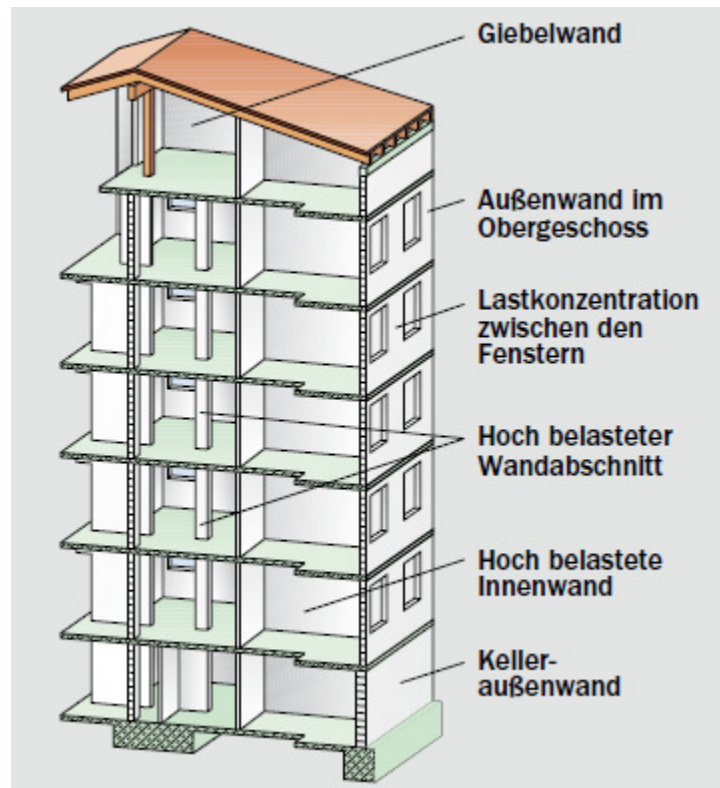


## Mauerwerksbau nach DIN EN 1996 (EC 6)



## 1 Einleitung

### 1.1 Maßgebende Normen

Die maßgebende Grundlage für die Bemessung und Konstruktion im Bereich der Mauerwerksbaus sind die Teile der **DIN EN 1996 (EC 6)** in Verbindung mit den jeweiligen nationalen Anhängen (NA) (Bild 1.1). Sie enthält sowohl Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk. Da bewehrtes und/oder vorgespanntes Mauerwerk in Deutschland aufgrund von nationalen Einschränkungen kaum zum Einsatz kommt, soll nachfolgend der Schwerpunkt auf **unbewehrtes Mauerwerk** gelegt werden.

In der o.g. Norm erfolgt die Nachweisführung auf der Grundlage eines semiprobabilistischen Sicherheitskonzeptes (Stichwort: Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungs- und der Widerstandsseite). Damit gehört sie zu der modernen europäischen Normengeneration (vgl. EC 2 im Stahlbetonbau oder EC 3 im Stahlbau). Für Mauerwerk genügt im Regelfall der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT), der üblicherweise auch eine hinreichende Gebrauchstauglichkeit sicherstellt.

Alternativ zu genaueren Berechnungsmethoden lässt die Norm für unbewehrte Mauerwerksbauten unter bestimmten Voraussetzungen **vereinfachte Berechnungsmethoden** zu (DIN EN 1996-3 in Verbindung mit dem NA). Wesentliche Einflüsse auf die Schnittgrößen wie z.B. die Einspannungen zwischen Wand und Decke, unplanmäßige Lastexzentrizitäten oder Verformungen nach Theorie II. Ordnung werden stark vereinfacht durch Abminderungsfaktoren bei der Normalkraftbemessung berücksichtigt (Kap. 2).

Die **parallele Anwendung** von DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-3 ist zulässig. Zunächst also ein Überblick über Aufbau und Inhalte der maßgebenden Norm.

Eurocode-Normen	Zugeordneter Nationaler Anhang
<b>DIN EN 1996-1-1: 2010-12</b> 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	<b>DIN EN 1996-1-1/NA: 2012-05</b> Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-1 Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk
<b>DIN EN 1996-1-2: 2011-04</b> 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	<del><b>DIN EN 1996-1-2/NA: 2012-04</b></del> Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall
<b>DIN EN 1996-2: 2010-12</b> 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	<del><b>DIN EN 1996-2/NA: 2012-01</b></del> Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk
<b>DIN EN 1996-3: 2010-12</b> Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten; Deutsche Fassung EN 1996-3:2006 + AC:2009	<del><b>DIN EN 1996-3/NA: 2012-01</b></del> Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten;

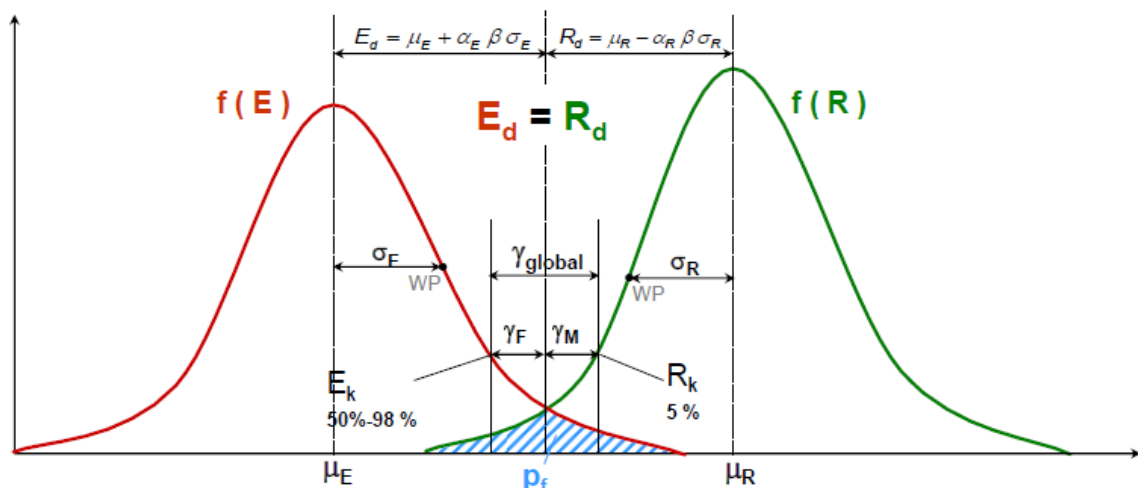
**Bild 1.1:** Eurocode-Normen für den Mauerwerksbau

Der EC 6 behandelt nicht die besonderen Anforderungen an den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung für **erdbebengefährdete** Bauwerke. Festlegungen dazu sind im Eurocode 8 enthalten. Auch die für die Bemessung erforderlichen **Zahlenwerte für Einwirkungen** auf Hochbauten und Ingenieurbauwerke sind nicht im EC 6 enthalten; sie sind im EC 1 zu finden.

