

BIW 3-02 Mauerwerksbau

# Bemessung – Vereinfachtes Verfahren Teil 2-1

Peter Schöps

Dresden, 27.10.202

## Gliederung der Vorlesungen

1. Einführung und Grundlagen (14.10.2023)
2. Bemessung – Vereinfachtes Verfahren (27.10.2023)
3. Bemessung – Genaues Verfahren (11.11.2023)
4. Bemessung – Horizontale Lasten und Aussteifung (25.11.2023)
5. Bemessung und Ausführung (09.12.2023)
6. Gebrauchstauglichkeit (06.01.2022)
7. Ingenieurbauwerke & spezielle Bauten (20.01.2022)

## Einführung

2. Bemessung – Vereinfachtes Verfahren
  1. Auswertung „Turmbau zu DD“
  2. Allgemeines zum Nachweisverfahren
  3. Anwendungsgrenzen des v.V.
  4. Schnittkraftermittlung
  5. Biegung und Knicken
  6. Ausfachungsflächen
  7. Kellerwände
  8. Aussteifung

## Druckfestigkeit - Drucknachweis

- „Turmbau zur Dresden“ (Beispiel 3.1)
- Varianten
  - Ziegel Mz 28 + MG III
  - KS 20 + DM
  - PP8 + DM
  - PP2 + DM
  - Kalkstein
- Vergleich mit
  - C25/30 (Beton)
  - S235 (Stahl)
  - C24 (Holz)
- Mit Bemessungswerten ( $\gamma_M$ )

## Turmbau zu DD

			Plansteine								
Stein			Mz 28	KS-P 20	PP 8	PP 2	Kalkstein	C25/30	S235	C24	C24
Mörtel			MG III	DM	DM	DM	80 - 180 N/mm <sup>2</sup>				⊥
Steinfestigkeitsklasse	$f_b$ o. $f_{bk}$ (NA)	N/mm <sup>2</sup>	28	20	8	2					
Steinfestigkeit (Mittelwert)	$f_{st}$ (NA)	N/mm <sup>2</sup>	35	25	10	2,5	130				
Mörtelfestigkeit (Rechenwert)	$f_m$	N/mm <sup>2</sup>	10	10	10	10					
	K		0,95	0,8	0,9	0,9					
	$\alpha$		0,585	0,8	0,75	0,75					
	$\beta$		0,162								
Mauerwerksfestigkeit nach EC6-1-1/NA	$f_k$	N/mm <sup>2</sup>	11,0	10,5	5,1	1,8	8,3				
Mauerwerksfestigkeit nach EC6-3/NA oder nach der jeweiligen Norm	$f_k$	N/mm <sup>2</sup>	11,0	10,5	5,1	1,8		25	235	21	2,5
Teilsicherheitsbeiwert Widerstand	$\gamma_M$		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,3	1,3
	$k_{mod}$									0,8	0,8
Dauerstandsfaktor	$\zeta$		0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	1,0		
Druckfestigkeit (Bemessungswert)	$f_d$	N/mm <sup>2</sup>	6,2	6,0	2,9	1,0	4,7	14,2	235,0	12,9	1,5
Wichte Mauerwerk	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	18	20	9	6	28	25	78,5	4,2	4,2
Teilsicherheitsbeiwert Einwirkung	$\gamma_E$		1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Eigengewichtshöhe	h	m	257	220	238	126	124	420	2218	2279	271

## Druckfestigkeit - Standardverfahren

$$f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta \quad (3.1)$$

Dabei ist

st im NA

- $f_k$  die charakteristische Druckfestigkeit von Mauerwerk in  $\text{N/mm}^2$ ;
- $K$  eine Konstante, die – sofern notwendig – nach 3.6.1.2(3) und/oder 3.6.1.2(6) zu modifizieren ist;
- $\alpha, \beta$  Konstanten;
- $f_b$  die normierte Mauersteindruckfestigkeit in Lastrichtung in  $\text{N/mm}^2$ ;
- $f_m$  die Druckfestigkeit des Mauermörtels in  $\text{N/mm}^2$ .

# Druckfestigkeit - Faktoren

$$f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta$$

**Tabelle NA.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*	0,95	0,585	0,162
	NM III**, IIIa**			
* Die Druckfestigkeit des Mauerwerks darf nicht größer angenommen werden als für die Steinfestigkeiten $f_{st} = 45 \text{ N/mm}^2$ .				
** Die Druckfestigkeit des Mauerwerks darf nicht größer angenommen werden als für Steinfestigkeiten $f_{st} = 60 \text{ N/mm}^2$ .				

**Tabelle NA.10 — Parameter zur Ermittlung der Druckfestigkeit von Einsteinmauerwerk aus Porenbeton mit Dünnbettmörtel**

Steinart	Mittlere Steindruckfestigkeit N/mm <sup>2</sup>	Mörtelart	Parameter		
			$K$	$\alpha$	$\beta$
Vollsteine aus Porenbeton	$2,5 \leq f_{st} < 5,0$	DM	0,90	0,76	-
	$5,0 \leq f_{st} \leq 10,0$		0,90	0,75	-

## Turmbau zu DD

			Plansteine								
Stein			Mz 28	KS-P 20	PP 8	PP 2	Kalkstein	C25/30	S235	C24	C24
Mörtel			MG III	DM	DM	DM	80 - 180 N/mm <sup>2</sup>				⊥
Steinfestigkeitsklasse	$f_b$ o. $f_{bk}$ (NA)	N/mm <sup>2</sup>	28	20	8	2					
Steinfestigkeit (Mittelwert)	$f_{st}$ (NA)	N/mm <sup>2</sup>	35	25	10	2,5	130				
Mörtelfestigkeit (Rechenwert)	$f_m$	N/mm <sup>2</sup>	10	10	10	10					
	K		0,95	0,8	0,9	0,9					
	$\alpha$		0,585	0,8	0,75	0,75					
	$\beta$		0,162								
Mauerwerksfestigkeit nach EC6-1-1/NA	$f_k$	N/mm <sup>2</sup>	11,0	10,5	5,1	1,8	8,3				
Mauerwerksfestigkeit nach EC6-3/NA oder nach der jeweiligen Norm	$f_k$	N/mm <sup>2</sup>	11,0	10,5	5,1	1,8		25	235	21	2,5
Teilsicherheitsbeiwert Widerstand	$\gamma_M$		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,3	1,3
	$k_{mod}$									0,8	0,8
Dauerstandsfaktor	$\zeta$		0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	1,0		
Druckfestigkeit (Bemessungswert)	$f_d$	N/mm <sup>2</sup>	6,2	6,0	2,9	1,0	4,7	14,2	235,0	12,9	1,5
Wichte Mauerwerk	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	18	20	9	6	28	25	78,5	4,2	4,2
Teilsicherheitsbeiwert Einwirkung	$\gamma_E$		1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Eigengewichtshöhe	h	m	257	220	238	126	124	420	2218	2279	271

## Druckfestigkeit – EC 6-3/NA

**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**

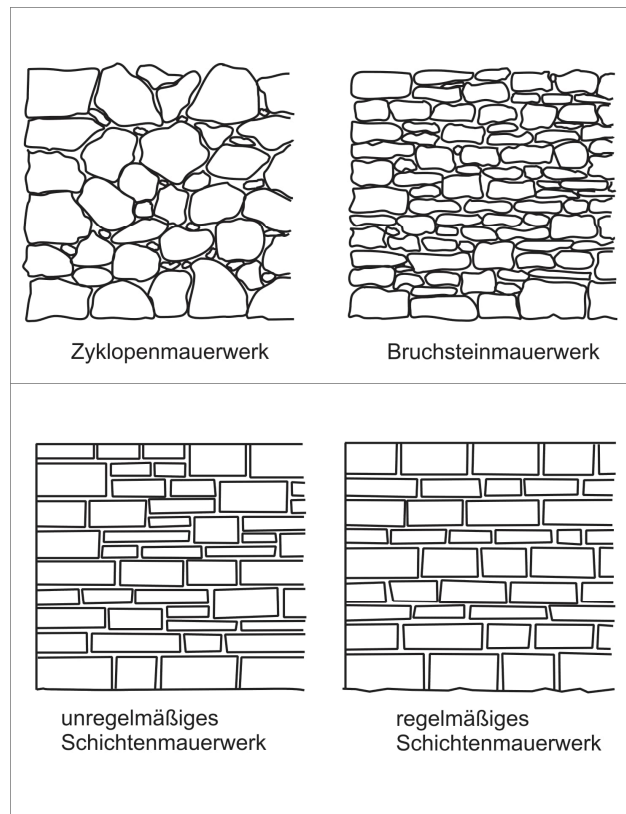
Steindruckfestigkeitsklasse	$f_k$ N/mm <sup>2</sup>			
	NM II	NM IIa	NM III	NM IIIa
2	---	---	---	---
4	2,8	---	---	---
6	3,6	4,0	---	---
8	4,2	4,7	---	---
10	4,8	5,4	6,0	---
12	5,4	6,0	6,7	7,5
16	6,4	7,1	8,0	8,9
20	7,2	8,1	9,1	10,1
28	8,8	9,9	11,0	12,4
36	10,2	11,4	12,7	14,3
48	10,2	11,4	15,1	16,9
60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

## Druckfestigkeit - Allgemein

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} \zeta$$

- $\gamma_q = 1.5$  Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Lasten
- $\gamma_g = 1.35$  Teilsicherheitsbeiwert für ständige Lasten
- $\gamma_M$  Teilsicherheitsbeiwert auf der Materialseite bei unbewehrtem Mauerwerk
- $\gamma_M = 1.5$  bei ständiger und vorübergehender Bemessungssituation
- $\gamma_M = 1.35$  bei außergewöhnlicher Bemessungssituation  
(nach DIN EN 1996-1-1 [10, Tabelle NA.1])
- $\zeta$  Dauerstandfaktor (= 0,85)  
Faktor für Verbandsmauerwerk

## Verbände (Kapitel 4) - Natursteinmauerwerk



DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05

Tabelle NA.L.2 — Charakteristische Werte  $f_k$  der Druckfestigkeit von Natursteinmauerwerk mit Normalmauermörtel

Güteklasse	Steinfestigkeit <sup>b</sup>	Werte der Druckfestigkeit $f_k^a$ N/mm <sup>2</sup> in Abhängigkeit von den Mörtelgruppen nach DIN V 18580			
		NM I	NM II	NM IIa	NM III
N1	$\geq 20$	0,6	1,4	2,2	3,3
	$\geq 50$	0,8	1,7	2,5	3,9
N2	$\geq 20$	1,1	2,5	3,9	5,0
	$\geq 50$	1,7	3,0	4,4	5,5
N3	$\geq 20$	1,4	4,2	5,5	6,9
	$\geq 50$	1,9	5,5	6,9	9,7
	$\geq 100$	2,8	6,9	8,3	11,1
N4	$\geq 20$	3,3	5,5	6,9	8,3
	$\geq 50$	5,5	9,7	11,1	13,9
	$\geq 100$	8,3	12,5	15,2	19,4

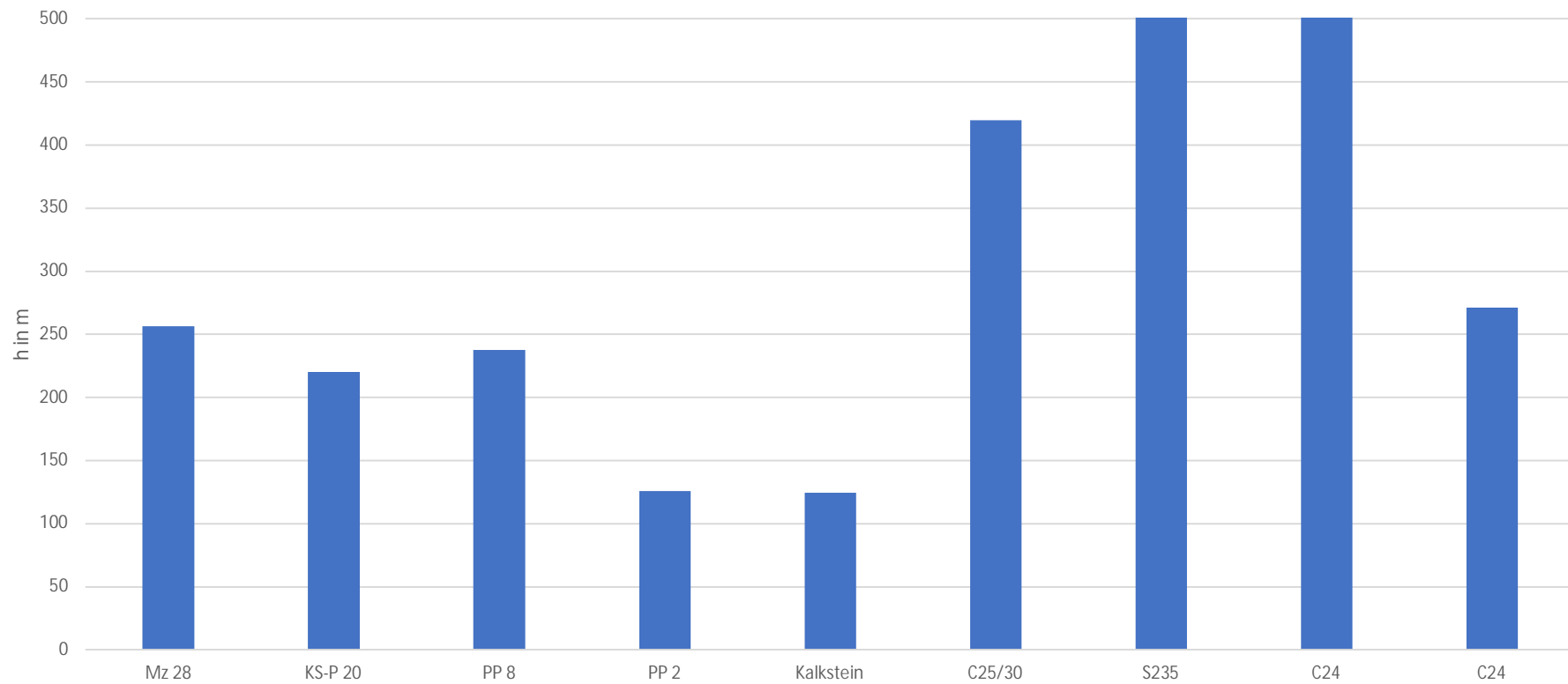
a Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

b entspricht dem 5%-Quantilwert der Druckfestigkeit bei 95% Aussagewahrscheinlichkeit.

