettmörtel

Abmessungen

Wanddicke  $t = 0,30 \text{ m}$

Wandhöhe  $h = 2,77 \text{ m}$

Wandlänge  $l = 0,49 \text{ m}$

Deckenstützweite  $l_1 = 3,12 \text{ m}$

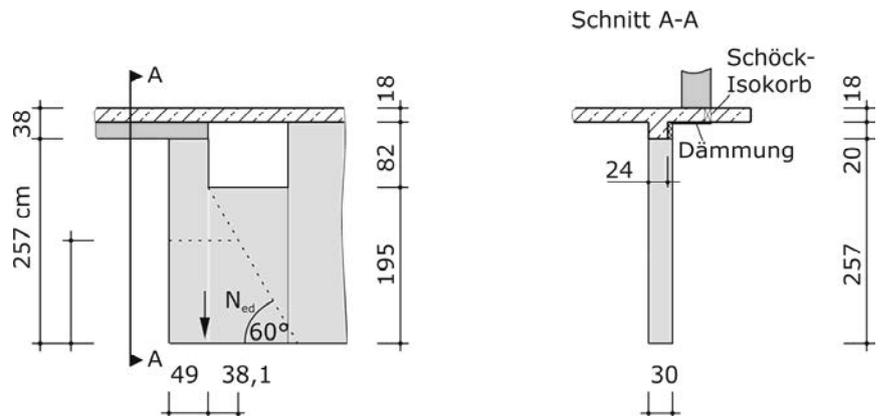
Deckendicke  $h_D = 0,18 \text{ m}$

Deckenaufleger  $a = 0,24 \text{ m}$

- Belastung

Nutzlast Decke  $q_k = 2,25 \text{ kN/m}^2$

Normalkraft Wandfuß  $N_{ed} = 274,1 \text{ kN}$



#### Gesucht:

Standsicherheitsnachweise

a) Überprüfen der Voraussetzungen

Beispiel 3.4 Beispiel kurze Wandabschnitte (Pfeiler)  
3.4.2 Außenwandpfeiler  
3.4.2.2 mit hoher Auflast

Projekt:  
Einfamilienhaus  
In Berlin

- b) Schlankheit
- c) Abminderungsbeiwert
- d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

#### **Berechnungsgang:**

##### **a) Überprüfen der Voraussetzungen**

- Gebäudehöhe über Gelände

$$H = 8,90 \text{ m} < 20,00 \text{ m} \Rightarrow \text{zulässig}$$

- Stützweite der aufliegenden Decken (Bild 5)

$$l_1 = 0,115 / 2 + 2,97 + 0,18 / 2 = 3,12 \text{ m} < 6,00 \text{ m} \Rightarrow \text{zulässig}$$

- Wanddicke

$$\text{Außenwand } t = 300 \text{ mm nach Tabelle NA.2, Zeile 6} \Rightarrow \text{zulässig}$$

- lichte Wandhöhe

$$h = 2,57 \text{ m} < 12 \cdot 0,300 = 3,60 \text{ m} \Rightarrow \text{zulässig}$$

- Nutzlast

$$q_k = 2,25 \text{ kN/m}^2 < 5 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \text{zulässig}$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.1.1

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
5.3.2.2

Die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens sind damit eingehalten.

##### **b) Schlankheit**

Der Wandpfeiler ist zweiseitig gehalten.

Deckenauflagerung

$$t = 300 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$$

=> Abminderungsfaktor der Knicklänge  $\rho_2 = 1,0$

Knicklänge

$$h_{ef} = 1,0 \cdot 2,57 = 2,57 \text{ m}$$

Schlankheit

$$h_{ef} / t = 2,57 / 0,300 = 8,6 < 27 \Rightarrow \text{zulässig}$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.4

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Gl. (NA.5)

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.4 Beispiel kurze Wandabschnitte (Pfeiler)  
3.4.2 Außenwandpfeiler  
3.4.2.2 mit hoher Auflast

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.3

#### c) Abminderungsbeiwert

Zentrierung der Last infolge der auskragenden Deckenplatte

$$\Phi_1 = 1,0$$

$$\Phi_2 = 0,85 \cdot 0,24/0,300 - 0,0011 \cdot 8,6^2 = 0,60$$

$$\Rightarrow \Phi = 0,60$$

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.2

#### d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

- Nachweisebene in Wandmitte

Betrachtet wird ein Schnitt in Wandmitte unter Berücksichtigung der Lastausbreitung unter 60°.

Belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand

$$A = 0,300 \cdot (0,49 + 0,381) = 0,261 \text{ m}^2$$

Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung „kurzer Wände“ = 1,0 (Wand mit  $A > 0,1 \text{ m}^2$ )

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = 4,1 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 4,1 / 1,5 = 2,32 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft

$$N_{Rd} = 0,60 \cdot 2,623 \cdot 10^3 \cdot 0,261 = 410,7 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\underline{N_{Ed} = 274,1 \text{ kN} < N_{Rd} = 410,7 \text{ kN}}$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.D.9

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.3

- Nachweis der Auflagerpressung am Wandkopf

Normalkraft Wandkopf  $N_{Ed} = 270,2 \text{ kN}$

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Beispiel 3.4 Beispiel kurze Wandabschnitte (Pfeiler)  
3.4.2 Außenwandpfeiler  
3.4.2.2 mit hoher Auflast

Projekt:  
Einfamilienhaus  
In Berlin

$$a_1 = 0$$

$$A_b = 0,24 \cdot 0,49 = 0,196 > 2 \cdot 0,30^2 = 0,180 \text{ zulässig}$$

$$\beta = 1,0$$

$$N_{Rdc} = \beta \cdot f_d \cdot A_b = 1,0 \cdot 2,32 \cdot 10^3 \cdot (0,24 \cdot 0,49) = 272,8 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\underline{N_{Ed} = 270,2 \text{ kN} < N_{Rdc} = 272,8 \text{ kN}}$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
6.1.3 nicht anwendbar, sondern  
DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.1.3, (NA.8),  
da  $a_1 < 3 \cdot l_1$

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.5 Beispiel Giebelwände  
3.5.1 vertikal unbelastet

Vereinfachtes Verfahren nach DIN EN 1996-3:2010-12 [15] und  
DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16]

Schnitt A – A gemäß Bild 13

#### Gegeben:

Zweischalige Giebelwand im Studio

- Baustoffe

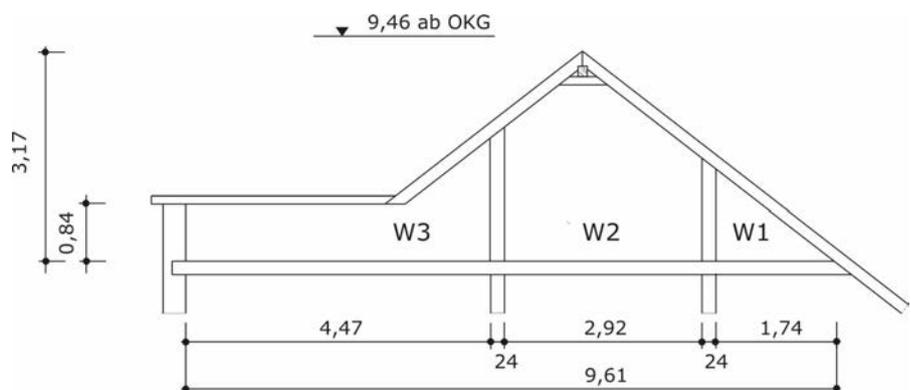
Porenbeton-Plansteine PP4-0,60

Dünnbettmörtel

- Abmessungen

Wanddicke  $t = 0,175$  m

Wandlänge  $l = 9,61$  m



#### Gesucht:

Standsicherheitsnachweis als nichttragende Außenwand für eine Schale

- Bedingungen für den Verzicht auf einen statischen Nachweis
- Nachweis der Ausfachungsflächen

#### Berechnungsgang:

Auf die Überprüfung der allgemeinen Anwendungsbedingungen für die vereinfachte Berechnung und Nachweisführung wird hier verzichtet.

#### a) Bedingungen für den Verzicht auf einen statischen Nachweis

Die Giebelwand liegt innerhalb des Doppelhauses, ist aber z.B. für einen vorübergehenden Zustand (Bauzustand) auf Wind senkrecht zur Wand nachzuweisen. Für die Musterberechnung wird angenommen, dass die Wand in vertikaler Richtung nur durch die Wandeigenlast beansprucht wird

Beispiel 3.5 Beispiel Giebelwände  
3.5.1 vertikal unbelastet

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

und die Dachlasten ausschließlich parallel zur Giebelwand abgetragen werden. Mit dieser Annahme kann beispielhaft der Nachweis als nichttragende Außenwand geführt werden.

Nach DIN EN 1996-3/NA ist bei vorwiegend windbelasteten, nichttragenden Ausfachungswänden kein gesonderter Nachweis erforderlich, wenn die folgenden Bedingungen eingehalten sind:

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI Anhang NA.C

- Halterung der Wand

Die Wand wird am Ortgang (Dachschräge) durch die Dachkonstruktion, am Wandfuß durch den Ringbalken (parallel zu den Kahlbalken) und im Bereich der Gaube durch die Außenwand durchgehend gehalten.

=> Die Wand ist damit gemäß [16] als vierseitig gehalten einzustufen.

- Steifigkeit

Mit der Steindruckfestigkeitsklasse 4 ist der Mindestwert eingehalten.

- Mörtelgruppe

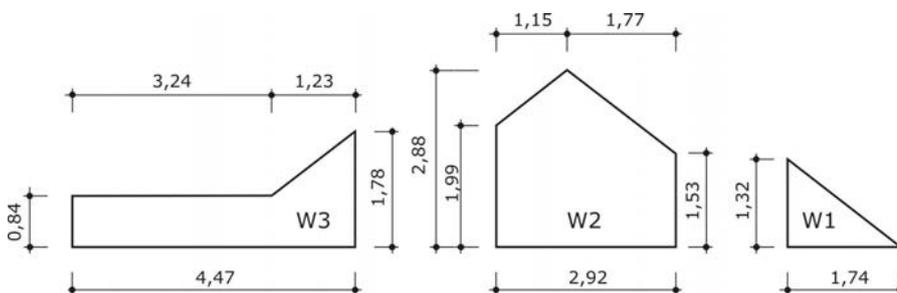
Entsprechend [16] wird Dünnbettmörtel verwendet.

- Ausfachungsfläche

Die Einhaltung der zulässigen Ausfachungsflächen wird unter Punkt b) gezeigt.

#### b) Nachweis der Ausfachungsflächen

- Vorhandene Ausfachungsflächen



Die Giebelwand ist durch die zwei Treppenhauswände ausgesteift und kann somit in drei Teilflächen W1, W2 und W3 unterteilt werden, die getrennt nachgewiesen werden.

Die zulässigen Ausfachungsflächen in DIN EN 1996-3/NA – Tabelle NA.C.1 gelten für nichttragende Ausfachungswände mit rechteckiger Fläche. Näherungsweise werden die Teilflächen in flächengleiche Rechtecke gleicher Länge umgerechnet. Dadurch ergibt sich ein un-

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.5 Beispiel Giebelwände  
3.5.1 vertikal unbelastet

günstigeres Seitenverhältnis  $h_i / l_i$  und der Nachweis liegt auf der sicheren Seite.

*Teilfläche W1*

Wandlänge

$$l_1 = 1,74 \text{ m}$$

Ausfachungsfläche

$$A_{\text{vorh, W1}} = 1,74 \cdot 1,32 / 2 = 1,15 \text{ m}^2$$

mittlere Wandhöhe

$$h_1 = 1,15 / 1,74 = 0,66 \text{ m}$$

Seitenverhältnis

$$h_1 / l_1 = 0,66 / 1,74 = 0,38 < 0,5$$

*Teilfläche W2*

Wandlänge

$$l_2 = 2,92 \text{ m}$$

Ausfachungsfläche

$$A_{\text{vorh, W2}} = 1,77 \cdot (1,53 + 2,88) / 2 + 1,15 \cdot (1,99 + 2,88) / 2 = 6,70 \text{ m}^2$$

mittlere Wandhöhe

$$h_2 = 6,70 / 2,92 = 2,29 \text{ m}$$

Seitenverhältnis

$$h_2 / l_2 = 2,29 / 2,92 = 0,78 > 0,5$$

*Teilfläche W3*

Wandlänge

$$l_3 = 4,47 \text{ m}$$

Ausfachungsfläche

$$A_{\text{vorh, W3}} = 1,23 \cdot (1,78 + 0,84) / 2 + 3,24 \cdot 0,84 = 4,33 \text{ m}^2$$

mittlere Wandhöhe

$$h_3 = 4,33 / 4,47 = 0,97 \text{ m}$$

Beispiel 3.5 Beispiel Giebelwände  
3.5.1 vertikal unbelastet

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Seitenverhältnis

$$h_3 / l_3 = 0,97 / 4,47 = 0,22 < 0,5$$

- zulässige Ausfachungsfläche

Höhe über Gelände

$$\max H = 9,46 \text{ m};$$

Mittel von First- und Traufhöhe

$$H = (9,46 + 4,58) / 2 = 7,02 \text{ m}$$

Für die Einstufung ist die Gebäudehöhe  $H = 7,02 \text{ m}$  maßgebend.

Wanddicke

$$t = 175 \text{ mm}$$

Teilfläche W1

$$A_{\text{zul}, W1} = 14 \text{ m}^2 \quad (H \leq 8 \text{ m})$$

Teilfläche W2

Da  $0,5 < h_2 / l_2 = 0,78 < 1,0$  gilt, dürfen die größten zulässigen Werte der Ausfachungsflächen geradlinig interpoliert werden.

$$A_{\text{zul}, W2,1} = 14 + (20 - 14) \frac{0,78 - 0,5}{1,0 - 0,5} = 17,36 \text{ m}^2 \quad (H \leq 8 \text{ m})$$

Teilfläche W3

$$A_{\text{zul}, W3} = 14 \text{ m}^2 \quad (H \leq 8 \text{ m})$$

- Nachweise

$$\underline{A_{\text{vorh}, W1} = 1,15 \text{ m}^2 < A_{\text{zul}, W1} = 14 \text{ m}^2}$$

$$\underline{A_{\text{vorh}, W2} = 6,70 \text{ m}^2 < A_{\text{zul}, W2} = 16,96 \text{ m}^2}$$

$$\underline{A_{\text{vorh}, W3} = 4,33 \text{ m}^2 < A_{\text{zul}, W3} = 14 \text{ m}^2}$$

Der zulässige Höchstwert der Ausfachungsfläche ist für alle drei Teilflächen eingehalten. Die unbelastete Giebelwand im Studio mit den gewählten Baustoffen und Abmessungen ist damit nachgewiesen.

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tabelle NA.C.1

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.5 Beispiel Giebelwände  
3.5.2 belastet

Vereinfachtes Verfahren nach DIN EN 1996-3:2010-12 [15] und DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] sowie genaueres Verfahren nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] und DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]

#### Gegeben:

Zweischalige Giebelwand im Studio und Dachgeschoss

- Baustoffe

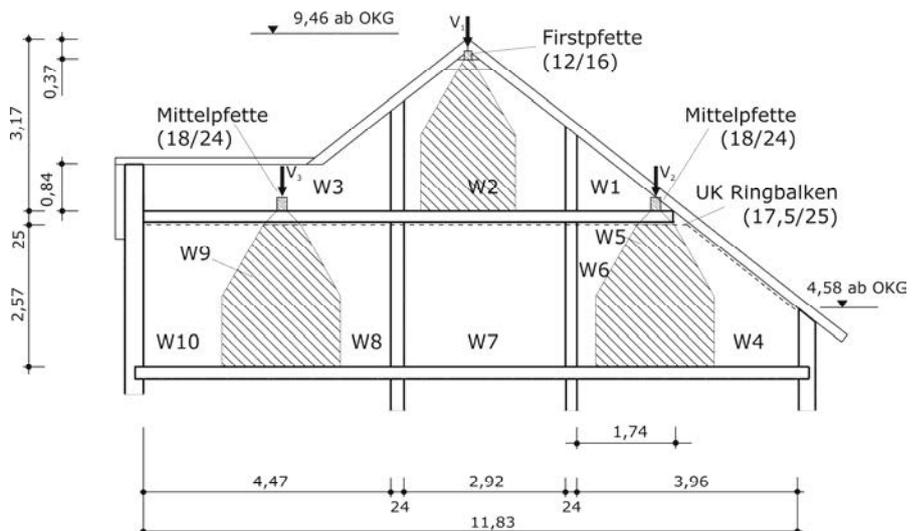
Porenbeton-Plansteine PP4-0,60

Dünnbettmörtel

- Abmessungen

Wanddicke  $t = 0,175 \text{ m}$

Wandlänge  $l = 11,83 \text{ m}$



- Belastung infolge Pfettenlasten

Lastfall g

Lastfall q

$V_{1k,g} = 11,09 \text{ kN}$

$V_{1k,q} = 4,20 \text{ kN}$

$V_{2k,g} = 4,22 \text{ kN}$

$V_{2k,q} = 4,82 \text{ kN}$

$V_{3k,g} = 8,18 \text{ kN}$

$V_{3k,q} = 6,51 \text{ kN}$

Die Giebelwand wird im Bereich des Studios durch die Firstpfette und im Dachgeschoss durch die Mittelpfetten der Dachkonstruktion belastet. Unterhalb der Mittelpfetten ist ein Ringbalken (17,5 / 25 cm) aus Stahlbeton

Beispiel	3.5	Beispiel Giebelwände
	3.5.2	belastet

Projekt: Doppelhaus in Hövelhof
------------------------------------

angeordnet. Die Giebelwand wird durch zwei Treppenhauswände aussteift.

Die Wand im Dachgeschoss ist durch den Ringbalken unterhalb der Mittelpfetten horizontal gehalten und wird nach dem vereinfachten Verfahren nachgewiesen.

Für die Wand im Bereich des Studios erfolgt der Nachweis nach dem genaueren Berechnungsverfahren.

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – NCI zu 4.2.1.1, (NA.6)

#### **Gesucht:**

Standsicherheitsnachweise

- Nachweis der unbelasteten Wandabschnitte (W1, W3, W4, W6, W8 und W10) als Bauteil „nichttragende Außenwand“ nach DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – NCI Anhang NA.C
- vereinfachter Nachweis der belasteten Wandabschnitte W5, W7 und W9 nach DIN EN 1996-3:2010-12 [15] – 4.2
- genauerer Nachweis des belasteten Wandabschnitts W2 nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] – 6.1.2

#### **Berechnungsgang:**

Auf die Überprüfung der allgemeinen Anwendungsbedingungen für die vereinfachte Berechnung und Nachweisführung wird hier verzichtet.

#### **a) Nachweis der unbelasteten Wandabschnitte (W1, W3, W4, W6, W8 und W10) als Bauteil „nichttragende Außenwand“**

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – NCI Anhang NA.C

Für die Wandabschnitte W1 und W3 wurde der Nachweis bereits im Kapitel 3.5.1 erbracht.

Nach DIN EN 1996-3/NA ist bei vorwiegend windbelasteten, nichttragenden Ausfachungswänden kein gesonderter Nachweis erforderlich, wenn die folgenden Bedingungen eingehalten sind:

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – NCI Anhang NA.C

- Halterung der Wand

Die Wandabschnitte sind am Ortgang (Dachschräge) durch die Dachkonstruktion, am Wandkopf durch den Ringbalken (parallel zu den Kehlbalken), am Wandfuß durch die Stahlbetondecke und seitlich durch die Treppenhauswände bzw. die Außenwand gehalten. Die Wandbereiche W5 und W9 mit erhöhter Auflast werden ebenfalls als seitliche Halterung für die unbelasteten Wandabschnitte angesehen.

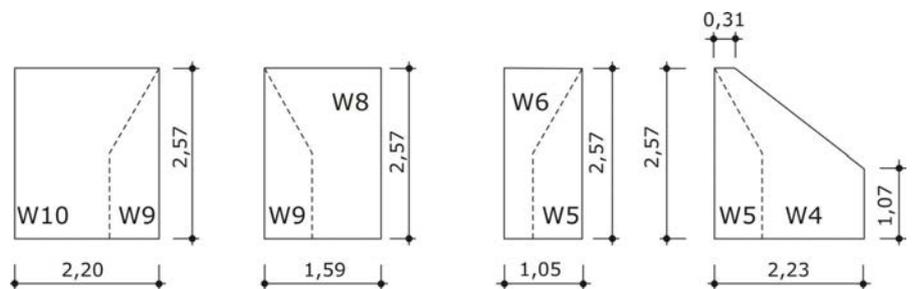
### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.5 Beispiel Giebelwände  
3.5.2 belastet

=> Die Wand ist damit gemäß [16] als vierseitig gehalten einzustufen.

- Steinfestigkeit  
Mit der Steindruckfestigkeitsklasse 4 ist der Mindestwert eingehalten.
- Mörtelgruppe  
Entsprechend [16] wird Dünnbettmörtel verwendet.
- Vorhandene Ausfachungsflächen



DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tabelle NA.C.1

*Teilfläche W4*

Wandlänge

$$l_4 = 2,23 \text{ m}$$

Ausfachungsfläche (vereinfachend wird die gesamte Fläche neben der Mittelpfette angesetzt)

$$A_{\text{vorh, W4}} = 2,23 \cdot (1,07 + 2,57) / 2 = 4,06 \text{ m}^2$$

mittlere Wandhöhe

$$h_4 = 4,06 / 2,23 = 1,82 \text{ m}$$

Seitenverhältnis

$$h_4 / l_4 = 1,82 / 2,23 = 0,82 > 0,5$$

*Teilfläche W6*

Wandlänge

$$l_6 = 1,05 \text{ m}$$

Wandhöhe

$$h_6 = 2,57 \text{ m}$$

Ausfachungsfläche (vereinfachend wird die gesamte Fläche neben der Mittelpfette angesetzt)

Beispiel 3.5 Beispiel Giebelwände  
3.5.2 belastet

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

$$A_{\text{vorh, W6}} = 1,05 \cdot 2,57 = 2,70 \text{ m}^2$$

Seitenverhältnis

$$h_6 / l_6 = 2,57 / 1,05 = 2,45 > 2,0$$

*Teilfläche W8*

Wandlänge

$$l_8 = 1,59 \text{ m}$$

Wandhöhe

$$h_8 = 2,57 \text{ m}$$

Ausfachungsfläche (vereinfachend wird die gesamte Fläche neben der Mittelfette angesetzt)

$$A_{\text{vorh, W8}} = 1,59 \cdot 2,57 = 4,09 \text{ m}^2$$

Seitenverhältnis

$$h_8 / l_8 = 2,57 / 1,59 = 1,62 < 2,0$$

*Teilfläche W10*

Wandlänge

$$l_{10} = 2,20 \text{ m}$$

Wandhöhe

$$h_{10} = 2,57 \text{ m}$$

Ausfachungsfläche (vereinfachend wird die gesamte Fläche neben der Mittelfette angesetzt)

$$A_{\text{vorh, W10}} = 2,20 \cdot 2,57 = 5,65 \text{ m}^2$$

Seitenverhältnis

$$h_8 / l_8 = 2,57 / 2,20 = 1,17 < 2,0$$

- zulässige Ausfachungsfläche

Höhe über Gelände (Gebäudehöhe)

$$H = (9,46 + 4,58) / 2 = 7,02 \text{ m} < 8 \text{ m}$$

Wanddicke

$$t = 175 \text{ mm}$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.1.1, (NA.2), erster  
Anstrich. Gebäudehöhe bei ge-  
neigten Dächern Mittel von First-  
und Traufhöhe

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.5 Beispiel Giebelwände  
3.5.2 belastet

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tabelle NA.C.1

Für die Einstufung in die Tabelle  
NA.C.1 von DIN EN 1996-  
3/NA:2012-01 [16] – NCI zu  
4.2.1.1 wird die Gebäudehöhe  
nach (NA.2); erster Anstrich ver-  
wendet

#### Teilfläche W4

Da  $0,5 < h_4 / l_4 = 0,82 < 1,0$  gilt, dürfen die größten zulässigen Werte der Ausfachungsflächen geradlinig interpoliert werden.

$$A_{zul,W4} = 14 + (20 - 14) \frac{0,82 - 0,5}{1,0 - 0,5} = 17,84 \text{ m}^2 \quad (H \leq 8 \text{ m})$$

#### Teilfläche W6

$$A_{zul,W6} = 14 \text{ m}^2 \quad (H \leq 8 \text{ m})$$

#### Teilfläche W8

Da  $1,0 < h_8 / l_8 = 1,62 < 2,0$  gilt, dürfen die größten zulässigen Werte der Ausfachungsflächen geradlinig interpoliert werden.

$$A_{zul,W8} = 14 + (20 - 14) \frac{2,0 - 1,62}{2,0 - 1,0} = 16,28 \text{ m}^2 \quad (H \leq 8 \text{ m})$$

#### Teilfläche W10

Da  $1,0 < h_{10} / l_{10} = 1,17 < 2,0$  gilt, dürfen die größten zulässigen Werte der Ausfachungsflächen geradlinig interpoliert werden.

$$A_{zul,W10} = 14 + (20 - 14) \frac{2,0 - 1,17}{2,0 - 1,0} = 18,98 \text{ m}^2 \quad (H \leq 8 \text{ m})$$

- Nachweise

$$\underline{A_{vorh,W4} = 4,06 \text{ m}^2 < A_{zul,W4} = 17,84 \text{ m}^2}$$

$$\underline{A_{vorh,W6} = 2,70 \text{ m}^2 < A_{zul,W6} = 14,00 \text{ m}^2}$$

$$\underline{A_{vorh,W8} = 4,09 \text{ m}^2 < A_{zul,W8} = 16,28 \text{ m}^2}$$

$$\underline{A_{vorh,W10} = 5,65 \text{ m}^2 < A_{zul,W10} = 18,98 \text{ m}^2}$$

Der zulässige Größtwert der Ausfachungsfläche ist für alle vier Teilflächen eingehalten.

#### b) vereinfachter Nachweis der belasteten Wandabschnitte W5, W7 und W9

- Überprüfen der Voraussetzungen  
Gebäudehöhe über Gelände

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.1.1

Beispiel	3.5	Beispiel Giebelwände
	3.5.2	belastet

Projekt: Doppelhaus in Hövelhof
------------------------------------

$$H = (9,46 + 4,58) / 2 = 7,02 \text{ m} < 20,00 \text{ m zulässig}$$

Wanddicke

Außenwand  $t = 175 \text{ mm}$  nach Tabelle NA.2, Zeile 5

lichte Wandhöhe

$$h = 2,57 \text{ m} < 2,75 \text{ m zulässig}$$

Die Wand ist am Wandkopf über einen Ringbalken und am Wandfuß über die Stahlbetondecke bzw. einen Ringbalken (Treppenhaus) ausreichend horizontal gehalten.

Die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens sind damit eingehalten.

- Nachweis der Teilflächenbelastung

Die Wandabschnitte W5 und W9 erhalten konzentrierte Lasten  $V_2$  und  $V_3$  aus den Mittelpfetten. Der Nachweis der Teilflächenbelastung ist in Kapitel 3.10.2 für den Wandabschnitt W5 dargestellt. Die Auslastung beträgt 7 %, sodass auch der Nachweis für  $V_3 < 2 \cdot V_2$  erfüllt ist.

- Lotrechte Lasten und Normalkräfte

Für die Ermittlung des maßgebenden Wandabschnitts werden die auf die Länge des Wandabschnitts bezogenen Normalkräfte am Wandfuß betrachtet.

*Wandabschnitt W5 (Last  $V_2$  aus Mittelpfette und Eigenlast Wand, s. Tabelle 4)*

$$l_{W5} = 0,18 + 2 \cdot 0,25 + 2 \cdot 2,57/2 \cdot \cot 60^\circ = 2,16 \text{ m}$$

$$n_{Eod,W5,V2} = (1,35 \cdot 4,22 + 1,5 \cdot 4,82) / 2,16 = 5,97 \text{ kN/m}$$

$$n_{Eod,W5,gk} = 1,35 \cdot (1,27 \cdot (2,57 + 0,90 / 2) + 0,175 \cdot 0,25 \cdot 25) \cdot \\ = 6,65 \text{ kN/m}$$

$$n_{Eod,W5} = 5,97 + 6,65 = 12,62 \text{ kN/m}$$

*Wandabschnitt W7 (Last  $V_1$  aus Firstpfette und Eigenlast Wand, s. Tabelle 4)*

$$l_{W7} = l_{W2} = 0,16 + 2 \cdot (3,17 - 0,37)/2 \cdot \cot 60^\circ = 1,74 \text{ m}$$

$$n_{Eod,W2,V1} = (1,35 \cdot 11,09 + 1,5 \cdot 4,20) / 1,74 = 12,23 \text{ kN/m}$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – NCI zu 4.2.1.1, (NA,2): Gebäudehöhe bei geneigten Dächern Mittel von First- und Traufhöhe

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] – 4.2.1.1 (1)

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – NCI zu 4.3, Verweis auf

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] – 6.1.3 sowie NCI zu 6.1.3 nach DIN EN 1996-1-1/NA: 2012-05 [10]

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] – 6.1.3 (5) – Nachweis in halber Wandhöhe

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] – 6.1.3, Bild 6.2 Lastverteilungswinkel im Mauerwerk  $60^\circ$ , im Stahlbetonringanker  $45^\circ$

Dreieck W1 näherungsweise als gleichhoher Wandstreifen mit  $h_{W1} = 0,90/2 \text{ m}$  gerechnet

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.5 Beispiel Giebelwände  
3.5.2 belastet

Dreieck W1 näherungsweise als gleich hoher Wandstreifen mit  $h_{W1} = 0,90/2$  m gerechnet

$$n_{Eod,W2,gk} = 1,35 \cdot 1,27 \cdot 2,80 = 4,80 \text{ kN/m}$$

$$n_{Eod,W7,gk} = 1,35 \cdot (1,27 \cdot 2,57 + 0,175 \cdot 0,25 \cdot 25) = 5,88 \text{ kN/m}$$

$$n_{Eod,W7} = 12,23 + 4,80 + 5,88 = 22,91 \text{ kN/m}$$

Wandabschnitt W9 (Last  $V_3$  aus Mittelpfette, Eigenlast Wand aus Tabelle 4 und Last aus Gaubenfirstpfette)

$$l_{W9} = l_{W5} = 2,16 \text{ m}$$

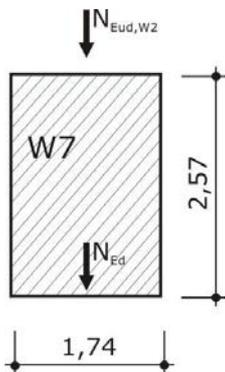
$$n_{Eod,W9,V3} = (1,35 \cdot 8,18 + 1,5 \cdot 6,51) / 2,16 = 9,63 \text{ kN/m}$$

$$n_{Eod,W9,gk} = 1,35 \cdot (1,27 \cdot (0,84 + 2,57) + 0,175 \cdot 0,25 \cdot 25) = 7,32 \text{ kN/m}$$

$$n_{Eod,W9,Gaubek} = 3,89 \text{ kN/m}$$

$$n_{Eod,W9} = 9,63 + 7,32 + 3,89 = 20,84 \text{ kN/m}$$

=> Wandabschnitt W7 ist maßgebend



- Nachweis für Wandabschnitt W7

Bemessungswert der Normalkraft am Wandfuß

$$N_{Ed} = N_{Eud,W2} + 1,35 \cdot g_k \cdot l_{W7} \cdot h$$

$$N_{Ed} = 12,23 \cdot 1,74 + 1,35 \cdot (1,27 \cdot (2,57 + 2,80) + 0,175 \cdot 0,25 \cdot 25) \cdot 1,74 = 39,87 \text{ kN}$$

Schlankheit

Die Wand wird auf der sicheren Seite liegend als zweiseitig gehalten betrachtet (oben – Ringbalken; unten – Decke über EG).

keine flächig aufgelagerte Decke (da Treppenaugie)

=> Abminderungsfaktor der Knicklänge  $\rho_2 = 1,0$

Knicklänge

$$h_{ef} = 1,0 \cdot 2,57 = 2,57 \text{ m}$$

Schlankheit

$$h_{ef} / t = 2,57 / 0,175 = 14,7 < 27$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – NCI zu 4.2.1.1, (NA.3) – Windlast braucht nicht gesondert berücksichtigt zu werden.

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – NCI zu 4.2.2.4

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – Gl. (NA.5)

<b>Beispiel</b> <b>3.5</b> <b>Beispiel Giebelwände</b> <b>3.5.2</b> <b>belastet</b>
--

<b>Projekt:</b> <b>Doppelhaus in Hövelhof</b>
--

*Abminderungsbeiwert*

Zentrierung der Last infolge des Ringbalkens

$$\Phi_1 = 1,0$$

$$\Phi_2 = 0,85 - 0,0011 \cdot 14,7^2 = 0,61$$

$$\Rightarrow \Phi = 0,61$$

Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand

$$A = 0,175 \cdot 1,736 = 0,30 \text{ m}^2$$

Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung „kurzer Wände“ = 1,0 (Wand mit  $A > 0,1 \text{ m}^2$ )

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = 3,0 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 3,0 / 1,5 = 1,7 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft

$$N_{Rd} = 0,61 \cdot 1,7 \cdot 10^3 \cdot 0,30 = 311,1 \text{ kN}$$

Nachweis

$$N_{Ed} = 39,87 \text{ kN} < N_{Rd} = 311,1 \text{ kN}$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – NCI zu 4.2.2.3

(NA.4) trifft hier nicht zu, da kein Deckenaufleger

Gl. (NA.4)

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] – 4.2.2.2

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – NCI zu 4.2.2.2, (NA.3)

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – Tab. NA.1, Zeile A

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – NCI zu 4.2.2.2, (NA.2)

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – Tab. NA.D.9

**c) genauerer Nachweis des belasteten Wandabschnitts W2**

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] – 6.1.2

- Nachweis der Teilflächenbelastung am Kopf

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] – 6.1.3

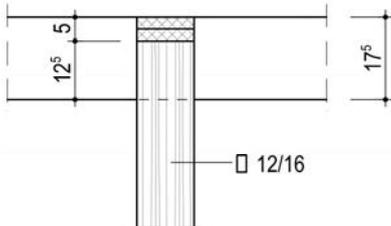
Unter bestimmten Bedingungen kann eine Erhöhung der Festigkeit beim Nachweis der Teilflächenbelastung angesetzt werden, da ein zweiachsiger Spannungszustand vorliegt.