### 1.2 Nachweisformat

Wie in allen modernen Bemessungsnormen üblich, basiert auch der EC2 auf dem **Teilsicherheitskonzept**. Dabei werden Streuungen der Einwirkung und des Materials mit Hilfe individueller Teilsicherheitsbeiwerte auf der **Einwirkungs-** (E) und **Widerstandsseite (R)** berücksichtigt (Bild 1.2).

$$\gamma_F \cdot E_k = E_d \leq R_d = R_k / \gamma_M$$



**Bild 1.2:** Sicherheitsformat für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Bei der Bestimmung der Bemessungswerte der Einwirkungen ( $E_d$ ) ist zwischen zwei Bemessungssituationen zu unterscheiden:

a) **Ständige und vorübergehende** Bemessungssituation:

$$E_d = E \left\{ \sum_{j=1} \gamma_G \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

vereinfacht mit  $\psi_{0,1} = 1,0$  (nach EC 6):

$$E_d = E \left\{ \sum_{j=1} \gamma_G \cdot G_{k,j} \oplus \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \quad \text{zum Beispiel:} \quad N_{Ed} = 1,35 \cdot \sum_{j=1} N_{Gk,j} \oplus 1,50 \cdot \sum_{i \geq 1} N_{Qk,i}$$

In Hochbauten mit Stahlbetondecken, die mit einer charakteristischen Nutzlast von  $q_k \leq 3,0 \text{ kN/m}^2$  belastet sind, darf die im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) einwirkende Normalkraft  $N_{Ed}$  vereinfachend bestimmt werden mit:

$$N_{Ed} = 1,4 \cdot \sum (N_{Gk} + N_{Qk})$$

Beim Nachweis von Wandscheiben unter Horizontallasten in Scheibenrichtung wird häufig die minimale Auflast maßgebend bei der Bemessung:

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

b) **Außergewöhnliche** Bemessungssituation (infolge Brand, Erdbeben, Anprall):

$$E_d = E \left\{ \sum_{j=1} \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus A_d \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

Die aus anderen Normen bekannten **Teilsicherheitsbeiwerte** auf der Einwirkungsseite  $\gamma_E$  sind der Tabelle 1.1, die **Kombinationsbeiwerte**  $\psi$  der Tabelle 1.2 zu entnehmen (vgl. DIN EN 1990/NA):

**Tab 1.1:** Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite für den Nachweis im GZT

Einwirkung	ungünstige Wirkung	günstige Wirkung	außergewöhnliche Bemessungssituation
Ständige Einwirkung (G) z.B. Eigengewicht, Ausbaulast, Erddruck	$\gamma_{G,sup} = 1,35$	$\gamma_{G,inf} = 1,00$	$\gamma_{GA} = 1,00$
Veränderliche Einwirkung (Q) z.B. Wind-, Schnee-, Nutzlasten	$\gamma_{Q,sup} = 1,50$	$\gamma_{Q,inf} = 0,00$	$\gamma_{QA} = 1,00$

**Tab 1.2:** Kombinationsbeiwerte

Einwirkungen	Kombinationsbeiwerte		
	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Nutzlasten im Hochbau (Kategorien siehe DIN EN 1991-1-1) – Wohn-, Aufenthalts- und Büroräume – Versammlungsräume, Verkaufsräume – Lagerräume	0,7 0,7 1,0	0,5 0,7 0,9	0,3 0,6 0,8
Schnee- und Eislasten, siehe DIN EN 1991-1-3 – Orte bis zu NN +1000 m – Orte über NN +1000 m	0,5 0,7	0,2 0,5	0,0 0,2
Windlasten, siehe DIN EN 1991-1-4	0,6	0,2	0,0
Temperatur (nicht Brand), siehe DIN EN 1991-1-5	0,6	0,5	0,0

**Bemessungswerte des Bauteilwiderstandes** ( $R_d$ ) sind die **Druckfestigkeit**  $f_d = \zeta \cdot f_k / \gamma_M$ , die **Schubfestigkeit**  $f_{vd} = f_{vt} / \gamma_M$  und die **Biegezugfestigkeit**  $f_{xd} = f_{xk} / \gamma_M$ . Der Teilsicherheitsbeiwert auf der Widerstandseite  $\gamma_M$  ist der Tabelle 1.3 zu entnehmen.

$f_k$  ist dabei nach DIN EN 1996-1-1 der charakteristische Wert der Druckfestigkeit,  $f_{vlt}$  der charakteristische Wert der Schubfestigkeit und  $f_{xk}$  der charakteristische Wert der Biegezugfestigkeit.  $\zeta$  ist ein **Dauerstands faktor** und wird konstant mit  $\zeta = 0,85$  vorgegeben.

**Tab 1.3:** Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite für den Nachweis im GZT

Material	$\gamma_{M}$ Bemessungssituation	
	ständig und vorübergehend	außer-gewöhnlich <sup>1)</sup>
Unbewehrtes Mauerwerk aus Steinen der Kategorie I und Mörtel nach Eignungsprüfung sowie Rezeptmörtel	1,5	1,3

<sup>1)</sup> für die Bemessung im Brandfall nach DIN EN 1996-1-2:  $\gamma = 1,0$

### 1.3 Materialkennwerte

Die charakteristischen Werte für die **Druckfestigkeit** von Mauerwerk  $f_k$  werden in DIN EN 1996-1-1 mit Hilfe von drei Parametern  $K$ ,  $\alpha$  und  $\beta$  über folgende Formel bestimmt:

- für **Normalmörtel**: 
$$f_k = K \cdot f_{st}^\alpha \cdot f_m^\beta$$
- Für **Dünnbettmörtel**: 
$$f_k = K \cdot f_{st}^\alpha$$

Mit diesem „komplizierten“ Formelansatz soll die Druckfestigkeit differenziert nach Steinsorten, Lochbildern und Steinabmessungen (normale Steine, Plansteine oder Planelemente) erfasst werden.

Die Parameter  $K$ ,  $\alpha$  und  $\beta$  sind für eine große Zahl möglicher Stein-Mörtel-Kombinationen tabellarisch angegeben. In der o.g. Formel ist  $f_{st}$  die **umgerechnete mittlere Steinfestigkeit** gemäß Tabelle 1.4:

**Tab 1.4:** Rechenwerte für  $f_{st}$  in Abhängigkeit von der Druckfestigkeitsklasse

Druckfestigkeitsklasse der Mauersteine und Planelemente	2	4	6	8	10	12	16	20	28	36	48	60
$f_{st}$ in [N/mm <sup>2</sup> ]	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	20,0	25,0	35,0	45,0	60,0	75,0

Ebenfalls tabelliert ist der Faktor  $f_m$  als **Rechenwert für die Druckfestigkeit von Mauermörtel** der Norm zu entnehmen (Tab. 1.5):

**Tab 1.5:** Rechenwerte für die Druckfestigkeitsklasse von Mauermörtel

Mörtelgruppe nach DIN V 20000-412 oder DIN V 18580	Druckfestigkeit $f_m$ in [N/mm <sup>2</sup> ]	
Normalmauermörtel	NM II	2,5
	NM IIa	5,0
	NM III	10,0
	NM IIIa	20,0
Leichtmauermörtel	LM 21	5,0
	LM 36	5,0
Dünnbettmörtel	DM	10,0

Nachfolgend werden die Parameter  $K$ ,  $\alpha$  und  $\beta$  für die **üblichen Stein-Mörtel-Kombinationen** bei Kalksandsteinmauerwerk mit Normalmauermörtel (NM) angegeben (weitere Tabellen im NA zu **DIN EN 1996-1-1** unter Tabelle NA.4 bis NA.10):

**Tab 1.6:** Parameter zur Ermittlung der Druckfestigkeit von Einsteinmauerwerk aus Vollziegeln sowie Kalksand-Vollsteinen und Kalksand-Blocksteinen mit Normalmauermörtel

Steinart	Mörtelart	Parameter		
		$K$	$\alpha$	$\beta$
Vollziegel, KS-Vollsteine; KS-Blocksteine	NM II, IIa *)	0,950	0,585	0,162
	NM III, IIIa **)			
*) Die Druckfestigkeit des Mauerwerks darf nicht größer angenommen werden als für die Steifestigkeiten $f_{st} = 45 \text{ N/mm}^2$				
**) Die Druckfestigkeit des Mauerwerks darf nicht größer angenommen werden als für die Steifestigkeiten $f_{st} = 60 \text{ N/mm}^2$				