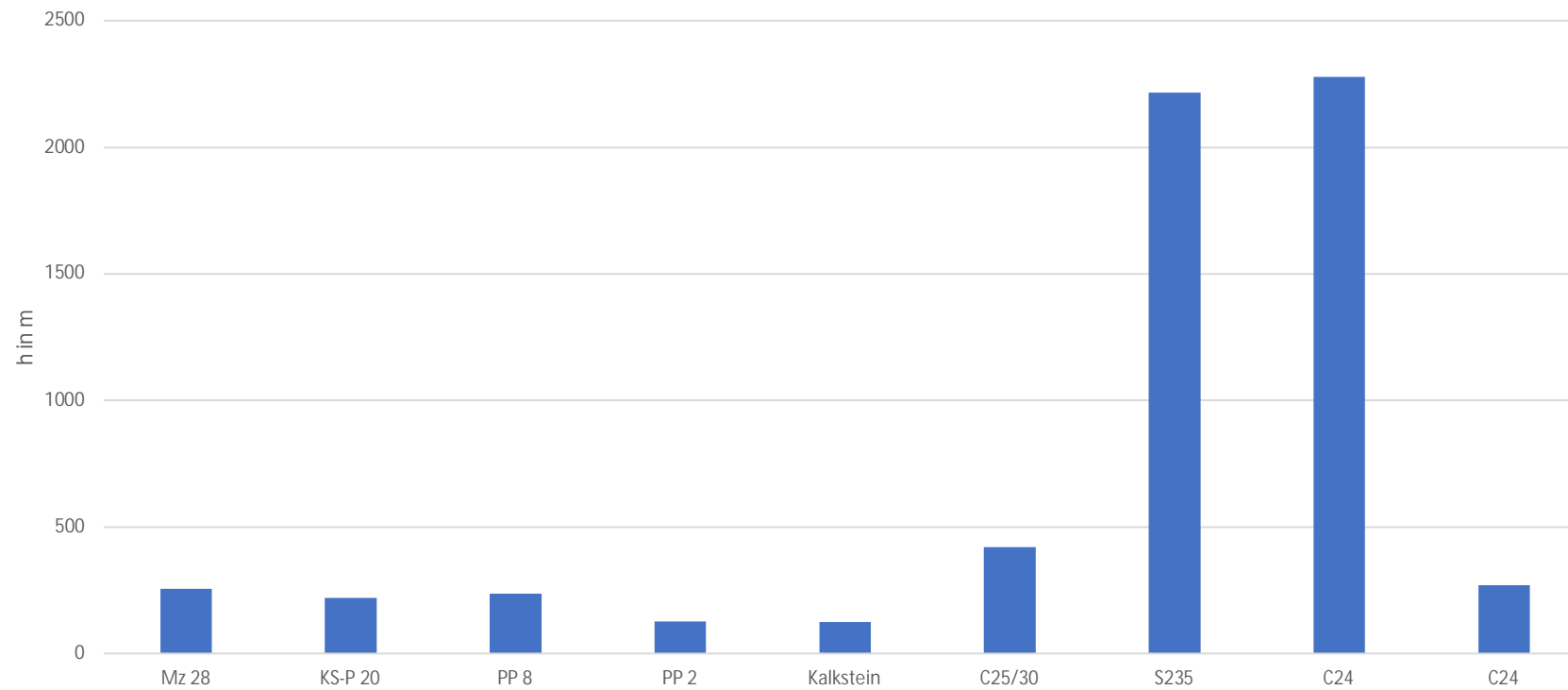
## Turmbau zu DD

			Plansteine								
Stein			Mz 28	KS-P 20	PP 8	PP 2	Kalkstein	C25/30	S235	C24	C24
Mörtel			MG III	DM	DM	DM	80 - 180 N/mm <sup>2</sup>				⊥
Steinfestigkeitsklasse	$f_b$ o. $f_{bk}$ (NA)	N/mm <sup>2</sup>	28	20	8	2					
Steinfestigkeit (Mittelwert)	$f_{st}$ (NA)	N/mm <sup>2</sup>	35	25	10	2,5	130				
Mörtelfestigkeit (Rechenwert)	$f_m$	N/mm <sup>2</sup>	10	10	10	10					
	K		0,95	0,8	0,9	0,9					
	$\alpha$		0,585	0,8	0,75	0,75					
	$\beta$		0,162								
Mauerwerksfestigkeit nach EC6-1-1/NA	$f_k$	N/mm <sup>2</sup>	11,0	10,5	5,1	1,8	8,3				
Mauerwerksfestigkeit nach EC6-3/NA oder nach der jeweiligen Norm	$f_k$	N/mm <sup>2</sup>	11,0	10,5	5,1	1,8		25	235	21	2,5
Teilsicherheitsbeiwert Widerstand	$\gamma_M$		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,3	1,3
	$k_{mod}$									0,8	0,8
Dauerstandsfaktor	$\zeta$		0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	1,0		
Druckfestigkeit (Bemessungswert)	$f_d$	N/mm <sup>2</sup>	6,2	6,0	2,9	1,0	4,7	14,2	235,0	12,9	1,5
Wichte Mauerwerk	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	18	20	9	6	28	25	78,5	4,2	4,2
Teilsicherheitsbeiwert Einwirkung	$\gamma_E$		1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Eigengewichtshöhe	h	m	257	220	238	126	124	420	2218	2279	271

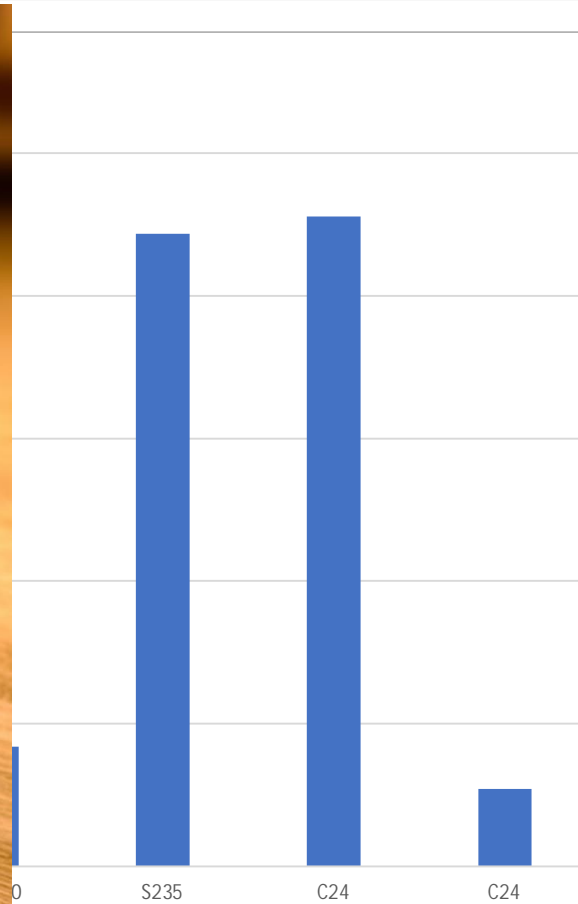
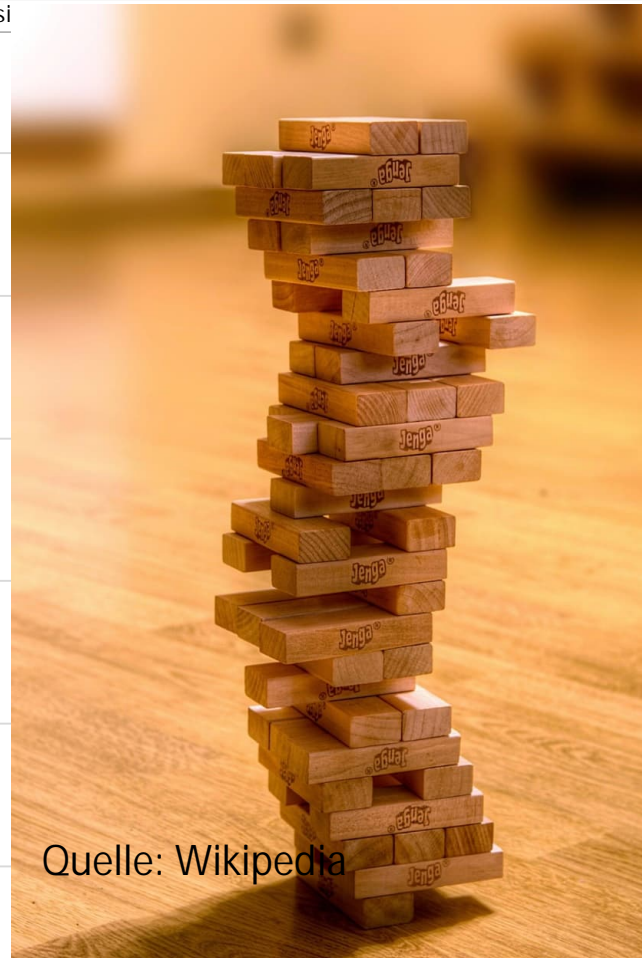
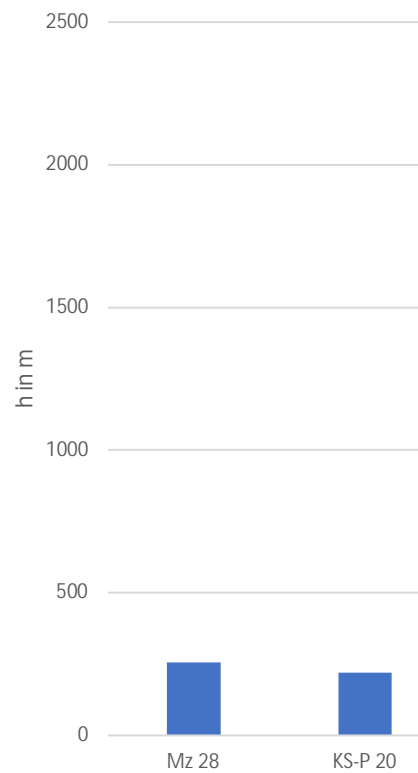
## Turmbau zu DD



## Turmbau zu DD



## Turmbau zu DD

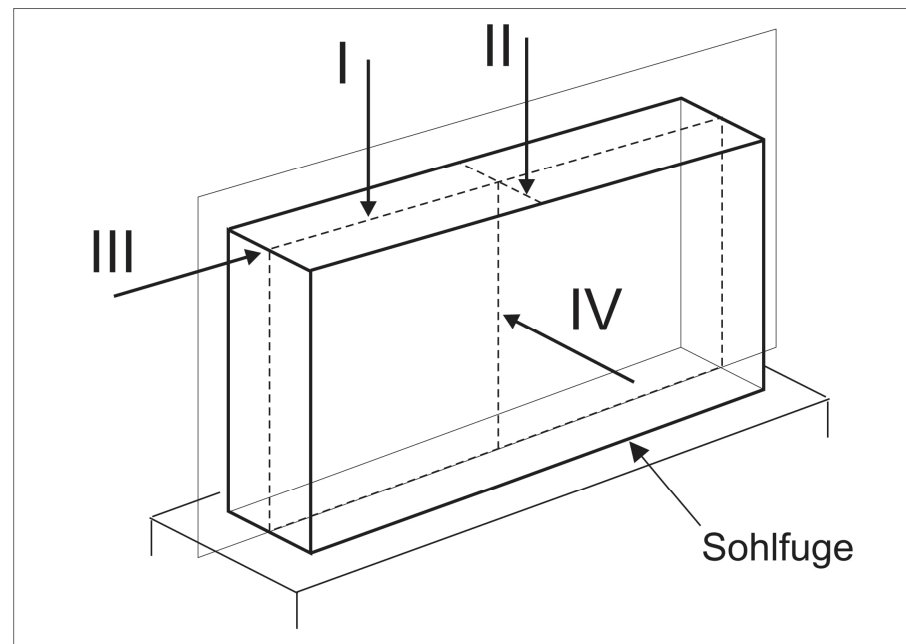


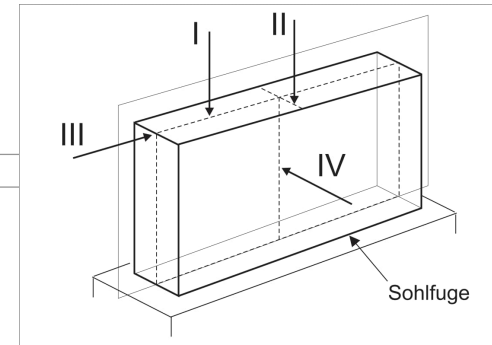
## Allgemeines zum Nachweisverfahren

- DIN EN 1990
- DIN EN 1990/NA

$$E_d \leq R_d$$

## Beanspruchungsmöglichkeiten (Kapitel 5)

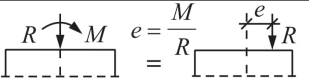




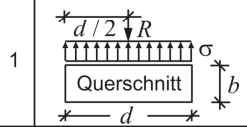
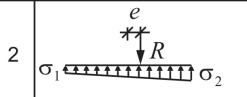
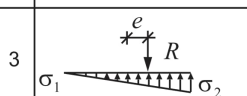
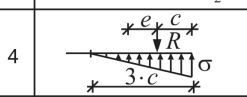
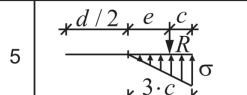
# Allgemeines zum Nachweisverfahren

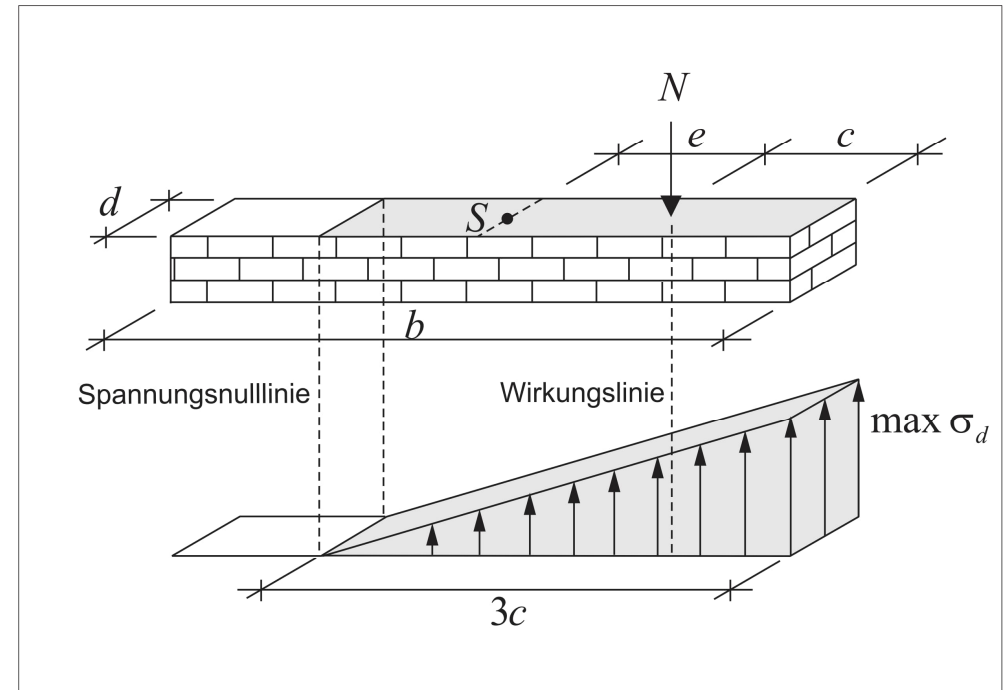
Randspannungen bei rechteckigen Querschnitten  
(Zugspannungen können nicht aufgenommen werden)

