

KLB-Fachforum 2023: Einfache und sichere Bemessung von rationalen, großformatigen Mauerwerks- und Wandelementen aus Leichtbeton

Prof. Dr.-Ing. Detleff Schermer

Ostbayerische Technische Hochschule, Regensburg

Prüfingenieur für Massivbau, München



OSTBAYERISCHE
TECHNISCHE HOCHSCHULE
REGENSBURG

Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Einleitung



massives Mauerwerk = robust = dauerhaft = nachhaltig



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

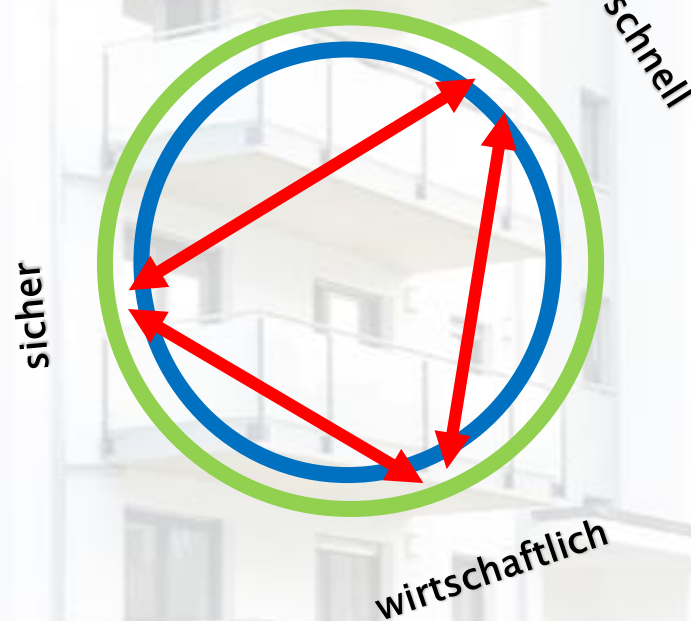
Feuerwiderstand

Fazit

Optimierung der Tragkonstruktion:
Ziele: schnell & sicher & wirtschaftlich

a) Planung

b) Ausführung



- Große Planelemente
- Vorgefertigte Wandtafeln



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

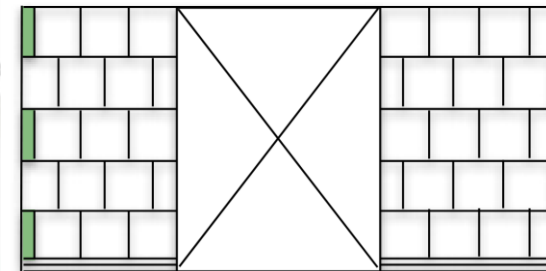
Optimierung der Tragkonstruktion:
Ziele: schnell & sicher & wirtschaftlich

a) Planung

b) Ausführung



- Große Planelemente
- Vorgefertigte Wandtafeln



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstar

Fazit

Optimierung der Tragkonstruktion:
Ziele: schnell & sicher & wirtschaftlich



Große Planelemente

Vorgefertigte Wandtafeln

keine Einschränkung im Vergleich zu
bauseitig hergestelltem Mauerwerk



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemes

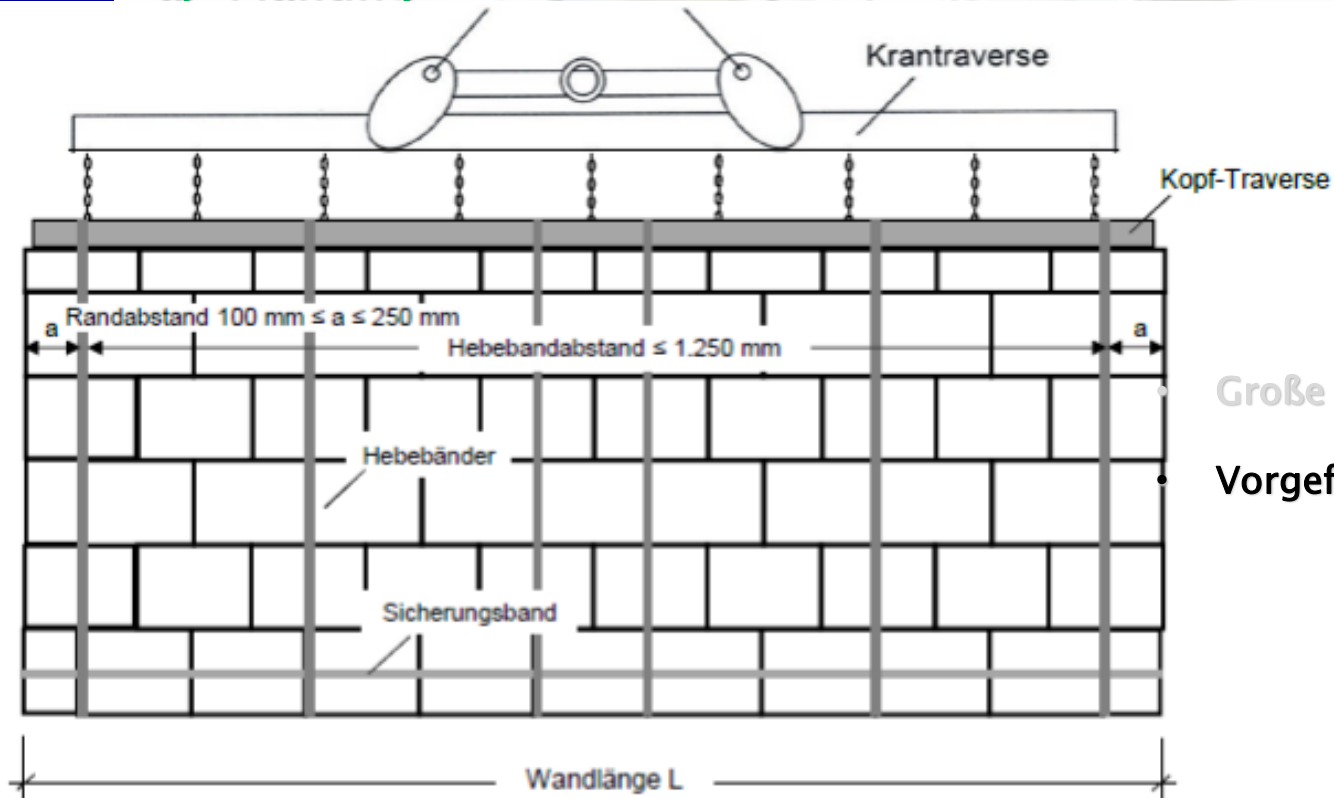
Beisp

Feuerwid

Faz

Optimierung der Tragkonstruktion:
Ziele: schnell & sicher & wirtschaftlich

a) Planung



Große Planelemente

Vorgefertigte Wandtafeln



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Optimierung der Tragkonstruktion:
Ziele: schnell & sicher & wirtschaftlich

a) Planung

b) Ausführung



- Große Planelemente
- Vorgefertigte Wandtafeln

Anprallversuch



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

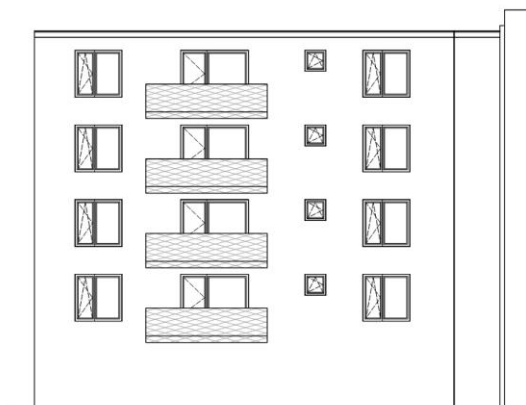
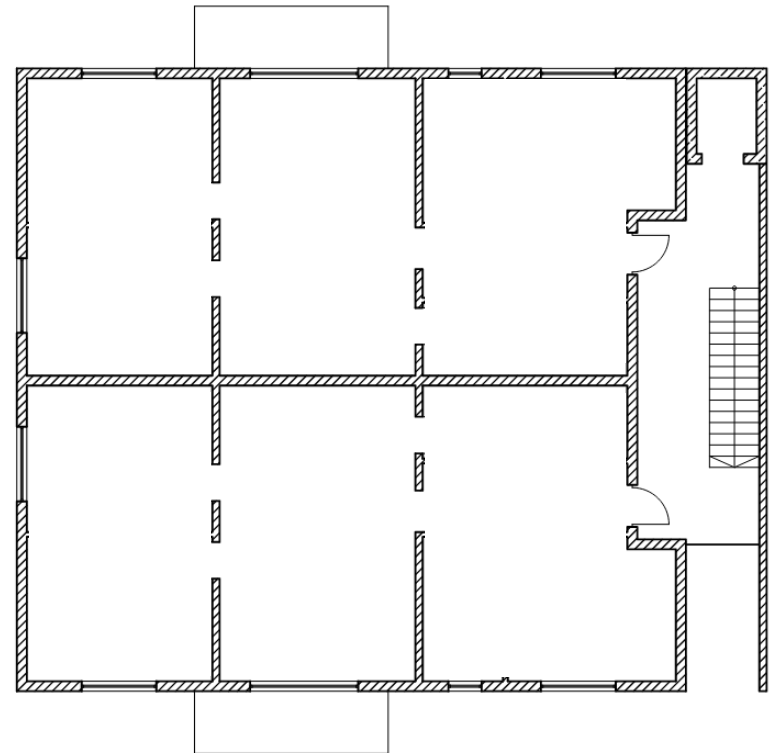
Beispiel

Feuerwiderstand

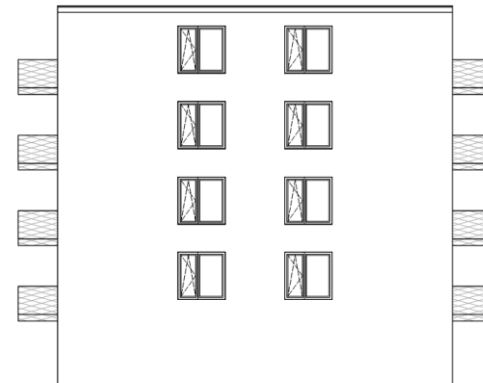
Fazit

Einleitung: Planung / Tragwerksplanung

Startpunkt:
Eingabestand



Ansicht Nord



Ansicht West



Nachweisumfang

In der Regel Nachweis der Tragfähigkeit unter Druck ausreichend

- $N_{Ed} \leq N_{Rd}$
- ggf. Nachweis der Feuerwiderstandsdauer (über Ausnutzungsfaktor)

Sonstige Nachweis üblicherweise rechnerisch nicht zu führen:

- Aussteifung => offensichtlich ausreichend ausgesteift...
- Mindestauflast für Aufnahme Biegung aus Wind auf die Außenwand
- Konstruktive Anforderungen / Dauerhaftigkeit



Normenstand: Eurocode 6 in Deutschland

- **DIN EN 1996-1-1: 2013-02: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; Deutsche Fassung EN 1996-1-1:2005+A1:2012 + Nationaler Anhang NA: 2019-12**
- **DIN EN 1996-1-2: 2011-04: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung EN 1996-1-2:2005 + AC:2010 + Nationaler Anhang NA: 2022-09**
- **DIN EN 1996-2: 2010-12: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk; Deutsche Fassung EN 1996-2:2006 + AC:2009 + Nationaler Anhang NA: 2012-01 + DIN EN 1996-2/NA/A1: 2021-06**
- **DIN EN 1996-3: 2010-12: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten; Deutsche Fassung EN 1996-3:2006 + AC:2009 + Nationaler Anhang NA: 2019-12**



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Eurocode 6 in Deutschland: Arbeitsunterlagen für die Praxis

