

## Normenwerk

Die europäische Mauerwerksnorm DIN EN 1996: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten ist seit 2006 bekannt. Sie umfasst mehrere Teile:

- DIN EN 1996-1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk
- DIN EN 1996-1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall
- DIN EN 1996-2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk
- DIN EN 1996-3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten

Darin sind auch Bauweisen geregelt, die in Deutschland keine Bedeutung haben (z.B. bewehrtes Mauerwerk) oder für die hier keine Erfahrungen vorliegen (z.B. vorgespanntes Mauerwerk). Anwendbar wird das Normenwerk zudem erst durch den zu jedem Normenteil erforderlichen nationalen Anhang, in dem länderspezifische Besonderheiten berücksichtigt werden.

In der Praxis anwendbar wird das Gesamtwerk, wenn Norm und nationaler Anhang zusammengeführt werden und wenn rigoros auf das zusammen gestrichen wird, was tatsächlich gebraucht wird. Dann wird auch sichtbar, dass gegenüber der bisherigen Mauerwerksnorm DIN 1053 Verbesserungen vorhanden sind, die die Wirtschaftlichkeit des Mauerwerkbaus weiter erhöhen.

Nachfolgend wird vertiefend auf DIN EN 1996-3 eingegangen, da damit der weit überwiegende Teil der Mauerwerksbauten nachgewiesen werden kann. Die Norm besteht aus dem eigentlichen Normentext sowie den folgenden normativen Anhängen:

- A Vereinfachte Berechnungsmethode für unbewehrte Mauerwerkswände bei Gebäuden mit höchstens drei Geschossen
- B Vereinfachte Berechnungsmethode für vertikal nicht beanspruchte Innenwände mit begrenzter horizontaler Belastung
- C Vereinfachte Berechnungsmethode für vertikal nicht beanspruchte Wände mit gleichmäßig verteilter horizontaler Bemessungslast
- D Vereinfachte Methode zur Bestimmung der charakteristischen Festigkeit von Mauerwerk

Zur Abgrenzung des vereinfachten Berechnungsverfahrens im Normenteil selber wird die Vorgehensweise im Anhang A hier als stark vereinfachtes Nachweisverfahren bezeichnet. Im Anhang B sind bislang als nicht tragende innere Trennwände bezeichnete Bauteile geregelt. Der Anhang C regelt die üblicherweise als Ausfachungswände bzw. als nicht tragende Außenwände bezeichneten Bauteile. Die im Anhang D angegebenen Tabellenwerte für die charakteristischen Druckfestigkeiten des Mauerwerks sind aus den in DIN EN 1996-1-1 angegebenen Formeln abgeleitet.

## Teilsicherheiten

Als ständige Einwirkung  $N_G$  gelten die Lasten aus Eigengewicht und Ausbau. Veränderliche Einwirkungen  $N_Q$  sind die Nutz- bzw. Verkehrslasten, Schnee- und Windlasten. Sie sind jeweils mit ihren charakteristischen Werten  $N_{Gk}$  bzw.  $N_{Qk}$  zu ermitteln. Bei Wohn- und Bürogebäuden darf die maßgebende Einwirkungskombination zu

$$N_{Ed} = 1,35 * N_{Gk} + 1,5 * N_{Qk}$$

angenommen werden. Bei Hochbauten mit Stahlbetondecken kann weiter vereinfachend mit

$$N_{Ed} = 1,4 * (N_{Gk} + N_{Qk})$$

gerechnet werden, wenn die charakteristischen Nutzlasten auf der Decke höchstens  $3 \text{ kN/m}^2$  betragen.

Der Teilsicherheitsbeiwert auf der Materialseite  $\gamma_M$  ist bei ständiger und vorübergehender Bemessungssituation mit  $\gamma_M = 1,5$  anzunehmen. Im außergewöhnlicher Fall kann mit einem abgeminderten Wert  $\gamma_M = 1,3$  gerechnet werden.

## Eigenlasten der Wände

Die charakteristischen Werte für die Wichte des Mauerwerks ergeben sich aus Tafel 1. Dabei sind Fugenmörtel und übliche Feuchtegehalte berücksichtigt. Bei Zwischenwerten der Steinhohlwanddichteklasse darf geradlinig interpoliert werden. Bedingt durch den geringeren Fugenanteil sind die in Tafel 2 zusammengestellten Wichten für Wände aus Wandbauplatten und Hohlwandbauplatten etwas geringer als bei Mauerwerk mit Normalmörtel. Den Wandgewichten sind die Gewichte von Putz oder Bekleidungen hinzuzurechnen. Für einige Putze sind die charakteristischen Lasten in Tafel 3 angegeben.

Tafel 1: Charakteristische Werte für die Wichte von Mauerwerk aus Leichtbetonsteinen

Rohdichteklasse der Steine	Mauerwerk mit Normalmörtel kN/m <sup>3</sup>	Mauerwerk mit Leicht- und Dünnbettmörtel kN/m <sup>3</sup>
0,4	6	5
0,5	7	6
0,6	8	7
0,7	9	8
0,8	10	9
0,9	11	10
1,0	12	11
1,2	14	13
1,4	16	15
1,6	16	16
1,8	18	18
2,0	20	20

Tafel 2: Charakteristische Werte für die Wichte von Wänden aus Wandbauplatten und Hohlwandbauplatten

Rohdichte-klasse	Wichte kN/m <sup>3</sup>
0,8	9
0,9	10
1,0	11
1,2	13
1,4	15

Tafel 3: Charakteristische Flächenlasten für ausgewählte Putze

Putz	Dicke mm	Flächenlast kN/m <sup>2</sup>
Gipsputz	15	0,18
Kalkzementputz	20	0,40
Zementputz	20	0,42
Leichtputz DIN 18550-4	20	0,30
Wärmedämmputz	20	0,24
	60	0,32
	100	0,40

### Einfache Nachweisverfahren nach DIN EN 1996-3

DIN EN 1996-2 enthält ein einfaches, und im Anhang A ein stark vereinfachtes Nachweisverfahren. Die Anwendung ist jeweils an bauliche und konstruktive Randbedingungen geknüpft, die bei der Mehrzahl der Mauerwerksbauten vorhanden sind.