Kantenpressung bei einachsiger Ausmittigkeit



$$e = \frac{M}{R}$$

Belastungs- und Spannungsschema	Lage der resultierenden Kraft	Randspannungen
	$e = 0$ (R in der Mitte)	$\sigma = \frac{R}{b \cdot d}$
	$e < \frac{d}{6}$ (R innerhalb des Kerns)	$\sigma_1 = \frac{R}{b \cdot d} \left(1 - \frac{6 \cdot e}{d}\right)$ $\sigma_2 = \frac{R}{b \cdot d} \left(1 + \frac{6 \cdot e}{d}\right)$
	$e = \frac{d}{6}$ (R auf dem Kernrand)	$\sigma_1 = 0$ $\sigma_2 = \frac{2 \cdot R}{b \cdot d}$
	$\frac{d}{6} < e < \frac{d}{3}$ (R außerhalb des Kerns)	$\sigma = \frac{2 \cdot R}{3 \cdot c \cdot b}$ $c = d / 2 - e$
	$e = \frac{d}{3}$	$\sigma = \frac{4 \cdot R}{b \cdot d}$

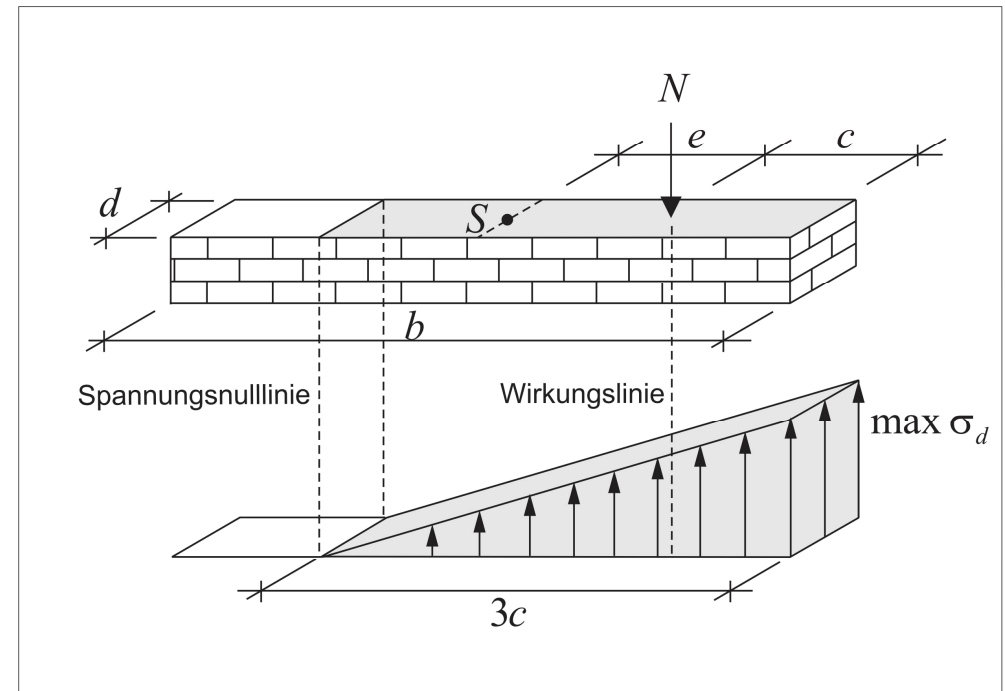
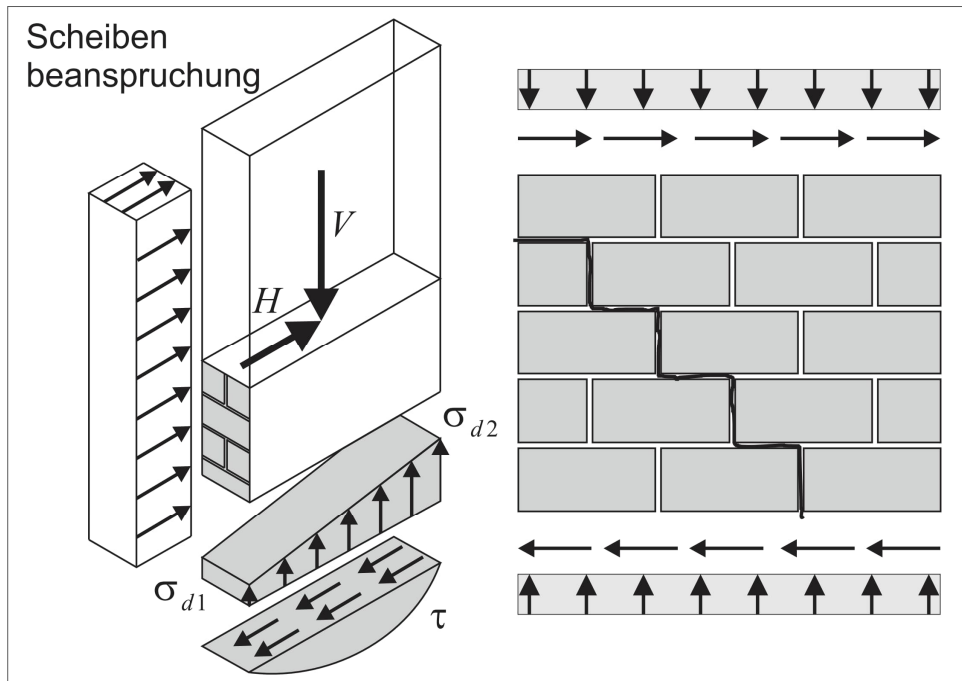
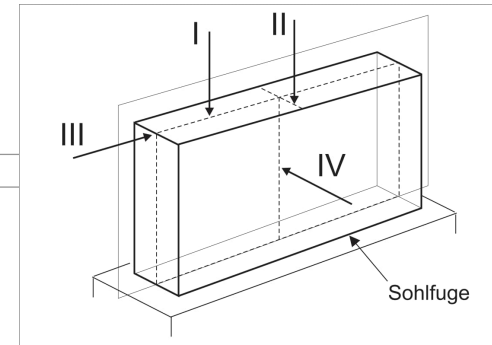


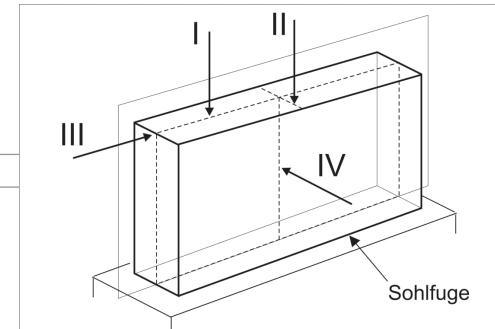
## Scheibenbiegung

## Allgemeines zum Nachweisverfahren

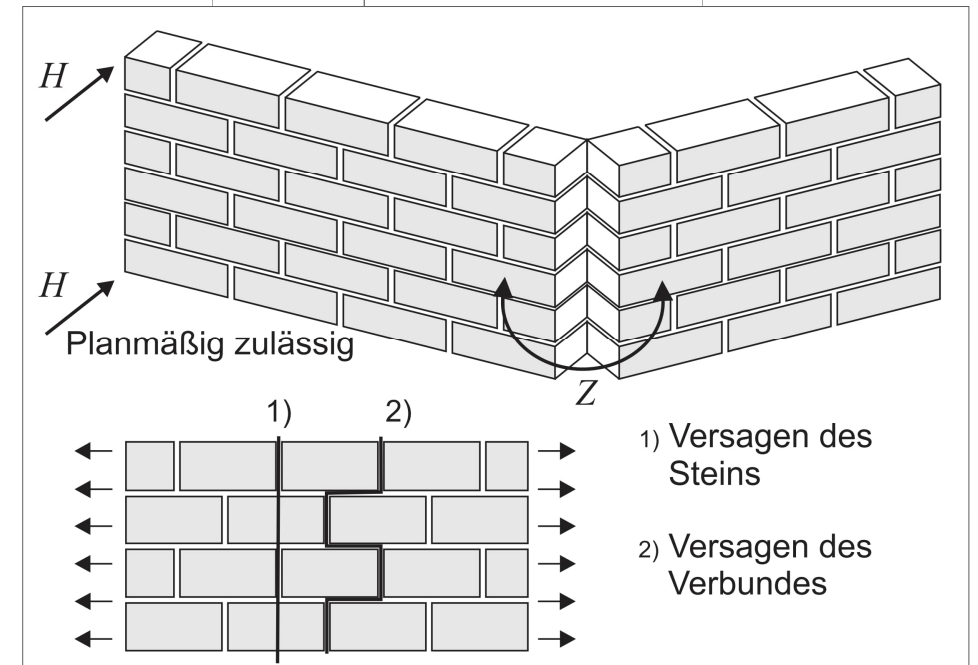
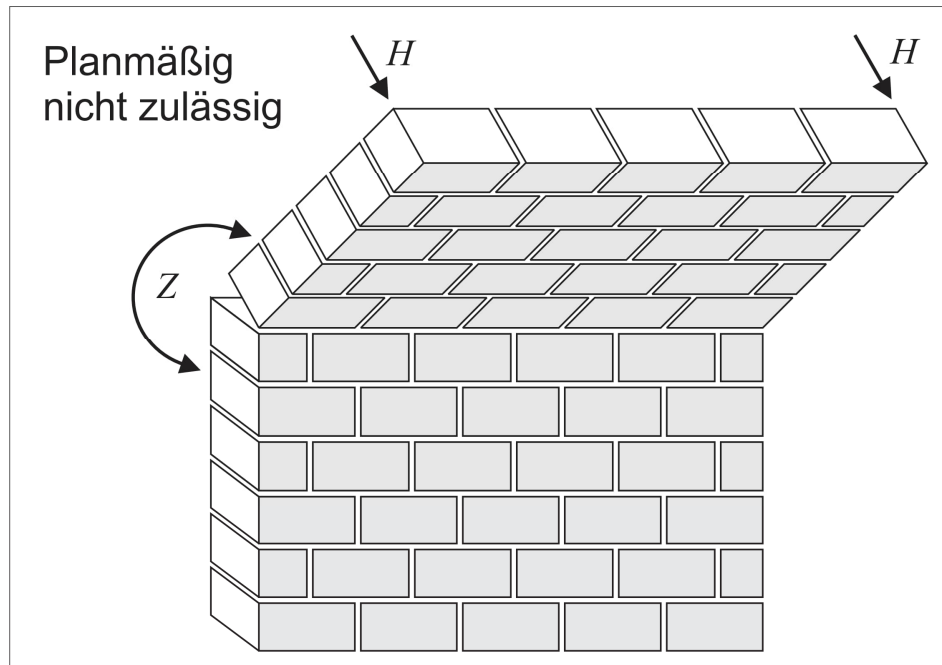
$$e = \frac{M}{N}$$

# Allgemeines zum Nachweisverfahren





## Allgemeines zum Nachweisverfahren



## Plattenbiegung

# Bauordnung

– SächsBO – VwV TB – Anlage 1  
- Abschnitt A – A 1.2.6

 Teil 

Lfd. Nr.	Anforderungen an Planung, Bemessung und Ausführung gemäß § 88a Absatz 2 SächsBO	Technische Regeln/Ausgabe	Weitere Maßgaben gemäß § 88a Absatz 2 SächsBO
1	2	3	4
<b>A 1.2.6 Bauliche Anlagen im Mauerwerksbau</b>			
A 1.2.6.1	Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten	DIN EN 1996	
	Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk	DIN EN 1996-1-1:2013-02 DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 DIN EN 1996-1-1/NA/A1:2014-03 DIN EN 1996-1-1/NA/A2:2015-01	Anlage A 1.2.6/1
	Tragwerksbemessung für den Brandfall	DIN EN 1996-1-2:2011-04 DIN EN 1996-1-2/NA:2013-06	Anlage A 1.2.6/2
	Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk	DIN EN 1996-2:2010-12 DIN EN 1996-2/NA:2012-01	
	Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten	DIN EN 1996-3:2010-12 DIN EN 1996-3/NA:2012-01 DIN EN 1996-3/NA/A1:2014-03 DIN EN 1996-3/NA/A2:2015-01	
A 1.2.6.2	Fertigbauteile	DIN 1053-4:2013-04	Anlage A 1.2.6/3
A 1.2.6.3	Verankerungen in Mauerwerk mit nachträglich gesetzten Befestigungsmitteln	Verankerungen in Mauerwerk mit nachträglich gesetzten Befestigungsmitteln – Anforderung an Planung, Bemessung und Ausführung: 2016-06 (Anhang 3)	

# Bauordnung

- SächsBO – VwV TB – Anlage 1
- Abschnitt A – A 1.2.6

Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten

DIN EN 1996-3:2010-12  
DIN EN 1996-3/NA:2012-01  
DIN EN 1996-3/NA/A1:2014-03  
DIN EN 1996-3/NA/A2:2015-01

## Allgemeines zum Nachweisverfahren (Kapitel 9.2)

- Lasten und Baustoffeigenschaften (→ Festigkeit) unterliegen mehr oder weniger großen Streuungen.
- Die Berechnungsverfahren sind nicht immer genau, um den Berechnungsaufwand zu begrenzen.
- Die Planung wird mit mehr oder weniger großen Abweichungen in die Realität umgesetzt.
- → Sicherheitsabstände erforderlich!



Bild NA.L.4 — Beispiel für Bruchstein-Schichtenmauerwerk

## Allgemeines zum Nachweisverfahren (Kapitel 9.2)

- Lasten bzw. Einwirkungen
  - Ständige Einwirkungen mit charakteristischem Wert  $A_G$
  - Veränderliche Einwirkungen mit charakteristischem Wert  $A_Q$ , diese können auch in verschiedener Form und unabhängig voneinander auftreten ( $\rightarrow A_{Q,1}, A_{Q,2} \dots$ ).
  - Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite  $\gamma_G, \gamma_Q$ 
    - Unterscheidung möglich, verschiedenen Einwirkungen mit unterschiedlicher Streuung
    - Außerdem können Einwirkungen mit günstigen oder ungünstigen Auswirkungen differenziert werden. Dafür werden für  $\gamma_G, \gamma_Q$  größte oder kleinste Werte angenommen.

## Allgemeines zum Nachweisverfahren

- Bemessungswert Auswirkungen

- Einwirkungen  $A$  führen auf Auswirkungen  $E$ , hier Beanspruchungen bzw. Schnittkräfte.
- Durch statische Berechnungen ergeben sich (etwas vereinfacht) Rechenwerte  $E_d$  der Schnittkräfte

$$E_d = E [\gamma_g \cdot A_g + \gamma_{q,1} \cdot A_{q,1} + \gamma_{q,2} \cdot \psi_2 \cdot A_{q,2} + \dots] \quad (9.1)$$

mit einem zusätzlichen Kombinationsbeiwert  $\psi$ .