Um diese aufwändige Berechnung der charakteristischen Druckfestigkeit  $f_k$  zu vermeiden, ist im Anhang D der DIN EN **1996-3/NA** eine **vereinfachte Methode** angegeben worden, die in neun Tabellen die gesuchte Größe  $f_k$  ohne langwierige Berechnungen wiedergibt; nachfolgend die analogen Tabellenwerte zu Tab. 1.4 bis 1.6:

**Tab 1.7:** Charakteristische Druckfestigkeit  $f_k$  in  $\text{N/mm}^2$  von Einsteinmauerwerk aus Vollziegeln sowie Kalksand-Vollsteinen und Kalksand-Blocksteinen mit Normalmauermörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	$f_k$ [ $\text{N/mm}^2$ ]			
	NM II	NM IIa	NM III	NM IIIa
2	--	--	--	--
4	2,8	3,2	3,5	4,0
6	3,6	4,0	4,5	5,0
8	4,2	4,7	5,3	5,9
10	4,8	5,4	6,0	6,8
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	12,6	14,1
48	10,2	11,4	14,4	16,2
60	10,2	11,4	14,4	16,2

### Beispiel 1.1: Bestimmung der charakteristischen Druckfestigkeit von Mauerwerk

**Gegeben:** Mauerwerk aus Kalksand-Vollsteinen; Steindruckfestigkeitskl. 12; Normalmörtelgruppe II  
kürzer: KS 12/NM II

**Gesucht:** charakteristische Druckfestigkeit  $f_k$  nach DIN EN 1996-1-1/NA  
sowie charakteristische Druckfestigkeit  $f_k$  nach DIN EN 1996-3/NA

Genauere Bestimmung nach **DIN EN 1996-1-1/NA**:

$$\text{aus Tab. 1.4: } f_{st} = 15,0 \text{ N/mm}^2 \quad \text{aus Tab. 1.5: } f_m = 2,5 \text{ N/mm}^2:$$

$$\text{Parameter aus Tab. 1.6: } K = 0,950; \quad \alpha = 0,585; \quad \beta = 0,162$$

$$f_k = K \cdot f_{st}^\alpha \cdot f_m^\beta = 0,95 \cdot 15,0^{0,585} \cdot 2,5^{0,162} = \underline{\underline{5,4 \text{ N/mm}^2}}$$

Bestimmung nach **DIN EN 1996-3/NA** (vereinfachte Methode):

$$\text{aus Tab. 1.7: } f_k = \underline{\underline{5,4 \text{ N/mm}^2}}$$

**Hinweis:** Die Werte sind (auch bei anderen Stein-Mörtel-Kombinationen nahezu) identisch. Eine genauere Bestimmung der Druckfestigkeit nach DIN EN 1996-1-1 bietet in Deutschland keine Vorteile.

**Wichtig:** Bei Wandquerschnitten mit einer Fläche von  $A < 0,1 \text{ m}^2$  ist die Druckfestigkeit mit dem Faktor **0,8** bzw. **(0,7 + 0,3·A)** zu reduzieren.

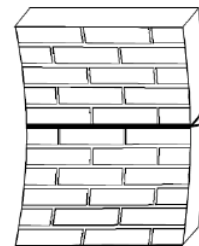
Bei den charakteristischen Werten für die **Zugfestigkeit** von Mauerwerk  $f_{xk}$  werden zwei Werte angegeben, und zwar die Biegezugfestigkeit **senkrecht** zur Lagerfuge  $f_{xk1}$  und die Biegezugfestigkeit **parallel** zur Lagerfuge  $f_{xk2}$ .

a) Bruchebene senkrecht zur Lagerfuge

$$f_{xk1} = 0$$

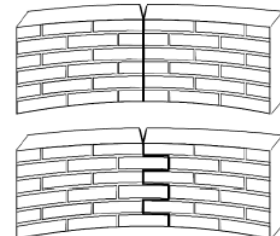
$$f_{xk1} = 0,2 \text{ N/mm}^2$$

bei Ausfachungsflächen aus Planelementen



b) Bruchebene parallel zur Lagerfuge

$$f_{xk2} = \min \left\{ \begin{array}{l} (f_{vk0} + 0,6 \cdot \sigma_{Dd}) \cdot l_{ol} / h_u \\ 0,5 \cdot f_{bt,cal} \\ 0,7 \text{ N/mm}^2 \end{array} \right\}$$



Dabei ist:

$f_{vk0}$  die Haftscherfestigkeit von Mauerwerk ohne Auflast nach Tab. 1.8

$\sigma_{Dd}$  der Bemessungswert der zugehörigen Druckspannung rechtwinklig zur Lagerfuge im unter suchten Lastfall. Für Rechteckquerschnitte gilt  $\sigma_{Dd} = N_{Ed}/A$ . Dabei ist  $A$  der überdrückte Querschnitt. Im Regelfall ist die minimale Einwirkung  $N_{Ed} = 1,0 \cdot N_{Gk}$  maßgebend.

$l_{ol}/h_u$  das Verhältnis von Überbindemaß zur Steinhöhe

$f_{bt,cal}$  die rechnerische Steinzugfestigkeit. Es darf angenommen werden:

$$f_{bt,cal} = 0,020 \cdot f_{st} \quad \text{für Hohlblocksteine}$$

$$f_{bt,cal} = 0,026 \cdot f_{st} \quad \text{für Hohllochsteine und Steine mit Grifföchern oder Griffaschen}$$

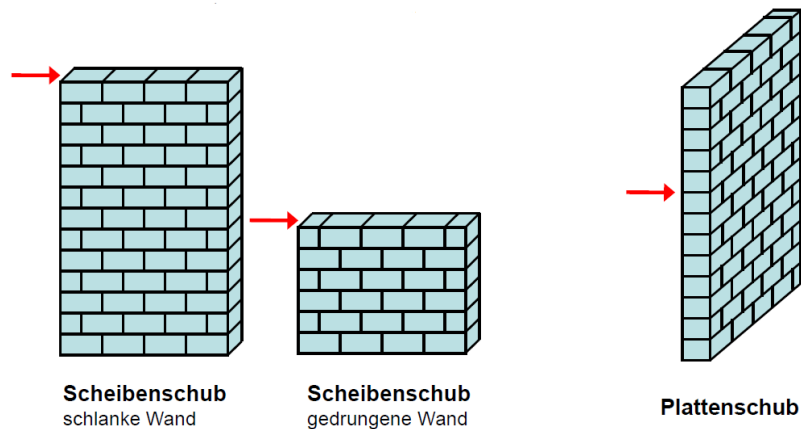
$$f_{bt,cal} = 0,032 \cdot f_{st} \quad \text{für Vollsteine ohne Grifföcher oder Griffaschen}$$

$$f_{bt,cal} = \frac{0,0656 \cdot f_{st}}{0,7 + 0,2 \cdot \sqrt{f_{st}}} \quad \text{für Porenbetonplansteine der Länge } \geq 498 \text{ mm und der Höhe } \geq 248 \text{ mm; } f_{st} \text{ nach Tab. 1.4.}$$

**Tab 1.8:** Werte für die Haftscherfestigkeit  $f_{vk0}$  von Mauerwerk ohne Auflast

$f_{vk0}$ in [N/mm <sup>2</sup> ]					
Normalmauermörtel mit einer Festigkeit $f_m$ in N/mm <sup>2</sup>				Dünnbettmörtel (Lagerfugen-1 bis 3 mm)	Leichtmauermörtel
NM II 2,5	NM IIa 5,0	NM III 10,0	NM IIIa 20,0		
0,08	0,18	0,22	0,26	0,22	0,18

Bei der Ermittlung der **charakteristischen Schubfestigkeit von Mauerwerk** muss zwischen **Scheibenschub** und **Plattenschub** unterschieden werden (Bild 1.3). Beim Scheibenschub sind das Reibungsversagen der (ggf. vermörtelten) Stoßfugen  $f_{vlt1}$  und das Steinzugversagen  $f_{vlt2}$  zu beachten. Beim Plattenschub ist dagegen eine Betrachtung des Steinzugversagens  $f_{vlt2}$  nicht erforderlich.