Als ausreichende horizontale Halterungen der Wände gelten Decken mit Scheibenwirkung oder auch Ringbalken. Sind sie vorhanden, kann der Einfluss einer Windlast auf Außenwände unberücksichtigt bleiben. Auf den Nachweis der räumlichen Steifigkeit des Gebäudes kann verzichtet werden, wenn zusätzlich eine offensichtlich ausreichende Anzahl genügend langer Wände in Längs- und Querrichtung des Gebäudes vorhanden sind. Sie müssen ohne größere Schwächungen und Versprünge bis auf die Fundamente geführt sein.

Eine tragende Wand muss unter Berücksichtigung von Schlitzern und Aussparungen einen Mindestquerschnitt von  $0,04 \text{ m}^2$  aufweisen, also mindestens die Größe eines 3DF-Steins haben ( $0,175 * 0,24 = 0,042 \text{ m}^2$ ). Die Mindestwanddicke beträgt 115 mm. Die statisch erforderliche Wanddicke ist nachzuweisen, sofern sie nicht offensichtlich ausreicht. Neben der Statik wird die erforderliche Wanddicke aber auch aus Gründen des Schall-, Wärme- und Brandschutzes festgelegt. In statischen Berechnungen sind deshalb nur selten rechnerische Nachweise des Mauerwerks enthalten. Bei Mauerwerk aus Leichtbeton- und Betonsteinen sind dann in der Regel die einfachen Nachweisverfahren nach DIN EN 1996-3 hinreichend. Von seltenen Ausnahmen abgesehen kann dabei weiter vereinfachend die rechnerische Annahme einer zweiseitigen Halterung der Wand getroffen werden. Hierdurch wird die rationelle Ausführung mittels Stumpfstoßtechnik ermöglicht.

Wesentliche Kenngröße der einfachen Nachweisverfahren ist die charakteristische Druckfestigkeit des Mauerwerks  $f_k$ . Diese Werte sind tabelliert im Anhang NA.D zusammengestellt. Für Mauerwerk aus Leichtbeton- und Betonsteinen ergab die Auswertung der nationalen Datenbasis die in den Tafeln 4 bis 6 enthaltenen Werte. Sie gelten für Einsteinmauerwerk.

Tafel 4: Charakteristische Druckfestigkeit  $f_k$  in  $\text{N/mm}^2$  für Einsteinmauerwerk aus Leichtbeton- und Betonsteinen mit Normalmauermörtel

Stein- sorte	Steindruck- festigkeits- klasse	Mörtelgruppe		
		II	Ila	III, IIIa
		$f_k$ $\text{N/mm}^2$		
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, Vbm	4	2,8	3,2	3,5
	6	3,6	4,0	4,5
	8	3,6	4,7	5,3
	10	3,6	5,4	6,0
	12	3,6	6,0	6,7
	16	3,6	6,0	8,0
	$\geq 20$	3,6	6,0	9,1

Tafel 5: Charakteristische Druckfestigkeit  $f_k$  in  $\text{N/mm}^2$  für Einsteinmauerwerk aus Leichtbetonblöcken mit Schlitzfenstern Vbl-S bzw. Vbl-SW mit Normalmauermörtel

Steindruck- festigkeits- klasse	Mörtelgruppe			
	II	Ila	III, IIIa	
		$f_k$ $\text{N/mm}^2$		
2	1,4	1,6	1,9	
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	

Tafel 6: Charakteristische Druckfestigkeit  $f_k$  in  $\text{N}/\text{mm}^2$  für Einsteinmauerwerk aus Voll- und Lochsteinen aus Leichtbeton mit Leichtmauermörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	LM21 und LM 36
	$f_k$ $\text{N}/\text{mm}^2$
2	1,4
4	2,3
6	3,0
8	3,6

Bei  $f_{st} > 3 * f_m$  sind die charakteristischen Druckfestigkeiten des Mauerwerks  $f_k$  gedeckelt. Grund hierfür ist, dass die Steindruckfestigkeiten dann nicht mehr wirtschaftlich ausgenutzt werden; die Festigkeiten von Stein und Mörtel sind hierbei nicht aufeinander abgestimmt. Für Mauerwerk mit Normalmörtel der Gruppe IIIa sind keine höheren Werte als bei solchem mit Mörtelgruppe III angegeben, weil die nationale Datenbasis hierfür zu klein war. Da die Querdehnungen von Leichtbetonsteinen und Leichtmauermörtel zueinander passen, konnte ferner eine Unterscheidung bei den charakteristischen Druckfestigkeiten des Mauerwerks mit den beiden Leichtmörtelsorten LM21 und LM36 entfallen.

Der Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks  $f_d$  ergibt sich aus:

$$f_d = \zeta * f_k / \gamma_M$$

Darin stellt  $\zeta$  einen Beiwert dar, der u.a. den Dauerstandeinfluss berücksichtigt. Er wird bei Belastung durch Eigengewicht, Schnee- und Verkehrslasten zu  $\zeta = 0,85$  angenommen.  $\gamma_M$  ist der Teilsicherheitsbeiwert für das Material, der üblicherweise  $\gamma_M = 1,5$  ist. Damit wird:

$$f_d = 0,85 * f_k / 1,5 = 0,567 * f_k$$

Bei Mauerwerksquerschnitten kleiner als  $1000 \text{ cm}^2$  sowie bei Verbandmauerwerk ist  $f_d$  zusätzlich mit dem Faktor 0,8 zu reduzieren.