Grundkombination  $E_d = E \left[ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \text{ „+“ } \gamma_P \cdot P \text{ „+“ } \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \text{ „+“ } \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right] \quad (4.3a)$

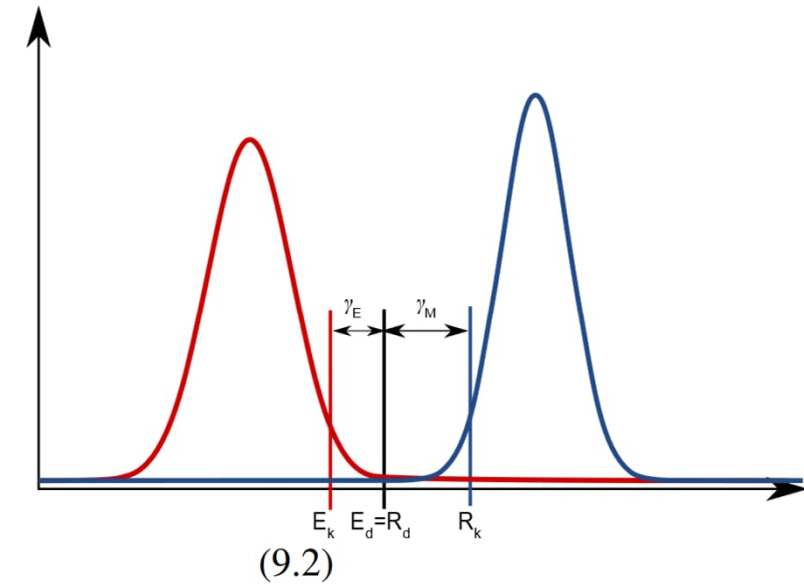
## Allgemeines zum Nachweisverfahren

- Überlagerungs- bzw. Kombinationsregeln
  - Die Größe  $\gamma_g \cdot A_g + \gamma_{q,1} \cdot A_{q,1} + \gamma_{q,2} \cdot \psi_2 \cdot A_{q,2} + \dots$  kann in vielfältiger Weise variiert werden.
    - \* Dies resultiert im Wesentlichen daraus, dass für jeden Anteil der größte oder kleinste Wert von  $\gamma_g$  bzw.  $\gamma_q$  möglich sind.
    - \* So ergeben sich z.B. für drei Einwirkungsanteile zunächst  $2^3 = 8$  Möglichkeiten, die alle hinsichtlich ihrer Auswirkungen zu untersuchen wären.
  - Um den Aufwand zu verringern, bestehen für viele Anwendungsbereiche vereinfachte Überlagerungsregeln.
  - Für weitere Informationen siehe DIN EN 1991 [3].

## Allgemeines zum Nachweisverfahren

- Bemessungswert Widerstände
  - Charakteristischer Wert Widerstände  $R_k$
  - Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite  $\gamma_R$
  - Bemessungswert Widerstände

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$$



## Druckfestigkeit - Allgemein

- Bemessungswert Widerstände
  - Charakteristischer Wert Widerstände  $R_k$
  - Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite  $\gamma_R$
  - Bemessungswert Widerstände

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} \quad (9.2)$$

- Nachweisformat

$$E_d \leq R_d \quad (9.3)$$

# Allgemeines zum Nachweisverfahren

- Nachweise
  - Nachweisarten
    - \* Tragsicherheit
    - \* Lagesicherheit
    - \* Gebrauchstauglichkeit

## Anwendungsgrenzen des vereinfachten Verfahrens (Kapitel 9.3.1)

- z.B. Kapitel 7, Abschnitt 6 in Schneider Bautabellen
- DIN EN 1996-3/NA
- Grundidee
  - Vernachlässigung spezieller Effekte – z.B.:
    - Biegemomente aus Deckeneinspannung,
    - ungewollte Exzentrizitäten beim Knicknachweis,
    - Wind auf Außenwände.
- Damit ergibt sich eine vereinfachte Berechnung.
- Als Kompensation wird der Sicherheitsabstand vergrößert.

## Anwendungsgrenzen des vereinfachten Verfahrens (Kapitel 9.3.1)

- Voraussetzungen, siehe DIN EN 1996-3 [7, Abschnitt 4.2.1]
  - Ringanker
  - Deckenaufлагertiefe  $a > 0,5 t > 100 \text{ mm}$
  - Gebäudehöhe über Gelände nicht mehr als 20 m.
  - Überbindemaß  $l_{o1} \geq 0,4 h_u \geq 45 \text{ mm}$
  - Keine freistehenden Wänden
  - Stützweite der aufliegenden Decken  $l \leq 6.0 \text{ m}$ , sofern nicht die Biegemomente durch konstruktive Maßnahmen, z. B. Zentrierleisten begrenzt werden. Bei zweiachsig gespannten Decken ist die kürzere Stützweite maßgebend.
  - Lichte Wandhöhen sind begrenzt, siehe DIN EN 1996-3 [7, Abschnitt 4.2.1.1]  
Erdgeschoss max. 3.2 m, außer wenn Gesamthöhe  $> 7.0 \text{ m}$  dann Erdgeschoss max. 4.0 m
  - Es sind Mindestwanddicken erforderlich, siehe DIN EN 1996-3 [7, Tabelle NA.2].
  - Verkehrslasten sind begrenzt, siehe DIN EN 1996-3 [7, Abschnitt 4.2.1.1]: maximaler charakteristischer Wert der veränderlichen Einwirkungen  $5.0 \text{ kN/m}^2$ .
- Falls diese Bedingungen nicht eingehalten sind, ist das sog. genauere Verfahren zu verwenden, siehe DIN EN 1996-1-1 [4], hier Abschnitt 9.3.2.

# Anwendungsgrenzen des vereinfachten Verfahrens (Kapitel 9.3.1)

**Tabelle NA.2 — Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Nachweisverfahrens**

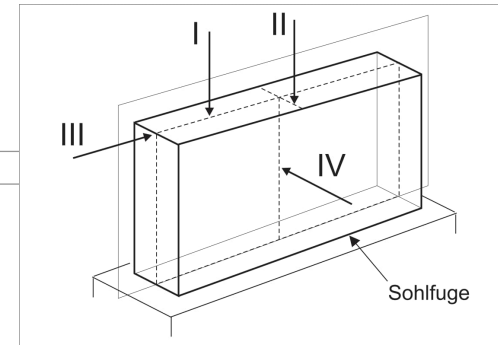
	Bauteil	Voraussetzungen			
		Wanddicke	lichte Wandhöhe	aufliegende Decke	
				Stützweite	Nutzlast <sup>a</sup>
<i>t</i> mm	<i>h</i> m	<i>l<sub>f</sub></i> m	<i>q<sub>k</sub></i> kN/m <sup>2</sup>		
1	tragende Innenwände	≥ 115 < 240	≤ 2,75	≤ 6,00	≤ 5
2		≥ 240			
3	tragende Außenwände und zweischalige Haustrennwände	≥ 115 <sup>b</sup> < 150 <sup>b</sup>	≤ 2,75	≤ 6,00	≤ 3
4		≥ 150 <sup>c</sup> < 175 <sup>c</sup>			
5		≥ 175 < 240			
6		≥ 240			≤ 12 t

<sup>a</sup> Einschließlich Zuschlag für nicht tragende innere Trennwände.

<sup>b</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 ≤ 4,50 m bzw. Randabstand von einer Öffnung ≤ 2,0 m.

<sup>c</sup> Bei charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeiten  $f_k < 1,8 \text{ N/mm}^2$  gilt zusätzlich Fußnote b.

## Biegung und Knicken



### 4.2.2.2 Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstands

(1) Der Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstands  $N_{Rd}$  darf ermittelt werden aus:

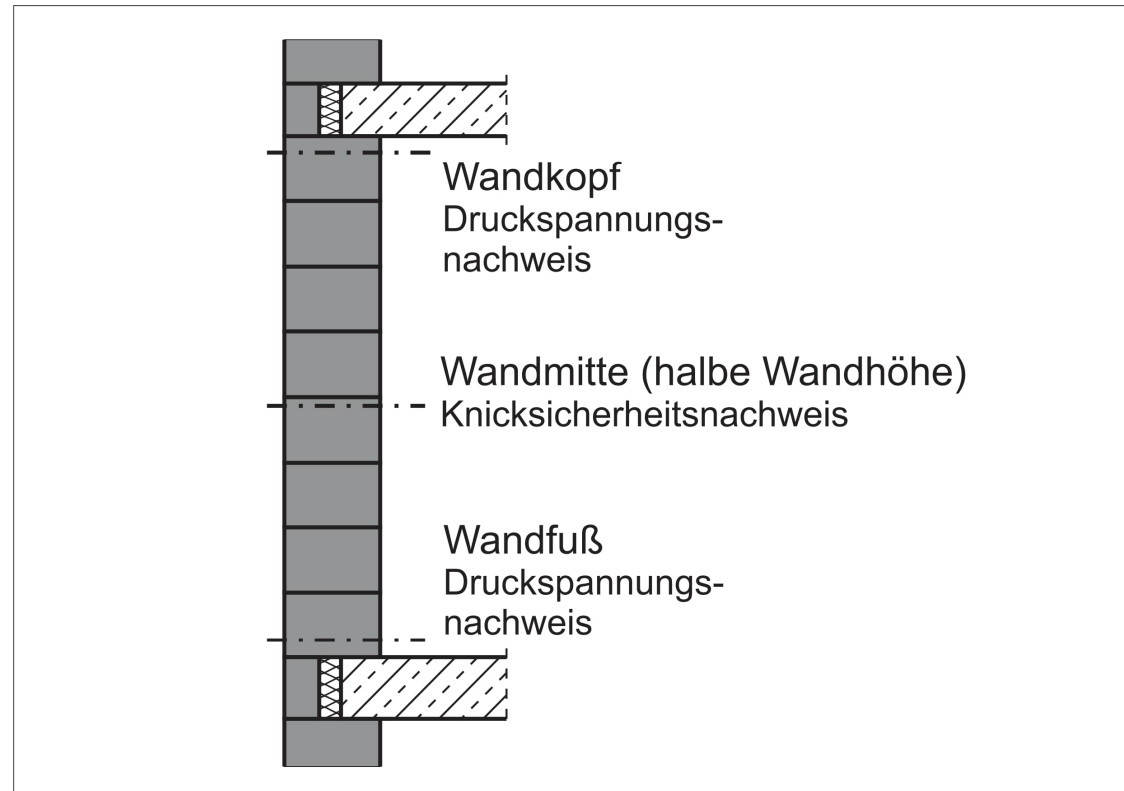
$$N_{Rd} = \Phi_s f_d A \quad (4.4)$$

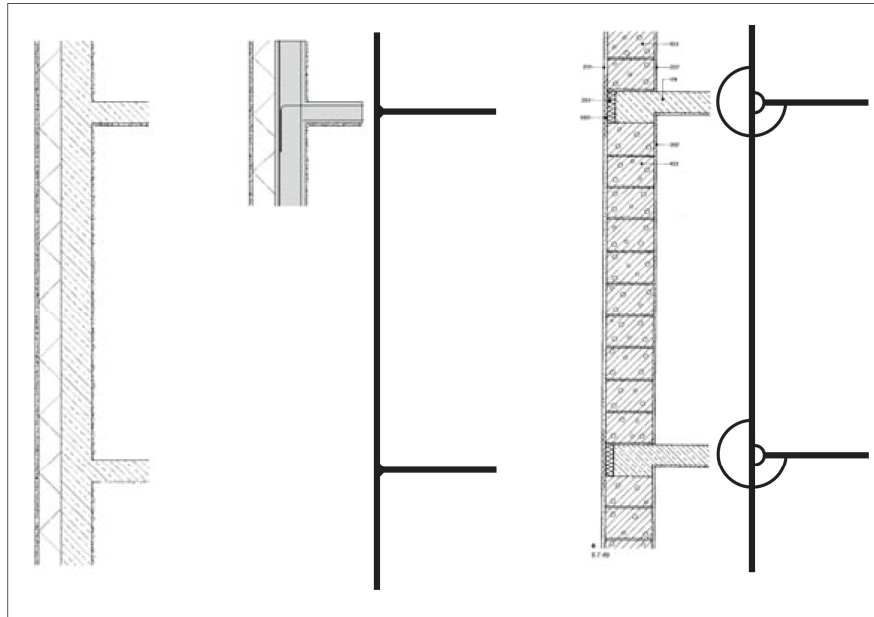
Dabei ist

$\Phi_s$  der Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Schlankheit und der Lastausmitte nach 4.2.2.3;

$f_d$  der Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks;

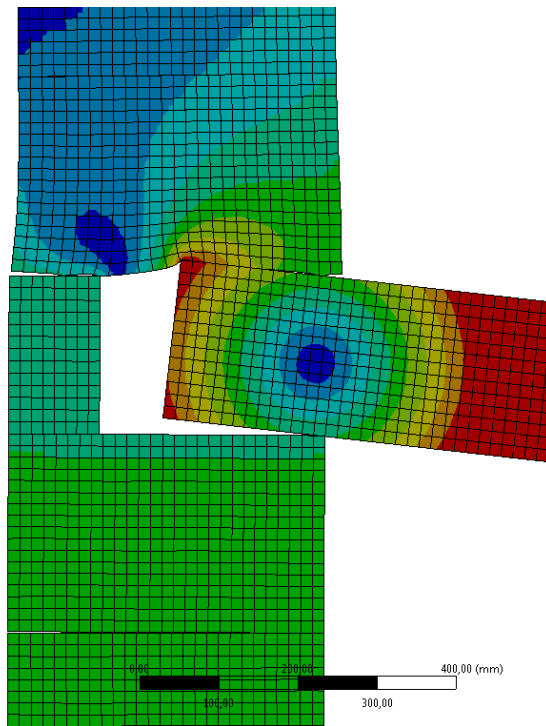
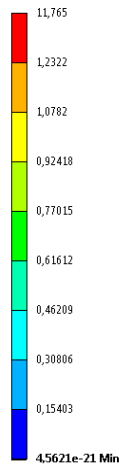
$A$  die belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand.