**Bild 1.3:** Beanspruchungsarten bei Querkrafteinwirkung

Der charakteristische Wert der Schubfestigkeit ergibt sich somit als kleinster Wert für  $f_{vk}$  aus nachfolgender Beziehung. Die hierfür notwendige Haftscherfestigkeit  $f_{vk0}$  ist der Tab. 1.8 zu entnehmen.

$$f_{vk} = \min\{f_{vlt1}; f_{vlt2}\}$$

- bei **Scheibenschub** und **Reibungsversagen**:

und vermörtelten Stoßfugen:  $f_{vk1} = f_{vk0} + 0,4 \cdot \sigma_{Dd}$

bzw. unvermörtelte Stoßfugen:  $f_{vk1} = 0,5 \cdot f_{vk0} + 0,4 \cdot \sigma_{Dd}$

- bei **Scheibenschub** und **Steezugversagen**:

$$f_{vk2} = 0,45 \cdot f_{bt,cal} \cdot \sqrt{1 + \sigma_{Dd} / f_{bt,cal}}$$

- bei **Plattenschub** (nur Reibungsversagen):

und vermörtelten Stoßfugen:  $f_{vk1} = f_{vk0} + 0,6 \cdot \sigma_{Dd}$

bzw. unvermörtelte Stoßfugen:  $f_{vk1} = 2/3 \cdot f_{vk0} + 0,6 \cdot \sigma_{Dd}$

Die Steifigkeit eines Bauteils wird maßgeblich durch den **Elastizitätsmodul** bestimmt. Aufgrund der Streuung dieses Materialkennwertes benutzt man im Mauerwerksbau die **Kennzahl  $K_E$**  als Rechenwert für den Elastizitätsmodul. Sie Streuung wird durch einen **Wertebereich** eingegrenzt (Tab. 1.9).

**Tab 1.9:** Kennzahlen zur Bestimmung des E-Moduls von Mauerwerk

Mauersteinart	Kennzahl $K_E$ in N/mm <sup>2</sup>	
	Rechenwert	Wertebereich
Mauerziegel	1100	900 bis 1250
Kalksandsteine	950	800 bis 1250
Leichtbetonsteine	950	800 bis 1100
Betonsteine	2400	2050 bis 2700
Porenbetonsteine	550	500 bis 650

Für den Nachweis der vertikalen Belastung im Grenzzustand der Tragfähigkeit (**Knicksicherheitsnachweis**) ist abweichend von Tab. 1.9 ein (pauschaler) Elastizitätsmodul von  $E_0 = 700 \cdot f_k$  zu verwenden.

Als weitere Baustoffeigenschaften werden in Tab. 1.10 die Koeffizienten für das **Kriechverhalten**, das **Quellen bzw. Schwinden** sowie für die **Wärmedehnung** angegeben. Da derzeit keine genormten Prüfverfahren zur Ermittlung dieser Koeffizienten vorliegen, sollten sie durch Versuche am jeweiligen Projekt ermittelt werden. Für Grenzbetrachtungen können die Grenzwerte der jeweiligen Wertebereiche herangezogen werden.

**Tab 1.10:** Kennwerte für Kriechen, Quellen und Schwinden und Wärmedehnung

Mauersteinart	Mauermörtelart	Endkriechzahl <sup>a)</sup> $\varphi_{\infty}$		Endwert der Feuchtedehnung <sup>b)</sup> [mm/m]		Wärmeausdehnungskoeffizient $\alpha_t$ [10 <sup>-6</sup> /K]	
		Rechenwert	Wertebereich	Rechenwert	Wertebereich	Rechenwert	Wertebereich
Mauerziegel	Normalmauermörtel	1,0	0,5 – 1,5	0	-0,1 bis +0,3	6	5 - 7
	Leichtmauermörtel	2,0	1,0 – 3,0				
Kalksandsteine	Normalmauermörtel/ Dünnbettmörtel	1,5	1,0 – 2,0	-0,2	-0,3 bis -0,1	8	7 - 9
Betonsteine	Normalmauermörtel	1,0	--	-0,2	-0,3 bis -0,1	10	8 – 12
Leichtbetonsteine	Normalmauermörtel	2,0	1,5 – 2,5	-0,4	-0,6 bis -0,2	10; 8 <sup>d)</sup>	
	Leichtmauermörtel			-0,5	-0,6 bis -0,3		
Porenbetonstein	Dünnbettmörtel	0,5	0,2 – 0,7	-0,1	-0,2 bis +0,1	8	7 - 9

a) Endkriechzahl  $\varphi_{\infty} = \varepsilon_{\infty} / \varepsilon_{el}$  mit  $\varepsilon_{\infty}$  als Endkriechmaß und  $\varepsilon_{el} = \sigma / E$ .  
b) Endwert der Feuchtedehnung ist bei Stauchung negativ und bei Dehnung positiv anzugeben.  
c) Für Mauersteine < 2 DF gilt er Grenzwert – 0,2 mm/m.  
d) Für Leichtbeton mit überwiegend Blähton als Zuschlag.



## 1.3 Begriffe und Produkte

### 1.3.1 Überblick

**Mauersteine** sind vorgefertigte Bauteile zur Verwendung im Mauerwerksbau. Diese können aus verschiedenen Materialien bestehen (Marktanteil in % ; Hersteller):

- |                 |      |                        |
|-----------------|------|------------------------|
| • Mauerziegel   | 46 % | Poroton, Wienerberger  |
| • Kalksandstein | 25 % | (www.kalksandstein.de) |
| • Porenbeton    | 19 % | Hebel, Ytong           |
| • Leichtbeton   | 10 % | Liapor, KLB            |

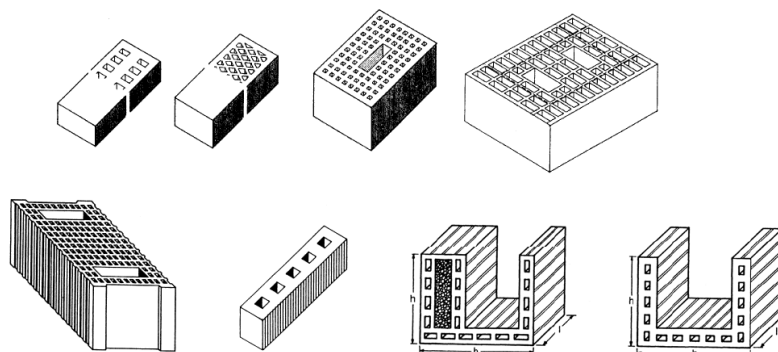
Die Steine werden in unterschiedlichen Handelsformen, Rohdichte- und Festigkeitsklassen hergestellt.