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.5 Beispiel Giebelwände  
3.5.2 belastet

MBO [26] § 30, Abs. (3), Pkt. 3 in Verbindung mit (7), Satz 3 bzw. konkrete Festlegung gem. zutreffender LBO



Draufsicht (Auflagerung der Pfette mit Anordnung der Brandschutzplatten)

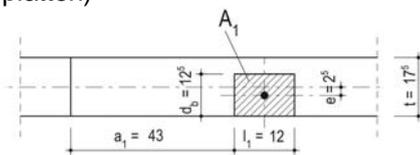


Bild (NA.2) nach DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10] – NCI zu 6.1.3 (NA.8)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10] – NCI zu 6.1.3 (NA.8)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10] – NCI zu 6.1.3 (NA.8)

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] – 6.1.3

Nachfolgend wird der Nachweis der Teilflächenpressung für den Fall geführt, dass die Pfette in der Giebelspitze direkt auf dem Mauerwerk aufgelegt wird.

Anmerkung

Bei der konstruktiven Durchbildung des Pfettenauflegers ist der bauliche Brandschutz zu beachten (F 30 von innen nach außen und F 90 von außen nach innen, Gebäudeklasse 2).

Belastete Fläche

$$l_1 = b_{Pf} = 0,12 \text{ m}$$

$$t = 0,175 \text{ m}$$

$$d_b = a_{Pf} = 0,125 \text{ m}$$

$$A_b = l_1 \cdot d_b = 0,12 \cdot 0,125 = 0,015 \text{ m}^2$$

maximale Auflast

$$V_{1d} = 1,35 \cdot 11,09 + 1,5 \cdot 4,20 = 21,27 \text{ kN}$$

Lastausmitte

$$e = (17,5/2 - 12,5/2) = 2,5 \text{ cm} \leq t / 6 = 2,9 \text{ cm}$$

Erhöhungsfaktor bei Teilflächenlasten

$$a_1 = 0,43 \text{ m} > 3 \cdot l_1 = 3 \cdot 0,12 = 0,36 \text{ m}$$

Da der Randabstand größer als  $3 \cdot l_1$  ist, darf Gl. (6.11) nach DIN EN 1996-1-1 angewendet werden.

$$A_b = 0,015 \text{ m}^2 < 2 \cdot t^2 = 2 \cdot 0,175^2 = 0,061 \text{ m}^2$$

$$l_{efm} = l_1 + 2 \cdot h_c / 2 \cdot \cot 60^\circ = 0,12 + 2 \cdot 2,57/2 \cdot 0,577 = 1,60 \text{ m}$$

$$A_{ef} = l_{efm} \cdot t = 1,60 \cdot 0,175 = 0,28 \text{ m}^2$$

$$A_b / A_{ef} = 0,061 / 0,28 = 0,21 < 0,45 \text{ zulässig}$$

$$\beta_t = \left( 1 + 0,1 \frac{a_1}{h_c} \right) \left( 1,5 - 1,1 \frac{A_b}{A_{ef}} \right) = \left( 1 + 0,1 \frac{0,43}{1,60} \right) (1,5 - 1,1 \cdot 0,21) = 1,30$$

$$\beta_t = 1,30 \left\{ \begin{array}{l} > 1,0 \\ \leq 1,25 + \frac{a_1}{2 \cdot h_c} = 1,25 + \frac{0,43}{2 \cdot 1,60} = 1,38 \\ \leq 1,5 \end{array} \right.$$

Beispiel 3.5 Beispiel Giebelwände  
3.5.2 belastet

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Bemessungswert des Tragwiderstandes

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Steinfestigkeit

$$f_{st} = 5,0 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.3

Druckfestigkeit des Mörtels

$$f_m = 10,0 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.2

Parameter

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.10

$$K = 0,9$$

$$\alpha = 0,75$$

$$\beta = 0$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = K \cdot f_{st}^\alpha \cdot f_m^\beta = 0,9 \cdot 5,0^{0,75} \cdot 10,0^0 = 3,01 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
3.6.1.2

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 3,01 / 1,5 = 1,70 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NDP zu 3.6.1.2

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft

$$N_{Rdc} = \beta_t \cdot A_b \cdot f_d = 1,30 \cdot 0,015 \cdot 1,70 \cdot 10^3 = 33,15 \text{ kN}$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
Gl. (6.10)

Nachweis

$$\underline{N_{Edc} = V_{1d} = 21,27 \text{ kN} < N_{Rdc} = 33,15 \text{ kN}}$$

- Nachweis auf exzentrische Normalkraftbeanspruchung

*Lotrechte Lasten und Normalkräfte*

Eigenlast der Wand (siehe Tabelle 4)

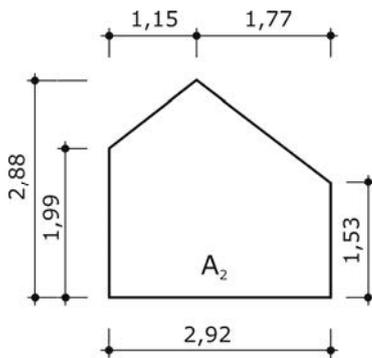
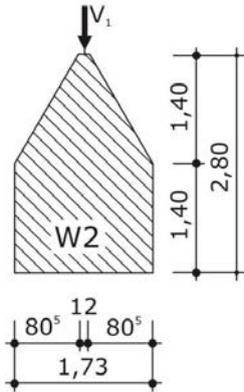
$$g_k = 1,27 \text{ kN/m}^2$$

Es werden nachfolgend die Fälle min  $N_{Ed}$  und max  $N_{Ed}$  untersucht, da vorab nicht abschätzbar ist, ob die Biegemomente infolge Winds oder die lotrechte Belastung die Ausnutzung der Wand dominieren.

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.5 Beispiel Giebelwände  
3.5.2 belastet



DIN EN 1991-1-4:2010-12 [5] – 7.2.1 (1) sowie DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12 [6], NDP zu 7.2.1 (1)

DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12 [6], NDP zu 7.2.2 (2), Tab. NA.1

Wandkopf

$$N_{oEd,min} = 1,00 \cdot V_{1k,g} = 1,00 \cdot 11,09 = 11,09 \text{ kN}$$

$$N_{oEd,max} = 1,35 \cdot V_{1k,g} + 1,50 \cdot V_{1k,q} = 1,35 \cdot 11,09 + 1,50 \cdot 4,20 = 21,27 \text{ kN}$$

Wandmitte

$$N_{mEd,min} = 11,09 + 1,00 \cdot 1,27 \cdot 1,40 \cdot (1,73 + 0,12) / 2 = 12,74 \text{ kN}$$

$$N_{mEd,max} = 21,27 + 1,35 \cdot 1,27 \cdot 1,40 \cdot (1,73 + 0,12) / 2 = 23,50 \text{ kN}$$

Wandfuß

$$N_{uEd,min} = 12,74 + 1,00 \cdot 1,27 \cdot 1,40 \cdot 1,74 = 15,83 \text{ kN}$$

$$N_{uEd,max} = 23,50 + 1,35 \cdot 1,27 \cdot 1,40 \cdot 1,74 = 27,67 \text{ kN}$$

Waagerechte Lasten

Halterung der Wandabschnitte

Die Wandabschnitte in der Dachspitze sind am Ortgang (Dachschräge) durch die Dachkonstruktion, am Wandfuß durch die Decke über dem Dachgeschoß und die vertikalen Ränder durch die Treppenhäuswände durchgehend gehalten.

Windangriffsfläche

$$A_2 = 1,77 \cdot (1,53 + 2,88) / 2 + 1,15 \cdot (1,99 + 2,88) / 2 = 6,70 \text{ m}^2$$

Da  $1 \text{ m}^2 < A_2 < 10 \text{ m}^2$  gilt, ergibt sich der Außendruckbeiwert  $c_{pe}$  zu

$$c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \cdot \log A_2$$

Druckbeiwerte

$$h/d = 9,46 / 6,12 = 1,55;$$

Spalte D

$$c_{pe,1} = 1,0$$

$$c_{pe,10} = 0,8$$

$$c_{pe} = 1,0 - (1,0 - 0,8) \cdot \log_{10} 6,7 = 0,835$$

Spalte E

$$c_{pe,1} = -0,53$$

Beispiel	3.5	Beispiel Giebelwände
	3.5.2	belastet

Projekt: Doppelhaus in Hövelhof
------------------------------------

$$c_{pe,10} = -0,53$$

$$c_{pe} = -0,53$$

Geschwindigkeitsstaudruck

$$q_p = 0,5 \text{ kN/m}^2 \text{ (} h \leq 10 \text{ m, Windzone 1, Bauwerkshöhe } < 25 \text{ m)}$$

DIN EN 1991-1-4:2010-12 [5] – 7.2.1 (1) sowie DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12 [6], Tab. NA.B.3

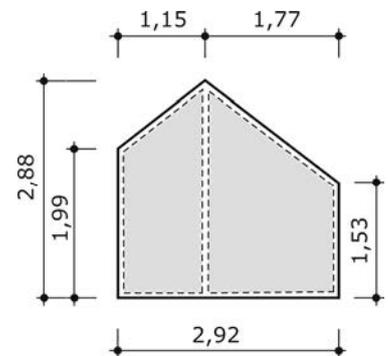
Windbelastung für Wandabschnitt W2

Für die Ermittlung der Windbelastung des Wandabschnitts W2 wird angenommen, dass die umlaufenden Ränder der Windangriffsfläche gleichmäßig am Lastabtrag beteiligt sind.

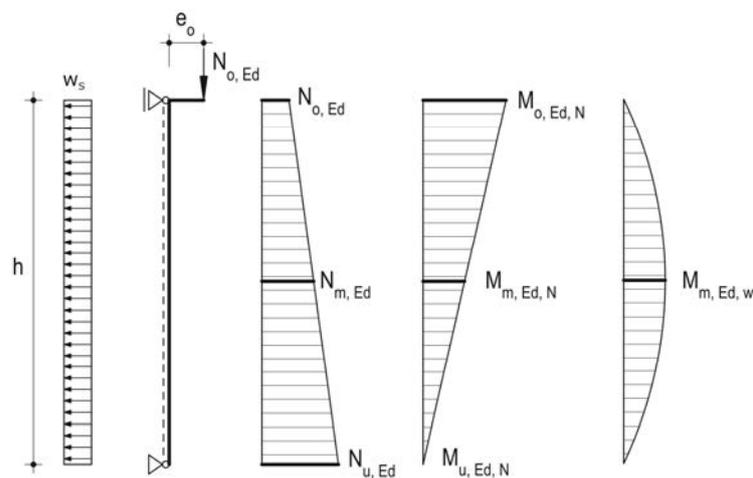
$$l = 1,53 + 2,92 + 1,99 + 2,92 / \cos 38^\circ + 2 \cdot 2,88 = 15,91 \text{ m}$$

$$w_{Dk} = c_{pe} \cdot q_p \cdot A_2 / l \cdot 2 = 0,835 \cdot 0,5 \cdot 6,7 / 15,91 \cdot 2 = 0,35 \text{ kN/m}$$

$$w_{Sk} = c_{pe} \cdot q_p \cdot A_2 / l \cdot 2 = 0,55 \cdot 0,5 \cdot 6,7 / 15,91 \cdot 2 = 0,23 \text{ kN/m}$$



*Biegemomente und Lastfallkombinationen*



Windbe-  
lastung

Stati-  
sches  
System

Normal-  
kraft

Moment  
aus Ex-  
zentrizität  
Pfette

Moment  
aus Wind

Statisches System und Schnittkraftverläufe (dargestellt exzentrische Auflagerung der Pfette und Windsog)

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.5 Beispiel Giebelwände  
3.5.2 belastet

Biegemoment infolge Winddruck/Windsogs in halber Wandhöhe

$$M_{mEd,wD} = 1,50 \cdot 0,35 \cdot 2,8^2 / 8 = -0,52 \text{ kNm}$$

$$M_{mEd,wS} = 1,50 \cdot 0,23 \cdot 2,8^2 / 8 = 0,34 \text{ kNm}$$

⇒ Windsog maßgebend

Biegemoment aus exzentrischer Auflagerung der Mittelpfette

$$M_{o,EdP \text{ min}} = 11,09 \cdot 0,025 = 0,28 \text{ kNm}$$

$$M_{o,EdP \text{ max}} = 21,27 \cdot 0,025 = 0,53 \text{ kNm}$$

$$M_{m,EdP \text{ min}} = 0,28 \cdot 0,5 = 0,14 \text{ kNm}$$

$$M_{m,EdP \text{ max}} = 0,53 \cdot 0,5 = 0,27 \text{ kNm}$$

$$M_{u,EdP \text{ min}} = 0$$

$$M_{u,EdP \text{ max}} = 0$$

Die Schnittgrößenermittlung für die maßgebenden Lastfallkombinationen erfolgt auf der sicheren Seite liegend vereinfacht ohne Kombinationsbeiwerte.

Lastfallkombination 1 (min  $N_{Ed}$ )

$$N_{oEd} = 11,09 \text{ kN} \quad M_{oEd} = 0,28 \text{ kNm}$$

$$N_{mEd} = 12,74 \text{ kN} \quad M_{mEd} = 0,14 + 0,34 = 0,48 \text{ kNm}$$

$$N_{uEd} = 15,83 \text{ kN} \quad M_{uEd} = 0$$

Lastfallkombination 2 (max  $N_{Ed}$ )

$$N_{Eod} = 21,27 \text{ kN} \quad M_{Eod} = 0,53 \text{ kNm}$$

$$N_{Emd} = 23,50 \text{ kN} \quad M_{Emd} = 0,27 + 0,34 = 0,61 \text{ kNm}$$

$$N_{Eud} = 27,67 \text{ kN} \quad M_{Eud} = 0$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
6.1.2

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
5.5.1.2, (11) (ii) und Gl. (5.2)

*Nachweis in halber Wandhöhe (Knicksicherheitsnachweis)*

Knicklänge

$$\rho_2 = 1,0$$

$$h_{ef} = \rho_2 \cdot h = 1,0 \cdot 2,80 = 2,80 \text{ m}$$

Beispiel 3.5 Beispiel Giebelwände  
3.5.2 belastet

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

ungewollte Ausmitte

$$e_{\text{init}} = h_{\text{ef}} / 450 = 2,80 \cdot 10^3 / 450 = 6 \text{ mm}$$

Exzentrizität infolge der planmäßigen Biegemomente

$$\text{LFK1: } M_{\text{Emd}} / N_{\text{Emd}} = 0,48 \cdot 10^3 / 12,74 = 38 \text{ mm} < t / 3 = 58 \text{ mm}$$

$$\text{LFK2: } M_{\text{Emd}} / N_{\text{Emd}} = 0,61 \cdot 10^3 / 23,50 = 26 \text{ mm} < t / 3 = 58 \text{ mm}$$

=> die klaffende Fuge reicht nicht bis zum Schwerpunkt des Querschnitts

Ausmitte infolge der Lasten mit ungewollter Ausmitte

$$\text{LFK1: } e_m = 38 + 6 = 44 \text{ mm}$$

$$\text{LFK2: } e_m = 26 + 6 = 32 \text{ mm}$$

Schlankheit

$$h_{\text{ef}} / t = 2,80 / 0,175 = 16$$

Endkriechzahl

$$\phi_{\infty} = 0,5$$

Grenzschlankheit

$$\lambda_c = 20$$

$$h_{\text{ef}} / t = 16 < 20$$

=> Die Ausmitte infolge Kriechens darf zu  $e_k = 0$  gesetzt werden.

Gesamtausmitte

$$\text{LFK1: } e_{\text{mk}} = e_m = 44 \text{ mm} > 0,05 \cdot t = 0,05 \cdot 175 = 9 \text{ mm}$$

$$\text{LFK2: } e_{\text{mk}} = e_m = 32 \text{ mm} > 0,05 \cdot t = 0,05 \cdot 175 = 9 \text{ mm}$$

Abminderungsfaktor

$$\text{LFK1: } \Phi_m = 1 - 2 \cdot 44 / 175 = 0,50$$

$$\text{LFK2: } \Phi_m = 1 - 2 \cdot 32 / 175 = 0,63$$

Wandfläche

$$A = 0,175 \cdot 1,73 = 0,30 \text{ m}^2$$

Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung „kurzer Wände“ = 1,0 (Wand mit  $A > 0,1 \text{ m}^2$ )

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks (s.o.)

$$f_d = 1,70 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
5.5.1.1

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
Gl. (6.7)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.13

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.17

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
Gl. (6.6)

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
Gl. (6.4)

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.5 Beispiel Giebelwände  
3.5.2 belastet

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft

$$\text{LFK1: } N_{Rd} = 0,50 \cdot 1,70 \cdot 10^3 \cdot 0,30 = 255,0 \text{ kN}$$

$$\text{LFK2: } N_{Rd} = 0,63 \cdot 1,70 \cdot 10^3 \cdot 0,30 = 189,0 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\text{LFK1: } N_{Ed} = 12,74 \text{ kN} < N_{Rd} = 173,4 \text{ kN}$$

$$\text{LFK2: } N_{Ed} = 23,50 \text{ kN} < N_{Rd} = 234,6 \text{ kN}$$

Der Nachweis am Wandkopf wurde über die Teilflächenpressung erbracht. Der Nachweis am Wandfuß ist nicht maßgebend, da dort für die Ausmitte  $e_o = e_u = 0,05 \cdot t$  (Mindestausmitte) zu setzen ist.

<b>Beispiel</b>	<b>3.6</b>	<b>Beispiel Haustrennwände</b>
	<b>3.6.1</b>	<b>ohne aussteifende Querwände</b>

<b>Projekt:</b> <b>Doppelhaus in Hövelhof</b>
--

Vereinfachtes Verfahren nach DIN EN 1996-3:2010-12 [15] und DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16]

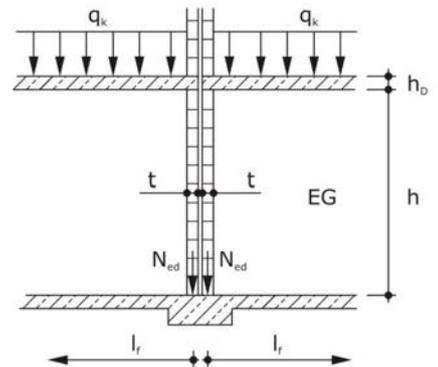
**Gegeben:**

Zweischalige Haustrennwand im Erdgeschoss

- Baustoffe
  - Porenbeton-Plansteine PP4-0,60
  - Dünnbettmörtel
- Abmessungen
 

Wanddicke	$t =$	0,175 m
Wandhöhe	$h =$	2,75 m
Wandlänge	$l =$	4,59 m
Deckenstützweite	$l_{r1} =$	5,80 m
	$l_{r2} =$	4,69 m (zweiachsig gespannt)
Deckendicke	$h_D =$	0,22 m
- Belastung
 

Nutzlast Decke	$q_k =$	2,75 kN/m <sup>2</sup>
Normalkraft Wandfuß	$N_{Ed} =$	219,0 kN (= 46,0 kN/m)



**Gesucht:**

Standsicherheitsnachweise

- a) Überprüfen der Voraussetzungen
- b) Schlankheit
- c) Abminderungsbeiwert
- d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

**Berechnungsgang:**

**a) Überprüfen der Voraussetzungen**

- Gebäudehöhe über Gelände  
 $H = 9,46 \text{ m} < 20,00 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.1.1

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.6 Beispiel Haustrennwände  
3.6.1 ohne aussteifende Querwände

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
5.3.2.2

- Stützweite der aufliegenden Decken (Bild 12)  
 $l_f = 0,175 / 2 + 5,61 + 0,22 / 2 = 5,81 \text{ m} < 6,00 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Wanddicke  
Zweischalige Haustrennwand  $t = 175 \text{ mm}$  nach [16] Tabelle NA.2, Zeile 5  $\Rightarrow$  zulässig
- lichte Wandhöhe  
 $h = 2,75 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Nutzlast  
 $q_k = 2,75 \text{ kN/m}^2 < 5 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow$  zulässig

Die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens sind damit eingehalten.

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.4

#### b) Schlankheit

$$b = l = 4,59 < 30 \cdot 0,175 = 4,25 \text{ m}$$

$\Rightarrow$  Die Wand kann als vierseitig gehalten betrachtet werden.

Deckenauflagerung

$$a = t = 175 \text{ mm} \leq 175 \text{ mm}$$

$\Rightarrow$  Abminderungsfaktor der Knicklänge  $\rho_2 = 0,75$

Knicklänge

$$h_{\text{ef}} = \frac{1}{1 + \left( \alpha_4 \frac{\rho_2 h}{b} \right)^2} \rho_2 h = \frac{1}{1 + \left( 1,0 \frac{0,75 \cdot 2,75}{5,25} \right)^2} \cdot 0,75 \cdot 2,75 = 1,79$$

Schlankheit

$$h_{\text{ef}} / t = 1,79 / 0,175 = 10,23 < 27$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Gl. (NA.7)

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.5

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.3

#### c) Abminderungsbeiwert

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = 3,0 \text{ N/mm}^2 > 1,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\Phi_1 = 1,6 - 4,69 / 6 = 0,82 \leq 0,9$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.D.9

Gl. (NA.2) sowie (NA.4)

Bei zweiachsig gespannten Decken ist für  $l$  die kürzere der beiden Spannweiten einzusetzen.

Beispiel 3.6 Beispiel Haustrennwände  
3.6.1 ohne aussteifende Querwände

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

$$\Phi_2 = 0,85 - 0,0011 \cdot 10,23^2 = 0,73$$

$$\Rightarrow \Phi = 0,73$$

#### d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.2

Belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand

$$A = 0,175 \cdot 4,76 = 0,833 \text{ m}^2$$

Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung „kurzer Wände“ = 1,0 (Wand mit  $A > 0,1 \text{ m}^2$ )

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = 3,0 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 3,0 / 1,5 = 1,7 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft

$$N_{Rd} = 0,73 \cdot 1,7 \cdot 10^3 \cdot 0,833 = 1033,8 \text{ kN}$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.D.9

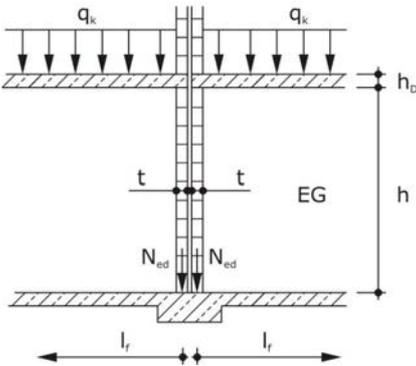
Nachweis

$$\underline{N_{Ed} = 219,0 \text{ kN} < N_{Rd} = 1033,8 \text{ kN}}$$

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

**Projekt:**  
**Doppelhaus in Hövelhof**

**Beispiel 3.6 Beispiel Haustrennwände**  
**3.6.2 mit aussteifenden Querwänden**



DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.2

Vereinfachtes Verfahren nach DIN EN 1996-3:2010-12 [15] und  
DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16]

#### **Gegeben:**

Zweischalige Haustrennwand im Erdgeschoss

- **Baustoffe**

Porenbeton-Plansteine PP4-0,55

Dünnbettmörtel

- **Abmessungen**

Wanddicke  $t = 0,115 \text{ m}$

Für die Musterberechnung wird abweichend von der tatsächlichen Wanddicke ( $t = 0,175 \text{ m}$ , siehe Beispiel 3.6.1) eine Ausführung mit  $t = 0,115 \text{ m}$  zugrunde gelegt, um den Berechnungsgang für diese Wände zu demonstrieren (Schallschutz wird hier außer Acht gelassen). Nach DIN EN 1996-3/NA [16] – Tabelle NA.2 dürfen zweischalige Haustrennwände mit Dicken  $115 \text{ mm} \leq t < 150 \text{ mm}$  mit dem vereinfachten Berechnungsverfahren nur nachgewiesen werden, wenn sie durch Querwände ausgesteift und bestimmte zusätzliche Bedingungen eingehalten sind.

Wandhöhe  $h = 2,75 \text{ m}$

Wandlänge  $l = 3,51 \text{ m}$

Deckenstützweite  $l_f = 2,65 \text{ m}$

Deckendicke  $h_D = 0,22 \text{ m}$

- **Belastung**

Nutzlast Decke  $q_k = 2,75 \text{ kN/m}^2$

Normalkraft Wandfuß  $N_{Ed} = 95,9 \text{ kN} (= 26,2 \text{ kN/m})$

#### **Gesucht:**

Standsicherheitsnachweise

a) Überprüfen der Voraussetzungen

b) Schlankheit

c) Abminderungsbeiwert

d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Beispiel 3.6 Beispiel Haustrennwände  
3.6.2 mit aussteifenden Querwänden

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

#### Berechnungsgang:

##### a) Überprüfen der Voraussetzungen

- Gebäudehöhe über Gelände  
 $H = 9,46 \text{ m} < 20,00 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Stützweite der aufliegenden Decken (Bild 12)  
 $l_f = 0,15 / 2 + 2,50 + 0,15 / 2 = 2,65 \text{ m} < 6,00 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Wanddicke  
Zweischalige Haustrennwand  $t = 115 \text{ mm} \Rightarrow$  zulässig
- lichte Wandhöhe  
 $h = 2,75 \text{ m} = 2,75 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Nutzlast  
 $q_k = 2,75 \text{ kN/m}^2 < 3 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow$  zulässig
- Geschossanzahl ohne ausgebautes Dachgeschoss  
 $n = 1 < n_{zul} = 2$
- Abstand der aussteifenden Querwände  
 $\max a = l = 3,40 + 0,5 \cdot (0,365 + 0,24) = 3,70 \text{ m} < 4,50 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Randabstand von einer Öffnung  
 $\Rightarrow$  Nicht maßgebend, da keine Öffnung vorhanden.

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.1.1

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
5.3.2.2

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.1.1, Tabelle NA.2,  
Zeile 3

Die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens sind damit eingehalten.

##### b) Schlankheit

$$b' = b = l = 3,51 > 30 \cdot 0,115 = 3,45 \text{ m}$$

$\Rightarrow$  Die Wand muss als zweiseitig gehalten betrachtet werden.

Deckenauflagerung

$$a = t = 115 \text{ mm} < 175 \text{ mm}$$

$\Rightarrow$  Abminderungsfaktor der Knicklänge  $\rho_2 = 0,75$

Knicklänge

$$h_{ef} = \rho_2 \cdot h = 0,75 \cdot 2,75 = 2,06 \text{ m}$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.4

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Gl. (NA.5)

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.6 Beispiel Haustrennwände  
3.6.2 mit aussteifenden Querwänden

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.5

Schlankheit

$$h_{ef} / t = 2,06 / 0,115 = 17,91 < 27 \Rightarrow \text{zulässig}$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.D.9

#### c) Abminderungsbeiwert

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = 3,0 \text{ N/mm}^2 > 1,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \Phi_1 = 1,6 - 2,65 / 6 = 1,16 > 0,9 \text{ (einachsig gespannte Decke)}$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.2.2.3, Gln. (NA.1) bis  
(NA.4)

$$\Phi_2 = 0,85 - 0,0011 \cdot 17,91^2 = 0,50$$

$$\Rightarrow \Phi = 0,50$$

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] –  
4.2.2.2

#### d) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand

$$A = 0,115 \cdot 3,66 = 0,420 \text{ m}^2$$

Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung „kurzer Wände“ = 1,0 (Wand mit  $A > 0,1 \text{ m}^2$ )

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = 3,0 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 3,0 / 1,5 = 1,7 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft

$$N_{Rd} = 0,50 \cdot 1,7 \cdot 10^3 \cdot 0,420 = 357,0 \text{ kN}$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.D.9

Nachweis

$$\underline{N_{Ed} = 95,9 \text{ kN} < N_{Rd} = 357,0 \text{ kN}}$$

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.1 mit geringer Erdanschüttung und hoher Auflast**  
**3.7.1.1 Lastabtrag der Wand einachsig (vertikal)**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**Berlin**

Vereinfachtes Verfahren nach DIN EN 1996-3:2010-12 [15] und DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16]

**Gegeben:**

Kelleraußenwand

- Baustoffe
  - Porenbeton-Plansteine PP4-0,55
  - Dünnbettmörtel
- Abmessungen
 

Wanddicke	t	=	0,365 m
Wandhöhe	h	=	2,57 m
Wandlänge	l	=	7,14 m
Deckendicke	h <sub>D</sub>	=	0,180 m
Stützenbreite	b <sub>St</sub>	=	0,169 m
Anschütthöhe	h <sub>e</sub>	=	1,52 m
- Belastung
 

Nutzlast Gelände	q <sub>k</sub>	=	5 kN/m <sup>2</sup>
Wandflächenlast	g <sub>k</sub>	=	2,49 kN/m <sup>2</sup>
Wichte Anschüttung	ρ <sub>e</sub>	=	18,0 kN/m <sup>3</sup>

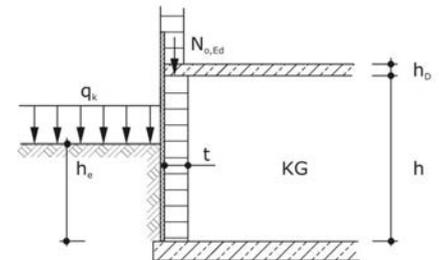
aktiver Erddruck

Normalkraft Wandkopf  
aus Einzelstütze

ständige Last	N <sub>st,gk</sub>	=	161,3 kN
veränderliche Last	N <sub>st,qk</sub>	=	51,3 kN/m

aus Kellerdecke / aufgehender Wand

ständige Last	N <sub>gk</sub>	=	25,9 kN/m
veränderliche Last	N <sub>qk</sub>	=	4,9 kN/m



$$g_k = 6,5 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,365 \text{ m} + 8,0 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,015 \text{ m}$$

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.1 mit geringer Erdanschüttung und hoher Auflast  
3.7.1.1 Lastabtrag der Wand einachsig (vertikal)

#### **Gesucht:**

Standsicherheitsnachweise

- a) Überprüfen der Voraussetzungen für die vereinfachte Berechnungsmethode
- b) Nachweis nach dem vereinfachten Verfahren gemäß DIN EN 1996-3:2010-12 [15] Gl. (4.11) und (4.12)

#### **Berechnungsgang:**

Als Beispiel für eine Kellerwand mit hoher Auflast und geringer Anschüttung wird der Wandabschnitt unterhalb der Einzelstütze aus dem Erdgeschoss untersucht. Die Anschütthöhe wird abweichend vom ausgeführten Objekt mit  $h_e = 1,52$  m (UK Kellerfenster) angenommen.

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] – 4.5

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – NCI zu 4.5

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] – 5.3.2.2

#### **a) Überprüfen der Voraussetzungen**

- Gebäudehöhe über Gelände  
 $H = 8,90 \text{ m} < 20,00 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Stützweite der aufliegenden Decken (Bild 5)  
 $l_f = 0,175 / 2 + 4,135 + 0,18 / 2 = 4,31 \text{ m} < 6,00 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Wanddicke  
Einschalige Außenwand  $t = 365 \text{ mm}$  nach [16] Tabelle NA.2, Zeile 5  
 $\Rightarrow$  zulässig
- lichte Wandhöhe  
 $h = 2,57 \text{ m} < 12 \cdot t = 12 \cdot 0,365 = 4,38 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Nutzlast  
 $q_k = 2,75 \text{ kN/m}^2 < 5 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow$  zulässig

Die allgemeinen Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens sind damit eingehalten. Nachfolgend werden die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Kellerwandnachweises geprüft.

Beispiel	3.7	Beispiel Kelleraußenwände
	3.7.1	mit geringer Erdanschüttung und hoher Auflast
	3.7.1.1	Lastabtrag der Wand einachsig (vertikal)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
Berlin

- Lichte Höhe der Kellerwand  
 $h = 2,57 \text{ m} < 2,60 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
  - Wanddicke  
 $t = 365 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \Rightarrow$  zulässig
  - Nutzlast Gelände  
 $q_k = 5 \text{ kN/m}^2 = 5 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow$  zulässig
  - Anschütthöhe (Geländeoberfläche steigt nicht an)  
 $h_e = 1,52 \text{ m} < 1,15 \cdot 2,57 = 2,95 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Kellerdecke wirkt als aussteifende Scheibe  
kein hydrostatischer Druck  
Feuchtesperrschicht entsprechend [10] NCI zu 3.8.1 ausgeführt

Die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Kellerwandnachweises sind damit ebenfalls eingehalten.

#### b) Nachweis nach [15] Gl. (4.11) und (4.12)

Bemessungswerte der Wandnormalkraft in halber Höhe der Anschüttung

Anteil aus Wandeigenlast

$$g_{wk} = 2,49 \cdot [2,57 - 1,52/2] = 4,5 \text{ kN/m}$$

Anteil aus Einzelstütze

(Lastverteilung unter  $45^\circ$  in der Kellerdecke und unter  $60^\circ$  im Mauerwerk, siehe auch Abschnitt 3.10.3)

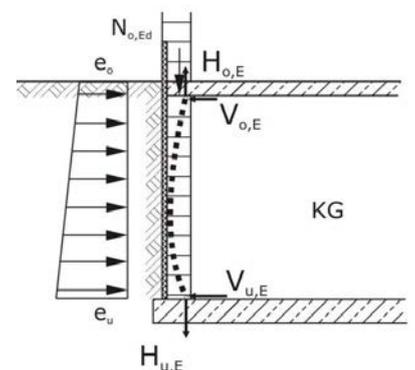
$$l = b_{st} + 2 \cdot h_D + 2 \cdot (h - h_e) / 2 \cdot \cot 60^\circ$$

$$l = 0,169 + 2 \cdot 0,18 + 2 \cdot (2,57 - 1,52/2) \cdot \cot 60^\circ = 2,62 \text{ m}$$

$$N_{Ed, \max} = 1,35 \cdot (161,3 + [25,9 + 4,5] \cdot 2,62) + 1,5 \cdot (51,3 + 4,9 \cdot 2,62)$$

$$N_{Ed, \max} = 421,5 \text{ kN}$$

$$N_{Ed, \min} = 1,0 \cdot (161,3 + 4,5 \cdot 2,62) = 173,1 \text{ kN}$$



Bogenmodell nach Mann/Bernhardt [29], [30]

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.1 mit geringer Erdanschüttung und hoher Auflast  
3.7.1.1 Lastabtrag der Wand einachsig (vertikal)

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.D.9

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = 3,0 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 3,0 / 1,5 = 1,7 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] – Gl.  
(4.11)

oberer Grenzwert

$$\max N_{Rd} = 0,365 \cdot 2,62 \cdot 1,7 \cdot 10^3 / 3 = 541,9 \text{ kN}$$

zweiachsender Lastabtrag

$$b_c = 7,14 \text{ m} + 0,365 \text{ m} > 2 \cdot h = 5,14 \text{ m}$$

$$\beta_l = 20^1)$$

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] – Gl.  
(4.12)

unterer Grenzwert

$$\min N_{Rd} = 18,0 \cdot 2,62 \cdot 2,57 \cdot 1,52^2 / (20,0 \cdot 0,365) = 38,4 \text{ kN}$$

Genau genommen handelt es sich bei dem unteren Grenzwert um eine Lagesicherung, verbunden mit der Tragsicherheit. Auf eine gesonderte Betrachtung wird verzichtet. (Tabelle N.A.A.1.2(A) nach DIN EN 1990/NA:2010-12 [4] in Verbindung mit DIN EN 1990:2010-12 [3])

Nachweis

$$\underline{N_{Ed, \max} = 421,5 \text{ kN} < \max N_{Rd} = 541,9 \text{ kN}}$$

$$\underline{N_{Ed, \min} = 173,1 \text{ kN} > \min N_{Rd} = 38,4 \text{ kN}}$$

Damit sind die erforderlichen Nachweise erbracht.