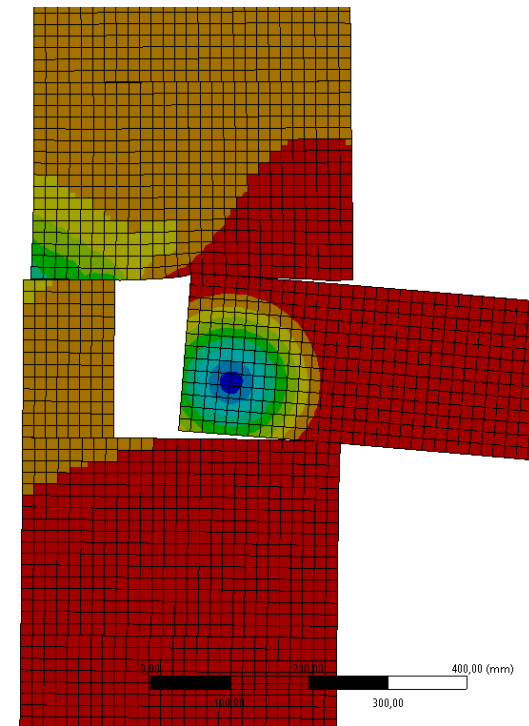
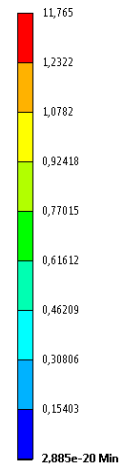
Schni

A: Stein linear-elastisch  
Gesamtverformung  
Typ: Gesamtverformung  
Einheit: mm  
Zeit: 1  
Benutzerdefiniert obsolet  
04.12.17 17:02



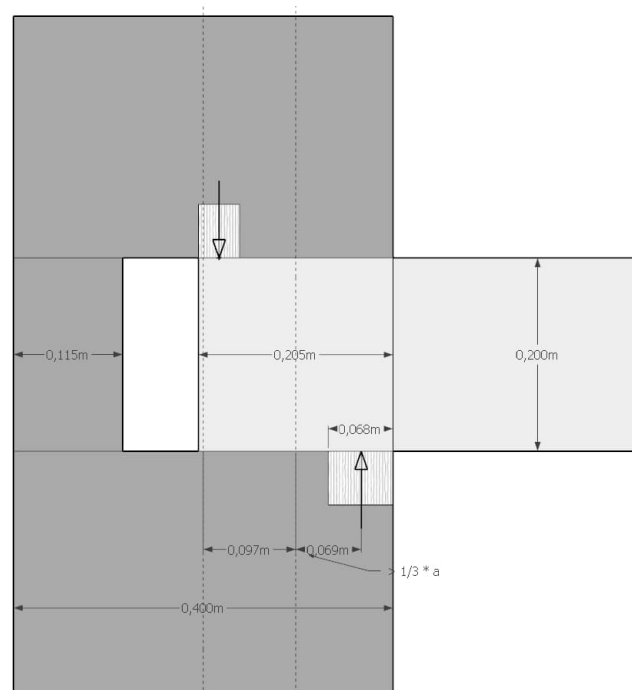
Load step 1 (death load)

A: Stein linear-elastisch  
Gesamtverformung  
Typ: Gesamtverformung  
Einheit: mm  
Zeit: 3  
Benutzerdefiniert obsolet  
04.12.17 17:03



Load step 3 (wall load 200 kN)

# Schnittkraftermittlung



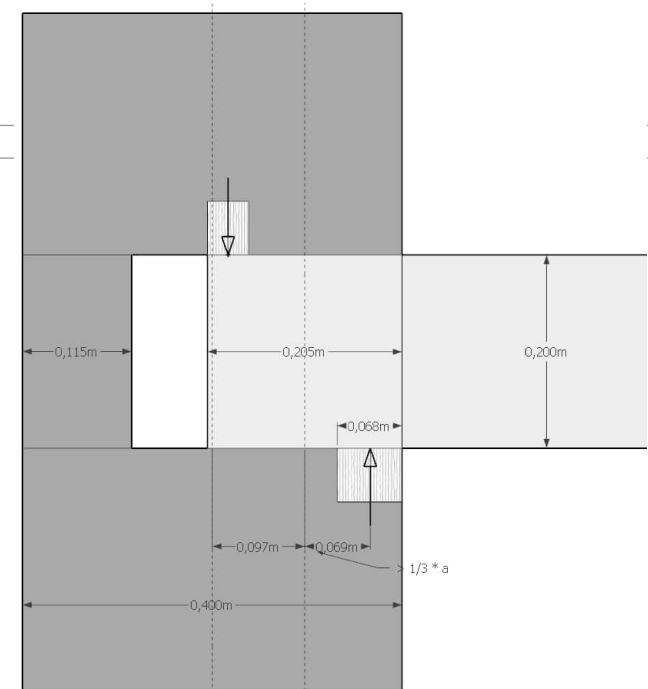
- Endauflage bei Außen- und Innenwänden (NA)

für  $f_k \geq 1,8 \text{ N/mm}^2$ :  $\phi_1 = 1,6 - \frac{l_f}{6} \leq 0,9 \cdot a/t$

für  $f_k < 1,8 \text{ N/mm}^2$ :  $\phi_1 = 1,6 - \frac{l_f}{5} \leq 0,9 \cdot a/t$

Dabei ist

- $f_k$  der charakteristische Wert der Druckfestigkeit von Mauerwerk;
- $l_f$  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.



(NA.3) Bei Decken über dem obersten Geschoss, insbesondere bei Dachdecken, gilt aufgrund geringer Auflasten:

$$\phi_1 = 0,333$$

(NA.3)

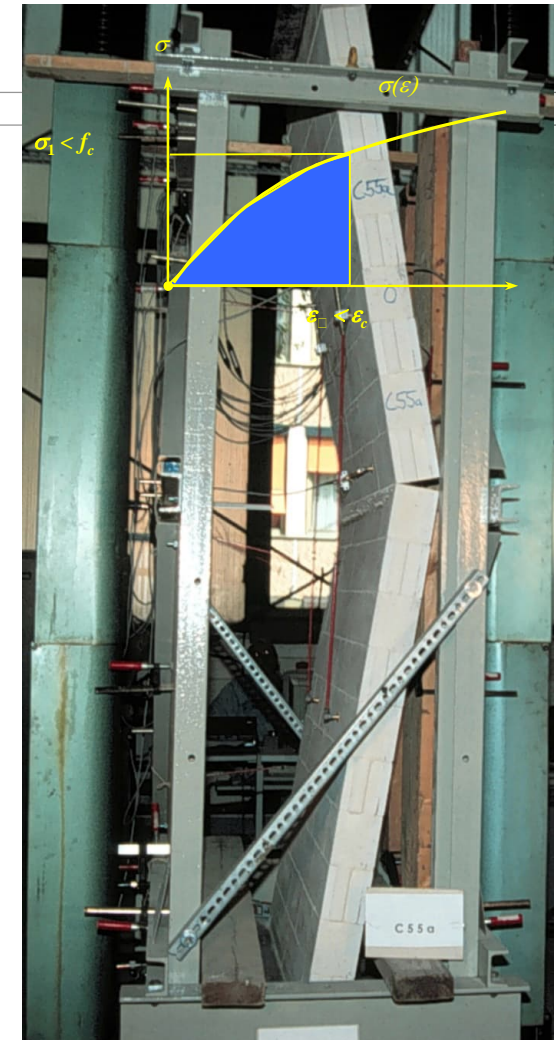
## Knicken

(NA.5) Zur Berücksichtigung der Traglastminderung bei Knickgefahr gilt:

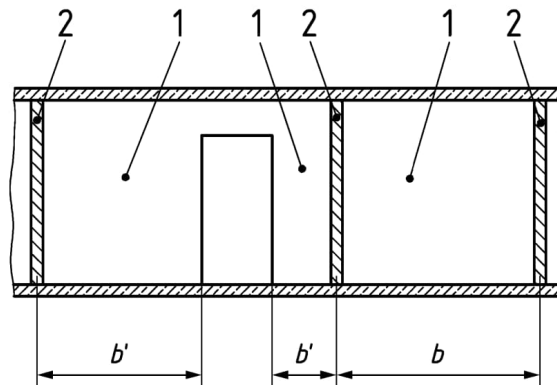
$$\Phi_2 = 0,85 \cdot \left(\frac{a}{t}\right) - 0,0011 \cdot \left(\frac{h_{ef}}{t}\right)^2$$

Dabei ist

- $h_{ef}$  die Knicklänge nach 4.2.2.4;
- $a$  die Deckenauflagertiefe;
- $t$  die Dicke der Wand.



## Knicken



### Legende

- 1 gehaltene Wand
- 2 aussteifende Wände

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

(NA.5)

Dabei ist

- $h_{\text{ef}}$  die Knicklänge;
- $\rho_2$  der Abminderungsfaktor der Knicklänge nach (NA.8) und (NA.9);
- $h$  die lichte Geschosshöhe.

(NA.8) Sind die Voraussetzungen zur Anwendung des vereinfachten Nachweisverfahrens nach 4.2.1.1 eingehalten, gilt statt Absatz (2) vereinfacht:

$\rho_2 = 0,75$  für Wanddicken  $t \leq 175$  mm;

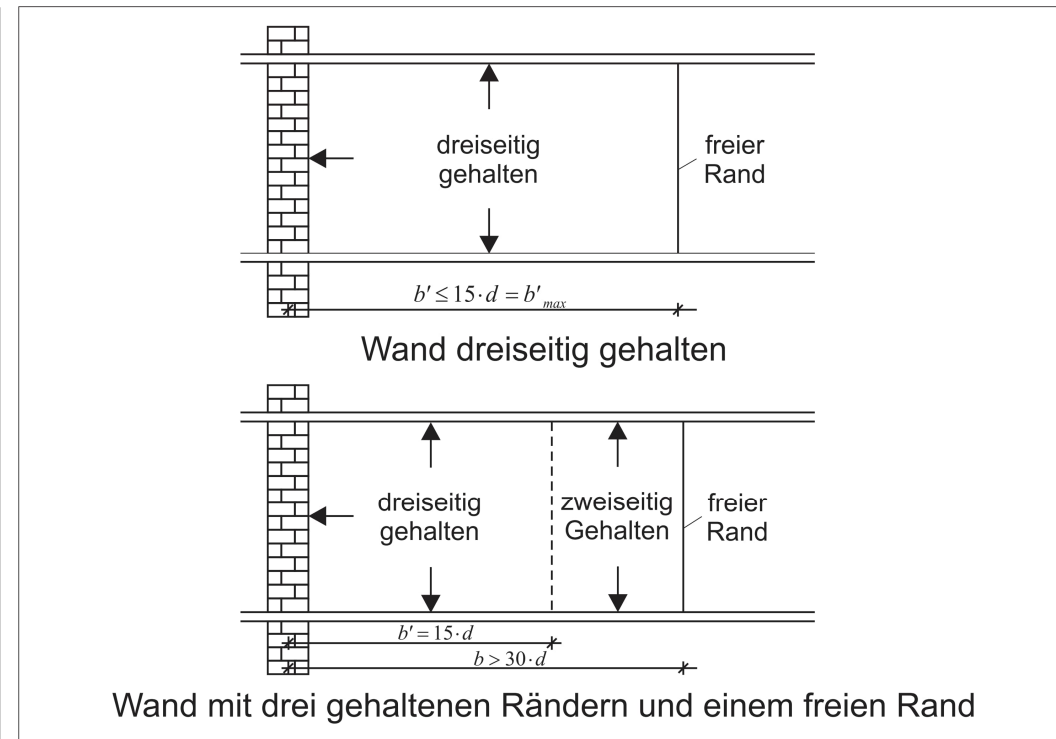
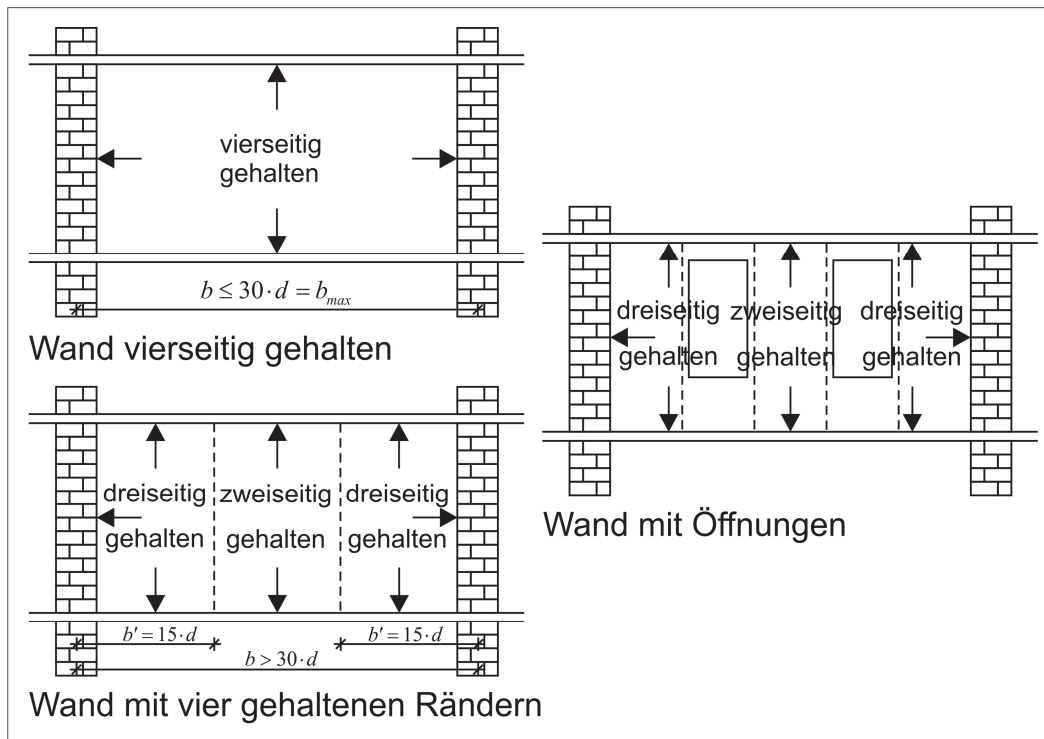
$\rho_2 = 0,90$  für Wanddicken  $175 \text{ mm} < t \leq 250$  mm;

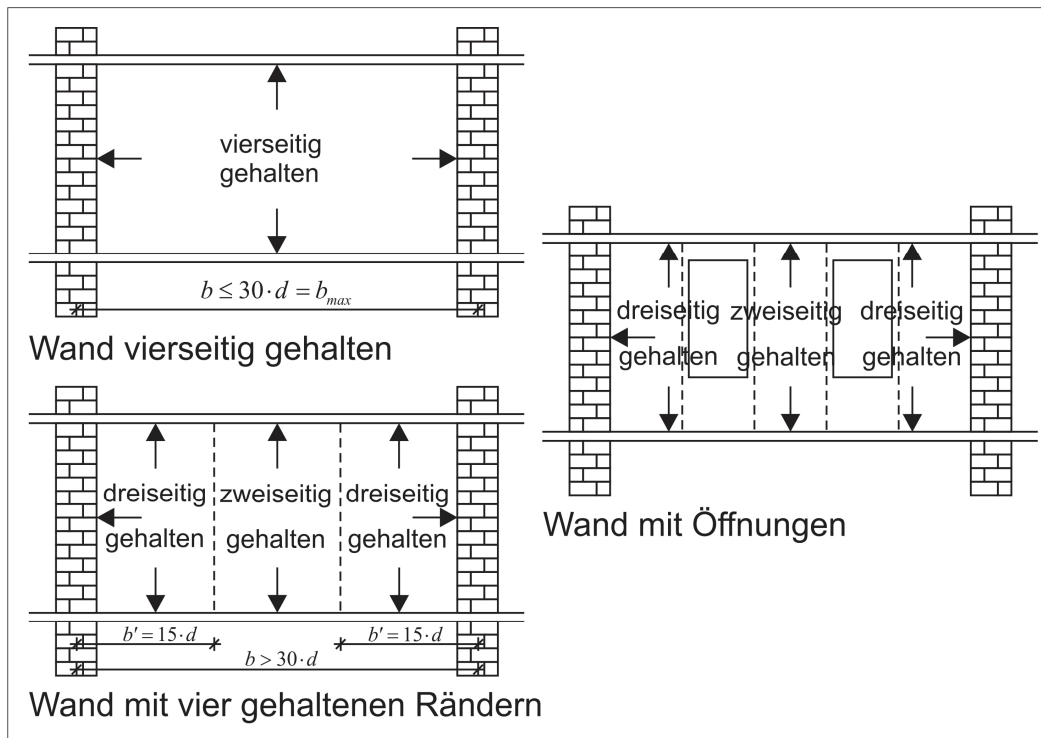
$\rho_2 = 1,00$  für Wanddicken  $t > 250$  mm.

(NA.9) Eine Abminderung der Knicklänge mit  $\rho_2 < 1,0$  ist jedoch nur zulässig, wenn folgende erforderliche Auflagertiefen  $a$  gegeben sind:

$t \geq 240$  mm      $a \geq 175$  mm;

$t < 240$  mm      $a = t$ .