### Stumpfstoßtechnik

Bei flächig aufgelagerten Decken darf die Knicklänge einer Wand mit der Dicke  $t$  in Abhängigkeit vom Abstand  $b_c$  der aussteifenden Wände abgemindert werden. Die aussteifende Wand mit der Dicke  $t_b$  muss dabei folgende Bedingungen erfüllen:

$$t_b \geq 115 \text{ mm} \quad t_b \geq 0,3 * t \quad l \geq h/5$$

Tafel 7: Abstand  $b_c$  zwischen aussteifenden Wänden bzw. Abstand  $b'$  zwischen aussteifender Wand und freiem Rand und rechnerische Annahme der Wandhalterung

Aussteifungsabstand	Halterung
$b_c \leq 30 * t$	vierseitig
$b' \leq 15 * t$	dreiseitig
$b_c > 30 * t$	zweiseitig

Die mögliche und häufig hinreichende rechnerische Annahme einer zweiseitigen Halterung der Wände ist eine Grundvoraussetzung für die rationelle Ausführung des Mauerwerks mit der Stumpfstoßtechnik. Senkrecht zueinander stehende Wände werden dabei nicht mehr verzahnt, sondern lediglich stumpf gestoßen. Dadurch können auch Wände aus Steinen mit unterschiedlichen Höhen und/oder mit unterschiedlichen Mörtelarten bzw. Fugendicken miteinander kombiniert werden. Der Stumpfstoß ist kraftschlüssig zu vermörteln.

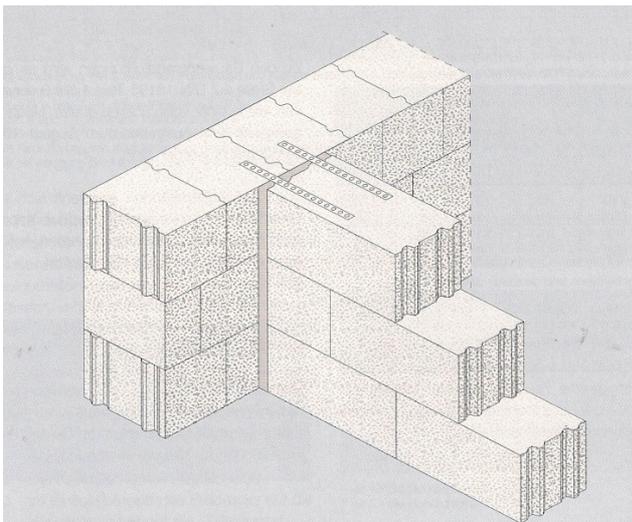


Bild 1: Zug und druckfester Anschluss der stumpf gestoßenen Wände mittels Flachankern

Insbesondere aus Gründen der Standsicherheit im Bauzustand sind mindestens in den Drittelpunkten der Wandhöhe Anker anzuordnen, siehe Bild 1. Sollen die Anker rechnerisch berücksichtigt werden, sind die Angaben in den einschlägigen Zulassungen für die Anker zu beachten.

### Stark vereinfachtes Nachweisverfahren (Anhang A)

Um dieses Nachweisverfahren anwenden zu können, sind einige häufig vorhandene Randbedingungen zu beachten:

- es dürfen nicht mehr als drei Geschosse über Gelände vorhanden sein, wobei die lichte Geschosshöhe nicht mehr als 3,0 m betragen darf ( $n \leq 3$  und  $h \leq 3,0$  m);
- die kleinste Gebäudeabmessung im Grundriss muss mindestens 1/3 der Gebäudehöhe betragen ( $l_{\min} \geq h_{\text{tot}}/3$ );
- die Wände sind gehalten, entweder durch Decken und Dach oder durch z.B. Ringbalken mit ausreichender Steifigkeit;
- die Spannweite der Decken und des Daches ist auf 6,0 m begrenzt ( $l_f \leq 6,0$  m), bei leichten Dachkonstruktionen ist eine Spannweite des Daches bis 12 m zulässig;
- die veränderlichen Einwirkungen auf Decken und Dach sind mit ihrem charakteristischen Wert nicht größer als  $5 \text{ kN/m}^2$  ( $q \leq 5 \text{ kN/m}^2$ );
- bei teilweise aufliegenden Decken sind Wände mit einer Dicke von mindestens 300 mm erforderlich; die Auflagertiefe muss mindestens 2/3 der Wanddicke betragen ( $t \geq 300$  mm und  $a \geq 2/3 \cdot t$ );
- die Schlankheit der Wände muss beim stark vereinfachten Verfahren allgemein kleiner als 21 sein ( $h_{\text{ef}}/t \leq 21$ ).

Es ist dann lediglich eine Nachweiszeile erforderlich:

$$N_{\text{Ed}} \leq N_{\text{Rd}} = c_A \cdot f_d \cdot A$$

Darin ist  $c_A$  ein Beiwert, der von der Art der Deckenauflagerung und der Schlankheit abhängt.

Tafel 8: Beiwert  $c_A$

$a < t$ $t \geq 300$ mm $a/t \geq 2/3$	$a = t$	
$c_A = 0,45$	$\lambda \leq 10$ $10 < \lambda \leq 18$ $18 < \lambda \leq 21$	$c_A = 0,7$ $c_A = 0,5$ $c_A = 0,36$

Bei Dachdecken ist wegen der nicht ausreichend vorhandenen Auflasten  $c_A = 0,33$  anzunehmen.

Die Schlankheit einer Wand ist das Verhältnis der Knicklänge zur Wanddicke ( $\lambda = h_{\text{ef}}/t$ ). Die Knicklänge ergibt sich aus der lichten Geschosshöhe und einem Beiwert, der Halterung und Randeinspannung berücksichtigt ( $h_{\text{ef}} = \rho_n \cdot h$ ). In der Regel reicht die rechnerische Annahme einer zweiseitigen Halterung aus. Der Beiwert  $\rho_2$  kann Tafel 9 entnommen werden. Damit wird:

$$\lambda = \rho_2 \cdot h / t$$

Tafel 9: Beiwert  $\rho_2$

t mm	a mm	$\rho_2$
$\leq 175$	$a = t$	0,75
$175 < t \leq 250$	$a = t$	0,90
$> 250$	$\geq 175$	1,00

## Bemessungsbeispiele

Untersucht werden die Wände im Erdgeschoss eines Einfamilienhauses. Die Anforderungen an Geschosshöhe, Gebäudeabmessungen und Deckenspannweite sind erfüllt.