- *Heft 1 der DAfM Schriftenreihe:
Erläuterungen zu DIN EN 1996 (Eurocode 6)*
<https://www.dgfm.de/aktuelles/artikel/heft-1-kommentierte-fassung-von-din-en-1996-eurocode-6-mit-nationalen-anhaengen-bemessung-und-konstruktion-von-mauerwerksbauten>
- Mauerwerkkalender (aktuelle Ausgabe 2023)
mit vertieften Themen
<https://www.ernst-und-sohn.de/mauerwerk-kalender-2023-ebundle>
- Schneider-Bautabellen (aktuell: 25. Auflage)
(Tagespraxis)
<https://shop.reguvis.de/schneider-bautabellen-werke/>
- KLB-Fachinformation Statik / Bemessung:
Eurocode 6 Kompendium (2. Auflage 2021):
https://www.klb-klimaleichtblock.de/files/documents/Broschueren/2021/KLB_Eurocode6.pdf



Baustoff: Mauersteine

- **Genormte Produkte**
Produktnormen für Mauersteine:
Normenreihe DIN EN 771-x, eingegrenzt durch
Anwendungsnormen Reihe DIN 20000-x
- Produkte nach Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ)
bzw.
Allgemeinen Bauartgenehmigungen (aBG)
.... insbesondere bei Plansteinen, Planelementen und hoch
wärmedämmenden Leichtbetonsteinen,

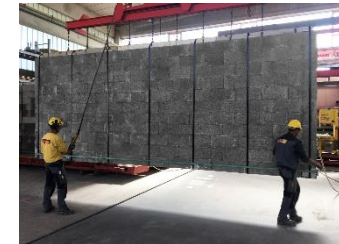
Leichtbeton
Planblock SW1



KLBQUADRO
Planelemente



Mauertafeln



Baustoff: Mörtel

- Genormte Mörtel
 - Werkmauermörtel und werksmäßig hergestellte Mörtel: DIN EN 998-2 mit Anwendungsregeln nach DIN 20000-412
 - Baustellenmörtel nach DIN 18580 (Ausgabe: 2019-06)

WICHTIG: Mörtelbezeichnungen für Normalmauermörtel ändern sich ab 2020 mit A3-Änderung :

NM II	=>	M2,5
NM IIa	=>	M5
NM III	=>	M10
NM IIIa	=>	M20

- Dünnbettmörtel bei Produkten nach Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen (produktspezifisch) bzw. Allgemeinen Bauartgenehmigungen (aBG)



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Mauerstein + Mörtel => Verbundbaustoff Mauerwerk

- Baustoffeigenschaften: charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit $f_k = K \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta$ abhängig von Steindruckfestigkeit f_b , Mörtelgruppe, Steinart, Lochbild und Steinformat
- In Tabellenform in Anhang D von EC 6-3: insgesamt 10 Tabellen (s. a. Schneider Bautabellen)

Tabelle NA.D.3 — Charakteristische Druckfestigkeit f_k in N/mm² von Einsteinauwerk aus Vollziegeln sowie Kalksand-Vollsteinen und Kalksand-Blocksteinen mit Normalmörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	f_k N/mm ²			
	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
38	10,2	11,4	12,7	14,3
48	10,2	11,4	15,1	16,9
60	10,2	11,4	15,1	16,9

Tabelle NA.D.1 — Charakteristische Druckfestigkeit f_k in N/mm² von Einsteinauwerk aus Hochlochziegeln mit Lochung A (HLA), Lochung B (HLB, HLZB-T1), Lochung E (HLE), Mauerfahrgelge T1 sowie Kalksand-Loch- und Hohlblocksteinen mit Normalmörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	f_k N/mm ²			
	NM II	NM IIa	NM III	NM IIIa
4	2,1	2,4	2,9	—
6	2,7	3,1	3,7	—
8	3,1	3,6	4,4	—
10	3,5	4,0	5,0	5,8
12	3,9	4,5	5,6	6,3
16	4,6	5,3	6,5	7,4
20	5,3	6,1	7,5	8,5
28	6,3	7,3	9,0	10,3
38	7,3	8,5	10,6	12,1
48	8,3	9,7	12,1	13,8
60	9,3	10,8	13,3	15,2

Tabelle NA.D.6 — Charakteristische Druckfestigkeit f_k in N/mm² von Einsteinauwerk aus Leichtbeton- und Betonsteinen mit Normalmörtel

Leichtbetonsteine	Steindruckfestigkeitsklasse	f_k N/mm ²		
		Mörtelgruppe		
Hbl, f1b	2	II	1,4	1,7
		III	2,4	2,8
	4	II	2,9	3,1
		III	3,1	3,6
	6	II	2,9	3,1
		III	3,1	3,6
	8	II	2,9	3,1
		III	3,1	3,6
	10	II	2,9	3,1
		III	3,1	3,6
	12	II	2,9	3,1
		III	3,1	3,6
V, Vbl	4	II	1,6	1,9
		III	2,7	3,0
	6	II	3,4	3,7
		III	3,7	4,0
	8	II	3,4	3,7
		III	3,7	4,0
VI, Vbl	4	II	3,4	3,7
		III	3,7	4,0
	6	II	3,4	3,7
		III	3,7	4,0

Tabelle NA.D.5 — Charakteristische Druckfestigkeit f_k in N/mm² von Einsteinauwerk aus Leichtbeton- und Betonsteinen mit Leichtmörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	f_k N/mm ²		
	Mörtelgruppe		
2	II	1,2	1,3
	III	1,6	2,2
4	II	2,5	2,9
	III	2,5	3,3
6	II	2,5	3,3
	III	2,5	3,3
8	II	2,5	3,3
	III	2,5	3,3
10	II	2,5	3,3
	III	2,5	3,3
12	II	2,5	3,3
	III	2,5	3,3
16	II	3,0	3,3
	III	3,0	3,3
20	II	3,0	3,3
	III	3,0	3,3
28	II	3,0	3,3
	III	3,0	3,3

Tabelle NA.D.4 — Charakteristische Druckfestigkeit f_k in N/mm² von Einsteinauwerk aus Kalksand-Plansteinen mit Dünnebetmörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	f_k N/mm ²			
	Mörtelgruppe			
2	II	1,4	1,6	1,8
	III	2,4	2,9	3,4
4	II	2,1	2,4	2,9
	III	2,7	3,1	3,7
6	II	2,7	3,1	3,7
	III	3,1	3,6	4,4
8	II	3,1	3,6	4,4
	III	3,6	4,1	4,9
10	II	3,5	4,0	4,8
	III	4,0	4,5	5,4
12	II	3,9	4,5	5,4
	III	4,5	5,1	6,0
16	II	4,6	5,3	6,3
	III	5,3	6,1	7,1
20	II	5,3	6,1	7,1
	III	6,1	7,0	8,0
28	II	6,3	7,3	8,5
	III	7,3	8,5	9,8
38	II	7,3	8,5	9,8
	III	8,5	9,8	11,3
48	II	8,3	9,7	11,3
	III	9,7	11,3	13,0
60	II	9,3	10,8	12,7
	III	10,8	12,7	14,6

Tabelle NA.D.7 — Charakteristische Druckfestigkeit f_k in N/mm² von Einsteinauwerk aus Leichtbeton- und Betonsteinen mit Vollmörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	f_k N/mm ²			
	Mörtelgruppe			
2	II	1,4	1,6	1,8
	III	2,4	2,9	3,4
4	II	2,1	2,4	2,9
	III	2,7	3,1	3,7
6	II	2,7	3,1	3,7
	III	3,1	3,6	4,4
8	II	3,1	3,6	4,4
	III	3,6	4,1	4,9
10	II	3,5	4,0	4,8
	III	4,0	4,5	5,4
12	II	3,9	4,5	5,4
	III	4,5	5,1	6,0
16	II	4,6	5,3	6,3
	III	5,3	6,1	7,1
20	II	5,3	6,1	7,1
	III	6,1	7,0	8,0
28	II	6,3	7,3	8,5
	III	7,3	8,5	9,8
38	II	7,3	8,5	9,8
	III	8,5	9,8	11,3
48	II	8,3	9,7	11,3
	III	9,7	11,3	13,0
60	II	9,3	10,8	12,7
	III	10,8	12,7	14,6

Tabelle NA.D.2 — Charakteristische Druckfestigkeit f_k in N/mm² von Einsteinauwerk aus Hochlochziegeln mit Lochung W (HLW), Lochung T2, T3 und T4 sowie Langlochziegeln (LLZ) mit Normalmörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	f_k N/mm ²			
	Mörtelgruppe			
4	NM II	2,0	2,3	2,8
	NM III	2,5	2,9	3,3
6	NM II	2,5	2,9	3,3
	NM III	3,2	3,6	4,0
8	NM II	2,5	2,9	3,3
	NM III	3,2	3,6	4,0
10	NM II	2,5	2,9	3,3
	NM III	3,2	3,6	4,0
12	NM II	2,5	2,9	3,3
	NM III	3,2	3,6	4,0
16	NM II	3,0	3,4	4,0
	NM III	3,7	4,2	4,8
20	NM II	3,0	3,4	4,0
	NM III	3,7	4,2	4,8

Tabelle NA.D.8 — Charakteristische Druckfestigkeit f_k in N/mm² von Einsteinauwerk aus Voll- und Lochsteinen mit Leichtmörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	f_k N/mm ²	
	Mörtelgruppe	
2	II	1,4
	III	2,4
4	II	2,1
	III	3,1
6	II	2,7
	III	3,7
8	II	3,1
	III	4,1

genormte Stein-Mörtel-Kombinationen

Tabelle NA.D.9 — Charakteristische Druckfestigkeit f_k in N/mm² von Einsteinauwerk aus Planhochlochziegeln mit Dünnebetmörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	f_k N/mm ²			
	Mörtelgruppe			
2	II	1,4	1,6	1,8
	III	2,4	2,9	3,4
4	II	2,1	2,4	2,9
	III	2,7	3,1	3,7
6	II	2,7	3,1	3,7
	III	3,1	3,6	4,4
8	II	3,1	3,6	4,4
	III	3,6	4,1	4,9
10	II	3,5	4,0	4,8
	III	4,0	4,5	5,4
12	II	3,9	4,5	5,4
	III	4,5	5,1	6,0
16	II	4,6	5,3	6,3
	III	5,3	6,1	7,1
20	II	5,3	6,1	7,1
	III	6,1	7,0	8,0
28	II	6,3	7,3	8,5
	III	7,3	8,5	9,8
38	II	7,3	8,5	9,8
	III	8,5	9,8	11,3
48	II	8,3	9,7	11,3
	III	9,7	11,3	13,0
60	II	9,3	10,8	12,7
	III	10,8	12,7	14,6

Tabelle NA.D.1 — Charakteristische Druckfestigkeit f_k in N/mm² von Einsteinauwerk aus Hochlochziegeln mit Lochung A (HLA), Lochung B (HLB, HLZB-T1), Lochung E (HLE), Mauerfahrgelge T1 sowie Kalksand-Loch- und Hohlblocksteinen mit Normalmörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	f_k N/mm ²			
	Mörtelgruppe			
4	NM II	2,0	2,3	2,8
	NM III	2,5	2,9	3,3
6	NM II	2,5	2,9	3,3
	NM III	3,2	3,6	4,0
8	NM II	2,5	2,9	3,3
	NM III	3,2	3,6	4,0
10	NM II	2,5	2,9	3,3
	NM III	3,2	3,6	4,0
12	NM II	2,5	2,9	3,3
	NM III	3,2	3,6	4,0
16	NM II	3,0	3,4	4,0
	NM III	3,7	4,2	4,8
20	NM II	3,0	3,4	4,0
	NM III	3,7	4,2	4,8

Tabelle NA.D.9 — Charakteristische Druckfestigkeit f_k in N/mm² von Einsteinauwerk aus Planhochlochziegeln mit Dünnebetmörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	f_k N/mm ²	
	Mörtelgruppe	
2	II	1,4
	III	2,4
4	II	2,1
	III	3,1
6	II	2,7
	III	3,7
8	II	3,1
	III	4,1
10	II	3,5
	III	4,5
12	II	3,9
	III	5,1
16	II	4,6
	III	6,1
20	II	5,3
	III	7,1
28	II	6,3
	III	8,1
38	II	7,3
	III	9,1
48	II	8,3
	III	10,1
60	II	9,3
	III	11,1



Mauerstein + Mörtel => Verbundbaustoff Mauerwerk

- Beispiel: Tabelle NA.D7:

Charakteristische Druckfestigkeit f_k in N/mm^2 von Einsteinmauerwerk aus Leichtbeton-Vollblöcken mit Schlitz S und Vbl SW mit Normalmauermörtel

Steindruck- festigkeits- klasse der Vollblöcke	Charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit f_k N/mm^2			
	M2,5 (NM II)	M5 (NM IIa)	M10 (NM III)	M20 (NM IIIa)
2	1,4	1,6	1,8	1,8
4	2,1	2,4	2,9	2,9
6	2,7	3,1	3,7	3,7
8	2,7	3,9	4,4	4,4
10	2,7	4,5	5,0	5,0
12	2,7	5,0	5,6	5,6

Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Mauerstein + Mörtel => Verbundbaustoff Mauerwerk zulassungsgeregelte Produkte

Angabe der Mauerwerksdruckfestigkeit f_k direkt in Zulassung

WICHTIG:

Herstellerangaben auch zu Ausführung

und

ggf. vorhandene Bemessungsbesonderheiten beachten:

- Teilflächenpressung
- Schubfestigkeit
- Anwendungsbereich
- Feuerwiderstand
- ...