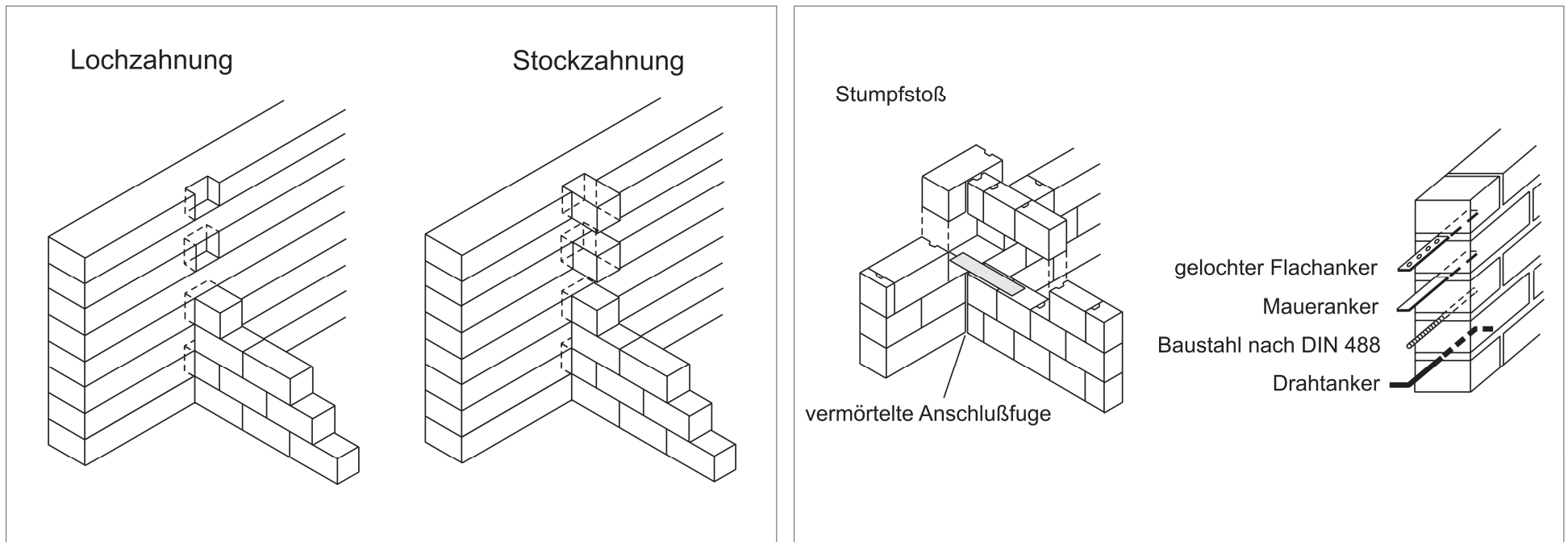
Für 3-seitig gehaltene Wände:

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

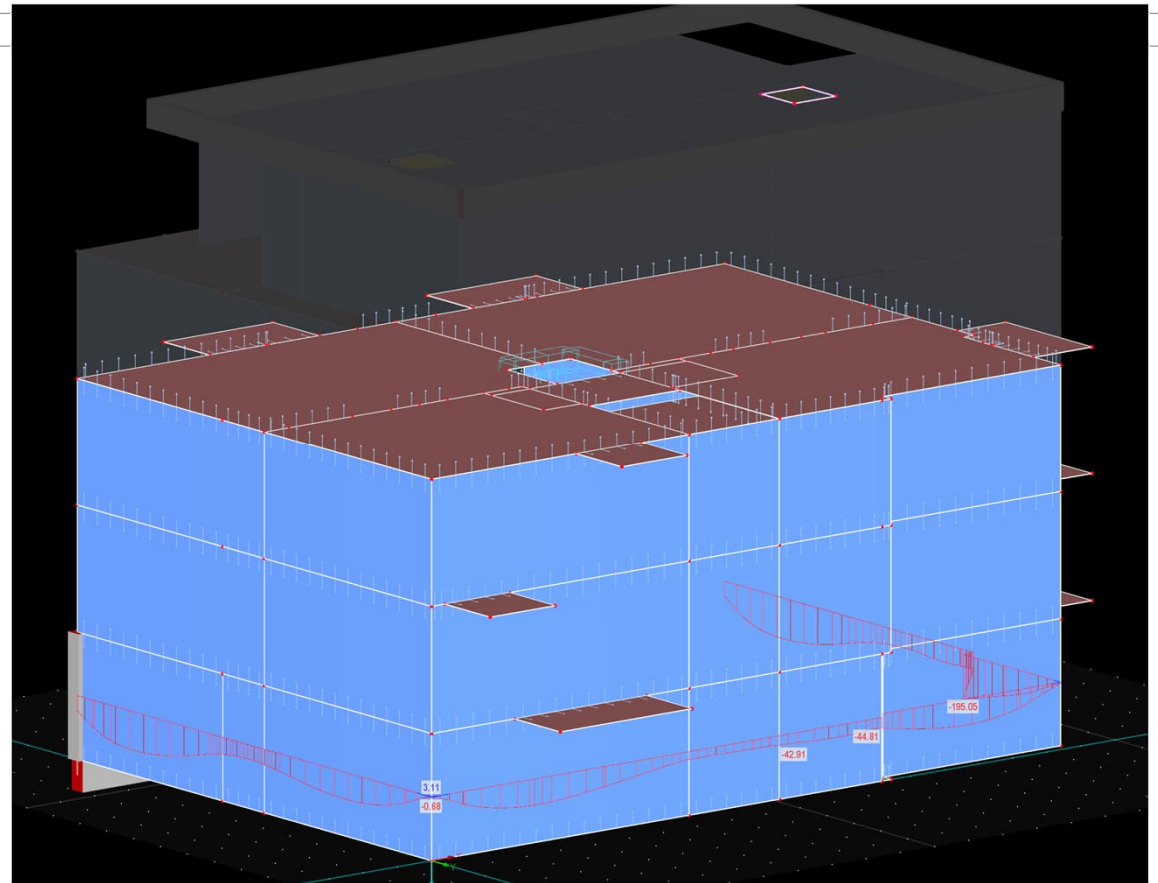
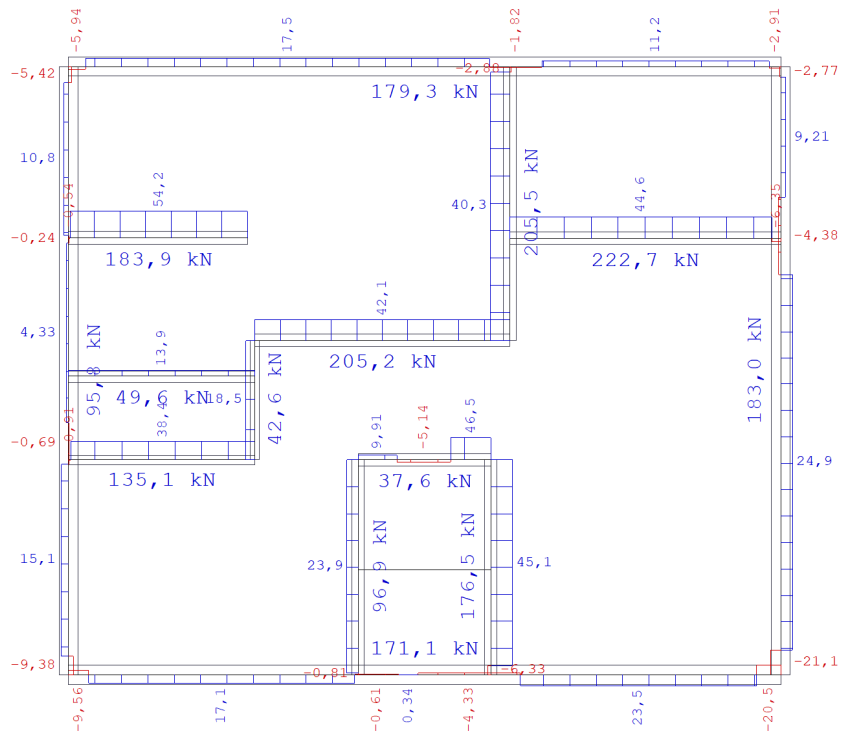
Für 4-seitig gehaltene Wände:

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

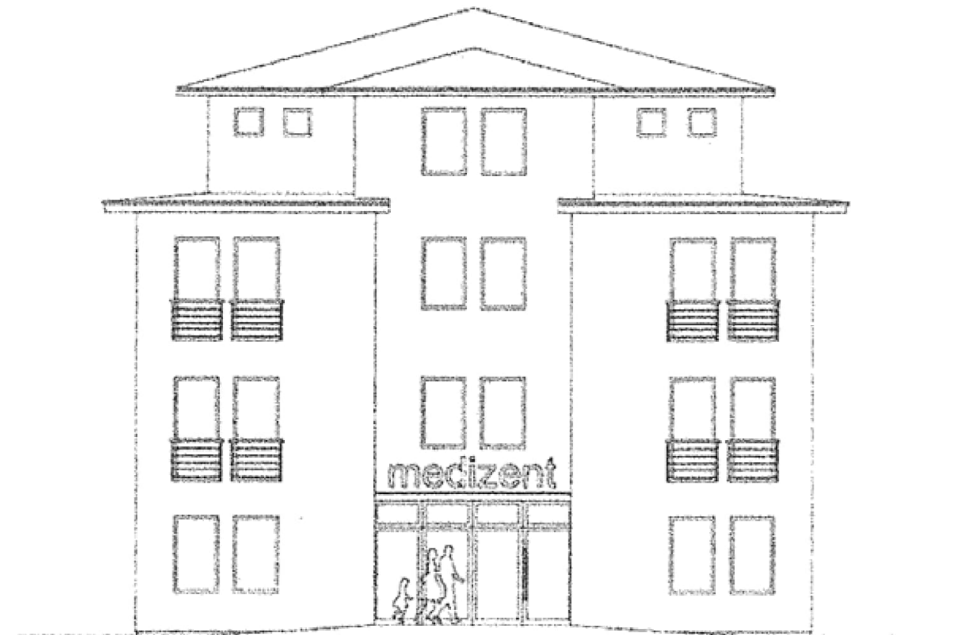
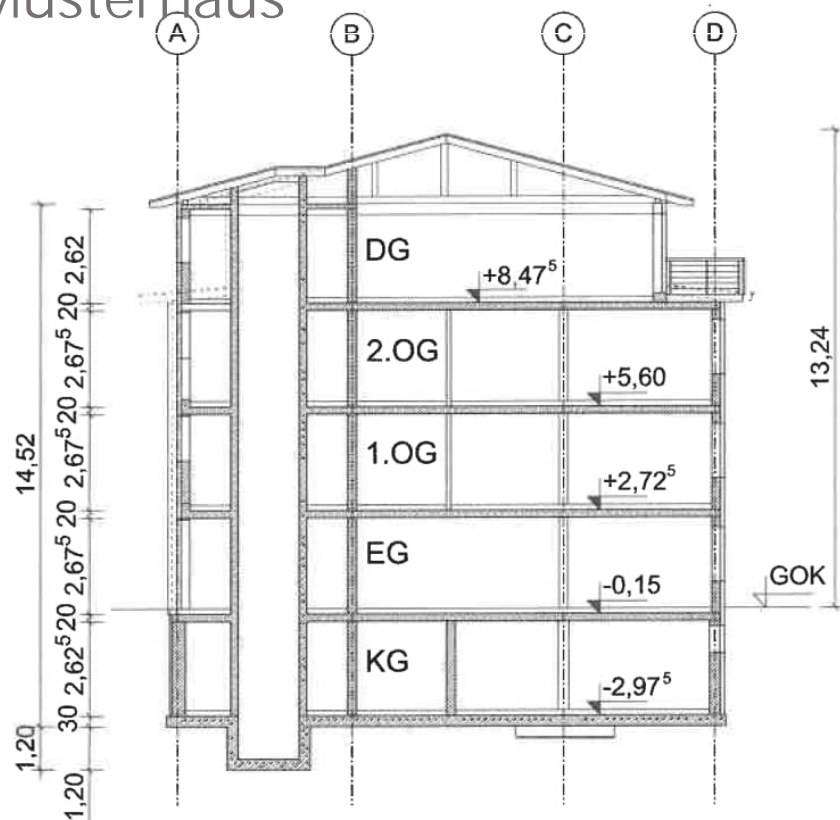
$$h_{ef} = \alpha_4 \cdot \frac{b}{2} \quad \text{für } \alpha_4 \cdot \frac{h}{b} > 1$$



# Schnittkraftermittlung

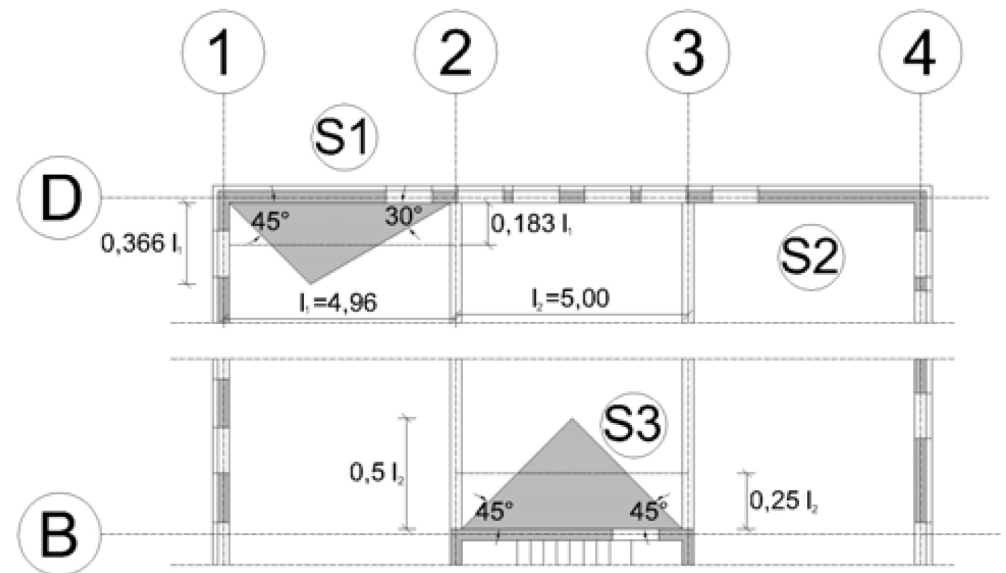
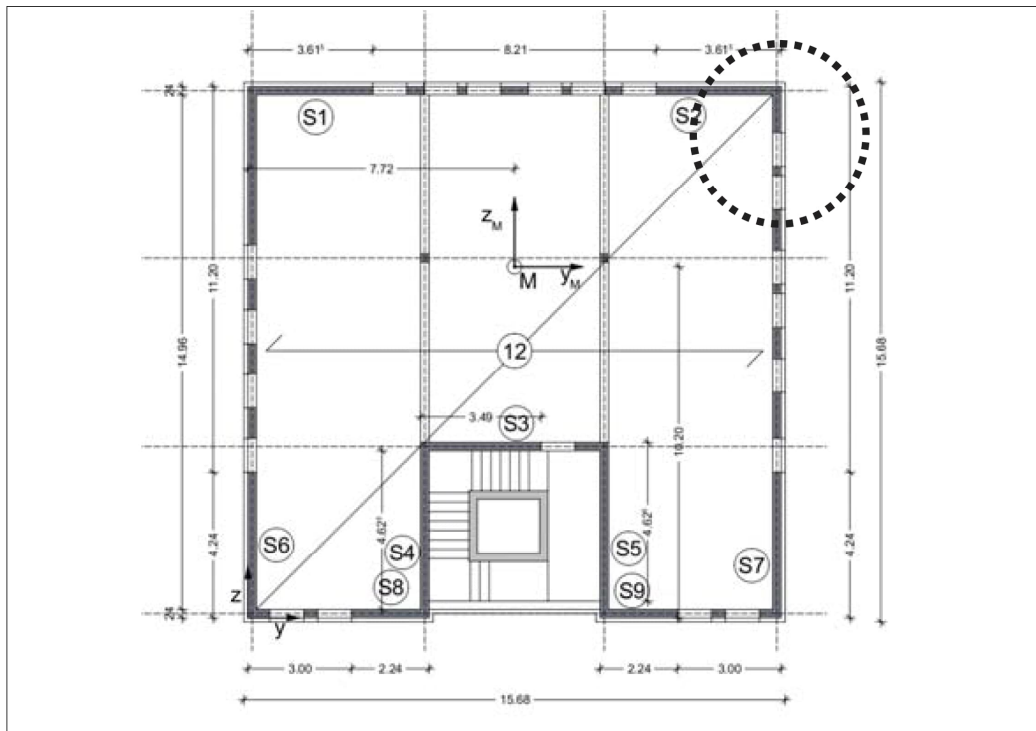


