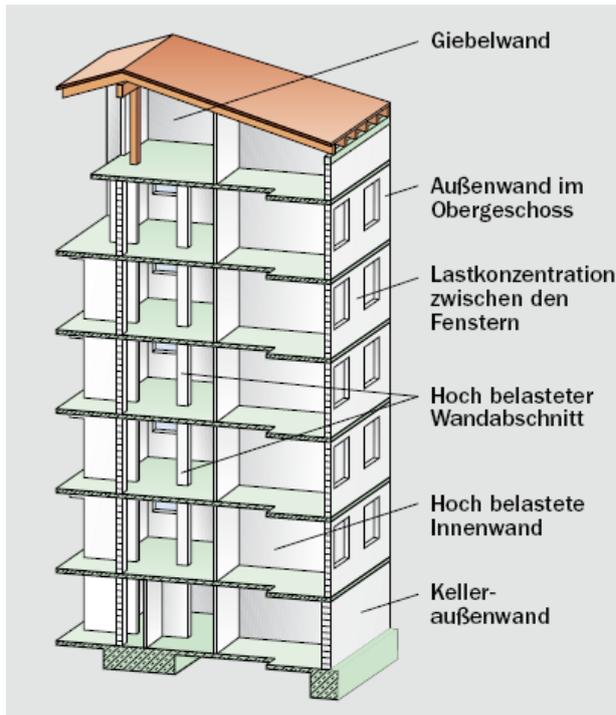


## Mauerwerk nach Eurocode 6

### 1 Einleitung

#### 1.1 Allgemeines



Die maßgebende Grundlage für die Bemessung und Konstruktion von Mauerwerk ist aktuell die DIN EN 1996 (Eurocode 6 = EC 6). Die maßgebenden Normen sind dann die folgenden:

- DIN EN 1996-1-1 + NA (2012): Bemessung für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk.
- DIN EN 1996-1-2 + NA (2013): Bemessung für den Brandfall.
- DIN EN 1996-2 + NA (2012): Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk.
- DIN EN 1996-3 + NA (2012): Vereinfachte Bemessung für unbewehrtes Mauerwerk.

Für die Bemessung von Mauerwerkswänden stehen im **Eurocode 6** **zwei Berechnungsverfahren** zur Verfügung:

- das vereinfachte Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3 +NA
- das genauere Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-1-1 + NA

Die Grundlagen beider Berechnungsverfahren sind identisch. Die **gleichzeitige Verwendung in einem Gebäude ist zulässig**.

Die Anwendung der **genaueren Berechnungsverfahren** nach DIN EN 1996-1-1/NA ist gegenüber den vereinfachten Berechnungsverfahren insbesondere in zwei Fällen zu empfehlen:

- Die Randbedingungen zur Anwendung des vereinfachten Berechnungsverfahrens sind nicht eingehalten.
- Teilweise erheblich höhere rechnerische Tragfähigkeiten bei Biegebeanspruchung.

Wesentliche Vorteile des **vereinfachten Berechnungsverfahrens** sind:

- Biegebeanspruchungen aus Lastexzentrizität und Windeinwirkungen werden in stark vereinfachter Form bei der Bemessung berücksichtigt (zentrische Bemessung mit Traglastfaktoren).
- Im Gegensatz zur Vorgängernorm DIN 1053 dürfen nun auch Deckenscheiben nicht vollständig auf der Wand aufliegen.

Bei Einhaltung der Anwendungsgrenzen des **vereinfachten Berechnungsverfahrens** und der nachfolgend genannten Randbedingungen ist **kein Nachweis ausreichender Querkrafttragfähigkeit** erforderlich. DIN EN 1996-3/NA enthält daher auch keine Regelungen zum Querkraftnachweis.

Bei der Berechnung nach dem **vereinfachten Verfahren** werden folgende **Näherungen** angenommen:

**Auf einen rechnerischen Nachweis der Aussteifung des Gebäudes darf verzichtet werden.** Bedingungen: Die Geschossdecken sind als steife Scheiben ausgebildet oder sind statisch nachgewiesene, ausreichend steife Ringbalken. Außerdem existiert in Längs- und Querrichtung des Gebäudes eine offensichtlich ausreichende Anzahl von genügend langen aussteifenden Wänden, die ohne größere Schwächungen und ohne Versprünge bis auf die Fundamente geführt werden.

Der Einfluss von **Windlasten** senkrecht zur Wandebene von tragenden Wänden kann **vernachlässigt** werden, wenn eine ausreichende horizontale Halterung am Wandkopf und -fuß gegeben ist, d.h. frei stehende Wände sind nicht erlaubt.

Es treten **in halber Geschosshöhe der Wand nur Biegemomente aus der Deckeneinspannung oder -auflagerung und aus Windlasten** auf.



### Stoßfugen:

Die Stoßfugen sind die vertikalen Fugen des Mauerwerks. Die Sollmaße der Stoßfugenbreite betragen üblicherweise:

- bei Steinen mit Nut- und Feder-System 2 mm (i.d.R. ohne Stoßfugenvermörtelung).
- bei glatten Steinen 10 mm (i.d.R. mit Stoßfugenvermörtelung).

Stoßfugenbreiten > 5 mm sind nach DIN 1053-1 beidseitig an der Wandoberfläche mit Mörtel zu schließen. Im statischen Sinn als vermörtelt gilt eine Stoßfuge dann, wenn mindestens die halbe Wanddicke vermörtelt ist.

Stoßfugenausbildung – Anforderungen	Schemaskizze (Aufsicht auf Steinlage)
1 Ebene Stoßfugenausbildung ● Steine knirsch verlegt ● gesamte Stoßfuge vollflächig vermörtelt Stoßfugenbreite: 10 mm	
2 Stoßfugenausbildung mit Mörteltaschen ● Steine knirsch verlegt, Mörteltasche mit Mörtel gefüllt ● Steinflanken vermörtelt	
3 Stoßfugenausbildung mit Nut-Feder-System ● Steine knirsch verlegt ● Steinrandbereiche vermörtelt	
4 Stoßfugenausbildung eines geschnittenen Steins an Nut-Feder-System ● Steinrandbereiche vermörteln	

### Mörtel:

Man unterscheidet je nach Eigenschaft und Verwendungszweck 3 Mörtelarten:

- Dünnbettmörtel (DM), Größtkorn = 1 mm, Fugen bis max. 3 mm Dicke.
- Leichtmörtel (LM), Trockenrohdichte < 1300 kg/m<sup>3</sup>.
- Normalmörtel (NM), Trockenrohdichte ≥ 1300 kg/m<sup>3</sup>.

Die Unterteilung in Mörtelgruppen (DIN V 18580 und DIN V 20000-412) oder Mörtelklassen (DIN EN 998-2) erfolgt in erster Linie auf Grund der Festigkeit.

### Steinrohdichteklasse (RDK):

Die Steinrohdichte wird in kg/dm<sup>3</sup> angegeben und liegt i.d.R. zwischen 0,35 und 2,4 kg/m<sup>3</sup>. Im Allgemeinen wird über die RDK eine Zuordnung zur SFK gemacht.

### Steindruckfestigkeitsklasse (SFK):

Die SFK wird in N/mm<sup>2</sup> (MN/m<sup>2</sup>) angegeben und liegt zwischen 2 und 60. Übliche in der Praxis vorkommende Festigkeiten sind 2 (Porenbeton), 6, 12 und 20.

### Rezeptmauerwerk(RM):

Um die unendliche Vielfalt von Kombinationsmöglichkeiten von Mörtel und Steinen zu standardisieren, wurde ein sog. Rezeptmauerwerk eingeführt, das die charakteristische Druckfestigkeit für bestimmte Kombinationen von Mörtelgruppen und Steinfestigkeitsklassen festlegt.

Die folgende Tabelle zeigt eine Zuordnung von Rohdichteklassen zu Steifigkeitsklassen von gängigen genormten Steinen:

Bezeichnung	Rohdichtekl.	Festigkeitsklassen						$G_M^{(*)}$ kN/m <sup>3</sup>	
		2	4	6	8	12	20		28
<b>Mauerziegel</b> DIN V 105-100 bzw. DIN EN 771-1 und DIN V 20 000-401 Mz Vollziegel (1,6–2,0 kg/dm <sup>3</sup> ) HLz Hochlochziegel (0,6–1,4 kg/dm <sup>3</sup> ) KMz Vollklinker (2,0–2,2 kg/dm <sup>3</sup> ) KHLz Hochlochklinker (1,6–1,8 kg/dm <sup>3</sup> ) VHLz Hochlochziegel, frostbeständig (1,0–1,4 kg/dm <sup>3</sup> ) VMz Vollziegel, frostbeständig (1,6–1,8 kg/dm <sup>3</sup> )	0,6		•	•	•				7
	0,65		•	•	•				7,5
	0,7		•	•	•	•			9
	0,75		•	•	•	•			9,5
	0,8		•	•	•	•			10
	0,9			•	•	•			11
	1,0				•	•	•		12
	1,2					•	•	•	14
	1,4						•	•	15
	1,6						•	•	17
1,8						•	•	18	
2,0						•	•	20	
<b>Kalksandsteine</b> DIN V 106 bzw. DIN EN 771-2 und DIN V 20 000-402 KS Vollsteine (1,6–2,0 kg/dm <sup>3</sup> ) KS L Lochsteine (1,2–1,6 kg/dm <sup>3</sup> ) KS-R Blocksteine (1,6–2,0 kg/dm <sup>3</sup> ) KS L-R Hohlblocksteine (1,2–1,6 kg/dm <sup>3</sup> ) KS Vm Vormauersteine (1,8–2,0 kg/dm <sup>3</sup> ) KS Vb Verblender (1,8–2,0 kg/dm <sup>3</sup> )	1,2				•	•			14
	1,4				•	•	•		16
	1,6				•	•	•	•	16
	1,8					•	•	•	18
	2,0					•	•	•	20
	2,2					•	•	•	22
	2,4						•	•	24
<b>Porenbetonsteine</b> DIN V 4165-100 bzw. DIN EN 771-4 und DIN V 20 000-404 PP Porenbeton-Plansteine PPE Porenbeton-Planelemente	0,35	•							4,5
	0,4	•							5
	0,5	•							6
	0,55		•						6,5
	0,6		•						7
	0,65			•					7,5
	0,7			•					8
	0,8				•				9
<b>Leichtbeton und Beton</b> Hbl Leichtbeton-Hohlblocksteine DIN V 18 151-100 (0,45–1,6 kg/dm <sup>3</sup> ) Vbl, V Vollblöcke und Vollsteine aus Leichtbeton DIN V 18 152-100 (0,45–2,0 kg/dm <sup>3</sup> ) Hbn Mauersteine aus Beton DIN V 18 153-100 (0,8–2,4 kg/dm <sup>3</sup> )  Es können auch DIN EN 771-3 und DIN V 20 000-403 verwendet werden	0,45	•							6,5
	0,5	•							7
	0,6	•							8
	0,7	•	•						9
	0,8	•	•	•					10
	0,9	•	•	•	•				11
	1,0	•	•	•					12
	1,2	•	•	•	•				14
	1,4		•	•	•				16
	1,6			•	•	•			16
	1,8			•	•	•			18
	2,0					•	•		20
	2,2					•	•		22
2,4					•	•		24	

### 1.3 Teilsicherheitskonzept (TSK)

Der Nachweis ausreichender Tragfähigkeit oder Gebrauchstauglichkeit wird wie in der DIN EN 1990/NA eingeführt, durch den Vergleich der Einwirkungen mit dem

Bauteilwiderstand geführt: 
$$\gamma_F \cdot E_k \leq \frac{R_k}{\gamma_M}$$

Die Sicherheitsfaktoren  $\gamma_F$  auf der Lastseite nach DIN EN 1990/NA sind bekannt:

Einwirkung	Günstige Wirkung	Ungünstige Wirkung	Außergewöhnliche Bemessungssituation
Ständige Einwirkung G z.B. Eigengewicht, Ausbau, Erddruck	1,0	<b>1,35</b>	1,0
Veränderliche Einwirkung Q z.B. Wind-, Schnee-, Nutzlasten	0,0	<b>1,5</b>	1,0

NA.2: Bei Wohn- und Bürogebäuden darf der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft im Allgemeinen vereinfacht mit den folgenden Einwirkungskombinationen bestimmt werden:

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot \sum N_{Gk} + 1,5 \cdot \sum N_{Qk}$$

In Hochbauten mit Decken aus Stahlbeton, die mit charakteristischen Nutzlasten einschließlich Trennwandzuschlag von maximal 3 kN/m<sup>2</sup> belastet sind, darf vereinfachend angesetzt werden:

$$N_{Ed} = 1,4 \cdot \left( \sum N_{Gk} + \sum N_{Qk} \right) \text{ für } q_k \leq 3,0 \text{ kN/m}^2$$

Für den Nachweis von größeren Biegemomenten, z.B. bei aussteifenden Wandscheiben, wo häufig die minimale Normalkraft bemessungsmaßgebend ist, muss immer zusätzlich der Lastfall max.M + min.N untersucht werden:

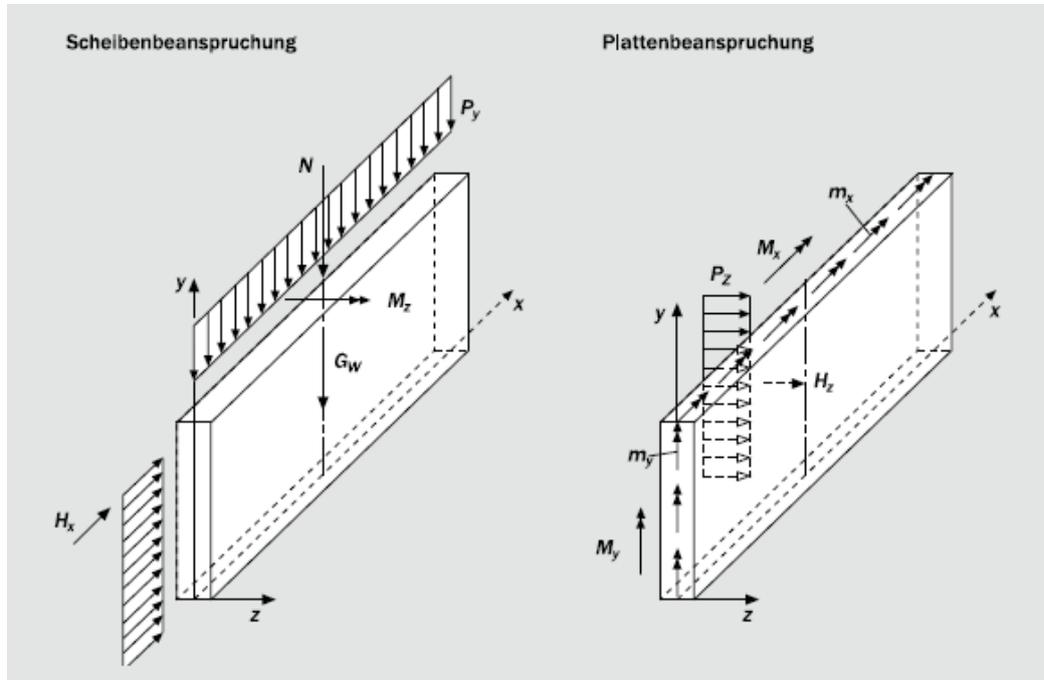
$$\min N_{Ed} = 1,0 \cdot \sum N_{Gk} \text{ in Verbindung mit } \max M_{Ed} = 1,0 \cdot M_{Gk} + 1,5 \cdot M_{Qk}$$

Die Sicherheiten  $\gamma_M$  auf der Materialseite werden in der jeweiligen Norm, also hier die DIN EN 1996-1-1/NA Tabelle NA.1, festgelegt:

Material		$\gamma_M$	
		Bemessungssituation	
		ständig und vorübergehend	außer-gewöhnlich <sup>a</sup>
A	unbewehrtes Mauerwerk aus Steinen der Kategorie I und Mörtel nach Eignungsprüfung <sup>b, c</sup>	1,5	1,3
	bewehrtes Mauerwerk aus Steinen der Kategorie I und Mörtel nach Eignungsprüfung <sup>b</sup>	10,0 <sup>d</sup>	10,0 <sup>d</sup>
B	unbewehrtes Mauerwerk aus Steinen der Kategorie I und Rezeptmörtel <sup>c, e</sup>	1,5	1,3
	bewehrtes Mauerwerk aus Steinen der Kategorie I und Rezeptmörtel <sup>b</sup>	10,0 <sup>d</sup>	10,0 <sup>d</sup>
C	Mauerwerk aus Steinen der Kategorie II	...„Auslassung“... nicht anwendbar.	
D	Verankerung von Bewehrungsstahl	10,0 <sup>d</sup>	
E	Bewehrungsstahl und Spannstahl	10,0 <sup>d</sup>	
F	Ergänzungsbauteile nach DIN EN 845-1	nach Zulassung	
G	Stürze nach DIN EN 845-2	nach Zulassung	
<sup>a</sup> für die Bemessung im Brandfall siehe DIN EN 1996-1-2. <sup>b</sup> siehe NCI zu 3.2.2 <sup>c</sup> Randstreifenvermörtelung ist für tragendes Mauerwerk nicht anwendbar. <sup>d</sup> In Einzelfällen können in Abstimmung mit der zuständigen Bauaufsichtsbehörde abweichende Werte vereinbart werden. <sup>e</sup> Gilt nur für Baustellenmörtel nach DIN V 18580.			

## 2 Tragwirkung von Wänden

### 2.1 Allgemeines



#### **Plattenbeanspruchung:**

Hauptsächlich in Form von Wind oder Erddruck (Keller).

#### **Scheibenbeanspruchung:**

Vertikale Belastung hauptsächlich aus Decken (Standardfall).

Horizontale Belastung hauptsächlich aus Wind oder Erddruck (Auflager aus der Plattenbeanspruchung von Querwänden) oder als Knickaussteifung von Querwänden.

#### **Tragende Wände:**

Tragende Wände werden überwiegend auf Druck beansprucht und werden zum Abtrag von vertikalen Lasten (hauptsächlich aus Decken) und von horizontalen Lasten (z.B. aus Wind oder Erddruck) herangezogen.

#### **Nicht tragende Wände:**

Nicht tragende Wände werden nur durch ihr Eigengewicht und direkt auf sie wirkende Lasten (z.B. Regale, Hängeschränke) belastet. Es ist dafür Sorge zu tragen, dass sie (z.B. infolge von Deckendurchbiegungen) keine Last von oben erhalten!

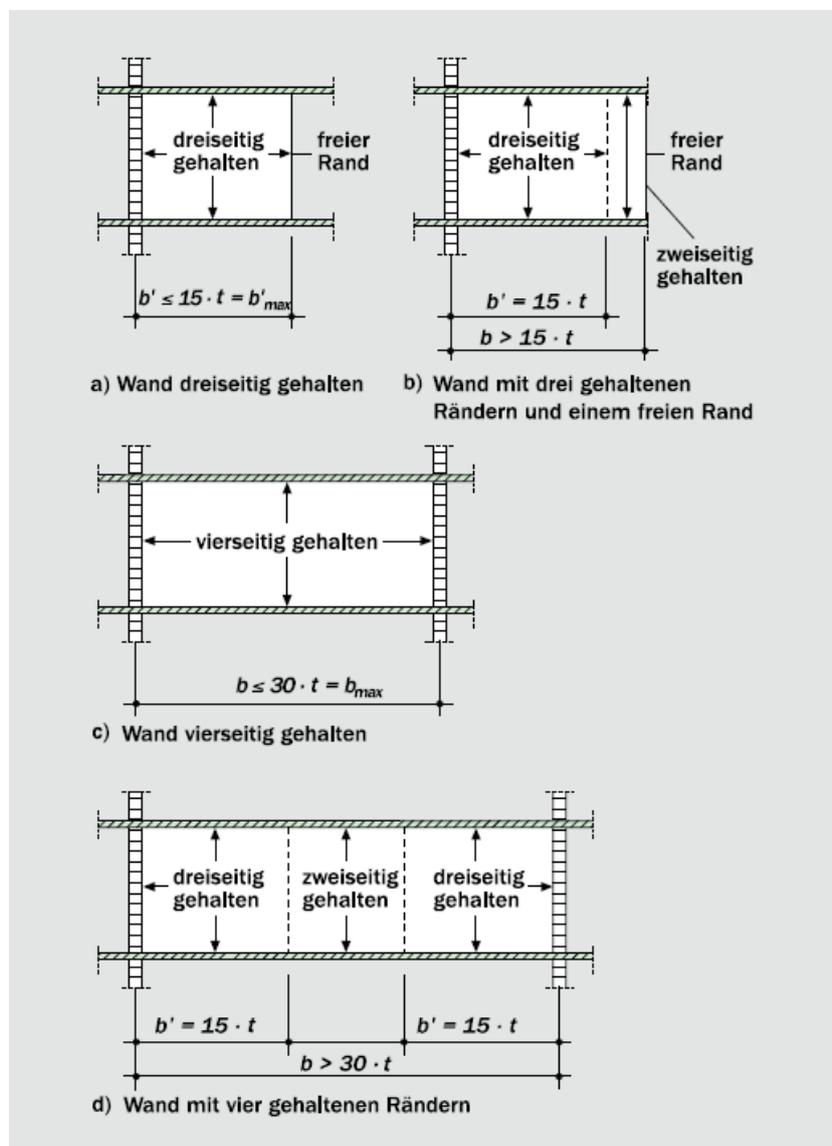
### Aussteifende Wände:

Aussteifende Wände dienen der Gebäudeaussteifung oder der Knickaussteifung von Wänden über eine Scheibenwirkung.

### Auszusteifende Wände:

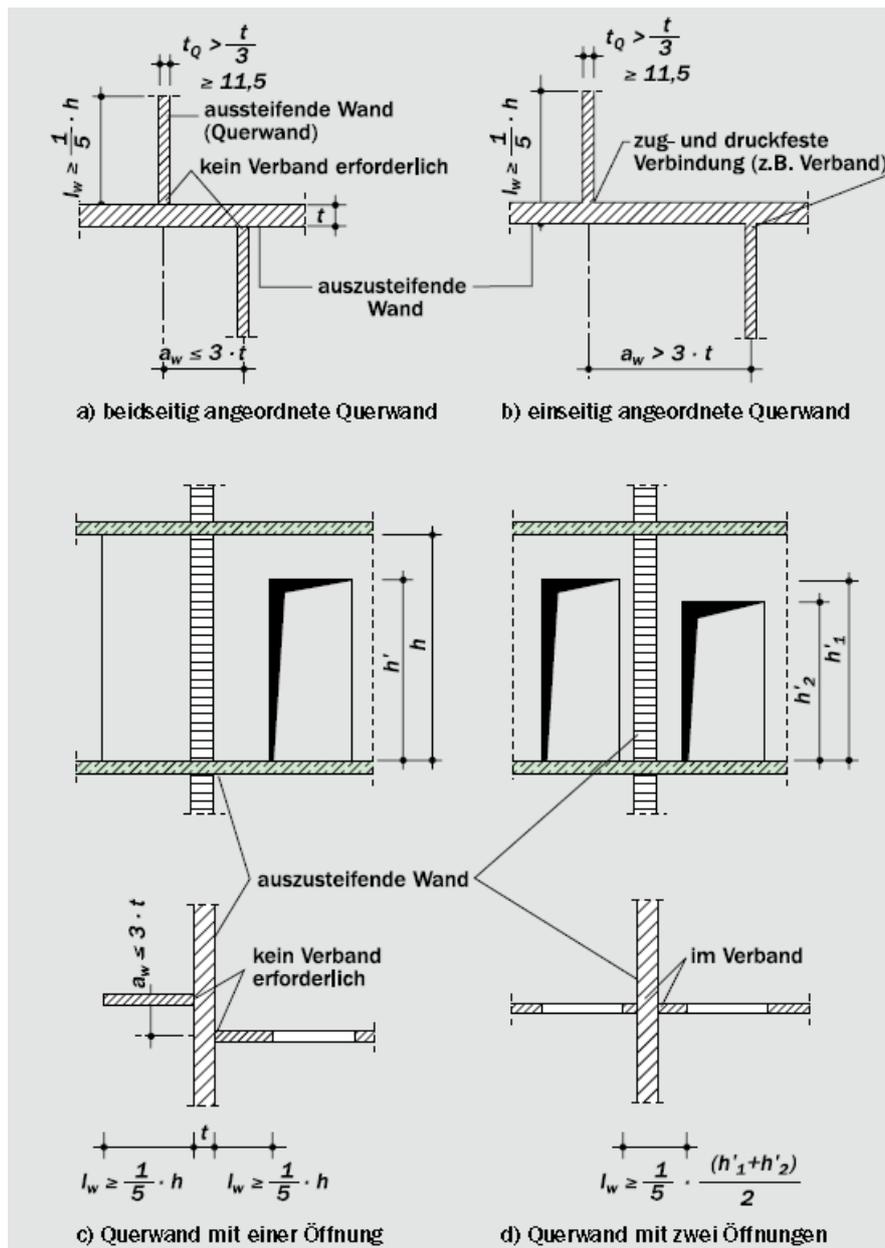
Auszusteifende Wände sind Wände, die durch Anordnung von Querwänden besser gegen horizontale Lasten (z.B. Erddruck) oder Knicken gesichert sind, d.h. sie sind in der Regel 3- oder 4-seitig gehalten, was zu einer günstigeren Berechnung z.B. zu einer Reduzierung der Knicklänge führt.