### 1.3.2 Mauerziegel (\*z)

**Mauerziegel** werden aus Ton oder Lehm hergestellt, indem die Rohstoffe abgebaut, zerkleinert und gemischt werden. Die Rohmasse wird in einer Strangpresse geformt und bei ca. 80°C getrocknet. Anschließend wird die Grobkeramik in einem über 100 m langen Tunnelofen bei Temperaturen von 900 - 1300°C gebrannt. Es gibt eine Vorwärmzone, eine Brennzone und eine Abkühlzone; die Brenndauer liegt zwischen Stunden und Tagen. Die Brenntemperatur und die Stoffzusammensetzung bestimmen die Eigenschaften der Keramik. Der Scherben unterscheidet sich in Dichte, Porosität, Festigkeit und Wasseraufnahme. Oberhalb der Sintergrenze (zwischen 1000 und 1500°C) entsteht eine glasartige Struktur, da einzelne Phasen zu schmelzen beginnen.

Es wird eine große Anzahl von Produkten hergestellt:

- Mauerziegel in verschiedenen Festigkeiten und Formen, Klinker, Hochlochziegel (HLz), Riemchen
- Formziegel, z.B. U-Schalen, L-Steine, Dachziegel, Deckenziegel
- Sonstige Keramik, z.B. Rohre, Steinzeug etc.



**Bild 1.4:** Produktformen von Mauerziegeln

### 1.3.3 Kalksandstein (KS)

**Kalksandstein** besteht aus gemahlenem Branntkalk (CaO), Sand und Wasser, die miteinander vermischt und zwischengelagert werden, wobei der Kalk zu Kalkhydraten ablöscht. Das Gemisch wird in Pressen zu Rohlingen geformt, die dann in Autoklaven unter Dampfdruck bei ca. 16 bar und Temperaturen von 160 bis 220°C in 4 bis 8 Stunden erhärten. Es findet eine dauerhafte Verkittung der Sandkörner statt.

Kalksandsteine werden in verschiedenen Eigenschaften für unterschiedliche Anwendungsbereiche angeboten. Die Produktpalette besteht aus Vollsteinen, Blocksteinen, Plansteinen, Bauplatten, Planelementen, Formsteinen, U-Schalen und Flachstürze.

Tab. 1.11: Auszüge aus Lieferprogramm

a) Vollsteine (Lochanteil ≤ 15 % der Lagerfläche)			
Bezeichnung	Kurzzeichen	Schichthöhe [cm]	Eigenschaften und Anwendungsbereiche
1 KS-Vollsteine	KS	≤ 12,5	Für tragendes und nicht tragendes Mauerwerk in Normalmauermörtel versetzt.
2 KS-R-Blocksteine	KS-R	> 12,5 ≤ 25	Wie Zeile 1, zusätzlich mit Nut-Feder-System an den Stirnseiten. Stoßfugenvermörtelung kann daher im Regelfall entfallen.
3 KS-Plansteine KS-R-Plansteine	KS P KS-R P	≤ 25	Wie Zeile 2, aufgrund Einhaltung geringerer Grenzabmaße der Höhe <sup>1)</sup> ( $\Delta h = \pm 1,0 \text{ mm}$ ) zum Versetzen in Dünnbettmörtel.
4 KS-Fasensteine	KS F	≤ 25	Wie Zeile 3, jedoch mit beidseitig umlaufender Fase an der Sichtseite von ca. 4 mm bis 7 mm.
5 KS-XL-Raster-elemente <sup>2)</sup>	KS XL-RE	≥ 50 ≤ 62,5	Wie Zeile 3. Lieferung von Regelementen der Länge 498 mm sowie Ergänzungselementen der Längen 373 mm und 248 mm.
6 KS-XL-Plan-elemente <sup>2)</sup>	KS XL-PE	≥ 50 ≤ 65	Wie Zeile 3. Lieferung von werkseitig vorkonfektionierten Wandbausätzen mit Regelementen der Länge 998 mm.
7 KS-E-Steine	KS-E KS-XLE	≤ 25 = 50	Wie Zeilen 3 und 5, jedoch mit durchgehenden Installationskanälen.

b) Lochsteine (Lochanteil > 15 % der Lagerfläche)			
Bezeichnung	Kurzzeichen	Schichthöhe [cm]	Eigenschaften und Anwendungsbereiche
8 KS-Lochsteine	KS L	≤ 12,5	Für tragendes und nicht tragendes Mauerwerk in Normalmauermörtel versetzt.
9 KS-R-Hohlblocksteine	KS L-R	> 12,5 ≤ 25	Wie Zeile 8, zusätzlich mit Nut-Feder-System an den Stirnseiten. Stoßfugenvermörtelung kann daher im Regelfall entfallen.
10 KS-Plansteine KS-R-Plansteine	KS L P KS L-R P	≤ 25	Wie Zeile 9, aufgrund Einhaltung geringerer Grenzabmaße der Höhe <sup>1)</sup> ( $\Delta h = \pm 1,0 \text{ mm}$ ) zum Versetzen in Dünnbettmörtel.
c) frostwiderstandsfähige Steine (KS-Verblender) <sup>3)</sup>			
Bezeichnung	Kurzzeichen	Schichthöhe [cm]	Eigenschaften und Anwendungsbereiche
11 KS-Vormauersteine <sup>2)</sup>	KS Vm oder KS Vm L	≤ 25	KS-Vormauersteine sind Mauersteine mindestens der Druckfestigkeitsklasse 10, die frostwiderstandsfähig sind (mindestens 25-facher Frost-Tau-Wechsel).
12 KS-Verblender <sup>2)3)</sup>	KS Vb oder KS Vb L	≤ 25	KS-Verblender sind Mauersteine mindestens der Druckfestigkeitsklasse 16 mit geringeren Grenzabmaßen der Höhe <sup>1)</sup> als Zeile 11 und erhöhter Frostwiderstandsfähigkeit (mindestens 50-facher Frost-Tau-Wechsel), die mit ausgewählten Rohstoffen hergestellt werden.

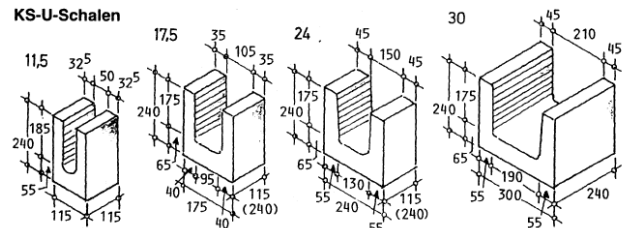
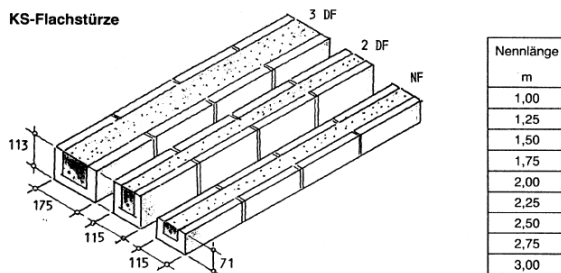