<sup>1)</sup> Der Parameter  $\beta$  ist im EC 6 mehrfach belegt. Für eine bessere Lesbarkeit wird  $\beta = \beta_l$  gesetzt.

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.1 Lastabtrag der Wand einachsig (vertikal)**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

Vereinfachtes Verfahren nach DIN EN 1996-3:2010-12 [15] und DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] sowie genaueres Verfahren nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] und DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]

**Gegeben:**

Kelleraußenwand

- Baustoffe
  - Porenbeton-Plansteine PP2-0,35
  - Dünnbettmörtel
- Abmessungen
 

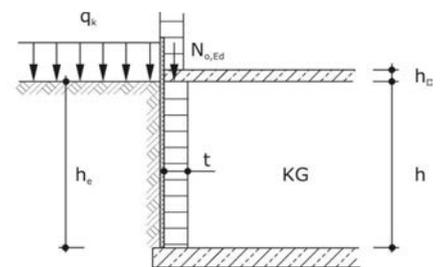
Wanddicke	$t = 0,365 \text{ m}$
Wandhöhe	$h = 2,57 \text{ m}$
Wandlänge	$l = b = 4,9 \text{ m}$
Anschütthöhe	$h_e = 2,57 \text{ m}$
- Belastung
 

Nutzlast Gelände	$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$
Wandeigenlast	$g_k = 4,5 \text{ kN/m}$
Wichte Anschüttung	$\rho_e = 18,0 \text{ kN/m}^3$

aktiver Erddruck

Normalkraft Wandkopf

ständige Last	$N_{gk} = 34,6 \text{ kN/m}$
veränderliche Last	$N_{qk} = 14,0 \text{ kN/m}$



**Gesucht:**

Stand sicherheitsnachweise

- a) Überprüfen der Voraussetzungen für die vereinfachte Berechnungsmethode
- b) Nachweis nach dem vereinfachten Verfahren gemäß DIN EN 1996-3:2010-12 [15] Gl. (4.11) und (4.12)

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel	3.7	Beispiel Kelleraußenwände
	3.7.2	mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast
	3.7.2.1	Lastabtrag der Wand einachsig (vertikal)

c) Genauerer Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

#### **Berechnungsgang:**

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] – 4.5

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
NCI zu 4.5

#### **a) Überprüfen der Voraussetzungen**

Auf die Überprüfung der allgemeinen Bedingungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens wird an dieser Stelle verzichtet. Es werden hier lediglich die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Kellerwandnachweises dargestellt.

- Lichte Höhe der Kellerwand  
 $h = 2,57 \text{ m} < 2,60 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Wanddicke  
 $t = 365 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \Rightarrow$  zulässig
- Nutzlast Gelände  
 $q_k = 5 \text{ kN/m}^2 = 5 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow$  zulässig
- Anschütthöhe (Geländeoberfläche steigt nicht an)  
 $h_e = 2,57 \text{ m} < 1,15 \cdot 2,57 = 2,95 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig

Die Kellerdecke wirkt als aussteifende Scheibe.

Es liegt kein hydrostatischer Druck an.

Die Feuchtesperrschicht wurde entsprechend [10] NCI zu 3.8.1 ausgeführt.

Die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens sind damit eingehalten.

#### **b) Nachweis nach [15] Gl. (4.11) und (4.12)**

Bemessungswerte der Wandnormalkraft in halber Höhe der Anschüttung

Anteil aus Wandeigenlast

$$g_{wk} = 1,76 \cdot 2,57 / 2 = 2,26 \text{ kN/m}$$

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.1 Lastabtrag der Wand einachsig (vertikal)**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

$$N_{Ed, \max} = [1,35 \cdot (34,6 + 2,26) + 1,5 \cdot 14,0] \cdot 4,9 = 346,7 \text{ kN}$$

$$N_{Ed, \min} = [1,0 \cdot (34,6 + 2,26)] \cdot 4,9 = 180,6 \text{ kN}$$

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = 1,8 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,8 / 1,5 = 1,02 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.D.9

oberer Grenzwert

$$\max N_{Rd} = 0,365 \cdot 4,9 \cdot 1,02 \cdot 10^3 / 3 = 608,1 \text{ kN}$$

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] – Gl.  
(4.11)

einaxialer Lastabtrag ( $b_c = 5,14 \text{ m} = 2 \cdot h = 5,14 \text{ m}$ )

$$\beta_I = 20^2)$$

unterer Grenzwert

$$\min N_{Rd} = 18,0 \cdot 4,9 \cdot 2,57^3 / (20 \cdot 0,365) = 205,1 \text{ kN}$$

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] – Gl.  
(4.12)

Nachweis

$$N_{Ed, \max} = 346,7 \text{ kN} < \max N_{Rd} = 608,1 \text{ kN}$$

$$N_{Ed, \min} = 180,6 \text{ kN} < \min N_{Rd} = 205,1 \text{ kN} \Rightarrow \text{nicht erfüllt}$$

<sup>2)</sup> Der Parameter  $\beta$  ist im EC 6 mehrfach belegt. Für eine bessere Lesbarkeit wird  $\beta = \beta_I$  gesetzt.

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.1 Lastabtrag der Wand einachsig (vertikal)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.3.4

Der Nachweis der minimal erforderlichen vertikalen Belastung nach DIN 1996-3 [15] – Gl. (4.12) konnte nicht erbracht werden. Deshalb wird nachfolgend ein genauere Nachweis der Kelleraußenwand unter Erddruck nach DIN EN 1996-1-1/NA [10] geführt.

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.3.4

#### c) Genauere Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1996-1-1/NA

Es wird angenommen, dass die Verfüllung nicht stärker verdichtet wird als bis zu mitteldichter Lagerung und dass sich die für den Grenzzustand des aktiven Erddrucks erforderliche Wandverformung einstellen kann.

Der Unterschied zu dem vereinfachten Nachweis liegt bei Ansatz des aktiven Erddrucks in dem Verzicht auf Rundungen und dem Ansatz der tatsächlichen Wichte des Verfüllmaterials [30].

$$\text{Erddruckbeiwert} \quad k_i = 0,333$$

Bemessungswerte der Wandnormalkraft in halber Höhe der Anschüttung (siehe Pkt. b)

$$n_{1,Ed,sup} = N_{Ed,max} / l = 346,7 / 4,9 = 70,8 \text{ kN/m}$$

$$n_{1,d,inf} = N_{Ed,min} / l = 180,6 / 4,9 = 36,9 \text{ kN/m}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.26)

unterer Grenzwert

$$n_{1,lim,d} = 0,333 \cdot 18,0 \cdot 2,57^3 / (7,8 \cdot 0,365) = 35,7 \text{ kN/m}$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks (siehe Pkt. b)

$$f_d = 1,02 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.27)

oberer Grenzwert

$$n_{1,Rd} = 0,33 \cdot 1,02 \cdot 10^3 \cdot 0,365 = 122,8 \text{ kN/m}$$

Nachweis

$$\underline{n_{1,Ed,sup} = 70,8 \text{ kN/m} < n_{1,Rd} = 122,8 \text{ kN/m}}$$

$$\underline{n_{1,d,inf} = 36,9 \text{ kN/m} > n_{1,lim,d} = 35,7 \text{ kN/m}}$$

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
 3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
 3.7.2.1 Lastabtrag der Wand einachsig (vertikal)

Projekt:  
 Einfamilienhaus  
 in Berlin

- Querkraftnachweis

Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit in Plattenrichtung wird am Wandfuß und Wandkopf für die Bemessungswerte der Querkraft unter minimaler Auflast geführt.

Erddruck am Wandkopf

$$e_{o,ag} = 0$$

$$e_{o,aq} = 0,333 \cdot 5,0 = 1,67 \text{ kN/m}^2$$

Erddruck am Wandfuß

$$e_{u,ag} = 0,333 \cdot 18,0 \cdot 2,57 = 15,27 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{u,aq} = 0,333 \cdot 5,0 = 1,67 \text{ kN/m}^2$$

Bemessungswerte der Querkraft am Wandkopf / Wandfuß

$$V_{o,ed} = 1,35 \cdot (0 + 15,27) \cdot 2,57 / 6 + 1,5 \cdot 1,67 \cdot 2,57 / 2$$

$$V_{o,ed} = 11,11 \text{ kN/m}$$

$$V_{u,ed} = 1,35 \cdot (0 + 2 \cdot 15,27) \cdot 2,57 / 6 + 1,5 \cdot 1,67 \cdot 2,57 / 2$$

$$V_{u,ed} = 20,88 \text{ kN/m}$$

$$V_{o,ed} = 4,9 \cdot 11,11 = 54,44 \text{ kN}$$

$$V_{u,ed} = 4,9 \cdot 20,88 = 102,3 \text{ kN}$$

Normalkraft am Wandkopf / Wandfuß

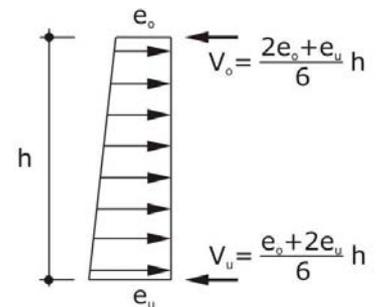
$$N_{o,ed} = 4,9 \cdot 1,0 \cdot 34,6 = 169,5 \text{ kN}$$

$$N_{u,ed} = 4,9 \cdot 1,0 \cdot (34,6 + 4,5) = 191,6 \text{ kN}$$

Abgeminderte Haftscherfestigkeit

$$f_{vk0} = 2/3 \cdot 0,22 = 0,15 \text{ N/mm}^2 \text{ (unvermörtelte Stoßfugen)}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – (NA.4)



DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – NDP zu 3.6.2 und Tab. NA.11

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.1 Lastabtrag der Wand einachsig (vertikal)

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
6.3.2

überdrückte Querschnittsfläche ( $t/10$ )

$$A = 4,9 \cdot 0,365 / 10 = 0,179 \text{ m}^2$$

Bemessungswert der Druckspannung am Wandkopf / Wandfuß

$$\sigma_{o, Dd} = 169,5 \cdot 10^{-3} / 0,179 = 0,947 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{u, Dd} = 191,6 \cdot 10^{-3} / 0,179 = 1,070 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.7)

Charakteristische Schubfestigkeit am Wandkopf / Wandfuß

$$f_{o, vk} = f_{o, vlt} = 0,15 + 0,6 \cdot 0,947 = 0,718 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{u, vk} = f_{u, vlt} = 0,15 + 0,6 \cdot 1,070 = 0,792 \text{ N/mm}^2$$

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Bemessungswert der Schubfestigkeit am Wandkopf / Wandfuß

$$f_{o, vd} = 0,718 / 1,5 = 0,479 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{u, vd} = 0,792 / 1,5 = 0,528 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.25)

Anzusetzende überdrückte Dicke der Wand

$$t_{c, lin} = 1,5 \cdot 0,365 / 10 = 0,055 \text{ m}$$

Rechnerische Wanddicke am Wandkopf / Wandfuß

$$t_{o, cal} = 0,055 \text{ m} < 0,365 \text{ m}$$

$$t_{u, cal} = 1,25 \cdot 0,055 = 0,068 \text{ m} < 0,365 \text{ m}$$

Schubspannungsverteilungsfaktor

$$c = 1,5$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.24)

Querkrafttragfähigkeit am Wandkopf / Wandfuß

$$V_{o, Rdl} = 0,479 \cdot 10^3 \cdot 0,055 \cdot 4,9 / 1,5 = 86,06 \text{ kN}$$

$$V_{u, Rdl} = 0,528 \cdot 10^3 \cdot 0,068 \cdot 4,9 / 1,5 = 117,29 \text{ kN}$$

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.1 Lastabtrag der Wand einachsig (vertikal)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Nachweise

$$\underline{V_{o,ed}} = 54,44 \text{ kN} < V_{o,Rdlt} = 86,06 \text{ kN}$$

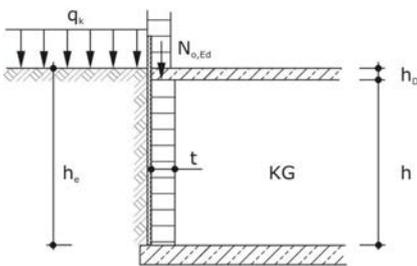
$$\underline{V_{u,ed}} = 102,3 \text{ kN} < V_{u,Rdlt} = 117,29 \text{ kN}$$

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.2 Lastabtrag der Wand zweiachsig**

Vereinfachtes Verfahren nach DIN EN 1996-3:2010-12 [15] und DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16]



#### **Gegeben:**

Kelleraußenwand

- Baustoffe

Porenbeton-Plansteine PP2-0,35

Dünnbettmörtel

- Abmessungen

Wanddicke  $t = 0,365 \text{ m}$

Wandhöhe  $h = 2,57 \text{ m}$

Wandlänge  $l = b = 4,135 \text{ m}$

Anschütthöhe  $h_e = 2,75 \text{ m}$

- Belastung

Nutzlast Gelände  $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$

Wandeigenlast  $g_k = 4,5 \text{ kN/m}$

Wichte Anschüttung  $\rho_e = 18,0 \text{ kN/m}^3$

Erddruckbeiwert  $k_i = 0,33$

Normalkraft Wandkopf

ständige Last

aus Wand im EG  $N_{W,gk} = 33,0 \text{ kN/m}$

aus Decke über KG  $N_{D,gk} = 6,3 \text{ kN/m}$

$N_{gk} = 39,3 \text{ kN/m}$

veränderliche Last  $N_{qk} = 10,2 \text{ kN/m}$

Bei parallel zur Deckenspannrichtung verlaufenden Wänden sind Lasten aus einem parallelen Deckenstreifen angemessener Breite zu berücksichtigen.

#### **Gesucht:**

Standsicherheitsnachweise

a) Überprüfen der Voraussetzungen für die vereinfachte Berechnungsmethode

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.2 Lastabtrag der Wand zweiachsig

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

b) Nachweis nach dem vereinfachten Verfahren gemäß DIN EN 1996-3:2010-12 [15] Gl. (4.11) und (4.12)

#### **Berechnungsgang:**

##### **a) Überprüfen der Voraussetzungen**

Auf die Überprüfung der allgemeinen Bedingungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens wird an dieser Stelle verzichtet. Es werden hier lediglich die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Kellerwandnachweises dargestellt.

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] – 4.5

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – NCI zu 4.5

- Lichte Höhe der Kellerwand

$$h = 2,57 \text{ m} < 2,60 \text{ m} \Rightarrow \text{zulässig}$$

- Wanddicke

$$t = 365 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \Rightarrow \text{zulässig}$$

- Nutzlast Gelände

$$q_k = 5 \text{ kN/m}^2 = 5 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \text{zulässig}$$

- Anschütthöhe (Geländeoberfläche steigt nicht an)

$$h_e = 2,75 \text{ m} < 1,15 \cdot 2,57 = 2,95 \text{ m} \Rightarrow \text{zulässig}$$

Kellerdecke wirkt als aussteifende Scheibe

kein hydrostatischer Druck

Feuchtesperrschicht entsprechend [10] NCI zu 3.8.1 ausgeführt

Die Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens sind damit eingehalten.

##### **b) Nachweis nach [15] Gl. (4.11) und (4.12)**

Bemessungswerte der Wandnormalkraft in halber Höhe der Anschüttung

Anteil aus Wandeigenlast

$$g_{wk} = 4,5 \cdot [2,57 - 2,75/2] / 2,57 = 2,1 \text{ kN/m}$$

$$N_{Ed, \max} = [1,35 \cdot (39,3 + 2,1) + 1,5 \cdot 10,2] \cdot 4,135 = 294,4 \text{ kN}$$

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.2 Lastabtrag der Wand zweiachsig

$$N_{Ed, \min} = [1,0 \cdot (39,3 + 2,1)] \cdot 4,135 = 171,2 \text{ kN}$$

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = 1,8 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,8 / 1,5 = 1,02 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
Tab. NA.D.9

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] – Gl.  
(4.11)

oberer Grenzwert

$$\max N_{Rd} = 0,365 \cdot 4,135 \cdot 1,02 \cdot 10^3 / 3 = 513,1 \text{ kN}$$

zweiachsender Lastabtrag

$$b_c = 4,135 \text{ m} + (0,365 \text{ m} + 0,175 \text{ m}) / 2 = 4,405 \text{ m} < 2 \cdot h = 5,14 \text{ m}$$

$$\beta_1 = 60 - 20 \cdot b_c / h = 60 - 20 \cdot 4,405 / 2,57 = 25,72^3)$$

DIN EN 1996-3:2010-12 [15] – Gl.  
(4.12)

unterer Grenzwert

$$\min N_{Rd} = 18,0 \cdot 4,135 \cdot 2,57 \cdot 2,75^2 / (25,72 \cdot 0,365) = 154,1 \text{ kN}$$

Nachweis

$$N_{Ed, \max} = 294,4 \text{ kN} < \max N_{Rd} = 513,1 \text{ kN}$$

$$N_{Ed, \min} = 171,2 \text{ kN} > \min N_{Rd} = 154,1 \text{ kN}$$

Damit sind die erforderlichen Nachweise erbracht.

<sup>3)</sup> Der Parameter  $\beta$  ist im EC 6 mehrfach belegt. Für eine bessere Lesbarkeit wird  $\beta = \beta_1$  gesetzt.

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

Genauerer Verfahren nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] und DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]

**Gegeben:**

Kelleraußenwand

- Baustoffe
  - Porenbeton-Plansteine PP2-0,35
  - Dünnbettmörtel
- Abmessungen
 

Wanddicke	$t = 0,3 \text{ m}$
Wandhöhe	$h = 2,57 \text{ m}$
Wandlänge	$l = b = 3,0 \text{ m}$
Anschütthöhe	$h_e = 2,70 \text{ m}$
- Belastung
 

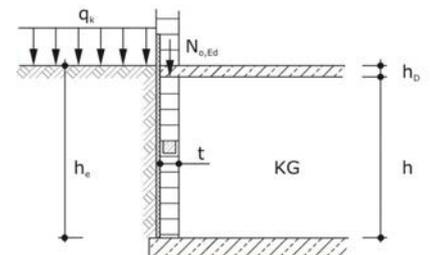
Nutzlast Gelände	$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$
Wandeigenlast	$g_k = 3,8 \text{ kN/m}$

Normalkraft Wandkopf  
ständige Last

aus der Brüstung im EG	$N_{B,gk} = 2,58 \text{ kN/m}$
aus der Decke	$N_{D,gk} = 6,30 \text{ kN/m}$
	$N_{gk} = 8,88 \text{ kN/m}$

veränderliche Last

	$N_{qk} = 2,25 \text{ kN/m}$
--	------------------------------



Bei parallel zur Deckenspannrichtung verlaufenden Wänden sind Lasten aus einem parallelen Deckenstreifen angemessener Breite zu berücksichtigen.

Die Wand verläuft parallel zur Deckenspannrichtung der Kellerdecke und erhält nur ständige Lasten aus dem Wandabschnitt unterhalb des Eckfensters im Erdgeschoss sowie aus einem 1-m-Streifen der Decke.

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer  
Auflast  
3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel

#### **Gesucht:**

Standsicherheitsnachweise

- a) Nachweis der einachsigen gespannten Kelleraußenwand ober- bzw. unterhalb des Aussteifungsriegels nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9]
- b) Nachweis und Bemessung des Aussteifungsriegels nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7]
- c) Nachweis und Bemessung des Unterzuges nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7]
- d) Nachweis der Lastableitung in die Querwände zur Ableitung der Horizontallasten aus dem Aussteifungsriegel nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9]

#### **Berechnungsgang:**

- a) **Nachweis der einachsigen gespannten Kelleraußenwand ober- bzw. unterhalb des Aussteifungsriegels nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9]**

- Bodenkennwerte und Erddruckansatz

Es wird angenommen, dass die Verfüllung nicht stärker verdichtet wird als bis zu mitteldichter Lagerung und dass sich die für den Grenzzustand des aktiven Erddrucks erforderliche Wandverformung einstellen kann.

Wichte Anschüttung  $\rho_e = 18,0 \text{ kN/m}^3$

Reibungswinkel  $\phi' = 30^\circ$

Erddruckneigungswinkel  $\delta = 0^\circ$

Erddruckbeiwert  $k_f = 0,333$

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

- **Lastermittlung**

waagerechte Lasten aus Erddruck

Wandkopf

$$e_{0,ag} = 0,333 \cdot 18 \cdot (2,70 - 2,57) = 0,78 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{0,aq} = 0,333 \cdot 5 = 1,67 \text{ kN/m}^2$$

Aussteifungsriegel, oben

$$e_{1,ag} = 0,78 + 0,333 \cdot 18 \cdot 1,07 = 7,19 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{1,aq} = 0,333 \cdot 5 = 1,67 \text{ kN/m}^2$$

Aussteifungsriegel, unten

$$e_{2,ag} = 7,19 + 0,333 \cdot 18 \cdot 0,25 = 8,69 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{2,aq} = 0,333 \cdot 5 = 1,67 \text{ kN/m}^2$$

Wandfuß

$$e_{u,ag} = 8,69 + 0,333 \cdot 18 \cdot 1,25 = 16,18 \text{ kN/m}^2$$

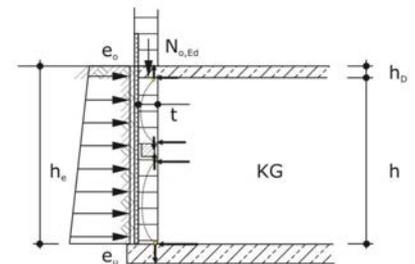
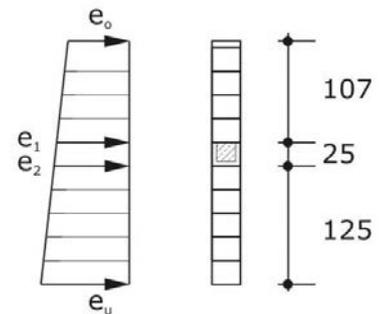
$$e_{u,aq} = 0,333 \cdot 5 = 1,67 \text{ kN/m}^2$$

- **Schnittgrößen**

Es wird davon ausgegangen, dass ober- und unterhalb des Aussteifungsriegels sich jeweils ein lotrechter Bogen mit dem Bogenstich

$$r = 0,9 \cdot t$$

ausbilden kann. Der Bogenschub ergibt sich zu



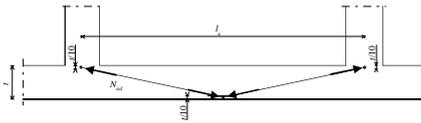
Bogentragwirkung bei Anordnung eines horizontalen Aussteifungsriegels

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] – 6.3.2

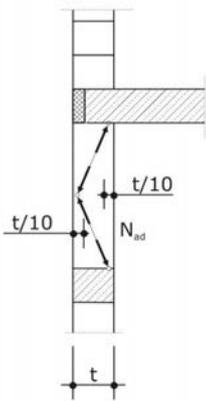
### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel



Bogenmodell nach Bild 6.3 DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] (horizontal)



Anwendung des Bogenmodells nach DIN EN 1996-1-1 vertikal

DIN EN 1990:2010-12 [3] – 6.4.2 sowie Anhang A sowie DIN EN 1990/NA:2010-12 [4]– NDP zu A.1.3.1.(3)

DIN EN 1990/NA:2010-12 [4] – Tab. NA.A.1.2(A), Zeile für  $\gamma_{G,dst}^*$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10] – Tab. NA.1, Zeile A

$$H_i = (q_{Ai} + q_{Bi}) \cdot h_i^2 / (16 \cdot r)$$

und die Auflagerkräfte zu

$$A_i = (2 \cdot q_{Ai} + q_{Bi}) \cdot h_i / 6 \quad B_i = (q_{Ai} + 2 \cdot q_{Bi}) \cdot h_i / 6$$

- Wandbereich oberhalb des Aussteifungsriegels

Schnittgrößen

$$r = t - t/10 = 0,9 \cdot 0,30 = 0,27 \text{ m}$$

$$q_{od} = 1,35 \cdot 0,78 + 1,5 \cdot 1,67 = 3,56 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{id} = 1,35 \cdot 7,19 + 1,5 \cdot 1,67 = 12,21 \text{ kN/m}^2$$

$$H_{Ed} = H_{o,Ed} = H_{1,Ed} = (3,56 + 12,21) \cdot 1,07^2 / (16 \cdot 0,27) = 4,18 \text{ kN/m}$$

$$V_{o,Ed} = A = (2 \cdot 3,56 + 12,21) \cdot 1,07 / 6 = 3,45 \text{ kN/m}$$

$$V_{1,Ed} = B = (3,56 + 2 \cdot 12,21) \cdot 1,07 / 6 = 4,99 \text{ kN/m}$$

Nachweise Bogenschub

Bemessungswert der Auflast

Minimalwert

Die von oben wirkende Normalkraft wirkt stabilisierend auf den Bogen. Es wird an dieser Stelle die Anwendung der entsprechenden Regelungen nach DIN EN 1990:2010-12 demonstriert.

Teilsicherheitsbeiwert für  $N_{o,k}$  aus Eigengewicht stabilisierend wirkend

$$\gamma_{G,dst}^* = 1,15$$

$$N_{o,stab d} = 1,15 \cdot 8,88 = 10,21 \text{ kN/m}$$

Maximalwert

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung „kurzer Wände“ = 1,0  
(Wand mit  $A > 0,1 \text{ m}^2$ )

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Steifigkeit

$$f_{st} = 2,5 \text{ N/mm}^2$$

Druckfestigkeit des Mörtels

$$f_m = 10,0 \text{ N/mm}^2$$

Parameter

$$K = 0,9$$

$$\alpha = 0,76$$

$$\beta = 0$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = K \cdot f_{st}^\alpha \cdot f_m^\beta = 0,9 \cdot 2,5^{0,76} \cdot 10,0^0 = 1,8 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,8 / 1,5 = 1,02 \text{ N/mm}^2$$

maximaler Bemessungswert des Bogenschubs als Widerstand

$$N_{a,Rd} = 1,5 \cdot f_d \cdot t / 10 = 1,5 \cdot 1020 \cdot 0,3 / 10 = 45,9 \text{ kN/m}$$

Nachweise

$$H_{Ed} = 4,18 \text{ kN/m} < N_{o,stab,d} = 10,21 \text{ kN/m}$$

$$H_{Ed} = 4,18 \text{ kN/m} < N_{a,Rd} = 45,9 \text{ kN/m}$$

*Querkraftnachweis*

Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit in Plattenrichtung wird über dem Aussteifungsriegel und am Wandkopf für die Bemessungswerte der Querkraft unter minimaler Auflast geführt.

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05  
[10] – NCI zu 6.1.2.1

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05  
[10] – NCI zu 6.1.2.1

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.3

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.10

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
3.6.1.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NDP zu 3.6.1.2

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
6.3.2, Gl. (6.18)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.3.4 (NA.4)

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel

Bemessungswerte der Querkraft am Wandkopf / über dem Riegel

$$V_{o,Ed} = v_{o,Ed} \cdot l = 3,45 \cdot 3,0 = 10,35 \text{ kN}$$

$$V_{1,Ed} = v_{1,Ed} \cdot l = 4,99 \cdot 3,0 = 14,97 \text{ kN}$$

Minimale Normalkraft am Wandkopf / über dem Riegel im oberen Wandabschnitt

$$H_{o,Ed} = H_{1,Ed} = 4,18 \text{ kN/m}$$

Zur Querkraft zugehörige Schubkraft (Nachweis Bogenschub)

Erddruck ohne Verkehrslast

$$N_{o,Ed} = 3,0 \cdot 1,0 \cdot 8,88 = 26,64 \text{ kN} > 3,0 \cdot 4,18 \text{ kN} = 12,54 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 3,0 \cdot 1,0 \cdot (8,88 + 3,8 \cdot 1,07/2,57) = 31,38 \text{ kN} > 12,54 \text{ kN}$$

Der Bogenschub kann durch die Auflast aufgenommen werden.

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]

– NDP zu 3.6.2 (4) c) u. Tab.

NA.11

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –

6.3.2

abgeminderte Haftscherfestigkeit

$$f_{vk0} = 2/3 \cdot 0,22 = 0,15 \text{ N/mm}^2 \text{ (unvermörtelte Stoßfugen)}$$

überdrückte Querschnittsfläche ( $t/10$ )

$$A = 3,0 \cdot 0,3 / 10 = 0,09 \text{ m}^2$$

Bemessungswert der Druckspannung am Wandkopf / Wandfuß

$$\sigma_{o,Dd} = 26,64 \cdot 10^{-3} / 0,09 = 0,296 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{1,Dd} = 31,38 \cdot 10^{-3} / 0,09 = 0,349 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]

– Gl. (NA.7)

charakteristische Schubfestigkeit am Wandkopf / Wandfuß

$$f_{o,vk} = f_{o,vlt} = 0,15 + 0,6 \cdot 0,296 = 0,328 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{u,vk} = f_{u,vlt} = 0,15 + 0,6 \cdot 0,349 = 0,359 \text{ N/mm}^2$$

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Bemessungswert der Schubfestigkeit am Wandkopf / Wandfuß

$$f_{o,vd} = 0,328 / 1,5 = 0,219 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{1,vd} = 0,349 / 1,5 = 0,233 \text{ N/mm}^2$$

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

anzusetzende überdrückte Dicke der Wand

$$t_{c,lin} = 1,5 \cdot 0,3 / 10 = 0,045 \text{ m}$$

rechnerische Wanddicke am Wandkopf / Wandfuß

$$t_{o,cal} = 0,045 \text{ m} < 0,3 \text{ m}$$

$$t_{1,cal} = 0,045 \text{ m} < 0,3 \text{ m}$$

Schubspannungsverteilungsfaktor

$$c = 1,5$$

Querkrafttragfähigkeit am Wandkopf / Wandfuß

$$V_{o,Rdlt} = 0,219 \cdot 10^3 \cdot 0,045 \cdot 3,0 / 1,5 = 19,71 \text{ kN}$$

$$V_{1,Rdlt} = 0,233 \cdot 10^3 \cdot 0,045 \cdot 3,0 / 1,5 = 20,97 \text{ kN}$$

Nachweise

$$\underline{V_{o,ed} = 10,35 \text{ kN} < V_{o,Rdlt} = 19,71 \text{ kN}}$$

$$\underline{V_{1,ed} = 14,97 \text{ kN} < V_{1,Rdlt} = 20,97 \text{ kN}}$$

- Wandbereich unterhalb des Aussteifungsriegels

*Schnittgrößen*

$$r = 0,9 \cdot 0,30 = 0,27 \text{ m}$$

$$q_{2d} = 1,35 \cdot 8,69 + 1,5 \cdot 1,67 = 14,24 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{ud} = 1,35 \cdot 16,18 + 1,5 \cdot 1,67 = 24,35 \text{ kN/m}^2$$

$$H_{Ed} = H_{2,Ed} = H_{u,Ed} = (14,24 + 24,38) \cdot 1,25^2 / (16 \cdot 0,27) = 13,97 \text{ kN/m}$$

$$v_{2,Ed} = A = (2 \cdot 14,24 + 24,35) \cdot 1,25 / 6 = 11,01 \text{ kN/m}$$

$$v_{u,Ed} = B = (14,24 + 2 \cdot 24,35) \cdot 1,25 / 6 = 13,11 \text{ kN/m}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.25)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– (NA.15) – vergrößerter Wert von  $t_{cal}$  nicht ansetzbar, da Nachweis an Stelle 1 in „Wandmitte“

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.24)

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel

#### Nachweise Bogenschub

Bemessungswert der Auflast

Minimalwert

Teilsicherheitsbeiwert für  $N_{o,k}$  aus Eigengewicht stabilisierend wirkend

$$\gamma_{G,dst}^* = 1,15$$

$$N_{2stb,d} = 1,15 \cdot (8,88 + 3,8 \cdot (1,07 + 0,25)) / 2,57 = 12,46 \text{ kN/m}$$

Maximalwert

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung „kurzer Wände“ = 1,0

(Wand mit  $A > 0,1 \text{ m}^2$ )

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Steinfestigkeit

$$f_{st} = 2,5 \text{ N/mm}^2$$

Druckfestigkeit des Mörtels

$$f_m = 10,0 \text{ N/mm}^2$$

Parameter

$$K = 0,9$$

$$\alpha = 0,76$$

$$\beta = 0$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = K \cdot f_{st}^\alpha \cdot f_m^\beta = 0,9 \cdot 2,5^{0,76} \cdot 10,0^0 = 1,8 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,8 / 1,5 = 1,02 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05  
[10] – Tab. NA.1, Zeile A

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05  
[10] – NCI zu 6.1.2.1

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.3

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.10

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
3.6.1.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NDP zu 3.6.1.2

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

maximaler Bemessungswert des Bogenschubs

$$N_{aR,d} = 1,5 \cdot f_d \cdot t / 10 = 1,5 \cdot 1020 \cdot 0,3 / 10 = 45,9 \text{ kN/m}$$

Nachweise

$$H_{2,Ed} = 13,97 \text{ kN/m} > N_{2,stab,d} = 12,46 \text{ kN/m} !$$

$$H_{2,Ed} = 13,97 \text{ kN/m} < N_{aR,d} = 45,9 \text{ kN/m}$$

Damit ist die Auflast zu gering. Eine Bogentragwirkung kann sich nur einstellen, wenn der Anteil

$$\Delta H_{2,Ed} = 13,97 - 12,46 = 1,51 \text{ kN/m}$$

des Bogenschubes über den horizontalen Aussteifungsriegel abgetragen wird (siehe Pkt. b).

*Querkraftnachweis*

Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit in Plattenrichtung wird am Wandfuß und unterhalb des Aussteifungsriegels für die Bemessungswerte der Querkraft unter minimaler Auflast geführt.