Zulassungsgeregelte Produkte

Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Mauerstein + Mörtel => Verbundbaustoff Mauerwerk zulassungsgeregelte Produkte

Beispiel: KLBQUADRO Planelemente nach Zulassung Nr. 7.1-852

Regelabmessung der Elemente: 50 cm x 50 cm

Wanddicken: 11,5 / 15 / 17,5 / 20 / 24 / 30 cm

Charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit $f_k = 10 \text{ MN/m}^2$
(Steindruckfestigkeitsklasse 20 = Regelfall)



Mauerwerks- und Wandelementen aus Leichtbeton

on rationalen, großformatigen

Zulassungsgeregelte Produkte

Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Mauerstein + Mörtel => Verbundbaustoff Mauerwerk zulassungsgeregelte Produkte

Beispiel: KLBQUADRO Planelemente nach Zulassung Nr. 7.1-852

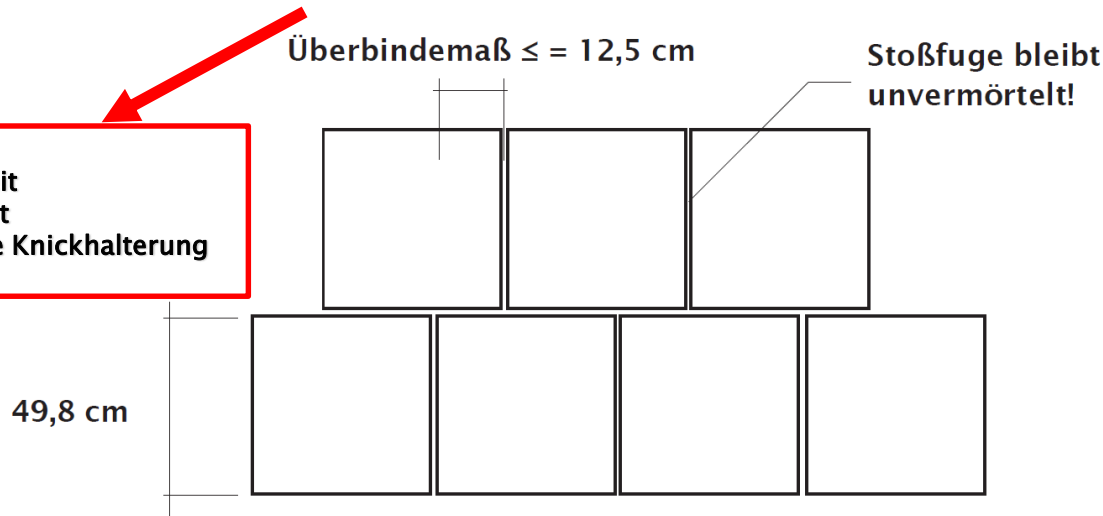
Regelabmessung der Elemente: 50 cm x 50 cm

Wanddicken: 11,5 / 15 / 17,5 / 20 / 24 / 30 cm

WICHTIG: Überbindemaß bis auf 12,5cm reduzierbar!

Zulassungsgeregelte Produkte

- Einfluss auf:
- Schubfestigkeit
 - Biegefestigkeit
 - 3- & 4-seitige Knickhalterung



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Bemessung und Konstruktion nach dem Vereinfachten Verfahren in EC 6, Teil 3

Einleitung und Übersicht



Bemessung und Konstruktion nach dem Vereinfachten Verfahren in EC 6, Teil 3

Nachweis rechnerisch alleine der Druckbeanspruchung erforderlich:

- Einspannung Wand-Decke durch Abminderungsfaktor ϕ_1 einfach abgedeckt
- Knicken durch Abminderungsfaktor ϕ_2 einfach abgedeckt
- keine Windlasten anzusetzen
- Normalkraft in der Wand ist die einzige zu ermittelnde Schnittgröße N_{Ed}

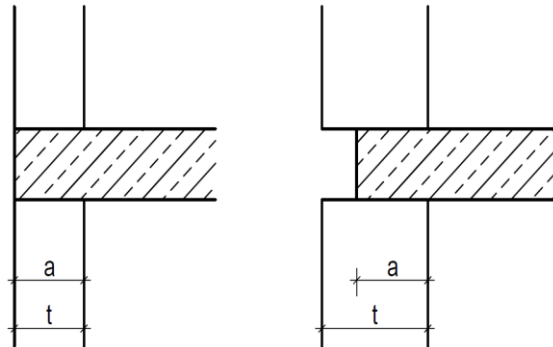
$$\text{Nachweis: } N_{Ed} \leq N_{Rd}$$



Bemessung und Konstruktion nach dem Vereinfachten Verfahren in EC 6, Teil 3

Anwendungsgrenzen:

- Gebäudehöhe max. 20 m
- Stützweite der Decke l_f max. 6m
- Deckenauflagertiefe a mindestens $t/2$ bzw. 10cm



- Aussteifung des Bauwerks ist sichergestellt
=> „*offensichtlich ausreichend ausgesteift*“
sonst: Nachweis des Aussteifung nach dem genaueren Verfahren



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Bemessung und Konstruktion nach dem Vereinfachten Verfahren in EC 6, Teil 3

Weitere Voraussetzungen:

Bauteil	Wanddicke t in mm	zulässige lichte Wandhöhe h [m]					
		generell zulässig	bei Berücksichtigung von Fußnote ^d				
			Mauerwerk aus Porenbetonsteinen	Mauerwerk aus Ziegeln, Kalksandstein, Leichtbeton- und Betonsteinen mit Normal- oder Dünnbettmörtel			
				Mauerwerksdruckfestigkeit f _k in N/mm ²			
		≥ 1,8	≥ 3,0	≥ 3,5	≥ 5,0	≥ 10,0	
tragende Außenwände und zweischalige Haus-trennwände	≥ 115 ^{a,b}	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
	≥ 150 ^c	2,75 ^b	2,75 ^b	2,75 ^b	2,75 ^b	3,0 ^{e,f}	3,3 ^h
	≥ 175	2,75	2,75	3,3	3,0 ^e	3,3 ^g	3,6 ^h
	≥ 200	2,75	3,3	3,6	3,6	3,6	3,6 ^h
	≥ 240	12 • t	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6 ^h
	≥ 300	12 • t	12 • t	12 • t	12 • t	12 • t	12 • t
tragende Innenwände	≥ 115	2,75	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
	≥ 240	k. E.	k. E.	keine Einschränkung (k. E.)			

Bemessung und Konstruktion nach dem Vereinfachten Verfahren in EC 6, Teil 3

Nachweis der Drucktragfähigkeit – allgemeines:

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

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

$$N_{Rd} = \Phi_{1,2} \cdot A \cdot f_d$$

Abminderungsfaktor:

Querschnittsfläche
(brutto)

Bemessungswert der MW-Druckfestigkeit

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

$$= 0,85 \cdot f_k / 1,5$$

wie im Stahlbetonbau

$$\Phi = \min \begin{cases} \Phi_1 \rightarrow \text{Deckenverdrehung (am Wandkopf \&- fu\ss)} \\ \Phi_2 \rightarrow \text{Knicken (in Wandh\u00f6henmitte)} \end{cases}$$



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

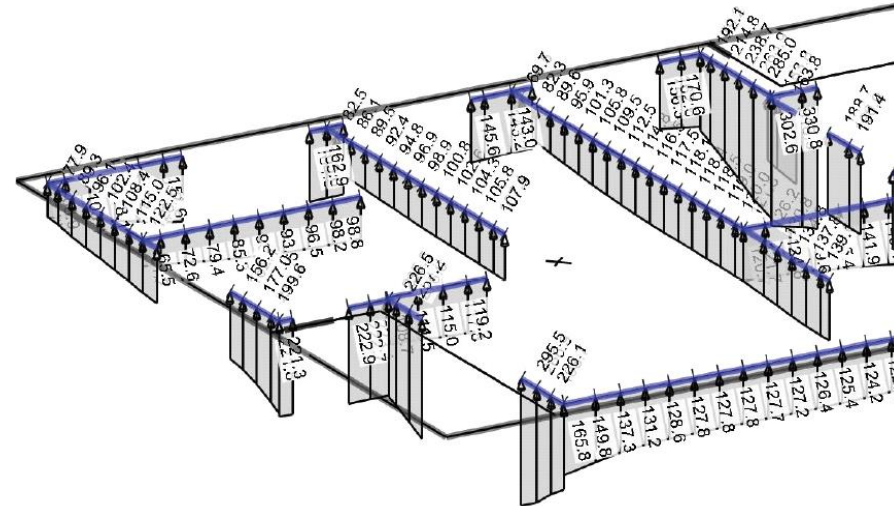
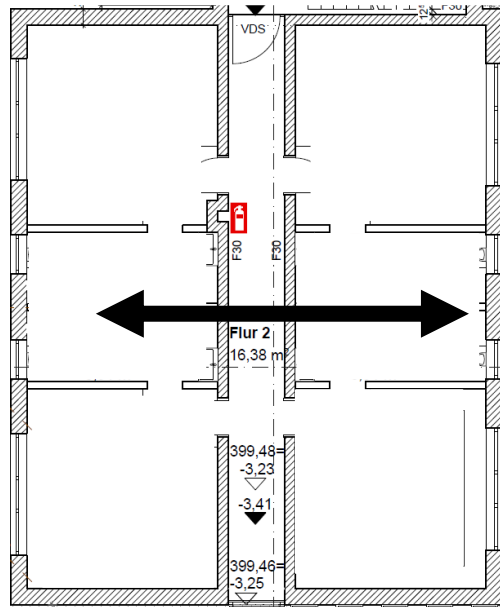
Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Bemessung und Konstruktion nach dem Vereinfachten Verfahren in EC 6, Teil 3

Einwirkung: N_{Ed} aus Schnittgrößenermittlung



einfache, 1- oder 2-achsige gespannte Decken:
Lastermittlung mittels Lastezugsflächen

kompliziertere Deckensysteme / ggf. mit
Abfangungen: Lastermittlung mittels FEM

Bemessung und Konstruktion nach dem Vereinfachten Verfahren in EC 6, Teil 3

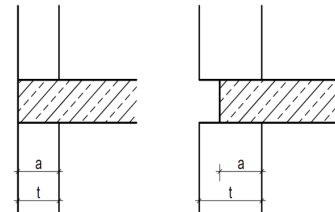
Nachweis:
$$N_{Rd} = \Phi_{1,2} \cdot t \cdot f_d \geq N_{Ed}$$