Da im Mauerwerksbau fast immer Geschoßdecken vorhanden sind, sind die Wände grundsätzlich oben und unten (2-seitig gehalten). Das folgende Bild verdeutlicht die Regelungen nach EC 6, wann von einer 3- bzw. 4-seitigen Halterung ausgegangen werden kann:



Außerdem müssen die aussteifenden Wände die folgenden Bedingungen erfüllen:

- Wandlänge  $l_w \geq 1/5 h$  ( $h$  = lichte Geschoßhöhe)
- Minstdicke  $t \geq 1/3$  der auszusteienden Wand  $\geq 11,5$  cm
- Eine nicht zug- und Druckfeste Verbindung mit der auszusteienden Wand ist nur dann zulässig, wenn die Bedingungen gemäß dem folgenden Bild Teile a und b eingehalten sind.
- Im Bereich von Tür- und Fensteröffnungen gelten die Längen gemäß dem folgenden Bild Teile c und d.



### 3 Bauliche Durchbildung

Der EC 6 regelt nicht nur die Berechnung von Mauerwerk unter Verwendung des Teilsicherheitskonzepts, sondern auch die bauliche Durchbildung und die Bauausführung. Es werden hier nur 3 wichtige Punkte angesprochen. Ansonsten sei auf den EC 6 verwiesen.

#### Vertikale Schlitze und Aussparungen

Die **Abminderung für Druck-, Schub- und Biegetragfähigkeit** infolge vertikaler Schlitze und Aussparungen **darf vernachlässigt werden**, wenn diese **Schlitze und Aussparungen nicht tiefer als  $t_{ch,v}$**  sind. Dabei sollte als Schlitz und Aussparungstiefe die Tiefe einschließlich der Löcher gelten, die bei der Herstellung der Schlitze und Aussparungen erreicht wird. Werden die Grenzwerte überschritten, sollte die Tragfähigkeit auf Druck, Schub und Biegung mit dem infolge der Schlitze und Aussparungen reduzierten Mauerwerksquerschnitt rechnerisch überprüft werden.

NCI: Vertikale Schlitze und Aussparungen sind auch dann ohne Nachweis zulässig, wenn die Querschnittsschwächung, bezogen auf 1 m Wandlänge, nicht mehr als 6 % beträgt und die Wand nicht drei- oder vierseitig gehalten gerechnet ist. Hierbei müssen eine Restwanddicke nach Tabelle NA.19, Spalte 5, und ein Mindestabstand nach Spalte 6 eingehalten werden.

1	2	3	4	5	6	7
Wanddicke mm	Nachträglich hergestellte Schlitze und Aussparungen <sup>c</sup>		Mit der Errichtung des Mauerwerks hergestellte Schlitze und Aussparungen im gemauerten Verband			
	maximale Tiefe <sup>a</sup> $t_{ch,v}$ mm	maximale Breite (Einzelschlitz) <sup>b</sup> mm	Verbleibende Mindest- wanddicke mm	maximale Breite <sup>b</sup> mm	Mindestabstand der Schlitze und Aussparungen	
					von Öffnungen	untereinander
115 bis 149	10	100	–	–	≥ 2-Fache Schlitzbreite bzw. ≥ 240 mm	≥ Schlitzbreite
150 bis 174	20	100	–	–		
175 bis 199	30	100	115	260		
200 bis 239	30	125	115	300		
240 bis 299	30	150	115	385		
300 bis 364	30	200	175	385		
≥ 365	30	200	240	385		
<sup>a</sup> Schlitze, die bis maximal 1 m über den Fußboden reichen, dürfen bei Wanddicken ≥ 240 mm bis 80 mm Tiefe und 120 mm Breite ausgeführt werden. <sup>b</sup> Die Gesamtbreite von Schlitz nach Spalte 3 und Spalte 5 darf je 2 m Wandlänge die Maße in Spalte 5 nicht überschreiten. Bei geringeren Wandlängen als 2 m sind die Werte in Spalte 5 proportional zur Wandlänge zu verringern. <sup>c</sup> Abstand der Schlitze und Aussparungen von Öffnungen ≥ 115 mm.						

**Tabelle NA 19:** Zulässige Größe  $t_{ch,v}$  vertikaler Schlitze und Aussparungen ohne rechnerischen Nachweis nach DIN EN 1996-1-1/NA

## Horizontale und schräge Schlitz

Jeder horizontale und schräge Schlitz sollte in einem Bereich kleiner als ein Achtel der lichten Geschosshöhe ober- oder unterhalb der Decke angeordnet werden. Die gesamte Schlitztiefe sollte kleiner als  $t_{ch,h}$  sein, vorausgesetzt, die Exzentrizität in diesem Bereich ist kleiner als  $t/3$ . Dabei gilt als Schlitztiefe die Tiefe einschließlich der Lochung, die bei der Herstellung der Schlitz erreicht wird. Werden die Grenzwerte überschritten, sollte die Tragfähigkeit auf Druck, Schub und Biegung, unter Berücksichtigung des reduzierten Querschnittes, rechnerisch überprüft werden.

Horizontale und schräge Schlitz sind für eine gesamte Schlitztiefe von maximal dem Wert  $t_{ch,h}$  ohne gesonderten Nachweis der Tragfähigkeit des reduzierten Mauerwerksquerschnitts auf Druck, Schub und Biegung zulässig, sofern eine Begrenzung der zusätzlichen Ausmitte in diesem Bereich vorgenommen wird. Klaffende Fugen infolge planmäßiger Ausmitte der einwirkenden charakteristischen Lasten (ohne Berücksichtigung der Kriechausmitte und der Stabauslenkung nach Theorie II. Ordnung) dürfen rechnerisch höchstens bis zum Schwerpunkt des Gesamtquerschnittes entstehen.

Generell sind horizontale und schräge Schlitz in den Installationszonen nach DIN 18015-3 anzuordnen. Horizontale und schräge Schlitz in Langlochziegeln sind jedoch nicht zulässig.

Tabelle NA.20 enthält entsprechende Grenzwerte für  $t_{ch,h}$ . Sofern die Schlitztiefen die in Tabelle NA.20 angegebenen Werte überschreiten, ist die Tragfähigkeit auf Druck, Schub und Biegung mit dem infolge der horizontalen und schrägen Schlitz reduzierten Mauerwerksquerschnitt rechnerisch zu überprüfen.

Wanddicke mm	Maximale Schlitztiefe $t_{ch,h}$ <sup>a</sup> mm	
	Unbeschränkte Länge	Länge $\leq 1250$ mm <sup>b</sup>
115-149	–	–
150-174	–	0 <sup>c</sup>
175–239	0 <sup>c</sup>	25
240–299	15 <sup>c</sup>	25
300-364	20 <sup>c</sup>	30
über 365	20 <sup>c</sup>	30

<sup>a</sup> Horizontale und schräge Schlitz sind nur zulässig in einem Bereich  $\leq 0,4$  m ober- oder unterhalb der Rohdecke sowie jeweils an einer Wandseite. Sie sind nicht zulässig bei Langlochziegeln.

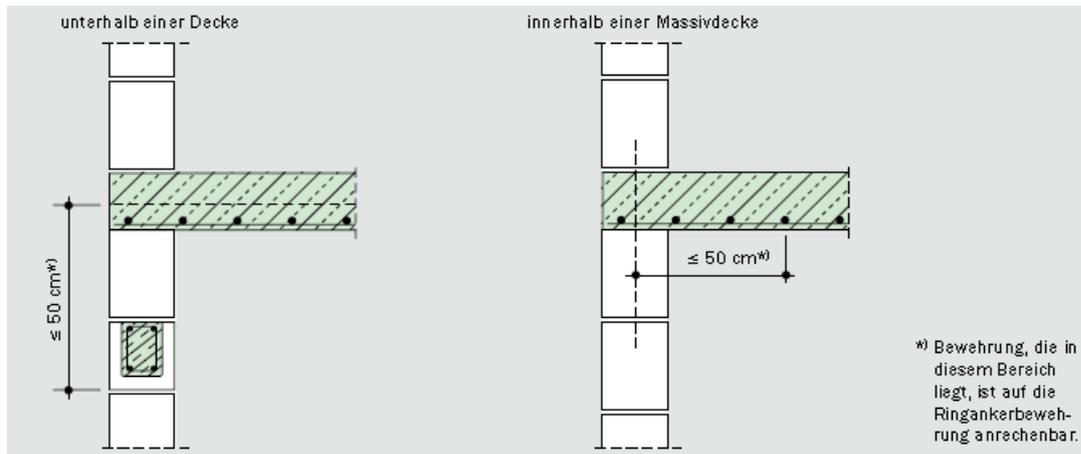
<sup>b</sup> Mindestabstand in Längsrichtung von Öffnungen  $\geq 490$  mm, vom nächsten Horizontalschlitz zweifache Schlitzlänge.

<sup>c</sup> Die Tiefe darf um 10 mm erhöht werden, wenn Werkzeuge verwendet werden, mit denen die Tiefe genau eingehalten werden kann. Bei Verwendung solcher Werkzeuge dürfen auch in Wänden  $\geq 240$  mm gegenüberliegende Schlitz mit jeweils 10 mm Tiefe ausgeführt werden.

**Tabelle NA.20:** Zulässige Größe  $t_{ch,h}$  horizontaler und schräger Schlitz ohne rechnerischen Nachweis nach DIN EN 1996-1-1/NA

## Ringanker (Zuglieder):

Ringanker werden bei Massivdecken im Regelfall innerhalb der Decken oder kurz darunter angeordnet und halten die tragenden Wände zusammen. Sie übernehmen die in der Deckenscheibe auftretenden Randzugkräfte und leiten die angreifenden Aussteifungskräfte auf die Wandscheiben weiter.



Nach DIN EN 1996-1-1 mussten alle Außenwände und diejenigen Innenwände, die der Abtragung der Aussteifungskräfte dienen, Ringanker erhalten, wenn nachstehende Randbedingungen vorliegen. Vergleichbare Regelungen sind im Eurocode nicht enthalten.

- Mehr als 2 Vollgeschosse
- Bauwerkslänge  $> 18 \text{ m}$
- Wände mit großen Öffnungen
- Bei schlechten Baugrundverhältnissen

Funktionen von Ringankern sind:

- Zusammenhalten der tragenden Wände.
- Aufnahme von Randzugkräften in den Deckenscheiben.
- Weiterleitung von Aussteifungskräften auf die Wandscheiben.

Die Ringanker sind für eine Zugkraft von mindestens  $F_{Ed} = 45 \text{ kN}$  zu bemessen bzw. mit mindestens  $1,5 \text{ cm}^2$  ( $2 \text{ } \varnothing 10$ ) zu bewehren.

## Ringbalken (Biegebalken):

Ringbalken sind stets anzuordnen, wenn **Horizontallasten senkrecht zur Wandebene** (z.B. aus Wind, Erddruck) einwirken und eine kontinuierliche Lagerung am Wandkopf (z.B. durch Deckenscheiben) nicht vorhanden ist (z.B. bei Holzbalkendecken). Gleichzeitig können Ringbalken auch die Funktion von Ringankern zur Ableitung von Aussteifungskräften übernehmen. Ringbalken sind **überwiegend auf Biegung** und weniger auf Zug beansprucht.