Bemessungswerte der Querkraft unter dem Riegel / am Wandfuß

$$V_{2,Ed} = v_{2,Ed} \cdot l = 11,01 \cdot 3,0 = 33,03 \text{ kN}$$

$$V_{u,Ed} = v_{u,Ed} \cdot l = 13,11 \cdot 3,0 = 39,33 \text{ kN}$$

Minimale Normalkraft unter dem Riegel / am Wandfuß des unteren Wandabschnittes

$$H_{2,Ed} = H_{u,Ed} = H_{Ed} = (8,69 + 16,18) \cdot 1,25^2 / (16 \cdot 0,27) = 9,00 \text{ kN/m}$$

$$N_{2,Ed} = 3,0 \cdot 1,0 \cdot (8,88 + 3,8 \cdot (1,07+0,25) / 2,57) = 32,49 \text{ kN}$$

$$N_{u,Ed} = 3,0 \cdot 1,0 \cdot (10,83 + 3,8 \cdot 1,25/2,57) = 38,03 \text{ kN}$$

abgeminderte Haftscherfestigkeit

$$f_{vk0} = 2/3 \cdot 0,22 = 0,15 \text{ N/mm}^2 \text{ (unvermörtelte Stoßfugen)}$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
 6.3.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – NCI zu 6.3.4 (NA.4)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – NDP zu 3.6.2 und Tab. NA.11

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
6.3.2

überdrückte Querschnittsfläche ( $t/10$ )

$$A = 3,0 \cdot 0,3 / 10 = 0,09 \text{ m}^2$$

Bemessungswert der Druckspannung am Wandkopf / Wandfuß

$$\sigma_{2,Dd} = 32,49 \cdot 10^{-3} / 0,09 = 0,361 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{u,Dd} = 38,03 \cdot 10^{-3} / 0,09 = 0,423 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.7)

charakteristische Schubfestigkeit am Wandkopf / Wandfuß

$$f_{2,vk} = f_{2,vlt} = 0,15 + 0,6 \cdot 0,361 = 0,367 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{u,vk} = f_{u,vlt} = 0,15 + 0,6 \cdot 0,423 = 0,404 \text{ N/mm}^2$$

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Bemessungswert der Schubfestigkeit am Wandkopf / Wandfuß

$$f_{2,vd} = 0,367 / 1,5 = 0,245 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{u,vd} = 0,404 / 1,5 = 0,269 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.25)

anzusetzende überdrückte Dicke der Wand

$$t_{c,lin} = 1,5 \cdot 0,3 / 10 = 0,045 \text{ m}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.2 – (NA.15), Erläuterung unter Gl. (NA.24)

rechnerische Wanddicke am Wandkopf / Wandfuß

$$t_{2,cal} = 0,045 \text{ m} < 0,3 \text{ m}$$

$$t_{u,cal} = 1,25 \cdot 0,045 = 0,056 \text{ m} < 0,3 \text{ m}$$

Schubspannungsverteilungsfaktor

$$c = 1,5$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.24)

Querkrafttragfähigkeit am Wandkopf / Wandfuß

$$V_{2,Rdlt} = 0,245 \cdot 10^3 \cdot 0,045 \cdot 3,0 / 1,5 = 22,05 \text{ kN}$$

$$V_{u,Rdlt} = 0,269 \cdot 10^3 \cdot 0,056 \cdot 3,0 / 1,5 = 30,13 \text{ kN}$$

Nachweise

$$V_{2,Ed} = 33,03 \text{ kN} > V_{o,Rdlt} = 22,05 \text{ kN} !$$

$$V_{u,Ed} = 39,33 \text{ kN} > V_{u,Rdlt} = 30,13 \text{ kN} !$$

**Beispiel**    **3.7**    **Beispiel Kelleraußenwände**  
                   **3.7.2**    **mit hoher Erdanschüttung und geringer**  
                                   **Auflast**  
                   **3.7.2.3** **Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

Damit ist der Schubnachweis unterhalb des Aussteifungsriegels im unteren Wandabschnitt nicht erfüllt. Eine Lösungsmöglichkeit ist die Anwendung des statischen Grenzwertsatzes der Traglasttheorie<sup>4)</sup>. Die Annahme eines Bogens mit einem kleineren Bogenstich führt auf eine vergrößerte überdrückte Querschnittsfläche. Allerdings muss der horizontale Aussteifungsriegel für den ebenfalls vergrößerten Bogenschub bemessen werden.

*Überschlag des maximalen Bogenstichs*

$$\max r = t \cdot (1 - 0,1 \cdot (V_{2,Ed} / V_{2,Rdlt}))$$

$$\max r = 0,3 \cdot (1 - 0,1 \cdot (33,03 / 22,05)) = 0,150 = 0,50 \text{ t}$$

gewählt:  $r = t / 2$

*Schnittgrößen*

$$r = 0,5 \cdot 0,30 = 0,15 \text{ m}$$

$$H_{2,Ed} = H_{u,Ed} = H_{Ed} = (14,24 + 24,35) \cdot 1,25^2 / (16 \cdot 0,15) = 25,12 \text{ kN/m}$$

*Nachweise Bogenschub*

Bemessungswert der Auflast

Minimalwert

Teilsicherheitsbeiwert für  $N_{o,k}$  aus Eigengewicht stabilisierend wirkend

$$\gamma_{G, stb}^* = 1,15$$

$$N_{2, stb} = 1,15 \cdot (8,88 + 3,8 \cdot (1,07 + 0,25) / 2,57) = 12,46 \text{ kN/m}$$

maximaler Bemessungswert des Bogenschubs

$$N_{a, Rd} = 1,5 \cdot f_d \cdot t / 2 = 1,5 \cdot 1020 \cdot 0,3 / 2 = 229,5 \text{ kN/m}$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
 6.3.2, modifiziert: Spannungsblock  
 mit der Breite  $t/2$

<sup>4)</sup> „Jede Belastung, zu der ein statisch zulässiger Kraftzustand gehört, welche die Fließbedingung nicht verletzt, stellt einen unteren Grenzwert für die Traglast dar.“ [23] S. 291

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel

Nachweise

$$H_{2,Ed} = 25,12 \text{ kN/m} > N_{2,stab d} = 12,46 \text{ kN/m} !$$

$$H_{2,Ed} = 25,12 \text{ kN/m} < N_{a,Rd} = 229,5 \text{ kN/m}$$

Der Nachweis ist nicht erfüllt. Damit ist die Auflast zu gering.

Eine Bogentragwirkung kann sich nur einstellen, wenn der Anteil

$$\Delta H_{2,Ed} = 25,12 - 12,46 = 12,66 \text{ kN/m}$$

des Bogenschubes über den horizontalen Aussteifungsriegel abgetragen wird (siehe Pkt. b).

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.3.4 (NA.4)

*Querkraftnachweis*

Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit in Plattenrichtung wird am Wandfuß und unterhalb des Aussteifungsriegels für die Bemessungswerte der Querkraft unter minimaler Auflast geführt.

Bemessungswerte der Querkraft unterhalb des Riegels / am Wandfuß

$$V_{2,ed} = v_{2,ed} \cdot l = 11,01 \cdot 3,0 = 33,03 \text{ kN}$$

$$V_{u,ed} = v_{u,ed} \cdot l = 13,11 \cdot 3,0 = 39,33 \text{ kN}$$

Normalkraft unter dem Riegel / am Wandfuß

$$H_{2,Ed} = (8,69 + 16,18) \cdot 1,25^2 / (16 \cdot 0,15) = 16,19 \text{ kN/m}$$

$$N_{2,Ed} = 3,0 \cdot 1,0 \cdot (8,88 + 3,8 \cdot (1,07 + 0,25) / 2,57) = 32,49 \text{ kN}$$

$$N_{u,Ed} = 3,0 \cdot 1,0 \cdot (10,83 + 3,8 \cdot 1,25 / 2,57) = 38,03 \text{ kN}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NDP zu 3.6.2 und Tab. NA.11

abgeminderte Haftscherfestigkeit

$$f_{vk0} = 2/3 \cdot 0,22 = 0,15 \text{ N/mm}^2 \text{ (unvermörtelte Stoßfugen)}$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
6.3.2

überdrückte Querschnittsfläche ( $t/2$ )

$$A = 3,0 \cdot 0,3 / 2 = 0,45 \text{ m}^2$$

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

Bemessungswert der Druckspannung am Wandkopf / Wandfuß

$$\sigma_{2,Dd} = 32,49 \cdot 10^{-3} / 0,45 = 0,072 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{u,Dd} = 38,03 \cdot 10^{-3} / 0,45 = 0,085 \text{ N/mm}^2$$

charakteristische Schubfestigkeit am Wandkopf / Wandfuß

$$f_{2,vk} = f_{2,vlt} = 0,15 + 0,6 \cdot 0,072 = 0,193 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{u,vk} = f_{u,vlt} = 0,15 + 0,6 \cdot 0,085 = 0,201 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.7)

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Bemessungswert der Schubfestigkeit am Wandkopf / Wandfuß

$$f_{o,vd} = 0,193 / 1,5 = 0,129 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{u,vd} = 0,201 / 1,5 = 0,134 \text{ N/mm}^2$$

anzusetzende überdrückte Dicke der Wand

$$t_{c,lin} = 1,5 \cdot 0,3 / 2 = 0,225 \text{ m}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.25)

rechnerische Wanddicke am Wandkopf / Wandfuß

$$t_{2,cal} = 0,225 \text{ m} < 0,3 \text{ m}$$

$$t_{u,cal} = 1,25 \cdot 0,225 = 0,281 \text{ m} < 0,3 \text{ m}$$

Schubspannungsverteilungsfaktor

$$c = 1,5$$

Querkrafttragfähigkeit am Wandkopf / Wandfuß

$$V_{2,Rdlt} = 0,129 \cdot 10^3 \cdot 0,225 \cdot 3,0 / 1,5 = 58,05 \text{ kN}$$

$$V_{u,Rdlt} = 0,134 \cdot 10^3 \cdot 0,281 \cdot 3,0 / 1,5 = 75,31 \text{ kN}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.24)

Nachweise

$$\underline{V_{2,Ed} = 33,03 \text{ kN} < V_{2,Rdlt} = 58,05 \text{ kN}}$$

$$\underline{V_{u,Ed} = 39,33 \text{ kN} < V_{u,Rdlt} = 75,31 \text{ kN}}$$

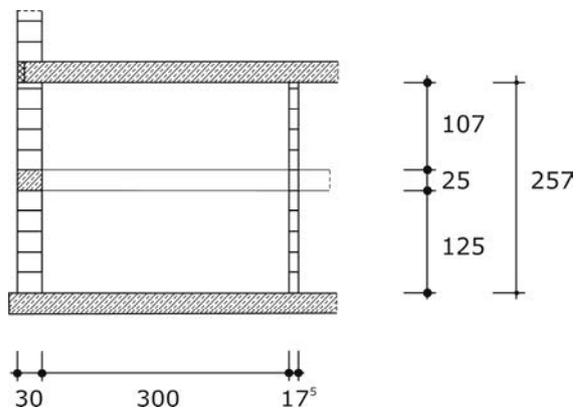
### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel

#### b) Nachweis und Bemessung des Aussteifungsriegels nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7]

- System und Querschnitt

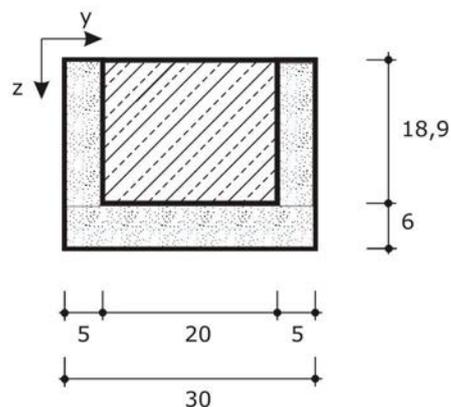


Stützweite

$$l_{\text{eff}} = 3,0 + (0,3 + 0,175) / 2 = 3,24 \text{ m}$$

verwendete Porenbeton-U-Schale:

EnEV 2009 [27]



Der im Bereich des Aussteifungsbalkens minimierte Wärmedurchlasswiderstand ist beim EnEV-Nachweis zu berücksichtigen. Bei einer höherwertigen Raumnutzung ist eine zusätzliche Dämmung in der U-Schale anzuordnen. Ggf. ist dann eine Erhöhung der Wanddicke auf 36,5 cm erforderlich.

- Belastung

Der Aussteifungsriegel wird in z-Richtung durch den Anteil  $\Delta H_{2,Ed}$ , der Bogenschubkraft des unteren Wandteils und in y-Richtung durch

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

den auf den Riegel wirkenden Erddruck und die horizontalen Auflagerkräfte des oberen und unteren Wandteils beansprucht.

in z-Richtung

$$q_{Edz} = \Delta H_{2,Ed} = 12,66 \text{ kN/m}$$

in y-Richtung

Erddruck

$$e_{mg,k} = (7,19 + 8,69) / 2 \cdot 0,25 = 1,98 \text{ kN/m}$$

$$e_{mq,k} = 1,67 \cdot 0,25 = 0,42 \text{ kN/m}$$

$$e_{m,d} = 1,35 \cdot 1,98 + 1,5 \cdot 0,42 = 3,30 \text{ kN/m}$$

horizontale Auflagerkraft aus dem oberen Wandabschnitt

$$V_{1,Ed} = 4,99 \text{ kN/m}$$

horizontale Auflagerkraft aus dem unteren Wandabschnitt

$$V_{2,Ed} = 11,01 \text{ kN/m}$$

maximale Belastung in y-Richtung

$$q_{Edy} = 3,30 + 4,99 + 11,01 = 19,30 \text{ kN/m}$$

- Biegemessung

Stahlbetonquerschnitt C25/30, B500A

$$b / h / d = 20 / 18,9 / 16,7 \text{ cm}$$

$$b_1 = 3,3 \text{ cm}, d_1 = 3,3 \text{ cm}$$

maßgebende Bemessungsmomente

$$M_{Edy} = q_{Edz} \cdot l_{eff}^2 / 8 = 12,66 \cdot 3,24^2 / 8 = 16,61 \text{ kNm}$$

$$M_{Edz} = q_{Edy} \cdot l_{eff}^2 / 8 = 19,30 \cdot 3,24^2 / 8 = 25,32 \text{ kNm}$$

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
6.1

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel

z.B. [24] – Tafel 7.3c / C12-C50

Bemessung mit dem Interaktionsdiagramm für schiefe Biegung

$$d_1 / h = 3,3 / 18,9 = 0,17 \approx 0,15$$

$$b_1 / b = 3,3 / 20 = 0,16 \approx 0,15$$

$$\mu_{\text{E}dy} = \frac{|M_{\text{E}dy}|}{b \cdot h^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{16,61 \cdot 10^{-3}}{0,20 \cdot 0,189^2 \cdot (0,85 \cdot 25 / 1,5)} = 0,164$$

$$\mu_{\text{E}dz} = \frac{|M_{\text{E}dz}|}{b^2 \cdot h \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{25,32 \cdot 10^{-3}}{0,20^2 \cdot 0,189 \cdot (0,85 \cdot 25 / 1,5)} = 0,236$$

$$v_{\text{Ed}} = 0$$

aus Tafel 7.3c / C12-C50 [24] ( $\mu_1 = 0,236$ ;  $\mu_2 = 0,164$ ) folgt

$$\omega_{\text{tot}} = 0,85$$

$$A_{\text{s,tot}} = \omega_{\text{tot}} \cdot \frac{b \cdot h}{f_{\text{yd}} / f_{\text{cd}}} = 0,85 \cdot \frac{20 \cdot 18,9}{(500 / 1,15) / (0,85 \cdot 25 / 1,5)} = 10,47 \text{ cm}^2$$

gewählt: je Ecke und je Seitenmitte 1 Ø 14

$$\text{mit } \Sigma A_{\text{s}} = 8 \cdot 1,54 = 12,32 \text{ cm}^2 > A_{\text{s,tot}} = 10,47 \text{ cm}^2$$

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
6.2

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
6.2.1 (8), Bemessungsquerkraft  
im Abstand d vom Auflagertrand

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
NCI zu 6.2.3 (1)

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
NCI zu 6.2.3 (2), reine Biegung

- Querkraftbemessung

Bemessungswert der Querkraft am rechten Auflager

(maßgebend ist die y-Richtung mit  $b / d = 20 / 16,7 \text{ cm}$ )

$$V_{\text{Ed}} = 19,30 \cdot (3,24 / 2 - 0,175 / 2 - 0,167) = 29,73 \text{ kN}$$

Hebelarm der inneren Kräfte

$$z \approx 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,167 = 0,15 \text{ m} > d - 2 \cdot c_{\text{v},1} = 0,167 - 2 \cdot 0,028 = 0,111 \text{ m}$$

maximale Querkrafttragfähigkeit

$$b_{\text{w}} = 18,9 \text{ cm}$$

$$\cot \theta = 1,2$$

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

$$\alpha_{cw} = 1,0$$

$$v_1 = 0,75 \cdot (1,1 - f_{ck} / 500) = 0,75 \cdot (1,1 - 25 / 500) = 0,79 > 0,75$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z}{\cot \theta + \tan \theta} = \frac{1,0 \cdot 0,75 \cdot 14,2 \cdot 10^3 \cdot 0,189 \cdot 0,111}{1,2 + 1 / 1,2} = 109,9 \text{ kN}$$

Nachweis

$$V_{Ed} = 29,73 \text{ kN} < V_{Rd,max} = 109,9 \text{ kN}$$

Querkraftausnutzung

$$V_{Ed} / V_{Rd,max} = 29,73 / 109,9 = 0,27 < 0,3$$

größter Längsabstand der Bügelbewehrung

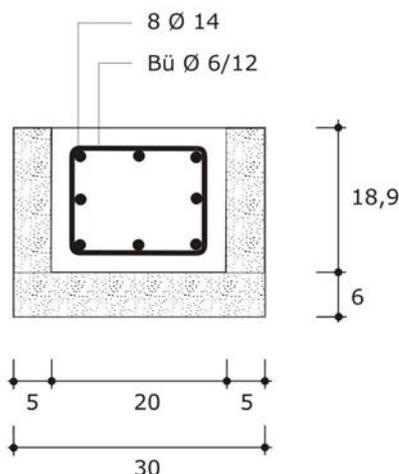
$$s_w \leq 0,7 \cdot 20 = 14 \text{ cm}$$

erforderliche Querkraftbewehrung

$$\text{erf } a_{sw} = \frac{V_{Ed}}{f_{ywd} \cdot z \cdot \cot \theta} = \frac{27,16}{(50 / 1,15) \cdot 0,111 \cdot 1,2} = 4,69 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

gewählt: Bügel  $\varnothing 6 / s_w = 12 \text{ cm}$  (zweischnittig)

$$\text{mit } a_{sw} = 4,71 \text{ cm}^2 / \text{m} > \text{erf } a_{sw} = 4,69 \text{ cm}^2 / \text{m}$$



DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 [8]  
– NDP zu 6.2.3 (3)

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
6.2.3 Gl. (6.9) mit NDP zu 6.2.3(3)

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
NDP zu 9.2.2 (6), Tab. NA.9.

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
6.2.3, Gl. (6.8) umgestellt

Der im Bereich des Aussteifungs-  
balkens reduzierte Wärmedurch-  
lasswiderstand ist beim EnEV-  
Nachweis zu berücksichtigen [27].

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel

DIN EN 1992-1-1: 2011-01 [7] – 7.4

DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 [8] – NDP und NCI zu 7.4

Schneider Bautabellen [20], Tafel 2a, S. 5.134

DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 [8] – NDP, 7.4.2 Tab. 7.4N

DIN EN 1992-1-1: 2011-01 [7] – 7.4.2, Gl. (7.16b)

- Nachweis der Begrenzung der Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Es wird zuerst versucht, den Nachweis über die Begrenzung der Biegeschlankheit näherungsweise getrennt nach den Beanspruchungsrichtungen nach [7] zu erbringen.

y-Richtung

mit  $d = b - b_1 = 0,2 - 0,033 = 0,167$  m und

$$\mu_{Edz} = \frac{|M_{Edz}|}{d^2 \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{25,32 \cdot 10^{-3}}{0,167^2 \cdot 0,189 \cdot (0,85 \cdot 25 / 1,5)} = 0,339$$

folgt aus Tafel 2a [20]

$$\omega = 0,4373$$

erforderlicher Zugbewehrungsgrad in Feldmitte

$$\rho = \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \omega = \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} \cdot 0,4373 = 0,014$$

Referenzbewehrungsgrad

$$\rho_0 = f_{ck}^{0,5} \cdot 10^{-3} = 25^{0,5} \cdot 10^{-3} = 0,005$$

erforderlicher Druckbewehrungsgrad in Feldmitte

$$\rho' = 0$$

Beiwert zur Berücksichtigung des statischen Systems

$$K = 1$$

Begrenzung der Biegeschlankheit: für  $\rho_0 < \rho$  gilt

$$\frac{l}{d} \leq K \cdot \left[ 11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho'}{\rho} \right)^{1/2} \right] \leq (l/d)_{\max} = K \cdot 35$$

$$\frac{3,24}{0,167} = 19,4 > 1 \cdot \left[ 11 + 1,5 \sqrt{25} \frac{0,005}{0,014 - 0} + 0 \right] = 13,68 < 35$$

Nachweis nicht erbracht

z-Richtung

mit  $d = h - d_1 = 0,189 - 0,033 = 0,156$  m und

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

$$\mu_{\text{Edy}} = \frac{|M_{\text{Edy}}|}{b \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{16,61 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 0,156^2 \cdot (0,85 \cdot 25 / 1,5)} = 0,241$$

folgt aus Tafel 2a [20]

$$\omega = 0,2818$$

erforderlicher Zugbewehrungsgrad in Feldmitte

$$\rho = \frac{f_{\text{cd}}}{f_{\text{yd}}} \omega = \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} \cdot 0,2818 = 0,0092$$

Referenzbewehrungsgrad

$$\rho_0 = f_{\text{ck}}^{0,5} \cdot 10^{-3} = 25^{0,5} \cdot 10^{-3} = 0,005$$

erforderlicher Druckbewehrungsgrad in Feldmitte

$$\rho' = 0$$

Beiwert zur Berücksichtigung des statischen Systems

$$K = 1$$

Begrenzung der Biegeschlankheit: für  $\rho_0 < \rho$  gilt

$$\frac{l}{d} \leq K \cdot \left[ 11 + 1,5 \sqrt{f_{\text{ck}}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{\text{ck}}} \left( \frac{\rho'}{\rho} \right)^{1/2} \right] \leq (l/d)_{\text{max}} = K \cdot 35$$

$$\frac{3,24}{0,156} = 20,8 > 1 \cdot \left[ 11 + 1,5 \sqrt{25} \frac{0,005}{0,0092 - 0} + 0 \right] = 15,08 < 35$$

Damit gelingt der Nachweis, dass die Durchbiegungen im Zustand II kleiner als  $l/250$  sind, nicht über die Beschränkung der Biegeschlankheit. Nach [21] liegt der Ansatz des Eurocode 2 für kleine Spannweiten weit auf der sicheren Seite. Die Autoren geben für  $\rho \leq 0,01$  und  $l \leq 4$  m eine erforderliche Biegeschlankheit von  $l/d = 27,3$  an (Tab. 3 in [21]), sodass der Nachweis als erfüllt angesehen werden kann. Krüger/Mertzsch stellen in [22] ein Verfahren zur Abschätzung der Durchbiegung nach Zustand II zur Verfügung, das sehr einfach zu handhaben ist und auf das an dieser Stelle hingewiesen werden soll.

- Schlussfolgerung

Die Zahlenwerte zeigen, dass der horizontale Aussteifungsriegel wegen der erforderlichen Verformungsbegrenzung infolge der nicht unerheblichen Belastung aus Erddruck nicht optimal ist.

DIN EN 1992-1-1: 2011-01 [7] – 7.4

DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 [8] – NDP und NCI zu 7.4.3 (2) P

[21], Abb. 5 sowie [22]

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

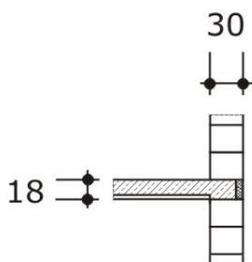
Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel

#### c) Nachweis und Bemessung eines Überzuges nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7]

Im vorliegenden Fall ist der Nachweis des Bogenschubs am Kopf der Wand gelungen. Die Auflast aus Brüstung und Deckenstreifen (parallel zur Wand) reichte aus, um den Bogenschub aufzunehmen. Es sind am Kopf keine weiteren Nachweise oder Maßnahmen erforderlich geworden.

Nachfolgend soll gezeigt werden, wie vorzugehen ist, wenn das nicht der Fall ist und eine Restkraft verbleibt, die durch ein entsprechendes Stahlbetonbauteil (hier deckengleicher Überzug) aufgenommen werden muss. Die Zahlenwerte sind beispielhaft angenommen worden.



- System und Querschnitt

Stützweite

$$l_{\text{eff}} = 3,0 + (0,3 + 0,175) / 2 = 3,24 \text{ m}$$

- Belastung

Der deckengleiche Überzug wird in z-Richtung durch den Anteil  $\Delta H_{\text{Ed},1}$  der verbleibenden Bogenschubkraft des oberen Wandteils beansprucht.

$$q_{\text{Edz}} = \Delta H_{\text{Ed},1} = 1,65 \text{ kN/m (Annahme)}$$

DIN EN 1992-1-1:2011-01 – 6.1

Biegemessung

Stahlbetonquerschnitt C25/30, B500A

$$b / h / d = 30 / 18 / 14,7 \text{ cm}$$

$$d_1 = 3,3 \text{ cm (Abstand der Bewehrung vom gezogenen Rand)}$$

maßgebende Bemessungsmomente

$$M_{\text{Eds}} = q_{\text{Edz}} \cdot l_{\text{eff}}^2 / 8 = 1,65 \cdot 3,24^2 / 8 = 2,17 \text{ kNm}$$

z.B. Bautabellen [20] – Tafel 2a

Bemessung mit Bemessungstafel für Rechteckquerschnitte ohne Druckbewehrung für Biegung mit Längskraft

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

$$\mu_{Eds} = \frac{|M_{Eds}|}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2,17 \cdot 10^{-3}}{0,3 \cdot 0,147^2 \cdot (0,85 \cdot 25 / 1,5)} = 0,024$$

aus Tafel 2a [20] folgt

$$\omega = 0,0244$$

$$A_{s1} = \omega \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd} / f_{cd}} = 0,0244 \cdot \frac{30 \cdot 14,7}{(500 / 1,15) / (0,85 \cdot 25 / 1,5)} = 0,35 \text{ cm}^2$$

gewählt: 2 Ø 6

mit  $\Sigma A_s = 0,57 \text{ cm}^2 > A_{s1} = 0,35 \text{ cm}^2$  oben angeordnet

- **Querkraftbemessung**

Bemessungswert der Querkraft am rechten Auflager

$$V_{Ed} = 1,65 \cdot (3,24 / 2 - 0,175 / 2 - 0,147) = 2,3 \text{ kN}$$

Hebelarm der inneren Kräfte

$$z \approx 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,147 = 0,13 \text{ m} > d - 2 \cdot c_{v,1} = 0,147 - 2 \cdot 0,028 = 0,091 \text{ m}$$

Bemessungswiderstand  $V_{Rd,c,min}$

$$v_{min} = (\kappa_1 / \gamma_c) \cdot (k^3 \cdot f_{ck})^{0,5} = (0,0525 / 1,5) \cdot (2^3 \cdot 25)^{0,5} = 0,495$$

$$V_{Rd,c,min} = v_{min} \cdot b_w \cdot d = 0,495 \cdot 0,3 \cdot 0,091 = 0,0135 \text{ MN} = 13,5 \text{ kN}$$

$$\underline{V_{Rd,c,min} = 13,5 \text{ kN} > V_{Ed} = 2,3 \text{ kN}}$$

Da der Unterzug Teil der Deckenplatte ist, kann auf eine Schubbewehrung verzichtet werden.

- **Nachweis der Begrenzung der Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit**

Der Nachweis erfolgt über die Begrenzung der Biegeschlankheit nach [7]. Auf den Ansatz einer mittragenden Breite wird verzichtet.

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] – 6.2

DIN EN 1992-1-1: 2011-01 [7] – 7.4.2, Gl. (7.16b)

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel

erforderlicher Zugbewehrungsgrad in Feldmitte

$$\rho = \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \omega = \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} 0,0244 = 7,95 \cdot 10^{-4}$$

Referenzbewehrungsgrad

$$\rho_0 = f_{ck}^{0,5} \cdot 10^{-3} = 25^{0,5} \cdot 10^{-3} = 0,005$$

Beiwert zur Berücksichtigung des statischen Systems

$$K = 1$$

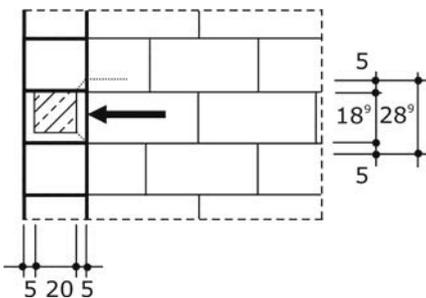
Begrenzung der Biegeschlankheit: für  $\rho_0 > \rho$  gilt

$$\frac{l}{d} \leq K \cdot \left[ 11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right] \leq (l/d)_{\max} = K \cdot 35$$

$$\frac{3,24}{0,147} = 22,0 < 1 \cdot \left[ 11 + 1,5 \sqrt{25} \frac{0,005}{7,95 \cdot 10^{-4}} + 3,2 \sqrt{25} \left( \frac{0,005}{7,95 \cdot 10^{-4}} - 1 \right)^{3/2} \right] = 253 \leq 35$$

Damit ist der Grenzwert der Biegeschlankheit eingehalten.

#### d) Nachweis der Lastableitung in die Querwände zur Ableitung der Horizontallasten aus dem Aussteifungsriegel nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9]



- Teilflächenbelastung der aussteifenden Innenwand

*Geometrie*

Auflagerbreite (Dicke der aussteifenden Wand)

$$t = 17,5 \text{ cm}$$

belastete Teilfläche (Kontaktfläche Riegel mit aussteifender Querwand)

$$A_b = 17,5 \cdot (18,9 + 2 \cdot 5) = 505,75 \text{ cm}^2$$

Mindestlänge 28,9 cm > 9 cm eingehalten

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
 3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
 3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel

Projekt:  
 Einfamilienhaus  
 in Berlin

#### Belastung

Belastungsfläche  $A_b < 2 \cdot t^2 = 2 \cdot 17,5^2 = 612,5 \text{ cm}^2$

Ausmitte des Lasteintrages  $< t/6$

Die Belastung wirkt in Richtung der aussteifenden Wand. Sinngemäß wird der Erhöhungsfaktor  $\beta$  angewendet.

$$\beta = 1,3$$

Auflagerkraft

$$N_{Edc} = q_{Ed} \cdot l_{eff} / 2 = 19,30 \cdot 3,24 / 2 = 31,27 \text{ kN}$$

#### Tragwiderstand

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks (Druckfestigkeit  $\perp$  zur Lagerfuge siehe Pkt. a)

$$f_d = 0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,8 / 1,5 = 0,51 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert des Tragwiderstandes

$$N_{Rdc} = 1,3 \cdot 0,51 \cdot 10^{-1} \cdot 330,75 = 33,53 \text{ kN}$$

#### Nachweis

$$N_{Edc} = 31,27 \text{ kN} < N_{Rdc} = 33,53 \text{ kN}$$

DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 [8]  
 – NCI zu 6.3.1, (NA.8) und (NA.9)

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
 6.1.3 sowie IN EN 1996-1-1/NA:2012-05, NCI zu 3.6.1.2

#### • Schubnachweis im Lasteinleitungsbereich

Zusätzlich ist nachzuweisen, dass die Schubtragfähigkeit in den Lagerfugen der belasteten Steine gegeben ist, da der Bemessungswert der einwirkenden Kraft  $> 4,0 \text{ kN}$  ist.

DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 [8]  
 – NCI zu 6.3.1, (NA.9)

#### Belastung

Einwirkende Normalkraft aus der Decke (Mittelstütze der durchlaufenden, einachsigen gespannten Platte)

$$N_{Ed} = 1,0 \cdot (6,30 \cdot (3,24/2 + 3,86/2) \cdot 1,25 + 1,14 \cdot 1,07) = 29,18 \text{ kN/m}$$

Einwirkende Querkraft aus horizontaler Auflagerung des Riegels

$$V_{Ed} = q_{Ed} \cdot l_{eff} / 2 = 19,30 \cdot 3,24 / 2 = 31,27 \text{ kN}$$

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel

#### *Tragwiderstand*

abgeminderte Haftscherfestigkeit

$$f_{vk0} = 2/3 \cdot 0,22 = 0,15 \text{ N/mm}^2 \text{ (unvermörtelte Stoßfugen)}$$

überdrückte Querschnittsfläche ( $t$  – annähernd gleiche Stützweiten der abgehenden Decken)

die Kraft wird in einen 50 cm langen Stein eingeleitet

$$A = 0,50 \cdot 0,175 = 0,09 \text{ m}^2$$

Bemessungswert der Druckspannung in Höhe Riegel

$$\sigma_{Dd} = 0,5 \cdot 29,18 \cdot 10^{-3} / 0,09 = 0,166 \text{ N/mm}^2$$

charakteristische Schubfestigkeit in Höhe des Riegels

$$f_{vk} = f_{vlt} = 0,15 + 0,6 \cdot 0,166 = 0,250 \text{ N/mm}^2$$

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Bemessungswert der Schubfestigkeit in Höhe des Riegels

$$f_{o,vd} = 0,250 / 1,5 = 0,167 \text{ N/mm}^2$$

Schubspannungsverteilungsfaktor

$c = 1,0$  da reine Schubbeanspruchung durch konzentrierte Lasteinleitung

Querkrafttragfähigkeit in Höhe des Riegels

$$V_{Rdl} = 0,167 \cdot 10^3 \cdot 0,09 = 15,03 \text{ kN}$$

#### *Nachweis*

$$V_{Ed} = 31,27 \text{ kN} > V_{Rdl} = 15,03 \text{ kN}$$

Der Nachweis ist nicht erfüllt.

#### *Vermörtelung der Stoßfugen*

Im Bereich der Lasteinleitung durch den Aussteifungsriegel sind deshalb die Stoßfugen zu vermörteln.

Haftscherfestigkeit

$$f_{vk0} = 0,22 \text{ N/mm}^2 \text{ (vermörtelte Stoßfugen)}$$

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.3 Lastabtrag durch horizontalen Aussteifungsriegel**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

überdrückte Querschnittsfläche ( $t$  – annähernd gleiche Stützweiten der abgehenden Decken)

die Kraft wird über zwei Steine (100 cm) in die Wand eingeleitet

$$A = 1,00 \cdot 0,175 = 0,175 \text{ m}^2$$

Bemessungswert der Druckspannung in Höhe Riegel

$$\sigma_{Dd} = 29,18 \cdot 10^{-3} / 0,175 = 0,167 \text{ N/mm}^2$$

charakteristische Schubfestigkeit in Höhe des Riegels

$$f_{vk} = f_{vt} = 0,22 + 0,6 \cdot 0,167 = 0,320 \text{ N/mm}^2$$

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Bemessungswert der Schubfestigkeit in Höhe des Riegels

$$f_{o,vd} = 0,320 / 1,5 = 0,213 \text{ N/mm}^2$$

Schubspannungsverteilungsfaktor

$c = 1,0$  da reine Schubbeanspruchung durch konzentrierte Lasteinleitung

Querkrafttragfähigkeit in Höhe des Riegels

$$V_{Rdt} = 0,213 \cdot 10^3 \cdot 0,175 = 37,27 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\underline{V_{Ed} = 31,27 \text{ kN} < V_{Rdt} = 37,27 \text{ kN}}$$

Nachweis erfüllt.