Deckenverdrehung: Nachweisstelle = Wandkopf und Wandfuß

- Wand als Endauflager von Decken:

$$\Phi_1 = \left(1,6 - \frac{l_f}{6}\right) \cdot \frac{a}{t} \leq 0,9 \cdot \frac{a}{t} \quad (\text{bei } f_k \geq 1,8\text{N/mm}^2)$$

$$\Phi_1 = \left(1,6 - \frac{l_f}{5}\right) \cdot \frac{a}{t} \leq 0,9 \cdot \frac{a}{t} \quad (\text{bei } f_k < 1,8\text{N/mm}^2)$$



- Zwischenaufleger: keine Abminderung ($\Rightarrow \Phi_1 = 0,9$)

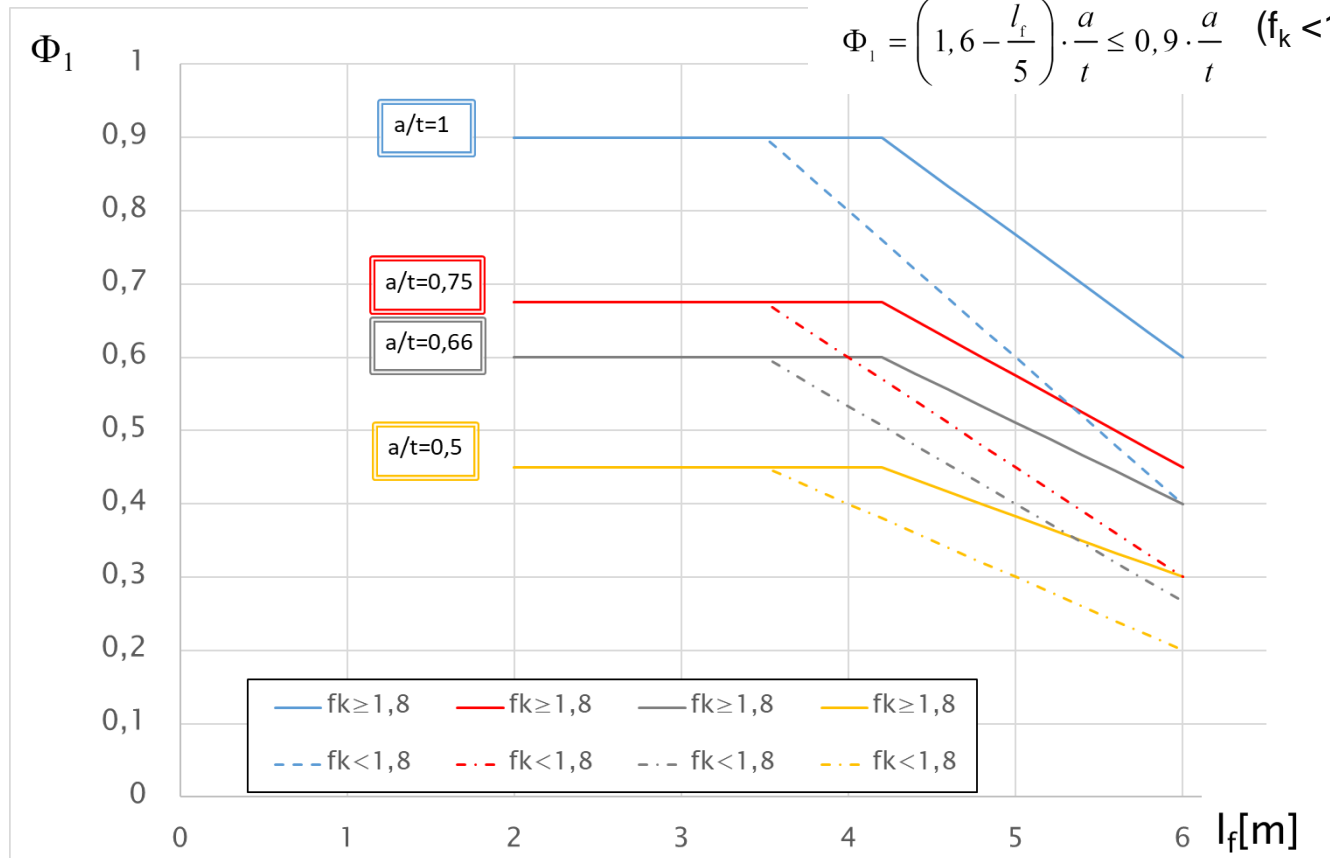


Bemessung und Konstruktion nach dem Vereinfachten Verfahren in EC 6, Teil 3

Deckenverdrehung:

$$\Phi_1 = \left(1,6 - \frac{l_f}{6}\right) \cdot \frac{a}{t} \leq 0,9 \cdot \frac{a}{t} \quad (f_k \geq 1,8 \text{ N/mm}^2)$$

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



Bemessung und Konstruktion nach dem Vereinfachten Verfahren in EC 6, Teil 3

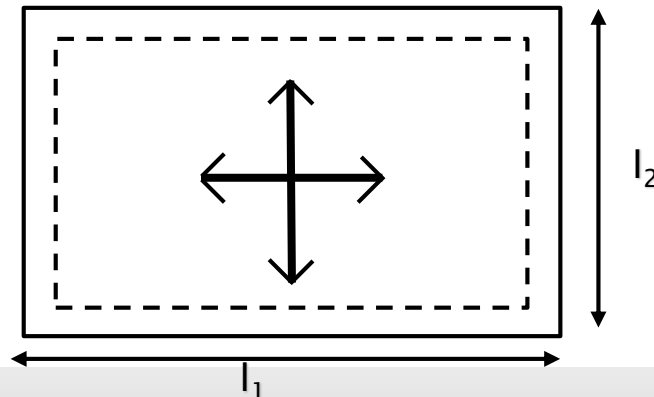
$$\Phi_1 = \left(1,6 - \frac{l_f}{6} \right) \cdot \frac{a}{t} \leq 0,9 \cdot \frac{a}{t} \quad (f_k \geq 1,8\text{N/mm}^2)$$

Deckenverdrehung:

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

Neuerung (2019-12):

Bei 2-achsig gespannten Decken ($l_1/l_2 \leq 2$) darf für l_f das 0,85-fache der kürzeren Stützweite angesetzt werden!



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

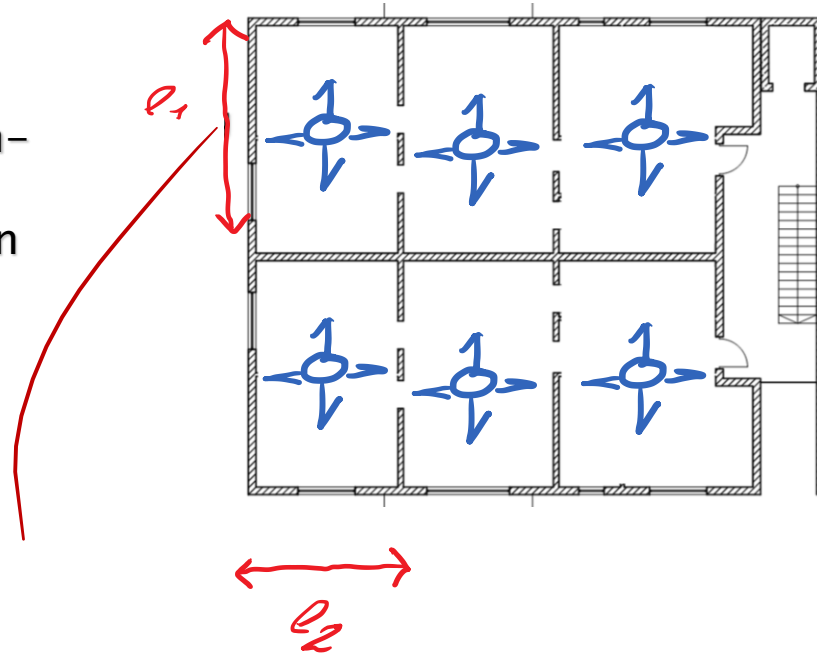
Bemessung und Konstruktion nach dem Vereinfachten Verfahren in EC 6, Teil 3

- rechnerische Deckenstützweite l_f bei 2-achsig gespannten Decken ($l_1/l_2 \leq 2$):

$$l_f = 0,85 \cdot l_{\min(1,2)}$$

$$\text{hier: } l_f = 0,85 \cdot l_2$$

- Begrenzung der Deckenstützweite bleibt erhalten: $l_2 \leq 6\text{m}$
 $l_1 \leq 2 \cdot l_2$



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

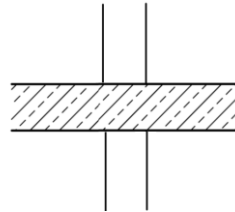
Bemessung und Konstruktion nach dem Vereinfachten Verfahren in EC 6, Teil 3

Φ_2

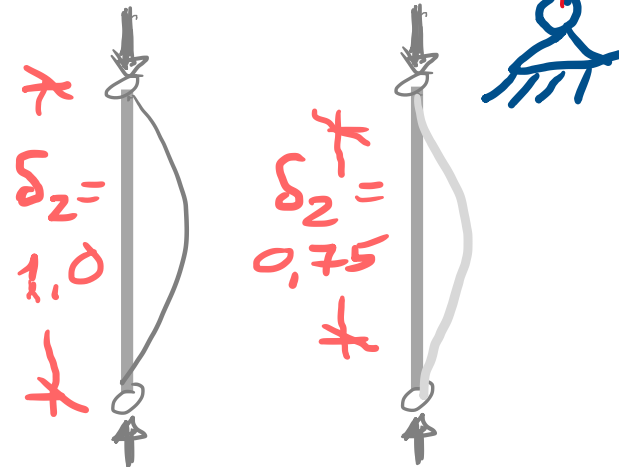
Knicklängen: $h_{ef} = \rho \cdot h$

- 2-seitige Halterung: $h_{ef} = \rho_2 \cdot h$

Knicken: Φ_2



Knicklänge: $h_{ef} = \rho_{2,3,4} \cdot h$



- 2-seitige Halterung: $h_{ef} = \rho_2 \cdot h \leq \text{Teileinspannung in Betondecken wenn:}$

Wanddicke 11,5 und 17,5: $\rho_2 = 0,75$

Wanddicke 24cm: $\rho_2 = 0,9$

Wanddicke 30cm und mehr: $\rho_2 = 1$

$a_{min} = t$

$a_{min} = 17^5 \text{cm}$



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

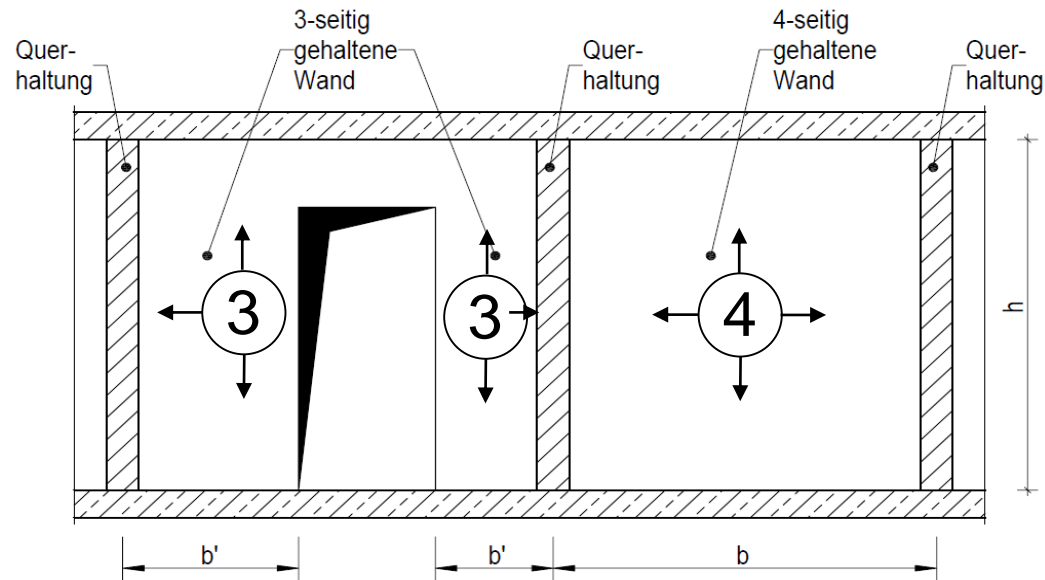
Feuerwiderstand

Fazit

Bemessung und Konstruktion nach dem Vereinfachten Verfahren in EC 6, Teil 3

Knicklängen: $h_{ef} = \rho \cdot h$

- 3-seitige / 4-seitige Knickhalterung: $h_{ef} = \rho_3 \cdot h$ bzw. $\rho_4 \cdot h$