# Musterhaus



Quelle: Gunkler/Budelmann Mauerwerksbau

# Musterhaus



## Allgemeines zum Nachweisverfahren

$$e = \frac{M}{N}$$

### 2. Nachweis für minimale Auflast !!!

## Ausfachungsflächen

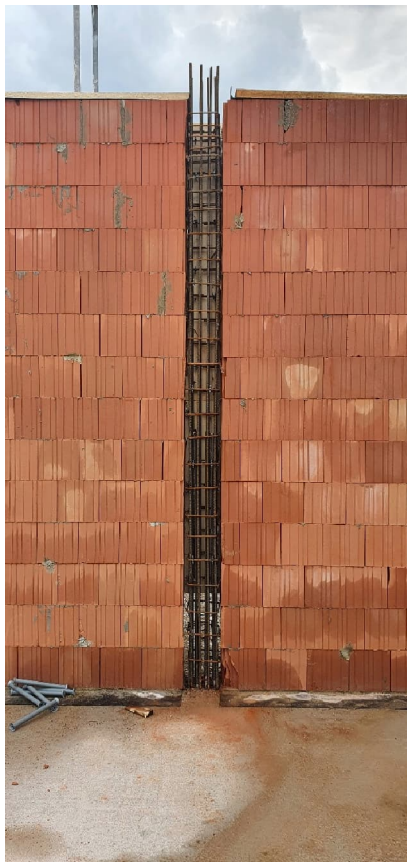
### **NCI Anhang NA.C** (normativ)

#### **Vereinfachte Berechnungsmethode für vertikal nicht beanspruchte Wände mit gleichmäßig verteilter horizontaler Bemessungslast**

- (1) Bei vorwiegend windbelasteten, nichttragenden Ausfachungswänden ist kein gesonderter Nachweis erforderlich, wenn
- a) die Wände vierseitig gehalten sind (z.B. durch Verzahnung, Versatz oder Anker) und
  - b) die Größe der Ausfachungsflächen  $h_i \cdot l_i$  nach Tabelle NA.C.1 eingehalten ist, wobei  $h_i$  die Höhe und  $l_i$  die Länge der Ausfachungsfläche ist.

# Ausfachung

**Tabelle NA.C.1 — GröÙte zulässige Werte der Ausfachungsfläche von nichttragenden Außenwänden ohne rechnerischen Nachweis**



1	2	3	4	5
Wanddicke $t$ mm	GröÙte zulässige Werte <sup>a,b</sup> der Ausfachungsfläche in m <sup>2</sup> bei einer Höhe über Gelände von			
	0 m bis 8 m		8 m bis 20 m <sup>c</sup>	
	$h_i/l_i = 1,0$	$h_i/l_i \geq 2,0$ oder $h_i/l_i \leq 0,5$	$h_i/l_i = 1,0$	$h_i/l_i \geq 2,0$ oder $h_i/l_i \leq 0,5$
115 <sup>c,d</sup>	12	8	-	-
150 <sup>d</sup>	12	8	8	5
175	20	14	13	9
240	36	25	23	16
$\geq 300$	50	33	35	23

<sup>a</sup> Bei Seitenverhältnissen  $0,5 < h_i/l_i < 1,0$  und  $1,0 < h_i/l_i < 2,0$  dürfen die größten zulässigen Werte der Ausfachungsflächen geradlinig interpoliert werden.

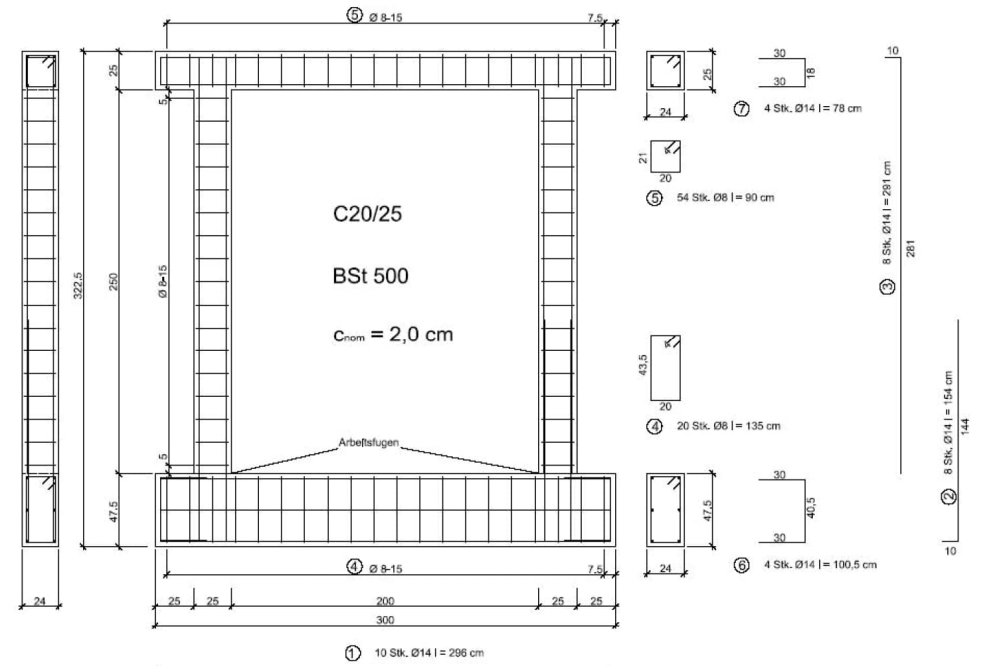
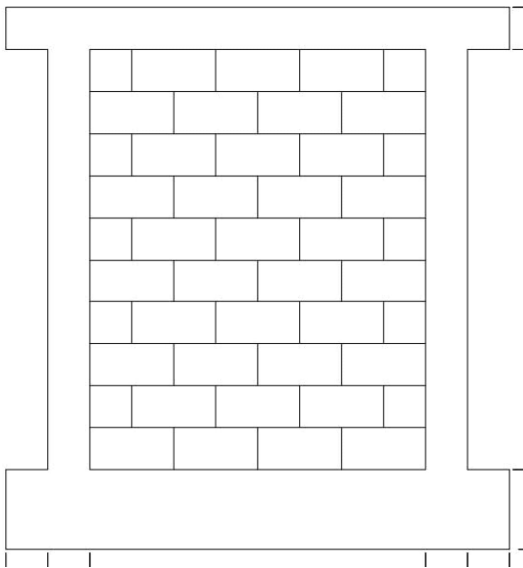
<sup>b</sup> Die angegebenen Werte gelten für Mauerwerk mindestens der Steindruckfestigkeitsklasse 4 mit Normalmauermörtel mindestens der Gruppe NM IIa und Dünnbettmörtel

<sup>c</sup> In Windlastzone 4 nur im Binnenland zulässig.

<sup>d</sup> Bei Verwendung von Steinen der Festigkeitsklassen  $\geq 12$  dürfen die Werte dieser Zeile um 1/3 vergrößert werden.

www.vorlesung - vereinfachtes verfahren -

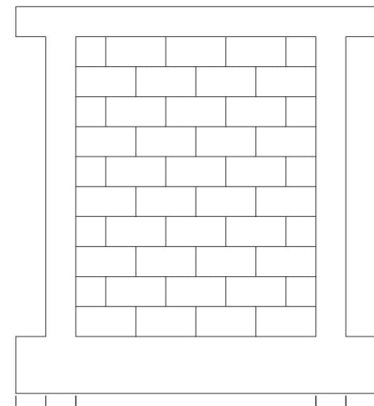
# Ausfachungsflächen Bsp.



# Ausfachungsflächen Bsp.

## Nachweis mit Lastexzentrizitäten - vereinfachtes Verfahren

Höhe ü.G.	m	<b>10,0</b>
Dicke	m	<b>0,175</b>
Länge	m	<b>3,5</b>
Höhe	m	<b>2,75</b>
Fläche	m <sup>2</sup>	9,6
h/l	-	0,78571
zul A bei h/l = 1,0	m <sup>2</sup>	13
zul A bei h/l ≤ 0,5	m <sup>2</sup>	9
zul A interpoliert	m <sup>2</sup>	<b>11,29</b>
Nachweis Fuss	η	85%



Größte zulässige Werte der Ausfachungsfläche von nichttragenden Außenwänden ohne rechnerischen Nachweis

1	2	3	4	5
Wanddicke <i>t</i> mm	Größte zulässige Werte <sup>a,b</sup> der Ausfachungsfläche in m <sup>2</sup> bei einer Höhe über Gelände von			
	0 m bis 8 m		8 m bis 20 m <sup>c</sup>	
	$h_v/l_v = 1,0$	$h_v/l_v \geq 2,0$ oder $h_v/l_v \leq 0,5$	$h_v/l_v = 1,0$	$h_v/l_v \geq 2,0$ oder $h_v/l_v \leq 0,5$
115 <sup>c,d</sup>	12	8	-	-
150 <sup>d</sup>	12	8	8	5
175	20	14	13	9
240	36	25	23	16
≥ 300	50	33	35	23

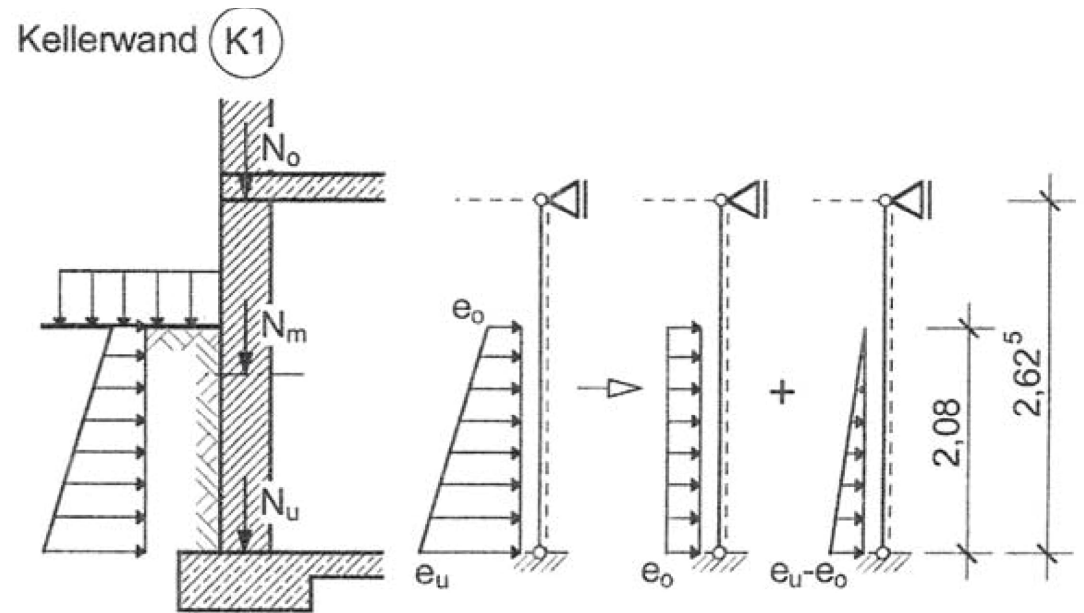
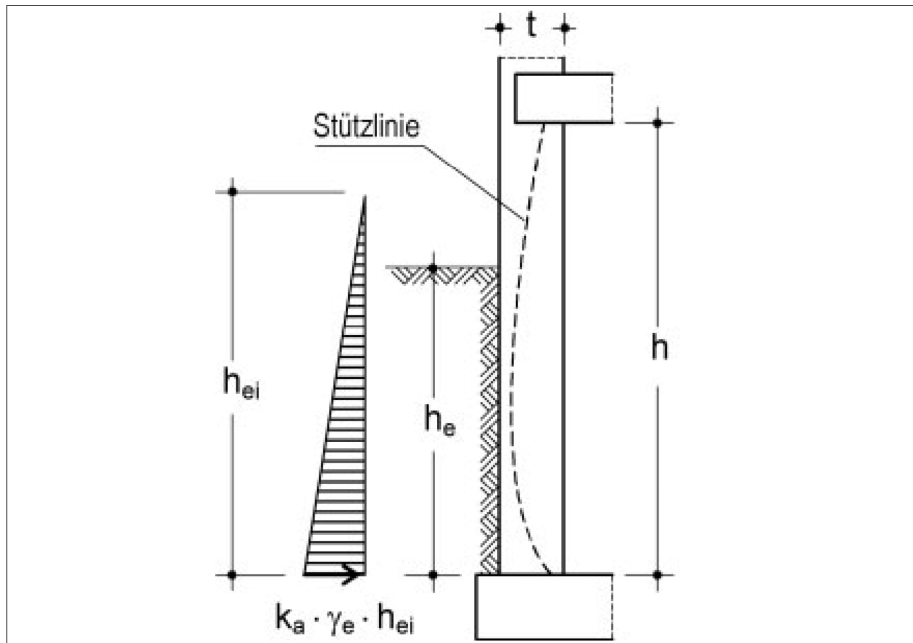
<sup>a</sup> Bei Seitenverhältnissen  $0,5 < h_v/l_v < 1,0$  und  $1,0 < h_v/l_v < 2,0$  dürfen die größten zulässigen Werte der Ausfachungsflächen geradlinig interpoliert werden.

<sup>b</sup> Die angegebenen Werte gelten für Mauerwerk mindestens der Steindruckfestigkeitsklasse 4 mit Normalmauermörtel mindestens der Gruppe NM IIa und Dünnbettmörtel

<sup>c</sup> In Windlastzone 4 nur im Binnenland zulässig.