Stark belasteter Außenwandpfeiler mit  $N_{Ed} = 198 \text{ kN/m}$

$$t = 365 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$$

$$a = 245 \text{ mm} > 175 \text{ mm}$$

$$a/t = 245/365 = 0,671 > 2/3$$

Damit verbleiben für Dämmung der Deckenstirn und Abmauerung 120 mm.

$$h = 2,75 \text{ m}$$

$$c_A = 0,45$$

gewählt: Vbl 4/LM21 mit  $f_k = 2,3 \text{ N/mm}^2$

$$f_d = 0,85 * 2,3 / 1,5 = 1,30 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{Rd} = 0,45 * 1,30 * 365 = 214 \text{ kN/m} > N_{Ed} = 198 \text{ kN/m}$$

Üblicherweise wird zu den gegebenen Größen  $N_{Ed}$  und  $t$  die erforderliche charakteristische Druckfestigkeit des Mauerwerks  $f_k$  gesucht. Nach Umformung der Gleichungen wird:

$$\text{erf. } f_k \geq (N_{Ed} * \gamma_M) / (c_A * \zeta * t)$$

Nach Einsetzen der Festwerte  $\gamma_M$ ,  $c_A$  und  $\zeta$  wird bei den hier vorliegenden Randbedingungen:

$$\text{erf. } f_k \geq 3,92 * N_{Ed} / t$$

## Bemessungsbeispiel Innenwand

Innenwand als Zwischenaufleger mit  $N_{Ed} = 216 \text{ kN/m}$

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

$$h = 2,75 \text{ m}$$

$$\rho_2 = 0,75$$

$$\lambda = 0,75 * 2,75 / 0,175 = 11,8$$

$$c_A = 0,5$$

gewählt: Vbl 8/IIa mit  $f_k = 4,5 \text{ N/mm}^2$

$$f_d = 0,85 * 4,5 / 1,5 = 2,55 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{Rd} = 0,5 * 2,55 * 175 = 223 \text{ kN/m} > N_{Ed} = 216 \text{ kN/m}$$

Bei den hier vorliegenden Randbedingungen liegen 115 mm und 175 mm dicke Wände im Schlankheitsbereich  $10 < \lambda \leq 18$ , für den  $c_A = 0,5$  gilt. Die erforderliche charakteristische Druckfestigkeit des Mauerwerks ergibt sich dann zu

$$\text{erf. } f_k = 3,53 * N_{Ed} / t$$

Für eine 115 mm dicke Wand wird erf.  $f_k = 6,6 \text{ N/mm}^2$  erhalten. Es wäre dann Mauerwerk aus mindestens Vbl 12/III erforderlich.

Das stark vereinfachte Nachweisverfahren im Anhang A zu EN 1996-3 eignet sich besonders für die Vorbemessung.

## Vereinfachtes Nachweisverfahren DIN EN 1996-3

### Voraussetzungen für die Anwendung

Die Gebäudehöhe über Gelände darf 20 m nicht überschreiten. Bei geneigten Dächern kann dabei das Mittel aus First- und Traufhöhe angenommen werden. Sofern die Deckenlasten nicht zentrisch eingeleitet werden, ist die Stützweite der Decken auf 6 m begrenzt. Bei zweiachsig gespannten Decken ist dabei die kürzere der beiden Stützweiten maßgebend. Die Auflagertiefe der Decken muss mindestens der halben Wanddicke ( $a \geq 0,5 \cdot t$ ) entsprechen und mindestens 100 mm betragen. Bei 365 mm dicken Wänden ist  $a = 0,45 \cdot t$  ausreichend. Weitere Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens enthält Tafel 10.

Tafel 10: Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens

Bauteil	Voraussetzung		
	Wanddicke	lichte Wandhöhe	Deckennutzlast <sup>1)</sup>
	t mm	$h_s$ m	$p_k$ kN/m <sup>2</sup>
tragende Innenwände	$\geq 115$ < 240	$\leq 2,75$	$\leq 5$
	$\geq 240$	-	
tragende Außenwände, zweischalige Haustrennwände	$\geq 115$ <sup>2)</sup> < 150 <sup>2)</sup>	$\leq 2,75$	$\leq 3$
	$\geq 150$ <sup>3)</sup> < 175 <sup>3)</sup>		
	$\geq 175$ < 240		
	$\geq 240$	$\leq 12 \cdot t$	

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

<sup>2)</sup> Als einschalige Außenwand nur bei eingeschossigen Bauwerken, die nicht zum dauernden Aufenthalt von Menschen vorgesehen sind (z.B. Garagen). Als Tragschale zweischaliger Außenwände und bei zweischaligen Haustrennwänden bei Gebäuden mit maximal zwei Vollgeschossen zuzüglich ausgebautem Dachgeschoss, wenn aussteifende Querwände im Abstand  $\leq 4,5$  m bzw. im Abstand von einer Öffnung  $\leq 2,0$  m vorhanden sind.

<sup>3)</sup> Bei charakteristischen Mauerwerkdruckfestigkeiten  $f_k < 1,8$  N/mm<sup>2</sup> gilt zusätzlich Fußnote 2.

Bedingt durch Sicherheitsabstand, konstruktive Regeln und Anwendungsgrenzen kann auf umfangreichere Nachweise verzichtet werden. Dies betrifft vor allem die Aufnahme der Biegemomente aus der Einspannung der Geschossdecken, ungewollte Exzentritäten beim Knicknachweis, Wind auf Außenwände oder auch die Aufnahme des Erddrucks bei Kellerwänden.