Bild 1.5: Flachstürze und U-Schalen mit Kalksandstein

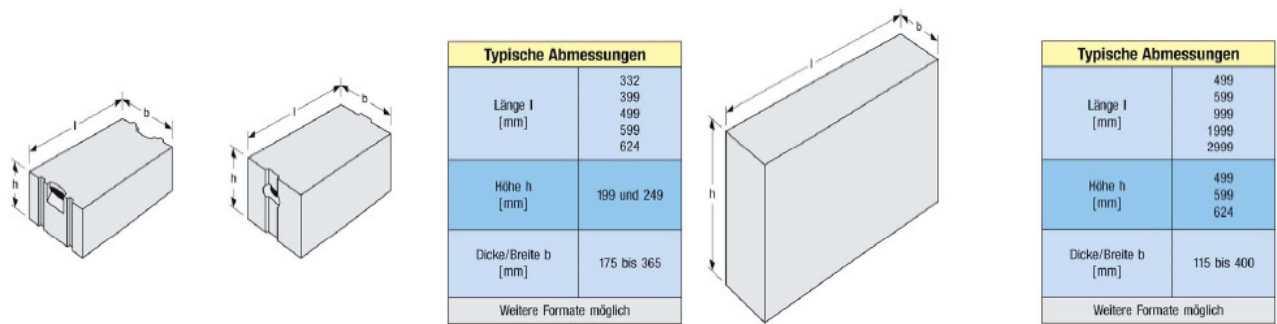
### 1.3.3 Porenbeton (Pb)

Porenbeton besteht aus sehr fein gemahlenem Quarzsand, Bindemittel, Treibmittel und Wasser; weiterhin kann Flugasche zugefügt werden. Als Bindemittel wird Brandkalk und/oder Zement verwendet. Als Treibmittel zur Porenbildung wird Aluminium in Pulver- oder Pastenform zugegeben. Die Grundstoffe werden dosiert, gemischt und in Gießformen gefüllt, wo das Wasser den Kalk löscht. Das Aluminium reagiert mit der alkalischen Flüssigkeit unter Freisetzung von gasförmigem Wasserstoff, der Kugelporen mit Durchmessern von ca. 0,5 bis 1,5 mm bildet und die Form ausfüllt.

Der Rohblock wird nach dem Ausschalen mit Stahldrähten geschnitten und in Autoklaven bei ca. 190°C in 6 bis 12 Stunden gehärtet. Alle Bauteile werden in einer ausgereiften Produktions- und Schneidetechnik maßgenau hergestellt. Das ermöglicht saubere und präzise Bauteiloberflächen und Konstruktionen.

Als Produkte werden angeboten:

- Blocksteine, Plansteine, Bauplatten, Planbauplatten
- Bewehrte Porenbeton-Bauteile, z.B. Dach- und Deckenplatten, Wandplatten und -tafeln, FT-Stürze



**Bild 1.6:** Typische Abmessungen für Porenbeton-Plansteinen und Planelemente

### 1.3.4 Betonstein

Aus Beton und Leichtbeton werden Vollsteine, Blocksteine, Hohlblocksteine und Wandbauplatten hergestellt. Weiterhin gibt es Formstücke und Mantelrohre für Schornsteine, Dachsteine aus Beton, Betonwerksteine und Rohre aus Beton. Häufig eingesetzt werden diese als Betonpflastersteine. In ihren Eigenschaften, ihrer Herstellungsart und Zusammensetzung unterscheiden sie sich nicht von Normal- bzw. Leichtbeton. Die Abmessungen orientieren sich an den Abmessungen von Ziegeln und Kalksandsteinen.



**Bild 1.7:** Beispiele für Betonsteine

### 1.3.5 Mörtel

**Mauermörtel** ist ein Gemisch aus Bindemittel, Wasser und Gesteinskörnungen bis 4 mm Größtkorn. Zusatzstoffe und Zusatzmittel können wie bei Beton zugesetzt werden.

- **Baustellenmörtel** wird auf der Baustelle nach Raumteilen gemischt. Wasser wird bis zur gewünschten Konsistenz zugegeben.
- **Werkmörtel** wird im Werk genau dosiert hergestellt. Er kann als Trockenmörtel oder Frischmörtel angeliefert werden. Bei großen Mengen kann Mehrkammer-Silomörtel verwendet werden.

Als Bindemittel für Mauermörtel kommen Baukalke, Zement sowie Putz- und Mauerbinder (PM) in Betracht. Es wird zwischen Normalmörtel, Leichtmörtel und Dünnbettmörtel unterschieden.

- **Normalmauermörtel** (NM) sind Mörtel mit Gesteinskörnungen mit dichtem Gefüge und einer Trockenrohdichte ab  $1,5 \text{ kg/dm}^3$ . Sie werden in je nach Festigkeit in die Mörtelgruppen I, II, IIa, III und II-la eingeteilt.
- **Leichtmauermörtel** (LM) hat eine Trockenrohdichte unter  $1,5 \text{ kg/dm}^3$ . Er wird mit Gesteinskörnungen mit porigem Gefüge hergestellt und nach der Wärmeleitfähigkeit in die Gruppen LM 21 und LM 36 eingeteilt.
- **Dünnbettmörtel** (DM) sind Zementmörtel mit Sand bis 1 mm Korngröße. Sie gehören wegen ihrer hohen Druckfestigkeit zur Mörtelgruppe III.

**Mörtelgruppe I** darf nur für Gebäude bis zu zwei Vollgeschosse mit Wanddicken von mindestens 24 cm verwendet werden. Nicht zulässig ist diese für Kellermauerwerk, Gewölbe, Außenschalen von zweischaligem Mauerwerk. Anforderung an die Druckfestigkeit werden nicht gestellt.

Keine Einschränkung gibt es für die **Mörtelgruppe II und IIa**. Die Druckfestigkeit beträgt mindestens 2,5 N/mm<sup>2</sup> für MG II und 5,0 N/mm<sup>2</sup> für MG IIa. **Mörtelgruppe III und IIIa** darf nicht für Außenschalen von zweischaligem Mauerwerk verwendet werden. Druckfestigkeiten sind mindestens 10 N/mm<sup>2</sup> für MG III und 20 N/mm<sup>2</sup> für MG IIIa.

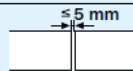
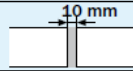
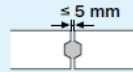
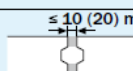
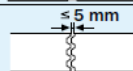
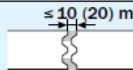
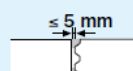
Bei Dünnbettmörtel darf das Wasser nicht zu schnell entzogen werden; die Steine sollten vorgeätzt werden.

### 1.3.6 Mörtelfugen

Die Fugen sind neben der Standsicherheit auch für den Wärme-, Schall- und Brandschutz maßgebend. Bei Außenwänden sind die Fugen zum Schutz vor Schlagregen sorgfältig auszuführen. Aufgrund der Steinabmessungen ergeben sich in Mauerwerkswänden zwangsläufig Fugen. **Lagerfugen** sind die horizontalen Mörtelfugen zwischen zwei Steinlagen, während die vertikalen Fugen zwischen den Einzelsteinen als **Stoßfugen** bezeichnet werden. Stoß- und Lagerfugen in Mauerwerkswänden dienen u.a. zum Ausgleich der zulässigen herstellungsbedingten Toleranzen der Steine sowie zur gleichmäßigeren Verteilung der Belastung auf die Einzelsteine. Kalksand-Plansteine können aufgrund der herstellbedingten, hohen Maßhaltigkeit mit Dünnbettmörtel verarbeitet werden.

**Lagerfugen** sind i.d.R. vollfugig zu vermauern. Ihre Fugendicke ist in Abhängigkeit der Steinabmessungen an das früher gebräuchliche Baurichtmaß angepasst, woraus sich folgende Sollmaße ergeben: Schichtmaß = Lagerfuge + Steinmaß =  $n \cdot 12,5$  cm (mit  $n$  = ganzzahliger Wert). Übliche Sollmaße der Lagerfugendicke sind bei Normalmauermörtel 12 mm und bei Dünnbettmörtel 2 mm.