<sup>d</sup> Bei Verwendung von Steinen der Festigkeitsklassen  $\geq 12$  dürfen die Werte dieser Zeile um 1/3 vergrößert werden.

# Kellerwände



## Kellerwände

### 4.5 Vereinfachte Berechnungsmethode für Kellerwände, die durch horizontalen Erddruck beansprucht werden

(1) Die folgende vereinfachte Methode darf für die Bemessung von Kellerwänden, die durch horizontalen Erddruck beansprucht sind, angewendet werden, wenn die folgenden Bedingungen eingehalten sind:

- die lichte Höhe der Kellerwand ist  $h \leq 2,6$  m und die Wanddicke  $t \geq 200$  mm;
- die Kellerdecke wirkt als aussteifende Scheibe und kann die aus dem Erddruck resultierenden Kräfte aufnehmen;
- die charakteristische Verkehrslast auf der Geländeoberfläche im Einflussbereich des Erddrucks auf die Kellerwand ist nicht größer als  $5 \text{ kN/m}^2$  und es ist keine Einzellast von mehr als  $15 \text{ kN}$  im Abstand von weniger als  $1,5$  m zur Wand vorhanden, siehe Bild 4.8;
- die Geländeoberfläche steigt ausgehend von der Wand nicht an und die Anschütthöhe ist nicht größer als die Wandhöhe;
- es wirkt kein hydrostatischer Druck auf die Wand;
- es ist entweder keine Gleitfläche, z. B. infolge einer Feuchtigkeitssperrschicht, vorhanden oder es sollten Maßnahmen ergriffen werden, um die Schubkraft aufnehmen zu können.

**ANMERKUNG** Für den Nachweis der Schubkraft infolge Erddruck wird ein Reibungsbeiwert von  $0,6$  zu Grunde gelegt.

## Kellerwände

(2) Die Bemessung der Wand darf je nach Fall auf der Grundlage der folgenden Beziehungen erfolgen:

$$N_{\text{Ed,max}} \leq \frac{t b f_d}{3} \quad (4.11)$$

$$N_{\text{Ed,min}} \geq \frac{\rho_e b h h_e^2}{\beta t} \quad (4.12)$$

## Kellerwände

Dabei ist

$N_{\text{Ed,max}}$  der Bemessungswert der größten vertikalen Belastung der Wand in halber Höhe der Anschüttung;

$N_{\text{Ed,min}}$  der Bemessungswert der kleinsten vertikalen Belastung der Wand in halber Höhe der Anschüttung;

$b$  die Breite der Wand;

$b_c$  der Abstand zwischen aussteifenden Querwänden oder anderen aussteifenden Elementen;

$h$  die lichte Höhe der Kellerwand;

$h_e$  die Höhe der Anschüttung;

$t$  die Wanddicke;

$\rho_e$  die Wichte der Anschüttung;

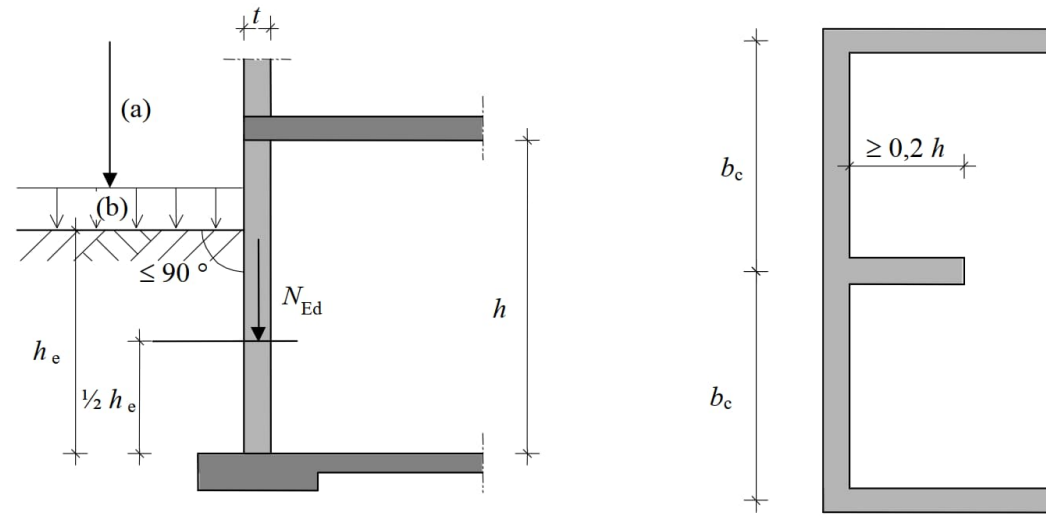
$f_d$  der Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks;

$$N_{\text{Ed,max}} \leq \frac{t b f_d}{3}$$

$$N_{\text{Ed,min}} \geq \frac{\rho_e b h h_e^2}{\beta t}$$

# Kellerwände

$$\begin{aligned}
 \beta &= 20 && \text{für } b_c \geq 2h \\
 &= 60 - 20 b_c / h && \text{für } h < b_c < 2h \\
 &= 40 && \text{für } b_c \leq h
 \end{aligned}$$



**Legende**

- (a) Keine Einzellast  $\geq 15$  kN näher als 1,5 m an der Wand, gemessen in horizontaler Richtung
- (b) Charakteristische Verkehrslast auf der Geländeoberfläche  $\leq 5$  kN/m<sup>2</sup>

**Bild 4.8 — Variablen für Kellerwände in Schnitt und Grundriss**

## Kellerwände

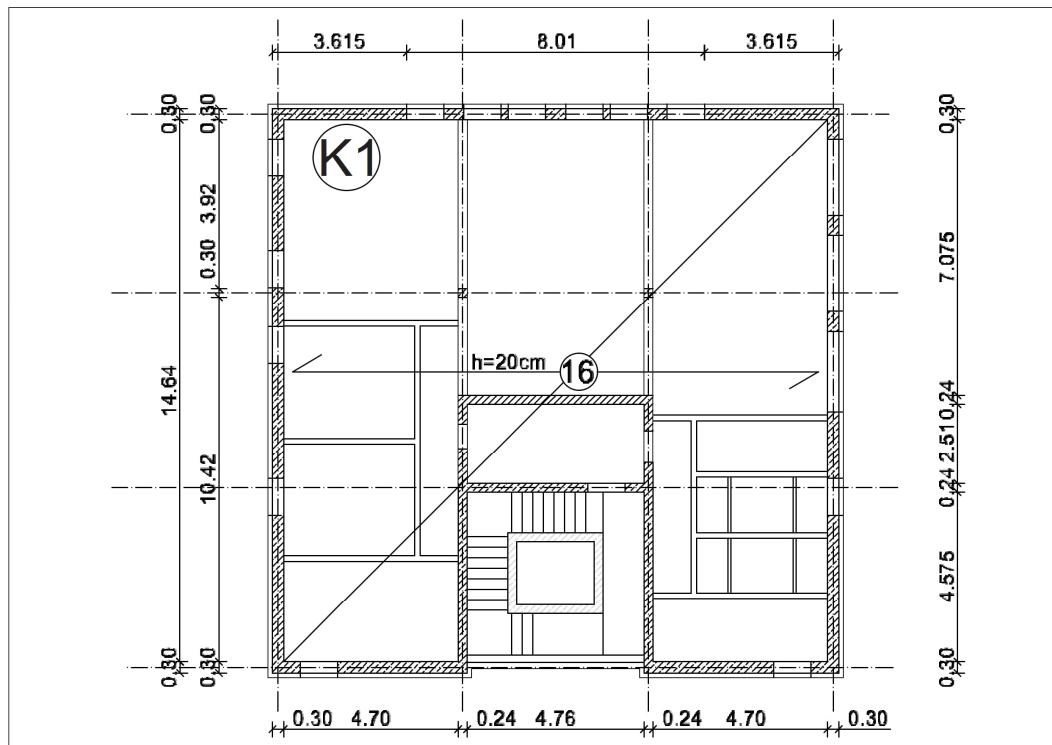
(NA.3) Den Gleichungen (4.11) und (4.12) liegt der Ansatz des aktiven Erddruckes zugrunde. Für die Verfüllung und Verdichtung des Arbeitsraumes sind die Vorgaben aus DIN EN 1996-2/NA:2012-01, Anhang NA.E (3)) einzuhalten. Wenn andere Verdichtungsarten oder Erdstoffe zum Einsatz kommen, wird auf DIN EN 1996-1-1 verwiesen.

(NA.4) Die Anschütthöhe  $h_e$  darf höchstens  $1,15 \cdot h$  betragen.

(NA.5) In Gleichung (4.12) ist bei Elementmauerwerk mit einem planmäßigen Überbindemaß  $0,2 h_u \leq l_{ol} < 0,4 h_u$  generell  $\beta = 20$  einzusetzen.

(NA.6) DIN EN 1996-2/NA:2012-01, Anhang NA.E, regelt die Ausführung von Kellerwänden.

# Kellerwände Bsp.



Veränderliche Deckenlasten							
Flächenlast		kN/m <sup>2</sup>	0,00	3,20	3,20	3,20	3,20
Gesamtlast		kN	0,00	14,41	14,41	14,41	14,41
Streckenlast auf MW		kN/m	0,00	2,90	2,90	2,90	2,90
Akkumulierte Summe oben		kN/m	0,00	2,90	5,81	8,71	11,62
Teilsicherheitsbeiwert veränd.						1,50	1,50
Einwirkungen Bemessungswerte Normalkraft min							
oben	N_Edo	kN/m					84
Mitte	N_Edm	kN/m					90
unten	N_Edu	kN/m					97
Einwirkungen Bemessungswerte Normalkraft max							
oben	N_Edo	kN/m					131
Mitte	N_Edm	kN/m					140
unten	N_Edu	kN/m					148
Ermittlung der Grenzwerte							
Anschütthöhe	$h_e$	m					2,08
Bodengewicht	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>					18,0
Beiwert	$\beta$						20,0
Bem.wert Festigkeit	$f_d$	kN/m <sup>2</sup>					4,08
untere Grenzlast	$\eta_{Ed,min}$	kN/m					42,6
obere Grenzlast	$\eta_{Ed,max}$	kN/m					326,4
Nachweis	$\eta_{min}$						0,4706
	$\eta_{max}$						0,4277

# Aussteifung

## **NDP zu 4.1(1)P „Allgemeines“**

Auf einen rechnerischen Nachweis der Aussteifung darf verzichtet werden, wenn die Geschosdecken als steife Scheiben ausgebildet sind bzw. statisch nachgewiesene, ausreichend steife Ringbalken vorliegen und wenn in Längs- und Querrichtung des Gebäudes eine offensichtlich ausreichende Anzahl von genügend langen aussteifenden Wänden vorhanden ist, die ohne größere Schwächungen und ohne Versprünge bis auf die Fundamente geführt sind.

Ist bei einem Bauwerk nicht von vornherein erkennbar, dass seine Aussteifung gesichert ist, so ist ein rechnerischer Nachweis der Schubtragfähigkeit nach dem genaueren Verfahren nach DIN EN 1996-1-1:2010-12, 6.2, in Verbindung mit dem zugehörigen Nationalen Anhang zu führen.

# Aussteifung EC8

## NDP zu 9.7.2(1) Regeln für „einfache Mauerwerksbauten“

**Tabelle NA.12 — Mindestanforderungen an die auf die Geschossgrundrissfläche bezogene Querschnittsfläche von Schubwänden<sup>c), d)</sup>**

Anzahl der Vollgeschosse	$a_{gR} \cdot S \cdot \gamma_1$ $\leq 0,6 \cdot k^a \cdot k_r^e$			$a_{gR} \cdot S \cdot \gamma_1$ $\leq 0,9 \cdot k^a \cdot k_r^e$			$a_{gR} \cdot S \cdot \gamma_1$ $\leq 1,2 \cdot k^a \cdot k_r^e$		
	Steindruckfestigkeitsklasse nach DIN 1053-1 <sup>b)</sup>								
	4	6	$\geq 12$	4	6	$\geq 12$	4	6	$\geq 12$
1	0,02	0,02	0,02	0,03	0,025	0,02	0,04	0,03	0,02
2	0,035	0,03	0,02	0,055	0,045	0,03	0,08	0,05	0,04
3	0,065	0,04	0,03	0,08	0,065	0,05	Kein vereinfachter Nachweis zulässig (KvNz)		
4	KvNz	0,05	0,04	KvNz					

<sup>a</sup> Für Gebäude, bei denen mindestens 70 % der betrachteten Schubwände in einer Richtung länger als 2 m sind, beträgt der Beiwert  $k = 1 + (l_a - 2)/4 \leq 2$ . Dabei ist  $l_a$  die mittlere Wandlänge der betrachteten Schubwände in m. In allen anderen Fällen beträgt  $k = 1$ . Der Wert  $\gamma_1$  wird nach Tabelle NA.6 bestimmt.

<sup>b</sup> Bei Verwendung unterschiedlicher Steinfestigkeitsklassen, z. B. für Innen- und Außenwände, sind die Anforderungswerte im Verhältnis der Steifigkeitsanteile der jeweiligen Steinfestigkeitsklasse zu wichten.

<sup>c</sup> Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

<sup>d</sup> Die Verwendung der Steinfestigkeitsklasse 2 für Außenwände ist zulässig, wenn in jeder Richtung wenigstens 50 % der erforderlichen Wandquerschnittsfläche der Schubwände aus Mauerwerk der Festigkeitsklasse 4 oder höher bestehen. Die Gesamtquerschnittsfläche der Schubwände muss dann die in Tabelle NA.12 für die Steinfestigkeitsklasse 4 geltenden Werte einhalten.

<sup>e</sup> Für Reihenhäuser mit Abmessungen von  $B \leq 7$  m und  $L \leq 12$  m und mindestens zwei parallelen Wänden in zwei orthogonalen Richtungen, wobei die Länge jeder dieser Wände mindestens 40 % der Bauwerkslänge in der betrachteten Richtung sein muss, kann  $k_r$  mit 1,25 angesetzt werden. In allen anderen Fällen beträgt  $k_r = 1,0$ .

## Übungsaufgaben

1. Ergänzen Sie den Nachweis für S1.
2. Beschreiben Sie schematisch den Momenten- und Normalkraftverlauf einer Außenwand eines mittleren Geschosses eines mehrgeschossigen Gebäudes (Skizze). Wie ergeben sich daraus die Normalspannungsverläufe im Mauerwerk, z.B. unterhalb eines Deckenauftragers?
3. Was sind – qualitativ beschrieben, ohne Zahlenwerte – wesentliche Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Berechnungsverfahrens? Worin sollte grundsätzlich der Vorteil des genaueren bzw. Standardverfahrens bestehen?
4. Warum ist der Nachweis für eine unter vertikaler Belastung befindliche Wand am Wandkopf, in der Wandmitte und am Wandfuß zu führen?

## Übungsaufgaben

### 5. Kellerwand

Prüfen Sie die Anwendungsgrenzen für das vereinfachte Verfahren.  
Ermitteln die Mindestauflast für den Bauzustand.

### 6. Eine Innenwand mit $M_z 8$ , NM II, $h_{\text{eff}} = 2,5 \text{ m}$ und $N_{\text{Ed}} = 85 \text{ kN}$ ist nach dem v.V. nachzuweisen.