Wird auch nur eine der Anwendungsgrenzen des vereinfachten Verfahrens überschritten, ist das genauere Nachweisverfahren anzuwenden. Da beide Rechenverfahren kompatibel sind, kann innerhalb eines Geschosses zwischen den beiden Verfahren gewechselt werden. Ein Bauteil ist jedoch immer vollständig entweder nach dem vereinfachten oder dem genaueren Verfahren nachzuweisen. Das genauere Verfahren wird zweckmäßigerweise rechnergestützt angewendet.

### Nachweise

Es ist wieder

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

einzuhalten.  $N_{Rd}$  ergibt sich aus

$$N_{Rd} = \Phi_s * f_d * A$$

Darin ist  $\Phi_s$  ein Beiwert, mit dem der Einfluss der Lastausmitte  $\Phi_1$ , siehe Tafel 11, und der Schlankheit  $\Phi_2$  berücksichtigt wird.

Tafel 11: Beiwert  $\Phi_1$  zur Berücksichtigung der Lastausmitte

	$\Phi_1$
Dachdecke bzw. oberstes Geschoss	0,333
$f_k < 1,8$	$= 1,6 - l_f/5$ $\leq 0,9 * a/t$
$f_k \geq 1,8$	$= 1,6 - l_f/6$ $\leq 0,9 * a/t$
Lastzentrierung	$= 0,9 * a/t$

$l_f$  ist die Stützweite der angrenzenden Decke, wobei bei zweiachsig gespannten Decken die kürzere der beiden Stützweiten zugrunde gelegt werden darf.

Der Beiwert  $\Phi_2$  zur Berücksichtigung der Traglastminderung bei Knickgefahr ergibt sich aus

$$\Phi_2 = 0,85 * (a/t) - 0,0011 * (h_{ef}/t)^2$$

Zur Ermittlung der Knicklänge ist bei zweiseitiger Halterung der Wände der Beiwert  $p_2$  wie bereits beim stark vereinfachten Verfahren beschrieben anzunehmen. Die Schlankheit der Wände muss  $h_{ef}/t \leq 27$  sein.

## Bemessungsbeispiele

Es werden wieder die Beispiele wie beim stark vereinfachten Verfahren nach Anhang A in DIN EN 1996-3 nachgewiesen. Die Randbedingungen zur Anwendung des vereinfachten Verfahrens sind eingehalten.

Stark belasteter Außenwandpfeiler mit  $N_{Ed} = 198 \text{ kN/m}$

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

$$a = 245 \text{ mm} > 175 \text{ mm}$$

$$a/t = 245/365 = 0,671 > 0,5$$

$$h = 2,75 \text{ m} < 12 * t = 4,38 \text{ m}$$

$$\rho_2 = 1,0$$

$$\lambda = 1,0 * 2,75 / 0,365 = 7,5 < 27$$

$$l_f = 6,0 \text{ m}$$

gewählt: Vbl 4/LM21 mit  $f_k = 2,3 \text{ N/mm}^2$

$$f_d = 0,85 * 2,3 / 1,5 = 1,30 \text{ N/mm}^2$$

$$\Phi_1 = 1,6 - 6,0 / 6 = 0,6 = 0,9 * 0,671 = 0,604$$

$$\Phi_2 = 0,85 * 0,671 - 0,0011 * (2,7/0,365)^2 = 0,507$$

$$\Phi_s = 0,507$$

$$N_{Rd} = 0,507 * 1,3 * 1,00 * 365 = 240 \text{ kN/m} > N_{Ed}$$

Beim stark vereinfachten Nachweisverfahren war  $N_{Rd} = 214 \text{ kN/m}$  ermittelt worden, das nur wenig aufwändigere vereinfachte Nachweisverfahren liefert damit erwartungsgemäß etwas größere Werte. Dies kann dazu benutzt werden, die Auflagertiefe der Decke zu reduzieren. Im vorliegenden Fall könnte sie auf 210 mm reduziert werden, so dass für Dämmung und Deckenabmauerung 155 mm statt 120 mm zur Verfügung stehen.

## Bemessungsbeispiel Innenwand

Innenwand als Zwischenaufleger mit  $N_{Ed} = 216 \text{ kN/m}$

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

$$h = 2,75 \text{ m}$$

$$\rho_2 = 0,75$$

$$\lambda = 0,75 * 2,75 / 0,175 = 11,8$$

gewählt: Vbl 8/IIa mit  $f_k = 4,5 \text{ N/mm}^2$

$$f_d = 0,85 * 4,5 / 1,5 = 2,55 \text{ N/mm}^2$$

$$\Phi_1 = 1,6 - 6,0 / 6 = 0,6 < 0,9 * 1,0 = 0,9$$

$$\Phi_2 = 0,85 * 1,0 - 0,0011 * 11,8^2 = 0,697$$

$$\Phi_s = 0,6$$

$$N_{Rd} = 0,6 * 2,55 * 1,0 * 175 = 268 \text{ kN/m}$$

Auch hier ergibt sich mit nur wenig Mehraufwand erwartungsgemäß gegenüber dem stark vereinfachten Verfahren ein etwas größerer Wert. Er reicht aus, um das Mauerwerk mit den kostengünstigeren Vbl 6/IIa auszuführen.

## Einzellasten

Bei sorgfältig ausgeführtem Verband kann davon ausgegangen werden, dass die durch Einzellasten hervorgerufenen Spaltzugspannungen vom Mauerwerk aufgenommen werden. Die Druckverteilung unter einer konzentrierten Last kann dann unter  $60^\circ$  angenommen werden. Der höher beanspruchte Wandbereich darf mit einer höheren Mauerwerksfestigkeit als im Regelquerschnitt hergestellt werden. Unter bestimmten Voraussetzungen, siehe hierzu Abschnitt 4.3 in DIN EN 1996-3, dürfen gegenüber dem Regelquerschnitt vergrößerte Teilflächenpressungen zugrunde gelegt werden.