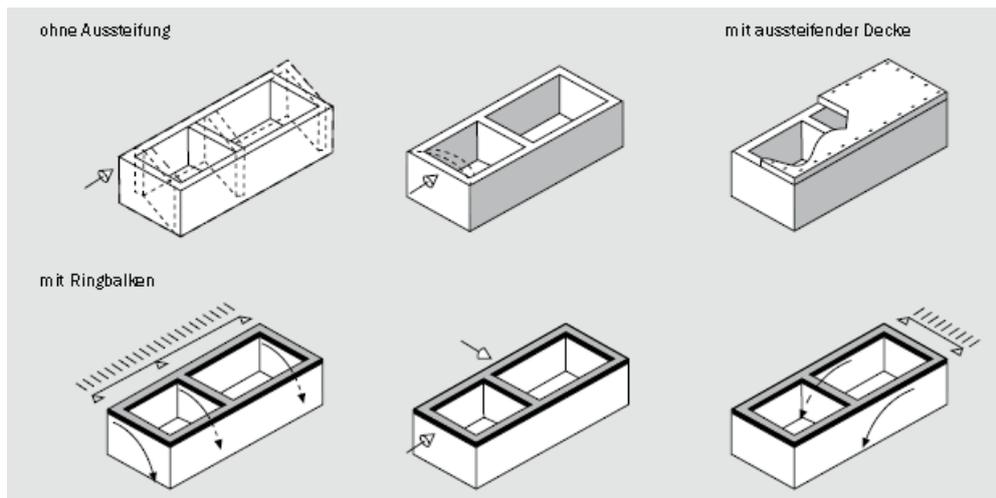


Bild: Stabilisierung durch Ringbalken

## 4 Ermittlung der Wandbelastungen

### 4.1 Vertikale Belastungen aus Decken

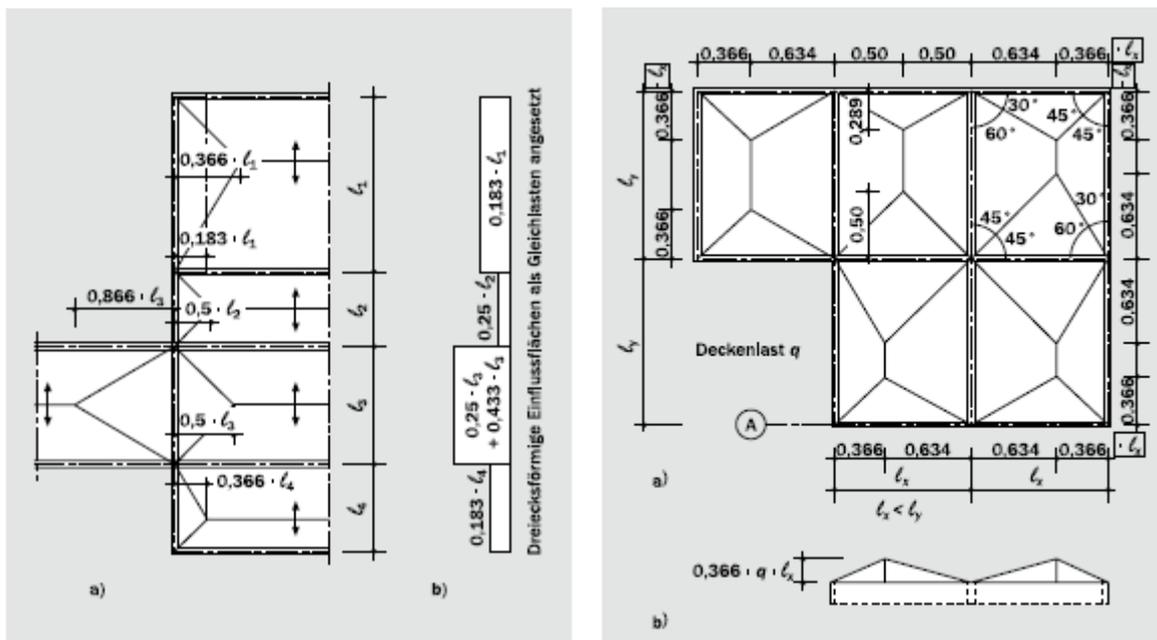
Die anzusetzenden Eigengewichts- und Verkehrslasten sind dem Eurocode 1 bzw. der DIN EN 1991 zu entnehmen.

Eine genaue Ermittlung der aus Decken auf Wände und Unterzüge weiterzuleitenden Lasten ist im Allgemeinen nur mit Hilfe von FEM-Programmen machbar und relativ aufwändig. Für die Praxis ist es meist ausreichend, diese Lasten in Form von Lasteinzugsflächen zusammen zu stellen. Diese Lasteinzugsflächen können z.B. mittels CAD sehr einfach nach dem folgenden Prinzip konstruiert werden.

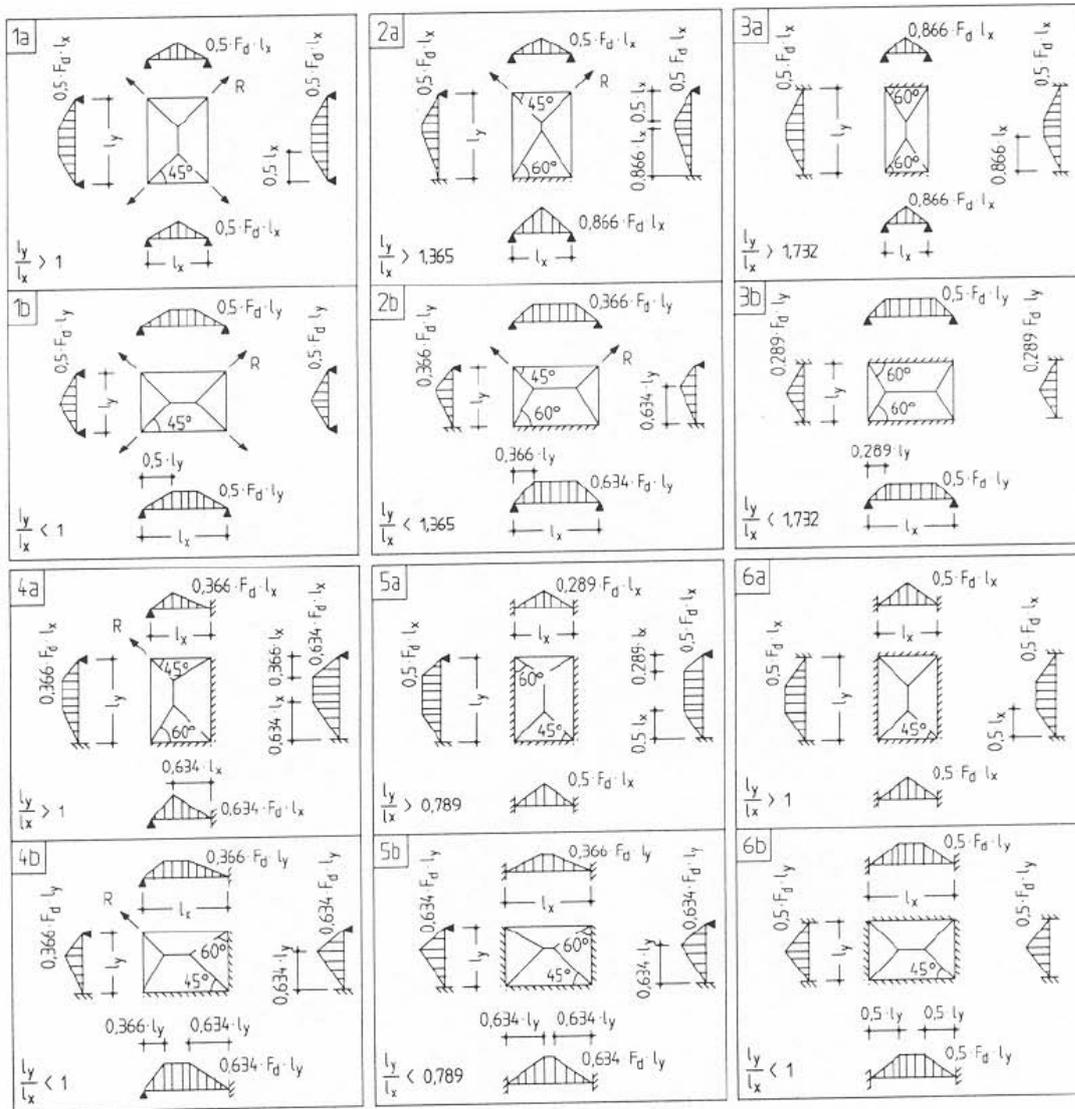
Unter der Voraussetzung, dass die **Durchlaufwirkung einer Platte wie eine Randeinspannung** interpretiert werden kann, kann bei 2 sich schneidenden Lagerlinien die Lastfläche folgendermaßen auf diese beiden Lagerlinien aufgeteilt werden:

- Bei **gleichartigen Lagerbedingungen** (gelenkig / gelenkig oder eingespannt / eingespannt) verteilt sich die Last **1:1**, d.h. die Winkelhalbierende ist die Grenze.
- Bei **unterschiedlichen Lagerbedingungen** (gelenkig / eingespannt) zieht das steifere (eingespannte) Lager mehr Last an, die Last verteilt sich dann im Verhältnis **1:2**, d.h. der Winkel zum steiferen (eingespannten) Lager beträgt  $2/3$  des Gesamtwinkels.

Die folgenden Beispiele für die Lastermittlung auf Wände oder Unterzüge unter Decken verdeutlicht diese Vorgehensweise:



Für den Standardfall von rechteckigen Deckenfeldern kann die Aufteilung direkt aus der folgenden Zusammenstellung abgelesen werden:



$\kappa$ -Werte zur Berechnung der Eckabhebekräfte vierseitig gelagerter Platten bei Gleichflächenlast  $F_d$

$$R = F_d \cdot l_x^2 / \kappa$$

$\epsilon = l_y / l_x$	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00
Stützung											
1	10,8	9,85	9,20	8,75	8,40	8,15	7,95	7,80	7,70	7,65	7,55
2.1	13,1	11,6	10,5	9,70	9,10	8,70	8,40	8,10	7,90	7,80	7,70
2.2	13,1	12,4	12,0	11,7	11,5	11,4	11,3	11,2	11,2	11,2	11,2
4	13,9	13,0	12,4	12,0	11,7	11,5	11,4	11,3	11,2	11,2	11,2

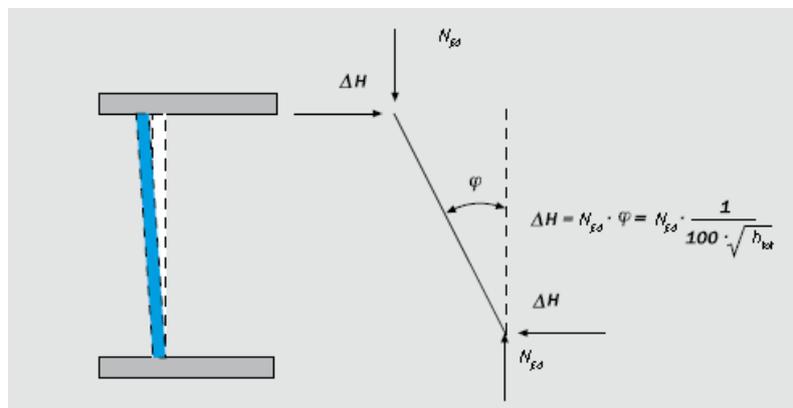
## 4.2 Horizontale Belastungen

Wenn keine offensichtlich ausreichende Anzahl von längs und quer aussteifenden Wänden vorhanden ist, dann ist ein Nachweis der Gesamtaussteifung zu führen. Die wesentlichen Belastungen hierbei resultieren aus den üblicherweise vorhandenen horizontalen Einwirkungen:

- Winddruck und Windsog (EC 1)
- Erdbeben (EC 8)
- Erddruck
- Imperfektionen beim Bauprozess

Unter Imperfektionen versteht man die ungewollte Abweichung vom geplanten Sollzustand, z.B. durch Lotabweichung von vertikalen Bauteilen, Vorkrümmungen von Stabachsen, Eigenspannungen oder strukturelle Imperfektionen wegen Maßtoleranzen bei Querschnitten.