Die Ausbildung der **Stoßfugen** ist von der Steinart abhängig. Sie können vollfugig, teilfugig mit Mörteltasche oder unvermörtelt mit Verzahnung hergestellt werden. Die Sollmaße der Stoßfugenbreite betragen üblicherweise bei Steinen mit Nut-Feder-System 2 mm (i.d.R. ohne Stoßfugenvermörtelung) und bei glatten Steinen (ohne Nut-Feder-System) 10 mm (i.d.R. mit Stoßfugenvermörtelung). 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 vollfächig vermörtelt Stoßfugenbreite: 10 mm	
2 Stoßfugenausbildung mit Mörteltaschen ● Steine knirsch verlegt, Mörteltasche mit Mörtel gefüllt	
● Steinflanken vermörtelt	
3 Stoßfugenausbildung mit Nut-Feder-System ● Steine knirsch verlegt	
● Steinrandbereiche vermörtelt	
4 Stoßfugenausbildung eines geschnittenen Steins an Nut-Feder-System ● Steinrandbereiche vermörteln	

**Tab. 1.12:** Stoßfugenausbildung von KS-Mauerwerkswänden

## 1.4 Wandarten

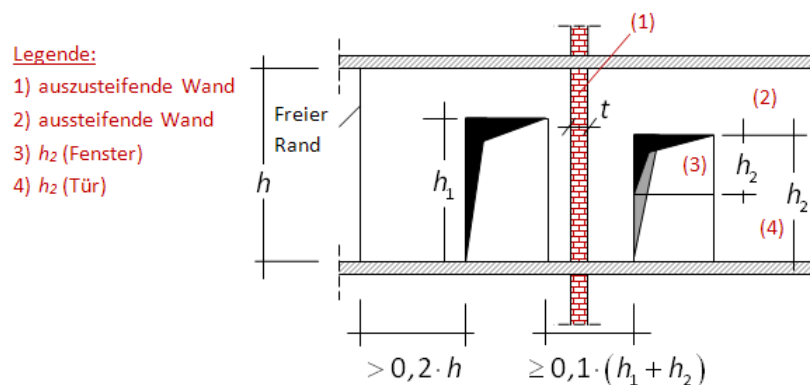
Typische Wandkonstruktionen sind Innenwände, Außenwände und Kellerwände. Als **tragende** und **aussteifende Wände** müssen sie die Anforderungen an die Standsicherheit erfüllen.

- Innenwände: Schallschutz, Brandschutz
- Außenwände: Wärmeschutz, Schlagregen
- Kellerwände: Erddruck, Feuchtigkeit

**Tragende Wände** werden zur Aufnahme von Lasten bzw. zur Lastweiterleitung herangezogen und müssen eine Grundrissfläche von über  $0,04 \text{ m}^2$  aufweisen. Bei Verwendung von Hohlblocksteinen und Hohllochsteinen sowie Steinen mit Grifföffnungen oder Grifflöchern muss die Grundrissfläche des Einzelsteins mehr als  $0,04 \text{ m}^2$  betragen. Sind lediglich horizontale Lasten in Wandebene aufzunehmen, so spricht man von einer **Schubwand**.

**Nichttragende Wände** werden bis auf die Ableitung ihres Eigengewichts nicht weiter zur Aufnahme von Lasten herangezogen. Deren Entfernen wird das Tragwerk nicht nachteilig beeinflussen.

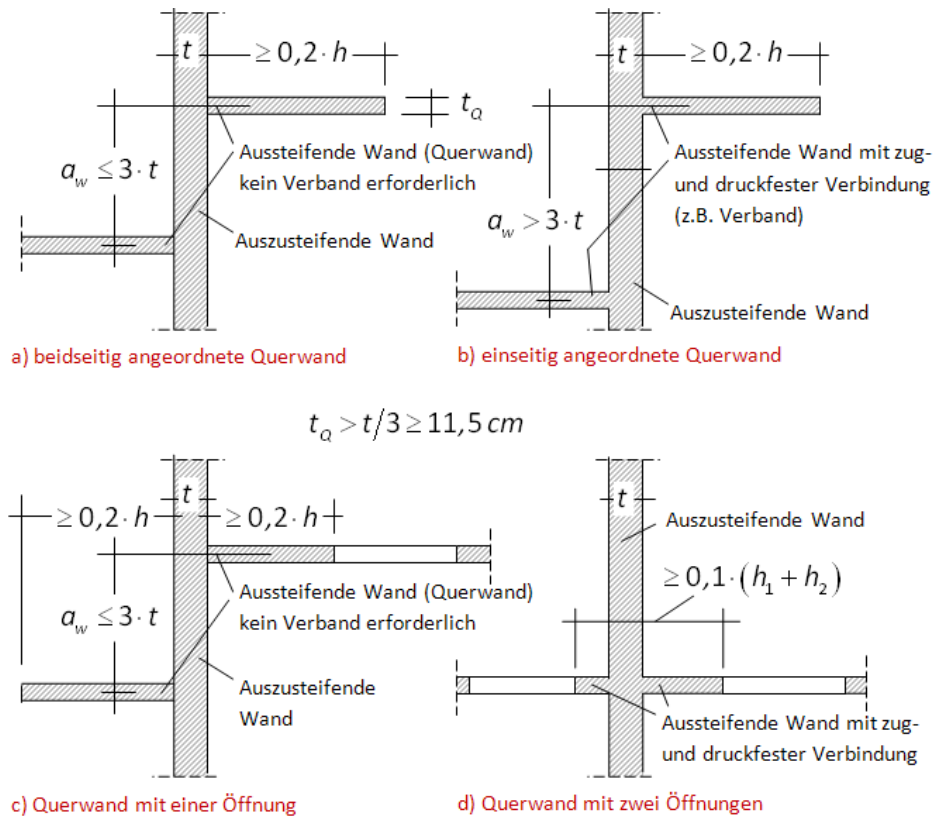
Eine **aussteifende Wand** ist eine rechtwinklig zu einer anderen Wand stehende Wand, die dieser als Auflager zur Aufnahme von waagerechten Kräften oder zur Knickaussteifung dient (Kap. 2.2) und damit einem Gebäude Stabilität verleiht. Aussteifende Wände sollten eine Länge von mindestens  $1/5$  der lichten Geschosshöhe und eine Dicke von mindestens dem  $0,3$ -fachen der effektiven Dicke der auszusteienden Wand bzw.  $11,5 \text{ cm}$  aufweisen. Ist die aussteifende Wand durch Öffnungen unterbrochen, so sollte die Länge der Wand zwischen den die aussteifende Wand einschließenden Öffnungen mindestens so groß wie nach Bild 1.8 sein, und die aussteifende Wand sollte über eine Länge von mindestens  $1/5$  der lichten Geschosshöhe über jede Öffnung hinausgehen (vgl. Bild 1.8).