## Vereinfachter Nachweis der Kellerwände

Die beim vereinfachten Nachweis zugrunde gelegten Randbedingungen in Schnitt und Grundriss können Bild 2 entnommen werden. Wesentliche Voraussetzungen für die Berechnung sind:

- Wanddicke  $t \geq 240$  mm
- Wandhöhe  $h \leq 2,6$  m
- Anschütthöhe  $h_e \leq 1,15 * h$
- Kellerdecke mit Scheibenwirkung; sie muss die aus dem Erddruck entstehenden Kräfte aufnehmen können
- Verkehrslast auf der Geländeoberfläche im Einflussbereich des Erddrucks nicht mehr als  $5 \text{ kN/m}^2$  und keine Einzellast über  $15 \text{ kN}$  näher als  $1,5 \text{ m}$  vor der Wand
- keine ansteigende Geländeoberfläche
- Erddruckbeiwert  $\leq 1/3$  (aktiver Erddruck)
- es wirkt kein hydrostatischer Druck auf die Wand

Sind die Voraussetzungen gegeben, kann der Nachweis in Höhe der halben Erdanschüttung wie folgt geführt werden:

$$N_{Ed,min} \geq (\rho_c * b * h * h_e^2) / (\beta * t)$$

$$N_{Ed,max} \leq (t * b * f_d) / 3$$

$\rho_c$  ist die Wichte der Anschüttung und  $b$  die Wandbreite. Der Beiwert  $\beta$  hängt von den Aussteifungsverhältnissen der Wand ab und kann Tafel 12 entnommen werden.

Tafel 12: Beiwert  $\beta$  in Abhängigkeit vom Abstand  $b_c$  der aussteifenden Wände

Aussteifung	Beiwert $\beta$
$b_c \leq h$	40
$h < b_c < 2 * h$	$60 - 20 * b_c / h$
$b_c \geq 2 * h$	20

Die obere Begrenzung durch die Druckfestigkeit des Mauerwerks wird in der Regel nicht maßgebend.

Zur Orientierung sind in Tafel 13 Werte für  $N_{Ed,min}$  ermittelt. Den Werten liegt  $\rho_c = 20 \text{ kN/m}^3$  und  $h = 2,6 \text{ m}$  zugrunde.

Es kommt der Praxis entgegen, dass die maximale Erdanschütthöhe auf  $1,15 * h$  angehoben ist. Bei großen Terrassenöffnungen ergeben sich regelmäßig Schwierigkeiten, die mindestens erforderlichen Lasten sicher zu stellen. Häufig hilft hier ein in halber Wandhöhe angeordneter Ringbalken zur Reduzierung der Beanspruchung des Druckbogens. Er kann aus bewehrten und ausbetonierten U-Steinen bestehen, so dass ein einheitlicher Putzgrund gewährleistet

tet ist. Für weitere Nachweismöglichkeiten bei erddruckbelasteten Wänden sei hier auf DIN EN 1996-1-1 verwiesen.

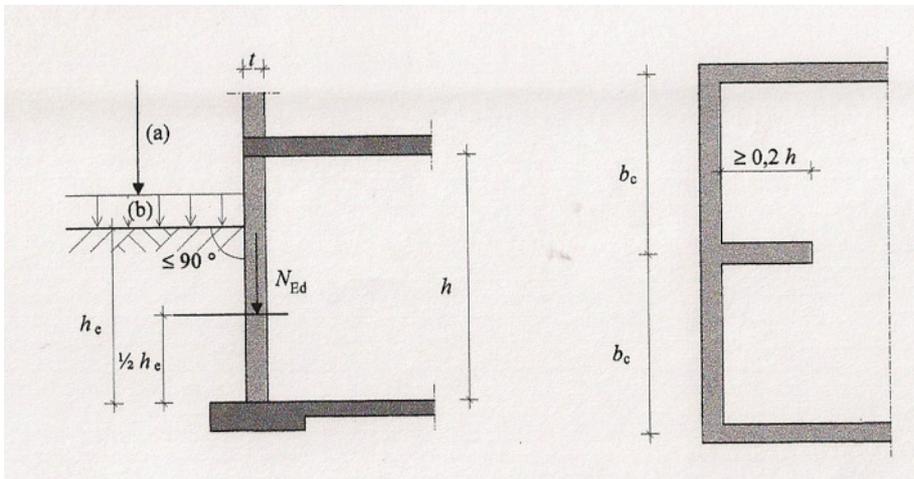


Bild 2: Lastannahmen und Aussteifung bei Kellerwänden

Tafel 13: Werte für  $N_{Ed,min}$  für  $b_c \leq h$  (bei  $b_c \geq 2 \cdot h$  sind die Werte  $N_{Ed,min}$  zu verdoppeln)

t mm	$h_e$ in m				
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$N_{Ed,min}$ in kN/m für $b_c \leq h$					
240	5	12	22	34	49
300	4	10	17	27	39
365	4	8	14	22	32
490	3	6	11	17	24

Das Reibungsverhalten einer Sperrschicht gegen aufsteigende Feuchte muss mindestens dem einer besandeten Bitumendachbahn R500 entsprechen. In zunehmendem Maße werden auch zementgebundene Dichtungsschlämmen nach DIN 18195-2 angewendet. Polyethylenfolien sind als Abdichtung nicht geeignet.

Bei Verfüllung und Verdichtung des Erdreichs müssen die rechnerisch zugrundegelegten Lasten vorhanden sein. Hierfür darf nur nichtbindiger Boden nach DIN 1054 verwendet werden. Die Breite des Verdichtungsgerätes (Rüttelplatten oder Stampfer) darf 50 cm, die Wirktiefe 35 cm nicht überschreiten. Das Gewicht des Verdichtungsgerätes kann bis ca. 100 kg betragen, wobei die Zentrifugalkräfte jedoch höchstens 15 kN erreichen dürfen.