Nach EC 6 können diese Imperfektionen näherungsweise durch Ansatz von geometrischen Ersatzimperfektionen in Form einer Schiefstellung  $\varphi$  von allen lotrechten Bauteilen erfasst werden (siehe Bild unten). Daraus resultieren zusätzliche Horizontallasten auf die aussteifenden Bauteile.



Schiefstellung  $\varphi$ : 
$$\varphi = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{h_{tot}}}$$

$h_{tot}$  = Gebäudehöhe gemessen ab der Einspannstelle

$N$  = Summe aller charakteristischen Vertikallasten auf das betrachtete Geschoss.

Die Aufteilung auf die einzelnen aussteifenden Wände innerhalb des Geschoßes erfolgt durch eine Aussteifungsberechnung (vgl. nächstes Kapitel).

## 5 Räumliche Stabilität

Nach EC 6 müssen alle horizontalen Lasten (Wind, Erddruck, Erdbeben, H-Lasten aus Schiefstellung) sicher in den Baugrund abgeleitet werden. Wenn Gebäude auf Grund ihrer Größe durch Fugen unterteilt sind, dann muss jeder Gebäudeteil für sich betrachtet werden. Mauerwerksbauten mit üblichen Abmessungen besitzen im Normalfall eine Vielzahl von aussteifenden Wandscheiben, weswegen in solchen Fällen auf einen Nachweis verzichtet werden kann, wenn die folgenden Bedingungen eingehalten sind:

- Die Decke wirkt wie eine steife Scheibe. Ersatzweise können statisch nachgewiesene Ringbalken angeordnet werden.
- Alle tragenden und aussteifenden Wände sind mit der Decke kraftschlüssig verbunden (z.B. per Reibung bei einer Stahlbetondecke oder mit Zugankern bei einer Holzbalkendecke).
- Es ist offensichtlich, dass die vorhandenen Längs- und Querwände ausreichend sind und ohne größere Schwächungen und Versprünge bis zu den Fundamenten durchgehen.

Bei großer Nachgiebigkeit der Aussteifungselemente müssen die Formänderungen bei der Berechnung berücksichtigt werden (Theorie II. Ordnung). Dies gilt als gegeben, wenn der Schnittgrößenzuwachs im Vergleich zur Theorie I. Ordnung > 10 % beträgt. Da dieser Zuwachs nur sehr aufwändig festzustellen ist, wurde das folgende einfache Kriterium definiert:

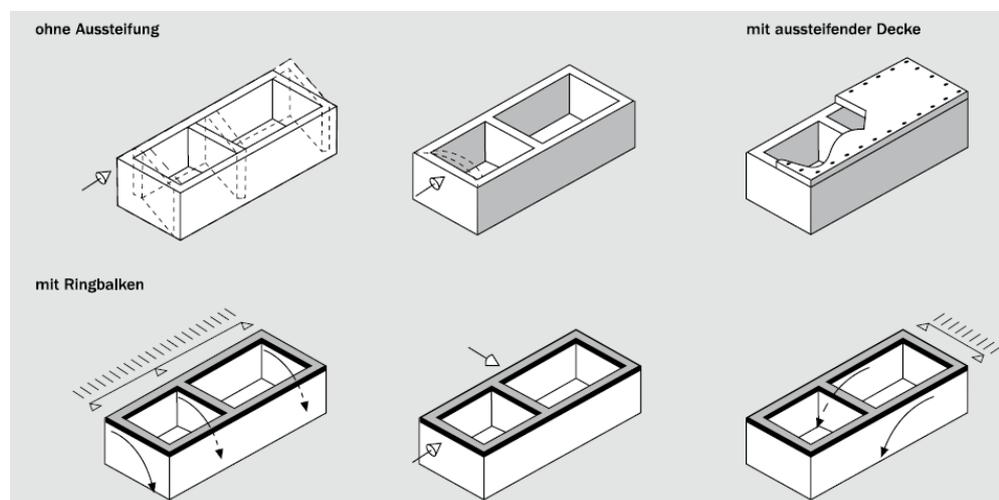
$$h_{\text{tot}} \cdot \sqrt{\frac{N_k}{EI}} \leq 0,6 \quad \text{für } n \geq 4 \quad \text{bzw.} \quad h_{\text{tot}} \cdot \sqrt{\frac{N_k}{EI}} \leq 0,2 + 0,1 \cdot n \quad \text{für } n < 4$$

$h_{\text{tot}}$  = Gebäudehöhe über der Einspannstelle.

$N_k$  = Summe der charakteristischen Werte aller lotrechten Lasten.

$EI$  = Summe der Biegesteifigkeiten im Zustand I aller lotrechten aussteifenden Bauteile in der betrachteten Richtung.

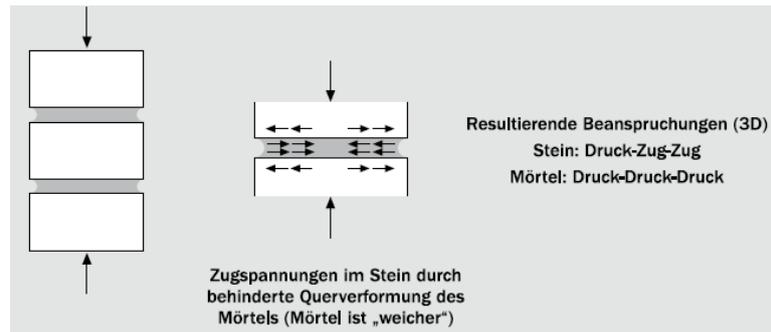
$n$  = Anzahl Geschoße über der Einspannstelle.



## 6 Materialeigenschaften von Mauerwerk

### 6.1 Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit ist die wichtigste Kenngröße für die Tragfähigkeit von Mauerwerk, sie ergibt sich aus den Festigkeiten von Stein und Mörtel. Bei einer Druckbelastung senkrecht zur Lagerfuge entstehen Querspannungen, die aus den unterschiedlichen E-Moduli von Stein und Mörtel resultieren.



Die Dicke der Mörtelfuge hat daher einen signifikanten Einfluss auf die Gesamttragfähigkeit des Mauerwerks. Dies kann man an den angegebenen Festigkeiten erkennen: Bei gleicher SFK erzielt man mit Dünnbettmörtel eine wesentlich höhere Tragfähigkeit des Mauerwerks wie mit Normalmörtel.

Falls bei einer Zulassung noch keine neuen Werte  $f_k$  vorliegen, kann eine Umrechnung aus den alten  $\sigma_0$ -Werten erfolgen:

$$f_k = \alpha \cdot \gamma_{GI} \cdot \sigma_0 / \zeta = 3,14 \cdot \sigma_0$$

Dauerstandsfaktor  $\zeta = 0,85$

Globaler Sicherheitsfaktor  $\gamma_{GI} = 2,0$

Umrechnung von  $h_{ef}/d = 10$  auf  $h_{ef}/d = 0$ :  $\alpha = 4/3$

Die im Folgenden angegebenen Festigkeiten sind im Vergleich zu DIN EN 1996-1-1 vereinfacht ermittelte Werte.

Bei Langzeitwirkungen ist der Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks  $f_d$  über den Dauerstandsfaktor  $\zeta$  abzumindern. Für eine dauernde Beanspruchung infolge von Eigengewicht, Schnee- und Verkehrslasten gilt  $\zeta = 0,85$ ; für kurzzeitige Beanspruchungsarten darf  $\zeta = 1,0$  gesetzt werden.

Die Druckfestigkeit wurde im NA separat für das vereinfachte Verfahren festgelegt. Deshalb stehen die entsprechenden Tabellen im entsprechenden Kapitel unten.

## **7 Vereinfachtes Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA**

Beim vereinfachten Verfahren werden mehrere wichtige Einflüsse sehr vereinfacht über Traglast mindernde Faktoren berücksichtigt:

- Einspannungen zwischen Wand und Decke.
- Verformungen nach Theorie II. Ordnung.
- Unplanmäßige Lastexzentrizitäten (Imperfektionen).
- Wind auf die Außenwände.

### **7.1 Anwendungsvoraussetzungen**

Die Anwendungsgrenzen nach der folgenden Tabelle sind einzuhalten.

Die **Gebäudehöhe** über Gelände muss  $h_m \leq 20$  m sein. Diese Einschränkung ist erforderlich, um im Normalfall auf genauere Nachweise zur Gebäudeaussteifung verzichten zu können. Als Gebäudehöhe darf bei geneigten Dächern das Mittel von First- und Traufhöhe gelten.

Die **Stützweite der Decke** muss  $l_f \leq 6,0$  m sein, sofern die Biegemomente aus dem Deckendrehwinkel nicht durch konstruktive Maßnahmen, z.B. Zentrierleisten, begrenzt werden. Bei größeren Stützweiten treten infolge der Einspannung der Decken in die Wände erhöhte Kantenpressungen gegenüber einer zentrischen Belastung auf, die über die zulässigen Spannungen nicht mehr abgedeckt sind. Bei zweiachsig gespannten Decken ist für die Länge  $l_f$  die kürzere der beiden Stützweiten anzusetzen.

Das **Überbindemaß**  $l_{ol}$  nach DIN EN 1996-2 muss mindestens  $0,4h_u$  und mindestens 45 mm betragen. Nur bei Elementmauerwerk darf das Überbindemaß  $l_{ol}$  auch  $0,2h_u$ , mindestens aber 125 mm betragen.

Die **Deckenauflagertiefe**  $a$  muss mindestens die halbe Wanddicke ( $t/2$ ), jedoch mehr als 100 mm betragen. Bei einer Wanddicke  $t \geq 365$  mm darf die Mindestdeckenauflagertiefe auf  $0,45t$  reduziert werden.

Für die **maximale Wandschlankheit** gilt:  $\lambda \leq 27$ .

**Freistehende Wände** sind mit dem genaueren Verfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA nachzuweisen.

Bauteil		Voraussetzungen			
		Wanddicke $t$ [mm]	Lichte Wandhöhe $h$ [m]	aufliegende Decke	
				Stützweite $l_f$ [m]	Nutzlast <sup>1)</sup> $q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
1	tragende Innenwände	$\geq 115$ $< 240$	$\leq 2,75$	$\leq 6,00$	$\leq 5$
2		$\geq 240$	–		
3	tragende Außenwände und zweischalige Haustrennwände	$\geq 115$ <sup>2)</sup> $< 150$ <sup>2)</sup>	$\leq 2,75$	$\leq 6,00$	$\leq 3$
4		$\geq 150$ $< 175$			
5		$\geq 175$ $< 240$			
6		$\geq 240$			

<sup>1)</sup> Einschließlich Zuschlag für nicht tragende innere Trennwände

<sup>2)</sup> Als einschalige Außenwand nur bei eingeschossigen Garagen und vergleichbaren Bauwerken, die nicht zum dauernden Aufenthalt von Menschen vorgesehen sind; als Tragschale zweischaliger Außenwände und bei zweischaligen Haustrennwänden bis maximal zwei Vollgeschosse zuzüglich ausgebautes Dachgeschoss; aussteifende Querwände im Abstand  $\leq 4,50$  m bzw. Randabstand von einer Öffnung  $\leq 2,0$  m

Tabelle: Anwendungsgrenzen für das vereinfachte Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA