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

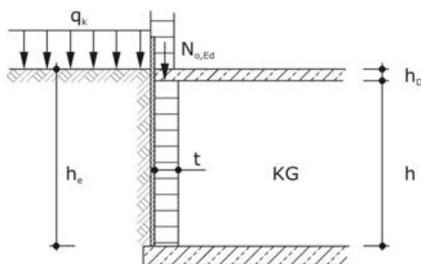
**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.4 Lastabtrag durch geschosshohe Aussteifungsbalken**

Genaueres Verfahren nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] und DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]

#### **Gegeben:**

Kelleraußenwand

- **Baustoffe**  
Porenbeton-Plansteine PP2-0,35  
Dünnbettmörtel
- **Abmessungen**  
Wanddicke  $t = 0,30 \text{ m}$   
Wandhöhe  $h = 2,57 \text{ m}$   
Wandlänge  $l = b = 3,0 \text{ m}$   
Anschütthöhe  $h_e = 2,75 \text{ m}$
- **Belastung**  
Nutzlast Gelände  $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$   
Wandeigenlast  $g_k = 3,8 \text{ kN/m}$   
Normalkraft Wandkopf  
ständige Last  
aus der Brüstung im EG  $N_{B,gk} = 2,58 \text{ kN/m}$   
aus der Decke  $N_{D,gk} = 6,30 \text{ kN/m}$   
 $N_{gk} = 8,88 \text{ kN/m}$   
veränderliche Last  $N_{qk} = 2,25 \text{ kN/m}$



Bei parallel zur Deckenspannrichtung verlaufenden Wänden sind Lasten aus einem parallelen Deckenstreifen angemessener Breite zu berücksichtigen.

Die Wand verläuft parallel zur Deckenspannrichtung der Kellerdecke und erhält nur ständige Lasten aus dem Wandabschnitt unterhalb des Eckfensters im Erdgeschoss.

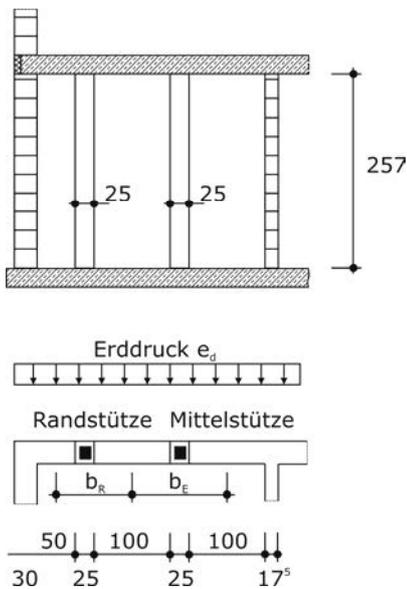
**Beispiel**    **3.7**    **Beispiel Kelleraußenwände**  
                   **3.7.2**    **mit hoher Erdanschüttung und geringer**  
                                   **Auflast**  
                   **3.7.2.4** **Lastabtrag durch geschosshohe Aus-**  
                                   **steifungsbalken**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

**Gesucht:**

Standsicherheitsnachweise

- a) Nachweis der einachsig gespannten Kelleraußenwand zwischen den Aussteifungsbalken nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9]
- b) Nachweis und Bemessung der Aussteifungsbalken nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7]



**Berechnungsgang:**

Das Mauerwerk im Keller des Einfamilienhauses wird normalerweise ohne Stoßfugenvermörtelung ausgeführt. Die Annahme eines waagerechten Gewölbes setzt einen gesicherten Lastabtrag des Mauerwerks in waagerechter Richtung und damit vermörtelte Stoßfugen voraus. Für die folgenden Nachweise werden deshalb vermörtelte Stoßfugen angenommen.

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.4 Lastabtrag durch geschosshohe Aussteifungsbalken

#### a) Nachweis der einachsigen gespannten Kelleraußenwand zwischen den Aussteifungsbalken nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9]

- Bodenkennwerte und Erddruckansatz

Es wird angenommen, dass die Verfüllung nicht stärker verdichtet wird als bis zu mitteldichter Lagerung und dass sich die für den Grenzzustand des aktiven Erddrucks erforderliche Wandverformung einstellen kann.

Wichte Anschüttung  $\rho_e = 18,0 \text{ kN/m}^3$

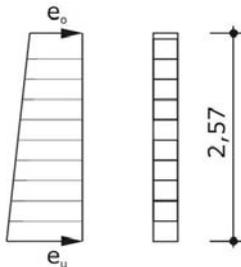
Reibungswinkel  $\phi' = 30^\circ$

Erddruckneigungswinkel  $\phi' = 30^\circ$

Erddruckbeiwert  $k_i = 0,333$

- Lastermittlung

waagerechte Lasten aus Erddruck



Wandkopf

$$e_{ag,o} = 0,333 \cdot 18 \cdot (2,75 - 2,57) = 1,08 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{aq,o} = 0,333 \cdot 5 = 1,67 \text{ kN/m}^2$$

Wandfuß

$$e_{ag,u} = 1,08 + 0,333 \cdot 18 \cdot 2,57 = 16,48 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{aq,u} = 0,333 \cdot 5 = 1,67 \text{ kN/m}^2$$

- Schnittgrößen

Es wird davon ausgegangen, dass sich zwischen den Aussteifungsbalken ein waagerechter Bogen mit dem Bogenstich<sup>5)</sup>

<sup>5)</sup> Bogenstich auf 0,8 t verringert, um den Schubnachweis zu erfüllen (vgl. S.119)

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.4 Lastabtrag durch geschosshohe Aussteifungsbalken**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

$$r = 0,8 \cdot t$$

ausbilden kann. Der Bogenschub ergibt sich zu

$$H_i = q_i \cdot l^2 / (8 \cdot r)$$

Erddruck, Bemessungslasten

$$e_{od} = 1,35 \cdot 1,08 + 1,5 \cdot 1,67 = 3,96 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{ud} = 1,35 \cdot 16,48 + 1,5 \cdot 1,67 = 24,75 \text{ kN/m}^2$$

Horizontale Bogenschubkraft

$$r = 0,8 \cdot 0,30 = 0,24 \text{ m}$$

$$\text{Wandkopf} \quad H_{Eod} = 3,96 \cdot 1,0^2 / (8 \cdot 0,24) = 2,06 \text{ kN/m}$$

$$\text{Wandfuß} \quad H_{Eud} = 24,78 \cdot 1,0^2 / (8 \cdot 0,27) = 12,89 \text{ kN/m}$$

Querkräfte

$$V_{Eod} = 3,96 \cdot 1,0 / 2 = 1,98 \text{ kN/m}$$

$$V_{Eud} = 24,75 \cdot 1,0 / 2 = 12,38 \text{ kN/m}$$

- Nachweis der horizontalen Druckbeanspruchung  
(Die maßgebende Nachweisstelle liegt am Wandfuß)

Da der angesetzte Bogen sich zwischen den vertikalen Balken horizontal ausbildet, wird die Längsdruckfestigkeit des Mauerwerks benötigt.

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

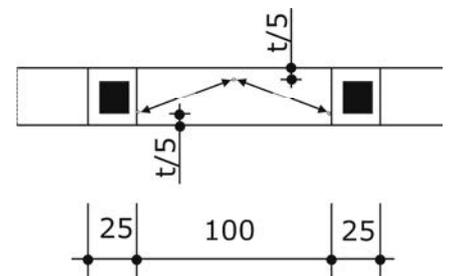
Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Steifigkeit senkrecht zur Lagerfuge

$$f_{st} = 2,5 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] – 6.3.2



DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10] – Tab. NA.3

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.4 Lastabtrag durch geschosshohe Aussteifungsbalken

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.10 sowie NCI zu  
3.6.1.2, Ergänzung zu Absatz (1)  
(i); s. auch [28]

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
3.6.1.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NDP zu 3.6.1.2

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
6.3.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.3.4 (NA.4)

Druckfestigkeit des Mörtels

$$f_m = 10,0 \text{ N/mm}^2$$

Parameter

Sofern keine Längsdruckfestigkeit angegeben ist, ist der K-Wert aus  
Tabelle NA.10 mit dem Faktor 0,5 zu multiplizieren.

$$K = 0,5 \cdot 0,9 = 0,45$$

$$\alpha = 0,76$$

$$\beta = 0$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = K \cdot f_{st}^\alpha \cdot f_m^\beta = 0,45 \cdot 2,5^{0,76} \cdot 10,0^0$$

$$f_k = 0,9 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 0,9 / 1,5 = 0,51 \text{ N/mm}^2$$

maximaler Bemessungswert des Bogenschubs

$$N_{a,Rd} = 1,5 \cdot f_d \cdot t / 5 = 1,5 \cdot 510 \cdot 0,3 / 5 = 45,9 \text{ kN/m}$$

*Nachweise Bogenschub*

$$H_{Eud} = 12,89 \text{ kN/m} < N_{a,Rd} = 45,9 \text{ kN/m}$$

- Nachweis auf Schubbeanspruchung  
(Die maßgebende Nachweisstelle liegt am Wandfuß)

Bemessungswerte der Querkraft

(Nachweis am Meterstreifen)

$$V_{u,ed} = v_{u,ed} \cdot b = 12,38 \cdot 1,0 = 12,38 \text{ kN}$$

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.4 Lastabtrag durch geschosshohe Aussteifungsbalken**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

Normalkraft

$$N_{Ed} = H_{Eud} \cdot b = 12,89 \cdot 1,0 = 12,89 \text{ kN}$$

abgeminderte Haftscherfestigkeit

$$f_{vk0} = 0,22 \text{ N/mm}^2 \text{ (vermörtelte Stoßfugen)}$$

überdrückte Querschnittsfläche (t/5)

$$A = 1,0 \cdot 0,3 / 5 = 0,06 \text{ m}^2$$

Bemessungswert der Druckspannung

$$\sigma_{Dd} = 12,89 \cdot 10^{-3} / 0,06 = 0,215 \text{ N/mm}^2$$

charakteristische Schubfestigkeit

$$f_{vk} = f_{vt} = 0,22 + 0,6 \cdot 0,215 = 0,349 \text{ N/mm}^2$$

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Bemessungswert der Schubfestigkeit am Wandkopf / Wandfuß

$$f_{vd} = 0,349 / 1,5 = 0,233 \text{ N/mm}^2$$

Außermittigkeit der Normalkraft

$$e = (t - t/5) / 2 = (0,3 - 0,3/5) / 2 = 0,12 \text{ m}$$

anzusetzende überdrückte Dicke der Wand

$$t_{c,lin} = 1,5 \cdot (1 - 2 \cdot 0,12 / 0,3) \cdot 0,3 = 0,09 \text{ m}$$

rechnerische Wanddicke

$$t_{cal} = 1,25 \cdot 0,09 = 0,112 \text{ m} < 0,3 \text{ m}$$

Schubspannungsverteilungsfaktor

$$c = 1,5$$

Querkrafttragfähigkeit am Wandkopf / Wandfuß

$$V_{Rdlt} = 0,233 \cdot 10^3 \cdot 0,112 \cdot 1,0 / 1,5 = 17,40 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\underline{V_{u,Ed} = 12,38 \text{ kN} < V_{u,Rdlt} = 17,40 \text{ kN}}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NDP zu 3.6.2 und Tab. NA.11

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
6.3.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.7)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.25)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.2, (NA.15), Erläuterung  
für  $t_{cal}$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.24)

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.4 Lastabtrag durch geschosshohe Aussteifungsbalken

#### b) Nachweis und Bemessung der geschosshohen Aussteifungsbalken nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7]

- Nachweis des Mittelbalkens für einachsige Biegung

*Abmessungen*

Einflussbreite

$$b_E = 1,0 + 0,25 = 1,25 \text{ m}$$

Stützweite

$$h_{\text{eff}} = 2,57 + (0,3 + 0,18) / 2 = 2,81 \text{ m}$$

*Belastung*

Lastordinaten aus Erddruck

$$\bar{e}_{\text{od}} = b_E \cdot e_{\text{od}} = 1,25 \cdot 3,96 = 4,95 \text{ kN/m}$$

$$\bar{e}_{\text{ud}} = b_E \cdot e_{\text{ud}} = 1,25 \cdot 16,5 = 20,63 \text{ kN/m}$$

oberes Auflager A

$$e_{\text{Ad}} = 4,95 - 1,35 \cdot 0,333 \cdot 18,0 \cdot 0,09 \cdot 1,25 = 4,04 \text{ kN/m}$$

unteres Auflager B

$$e_{\text{Bd}} = 16,5 + 1,35 \cdot 0,333 \cdot 18,0 \cdot 0,15 \cdot 1,25 = 18,97 \text{ kN/m}$$

*Schnittgrößen*

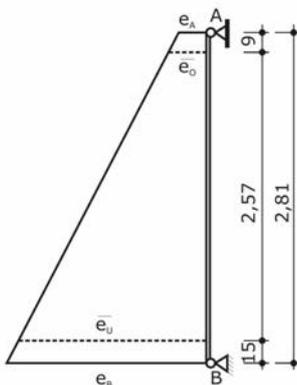
Bemessungswerte der Auflagerkräfte

$$A_d = 2,81 \cdot (2 \cdot 4,04 + 18,97) / 6 = 12,67 \text{ kN}$$

$$B_d = 2,81 \cdot (4,04 + 2 \cdot 18,97) / 6 = 19,66 \text{ kN}$$

Bemessungswert des größten Feldmomentes

$$M_d = 0,064 \cdot (4,04 + 18,97) \cdot 2,81^2 = 11,63 \text{ kNm}$$

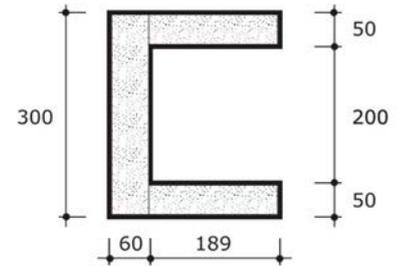


Beispiel	3.7	Beispiel Kelleraußenwände
	3.7.2	mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast
	3.7.2.4	Lastabtrag durch geschosshohe Aussteifungsbalken

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

#### Ausführung

Es wird die dargestellte Porenbeton-U-Schale verwendet, die übereinander versetzt angeordnet werden. Alternativ wären auch gegeneinandergestellte U-Schalen möglich, die einen größeren Betonquerschnitt ergäben. Die Lasteinleitung in die Stahlbetonbalken erfolgt über Druckkontakt. Die Stoßfugen des Kellermauerwerks – insbesondere zwischen Mauerwerk und U-Schalen – sind sorgfältig zu vermörteln. Der Verband des Mauerwerks zwischen den Aussteifungsbalken ist so auszuführen, dass das Überbindemaß nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 – 8.1.4 [9] eingehalten ist.

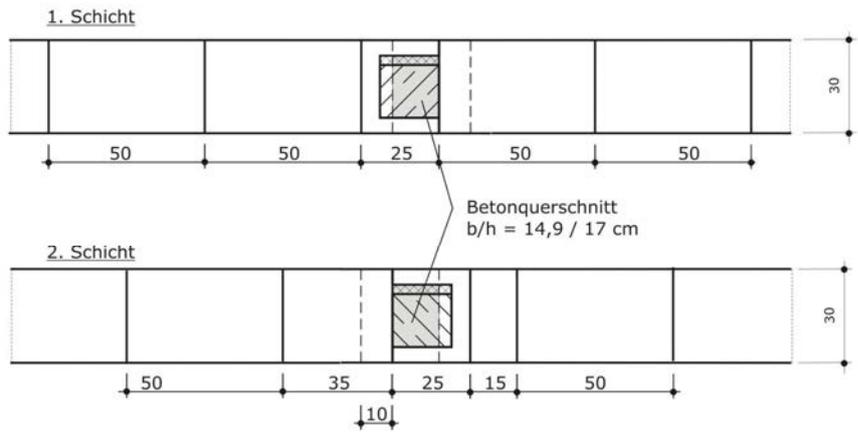


### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

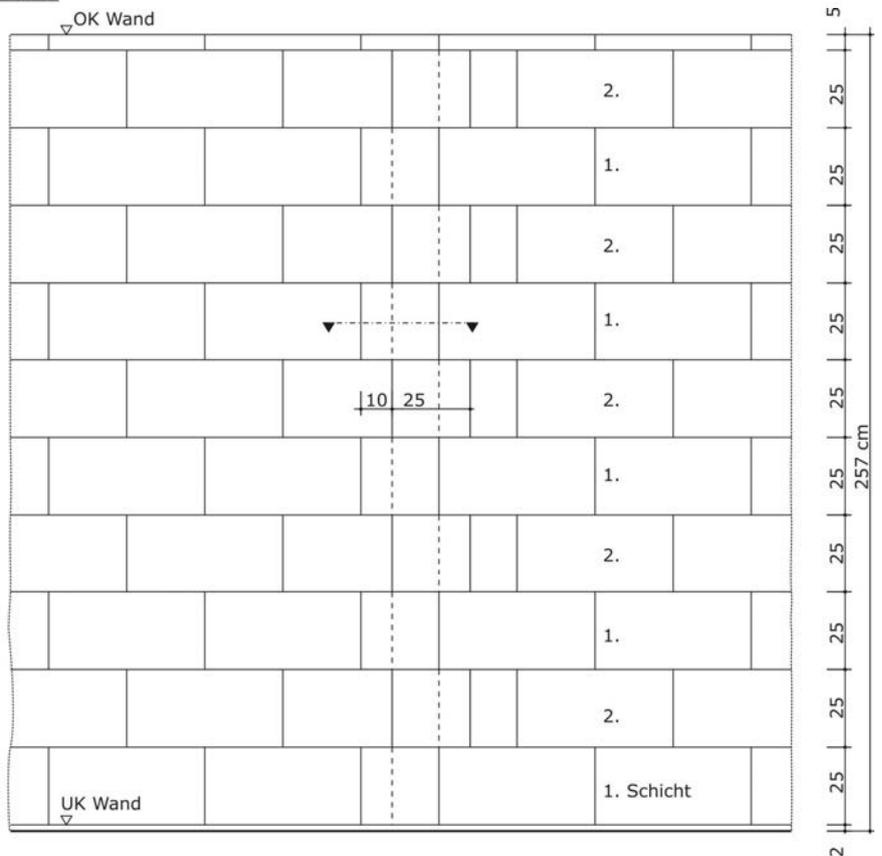
Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.4 Lastabtrag durch geschosshohe Aussteifungsbalken

#### Schnitt



#### Ansicht



**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.4 Lastabtrag durch geschosshohe Aussteifungsbalken**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

#### *Biegemessung*

Stahlbetonquerschnitt C25/30, B500A

$b / h / d = 14,9 / 17 / 13,7$  cm

$d_1 = 3,3$  cm

maßgebendes Bemessungsmoment

$M_{Eds} = M_d = 11,63$  kN

Bemessung mit Bemessungstafel für Rechteckquerschnitte ohne Druckbewehrung für Biegung mit Längskraft

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7]– 6.1

z.B. Bautabellen [20] – Tafel 2a

$$\mu_{Eds} = \frac{|M_{Eds}|}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{11,63 \cdot 10^{-3}}{0,149 \cdot 0,137^2 \cdot (0,85 \cdot 25 / 1,5)} = 0,296$$

aus Tafel 2a [20] folgt

$\omega = 0,3700$

$$A_{s1} = \omega \cdot \frac{b \cdot d}{f_{yd} / f_{cd}} = 0,3700 \cdot \frac{14,9 \cdot 13,7}{(500 / 1,15) / (0,85 \cdot 25 / 1,5)} = 2,46 \text{ cm}^2$$

gewählt: 4 Ø10

mit  $\Sigma A_s = 3,14 \text{ cm}^2 > A_{s1} = 2,46 \text{ cm}^2$

#### *Querkraftbemessung*

Bemessungswert der Querkraft am Balkenfuß

$V_{Ed} = 19,66 - 18,97 \cdot (0,15 + 0,137) = 14,22$  kN

Hebelarm der inneren Kräfte

$z \approx 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,137 = 0,128$  m

$> d - 2 \cdot c_{v,1} = 0,137 - 2 \cdot 0,028 = \underline{0,081}$  m

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] – 6.2

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.4 Lastabtrag durch geschosshohe Aussteifungsbalken

DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 [8]  
– NDP zu 6.2.3 (3)

maximale Querkrafttragfähigkeit

$$b_w = 14,9 \text{ cm}$$

$$\cot \theta = 1,2$$

$$\alpha_{cw} = 1,0$$

$$v_1 = 0,75 \cdot (1,1 - f_{ck} / 500) = 0,75 \cdot (1,1 - 25 / 500) = 0,79 > \underline{0,75}$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z}{\cot \theta + \tan \theta}$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1,0 \cdot 0,75 \cdot 14,2 \cdot 10^3 \cdot 0,149 \cdot 0,081}{1,2 + 1 / 1,2} = 63,21 \text{ kN} > V_{Ed} = 14,22 \text{ kN}$$

Querkraftausnutzung

$$V_{Ed} / V_{Rd,max} = 14,22 / 63,21 = 0,22 < 0,3$$

größter Längsabstand der Bügelbewehrung

$$s_w \leq 0,7 \cdot 17 = 12 \text{ cm}$$

erforderliche Querkraftbewehrung

$$\text{erf } a_{sw} = \frac{V_{Ed}}{f_{ywd} \cdot z \cdot \cot \theta} = \frac{14,22}{(50 / 1,15) \cdot 0,081 \cdot 1,2} = 3,36 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

gewählt: Bügel Ø6 /  $s_w = 12 \text{ cm}$  (zweischnittig)

$$\text{mit } a_{sw} = 4,71 \text{ cm}^2 / \text{m} > \text{erf } a_{sw} = 3,36 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

*Nachweis der Begrenzung der Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit*

Der Nachweis erfolgt über die Begrenzung der Biegeschlankheit nach [7].

erforderlicher Zugbewehrungsgrad in Feldmitte

$$\rho = \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \omega = \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} \cdot 0,3700 = 0,0121$$

Referenzbewehrungsgrad

$$\rho_0 = f_{ck}^{0,5} \cdot 10^{-3} = 25^{0,5} \cdot 10^{-3} = 0,005$$

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.4 Lastabtrag durch geschosshohe Aussteifungsbalken**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

erforderlicher Druckbewehrungsgrad in Feldmitte

$$\rho' = 0$$

Beiwert zur Berücksichtigung des statischen Systems

$$K = 1$$

Begrenzung der Biegeschlankheit: für  $\rho_0 < \rho$  gilt

$$\frac{l}{d} \leq K \cdot \left[ 11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho'}{\rho} \right)^{1/2} \right] \leq (l/d)_{\max} = K \cdot 35$$

$$\frac{2,81}{0,137} = 20,5 > 1 \cdot \left[ 11 + 1,5\sqrt{25} \frac{0,005}{0,0121 - 0} + 0 \right] = 14,10 < 35$$

Damit gelingt der Nachweis, dass die Durchbiegungen im Zustand II kleiner als  $l/250$  sind, nicht über die Begrenzung der Biegeschlankheit. Nach [21] liegt der Ansatz des Eurocode 2 für kleine Spannweiten weit auf der sicheren Seite. Die Autoren geben für  $0,01 < \rho \leq 0,02$  und  $l \leq 4$  m eine erforderliche Biegeschlankheit von  $l/d = 28,6$  an (Tab. 3 in [21]), womit der Nachweis als erbracht angesehen werden kann.

S. Krüger/Mertzsch [21], [22]

(Auf den Nachweis der Weiterleitung der waagerechten Auflagerkräfte in die Kellerdecke und die Bodenplatte wird hier verzichtet.)

- Nachweis des Randbalkens für zweiachsige Biegung

*Abmessungen*

Einflussbreite

$$b_R = 1,0 / 2 + 0,25 = 0,75 \text{ m}$$

Stützweite

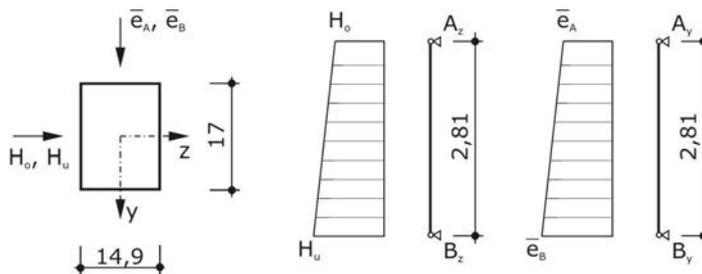
$$h_{\text{eff}} = 2,81 \text{ m}$$

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.4 Lastabtrag durch geschosshohe Aussteifungsbalken

#### Belastung



y-Richtung (Belastung aus Erddruck)

oberes Auflager A

$$\bar{e}_{Ad} = e_{Ad} \cdot b_R / b_E = 4,04 \cdot 0,75 / 1,25 = 2,43 \text{ kN/m}$$

unteres Auflager B

$$\bar{e}_{Bd} = e_{Bd} \cdot b_R / b_E = 18,97 \cdot 0,75 / 1,25 = 11,38 \text{ kN/m}$$

z-Richtung (Gewölbeschub)

Wandkopf

$$H_{Eod} = 1,83 \text{ kN/m}$$

Wandfuß

$$H_{Eud} = 11,47 \text{ kN/m}$$

=> Beide Werte werden vereinfacht in Höhe der Auflager des Stahlbetonbalkens angesetzt.

#### Schnittgrößen

Bemessungswerte der Auflagerkräfte

y-Richtung (Erddruck)

$$A_{dy} = 2,81 \cdot (2 \cdot 2,43 + 11,38) / 6 = 7,61 \text{ kN}$$

$$B_{dy} = 2,81 \cdot (2,43 + 2 \cdot 11,38) / 6 = 11,80 \text{ kN}$$

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.4 Lastabtrag durch geschosshohe Aussteifungsbalken**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

z-Richtung (Gewölbeschub)

$$A_{dz} = 2,81 \cdot (2 \cdot 1,83 + 11,47) / 6 = 7,09 \text{ kN}$$

$$B_{dz} = 2,81 \cdot (1,83 + 2 \cdot 11,47) / 6 = 11,60 \text{ kN}$$

Bemessungswerte der größten Feldmomente

$$M_{Edy} = 0,064 \cdot (1,83 + 11,47) \cdot 2,81^2 = 6,72 \text{ kNm}$$

$$M_{Edz} = 0,064 \cdot (2,43 + 11,38) \cdot 2,81^2 = 7,19 \text{ kNm}$$

*Biegemessung*

Stahlbetonquerschnitt C25/30, B500A

$$b / h / d = 14,9 / 17,0 / 13,7 \text{ cm}$$

$$d_1 = 3,3 \text{ cm}, b_1 = 3,3 \text{ cm}$$

Bemessung mit dem Interaktionsdiagramm für schiefe Biegung

$$d_1 / h = 3,3 / 17,0 = 0,19 \approx 0,20$$

$$b_1 / b = 3,3 / 14,9 = 0,22 \approx 0,20$$

DIN EN 1992-1-1:2011-01[7] – 6.1

z.B. [24]– Tafel 7.3e / C12-C50

$$\mu_{Edy} = \frac{|M_{Edy}|}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{6,72 \cdot 10^{-3}}{0,149 \cdot 0,170^2 \cdot (0,85 \cdot 25 / 1,5)} = 0,110$$

$$\mu_{Edz} = \frac{|M_{Edz}|}{b^2 \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{7,19 \cdot 10^{-3}}{0,149^2 \cdot 0,170 \cdot (0,85 \cdot 25 / 1,5)} = 0,134$$

$$v_{Ed} = 0$$

aus Tafel 7.3d / C12-C50 [24] folgt

$$\omega_{tot} = 0,5$$

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \cdot \frac{b \cdot h}{f_{yd} / f_{cd}} = 0,5 \cdot \frac{14,9 \cdot 17,0}{(500 / 1,15) / (0,85 \cdot 25 / 1,5)} = 5,13 \text{ cm}^2$$

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.4 Lastabtrag durch geschosshohe Aussteifungsbalken

gewählt: je Ecke 1 Ø14

mit  $\Sigma A_s = 4 \cdot 1,54 = 6,16 \text{ cm}^2 > A_{s,\text{tot}} = 5,13 \text{ cm}^2$

DIN EN 1992-1-1:2011-01[8] [7] –  
6.2

*Querkraftbemessung*

Bemessungswert der Querkraft am Balkenfuß

(maßgebend ist die z-Richtung mit  $b / d = 17,0 / 11,6 \text{ cm}$ )

$V_{Ed} = 11,60 - 11,47 \cdot (0,15 + 0,116) = 8,55 \text{ kN}$

Hebelarm der inneren Kräfte

$z \approx 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,116 = 0,104 \text{ m}$

$> d - 2 \cdot c_{v,1} = 0,116 - 2 \cdot 0,028 = 0,06 \text{ m}$

maximale Querkrafttragfähigkeit

$b_w = 17,0 \text{ cm}$

$\cot \theta = 1,2$

$\alpha_{cw} = 1,0$

$v_1 = 0,75 \cdot (1,1 - f_{ck} / 500) = 0,75 \cdot (1,1 - 25 / 500) = 0,79 > \underline{0,75}$

DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 –  
NDP zu 6.2.3 (3)

$$V_{Rd,\text{max}} = \frac{\alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z}{\cot \theta + \tan \theta}$$

$$V_{Rd,\text{max}} = \frac{1,0 \cdot 0,75 \cdot 14,2 \cdot 10^3 \cdot 0,17 \cdot 0,06}{1,2 + 1 / 1,2} = 53,42 \text{ kN} > V_{Ed} = 8,55 \text{ kN}$$

Querkraftausnutzung

$V_{Ed} / V_{Rd,\text{max}} = 8,55 / 53,42 = 0,16 < 0,3$

größter Längsabstand der Bügelbewehrung

$s_w \leq 0,7 \cdot 17 = 12 \text{ cm}$

erforderliche Querkraftbewehrung

$$\text{erf } a_{sw} = \frac{V_{Ed}}{f_{ywd} \cdot z \cdot \cot \theta} = \frac{8,55}{(50 / 1,15) \cdot 0,06 \cdot 1,2} = 2,73 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast**  
**3.7.2.4 Lastabtrag durch geschosshohe Aussteifungsbalken**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus**  
**in Berlin**

gewählt: Bügel  $\varnothing 6 / s_w = 12 \text{ cm}$  (zweischnittig)

mit  $a_{sw} = 4,71 \text{ cm}^2/\text{m} > \text{erf } a_{sw} = 2,73 \text{ cm}^2/\text{m}$

*Nachweis der Begrenzung der Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit*

Der Nachweis erfolgt über die Begrenzung der Biegeschlankheit näherungsweise getrennt nach den Beanspruchungsrichtungen nach [7].

y-Richtung

mit  $d = b - b_1 = 0,149 - 0,033 = 0,116 \text{ m}$  und

$$\mu_{Edz} = \frac{|M_{Edz}|}{d^2 \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{7,19 \cdot 10^{-3}}{0,116^2 \cdot 0,17 \cdot (0,85 \cdot 25 / 1,5)} = 0,222$$

folgt aus Tafel 2a [20]

$$\omega = 0,2555$$

erforderlicher Zugbewehrungsgrad in Feldmitte

$$\rho = \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \omega = \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} \cdot 0,2555 = 8,33 \cdot 10^{-3}$$

Referenzbewehrungsgrad

$$\rho_0 = f_{ck}^{0,5} \cdot 10^{-3} = 25^{0,5} \cdot 10^{-3} = 0,005$$

erforderlicher Druckbewehrungsgrad in Feldmitte

$$\rho' = 0$$

Beiwert zur Berücksichtigung des statischen Systems

$$K = 1$$

Begrenzung der Biegeschlankheit: für  $\rho_0 < \rho$  gilt

$$\frac{l}{d} \leq K \cdot \left[ 11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho'}{\rho} \right)^{1/2} \right] \leq (l/d)_{\max} = K \cdot 35$$

$$\frac{2,81}{0,116} = 24,2 > 1 \cdot \left[ 11 + 1,5 \sqrt{25} \frac{0,005}{0,00833 - 0} + 0 \right] = 15,50 < 35$$

z-Richtung

mit  $d = h - d_1 = 0,17 - 0,033 = 0,137 \text{ m}$  und

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus  
in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.2 mit hoher Erdanschüttung und geringer Auflast  
3.7.2.4 Lastabtrag durch geschosshohe Aussteifungsbalken

$$\mu_{\text{Edy}} = \frac{|M_{\text{Edy}}|}{b \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{6,72 \cdot 10^{-3}}{0,149 \cdot 0,137^2 \cdot (0,85 \cdot 25 / 1,5)} = 0,170$$

folgt aus Tafel 2a [20]

$$\omega = 0,1882$$

erforderlicher Zugbewehrungsgrad in Feldmitte

$$\rho = \frac{f_{\text{cd}}}{f_{\text{yd}}} \omega = \frac{0,85 \cdot 25 / 1,5}{500 / 1,15} \cdot 0,1882 = 6,13 \cdot 10^{-3}$$

Referenzbewehrungsgrad

$$\rho_0 = f_{\text{ck}}^{0,5} \cdot 10^{-3} = 25^{0,5} \cdot 10^{-3} = 0,005$$

erforderlicher Druckbewehrungsgrad in Feldmitte

$$\rho' = 0$$

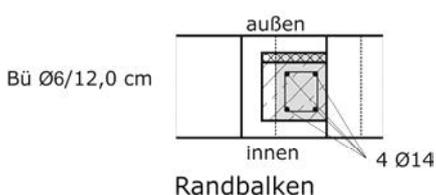
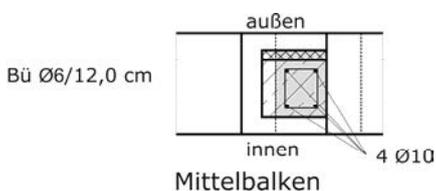
Beiwert zur Berücksichtigung des statischen Systems

$$K = 1$$

Begrenzung der Biegeschlankheit: für  $\rho_0 < \rho$  gilt

$$\frac{l}{d} \leq K \cdot \left[ 11 + 1,5 \sqrt{f_{\text{ck}}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{\text{ck}}} \left( \frac{\rho'}{\rho} \right)^{1/2} \right] \leq (l/d)_{\text{max}} = K \cdot 35$$

$$\frac{2,81}{0,137} = 20,5 > 1 \cdot \left[ 11 + 1,5 \sqrt{25} \frac{0,005}{0,00613 - 0} + 0 \right] = 17,12 < 35$$



Damit gelingt der Nachweis, dass die Durchbiegungen im Zustand II kleiner als  $l/250$  sind, nicht über die Begrenzung der Biegeschlankheit. Nach [21] liegt der Ansatz des Eurocode 2 für kleine Spannweiten weit auf der sicheren Seite. Die Autoren geben für  $\rho = 0,02$  und  $l = 4$  m eine erforderliche Biegeschlankheit von  $l/d = 27$  an.