## Verformungskenngrößen

Grundvoraussetzung für die Standsicherheit der Gebäude ist eine kraftschlüssige Verbindung zwischen den Bauteilen. Verformen sich die kraftschlüssig miteinander verbundenen Bauteile, z.B. Mauerwerk und Stahlbetondecken, unterschiedlich, so entstehen Zwängungen. Diese können zur Rissbildung führen. Als besonders kritisch haben sich oberste Geschoss- bzw. Dachdecken auf Mauerwerk und Mauerwerk auf abgedichteten Bodenplatten nicht unterkellerten Gebäude herausgestellt. In beiden Fällen liefert DIN 18530 Hinweise für eine schadensfreie Konstruktion.

Wesentliche Voraussetzung für das Vermeiden von Rissbildungen ist, dass bei der konstruktiven Durchbildung und bei der Ausführung die Regeln der Mauerwerksnorm beachtet werden. Wenn der Grenzzustand der Tragfähigkeit nachgewiesen ist, braucht bei unbewehrtem Mauerwerk der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für Risse und Verformungen nicht zusätzlich nachgewiesen werden. Er gilt als erfüllt, selbst wenn Risse an kritischen Stellen, wie im Bereich von Dachdecken, auftreten können.

Die Verformungskennwerte sind in Tafeln 14 und 15 wiedergegeben.

Schwinden und Kriechen sind von der Zeit abhängige Größen. Ein großer Teil dieser Verformungen ist etwa 6 Monate nach Fertigstellung des Rohbaus abgeschlossen. Sollen die Ausbauarbeiten früher begonnen werden, sind deshalb objektbezogen besondere Überlegungen erforderlich. Diese können zu einer abgestimmten Auswahl der Baustoffe für Roh- und Ausbau und/oder zu besonderen Schutzmaßnahmen während des Rohbaus oder auch zu besonderen Konstruktionen führen.

Bei Beachten wirtschaftlicher Gesichtspunkte lassen sich vereinzelt aus Zwängungen herrührende Risse bei Neubauten nicht immer vermeiden. Allgemein gilt jedoch, dass belastete Wände weniger rissgefährdet sind als unbelastete Wände. Die Länge unbelasteter Wände oder Wandteile (z.B. Brüstungen) sollte nicht größer sein als die zweifache, die Länge belasteter Wände nicht größer sein als die dreifache Wandhöhe. Die Deckenlasten werden deshalb bevorzugt kreuzweise abgetragen. Infrage kommen kann eine Lastzentrierung. Die Durchbiegung der Geschossdecken wird durch möglichst spätes Ausschalen verringert. Bei Anordnung von verschieblichen Deckenlagern muss die Stabilität der Wände durch Ringbalke gewährleistet sein. Die Anordnung von Dehnungsfugen sollte wegen ihrer Wartungsanfälligkeit möglichst vermieden werden. Eine konstruktive Bewehrung der Lagerfugen hat sich insbesondere bei Brüstungen bewährt. Alternativ kann hier diagonal eingelegtes Glasfasergewebe im Putz angewendet werden.

Baupraktisch sind die Verformungen eines Baukörpers innerhalb der üblichen Gewährleistungsfrist abgeschlossen.

Tafel 14: Verformungskennwerte für Mauerwerk aus Leichtbetonsteinen

Kenngroße		Rechenwert
Schwinden, Endwert	mm/m	
Mauerwerk mit Normalmörtel		0,4
Mauerwerk mit Leichtmörtel		0,5
Endkriechzahl	-	2,0
Wärmedehnungskoeffizient	$10^{-6}K^{-1}$	$10^a)$
Elastizitätsmodul	$N/mm^2$	$950 * f_k$

<sup>a)</sup> Für Leichtbetonsteine mit überwiegend Blähtonzuschlag: 8

Tafel 15: Verformungskennwerte für Mauerwerk aus Betonsteinen

Kenngroße		Rechenwert
Schwinden, Endwert	mm/m	
Mauerwerk mit Normalmörtel		0,2
Endkriechzahl	-	1,0
Wärmedehnungskoeffizient	$10^{-6}K^{-1}$	10
Elastizitätsmodul	$N/mm^2$	$2400 * f_k$

### Nicht tragende Innenwände (Anhang B in DIN EN 1996-3)

Es ist ein Diagramm, siehe Bild 3, angegeben, aus dem die zulässigen Abmessungen für zwei-, drei- und vierseitig gehaltene nicht tragende Innenwände entnommen werden können. Auf der Ordinate ist der Verhältnswert Wandhöhe zu Wanddicke  $h/t$  und auf der Abszisse der Verhältnswert Wandlänge zu Wanddicke  $l/t$  aufgetragen. Als Grenzwerte sind allgemein einzuhalten:

$$t \geq 50 \text{ mm}$$

$$h \leq 6,0 \text{ m}$$

$$l \leq 12,0 \text{ m}$$

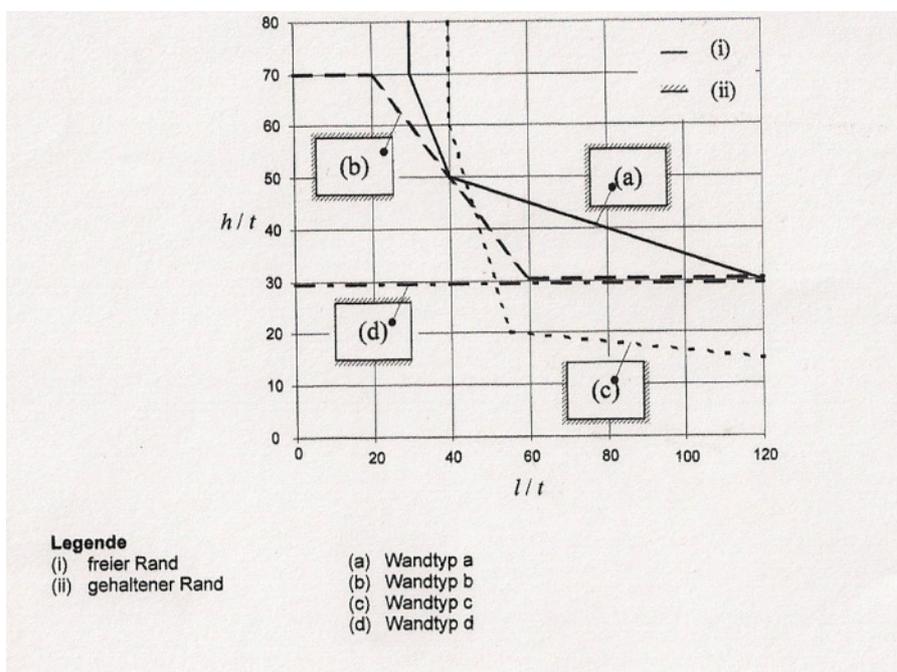


Bild 3: Mindestdicke und Grenzabmessungen für nicht tragende innere Trennwände

Das Diagramm gilt für Wände, bei denen eine horizontale Nutzlast von 0,5 kN/m nicht überschritten wird und ist damit nur bei Gebäuden mit geringen Menschenansammlungen anwendbar (Einbaubereich 1 nach DIN 4103).

## Nicht tragende Außenwände (Anhang C in DIN EN 1996-3)

Nicht tragende Außenwände in Fachwerk-, Skelett- oder Schottensystemen werden lediglich durch ihr Eigengewicht und einseitig durch Wind beansprucht. Da eine Zugfestigkeit des Mauerwerks senkrecht zur Lagerfuge nicht berücksichtigt werden darf, können diese Wände rechnerisch nicht nachgewiesen werden. Im Anhang NA.C zur DIN EN 1996-3 ist deshalb eine Tabelle mit Größtwerten der Ausfachungsfläche angegeben, siehe Tafel 16. Bei Zwischenwerten des Wandseitenverhältnisses darf geradlinig interpoliert werden.

Die Wände müssen vierseitig z.B. durch Verzahnung, Versatz oder Anker gehalten sein. Das Mauerwerk ist aus Steinen mindestens der Festigkeitsklasse 4 mit Normalmörtel mindestens der Gruppe IIa oder mit Dünnbettmörtel herzustellen.

Tafel 16: Zulässige Größtwerte der Ausfachungsfläche in  $m^2$  nicht tragender Außenwände bei verschiedenen Einbauhöhen  $H$  über Gelände in Abhängigkeit von der Wanddicke  $t$  und dem Verhältnis von Wandhöhe zu –länge  $h_i/l_i$

t mm	$h_i/l_i \leq 0,5$ $h_i/l_i \geq 2,0$	$h_i/l_i = 1,0$
H = 0 bis 8 m		
115 <sup>1)</sup>	8	12
150 <sup>1)</sup>	8	12
175	14	20
240	25	36
$\geq 300$	33	50
H = 8 bis 20 m		
115	-	-
150	5	8
175	9	13
240	16	23
$\geq 300$	23	35

<sup>1)</sup> Bei Steinen mindestens der Festigkeitsklasse 12 dürfen die zulässigen Ausfachungsflächen um 1/3 vergrößert werden. Wände mit  $t = 115$  mm sind in Windlastzone 4 nur im Binnenland zulässig.

## Sichtmauerwerk

Einschaliges Mauerwerk kann auf einer oder auch auf beiden Wandseiten als Sichtmauerwerk ausgeführt werden. Gegenüber verputzten oder bekleideten Wandoberflächen ergeben sich hohe Anforderungen an

- Planung, Arbeitsvorbereitung und Ausführung;
- Vorhaltung und Lagerung der Baustoffe;
- Aussehen und Maßhaltigkeit der Mauersteine und der Fugen;

- Ergänzungsbauteile für z.B. Tür und Fensterstürze;
- Schutzmaßnahmen während der Herstellung.

In der Regel werden die sichtbar bleibenden Flächen, insbesondere wenn sie der Witterung ausgesetzt sind, aus Betonsteinen hergestellt. Bei Leichtbetonsteinen wird zusätzlich ein Anstrich oder eine Beschichtung erforderlich, der bei dünnem Auftrag die Steinstruktur sichtbar erhält.

Die umfangreichen Regelungen für zweischaliges Mauerwerk und die Konstruktionsvarianten sind im Anhang NA.D zu DIN EN 1996-2 zusammengefasst. Hierbei wird die nicht tragende Verblendschale üblicherweise als Sichtmauerwerk ausgeführt. Sie muss mindestens 90 mm dick sein. Der höchstens 150 mm breite Abstand zwischen den Schalen kann mit Wärmedämmstoffen gefüllt werden.

### **Bewehrtes Mauerwerk**

Durch Wahl eines Teilsicherheitsbeiwertes von 10,0 auf der Materialseite ist die Anwendung von bewehrtem Mauerwerk in Deutschland praktisch ausgeschlossen worden.

Neben einer statisch in Rechnung gestellten Bewehrung kann aber auch eine lediglich konstruktiv eingebaute Bewehrung sinnvoll sein. Von Vorteil ist sie bei besonders stark oder bei stark unterschiedlich belasteten Bauteilen wie

- Auflager von Stützen, Stürzen, Balken sowie
- Fensterbrüstungen.

Die Sicherheit gegenüber Rissbildung wird durch eine konstruktive Bewehrung des ansonsten unbewehrten Mauerwerks erhöht bei

- zu erwartenden Setzungsunterschieden benachbarter Bauteile,
- Verblendschalen großer Wandlängen ohne Dehnungsfugen,
- langen nicht tragenden und langen nur gering belasteten tragenden Wänden.