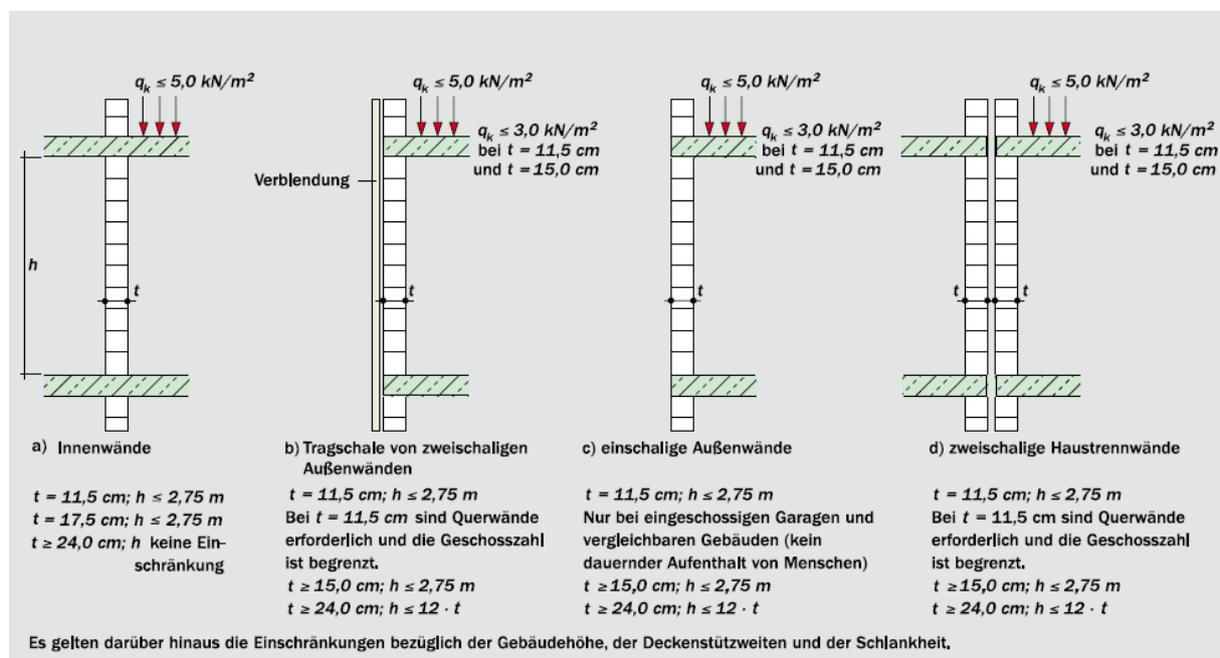


Bild: Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Berechnungsverfahrens gemäß DIN EN 1996-3/NA

## 7.2 Druckfestigkeit nach DIN EN 1996-3/NA

Die charakteristische Druckfestigkeit von Mauerwerk kann nach DIN EN 1996-1-1 bestimmt werden.

Eine vereinfachte Methode zur Bestimmung der charakteristischen Druckfestigkeit von Mauerwerk ist in Anhang D enthalten:

Steindruckfestigkeitsklasse	$f_k$ N/mm <sup>2</sup>			
	NM II	NM IIa	NM III	NM IIIa
4	2,1	2,4	2,9	---
6	2,7	3,1	3,7	---
8	3,1	3,9	4,4	---
10	3,5	4,5	5,0	5,6
12	3,9	5,0	5,6	6,3
16	4,6	5,9	6,6	7,4
20	5,3	6,7	7,5	8,4
28	5,3	6,7	9,2	10,3
36	5,3	6,7	10,6	11,9
48	5,3	6,7	12,5	14,1
60	5,3	6,7	14,3	16,0

Tabelle NA.D.1: Charakteristische Druckfestigkeit  $f_k$  in N/mm<sup>2</sup> von Einsteinmauerwerk aus Hochlochziegeln mit Lochung A (HLzA), Lochung B (HLzB), Mauertafelziegeln T1 sowie Kalksand-Loch- und Hohlblocksteinen mit Normalmauermörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	$f_k$ N/mm <sup>2</sup>			
	NM II	NM IIa	NM III	NM IIIa
4	1,7	2,0	2,3	2,6
6	2,2	2,5	2,9	3,3
8	2,5	3,2	3,5	4,0
10	2,8	3,6	4,0	4,5
12	3,1	4,0	4,5	5,0
16	3,7 (3,1)	4,7 (4,0)	5,3 (4,5)	5,9 (5,0)
20	4,2 (3,1)	5,4 (4,0)	6,0 (4,5)	6,7 (5,0)

Werte in Klammern gelten für Mauerwerk aus Hochlochziegeln mit Lochung W (HLzW) und Mauertafelziegeln T4.

Tabelle NA.D.2: Charakteristische Druckfestigkeit  $f_k$  in N/mm<sup>2</sup> von Einsteinmauerwerk aus Hochlochziegeln mit Lochung W (HLzW), Mauertafelziegeln (T2, T3 und T4) sowie Langlochziegeln (LLz) mit Normalmauermörtel

Steindruck- festigkeits- klasse	$f_k$ N/mm <sup>2</sup>			
	NM II	NM IIa	NM III	NM IIIa
2	---	---	---	---
4	2,8	---	---	---
6	3,6	4,0	---	---
8	4,2	4,7	---	---
10	4,8	5,4	6,0	---
12	5,4	6,0	6,7	7,5
16	6,4	7,1	8,0	8,9
20	7,2	8,1	9,1	10,1
28	8,8	9,9	11,0	12,4
36	10,2	11,4	12,7	14,3
48	10,2	11,4	15,1	16,9
60	10,2	11,4	15,1	16,9

Tabelle NA.D.3: Charakteristische Druckfestigkeit  $f_k$  in N/mm<sup>2</sup> von Einsteinmauerwerk aus Vollziegeln sowie Kalksand-Vollsteinen und Kalksand-Blocksteinen mit Normalmauermörtel

Steindruck- festigkeitsklasse	$f_k$ N/mm <sup>2</sup>			
	Planelemente		Plansteine	
	KS XL	KS XL-N, KS XL-E	KS P	KS L-P
2	---	---	---	---
4	2,9	2,9	2,9	2,9
6	4,0	4,0	4,0	3,7
8	5,0	5,0	5,0	4,4
10	6,0	6,0	6,0	5,0
12	9,4	7,0	7,0	5,6
16	11,2	8,8	8,8	6,6
20	12,9	10,5	10,5	7,6
28	16,0	13,8	13,8	7,6
36	16,0	13,8	16,8	7,6
48	16,0	13,8	16,8	7,6
60	16,0	13,8	16,8	7,6

Tabelle NA.D.4: Charakteristische Druckfestigkeit  $f_k$  in N/mm<sup>2</sup> von Einsteinmauerwerk aus Kalksand-Plansteinen und Kalksand-Planelementen mit Dünnbettmörtel

Steindruck- festigkeitsklasse	$f_k$ N/mm <sup>2</sup>	
	LM 21	LM 36
2	1,2	1,3
4	1,6	2,2
6	2,2	2,9
8	2,5	3,3
10	2,8	3,3
12	3,0	3,3
16	3,0	3,3
20	3,0	3,3
28	3,0	3,3

Tabelle NA.D.5: Charakteristische Druckfestigkeit  $f_k$  in N/mm<sup>2</sup> von Einsteinmauerwerk aus Mauerziegeln und Kalksandsteinen mit Leichtmauermörtel

Leichtbeton- steine	Steindruck- festigkeits- klasse	$f_k$ N/mm <sup>2</sup>		
		Mörtelgruppe		
		II	Ila	III und IIIa
Hbl, Hbn	2	1,4	1,5	1,7
	4	2,2	2,4	2,6
	6	2,9	3,1	3,3
	8	2,9	3,7	4,0
	10	2,9	4,3	4,6
	12	2,9	4,8	5,1
V, Vbl	2	1,5	1,6	1,8
	4	2,5	2,7	3,0
	6	3,4	3,7	4,0
	8	3,4	4,5	5,0
	10	3,4	5,4	5,9
	12	3,4	6,1	6,7
	16	3,4	6,1	8,3
	20	3,4	6,1	9,8
Vn, Vbn Vm, Vmb	4	2,8	2,9	2,9
	6	3,6	4,0	4,0
	8	3,6	4,7	5,0
	10	3,6	5,4	6,0
	12	3,6	6,0	6,7
	16	3,6	6,0	8,0
	≥20	3,6	6,0	9,1

Tabelle NA.D.6: Charakteristische Druckfestigkeit  $f_k$  in N/mm<sup>2</sup> von Einsteinmauerwerk aus Leichtbeton- und Betonsteinen mit Normalmauermörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	$f_k$ N/mm <sup>2</sup>		
	Mörtelgruppe		
	II	IIa	III, IIIa
2	1,4	1,6	1,8
4	2,1	2,4	2,9
6	2,7	3,1	3,7
8	2,7	3,9	4,4
10	2,7	4,5	5,0
12	2,7	5,0	5,6

Tabelle NA.D.7: Charakteristische Druckfestigkeit  $f_k$  in N/mm<sup>2</sup> von Einsteinmauerwerk aus Leichtbeton-Vollblöcken mit Schlitzblöcken Vbl S, Vbl SW mit Normalmauermörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	$f_k$ N/mm <sup>2</sup>
	LM21 und LM36
2	1,4
4	2,3
6	3,0
8	3,6

Tabelle NA.D.8: Charakteristische Druckfestigkeit  $f_k$  in N/mm<sup>2</sup> von Einsteinmauerwerk aus Voll- und Lochsteinen aus Leichtbeton mit Leichtmauermörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	$f_k$ N/mm <sup>2</sup>
2	1,8
4	3,0
6	4,1
8	5,1

Tabelle NA.D.9: Charakteristische Druckfestigkeit  $f_k$  in N/mm<sup>2</sup> von Einsteinmauerwerk aus Porenbetonsteinen mit Dünnbettmörtel

ANMERKUNG: DIN EN 998-2 gibt keine Begrenzung der Lagerfugendicke bei Verwendung von Dünnbettmörtel an. Die Werte für Dünnbettmörtel gelten für eine Dicke von 1 mm bis 3 mm.

Die charakteristische Festigkeit für Verbandsmauerwerk mit Normalmauermörtel ist durch Multiplikation des Tabellenwertes mit 0,80 zu ermitteln. Verbandsmauerwerk ist Mauerwerk mit mehr als einem Stein in Richtung der Wanddicke.

### **7.3 Nachweise im GZG nach DIN EN 1996-3/NA**

Im vereinfachten Berechnungsverfahren ist ein Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) nicht erforderlich.

### **7.4 Nachweis für Biegung und Normalkraft um die schwache Achse im GZT nach DIN EN 1996-3/NA**

Der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit erfolgt wie üblich durch den Vergleich der unter Berücksichtigung aller möglichen Lastfallkombinationen ungünstigsten Bemessungswerte der einwirkenden und der aufnehmbaren Normalkraft:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = \Phi \cdot A \cdot f_d \quad \text{mit} \quad f_d = \zeta \cdot f_k / \gamma_M$$

A = Gesamtfläche des Wandquerschnitts

$f_d$  = Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$\zeta = 0,85$  Dauerstandsfaktor, bei kurzfristigen Einwirkungen  $\zeta = 1,0$

$\Phi$  = Traglastfaktor (Knicken/Endauflagerverdrehung)

Bei **Wandquerschnitten kleiner als 0,1m<sup>2</sup>**, ist die Bemessungsdruckfestigkeit des Mauerwerks  $f_d$  mit dem Faktor 0,8 zu verringern. Dies berücksichtigt den Einfluss von Fehlstellen bzw. Steinen geringerer Festigkeit, die für den Nachweis gemauerter Pfeiler (wegen des fehlenden Lastumlagerungspotenzials) eine größere Auswirkung haben als bei der Bemessung von Wandquerschnitten.

#### Stark vereinfachte Ermittlung des Traglastfaktors nach DIN EN 1996-3/NA, Anhang A

Zusätzlich einzuhaltende Voraussetzungen:

- Das Gebäude hat maximal 3 Geschoße.
- Die Decke liegt voll auf.
- Die Wände sind rechtwinklig zur Wandebene in horizontaler Richtung gehalten, und zwar entweder durch die Decken und das Dach oder durch geeignete Konstruktionen, z.B. Ringbalken mit ausreichender Steifigkeit.
- Die kleinste Gebäudeabmessung im Grundriss beträgt mindestens 1/3 der Gebäudehöhe.
- Die lichte Geschosshöhe ist nicht größer als 3,0 m.