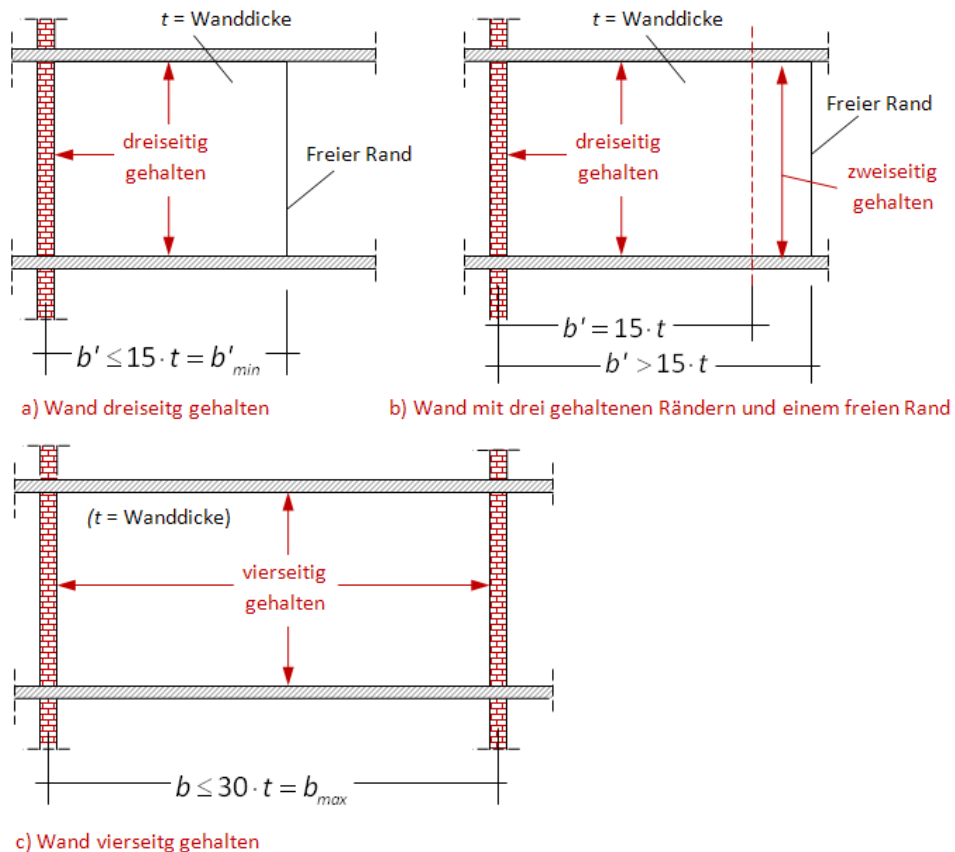
**Bild 1.8:** Mindestlänge einer aussteifenden Wand mit Öffnungen

In der Regel ist eine zug- und druckfeste Verbindung mit der auszusteienden Wand erforderlich. Ausnahmen sind zulässig, wenn die Bedingungen nach Bild 1.9 eingehalten sind.

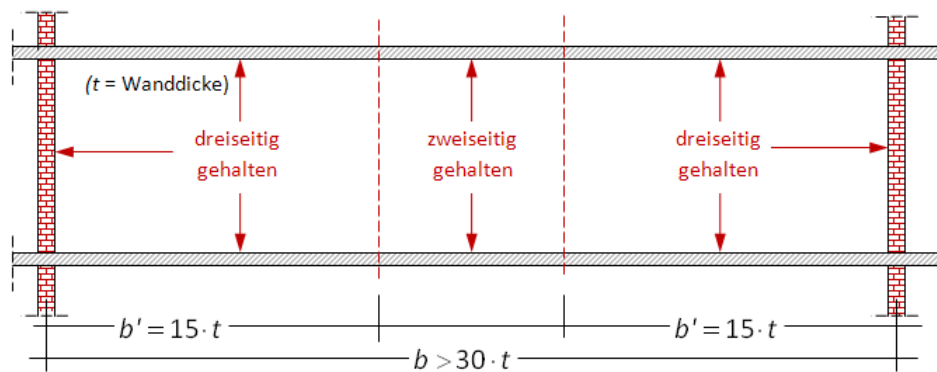
**Auszusteiende Wände** sind solche, die durch Anordnung von Querwänden besser gegen horizontale Lasten (z.B. Erddruck) oder Knicken gesichert sind. Auszusteiende Wände sind i.d.R. drei- oder vierseitig gehalten, was zu einem günstigeren Bemessungsergebnis (Stichwort: Reduzierung der Knicklänge) führt. Da im Mauerwerksbau überwiegend Geschosdecken vorhanden sind, sind die Wände bereits oben und unten – also zweiseitig – gehalten. In Bild 1.10 sind die Regelungen der Norm wiedergegeben, mit denen die Unterscheidung nach 2-, 3- oder 4-seitiger Halterung vorgenommen werden kann.



**Bild 1.9:** Bedingungen für zug- und druckfeste Verbindungen



**Bild 1.10 a:** Definition für zwei-, drei- und vierseitig gehaltene Wände



d) Wand mit vier gehaltenen Rändern

**Bild 1.10 b:** Definition für zwei-, drei- und vierseitig gehaltene Wände

## 1.5 Einwirkungen, Trennwandzuschlag

Die Bestimmung der Eigen- und Nutzlasten erfolgt nach DIN EN 1991-1-1/NA. Das Eigengewicht des Mauerwerks wird in Abhängigkeit von der Steinart, ihrer Rohdichteklasse, der Lochanteile und der Wanddicke einschließlich des Fugenmörtels in einschlägigen Bautabellen und insbesondere in Firmenbroschüren in der Dimension  $\text{kN/m}^2$  (Wandfläche) angegeben. Durch Multiplikation mit der lichten Wandhöhe  $h$  kann das **Wandgewicht** in  $\text{kN/m}$  (Wandlänge) angegeben werden. Der Wandputz ist ggf. mit einzukalkulieren.

Bei einem Wandgewicht (einschließlich Putz) von  $\leq 3,0 \text{ kN/m}$  ist bei den lastaufnehmenden Geschossdecken ein **Trennwandzuschlag** von  $q_k = 0,8 \text{ kN/m}^2$  (Grundfläche Decke) als veränderlicher Lastanteil zu den übrigen Nutzlasten hinzuzurechnen. Der Trennwandzuschlag erhöht sich auf  $q_k = 1,2 \text{ kN/m}^2$ , die das Wandgewicht (einschließlich Putz) größer  $3,0 \text{ kN/m}$  und  $\leq 5,0 \text{ kN/m}$  beträgt. Der Trennwandzuschlag darf entfallen, wenn die übrige veränderliche Nutzlast auf der Geschossdecke bereits mehr als  $5,0 \text{ kN/m}^2$  beträgt.

Bei einem noch höherem Wandgewicht von mehr als  $5,0 \text{ kN/m}$  (Wandlänge) ist das Eigengewicht der tragenden und auch der nichttragenden Wände als ständige Linienlast zu berücksichtigen.

### Beispiel 1.2: Bestimmung des Trennwandzuschlags

**Gegeben:** MW-Wand aus Porenbeton-Plansteinen (PP); Steinrohdenkklasse  $0,6 \text{ kg/dm}^3$ ; Dünnbettmörtel; Wandhöhe:  $h = 2,4 \text{ m}$ ; Wanddicke:  $t = 17,5 \text{ cm}$ ; beidseitig:  $1,5 \text{ cm}$  Gipsputz.

**Gesucht:** Höhe des Trennwandzuschlags, wenn Nutzlast auf Decke  $q_k < 5,0 \text{ kN/m}^2$ .

Wandflächengewicht (ohne Putz):  $g_{k,Wand} = 7 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,175 \text{ m} = 1,23 \text{ kN/m}^2$

beidseitiger Putz:  $g_{k,Putz} = 2 \cdot 0,015 \text{ m} \cdot 12 \text{ kN/m}^3 = 0,36 \text{ kN/m}^2$

Wandgewicht:  $g'_{k,Wand} = (1,23 + 0,36) \cdot 2,4 \text{ m} = 3,82 \text{ kN/m} > 3,0 \text{ kN/m}$  und  $\leq 5,0 \text{ kN/m}$

Trennwandzuschlag:  $q_k = \underline{1,2 \text{ kN/m}^2}$  (Zuschlag zur Deckennutzlast).