(Auf den Nachweis der Weiterleitung der waagerechten Auflagerkräfte in die Kellerdecke und die Bodenplatte wird hier verzichtet.)

**Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände**  
**3.7.3 mit erhöhtem Erddruck**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus in Berlin**

Genauerer Verfahren nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] und DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]

**Gegeben:**

Kelleraußenwand

- Baustoffe

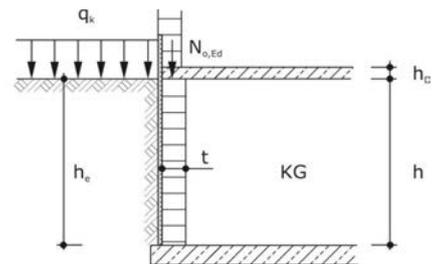
Porenbeton-Plansteine PP2-0,35  
 Dünnbettmörtel

- Abmessungen

Wanddicke  $t = 0,365 \text{ m}$   
 Wandhöhe  $h = 2,570 \text{ m}$   
 Wandlänge  $l = b = 2,805 \text{ m}$   
 Anschütthöhe  $h_e = 2,750 \text{ m}$

- Belastung

Nutzlast Gelände  $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$   
 Wandeigenlast  $g_k = 4,5 \text{ kN/m}$   
 Wichte Anschüttung  $\rho_e = 18,0 \text{ kN/m}^3$   
 Erddruckbeiwert  $k_i = 0,42$   
 Normalkraft Wandkopf  
 ständige Last  $N_{gk} = 31,9 \text{ kN/m}$   
 veränderliche Last  $N_{qk} = 7,6 \text{ kN/m}$



**Gesucht:**

Standsicherheitsnachweise

- a) Überprüfen der Voraussetzungen für die Anwendung von DIN EN 1996-1-1/NA [10] – Gl. (NA.26)
- b) Genauerer Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.3 mit erhöhtem Erddruck

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.3.4

#### Berechnungsgang:

##### a) Überprüfen der Voraussetzungen

- Lichte Höhe der Kellerwand  
 $h = 2,57 \text{ m} < 2,60 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Wanddicke  
 $t = 365 \text{ mm} > 240 \text{ mm} \Rightarrow$  zulässig
- Nutzlast Gelände  
 $q_k = 5 \text{ kN/m}^2 = 5 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow$  zulässig
- Anschütthöhe (Geländeoberfläche steigt nicht an)  
 $h_e = 2,75 \text{ m} < 1,15 \cdot 2,57 = 2,95 \text{ m} \Rightarrow$  zulässig
- Kellerdecke wirkt als aussteifende Scheibe

Die Voraussetzungen für die Anwendung von DIN EN 1996-1-1/NA [10] – Gl. (NA. 26) sind damit eingehalten.

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.3.4

##### b) Genauerer Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Es wird angenommen, dass die Verfüllung nicht stärker verdichtet wird als bis zu mitteldichter Lagerung und dass sich die für den Grenzzustand des aktiven Erddrucks erforderliche Wandverformung nicht vollständig einstellen kann. Für den Erddruck wird der Mittelwert aus aktivem Erddruck und Erdruhedruck angesetzt.

$$\begin{aligned} \text{Erddruckbeiwert} \quad k_{ag} &= 0,333 \\ k_{0g} &= 0,5 \\ k_i &= 0,5 \cdot (0,333 + 0,5) = 0,42 \end{aligned}$$

##### • Nachweis Bogenschub

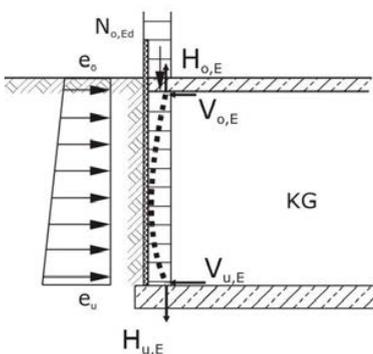
Bemessungswerte der Wandnormalkraft in halber Höhe der Anschüttung

Anteil aus Wandeigenlast

$$\begin{aligned} g_{wk} &= 1,76 \cdot (2,57 - 2,75/2) = 2,10 \text{ kN/m} \\ n_{1,Ed,sup} &= 1,35 \cdot (31,9 + 2,10) + 1,5 \cdot 7,6 = 57,3 \text{ kN/m} \\ n_{1,Ed,inf} &= 1,0 \cdot (31,9 + 2,10) = 34,0 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

unterer Grenzwert

$$n_{1,lim,d} = 0,42 \cdot 18,0 \cdot 2,57 \cdot 2,75^2 / (7,8 \cdot 0,365) = 51,61 \text{ kN/m}$$



Bogenmodell [29], [30]

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.26)

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.3 mit erhöhtem Erddruck

Projekt:  
Einfamilienhaus in Berlin

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Steinfestigkeit

$$f_{st} = 2,5 \text{ N/mm}^2$$

Druckfestigkeit des Mörtels

$$f_m = 10,0 \text{ N/mm}^2$$

Parameter

$$K = 0,9$$

$$\alpha = 0,76$$

$$\beta = 0$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.3

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.10

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = K \cdot f_{st}^\alpha \cdot f_m^\beta = 0,9 \cdot 2,5^{0,76} \cdot 10,0^0 = 1,8 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
3.6.1.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NDP zu 3.6.1.2

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,8 / 1,5 = 1,02 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.1.2.1

oberer Grenzwert

$$n_{1,Rd} = 0,33 \cdot 1,02 \cdot 10^3 \cdot 0,365 = 122,8 \text{ kN/m}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.27)

Abstand der Querwände

$$h = 2,57 \text{ m} < b = 2,805 \text{ m} < 2h = 5,14 \text{ m}$$

=> lineare Interpolation zwischen  $0,5 \cdot n_{1,lim,d}$  und  $n_{1,lim,d}$

$$n_{1,lim,d} = 51,61 \cdot [2,805 / (2 \cdot 2,57)] = 28,2 \text{ kN/m}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– (NA.5)

Nachweis

$$\underline{n_{1,Ed,sup} = 57,3 \text{ kN/m} < n_{1,Rd} = 122,8 \text{ kN/m}}$$

$$\underline{n_{1,Ed,inf} = 34,0 \text{ kN/m} > n_{1,lim,d} = 28,2 \text{ kN/m}}$$

Der Nachweis ist erfüllt.

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus in Berlin

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.3 mit erhöhtem Erddruck

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– (NA.4)

- Querkraftnachweis

Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit in Plattenrichtung wird am Wandfuß und Wandkopf für die Bemessungswerte der Querkraft unter minimaler Auflast geführt.

Erddruck am Wandkopf

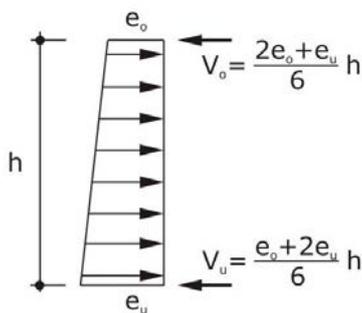
$$e_{o,ag} = 0,42 \cdot 18,0 \cdot (2,75 - 2,57) = 1,36 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{o,aq} = 0,42 \cdot 5,0 = 2,1 \text{ kN/m}^2$$

Erddruck am Wandfuß

$$e_{u,ag} = 0,42 \cdot 18,0 \cdot 2,75 = 20,79 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{u,aq} = 0,42 \cdot 5,0 = 2,1 \text{ kN/m}^2$$



Bemessungswerte der Querkraft am Wandkopf / Wandfuß

$$V_{o,ed} = 1,35 \cdot (2 \cdot 1,36 + 20,79) \cdot 2,57 / 6 + 1,5 \cdot 2,1 \cdot 2,57 / 2$$

$$V_{o,ed} = 18,01 \text{ kN/m}$$

$$V_{u,ed} = 1,35 \cdot (1,36 + 2 \cdot 20,79) \cdot 2,57 / 6 + 1,5 \cdot 2,1 \cdot 2,57 / 2$$

$$V_{u,ed} = 28,88 \text{ kN/m}$$

Abminderung infolge zweiaxialen Lastabtrags

$$V_{o,ed} = 2,805 \cdot 18,01 \cdot [2,805 / (2 \cdot 2,57)] = 27,57 \text{ kN}$$

$$V_{u,ed} = 2,805 \cdot 28,88 \cdot [2,805 / (2 \cdot 2,57)] = 44,21 \text{ kN}$$

Normalkraft am Wandkopf / Wandfuß

$$N_{o,ed} = 2,805 \cdot 1,0 \cdot 31,9 = 89,5 \text{ kN}$$

$$N_{u,ed} = 2,805 \cdot 1,0 \cdot (31,9 + 4,5) = 102,1 \text{ kN}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NDP zu 3.6.2 und Tab. NA.11

Abgeminderte Haftscherfestigkeit

$$f_{vk0} = 2/3 \cdot 0,22 = 0,15 \text{ N/mm}^2 \text{ (unvermörtelte Stoßfugen)}$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
6.3.2

überdrückte Querschnittsfläche (t/10)

$$A = 2,805 \cdot 0,365 / 10 = 0,102 \text{ m}^2$$

Beispiel 3.7 Beispiel Kelleraußenwände  
3.7.3 mit erhöhtem Erddruck

Projekt:  
Einfamilienhaus in Berlin

Bemessungswert der Druckspannung am Wandkopf / Wandfuß

$$\sigma_{o,Dd} = 89,5 \cdot 10^{-3} / 0,102 = 0,877 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{u,Dd} = 102,1 \cdot 10^{-3} / 0,102 = 1,001 \text{ N/mm}^2$$

Charakteristische Schubfestigkeit am Wandkopf / Wandfuß

$$f_{o,vk} = f_{o,vlt} = 0,15 + 0,6 \cdot 0,877 = 0,676 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{u,vk} = f_{u,vlt} = 0,15 + 0,6 \cdot 1,001 = 0,751 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.7)

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Bemessungswert der Schubfestigkeit am Wandkopf / Wandfuß

$$f_{o,vd} = 0,676 / 1,5 = 0,451 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{u,vd} = 0,751 / 1,5 = 0,500 \text{ N/mm}^2$$

Anzusetzende überdrückte Dicke der Wand

$$t_{c,lin} = 1,5 \cdot 0,365 / 10 = 0,055 \text{ m}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.25)

Rechnerische Wanddicke am Wandkopf / Wandfuß

$$t_{o,cal} = 0,055 \text{ m} < 0,365 \text{ m}$$

$$t_{u,cal} = 1,25 \cdot 0,055 = 0,068 \text{ m} < 0,365 \text{ m}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.2, (NA.15)

Schubspannungsverteilungsfaktor

$$c = 1,5$$

Querkrafttragfähigkeit am Wandkopf / Wandfuß

$$V_{o,Rdlt} = 0,451 \cdot 10^3 \cdot 0,055 \cdot 2,805 / 1,5 = 46,39 \text{ kN}$$

$$V_{u,Rdlt} = 0,500 \cdot 10^3 \cdot 0,068 \cdot 2,805 / 1,5 = 63,58 \text{ kN}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.24)

Nachweise

$$\underline{V_{o,ed} = 27,57 \text{ kN} < V_{o,Rdlt} = 46,39 \text{ kN}}$$

$$\underline{V_{u,ed} = 44,21 \text{ kN} < V_{u,Rdlt} = 63,58 \text{ kN}}$$

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

**Projekt:**  
**Doppelhaus in Hövelhof**

**Beispiel 3.8 Beispiel Aussteifungswand**  
**3.8.1 Aussteifungswand im Doppelhaus**

Genaueres Verfahren nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] und  
DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]

#### **Gegeben:**

Innenwand im Erdgeschoss

- **Baustoffe**

Kalksandstein-Plansteine KS R(P) 20-2,0

Dünnbettmörtel

- **Abmessungen**

Wanddicke  $t = 0,24 \text{ m}$

Wandhöhe  $h = 2,75 \text{ m}$

Wandlänge  $l = 1,75 \text{ m}$

Deckenstützweite  $l_1 = 4,72 \text{ m}$

- **Belastung**

ständige Last Decke  $g_k = 7,00 \text{ kN/m}^2$

variable Last Decke  $q_k = 2,75 \text{ kN/m}^2$

Normalkraft Wandkopf

aus Wand im DG  $N_{Gk} = 43,9 \text{ kN}$

aus Decke über EG  $N_{Gk} = 43,7 \text{ kN}$

$N_{Qk} = 17,4 \text{ kN}$

Exzentrizität der

Deckenauflast  $e_0 = 0,28 \text{ m}$

aus Wind in Scheibenrichtung

Querkraft  $V_{Qk} = 15,2 \text{ kN}$

Biegemoment, Wandkopf  $M_{Qok} = 8,2 \text{ kN}$

Biegemoment, Wandfuß  $M_{Quk} = 50,0 \text{ kN}$

Eigenlast Wand EG  $N_{Gk} = 23,5 \text{ kN}$

Beachte bei der Anwendung von  
DIN EN 1991-4 [5] in Verbindung  
mit DIN EN 1991-4/NA [6]:

Zu Abschnitt NA.B.3.2 Tabelle  
NA.B.3, Spalte 2:

Bei Gebäuden (Reihenmittelhäuser) mit einer Gesamthöhe  $h \leq 10,0 \text{ m}$ , an die beidseitig im Wesentlichen profilgleich angebaut und bei denen (rechtlich) gesichert ist, dass die angebauten Gebäude nicht dauerhaft beseitigt werden, darf die Einwirkung des Windes als veränderliche Einwirkung aus Druck oder Sog nachgewiesen werden. Dabei ist der ungünstigere Wert maßgebend. Die Einwirkung von Druck und Sog gemeinsam muss dann als außergewöhnliche Einwirkung angesetzt werden. [31]

Beispiel	3.8	Beispiel Aussteifungswand
	3.8.1	Aussteifungswand im Doppelhaus

Projekt: Doppelhaus in Hövelhof
------------------------------------

**Gesucht:**

Stand sicherheitsnachweise

- a) Maßgebende Lastkombination und Ausmitten
- b) Schlankheit
- c) Abminderungsbeiwert
- d) Nachweis bei Druckbeanspruchung (genauerer Verfahren)
- e) Nachweis bei Schubbeanspruchung in Scheibenebene (genauerer Verfahren)

**Berechnungsgang:**

**a) Maßgebende Lastkombinationen und Ausmitten**

Für die Bemessungssituation „ständige und vorübergehende Situation“ kann der Wind sowohl Leit- als auch Begleiteinwirkung sein. Bei der im vorliegenden Beispiel vorhandenen Geometrie und Belastung wird der Wind als Leiteinwirkung maßgebend. Im Folgenden wird nur dieser Fall dargestellt. Für die Nutzlasten ist der Kombinationswert

$$\psi_{0,1} = 0,7$$

anzusetzen.

- Schnittgrößen aus Beanspruchung in der Wandebene

*Lastfallkombination 1 (max M + max N)*

Wandkopf

$$N_{o,Ed, LK1} = 1,35 \cdot (43,9 + 43,7) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 17,4 = 136,5 \text{ kN}$$

$$M_{o,Ed, LK1} = 1,35 \cdot N_{Gk} \cdot e_0 + 1,5 \cdot (M_{Qok} + 0,7 \cdot N_{Qk} \cdot e_0)$$

$$M_{o,Ed, LK1} = 1,35 \cdot 43,7 \cdot 0,28 + 1,5 \cdot (8,2 + 0,7 \cdot 17,4 \cdot 0,28) = 33,9 \text{ kNm}$$

Wandfuß

$$N_{u,Ed, LK1} = 1,35 \cdot (43,9 + 43,7 + 23,5) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 17,4 = 168,3 \text{ kN}$$

$$V_{u,Ed, LK1} = 1,5 \cdot 15,2 = 22,8 \text{ kN}$$

$$M_{u,Ed, LK1} = 1,35 \cdot N_{Gk} \cdot e_0 + 1,5 \cdot (M_{Quk} + 0,7 \cdot N_{Qk} \cdot e_0)$$

$$M_{u,Ed, LK1} = 1,35 \cdot 43,7 \cdot 0,28 + 1,5 \cdot (50,0 + 0,7 \cdot 17,4 \cdot 0,28) = 96,6 \text{ kNm}$$

Wandmitte

$$N_{m,Ed, LK1} = 1,35 \cdot (43,9 + 43,7 + 23,5/2) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 17,4 = 152,4 \text{ kN}$$

$$M_{m,Ed, LK1} = (M_{u,Ed, LK1} + M_{o,Ed, LK1}) / 2 = (96,6 + 33,9) / 2 = 65,3 \text{ kNm}$$

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.8 Beispiel Aussteifungswand  
3.8.1 Aussteifungswand im Doppelhaus

*Lastfallkombination 2 (max M + min N)*

Wandkopf

$$N_{o,Ed, LK2} = 1,00 \cdot (43,9 + 43,7) = 87,6 \text{ kN}$$

$$M_{o,Ed, LK2} = 1,00 \cdot N_{Gk} \cdot e_0 + 1,5 \cdot M_{Qok}$$

$$M_{o,Ed, LK2} = 1,00 \cdot 43,7 \cdot 0,28 + 1,5 \cdot 8,2 = 24,5 \text{ kNm}$$

Wandfuß

$$N_{u,Ed, LK2} = 1,00 \cdot (43,9 + 43,7 + 23,5) = 111,1 \text{ kN}$$

$$V_{u,Ed, LK2} = 1,5 \cdot 15,2 = 22,8 \text{ kN}$$

$$M_{u,Ed, LK2} = 1,00 \cdot N_{Gk} \cdot e_0 + 1,5 \cdot M_{Quk}$$

$$M_{u,Ed, LK2} = 1,00 \cdot 43,7 \cdot 0,28 + 1,5 \cdot 50,0 = 87,2 \text{ kNm}$$

Wandmitte

$$N_{m,Ed, LK2} = 1,00 \cdot (43,9 + 43,7 + 23,5/2) = 99,4 \text{ kN}$$

$$M_{m,Ed, LK2} = (M_{u,Ed, LK2} + M_{o,Ed, LK2}) / 2 = (87,2 + 24,5) / 2 = 55,8 \text{ kNm}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI Anhang NA.C

- Schnittgrößen am Wand-Decken-Knoten aus Beanspruchung senkrecht zur Wand

Es wird das Knotenmoment am Wandkopf berechnet.

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.12

Elastizitätsmodul ( $f_k$  siehe Abschnitt d)

$$E_1 = E_2 = E_{MW} = k_E \cdot f_k = 950 \cdot 10,506 = 9981 \text{ MN/m}^2$$

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
Tab. 3.1

$$E_4 = E_D = 31000 \text{ MN/m}^2$$

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
5.3.2.2

Deckenstützweite (Bild 12)

$$l_1 = 0,22 / 2 + 4,5 + 0,22 / 2 = 4,72 \text{ m}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI Anhang NA.C, Anmerkung  
2

$$l_2 = 2/3 \cdot l_1 = 3,15 \text{ m}$$

Wandhöhe, belastete Wand (EG)

$$h_1 = h = 2,75 \text{ m}$$

Wandhöhe, darüber liegende Wand (DG)

$$h_2 = 2,63 \text{ m}$$

**Beispiel 3.8 Beispiel Aussteifungswand**  
**3.8.1 Aussteifungswand im Doppelhaus**

**Projekt:**  
**Doppelhaus in Hövelhof**

Flächenmomente 2. Grades

$$I_1 = I_2 = b \cdot t^3 / 12 = 1,75 \cdot 0,24^3 / 12 = 2,02 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_4 = b \cdot d^3 / 12 = 1,75 \cdot 0,22^3 / 12 = 1,55 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

Stabsteifigkeiten

$$c_1 = \frac{n_1 E_1 I_1}{h_1} = \frac{4 \cdot 9981 \cdot 2,02 \cdot 10^{-3}}{2,75} = 29,326 \text{ MNm}$$

$$c_2 = \frac{n_2 E_2 I_2}{h_2} = \frac{3 \cdot 9981 \cdot 2,02 \cdot 10^{-3}}{2,63} = 22,998 \text{ MNm}$$

$$c_3 = 0$$

$$c_4 = \frac{n_4 E_4 I_4}{I_4} = \frac{4 \cdot 31000 \cdot 1,55 \cdot 10^{-3}}{3,15} = 61,016 \text{ MNm}$$

Bemessungslasten des Stabes 4

$$q_{4, \text{LK1}} = b \cdot [1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot 0,7 \cdot q_k]$$

$$q_{4, \text{LK1}} = 1,75 \cdot [1,35 \cdot 7,0 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 2,75] = 21,59 \text{ kN/m}$$

$$q_{4, \text{LK2}} = b \cdot 1,35 \cdot g_k = 1,75 \cdot 1,35 \cdot 7,0 = 16,54 \text{ kN/m}$$

Stabendmoment am Wandkopf

$$M_1 = \frac{c_2}{c_1 + c_2 + c_3 + c_4} \left[ -\frac{q_4 I_4^2}{4(n_4 - 1)} \right]$$

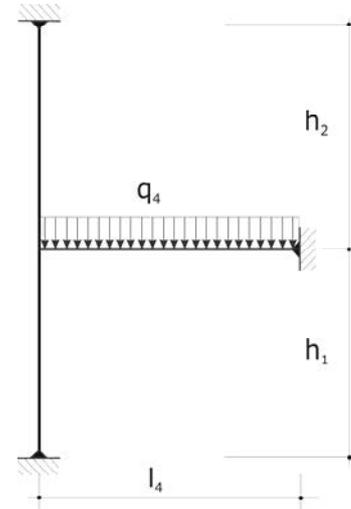
$$M_{1, \text{LK1}} = \frac{22,998}{29,326 + 22,998 + 0 + 61,016} \left[ -\frac{21,59 \cdot 3,15^2}{4 \cdot (4 - 1)} \right] = -3,62 \text{ kNm}$$

$$M_{1, \text{LK2}} = \frac{22,998}{29,326 + 22,998 + 0 + 61,016} \left[ -\frac{16,54 \cdot 3,15^2}{4 \cdot (4 - 1)} \right] = -2,78 \text{ kNm}$$

Abminderungsfaktor

$$k_m = \frac{c_3 + c_4}{c_1 + c_2} = \frac{0 + 61,016}{29,326 + 22,998} = 1,17 < 2,0$$

$$\eta = 1 - k_m/4 = 1 - 1,17/4 = 0,71$$



Einzelglieder von Gl. (NA.C1) zu  $c_i$  zusammengefasst - DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – Gl. (NA.C1)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – Gl. (NA.C2)

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.8 Beispiel Aussteifungswand  
3.8.1 Aussteifungswand im Doppelhaus

Abgemindertes Kopfmoment

$$M_{od, LK1} = \eta \cdot M_{1, LK1} = 0,71 \cdot (-3,62) = -2,57 \text{ kNm}$$

$$M_{od, LK2} = \eta \cdot M_{1, LK2} = 0,71 \cdot (-2,78) = -1,97 \text{ kNm}$$

Fußmoment (Wand auf Bodenplatte)

$$M_{ud, LK1} = M_{ud, LK2} = 0$$

Wandmitte

$$M_{md, LK1} = (M_{ud, LK1} + M_{od, LK1}) / 2 = (0 - 2,57) / 2 = -1,28 \text{ kNm}$$

$$M_{md, LK2} = (M_{ud, LK2} + M_{od, LK2}) / 2 = (0 - 1,97) / 2 = -0,99 \text{ kNm}$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
5.5.1.2 (7)

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
5.5.1.2, (11) (i)

DIN EN 1996-1-1:2012-01 [10] –  
Gl. (5.6)

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
5.5.1.4

#### b) Schlankheit

$$l = 1,75 \text{ m} < 15 \cdot 0,24 = 3,60 \text{ m} \Rightarrow \text{zulässig}$$

=> Die Wand kann als dreiseitig gehalten betrachtet werden.

Deckenauflagerung

$$a = t = 240 \text{ mm}$$

$$e = (t - a) / 2 = 0 < t/4$$

=> Abminderungsfaktor der Knicklänge  $\rho_2 = 0,75$

Knicklänge

$$h = 2,75 \text{ m} \leq 3,5 \cdot l = 3,5 \cdot 1,75 = 5,25 \text{ m}$$

$$h_{ef} = \frac{1}{1 + \left( \frac{\rho_2 \cdot h}{3 \cdot l} \right)^2} \cdot \rho_2 \cdot h$$

(planmäßiges Überbindemaß  $\geq 0,4$ )

$$h_{ef} = \frac{1}{1 + \left( \frac{0,75 \cdot 2,75}{3 \cdot 1,75} \right)^2} \cdot 0,75 \cdot 2,75 = 1,79 \text{ m} \geq 0,3 \cdot 2,75 = 0,83 \text{ m}$$

Schlankheit

$$h_{ef} / t = 1,79 / 0,24 = 7,46 < 27 \Rightarrow \text{zulässig}$$

Beispiel 3.8 Beispiel Aussteifungswand  
 3.8.1 Aussteifungswand im Doppelhaus

Projekt:  
 Doppelhaus in Hövelhof

**c) Abminderungsbeiwert**

- Biegung um die z-Achse (schwache Achse)

*Wandkopf*

planmäßige Lastausmitte

$$e_{o1, LK1} = 2,27 / 136,5 = 0,0188 \text{ m}$$

$$e_{o1, LK2} = 0,99 / 87,6 = 0,0225 \text{ m}$$

ungewollte Ausmitte

$$e_{init} = 0$$

Ausmitte infolge horizontaler Lasten

$$e_{he} = 0$$

Lastexzentrizität

$$e_{o, LK1} = e_{o1, LK1} + e_{init} + e_{he} = 0,0188 > 0,05 \cdot t = 0,05 \cdot 0,24 = 0,012 \text{ m}$$

$$e_{o, LK2} = e_{o1, LK1} + e_{init} + e_{he} = 0,0225 > 0,05 \cdot t = 0,05 \cdot 0,24 = 0,012 \text{ m}$$

Abminderungsbeiwert

$$\Phi_{oz, LK1} = 1 - 2 \cdot e_i / t = 1 - 2 \cdot 0,0188 / 0,24 = 0,84$$

$$\Phi_{oz, LK2} = 1 - 2 \cdot e_i / t = 1 - 2 \cdot 0,0225 / 0,24 = 0,81$$

*Wandmitte*

planmäßige Lastausmitte

$$e_{m1, LK1} = 1,28 / 152,4 = 0,0084 \text{ m}$$

$$e_{m1, LK2} = 0,99 / 99,4 = 0,0100 \text{ m}$$

ungewollte Ausmitte

$$e_{init} = h_{ef} / 450 = 2,75 / 450 = 6,11 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Ausmitte infolge horizontaler Lasten

$$e_{hm} = 0$$

Endkriechzahl

$$\phi_{\infty} = 1,5$$

Grenzschlankheit

$$\lambda_c = 12$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
 6.1.2.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – NCI zu 6.1.2.2

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
 Gl. (6.5)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – NCI zu 6.1.2.2, (NA.4)

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
 5.5.1.1

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – Tab. NA.13

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – Tab. NA.17

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.8 Beispiel Aussteifungswand  
3.8.1 Aussteifungswand im Doppelhaus

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NDP zu 6.1.2.2

Ausmitte infolge Kriechen

$$h_{ef} / t = 7,46 < \lambda_c = 12$$

$$e_k = 0$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
Gl. (6.6)

Lastexzentrizität

$$e_{mk} = e_{m1} + e_{init} + e_{hm} + e_k \geq 0,05 \cdot t$$

$$e_{mk, LK1} = 0,0145 > 0,05 \cdot t = 0,05 \cdot 0,24 = 0,012$$

$$e_{mk, LK2} = 0,0161 > 0,05 \cdot t = 0,05 \cdot 0,24 = 0,012$$

Abminderungsbeiwert

$$\Phi_m = 1,14 \cdot (1 - 2 \cdot e_{mk} / t_{ef}) - 0,024 \cdot h_{ef} / t_{ef} \leq 1 - 2 \cdot e_{mk} / t_{ef}$$

$$\Phi_{mz, LK1} = 1,14 \cdot (1 - 2 \cdot 0,0145 / 0,24) - 0,024 \cdot 7,46 \leq 1 - 2 \cdot 0,0145 / 0,24$$

$$\Phi_{mz, LK1} = 0,82 < 0,88$$

$$\Phi_{mz, LK2} = 1,14 \cdot (1 - 2 \cdot 0,0161 / 0,24) - 0,024 \cdot 7,46 \leq 1 - 2 \cdot 0,0161 / 0,24$$

$$\Phi_{mz, LK2} = 0,81 < 0,87$$

*Wandfuß*

planmäßige Lastausmitte

$$e_{u1, LK1} = e_{u1, LK2} = 0$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.1.2.2

ungewollte Ausmitte

$$e_{init} = 0$$

Ausmitte infolge horizontaler Lasten

$$e_{he} = 0$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
Gl. (6.5)

Lastexzentrizität

$$e_{u, LK1} = e_{u, LK2} = e_{u1} + e_{init} + e_{he} = 0 < 0,05 \cdot t = 0,05 \cdot 0,24 = \underline{0,012 \text{ m}}$$

Abminderungsbeiwert

$$\Phi_{uz, LK1} = \Phi_{uz, LK2} = 1 - 2 \cdot e_i / t = 1 - 2 \cdot 0,012 / 0,24 = 0,9$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.1.2.2, (NA.4)

- Biegung um die y-Achse (starke Achse)

*Wandkopf*

planmäßige Lastausmitte

$$e_{w, LK1} = 33,9 / 136,5 = 0,25 \text{ m}$$

Beispiel 3.8 Beispiel Aussteifungswand  
3.8.1 Aussteifungswand im Doppelhaus

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

$$e_{w, LK2} = 24,5 / 87,6 = 0,28 \text{ m}$$

Abminderungsbeiwert

$$\Phi_{oy, LK1} = 1 - 2 \cdot e_w / l = 1 - 2 \cdot 0,25 / 1,75 = 0,71$$

$$\Phi_{oy, LK2} = 1 - 2 \cdot e_w / l = 1 - 2 \cdot 0,28 / 1,75 = 0,68$$

*Wandmitte*

planmäßige Lastausmitte

$$e_{w, LK1} = 65,3 / 152,4 = 0,43 \text{ m}$$

$$e_{w, LK2} = 55,8 / 99,4 = 0,56 \text{ m}$$

Abminderungsbeiwert

$$\Phi_{my, LK1} = 1 - 2 \cdot e_w / l = 1 - 2 \cdot 0,43 / 1,75 = 0,51$$

$$\Phi_{my, LK2} = 1 - 2 \cdot e_w / l = 1 - 2 \cdot 0,56 / 1,75 = 0,36$$

*Wandfuß*

planmäßige Lastausmitte

$$e_{w, LK1} = 96,6 / 168,3 = 0,57 \text{ m}$$

$$e_{w, LK2} = 87,2 / 111,1 = 0,785 \text{ m}$$

Abminderungsbeiwert

$$\Phi_{uy, LK1} = 1 - 2 \cdot e_w / l = 1 - 2 \cdot 0,57 / 1,75 = 0,35$$

$$\Phi_{uy, LK2} = 1 - 2 \cdot e_w / l = 1 - 2 \cdot 0,785 / 1,75 = 0,10$$

#### d) Nachweis bei Druckbeanspruchung (genauerer Verfahren)

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
6.1.2

- Vorwerte

Belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand

$$A = 0,24 \cdot 1,75 = 0,42 \text{ m}^2$$

Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung „kurzer Wände“ = 1,0 (Wand mit  $A > 0,1 \text{ m}^2$ )

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.8 Beispiel Aussteifungswand  
3.8.1 Aussteifungswand im Doppelhaus

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.3

Steinfestigkeit

$$f_{st} = 25,0 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.2

Druckfestigkeit des Mörtels

$$f_m = 10,0 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.7

Parameter

$$K = 0,8$$

$$\alpha = 0,8$$

$$\beta = 0$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
3.6.1.2

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = K \cdot f_{st}^\alpha \cdot f_m^\beta = 0,8 \cdot 25,0^{0,8} \cdot 10,0^0 = 10,5 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NDP zu 3.6.1.2

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 10,5 / 1,5 = 5,95 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.1.2.2, (NA.iii)

#### • Lastkombination 1

*Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft (Nachweis der Doppelbiegung, da  $\Phi_{uy} < \Phi_{uz}$ )*

$$N_{R_{od}, LK1} = 0,84 \cdot 0,71 \cdot 5,95 \cdot 10^3 \cdot 0,42 = 1490,4 \text{ kN}$$

$$N_{R_{md}, LK1} = 0,82 \cdot 0,51 \cdot 5,95 \cdot 10^3 \cdot 0,42 = 1045,1 \text{ kN}$$

$$N_{R_{ud}, LK1} = 0,90 \cdot 0,35 \cdot 5,95 \cdot 10^3 \cdot 0,42 = 787,2 \text{ kN}$$

*Nachweis*

$$\underline{N_{E_{od}, LK1} = 136,5 \text{ kN} < N_{R_{od}, LK1} = 1490,4 \text{ kN}}$$

$$\underline{N_{E_{md}, LK1} = 152,4 \text{ kN} < N_{R_{md}, LK1} = 1045,1 \text{ kN}}$$

$$\underline{N_{E_{ud}, LK1} = 168,3 \text{ kN} < N_{R_{ud}, LK1} = 787,2 \text{ kN}}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.1.2.2, (NA.iii)

#### • Lastkombination 2

*Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft (Nachweis der Doppelbiegung, da  $\Phi_{uy} < \Phi_{uz}$ )*

$$N_{R_{od}, LK2} = 0,81 \cdot 0,68 \cdot 5,95 \cdot 10^3 \cdot 0,42 = 1376,4 \text{ kN}$$

<b>Beispiel</b>	<b>3.8</b>	<b>Beispiel Aussteifungswand</b>
	<b>3.8.1</b>	<b>Aussteifungswand im Doppelhaus</b>

<b>Projekt:</b> <b>Doppelhaus in Hövelhof</b>
--

$$N_{Rmd, LK2} = 0,81 \cdot 0,36 \cdot 5,95 \cdot 10^3 \cdot 0,42 = 728,7 \text{ kN}$$

$$N_{Rud, LK2} = 0,90 \cdot 0,10 \cdot 5,95 \cdot 10^3 \cdot 0,42 = 224,9 \text{ kN}$$

*Nachweis*

$$N_{Eod, LK2} = 87,6 \text{ kN} < N_{Rod, LK2} = 1376,4 \text{ kN}$$

$$N_{Emd, LK2} = 99,4 \text{ kN} < N_{Rmd, LK2} = 728,7 \text{ kN}$$

$$N_{Eud, LK2} = 111,1 \text{ kN} < N_{Rud, LK2} = 224,9 \text{ kN}$$

Bemerkung: Der Nachweis gelingt auch mit der Steifigkeitsklasse 12. Die Steinrohdichte von  $2,0 \text{ kg/dm}^3$  ist allerdings das Mindestmaß, da sonst die bezogene Ausmitte am Wandfuß ( $e_{w, LK2} / l$ ) der Lastkombination LK2 den Grenzwert von 0,45 überschreitet!