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

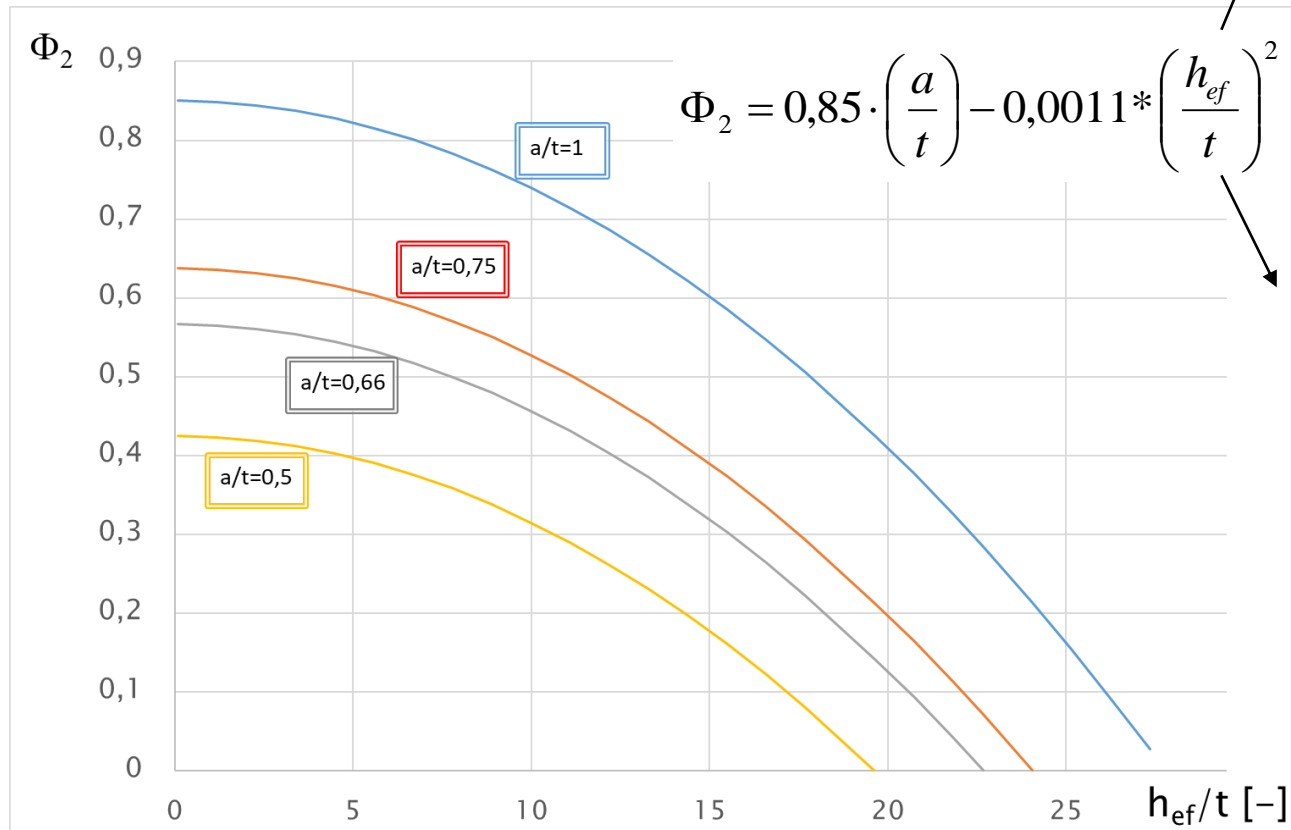
Fazit

Bemessung und Konstruktion nach dem Vereinfachten Verfahren in EC 6, Teil 3

Φ_2

Knicken: Nachweisstelle = halbe Wandhöhe

Knicklänge:
 $h_{ef} = \rho \cdot h$



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Beispiel: 5-geschossiges Gebäude

KLBQUADRO Planelemente $f_k=10\text{MN/m}^2 \Rightarrow f_d=5,7\text{MN/m}^2$

Lastabschätzung:

Decke $g_d+q_d=12\text{kN/m}^2$

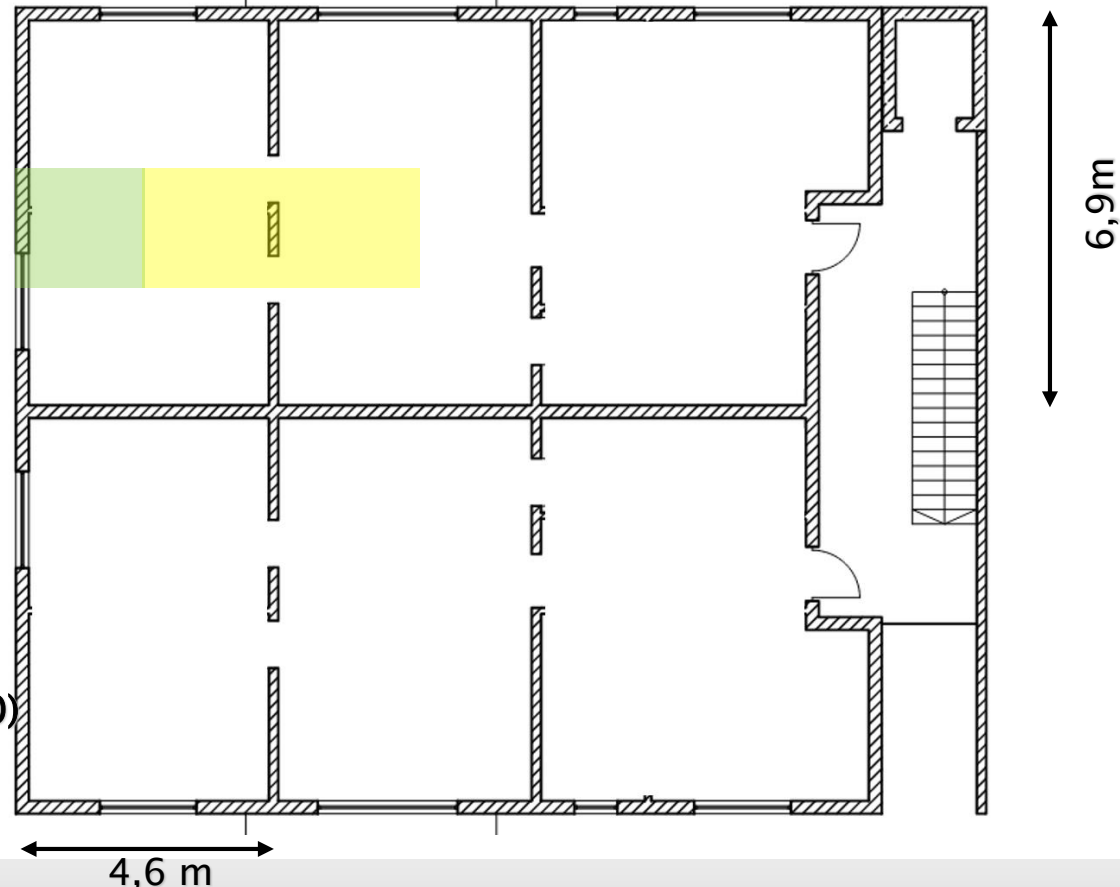
Wandgewicht: $g_d=10\text{kN/m}$

17,5cm Außenwand
(Streifen 1m):
Lasteinzug: $4,1\text{m}^2$

$$N_{Ed}=5*(4,1*12+10) \\ = 296 \text{ kN/m}$$

17,5cm Innenwand
(Breite 74cm):
Lasteinzug: $7,6\text{m}^2$

$$N_{Ed}=5*(7,6*12/0,74+10) \\ = 666 \text{ kN/m}$$



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Beispiel: 5-geschossiges Gebäude

Rechnerische Deckenstützweite (2-achsig gespannte Deckenfelder):

$$l_f = 0,85 * 4,6\text{m} = 3,9\text{m} \Rightarrow \phi_1 = (1,6 - 3,9/6) \leq 0,9 \Rightarrow \phi_1 = 0,9$$

Knicklänge: $h_{ef} = 0,75 * 2,6\text{m} = 1,95\text{m} \Rightarrow \phi_2 = 0,85 - 0,0011 * (195/17,5)^2 = 0,71$