Schlankheit der Wand:

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t} \leq 21$$

$\Phi = 0,70$  für  $\lambda \leq 10$

$\Phi = 0,50$  für  $10 < \lambda \leq 18$

$\Phi = 0,36$  für  $18 < \lambda \leq 21$

### Traglastfaktor $\Phi_1$ zur Berücksichtigung der Deckenverdrehung am Endauflager

Bei geschosshohen Wänden des üblichen Hochbaus und gleichzeitiger Einhaltung der Randbedingungen für die vereinfachten Berechnungsmethoden darf die Traglastminderung infolge der Lastausmitte bei Endauflagern auf Außen- und Innenwänden abgeschätzt werden zu:

für  $f_k \geq 1,8 \text{ N/mm}^2$   $\Phi_1 = 1,6 - \frac{l_f}{6} \leq 0,9 \cdot \frac{a}{t}$  für  $f_k < 1,8 \text{ N/mm}^2$   $\Phi_1 = 1,6 - \frac{l_f}{5} \leq 0,9 \cdot \frac{a}{t}$

Dachdecke:  $\Phi_1 = 1/3$

- $l_f$  die Stützweite der angrenzenden Geschossdecke in m, bei zweiachsig gespannten Decken ist für  $l_f$  die kürzere der beiden Stützweiten einzusetzen.
- $a$  die Deckenaufлагertiefe
- $t$  die Dicke der Wand

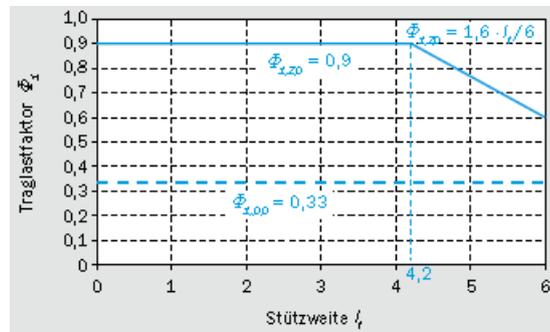
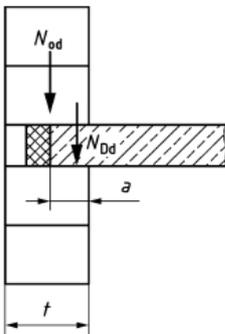


Bild NA.1: Teilweise aufliegende Deckenplatte

$N_{od}$  der Bemessungswert der vertikalen Lasten am Wandfuß des darüber liegenden Geschosses

$N_{Dd}$  der Bemessungswert der Lasten aus Decken und Unterzügen

Wird die Traglastminderung infolge Deckenverdrehung durch konstruktive Maßnahmen, z. B. Zentrierleisten mittig unter dem Deckenaufleger, vermieden, so gilt unabhängig von der Deckenstützweite  $\Phi_1 = 0,9 \cdot a/t$  bei teilweise aufliegender Deckenplatte (siehe Bild NA.1) und  $\Phi_1 = 0,9$  bei vollaufliegender Deckenplatte.

(NA.4) Sofern kein genauere Nachweis geführt wird, darf für Wände unter Windbelastung, die als Endauflager für Decken oder Dächer dienen, der **Nachweis der Mindestauflast der Wand** vereinfacht nach folgender Gleichung erfolgen:

$$N_{Ed} = \frac{3 \cdot q_{Ewd} \cdot h^2 \cdot b}{16 \cdot \left( a - \frac{h}{300} \right)}$$

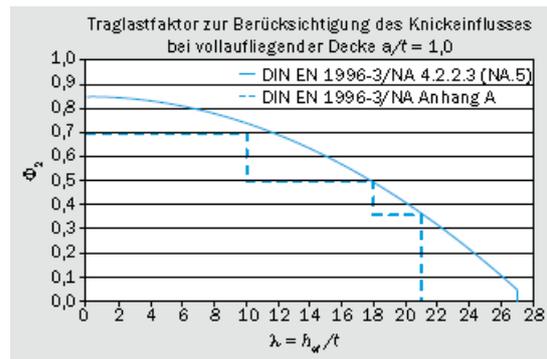
- $H$  lichte Geschosshöhe;
- $q_{Ewd}$  Bemessungswert der Windlast je Flächeneinheit;
- $N_{Ed}$  Bemessungswert der kleinsten vertikalen Belastung in Wandhöhenmitte;
- $b$  Breite, über die die vertikale Belastung wirkt;
- $a$  Deckenaufлагertiefe;

## Traglastfaktor $\Phi_2$ zur Berücksichtigung der Knickgefahr

Traglastminderung bei Knickgefahr:

Schlankheit:  $\lambda = \frac{h_{ef}}{t} \leq 27$

$$\Phi_2 = 0,85 \cdot \frac{a}{t} - 0,0011 \cdot \lambda^2$$



## Knicklänge $h_{ef}$ einer Wand

Die Knicklänge  $h_{ef}$  für **2/3/4-seitig gehaltene Wände** wird vereinfacht mit dem Knicklängenbeiwert  $\rho_2$  gemäß der folgenden Tabelle ermittelt:

Wanddicke t	Knicklängenbeiwert $\rho_2$
$t \leq 17,5$ cm	0,75
$17,5$ cm $< t \leq 25$ cm	0,9
$t > 25$ cm	1,0

Ein Wert  $\rho_2 < 1,0$  darf nur dann angesetzt werden, wenn die folgenden Auflagertiefen a eingehalten sind:

Wanddicke t (cm)	Mindestauflagertiefe a
$t < 24$	$a = t$
$t \geq 24$	$a \geq 17,5$ cm

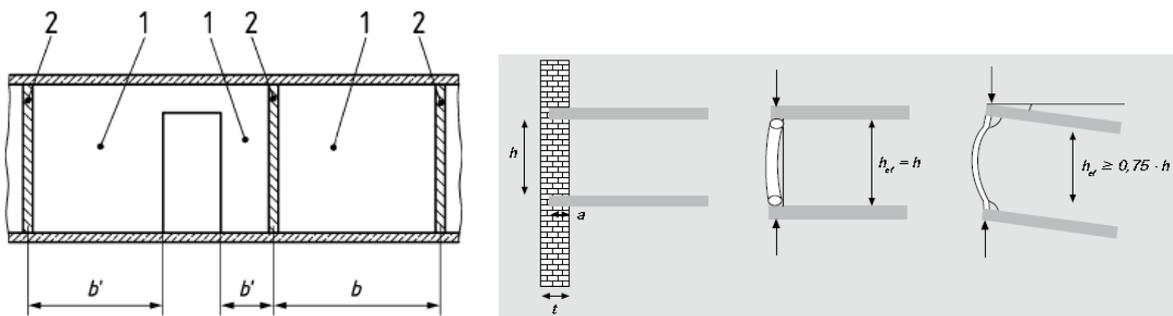


Bild NA.2: Darstellung der Größen  $b'$  und  $b$  für drei- und vierseitig gehaltene Wände  
1: gehaltene Wand 2: aussteifende Wand

Ist  $b > 30t$  bei vierseitig gehaltenen Wänden, bzw.  $b' > 15t$  bei dreiseitig gehaltenen Wänden, so darf keine seitliche Halterung angesetzt werden. Diese Wände sind wie zweiseitig gehaltene Wände zu behandeln. Hierbei ist  $t$  die Dicke der gehaltenen Wand. Ist die Wand im Bereich des mittleren Drittels der Wandhöhe durch vertikale Schlitze oder Aussparungen geschwächt, so ist für  $t$  die Restwanddicke einzusetzen oder ein freier Rand anzunehmen. Unabhängig von der Lage eines vertikalen Schlitzes oder einer Aussparung ist an ihrer Stelle ein freier Rand anzunehmen, wenn die Restwanddicke kleiner als die halbe Wanddicke oder kleiner als 115 mm ist.

**2-seitig gehaltene Wand:**

$$h_{ef} = \rho_2 \cdot h$$

**3-seitig gehaltene Wand:**  $b' \leq 15 \cdot t$

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

$b'$  = Abstand vom freien Rand zur Wandmitte der aussteifenden Wand

**4-seitig gehaltene Wand:**  $b \leq 30 \cdot t$       $h \leq \alpha_4 \cdot b$ :

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

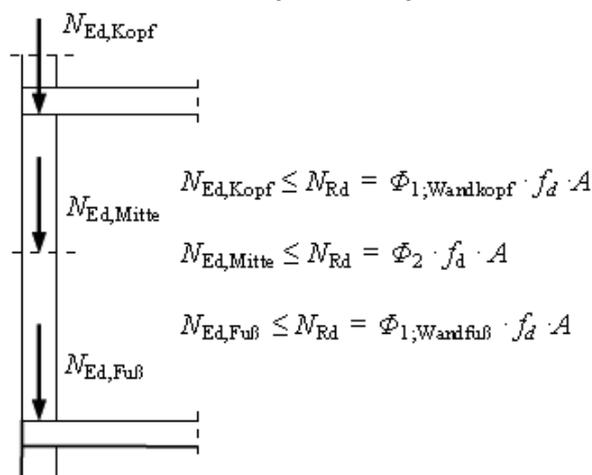
$$h > \alpha_4 \cdot b: \quad h_{ef} = \alpha_4 \cdot \frac{b}{2}$$

$b$  = Abstand der Wandmitten der aussteifenden Wände

Steingeometrie $h_u/l_u$	0,5	0,625	1	2
3-seitige Lagerung $\alpha_3$	1,0	0,90	0,83	0,75
4-seitige Lagerung $\alpha_4$	1,0	0,75	0,67	0,60

Tabelle NA.3: Anpassungsfaktoren  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$  zur Abschätzung der Knicklänge von Wänden aus **Elementmauerwerk mit einem Überbindemaß  $0,2 \leq l_{ol}/h_u < 0,4$**

Die **Nachweise** sind grundsätzlich am **Wandkopf** und am **Wandfuß (Regelbemessung)** und in **Wandmitte (Knicken)** zu führen:



Bei zentrischer Belastung ist in der Regel die Wandmitte (Knicken) oder der Wandfuß (Regelbemessung) maßgebend. Vernachlässigt man die geringe Zunahme der Normalkraft infolge des Wandeigengewichts von der Mitte bis zum Wandfuß, dann kann man den Nachweis prinzipiell am Wandfuß führen:

Nachweis vereinfacht am Wandfuß:  $N_{Ed} \leq N_{Rd} = \min(\Phi_1, \Phi_2) \cdot A \cdot f_d$

## 7.5 Vereinfachter Nachweis von Kellerwänden

Bei Kelleraußenwänden kann nach DIN EN 1996-3/NA der genaue rechnerische Nachweis auf Erddruck entfallen, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Die Kellerwanddicke muss mindestens  $t \geq 24$  cm sein.
- Die maximale Wandhöhe ist  $h = 2,60$  m.
- Die Kellerdecke wirkt als Scheibe und kann die aus dem Erddruck resultierenden Kräfte aufnehmen.
- Die Erdanschüttung reicht maximal bis zur Höhe von  $1,15h$  und verläuft horizontal.
- Die Verkehrslast auf der Erde beträgt nicht mehr als  $q_k = 5$  kN/m<sup>2</sup> und es ist keine Einzellast  $> 15$  kN innerhalb von  $1,5$  m zur Wand vorhanden.
- Es darf kein hydrostatischer Druck auf die Wand wirken.
- Am Wandfuß ist entweder keine Gleitfläche, z.B. infolge einer Feuchtigkeitssperrschicht, vorhanden, oder es sollten konstruktive Maßnahmen ergriffen werden, um die Querkraft aufnehmen zu können. Sperrschichten aus besandeten Bitumendachbahnen R500 nach DIN EN 13969 in Verbindung mit DIN V 20000-202 oder aus mineralischen Dichtungsschlämmen nach DIN 18195-2 haben einen ausreichenden Reibungsbeiwert und gelten nicht als Gleitflächen.
- Für die Verfüllung und Verdichtung des Arbeitsraumes sind die Vorgaben aus DIN EN 1996-2/NA, Anhang E (3) einzuhalten.