#### e) Nachweis bei Schubbeanspruchung in Scheibenebene (genauerer Verfahren)

Der Nachweis erfolgt am Wandfuß für die Lastkombination LK2 (minimale Auflast).

abgeminderte Haftscherfestigkeit

$$f_{vk0} = 0,5 \cdot 0,22 = 0,11 \text{ N/mm}^2 \text{ (unvermörtelte Stoßfugen)}$$

überdrückte Länge

$$l_{c,lin, LK2} = 1,5 \cdot \Phi_{uy, LK2} \cdot l = 1,5 \cdot 0,10 \cdot 1,75 = 0,26 \text{ m} < l = 1,75 \text{ m}$$

Bemessungswert der Druckspannung

$$\sigma_{Dd, LK2} = 111,1 \cdot 10^{-3} / (0,26 \cdot 0,24) = 1,780 \text{ N/mm}^2$$

Reibungsversagen

$$f_{vit1, LK2} = 0,11 + 0,4 \cdot 1,780 = 0,822 \text{ N/mm}^2$$

mittlere Steindruckfestigkeit

$$f_{st} = 25,0 \text{ N/mm}^2$$

Rechnerische Steinzugfestigkeit

$$f_{bt,cal} = 0,032 \cdot f_{st} = 0,032 \cdot 25,0 = 0,8 \text{ N/mm}^2$$

Steyzugversagen

$$f_{vit2} = 0,45 \cdot f_{bt,cal} \cdot (1 + \sigma_{Dd} / f_{bt,cal})^{0,5}$$

$$f_{vit2, LK2} = 0,45 \cdot 0,8 \cdot (1 + 1,780 / 0,8)^{0,5} = 0,646 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NDP zu 3.6.2 und Tab. NA.11

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.20)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.4)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.3

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Erläuterung zu Gl. (NA.5)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.5)

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.8 Beispiel Aussteifungswand  
3.8.1 Aussteifungswand im Doppelhaus

charakteristische Schubfestigkeit

$$f_{vk, LK2} = \min (f_{vt1, LK2}, f_{vt2, LK2}) = \min (0,829, 0,646) = 0,646 \text{ N/mm}^2$$

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Bemessungswert der Schubfestigkeit

$$f_{vd, LK2} = 0,646 / 1,5 = 0,431 \text{ N/mm}^2$$

rechnerische Wandlänge

$$l_{cal, LK2} = \min (1,125 \cdot l; 1,333 \cdot l_{c,lin})$$

$$l_{cal, LK2} = \min (1,125 \cdot 1,75; 1,333 \cdot 0,26) = \min (1,97; 0,35) = 0,35 \text{ m}$$

Schubspannungsverteilungsfaktor

$$1 < h/l = 2,75 / 1,75 = 1,57 < 2$$

lineare Interpolation zwischen  $c = 1,0$  und  $c = 1,5$

$$c = 1,0 + 0,5 \cdot (1,57 - 1,0) = 1,285$$

Querkrafttragfähigkeit am Wandkopf / Wandfuß

$$V_{Rdl, LK2} = 0,35 \cdot 0,431 \cdot 10^3 \cdot 0,24 / 1,285 = 28,17 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\underline{V_{Eud, LK2} = 22,8 \text{ kN} < V_{Rdl, LK2} = 28,17 \text{ kN}}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.19)

**Beispiel 3.8 Beispiel Aussteifungswand**  
**3.8.2 Aussteifungswand im Mehrfamilienhaus**

**Projekt:**  
**Mehrfamilienhaus**  
**in Dresden**

Genauerer Verfahren nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] und  
DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]

#### **Gegeben:**

Innenwand im Erdgeschoss

- Baustoffe

Kalksandstein-Plansteine KS R(P) 12-2,0

Dünnbettmörtel

- Abmessungen

Wanddicke  $t = 0,24 \text{ m}$

Wandhöhe  $h = 2,67 \text{ m}$

Wandlänge  $l = 5,40 \text{ m}$

Deckenstützweite  $l_1 = 4,98 \text{ m}$

$l_2 = 4,98 \text{ m}$

- Belastung

ständige Last Decke  $g_k = 6,50 \text{ kN/m}^2$

variable Last Decke  $q_k = 2,30 \text{ kN/m}^2$

Normalkraft Wandkopf  $N_{Gk} = 1050,2 \text{ kN}$

$N_{Qk} = 254,6 \text{ kN}$

aus Wind in Scheibenrichtung

Querkraft  $V_{Qk} = 93,7 \text{ kN}$

Biegemoment, Wandkopf  $M_{Qok} = 502,3 \text{ kN}$

Biegemoment, Wandfuß  $M_{Quk} = 795,6 \text{ kN}$

Eigenlast Wand EG  $N_{Gk} = 70,5 \text{ kN}$

#### **Gesucht:**

Standsicherheitsnachweise

a) Maßgebende Lastkombination und Ausmitten

b) Schlankheit

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Mehrfamilienhaus  
in Dresden

Beispiel 3.8 Beispiel Aussteifungswand  
3.8.2 Aussteifungswand im Mehrfamilienhaus

- c) Abminderungsbeiwert
- d) Nachweis bei Druckbeanspruchung (genauerer Verfahren)
- e) Nachweis bei Schubbeanspruchung in Scheibenebene (genauerer Verfahren)

#### **Berechnungsgang:**

##### **a) Maßgebende Lastkombinationen und Ausmitten**

Für die Bemessungssituation „ständige und vorübergehende Situation“ kann der Wind sowohl Leit- als auch Begleiteinwirkung sein. Bei der im vorliegenden Beispiel vorhandenen Geometrie und Belastung wird der Wind als Leiteinwirkung maßgebend. Im Folgenden wird nur dieser Fall dargestellt. Für die Nutzlasten ist der Kombinationswert

$$\psi_{0,1} = 0,7$$

anzusetzen.

- Schnittgrößen aus der Beanspruchung in der Wandebene

*Lastfallkombination 1 (max M + max N)*

Wandkopf

$$N_{Eod, LK1} = 1,35 \cdot 1050,2 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 254,6 = 1685,1 \text{ kN}$$

$$M_{Eod, LK1} = 1,5 \cdot 502,3 = 753,5 \text{ kNm}$$

Wandfuß

$$N_{Eud, LK1} = 1,35 \cdot (1050,2 + 70,5) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 254,6 = 1780,3 \text{ kN}$$

$$V_{Eud, LK1} = 1,5 \cdot 93,7 = 140,6 \text{ kN}$$

$$M_{Eud, LK1} = 1,5 \cdot 795,6 = 1193,4 \text{ kNm}$$

Wandmitte

$$N_{Emd, LK1} = 1,35 \cdot (1050,2 + 70,5/2) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 254,6 = 1732,7 \text{ kN}$$

$$M_{Emd, LK1} = (M_{Eud, LK1} + M_{Eod, LK1}) / 2 = (1193,4 + 753,5) / 2 = 973,5 \text{ kNm}$$

*Lastfallkombination 2 (max M + min N)*

Wandkopf

$$N_{Eod, LK2} = 1,0 \cdot 1050,2 = 1050,2 \text{ kN}$$

$$M_{Eod, LK2} = 1,5 \cdot 502,3 = 753,5 \text{ kNm}$$

**Beispiel 3.8 Beispiel Aussteifungswand**  
**3.8.2 Aussteifungswand im Mehrfamilienhaus**

**Projekt:**  
**Mehrfamilienhaus**  
**in Dresden**

Wandfuß

$$N_{Eud, LK2} = 1,00 \cdot (1050,2 + 70,5) = 1120,7 \text{ kN}$$

$$V_{Eud, LK2} = 1,5 \cdot 93,7 = 140,6 \text{ kN}$$

$$M_{Eud, LK2} = 1,5 \cdot 795,6 = 1193,4 \text{ kNm}$$

Wandmitte

$$N_{Eud, LK2} = 1,00 \cdot (1050,2 + 70,5/2) = 1085,5 \text{ kN}$$

$$M_{Eud, LK2} = (M_{Eud, LK2} + M_{Eod, LK2}) / 2 = (1193,4 + 753,5) / 2 = 973,5 \text{ kNm}$$

- **Schnittgrößen am Wand-Decken-Knoten**

Es wird das Knotenmoment am Wandkopf und Wandfuß berechnet.

Vorwerte

Elastizitätsmodul ( $f_k$  siehe Abschnitt d)

$$E_1 = E_2 = E_{MW} = k_E \cdot f_k = 950 \cdot 7,0 = 6650 \text{ MN/m}^2$$

$$E_3 = E_4 = E_D = 31000 \text{ MN/m}^2$$

Deckenstützweite (Bild 18)

$$l_1 = 0,20 / 2 + 4,875 + 0,20 / 2 = 5,08 \text{ m}$$

für die Deckenstützweite  $l_2$  wird angesetzt

$$l_2 = l_1 = 5,08 \text{ m}$$

$$l_3 = 2/3 \cdot l_1 = 3,39 \text{ m}$$

$$l_4 = 2/3 \cdot l_2 = 3,39 \text{ m}$$

*Moment am Wandkopf*

Wandhöhe, belastete Wand (EG)

$$h_1 = h = 2,67 \text{ m}$$

Wandhöhe, darüber liegende Wand (1. OG)

$$h_2 = 2,67 \text{ m}$$

Flächenmomente 2. Grades

$$I_1 = I_2 = b \cdot t^3 / 12 = 5,40 \cdot 0,24^3 / 12 = 6,22 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_3 = I_4 = b \cdot d^3 / 12 = 5,40 \cdot 0,20^3 / 12 = 3,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – NCI Anhang NA.C

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – Tab. NA.12

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
 Tab. 3.1

DIN EN 1992-1-1:2011-01 [7] –  
 5.3.2.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – NCI Anhang NA.C, Anmerk. 2

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Mehrfamilienhaus  
in Dresden

Beispiel 3.8 Beispiel Aussteifungswand  
3.8.2 Aussteifungswand im Mehrfamilienhaus

Stabsteifigkeiten

$$c_1 = \frac{n_1 E_1 I_1}{h_1} = \frac{4 \cdot 6650 \cdot 6,22 \cdot 10^{-3}}{2,67} = 61,85 \text{ MNm}$$

$$c_2 = c_1 = 61,85 \text{ MNm}$$

$$c_4 = \frac{n_4 E_4 I_4}{l_4} = \frac{4 \cdot 31000 \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}}{3,39} = 131,68 \text{ MNm}$$

$$c_3 = c_4 = 131,68 \text{ MNm}$$

Bemessungslasten der Stäbe 3 und 4

$$q_{3, \max} = b \cdot [1,35 \cdot (g_k + 0,7 \cdot q_k / 2) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot q_k / 2]$$

$$q_{3, \max} = 5,4 \cdot [1,35 \cdot (6,5 + 0,7 \cdot 2,3/2) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 2,3 / 2] = 59,77 \text{ kN/m}$$

$$q_{4, \max} = q_{3, \max}$$

$$q_{3, \min} = l \cdot 1,35 \cdot (g_k + 0,7 \cdot q_k / 2)$$

$$q_{3, \min} = 5,4 \cdot 1,35 \cdot (6,5 + 0,7 \cdot 2,3/2) = 53,25 \text{ kN/m}$$

$$q_{4, \min} = q_{3, \min}$$

Stabendmoment am Wandkopf

$$M_{1, \max} = \frac{c_1}{c_1 + c_2 + c_3 + c_4} \left[ \frac{q_{3, \max} l_3^2}{4(n_3 - 1)} - \frac{q_{4, \min} l_4^2}{4(n_4 - 1)} \right]$$

$$M_{1, \max} = \frac{61,85}{2 \cdot (61,85 + 131,68)} \left[ \frac{3,39^2}{4 \cdot (4 - 1)} (59,77 - 53,25) \right] = 1,00 \text{ kNm}$$

$$M_{1, \min} = \frac{c_1}{c_1 + c_2 + c_3 + c_4} \left[ \frac{q_{3, \min} l_3^2}{4(n_3 - 1)} - \frac{q_{4, \max} l_4^2}{4(n_4 - 1)} \right]$$

$$M_{1, \min} = \frac{61,85}{2 \cdot (61,85 + 131,68)} \left[ \frac{3,39^2}{4 \cdot (4 - 1)} (53,25 - 59,77) \right] = -1,00 \text{ kNm}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.C1)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.C2)

Abminderungsfaktor

$$k_m = \frac{c_3 + c_4}{c_1 + c_2} = \frac{2 \cdot 131,68}{2 \cdot 61,85} = 2,13 > 2,0 \Rightarrow k_m = 2,0$$

$$\eta_o = 1 - k_m / 4 = 1 - 2 / 4 = 0,5$$

Beispiel	3.8	Beispiel Aussteifungswand
	3.8.2	Aussteifungswand im Mehrfamilienhaus

Projekt: Mehrfamilienhaus in Dresden
--

*Moment am Wandfuß*

Wandhöhe, belastete Wand (EG)

$$h_2 = h = 2,67 \text{ m}$$

Flächenmomente 2. Grades (s.o.)

$$I_2 = 6,22 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_3 = I_4 = 3,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

Stabsteifigkeiten (s.o.)

$$c_2 = 61,85 \text{ MNm}$$

$$c_3 = c_4 = 131,68 \text{ MNm}$$

Bemessungslasten der Stäbe 3 und 4 (s.o.)

$$q_{3, \max} = q_{4, \max} = 59,77 \text{ kN/m}$$

$$q_{4, \min} = q_{3, \min} = 53,25 \text{ kN/m}$$

Stabendmoment am Wandfuß

$$M_{2, \max} = \frac{c_2}{c_2 + c_3 + c_4} \left[ \frac{q_{3, \max} I_3^2}{4(n_3 - 1)} - \frac{q_{4, \min} I_4^2}{4(n_4 - 1)} \right]$$

$$M_{2, \max} = \frac{61,85}{61,85 + 2 \cdot 131,68} \left[ \frac{3,39^2}{4 \cdot (4 - 1)} (59,77 - 53,25) \right] = 1,19 \text{ kNm}$$

$$M_{2, \min} = \frac{c_2}{c_2 + c_3 + c_4} \left[ \frac{q_{3, \min} I_3^2}{4(n_3 - 1)} - \frac{q_{4, \max} I_4^2}{4(n_4 - 1)} \right]$$

$$M_{2, \min} = \frac{61,85}{61,85 + 2 \cdot 131,68} \left[ \frac{3,39^2}{4 \cdot (4 - 1)} (53,25 - 59,77) \right] = -1,19 \text{ kNm}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.C1)

Abminderungsfaktor

$$k_m = \frac{c_3 + c_4}{c_2} = \frac{2 \cdot 131,68}{61,85} = 4,26 > 2,0 \Rightarrow k_m = 2,0$$

$$\eta_u = 1 - k_m/4 = 1 - 2/4 = 0,5$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.C2)

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Mehrfamilienhaus  
in Dresden

Beispiel 3.8 Beispiel Aussteifungswand  
3.8.2 Aussteifungswand im Mehrfamilienhaus

Kopfmoment

$$M_{od} = \eta_o \cdot \max(|M_{1, \max}|, |M_{1, \min}|) = 0,5 \cdot 1,00 = 0,50 \text{ kNm}$$

Fußmoment

$$M_{ud} = \eta_u \cdot \max(|M_{2, \max}|, |M_{2, \min}|) = 0,5 \cdot 1,19 = 0,60 \text{ kNm}$$

Moment in Wandmitte

$$M_{md} = (M_{ud} + M_{od}) / 2 = (0,50 + 0,60) / 2 = 0,55 \text{ kNm}$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
5.5.1.2, (7)

#### b) Schlankheit

$$l = 5,40 \text{ m} < 30 \cdot 0,24 = 7,20 \text{ m}$$

=> Die Wand kann als vierseitig gehalten betrachtet werden.

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
5.5.1.2, (11) (i)

Deckenauflagerung

$$a = t = 240 \text{ mm}$$

$$e = (t - a) / 2 = 0 < t/4$$

=> Abminderungsfaktor der Knicklänge  $\rho_2 = 0,75$

Knicklänge

(planmäßiges Überbindemaß  $\geq 0,4$ )

$$h_{ef} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\rho_2 \cdot h}{b}\right)^2} \cdot \rho_2 \cdot h$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
5.5.1.2, (11) (i)

DIN EN 1996-1-1/2012-01 [10] –  
Gl. (5.8)

$$h_{ef} = \frac{1}{1 + \left(\frac{0,75 \cdot 2,675}{5,4}\right)^2} \cdot 0,75 \cdot 2,675 = 1,76 \text{ m}$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
5.5.1.4

Schlankheit

$$h_{ef} / t = 1,76 / 0,24 = 7,33 < 27 \text{ zulässig}$$

<b>Beispiel</b>	<b>3.8</b>	<b>Beispiel Aussteifungswand</b>
	<b>3.8.2</b>	<b>Aussteifungswand im Mehrfamilienhaus</b>

<b>Projekt:</b>
<b>Mehrfamilienhaus</b>
<b>in Dresden</b>

#### c) Abminderungsbeiwert

- Biegung um die z-Achse (schwache Achse)

*Wandkopf*

planmäßige Lastausmitte

$$e_{o1, LK1} = 0,50 / 1685,1 = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$e_{o1, LK2} = 0,50 / 1050,2 = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

ungewollte Ausmitte

$$e_{init} = 0$$

Ausmitte infolge horizontaler Lasten

$$e_{he} = 0$$

Lastexzentrizität

$$e_{o, LK1} = e_{o1, LK1} + e_{init} + e_{he} = 0,0003 < 0,05 \cdot t = 0,05 \cdot 0,24 = \underline{0,012 \text{ m}}$$

$$e_{o, LK2} = e_{o1, LK1} + e_{init} + e_{he} = 0,00048 < 0,05 \cdot t = 0,05 \cdot 0,24 = \underline{0,012 \text{ m}}$$

Abminderungsfaktor

$$\Phi_{oz, LK1} = \Phi_{oz, LK2} = 1 - 2 \cdot e_i / t = 1 - 2 \cdot 0,012 / 0,24 = 0,9$$

*Wandmitte*

planmäßige Lastausmitte

$$e_{m1, LK1} = 0,55 / 1732,7 = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$e_{m1, LK2} = 0,55 / 1085,5 = 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

ungewollte Ausmitte

$$e_{init} = h_{ef} / 450 = 2,675 / 450 = 5,94 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Ausmitte infolge horizontaler Lasten

$$e_{hm} = 0$$

Endkriechzahl

$$\phi_{\infty} = 1,5$$

Grenzschlankheit

$$\lambda_c = 12$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
6.1.2.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.1.2.2

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
Gl. (6.5)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.1.2.2, (NA.4)

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
5.5.1.1

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.13

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.17

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Mehrfamilienhaus  
in Dresden

Beispiel 3.8 Beispiel Aussteifungswand  
3.8.2 Aussteifungswand im Mehrfamilien-  
haus

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NDP zu 6.1.2.2

Ausmitte infolge Kriechen

$$h_{ef} / t = 7,33 < \lambda_c = 12$$

$$e_k = 0$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
Gl. (6.6)

Lastexzentrizität

$$e_{mk} = e_{m1} + e_{init} + e_{hm} + e_k \geq 0,05 \cdot t$$

$$e_{mk, LK1} = 0,0063 < 0,05 \cdot t = 0,05 \cdot 0,24 = \underline{0,012}$$

$$e_{mk, LK2} = 0,0065 < 0,05 \cdot t = 0,05 \cdot 0,24 = \underline{0,012}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI Anhang NA.G, Gl. (NA.G.1)

Abminderungsfaktoren

$$\Phi_m = 1,14 \cdot (1 - 2 \cdot e_{mk} / t_{ef}) - 0,024 \cdot h_{ef} / t_{ef} \leq 1 - 2 \cdot e_{mk} / t_{ef}$$

$$\Phi_{mz, LK1} = 1,14 \cdot (1 - 2 \cdot 0,012 / 0,24) - 0,024 \cdot 7,33 \leq 1 - 2 \cdot 0,012 / 0,24$$

$$\Phi_{mz, LK1} = 0,85 \leq 0,9$$

$$\Phi_{mz, LK2} = \Phi_{mz, LK1} = 0,85$$

*Wandfuß*

planmäßige Lastausmitte

$$e_{u1, LK1} = 0,60 / 1780,3 = 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$e_{u1, LK2} = 0,60 / 1120,7 = 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.1.2.2

ungewollte Ausmitte

$$e_{init} = 0$$

Ausmitte infolge horizontaler Lasten

$$e_{he} = 0$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
Gl. (6.5)

Lastexzentrizität

$$e_{u, LK1} = e_{u1} + e_{init} + e_{he} = 0,00034 < 0,05 \cdot t = 0,05 \cdot 0,24 = \underline{0,012 \text{ m}}$$

$$e_{u, LK2} = e_{u1} + e_{init} + e_{he} = 0,00054 < 0,05 \cdot t = 0,05 \cdot 0,24 = \underline{0,012 \text{ m}}$$

Abminderungsfaktor

$$\Phi_{uz, LK1} = \Phi_{uz, LK2} = 1 - 2 \cdot e_i / t = 1 - 2 \cdot 0,012 / 0,24 = 0,9$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.1.2.2, (NA.4)

- Biegung um die starke Achse

*Wandkopf*

planmäßige Lastausmitte

Beispiel 3.8 Beispiel Aussteifungswand  
3.8.2 Aussteifungswand im Mehrfamilienhaus

Projekt:  
Mehrfamilienhaus  
in Dresden

$$e_{w, LK1} = 753,5 / 1685,1 = 0,45 \text{ m}$$

$$e_{w, LK2} = 753,5 / 1050,2 = 0,72 \text{ m}$$

Abminderungsfaktoren

$$\Phi_{oy, LK1} = 1 - 2 \cdot e_w / l = 1 - 2 \cdot 0,45 / 5,4 = 0,83$$

$$\Phi_{oy, LK2} = 1 - 2 \cdot e_w / l = 1 - 2 \cdot 0,72 / 5,4 = 0,73$$

*Wandmitte*

planmäßige Lastausmitte

$$e_{w, LK1} = 973,5 / 1732,7 = 0,56 \text{ m}$$

$$e_{w, LK2} = 973,5 / 1085,5 = 0,90 \text{ m}$$

Abminderungsfaktoren

$$\Phi_{my, LK1} = 1 - 2 \cdot e_w / l = 1 - 2 \cdot 0,56 / 5,4 = 0,79$$

$$\Phi_{my, LK2} = 1 - 2 \cdot e_w / l = 1 - 2 \cdot 0,90 / 5,4 = 0,67$$

*Wandfuß*

planmäßige Lastausmitte

$$e_{w, LK1} = 1193,4 / 1780,3 = 0,67 \text{ m}$$

$$e_{w, LK2} = 1193,4 / 1120,7 = 1,06 \text{ m}$$

Abminderungsfaktoren

$$\Phi_{uy, LK1} = 1 - 2 \cdot e_w / l = 1 - 2 \cdot 0,67 / 5,4 = 0,75$$

$$\Phi_{uy, LK2} = 1 - 2 \cdot e_w / l = 1 - 2 \cdot 1,06 / 5,4 = 0,61$$

#### d) Nachweis bei Druckbeanspruchung (genauerer Verfahren)

- Vorwerte

Belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand

$$A = 0,24 \cdot 5,4 = 1,30 \text{ m}^2$$

Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung „kurzer Wände“ = 1,0 (Wand mit  $A > 0,1 \text{ m}^2$ )

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
6.1.2

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Mehrfamilienhaus  
in Dresden

Beispiel 3.8 Beispiel Aussteifungswand  
3.8.2 Aussteifungswand im Mehrfamilien-  
haus

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.3

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.7

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
3.6.1.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NDP zu 3.6.1.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.1.2.2, (NA.iii)

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$

$$\zeta = 0,85$$

Steinfestigkeit

$$f_{st} = 15,0 \text{ N/mm}^2$$

Druckfestigkeit des Mörtels

$$f_m = 10,0 \text{ N/mm}^2$$

Parameter

$$K = 0,8$$

$$\alpha = 0,8$$

$$\beta = 0$$

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = K \cdot f_{st}^\alpha \cdot f_m^\beta = 0,8 \cdot 15,0^{0,8} \cdot 10,0^0 = 7,0 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 7,0 / 1,5 = 3,97 \text{ N/mm}^2$$

#### • Lastkombination 1

*Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft (Nachweis der Doppelbiegung, da  $\Phi_{uy} < \Phi_{uz}$ )*

$$N_{\text{Rod, LK1}} = 0,90 \cdot 0,83 \cdot 3,97 \cdot 10^3 \cdot 1,30 = 3855 \text{ kN}$$

$$N_{\text{Rmd, LK1}} = 0,85 \cdot 0,79 \cdot 3,97 \cdot 10^3 \cdot 1,30 = 3466 \text{ kN}$$

$$N_{\text{Rud, LK1}} = 0,90 \cdot 0,75 \cdot 3,97 \cdot 10^3 \cdot 1,30 = 3484 \text{ kN}$$

*Nachweis*

$$\underline{N_{\text{Eod, LK1}} = 1685,1 \text{ kN} < N_{\text{Rod, LK1}} = 3855 \text{ kN}}$$

$$\underline{N_{\text{Emd, LK1}} = 1732,7 \text{ kN} < N_{\text{Rmd, LK1}} = 3466 \text{ kN}}$$

$$\underline{N_{\text{Eud, LK1}} = 1780,3 \text{ kN} < N_{\text{Rud, LK1}} = 3484 \text{ kN}}$$

**Beispiel 3.8 Beispiel Aussteifungswand**  
**3.8.2 Aussteifungswand im Mehrfamilienhaus**

**Projekt:**  
**Mehrfamilienhaus**  
**in Dresden**

• Lastkombination 2

*Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft (Nachweis der Doppelbiegung, da  $\Phi_{uy} < \Phi_{uz}$ )*

$$N_{Rod, LK2} = 0,90 \cdot 0,73 \cdot 3,97 \cdot 10^3 \cdot 1,30 = 3391 \text{ kN}$$

$$N_{Rmd, LK2} = 0,85 \cdot 0,67 \cdot 3,97 \cdot 10^3 \cdot 1,30 = 2939 \text{ kN}$$

$$N_{Rud, LK2} = 0,90 \cdot 0,61 \cdot 3,97 \cdot 10^3 \cdot 1,30 = 2833 \text{ kN}$$

*Nachweis*

$$N_{Eod, LK2} = 1050,2 \text{ kN} < N_{Rod, LK2} = 3391 \text{ kN}$$

$$N_{Emd, LK2} = 1086,9 \text{ kN} < N_{Rmd, LK2} = 2939 \text{ kN}$$

$$N_{Eud, LK2} = 1123,6 \text{ kN} < N_{Rud, LK2} = 2833 \text{ kN}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – NCI zu 6.1.2.2, (NA.iii)

**e) Nachweis bei Schubbeanspruchung in Scheibenebene (genauerer Verfahren)**

Der Nachweis erfolgt am Wandfuß für die Lastkombination LK2 (minimale Auflast).

abgeminderte Haftscherfestigkeit

$$f_{vk0} = 0,5 \cdot 0,22 = 0,11 \text{ N/mm}^2 \text{ (unvermörtelte Stoßfugen)}$$

überdrückte Länge

$$l_{c,lin, LK2} = 1,5 \cdot \Phi_{uy, LK2} \cdot l = 1,5 \cdot 0,61 \cdot 5,4 = 4,94 \text{ m} \leq l = 5,4 \text{ m}$$

Bemessungswert der Druckspannung

$$\sigma_{Dd, LK2} = 1120,7 \cdot 10^{-3} / (4,94 \cdot 0,24) = 0,945 \text{ N/mm}^2$$

Reibungsversagen

$$f_{vit1, LK2} = 0,11 + 0,4 \cdot 0,945 = 0,488 \text{ N/mm}^2$$

mittlere Steindruckfestigkeit

$$f_{st} = 15,0 \text{ N/mm}^2$$

Rechnerische Steinzugfestigkeit

$$f_{bt,cal} = 0,032 \cdot f_{st} = 0,032 \cdot 15,0 = 0,48 \text{ N/mm}^2$$

Steyzugversagen

$$f_{vit2} = 0,45 \cdot f_{bt,cal} \cdot (1 + \sigma_{Dd} / f_{bt,cal})^{0,5}$$

$$f_{vit2, LK2} = 0,45 \cdot 0,48 \cdot (1 + 0,945 / 0,48)^{0,5} = 0,372 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – NDP zu 3.6.2 und Tab. NA.11

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – Gl. (NA.20)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – Gl. (NA.4)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – Tab. NA.3

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – Erläuterung zu Gl. (NA.5)

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – Gl. (NA.5)

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Mehrfamilienhaus  
in Dresden

Beispiel 3.8 Beispiel Aussteifungswand  
3.8.2 Aussteifungswand im Mehrfamilien-  
haus

charakteristische Schubfestigkeit

$$f_{vk, LK2} = \min(f_{vt1, LK2}, f_{vt2, LK2}) = \min(0,488, 0,372) = 0,372 \text{ N/mm}^2$$

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Bemessungswert der Schubfestigkeit

$$f_{vd, LK2} = 0,372 / 1,5 = 0,248 \text{ N/mm}^2$$

rechnerische Wandlänge

$$l_{cal, LK2} = \min(1,125 \cdot l; 1,333 \cdot l_{c,lin})$$

$$l_{cal, LK2} = \min(1,125 \cdot 5,4; 1,333 \cdot 4,94) = \min(6,08; 6,58) = 6,08 \text{ m}$$

Schubspannungsverteilungsfaktor

$$h/l = 2,675 / 5,4 = 0,5 < 1$$

$$c = 1,0$$

Querkrafttragfähigkeit am Wandkopf / Wandfuß

$$V_{Rdl, LK2} = 6,08 \cdot 0,248 \cdot 10^3 \cdot 0,24 / 1,0 = 361,9 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\underline{V_{Eud, LK2} = 140,6 \text{ kN} < V_{Rdl, LK2} = 361,9 \text{ kN}}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.19)

<b>Beispiel</b>	<b>3.9</b>	<b>Beispiel Stürze</b>
	<b>3.9.1</b>	<b>Porenbeton-Flachsturz nach bauaufsichtlicher Zulassung</b>

<b>Projekt:</b> <b>Einfamilienhaus in Berlin</b>
---

**Gegeben:**

Sturz in Außenwand

- Baustoffe

Porenbeton-Flachsturz W [25] – Zuggurt Typ A

Porenbeton-Plansteine PP2-0,4

Dünnbettmörtel

Beton der Decke C25/30

- Abmessungen

Zuggurtlänge  $l = 1300 \text{ mm}$

lichte Öffnungsweite  $l_w = 900 \text{ mm}$

Auflagerlänge  $l_A = 200 \text{ mm}$

Zuggurthöhe  $h_G = 124 \text{ mm}$

Übermauerungshöhe  $\ddot{u} = 126 \text{ mm}$

Zuggurtbreite (2x)  $b = 175 \text{ mm}$

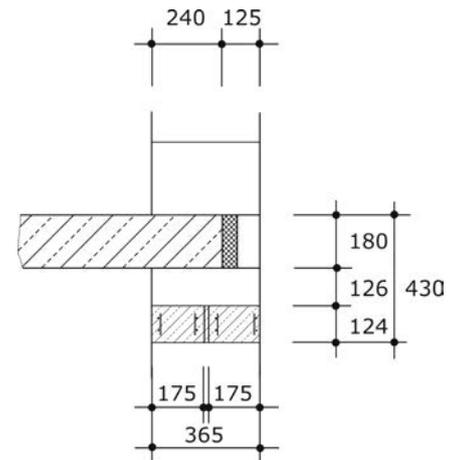
Wanddicke  $t = 365 \text{ mm}$

Deckendicke  $h_D = 180 \text{ mm}$

- Belastung

Gleichstreckenlast  $g_k = 17,7 \text{ kN/m}$

$q_k = 5,8 \text{ kN/m}$



2 Zuggurte Typ A  
je 4 Ø 4,5 mm (längs)  
je 2 Ø 6 mm / a = 50 mm (quer)

**Gesucht:**

Stand sicherheitsnachweise

- a) Biegetragfähigkeit
- b) Schubtragfähigkeit
- c) Verankerung der Längsstäbe
- d) Auflagerpressung

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus in Berlin

Beispiel 3.9 Beispiel Stürze  
3.9.1 Porenbeton-Flachsturz nach bauauf-  
sichtlicher Zulassung

#### **Berechnungsgang:**

##### **a) Biegetragfähigkeit**

Die Druckzone des äußeren Flachsturzes ist aufgrund der 12 cm Dämmung vor der StB-Decke wesentlich kleiner als die des inneren Flachsturzes. Im Folgenden wird der innere Flachsturz für die gesamte Auflast nachgewiesen.