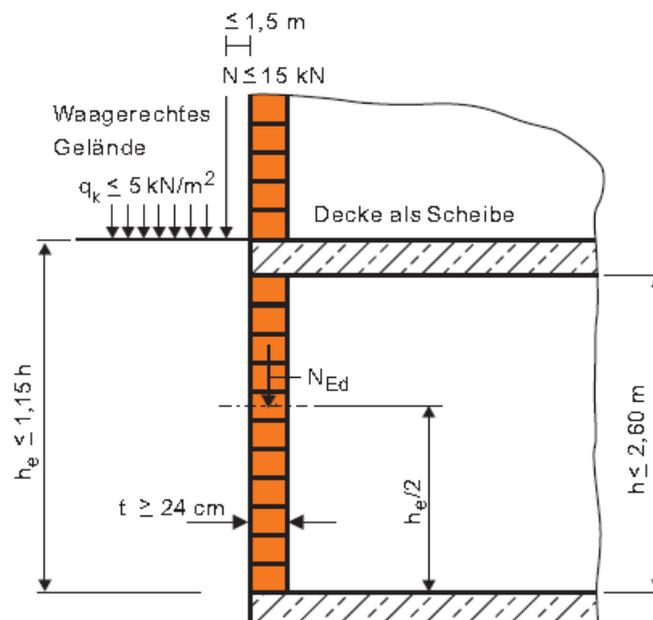


Bild: Nachweis von Kellerwänden nach DIN EN 1996-3/NA

Für den Nachweis der Tragfähigkeit unter Biegebeanspruchung wird von einem vertikalen Bogenmodell ausgegangen. Die maßgebenden maximal und minimal aufnehmbaren Normalkräfte ergeben sich in der Höhe der halben Erdanschüttung:

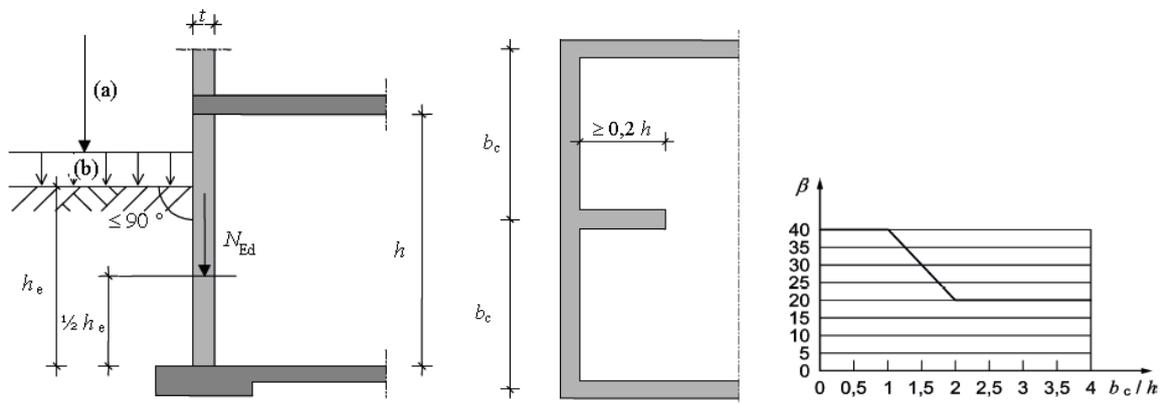


Bild: Nachweis von Kellerwänden nach DIN EN 1996-3/NA

- a) Keine Einzellast  $\geq 15 \text{ kN}$  näher als  $1,5 \text{ m}$  an der Wand
- b) Charakteristische Verkehrslast auf der Geländeoberfläche  $\leq 5 \text{ kN/m}^2$

Normalkräfte bei  $h_e/2$ :

$$N_{Ed,\min} = \frac{\gamma_e \cdot h \cdot h_e^2}{\beta \cdot t} \quad (\text{kN/m}) \qquad N_{Ed,\max} = \frac{t \cdot f_d}{3} \quad (\text{kN/m})$$

Für die Größe des Faktors  $\beta$  gelten die folgenden Festlegungen:

$$\beta = 20 \text{ für } b_c \geq 2h \qquad \beta = 60 - 20 b_c/h \text{ für } h < b_c < 2h \qquad \beta = 40 \text{ für } b_c \leq h$$

Bei Elementmauerwerk mit einem verminderten Überbindemaß von  $0,2h_u \leq l_{ol} < 0,4h_u$  ist generell  $\beta = 20$  anzusetzen, da eine horizontale Bogentragwirkung nur in geringem Umfang vorhanden ist. Daher wird bei derartigem Mauerwerk nur die Lastabtragung in vertikaler Richtung angesetzt.

Die min. erforderliche Normalkraft wurde mit einem Erddruckbeiwert von  $1/3$  berechnet. Nach DIN EN 1996-1-1/NA kann ein Nachweis von Kellerwänden mit einem beliebigen Erddruckbeiwert geführt werden. Dieser Ansatz sollte überdacht werden, da der Erddruck bei Verdichtungsmaßnahmen bis zum 2-fachen des Erdruhedrucks anwachsen kann!

Die max. erforderliche Normalkraft wurde durch Ansatz eines Spannungsblocks mit der max. Spannung  $f_d$  und einer max. Exzentrizität von  $e = t/3$  berechnet.

Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit (Plattenschub) gilt mit diesen Nachweisen ebenfalls als erbracht. Ein gesonderter Querkraftnachweis ist bei Einhaltung der Anwendungsbedingungen nicht erforderlich.

## 8 Einzellasten und Teilflächenpressung nach DIN EN 1996-1-1/NA

Bei Einleitung von vertikalen Einzellasten in eine Wand, wodurch punktuell eine Teilflächenpressung entsteht, darf die günstige Wirkung des hierbei entstehenden räumlichen Spannungszustandes durch eine **Erhöhung der Druckfestigkeit  $f_d$  um den Faktor  $\beta$**  ausgenutzt werden, wenn die dabei entstehenden Spaltzugkräfte sicher aufgenommen werden können.

Nachweis:  $N_{Edc} \leq N_{Rdc} = \beta \cdot A_b \cdot f_d$  (6.9) (6.10)

$$\beta = \left( 1 + 0,3 \cdot \frac{a_1}{h_c} \right) \cdot \left( 1,5 - 1,1 \cdot \frac{A_b}{A_{ef}} \right) \geq 1,0 \leq 1,25 + \frac{a_1}{2 \cdot h_c} \leq 1,5 \quad (6.11)$$

- $a_1$  der Abstand vom Wandende zu dem am nächsten gelegenen Rand der belasteten Fläche (siehe Bild 6.2);
- $h_c$  die Höhe der Wand bis zur Ebene der Lasteintragung;
- $A_b$  die belastete Fläche;
- $A_{ef}$  die wirksame Wandfläche, im Allgemeinen  $l_{efm} \cdot t$ ;
- $l_{efm}$  die wirksame Basis des Trapezes, unter dem sich die Last ausbreitet, ermittelt in halber Wand- oder Pfeilerhöhe (siehe Bild 6.2);
- $t$  die Wanddicke unter Berücksichtigung von nicht voll vermörtelten Fugen mit einer Tiefe von mehr als 5 mm;
- $\frac{A_b}{A_{ef}}$  ist nicht größer als 0,45 einzusetzen.

**NCI: Die Gleichung (6.11) gilt nur für Vollsteine und Lochsteine mit  $a_1 > 3l_1$ . Ansonsten ist die Lösung nach NA zu benutzen (siehe unten).**

Die Lastausmitte, gemessen von der Schwerachse der Wand, sollte nicht größer als  $t/4$  sein (siehe Bild 6.2).

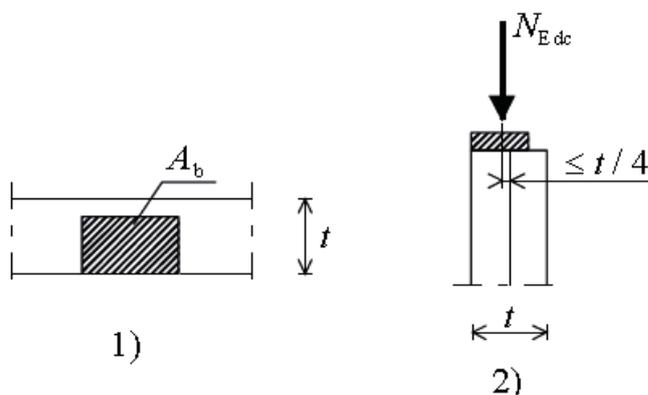
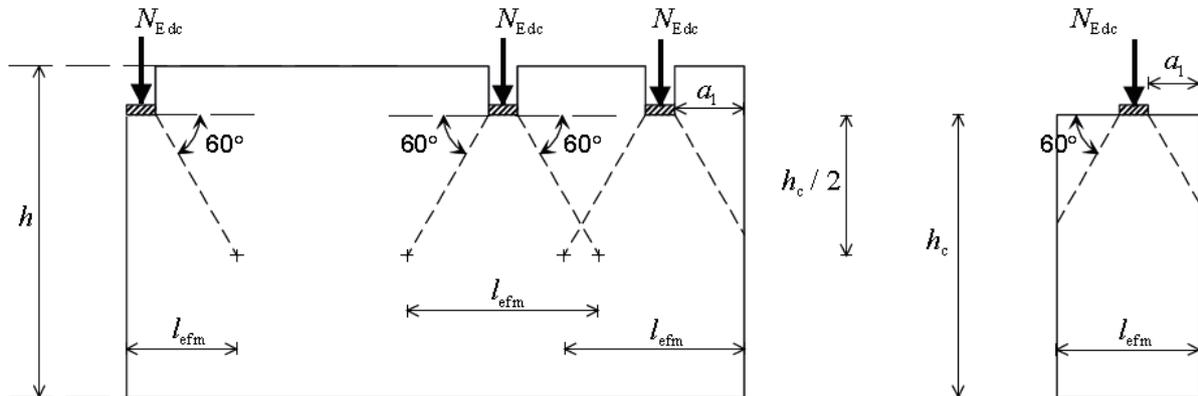


Bild 6.2 EC6-1-1: Teilflächenpressung 1) Grundriss 2) Schnitt

In allen Fällen sollte unter den Auflagern in halber Wandhöhe der Knicksicherheitsnachweis erfüllt werden. Dies gilt einschließlich der Beanspruchungen durch andere überlagerte Vertikallasten und insbesondere für den Fall, dass Teilflächenlasten relativ dicht nebeneinander liegen, so dass sich ihre Lastausbreitungsflächen überschneiden.



Nach EC6 darf bei eingehaltenem Überbindemaß von  $\bar{u} \geq 0,4h$  ein **Lastausbreitungswinkel von  $\alpha = 60^\circ$**  angesetzt werden. Bei reduziertem Überbindemaß sind unter Umständen (vgl. Zulassung) größere Winkel anzusetzen!

Wenn die Einzellast über einen geeigneten Verteilungsbalken mit ausreichender Steifigkeit und einer Breite gleich der Dicke der Wand  $t$ , einer Höhe  $> 200$  mm und einer Länge größer als dem Dreifachen der Auflagerlänge der Last eingetragen wird, sollte die Bemessungsdruckspannung unter der belasteten Fläche den Wert  $1,5f_d$  nicht überschreiten.

### (NCI)(NA.8) Deutsche Ergänzung

Für Lochsteine gilt bei einer randnahen Einzellast ( $a_1 \leq 3l_1$ ) folgende Regelung:

Ein erhöhter Wert von  $\beta$  kann mit der Gleichung (NA.17) berechnet werden, wenn die folgenden Bedingungen nach Bild NA.2 eingehalten sind:

- Belastungsfläche  $A_b \leq 2t^2$ ;
- Ausmitte  $e$  des Schwerpunktes der Teilfläche  $A_b$ :  $e < t/6$ .

Erhöhungsfaktor  $\beta$ :  $\beta = 1,0 + 0,1 \cdot a_1/l_1 \leq 1,5$  (NA.17)

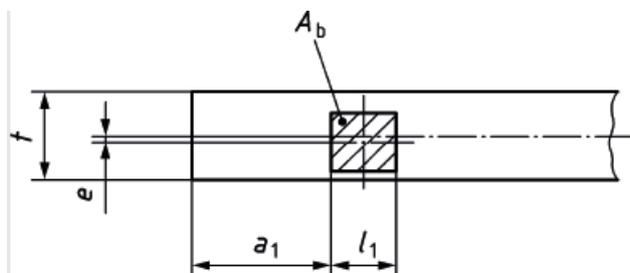


Bild NA.2 EC6-1-1: Teilflächenpressung

Hinweis: Für Einzellasten mit  $a_1 > 3l_1$  können für alle Steinarten beide Lösungen benutzt werden, da die Unterschiede dann marginal sind.

## 9 Literatur

Eine umfangreiche Sammlung von Fachbeiträgen zum Thema Mauerwerk zu allen denkbaren Themen kann unter den folgenden Links gefunden werden:

[www.kalksandstein.de](http://www.kalksandstein.de)

[www.poroton.de](http://www.poroton.de)

[www.ziegel.de](http://www.ziegel.de)