Zulassung [25] – 3.1

- Auflagerlänge und Stützweite

$$l_A = 200 \text{ mm} > \min l_A = 115 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff}} = 900 + 2 \cdot 200 / 2 = 1100 \text{ mm} = 1,1 \text{ m}$$

- Querkraft in der rechnerischen Auflagerlinie

$$V_g = 17,7 \cdot 1,1 / 2 = 9,74 \text{ kN}$$

$$V_q = 5,8 \cdot 1,1 / 2 = 3,19 \text{ kN}$$

- Biegemoment

$$M_g = 17,7 \cdot 1,1^2 / 8 = 2,68 \text{ kNm}$$

$$M_q = 5,8 \cdot 1,1^2 / 8 = 0,88 \text{ kNm}$$

- statische Nutzhöhe

$$d = 430 - 124 / 2 = 368 \text{ mm} < 458 \text{ mm} = l_{\text{eff}} / 2,4$$

Zulassung [25] – 3.2.2.1

- Grenzwerte und Eingangsparameter für die Bemessung

Bemessungsmoment

$$M_{\text{Ed}} = 1,35 \cdot 2,68 + 1,5 \cdot 0,88 = 4,94 \text{ kNm}$$

Bemessungswert der Betondruckfestigkeit

$$f_{\text{cd}} = 0,85 \cdot 20 / 1,5 = 11,3 \text{ N/mm}^2$$

Stauchung der Druckzone

$$0 \geq \varepsilon_c \geq \varepsilon_{c2} = -2 \text{ ‰}$$

**Beispiel 3.9 Beispiel Stürze**  
**3.9.1 Porenbeton-Flachsturz nach bauaufsichtlicher Zulassung**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus in Berlin**

Spannungs-Dehnungs-Abhängigkeit

$$\sigma_c = -f_{cd} \cdot \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^2 \right]$$

Bemessungswert der rechnerischen Streckgrenze

$$f_{yk} = 0,85 \cdot 500 = 425 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Stahlzugfestigkeit

$$f_{yd} = 425 / 1,15 = 369,6 \text{ N/mm}^2$$

- erforderlicher Bewehrungsquerschnitt

Die Iteration ergibt für das vorgegebene Bemessungsmoment Gleichgewicht bei folgendem Dehnungszustand:

$$\varepsilon_s = 2,0 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_c = -0,88 \text{ ‰} > \varepsilon_{c2} = -2 \text{ ‰}$$

mit  $x = 112,45 \text{ mm} < h_D$  und  $z = 340 \text{ mm}$

$$\text{erf } A_s = M_{Ed} / (z \cdot f_{yd}) = 4,94 / (0,340 \cdot 369,6) = 0,39 \text{ cm}^2$$

- gewählt (BSt 500 G)

4  $\varnothing$  4,5 je Zuggurt

$$\text{mit vorh. } A_s = 2 \cdot 0,64 = 1,28 \text{ cm}^2 > \text{erf } A_s = 0,36 \text{ cm}^2$$

#### b) Querkrafttragfähigkeit

Zulassung [25] – 3.2.2.2

Bemessungswert der Querkraft in der rechnerischen Auflagerlinie

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot 9,74 + 1,5 \cdot 3,19 = 17,93 \text{ kN}$$

Schubslankheit

$$\lambda = \frac{\max M_{Ed}}{\max V_{Ed} \cdot d} = \frac{4,94}{17,93 \cdot 0,368} = 0,75 < 2,5$$

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus in Berlin

Beispiel 3.9 Beispiel Stürze  
3.9.1 Porenbeton-Flachsturz nach bauauf-  
sichtlicher Zulassung

Teilsicherheitsbeiwert für Mauerwerk

$$\gamma_M = 1,5$$

Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit

$$V_{Rd} = \frac{1}{\gamma_m} \cdot \frac{240 - 55 \cdot \lambda}{\sqrt{1 + \lambda^2}} \cdot b = \frac{1}{1,5} \cdot \frac{240 - 55 \cdot 0,75}{\sqrt{1 + 0,75^2}} \cdot 0,175 = 18,55 \text{ kN}$$

Nachweis

$$V_{Ed} = 17,93 \text{ kN} < V_{Rd} = 18,55 \text{ kN}$$

Zulassung [25] – 3.2.2.3

#### c) Verankerung der Längsstäbe am Auflager

*gewählt*

$$\varnothing 5, a = 50 \text{ mm}$$

=> mindestens 3 Stäbe  $\geq 50 \text{ mm}$  hinter der Auflagervorderkante

Bemessungswert des Biegemoments in dem um das Versatzmaß  $v = d$  versetzten Querschnitt

$$M_{Ed} = \frac{q_{Ed} \cdot l_{eff}^2}{2} \cdot \left( \frac{d}{l_{eff}} - \left( \frac{d}{l_{eff}} \right)^2 \right)$$

$$M_{Ed} = \frac{(1,35 \cdot 17,7 + 1,5 \cdot 5,8) \cdot 1,1^2}{2} \cdot \left( \frac{0,368}{1,1} - \left( \frac{0,368}{1,1} \right)^2 \right) = 4,39 \text{ kNm}$$

*je Bewehrungsstab zu verankernde Zugkraft*

$$F_{ld} = A_s \cdot f_{sd} \cdot M_d / (M_{Rd} \cdot n_l) = 0,39 \cdot 36,96 \cdot 4,39 / (4,94 \cdot 4) = 3,2 \text{ kN}$$

DIN 4223-2:2003-12 [18] – 12.4

*Bemessungswert des aufnehmbaren Lochleibungsdrucks*

Eingangsgroößen:  $m = 1 + 0,3 \cdot n_p/n_q = 1,3$

$$e = 25 \text{ mm}$$

$$d_q = 5 \text{ mm}$$

$$f_{ck} = 4,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{c2} = 1,7$$

$$\alpha = 0,85$$

DIN 4223-5:2003-12 [19] – 5.2

**Beispiel 3.9 Beispiel Stürze**  
**3.9.1 Porenbeton-Flachsturz nach bauaufsichtlicher Zulassung**

**Projekt:**  
**Einfamilienhaus in Berlin**

$$f_{ld} = 1,35 \cdot m \cdot (e/d_q)^{1/3} \cdot \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_{c2} \leq 2,2 \cdot f_{ck} / \gamma_{c2}$$

$$f_{ld} = 1,35 \cdot 1,3 \cdot (25/5)^{1/3} \cdot 0,85 \cdot 4,4 / 1,7 = 6,6 \text{ N/mm}^2$$

$$< 2,2 \cdot 4,4 / 1,7 = 16,4 \text{ N/mm}^2$$

*Scherfestigkeit der Schweißknoten*

$$S = 0,35 \cdot A_{s1} \cdot f_y = 0,35 \cdot 0,196 \cdot 50,0 = 3,44 \text{ kN}$$

DIN 4223-1:2003-12 [17] – 4.2.1

*aufnehmbare Verankerungskraft*

DIN 4223-2:2003-12 [18] – 12.4

Eingangsgrößen:  $n_q = 3$

$$l_q = 50 \text{ mm} < 14 d_q$$

$$\gamma_s = 1,15$$

DIN 4223-5:2003-12 [19] – 5.2

$$F_{RA} = 0,83 \cdot n_q \cdot d_q \cdot l_q \cdot f_{ld} \leq 0,5 \cdot n_q \cdot S / \gamma_s$$

$$F_{RA} = 0,83 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 50 \cdot 6,6 = 4,11 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 3 \cdot 3,44 / 1,15 = 4,49 \text{ kN}$$

*Nachweis*

$$\underline{F_{ld} = 3,2 \text{ kN} < F_{RA} = 4,49 \text{ kN}}$$

#### d) Nachweis der Auflagerpressung

*Bemessungswert der vorhandenen Auflagerkraft*

$$N_{Ed} = V_{Ed} = 17,93 \text{ kN}$$

*charakteristische Druckfestigkeit*

Wandmauerwerk

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
 3.6.1.2

$$f_{ck} = 1,8 \text{ N/mm}^2$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
 – NDP zu 3.6.1.2

*Sturz*

Zulassung [25] – 3.2.5

$$f_{ck} = 3,4 \text{ N/mm}^2$$

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus in Berlin

Beispiel 3.9 Beispiel Stürze  
3.9.1 Porenbeton-Flachsturz nach bauaufsichtlicher Zulassung

*Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstands*

$$N_{Rdc} = f_d \cdot (1,2 + 0,4 \cdot a_1 / h_c) \cdot A_b \leq 1,5 \cdot f_d \cdot A_b$$

$$N_{Rdc} = 0,18/1,5 \cdot (1,2 + 0,4 \cdot 0 / 2,52) \cdot 20 \cdot 17,5 = 50,4 \text{ kN}$$

$$< 1,5 \cdot 0,18/1,5 \cdot 20 \cdot 17,5 = 63 \text{ kN}$$

*Nachweis*

$$N_{Ed} = 17,93 \text{ kN} < N_{Rdc} = 50,4 \text{ kN}$$

Damit ist der Porenbeton-Flachsturz nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung mit den gewählten Baustoffen und Abmessungen nachgewiesen.

**Beispiel 3.10 Beispiel Teilflächenpressung**  
**3.10.1 infolge Auflagerung von Stürzen**

**Projekt:**  
**Doppelhaus in Hövelhof**

Genauerer Verfahren nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] und  
 DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]

**Gegeben:**

Innenwand im Erdgeschoss

- Baustoffe
  - Porenbeton-Plansteine PP4-0,55
  - Dünnbettmörtel
- Abmessungen
 

Wanddicke	$t$	=	0,15 m
Sturzlänge	$l$	=	1,30 m
Lichte Öffnungsweite	$l_w$	=	0,90 m
Auflagerlänge	$l_1$	=	0,20 m
Wandhöhe bis zur Einzellast	$h_c$	=	2,00 m
- Belastung
 

Auflagerkraft Sturz	$N_{Edc}$	=	17,5 kN
---------------------	-----------	---	---------

**Gesucht:**

Stand sicherheitsnachweis für Wand mit Teilflächenlast

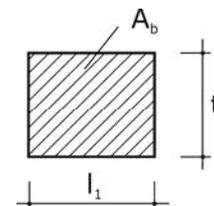
**Berechnungsgang:**

**a) Standsicherheitsnachweis für Wand mit Teilflächenlast**

- Belastete Fläche
  - $d = t = 0,15 \text{ m}$
  - $A_b = l_1 \cdot d = 0,20 \cdot 0,15 = 0,03 \text{ m}^2$
- wirksame Wandfläche
  - $l_{efm} = l_1 + 0,5 \cdot h_c \cdot \cot 60^\circ = 0,20 + 0,5 \cdot 2,0 \cdot \cot 60^\circ = 0,78 \text{ m}$
  - $A_{ef} = l_{efm} \cdot t = 0,78 \cdot 0,15 = 0,117 \text{ m}^2$
  - $A_b / A_{ef} = 0,03 / 0,117 = 0,26 < 0,45$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] –  
 NCI zu 4.3

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
 6.1.3



### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.10 Beispiel Teilflächenpressung  
3.10.1 infolge Auflagerung von Stürzen

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
6.1.3 (4)

- Lastausmitte  
 $e = 0 \leq t / 4$
- Erhöhungsfaktor bei Teilflächenlasten  
Randabstand

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.1.3 (NA.8)

$$a_1 = 0 < 3 \cdot l_1 = 3 \cdot 0,20 = 0,60 \text{ m}$$

Damit ist nach (NA.8) zu verfahren:

$$A_b = 0,03 \text{ m}^2 < 2 \cdot t^2 = 2 \cdot 0,15^2 = 0,045 \text{ m}^2$$
$$e = 0 < t/6$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Gl. (NA.17)

Es sind die Voraussetzungen für die Anwendung von Gl. (NA.17) zur Berechnung von  $\beta_t^{(6)}$  erfüllt.

$$\beta_t = 1 + 0,1 \cdot a_1 / l_1 = 1 + 0,1 \cdot 0 / 0,2 = 1$$

- Bemessungswert des Tragwiderstandes  
Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften  
 $\gamma_M = 1,5$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.3

Faktor zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung  $\zeta$   
 $\zeta = 0,85$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.2

Steinfestigkeit  
 $f_{st} = 5,0 \text{ N/mm}^2$   
Druckfestigkeit des Mörtels  
 $f_m = 10,0 \text{ N/mm}^2$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.10

Parameter  
 $K = 0,9$   
 $\alpha = 0,75$   
 $\beta = 0$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
3.6.1.2

Charakteristische Druckfestigkeit

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NDP zu 3.6.1.2

$$f_k = K \cdot f_{st}^{\alpha} \cdot f_m^{\beta} = 0,9 \cdot 5,0^{0,75} \cdot 10,0^0 = 3,01 \text{ N/mm}^2$$

<sup>6)</sup> Der Parameter  $\beta$  ist im EC 6 mehrfach belegt. Für eine bessere Lesbarkeit wird  $\beta = \beta_t$  gesetzt.

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Beispiel 3.10 Beispiel Teilflächenpressung  
3.10.1 infolge Auflagerung von Stürzen

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 3,01 / 1,5 = 1,7 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft

$$N_{Rdc} = \beta_t \cdot A_b \cdot f_d = 1,0 \cdot 0,03 \cdot 1,7 \cdot 10^3 = 51,0 \text{ kN}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.1.3 (NA.8) sowie Gl.  
(NA.17)

- Nachweis

$$\underline{N_{Edc} = 17,5 \text{ kN} < N_{Rdc} = 51,0 \text{ kN}}$$

Bemerkung

Zusätzlich ist immer noch der Nachweis der Tragfähigkeit in halber Wandhöhe zu führen. An dieser Stelle wird jedoch darauf verzichtet.

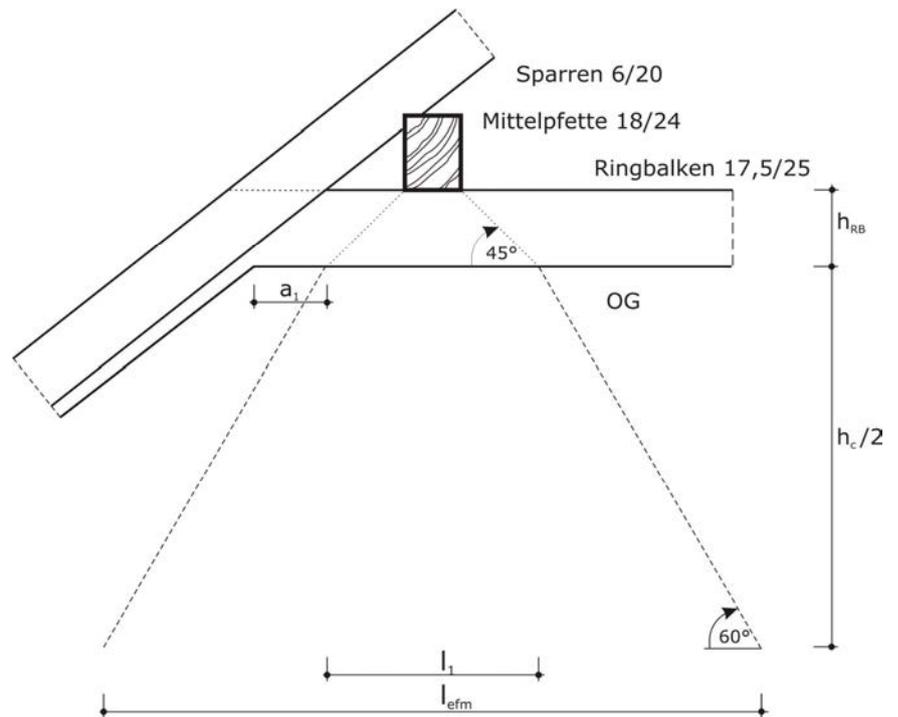
### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.10 Beispiel Teilflächenpressung  
3.10.2 infolge Lasten aus Pfetten

Genaueres Verfahren nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] und  
DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]

**Gegeben:**



zweischalige Gebäudetrennwand im Obergeschoss

- Baustoffe  
Porenbeton-Plansteine PP4-0,60  
Dünnbettmörtel
- Abmessungen

Wanddicke	$t$	=	0,175 m
Wandlänge	$l$	=	9,61 m
Höhe Ringbalken	$h_{RB}$	=	0,250 m
Pfettenbreite	$b_{Pf}$	=	0,180 m
Abstand zum Wandende	$a_1$	=	0,31 m
Wandhöhe bis Einzellast	$h_c$	=	2,57 m

Beispiel 3.10 Beispiel Teilflächenpressung  
3.10.2 infolge Lasten aus Pfetten

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

- Belastung

Normalkraft aus Auflagerung der Pfette

$$V_{2k,g} = 4,22 \text{ kN}$$

$$V_{2k,q} = 4,82 \text{ kN}$$

**Gesucht:**

Stand sicherheitsnachweis für Wand mit Teilflächenlast

**Berechnungsgang:**

Für die Berechnung wird angenommen, dass sich die Last aus der Pfette im Stahlbetonringbalken unter 45° ausbreitet.

**a) Standsicherheitsnachweis für Wand mit Teilflächenlast**

- Belastete Fläche

$$l_1 = b_{Pf} + 2 \cdot h_{RB} = 0,18 + 2 \cdot 0,25 = 0,68 \text{ m}$$

$$d_b = t = 0,175 \text{ m (Ausmitte wird durch Lastausbreitung egalisiert)}$$

$$A_b = l_1 \cdot d = 0,68 \cdot 0,175 = 0,119 \text{ m}^2$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – NCI zu 4.3

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] – 6.1.3

- wirksame Wandfläche

$$l_{efm} = l_1 + h_c \cdot \cot 60^\circ = 0,68 + 2,57 \cdot \cot 60^\circ = 2,16 \text{ m}$$

$$A_{ef} = l_{efm} \cdot t = 2,16 \cdot 0,175 = 0,378 \text{ m}^2$$

$$A_b / A_{ef} = 0,119 / 0,378 = 0,31 < 0,45$$

- Normalkraft

$$N_{Ed,c} = 1,35 \cdot [4,22 + 0,68 \cdot 0,25 \cdot 0,175 \cdot 25 + 1,27 \cdot 0,68 \cdot (0,35 + 0,85)/2] + 1,5 \cdot 4,82 = 14,63 \text{ kN}$$

- Lastausmitte

$$e = 0 \leq t / 4$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] – 6.1.3 (4)

- Erhöhungsfaktor bei Teilflächenlasten

$$a_1 = 0,31 \text{ m} < 3 \cdot l_1 = 3 \cdot 0,68 = 2,04 \text{ m}$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10] – NCI zu 6.1.3 (NA.8)

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

Beispiel 3.10 Beispiel Teilflächenpressung  
3.10.2 infolge Lasten aus Pfetten

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
Gl. (6.11)

Damit ist die Einzellast nach (NA.8) als „randnah“ einzustufen und der Erhöhungsfaktor  $\beta_t$ <sup>7)</sup> ist unter Beachtung weiterer Kriterien nach Gl. (NA.13) zu berechnen..

$$A_b = 0,119 \text{ m}^2 > 2 \cdot t^2 = 2 \cdot 0,175^2 = 0,061 \text{ m}^2$$

Die Bedingung für die Belastungsfläche in (NA.8) ist nicht erfüllt. Es darf deshalb kein erhöhter Wert von  $\beta_t$  berechnet werden. Die Anwendung von Gl. (6.11) nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 ist wegen der Bedingung  $a_1 < 3 \cdot l_1$  nicht möglich.

Demnach ist

$$\beta_t = 1,0$$

- Bemessungswert des Tragwiderstandes

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Steinfestigkeit

$$f_{st} = 5,0 \text{ N/mm}^2$$

Druckfestigkeit des Mörtels

$$f_m = 10,0 \text{ N/mm}^2$$

Parameter

$$K = 0,9$$

$$\alpha = 0,75$$

$$\beta = 0$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.3

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.10

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
3.6.1.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NDP zu 3.6.1.2

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = K \cdot f_{st}^\alpha \cdot f_m^\beta = 0,9 \cdot 5,0^{0,75} \cdot 10,0^0 = 3,01 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 3,01 / 1,5 = 1,7 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft

$$N_{Rdc} = \beta_t \cdot A_b \cdot f_d = 1,00 \cdot 0,119 \cdot 1,7 \cdot 10^3 = 202,3 \text{ kN}$$

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
Gl. (6.10)

<sup>7)</sup> Der Parameter  $\beta$  ist im EC 6 mehrfach belegt. Für eine bessere Lesbarkeit wird  $\beta = \beta_t$  gesetzt.

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Beispiel 3.10 Beispiel Teilflächenpressung  
3.10.2 infolge Lasten aus Pfetten

Projekt:  
Doppelhaus in Hövelhof

- Nachweis

$$\underline{N_{Edc} = 14,63 \text{ kN} < N_{Rdc} = 202,3 \text{ kN}}$$

#### Bemerkung

Zusätzlich ist immer noch der Nachweis der Tragfähigkeit in halber Wandhöhe zu führen. An dieser Stelle wird jedoch darauf verzichtet.

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

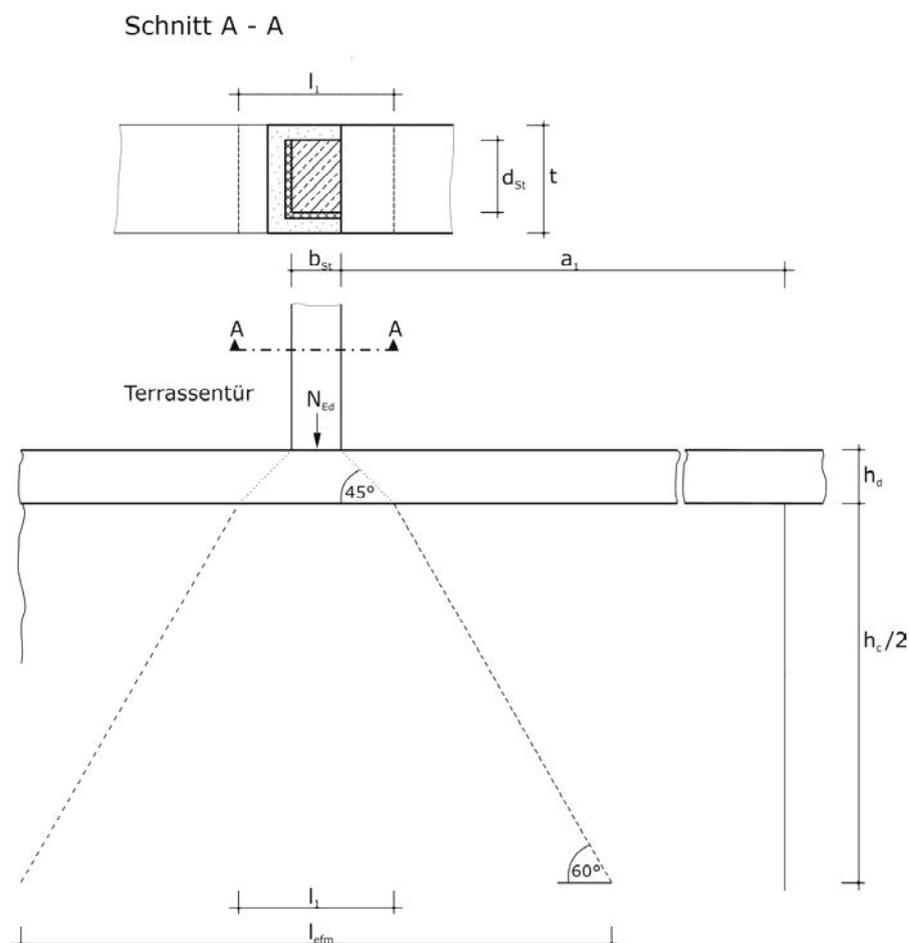
Projekt:  
Einfamilienhaus in Berlin

Beispiel 3.10 Beispiel Teilflächenpressung  
3.10.3 infolge Einzellasten/Stützen

Genaueres Verfahren nach DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] und  
DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]

#### Gegeben:

Außenwand im Kellergeschoss



- Baustoffe
  - Porenbeton-Plansteine PP4-0,55
  - Dünnbettmörtel
- Abmessungen
  - Wanddicke  $t = 0,365$  m
  - Wandlänge  $l = 5,260$  m
  - Deckendicke  $h_D = 0,180$  m

Beispiel 3.10 Beispiel Teilflächenpressung  
3.10.3 infolge Einzellasten/Stützen

Projekt:  
Einfamilienhaus in Berlin

Stützenbreite  $b_{St} = 0,169 \text{ m}$

Stützendicke  $d_{St} = 0,205 \text{ m}$

Abstand zum Wandende  $a_1 = 2,15 \text{ m}$

Wandhöhe bis zur Einzellast  $h_c = 2,57 \text{ m}$

- Belastung

Normalkraft Stützenfuß  $N_{Edc} = 294,7 \text{ kN}$

**Gesucht:**

Stand sicherheitsnachweis für Wand mit Teilflächenlast

**Berechnungsgang:**

Für die Berechnung wird angenommen, dass sich die Last aus der Einzelstütze in der Stahlbetondecke unter  $45^\circ$  ausbreitet.

**Stand sicherheitsnachweis für Wand mit Teilflächenlast**

- Belastete Fläche

$$l_1 = b_{St} + 2 \cdot h_D = 0,169 + 2 \cdot 0,18 = 0,529 \text{ m}$$

$$d = d_{St} + 2 \cdot h_D = 0,205 + 2 \cdot 0,18 = 0,565 < t = \underline{0,365 \text{ m}}$$

$$A_b = l_1 \cdot d = 0,529 \cdot 0,365 = 0,193 \text{ m}^2$$

- wirksame Wandfläche

$$l_{efm} = l_1 + h_c \cdot \cot 60^\circ = 0,529 + 2,57 \cdot \cot 60^\circ = 2,01 \text{ m}$$

$$A_{ef} = l_{efm} \cdot t = 2,01 \cdot 0,365 = 0,734 \text{ m}^2$$

$$A_b / A_{ef} = 0,193 / 0,734 = 0,263 < 0,45$$

- Lastausmitte

Die Lastausbreitung in der Decke bewirkt eine Zentrierung der Einzelast. Da  $d = t$  ist, gilt:

$$e = 0 \leq t / 4$$

DIN EN 1996-3/NA:2012-01 [16] – NCI zu 4.3

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] – 6.1.3

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] – 6.1.3 (4)

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Projekt:  
Einfamilienhaus in Berlin

Beispiel 3.10 Beispiel Teilflächenpressung  
3.10.3 infolge Einzellasten/Stützen

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NCI zu 6.1.3 (NA.8)

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
Gl. (6.11)

- Erhöhungsfaktor bei Teilflächenlasten<sup>8)</sup>

$$a_1 = 2,15 \text{ m} > 3 \cdot l_1 = 3 \cdot 0,529 = 1,59 \text{ m}$$

$$\beta_t = \left(1 + 0,3 \frac{a_1}{h_c}\right) \left(1,5 - 1,1 \frac{A_b}{A_{ef}}\right) \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 1,25 + \frac{a_1}{2h_c} \\ 1,5 \end{array} \right\}$$

$$\beta_t = \left(1 + 0,3 \frac{2,15}{2,57}\right) (1,5 - 1,1 \cdot 0,263) = 1,51 \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 1,25 + \frac{2,15}{2 \cdot 2,57} = 1,67 \\ 1,5 \end{array} \right\}$$

$$\beta_t = 1,5$$

- Bemessungswert des Tragwiderstandes

Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

$$\gamma_M = 1,5$$

Steinfestigkeit

$$f_{st} = 5,0 \text{ N/mm}^2$$

Druckfestigkeit des Mörtels

$$f_m = 10,0 \text{ N/mm}^2$$

Parameter

$$K = 0,9$$

$$\alpha = 0,75$$

$$\beta = 0$$

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.3

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– Tab. NA.10

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
3.6.1.2

DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 [10]  
– NDP zu 3.6.1.2

DIN EN 1996-1-1:2010-12 [9] –  
Gl. (6.10)

Charakteristische Druckfestigkeit

$$f_k = K \cdot f_{st}^\alpha \cdot f_m^\beta = 0,9 \cdot 5,0^{0,75} \cdot 10,0^0 = 3,0 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$$f_d = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 3,0 / 1,5 = 1,7 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft

$$N_{Rdc} = \beta \cdot A_b \cdot f_d = 1,5 \cdot 0,193 \cdot 1,7 \cdot 10^3 = 492,1 \text{ kN}$$

<sup>8)</sup> Der Parameter  $\beta$  ist im EC 6 mehrfach belegt. Für eine bessere Lesbarkeit wird  $\beta = \beta_t$  gesetzt.

### 3 Statische Berechnungen (Musterbeispiele)

Beispiel 3.10 Beispiel Teilflächenpressung  
3.10.3 infolge Einzellasten/Stützen

Projekt:  
Einfamilienhaus in Berlin

- Nachweis

$$\underline{N_{Edc} = 294,7 \text{ kN} < N_{Rdc} = 492,1 \text{ kN}}$$

#### Bemerkung

Zusätzlich ist immer noch der Nachweis der Tragfähigkeit in halber Wandhöhe zu führen. An dieser Stelle wird aus Platzgründen darauf verzichtet.

### 4 Zusammenfassung

In diesem Berichtsheft werden Musterberechnungen nach dem Teilsicherheitskonzept des Eurocode 6 (DIN 1996-1-1 und DIN 1996-3) für ausgewählte Einzelbauteile aus Porenbeton-Mauerwerk gezeigt.

Aus bereits fertiggestellten und nach älteren Normen bemessenen Gebäuden werden hierzu die wichtigsten und am häufigsten ausgeführten Wandkonstruktionen aus Porenbeton statisch nachgewiesen.

Die Musterberechnungen zeigen, dass die in typischen Mauerwerksbauten vorkommenden Bauteile aus Porenbeton mit den neuen Bemessungsnormen nach dem Teilsicherheitskonzept – auch unter Berücksichtigung der aktuellen Baustoff- und Lastnormen – problemlos nachgewiesen werden können.

## 5 Produktkenndaten

Tabelle 10 Festigkeitsklassen, Mindestdruckfestigkeit und Rohdichte von Porenbeton-Plansteinen und -elementen nach DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN V 20000-404 und DIN V 4165-100

Porenbeton- produkte	Herstellung und Anwendung	Druckfestig- keitsklasse	Mindestdruckfestigkeit		Rohdichte	
			Mittelwert [N/mm <sup>2</sup> ]	kleinster Einzelwert [N/mm <sup>2</sup> ]	Klasse	Mittelwert [kg/dm <sup>3</sup> ]
Plansteine, Planelemente	DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN V 20000-404 und DIN V 4165-100 *) nach Zulassung	2	2,5	2,0	0,35 0,40 0,45 0,50	>0,30 bis 0,35 >0,35 bis 0,40 >0,40 bis 0,45 >0,45 bis 0,50
		4	5,0	4,0	0,50 <sup>*)</sup> 0,55 0,60 0,65 0,70 0,80	>0,45 bis 0,50 >0,50 bis 0,55 >0,55 bis 0,60 >0,60 bis 0,65 >0,65 bis 0,70 >0,70 bis 0,80
		6	7,5	6,0	0,60 <sup>*)</sup> 0,65 0,70 0,80	>0,55 bis 0,60 >0,60 bis 0,65 >0,65 bis 0,70 >0,70 bis 0,80
		8	10,0	8,0	0,80 0,90 1,00	>0,70 bis 0,80 >0,80 bis 0,90 >0,90 bis 1,00

Tabelle 11 Charakteristische Werte  $f_k$  der Druckfestigkeit von Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen mit Dünnbettmörtel nach DIN EN 1996-3/NA [16]

Steinfestigkeitsklasse	$f_k$ [N/mm <sup>2</sup> ]
2	1,8
4	3,0
6	4,1
8	5,1

### 6 Normen, Literatur

- [1] DIN 1053-1:1996-11: Mauerwerk – Teil 1: Berechnung und Ausführung.
- [2] DIN 1053-100:2007-09: Mauerwerk – Teil 100: Berechnung auf der Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts.
- [3] DIN EN 1990:2010-12: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010.
- [4] DIN EN 1990/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung.
- [5] DIN EN 1991-1-4:2010-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke. Allgemeine Einwirkungen – Windlasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010.
- [6] DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten.
- [7] DIN EN 1992-1-1:2011-01: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010.
- [8] DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [9] DIN EN 1996-1-1:2010-12: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; Deutsche Fassung EN 1996-1-1:2005 + AC:2009.
- [10] DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk.
- [11] DIN EN 1996-1-2:2011-04: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung EN 1996-1-2:2005 + AC:2010
- [12] E DIN EN 1996-1-2/NA:2012-04: Entwurf - Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall
- [13] DIN EN 1996-2:2010-12: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk; Deutsche Fassung EN 1996-2:2006 + AC:2009

- [14] DIN EN 1996-2/NA:2012-01: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk.
- [15] DIN EN 1996-3:2010-12: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3: Vereinfachte Bemessungsmethode für unbewehrte Mauerwerksbauten; Deutsche Fassung EN 1996-3:2006 + AC:2009.
- [16] DIN EN 1996-3/NA:2012-01: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Teil 3: Vereinfachte Bemessungsmethode für unbewehrte Mauerwerksbauten.
- [17] DIN 4223-1:2003-12: Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 1: Herstellung, Eigenschaften, Übereinstimmungsnachweis.
- [18] DIN 4223-2:2003-12: Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 2: Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung, Entwurf und Bemessung.
- [19] DIN 4223-5:2003-12: Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 5: Sicherheitskonzept.
- [20] Goris, A. (Hrsg.): Bautabellen für Ingenieure. 19. Auflage. Werner Verlag, 2010.
- [21] Krüger, W.; Mertzsch, O.: Verformungsbegrenzung im Betonbau. <http://www.bvpi.de/bvpi-content/fachbeitraege/fachbeitraege.htm>.
- [22] Krüger, W.; Mertzsch, O.: Zum Trag- und Verformungsverhalten bewehrter Betonquerschnitte im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. In: Heft 533 des DAFStb, S.131–239. Beuth Verlag, Berlin 2006.
- [23] Ramm, E.; Hofmann, T. J.: Stabtragwerke. In: Mehlhorn, G. (Hrsg.), Der Ingenieurbau – Grundwissen, Bd. 5, Baustatik, Baudynamik, S.1–350, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1995.
- [24] Schmitz, U.; Goris, A.: Bemessungstabellen nach DIN 1045-1. Werner Verlag, 2001.
- [25] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-17.1-634 für Porenbeton-Flachstürze W, erteilt vom Deutschen Institut für Bautechnik in Berlin am 30.6.2008 mit Geltungsdauer bis 29.6.2013.
- [26] Musterbauordnung - MBO – Fassung Nov. 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauminsterkonferenz vom Oktober 2008. <http://www.is-argbau.de/>.
- [27] EnEV 2009 – Energieeinsparverordnung für Gebäude. [http://www.enev-online.org/enev\\_2009\\_volltext/index.htm](http://www.enev-online.org/enev_2009_volltext/index.htm).
- [28] Schubert, P.; Brameshuber, W.: Eigenschaftswerte von Mauersteinen, Mauermörtel, Mauerwerk und Putzen. In: Mauerwerk-Kalender 36 (2011). Hrsg. Wolfram Jäger. Verlag Ernst & Sohn, S. 3–33.
- [29] Mann, W.; Bernhardt, G.: Rechnerischer Nachweis von ein- und zweiachsig gespannten Wänden, insbesondere von Kellerwänden

auf Erddruck. In: Mauerwerk-Kalender 8 (1983). Hrsg. P. Funk. Verlag Ernst & Sohn, S. 29–43.

- [30] Jäger, W.; Vassilev, T.: Nachweis von Kellerwänden nach DIN 1053-100. Mauerwerk 11 (2007) H. 1, S. 30–36.
- [31] Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen – Fassung Dezember 2011 – konsolidierte Fassung.  
<http://www.dibt.de/de/Data/TB/MLTB-12-2011.pdf>