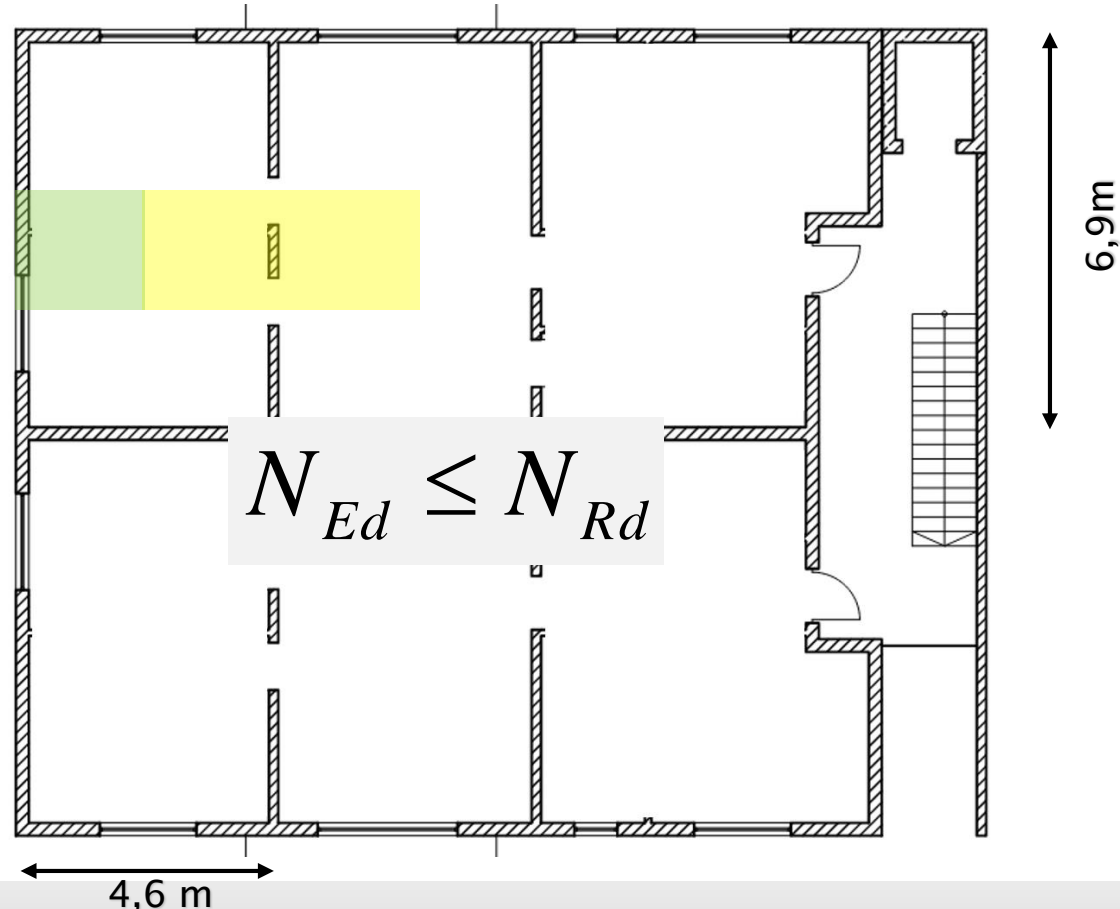
bei $t = 17,5\text{cm}$

17,5cm Außenwand
(Streifen 1m):
Lasteinzug: $4,1\text{m}^2$

$$N_{Ed} = 296\text{ kN/m} \leq N_{Rd} = 0,71 * 0,175 * 5,7 = 704\text{ kN/m}$$

17,5cm Innenwand
(Breite 74cm):
Lasteinzug: $7,6\text{m}^2$

$$N_{Ed} = 666\text{ kN/m} \leq N_{Rd} = 0,71 * 0,175 * 5,7 = 704\text{ kN/m}$$



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

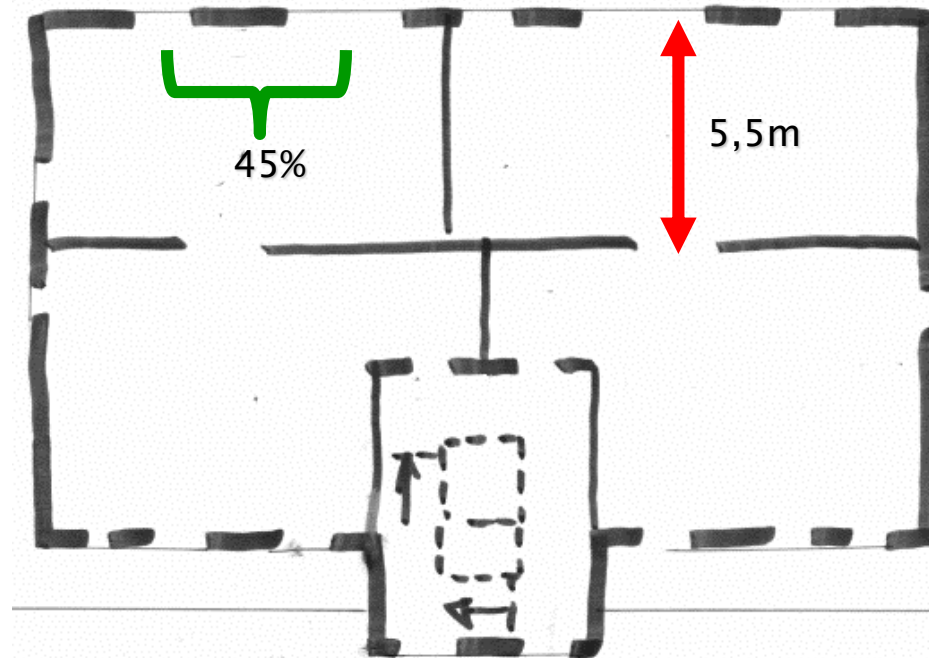
Hilfsmittel für Vorbemessung Außenwände nach dem Vereinfachten Verfahren

Beispiel:

- Parameter:
Deckenstützweite: 5,5m ($l_1/l_2 < 2 \Rightarrow$ Reduktion von l_f mit 0,85)
Wandhöhe: $h=2,6\text{m}$
Wanddicke: $t=42,5\text{cm}$ / Deckenauflagertiefe: $a=36\text{cm}$
Deckenlast:
 $\Delta g_k=1,5\text{kN/m}^2$
 $q_k=1,5\text{kN/m}^2$
Öffnungsanteil: 45%
Geschossanzahl: ...
- Produkt: monolithisch
KLB-ISOSTAR



$f_k=1,8\text{MN/m}^2$
(abZ-17.1-1075)



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

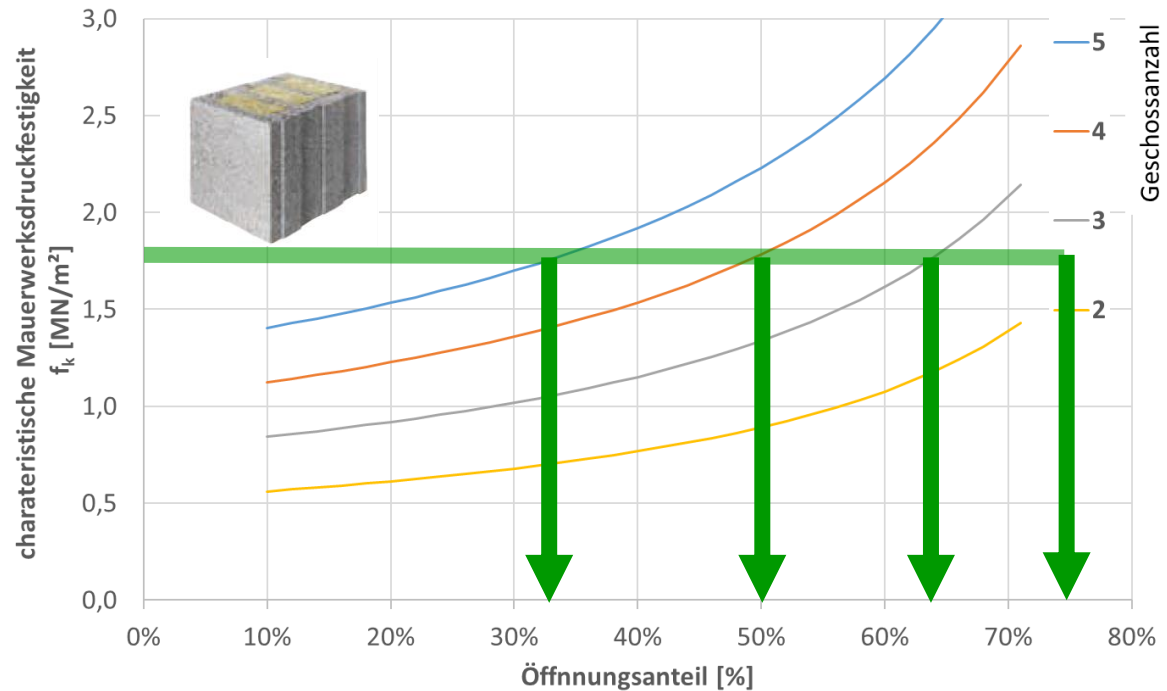
Beispiel

Feuerwiderstand

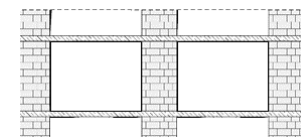
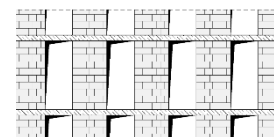
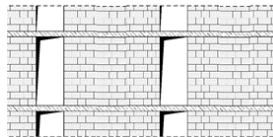
Fazit

Hilfsmittel für Vorbemessung Außenwände nach dem Vereinfachten Verfahren

Beispiel:



Wandhöhe: $h = 2,6\text{m}$
Wanddicke: $t = 42,5\text{m}; a = 36\text{cm}$
Deckenstützweite: $l_f = 5,5\text{m}$ (zweiachsig gespannt)
Deckenlast: $g_{k,\text{Ausbau}} = 1,5\text{kN/m}^2; q_k = 1,5\text{kN/m}^2$



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

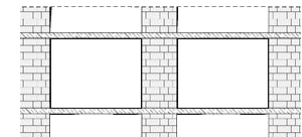
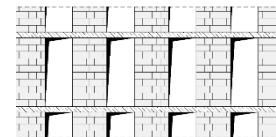
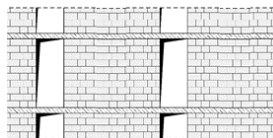
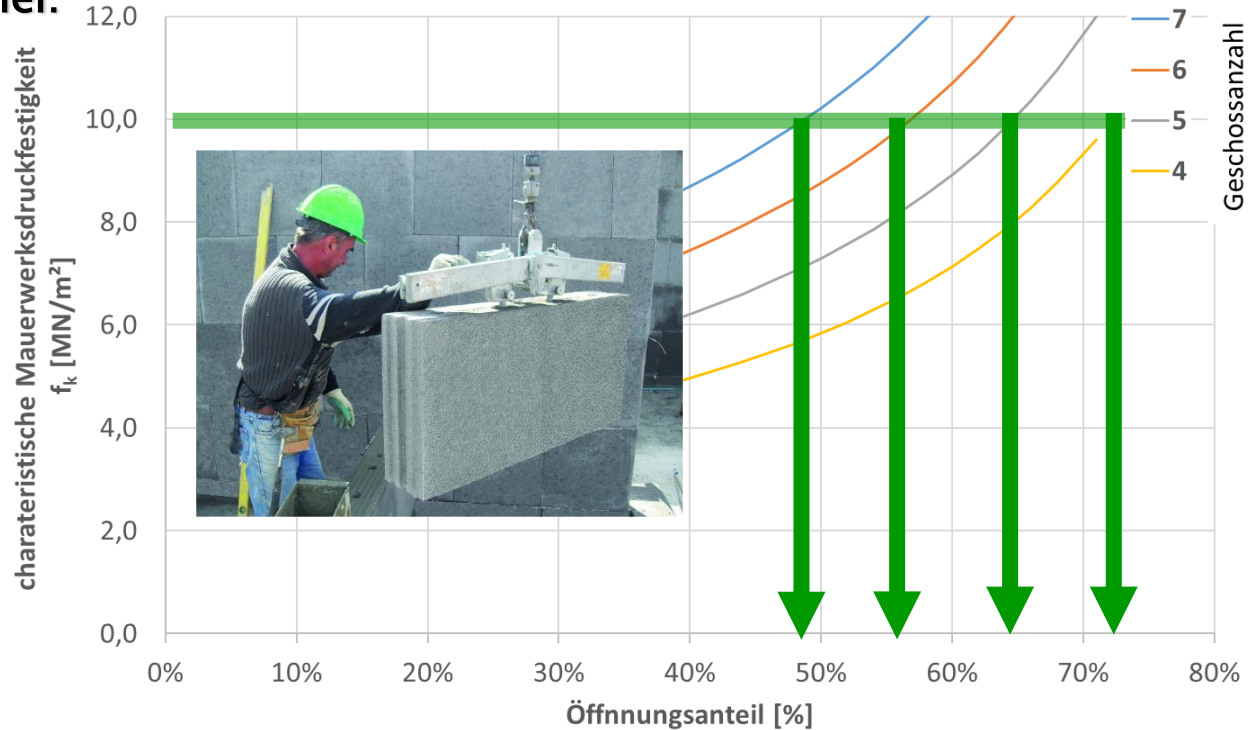
Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Hilfsmittel für Vorbemessung Außenwände nach dem Vereinfachten Verfahren

Beispiel:



Wandhöhe: $h = 2,6\text{m}$
Wanddicke: $t = 0,175\text{m} = a$
Deckenstützweite: $l_f = 6\text{m}$ (einachsig gespannt)
Deckenlast: $g_{k,\text{Ausbau}} = 1,5\text{kN/m}^2$; $q_k = 1,5\text{kN/m}^2$

Stark vereinfachtes Verfahren (Anhang A, Eurocode 6-3/NA)

Zusätzliche Voraussetzungen:

- maximale Wandschlankheit 21
- lichte Geschosshöhe maximal 3m
- maximal 3 Geschosse
- Gebäudehöhe max. 3 x kürzere Gebäudebreite im Grundriss
- bei teilaufgelagerten Decken:
 - Wanddicke mindestens 36,5cm
 - Deckenauflagertiefe mindestens 2/3 der Wanddicke

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

voll aufliegende Decken:

ϕ : 0,5: im Regelfall

0,4: bei – Wandschlankheit > 18

– Deckenstützweiten $l > 5,5\text{m}$ und $f_k < 1,8\text{MN/m}^2$

0,33: bei: $18 < \text{Wandschlankheit}$

teilaufliegende Decken und gleichzeitig $l_f > 4\text{m}$:

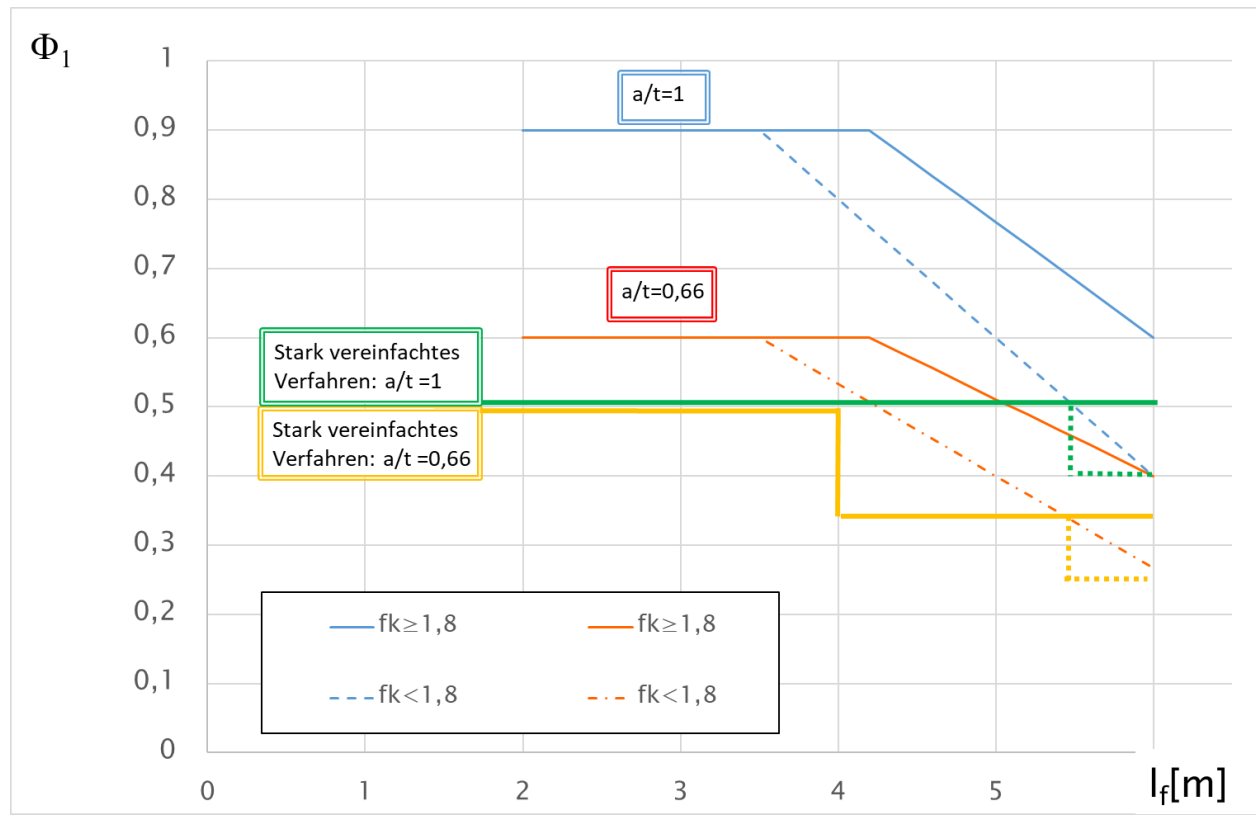
ϕ gem. obiger Ausführung ist dann zusätzlich mit a/t zu multiplizieren

Stark vereinfachtes Verfahren (Anhang A, Eurocode 6-3/NA)

Vergleich mit Vereinfachtem Verfahren:

- Deckeneinspannung ϕ_1

Vergleich der beiden Verfahren (VV und SVV):

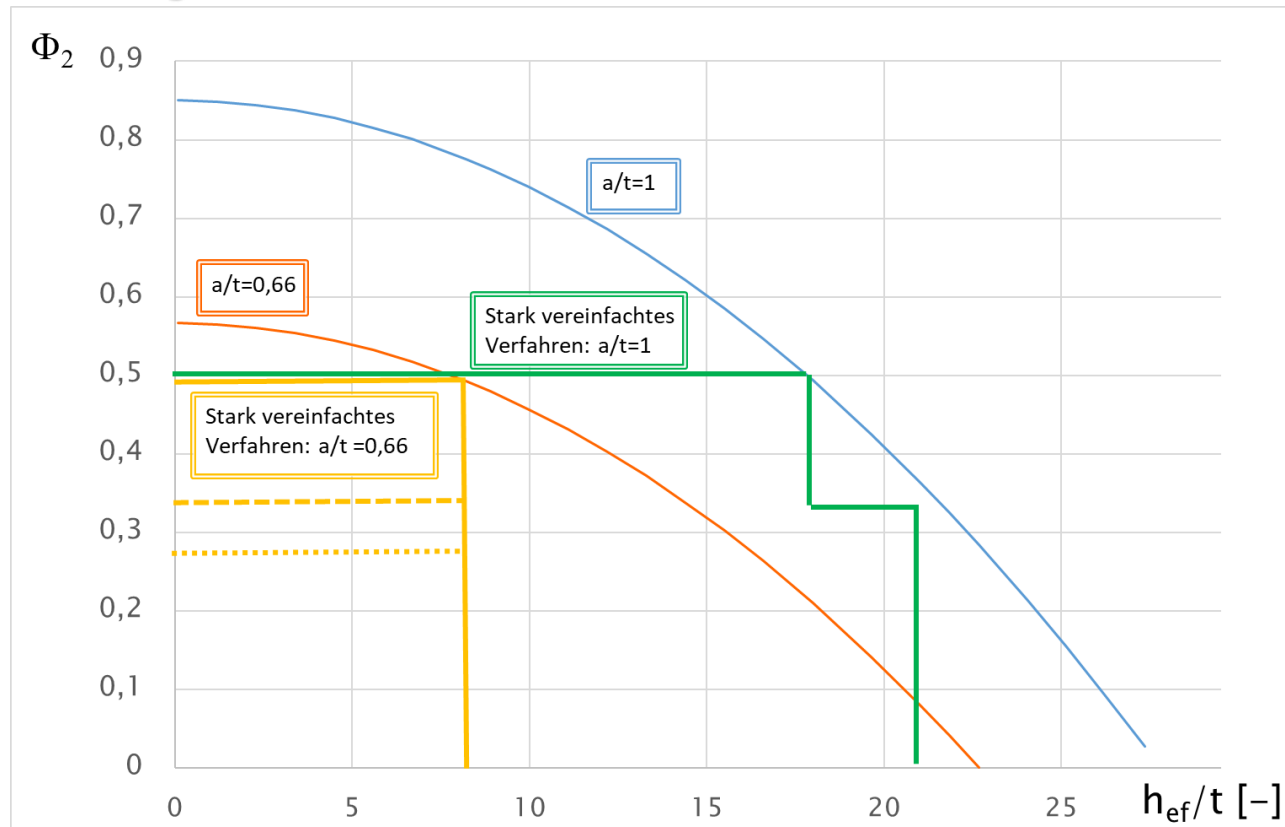


Stark vereinfachtes Verfahren (Anhang A, Eurocode 6-3/NA)

Vergleich mit Vereinfachtem Verfahren:

- **Knicktraglastfaktor ϕ_2**

Vergleich der beiden Verfahren (VV und SVV):



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Wandbemessung unter vorwiegender vertikaler Belastung:

Beispiel: Außenwand im EG eines MFH



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Wandbemessung unter vorwiegender vertikaler Belastung:

Beispiel: Außenwand im EG eines MFH

Ursprüngliche Planung:
Stahlbeton 24cm

Umplanung in
KLBQUADRO infolge

- geringerer Herstellkosten
- kürzerer Bauzeit
- geringerem Aufwand in Planung (Statik, Schal- und Bewehrungsplanung, Abnahmen,...) sowie in Ausführung



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

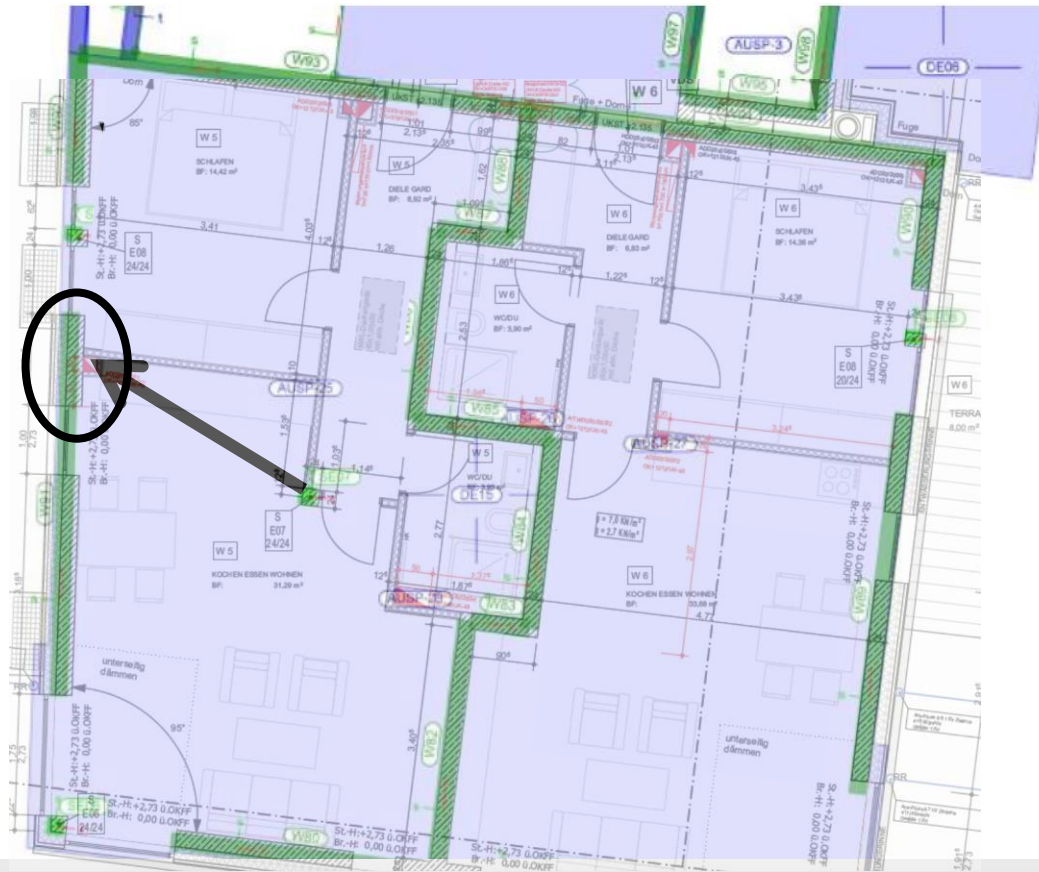
Beispiel

Feuerwiderstand

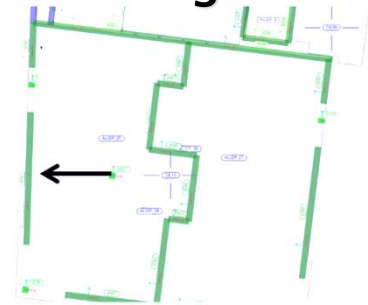
Fazit

Wandbemessung unter vorwiegender vertikaler Belastung:

Beispiel: Außenwand im EG eines MFH



Wandbemessung unter vorwiegender vertikaler Belastung:

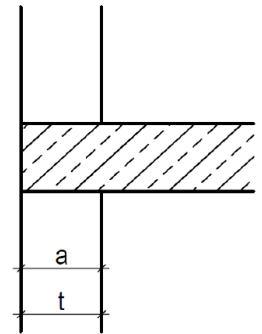


Außenwand

- lichte Geschosshöhe 3,0 m
- Deckenstützweite: 5m (Spannrichtung ~ 1-achsig)
- mehrschaliger Aufbau:

Baustoff: KLBQUADRO: $f_k = 10 \text{ MN/m}^2$
 (Druckfestigkeitsklasse der Planelemente: 20)

- Wanddicke: $t = 175 \text{ cm}$
 (voll aufgelagert: $a = t$)



Lasten:

- Wandeigengewicht (Rohdichteklasse 2,0): 12 kN/m (bei $t = 175 \text{ cm}$)



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

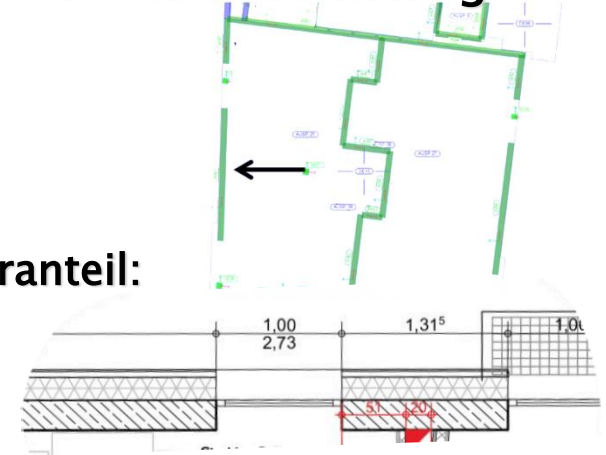
Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Wandbemessung unter vorwiegender vertikaler Belastung:

Außenwandabschnitt der Länge 1,3m
(Lasteinzug aus Decke inkl. Fensteranteil:
 $\approx 1,3\text{m} + 1\text{ m}/2 = 1,8\text{m}$)



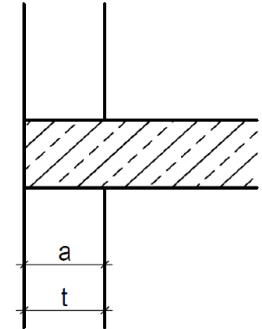
Bemessungswerte der Normalkraft:

- Wandkopf:
$$N_{Ed} = 1,8\text{m} * (1,35 * 93\text{kN/m} + 1,5 * 47\text{kN/m}) = 353\text{ kN}$$
- Wandmitte:
$$N_{Ed} = 353\text{kN} + 1,35 * 1,3\text{m} * (0,5 * 12\text{kN/m}) = 363\text{ kN}$$
- Wandfuß:
$$N_{Ed} = 353\text{kN} + 1,35 * 1,3\text{m} * 12\text{kN/m} = 374\text{ kN}$$

Wandbemessung unter vorwiegender vertikaler Belastung: rechnerischer Nachweis: vereinfachtes Verfahren

Außenwand in reduzierter Wandstärke 17,5cm:

$$\begin{aligned} \text{Knicklänge: } h_{\text{ef}} &= \rho_2 * h \\ h_{\text{ef}} &= 0,75 * 3\text{m} = 2,25\text{m} \end{aligned}$$



Nachweis Deckeneinspannung (maßgebend: Wandfußpunkt):

$$\Phi_1 = 1,6 - 5\text{m} / 6\text{m} \leq 0,9 * 0,175 / 0,175 = \min(0,77; 0,9) = 0,77$$

$$N_{\text{Rd,Fuß}} = 1,3\text{m} * 0,175\text{m} * 5,67\text{MN/m}^2 * 0,77 = 988 \text{ kN} > N_{\text{Ed,Fuß}} = 374\text{kN}$$

[Reserve mit Faktor 2,6]

Nachweis Knicken (halbe Wandhöhe):

$$\Phi_2 = 0,85 * 17,5 / 17,5 - 0,0011 * (2,25 / 0,175)^2 = 0,67$$

$$N_{\text{Rd,Mitte}} = 1,3\text{m} * 0,175\text{m} * 5,67\text{MN/m}^2 * 0,67 = 861 \text{ kN} > N_{\text{Ed,Mitte}} = 363\text{kN}$$

[Reserve mit Faktor 2,4]

Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Wandbemessung unter vorwiegender vertikaler Belastung: rechnerischer Nachweis: vereinfachtes Verfahren

Optimierung des Aufwandes in der Tragwerksplanung:

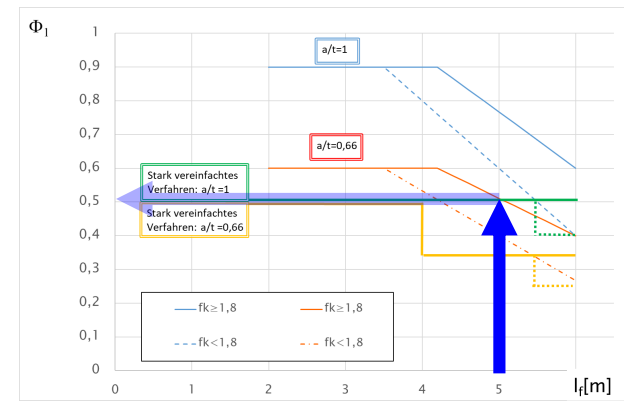
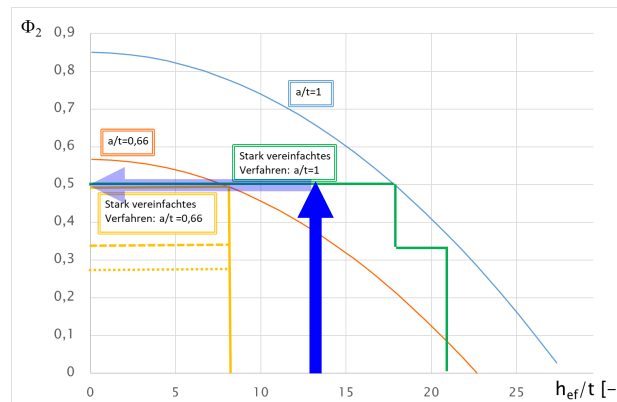
Anwendung des *Stark Vereinfachten Verfahrens*:

Anwendungsgrenzen eingehalten (bis auf die Grenze der maximalen Geschossanzahl von 3 => für Vorbemessung vernachlässigbar)

Wandschlankheit: $2,25\text{m}/0,175\text{m}=13 < 18 \Rightarrow \Phi=0,5$ ($a/t=1$)

$N_{Rd} = 1,3\text{m} \cdot 0,175\text{m} \cdot 5,67\text{MN}/\text{m}^2 \cdot 0,5 = 861 \text{ kN} > N_{Ed, \text{Mitte}} = 374\text{kN}$
[Reserve mit Faktor 1,7]

⇒ Nachweis erfüllt!!!



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Feuerwiderstand

Feuerwiderstandsdauer abhängig von

- Stein-Mörtel-Kombination
- Auflastniveau / Ausnutzung
- Art der Brandbeanspruchung
- Putz



Feuerwiderstand

- Nachweis über Einhaltung von Zulässigen Ausnutzungsfaktoren:
(Ziel: => „kalte“ Bemessung deckt Heißbemessung ab)
- Nachweis nach DIN EN 1996-1-2/NA

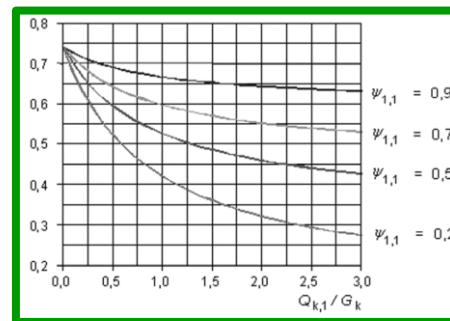
$$\alpha_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}}$$

Verwendung in den
a.b. Zulassungen

$$\alpha_{6,fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}}$$

Verwendung bei
genormten Steinen

$$N_{Ed,fi} = N_{Ed} * \eta_{fi} = N_{Ed} * 0,7$$



N_{Ed}

(kalte) Einwirkung

N_{Rd}

(kalte) Tragfähigkeit

Feuerwiderstand – genormte Produkte

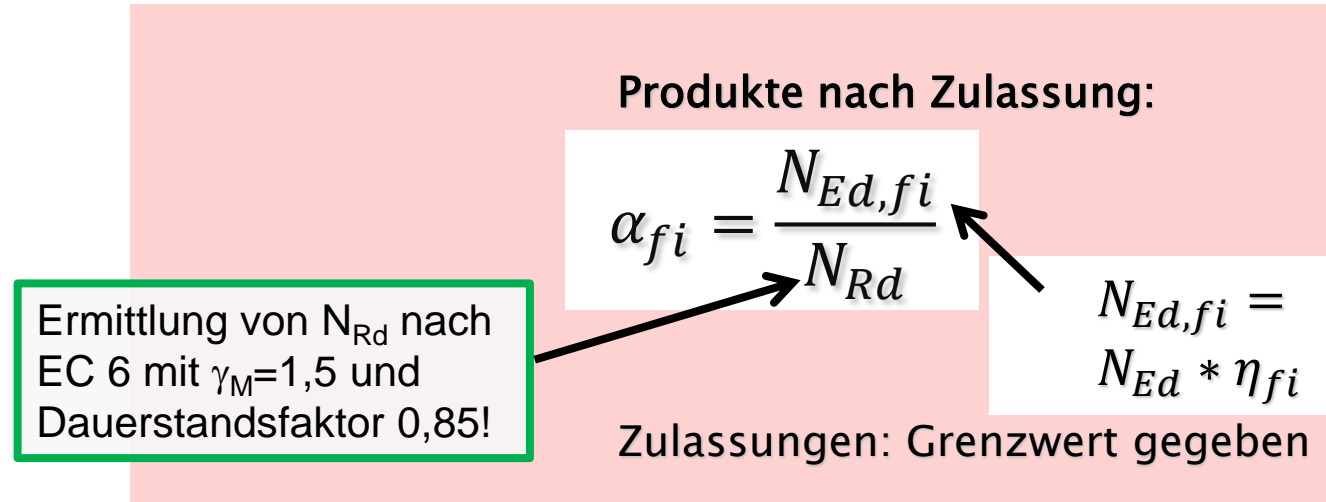
genormte Produkte:
Tabellen in EC 6-1-2/NA => $\alpha_{6,fi}$

Beispiel: Betonstein-Mauerwerk — Mindestdicke tragender, raumabschließender 1-schaliger Wände (Kriterien REI) zur Einstufung in Feuerwiderstandsklassen

Materialeigenschaften	Mindestwanddicke (mm) zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse REI in (Minuten) (Klammerwerte: mit beidseitigem Putz)				
	30	60	90	120	180
Mauersteine aus Beton (Leichtbeton mit haufwerksporigem Gefüge) nach DIN EN 771-3 in Verbindung mit DIN 20000-403 unter Verwendung von Normalmauermörtel und Leichtmauermörtel					
Rohdichteklasse $\geq 0,50$					
Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi} \leq 0,15$	115 (115)	115 (115)	115 (115)	140 (115)	140 (115)
Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi} \leq 0,42$	140 (115)	140 (115)	175 (115)	175 (140)	190 (175)
Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi} \leq 0,70$	175 (140)	175 (140)	175 (140)	190 (175)	240 (190)
Mauersteine aus Beton (Normalbeton) nach DIN EN 771-3 in Verbindung mit DIN 20000-403 unter Verwendung von Normalmauermörtel und Leichtmauermörtel					
Rohdichteklasse $\geq 0,80$					
Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi} \leq 0,15$	115 (115)	115 (115)	115 (115)	140 (115)	140 (115)
Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi} \leq 0,42$	140 (115)	140 (115)	175 (115)	175 (140)	190 (175)
Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi} \leq 0,70$	175 (115)	175 (140)	175 (140)	190 (175)	240 (190)



Feuerwiderstand – zulassungsgeregelte Produkte



=> Infolge teilweise deutlich höherer rechnerischer Tragfähigkeiten N_{Rd} nach Eurocode 6 im Vergleich zu DIN 1053-1 kann $\alpha_{fi} < 0,7$ werden



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

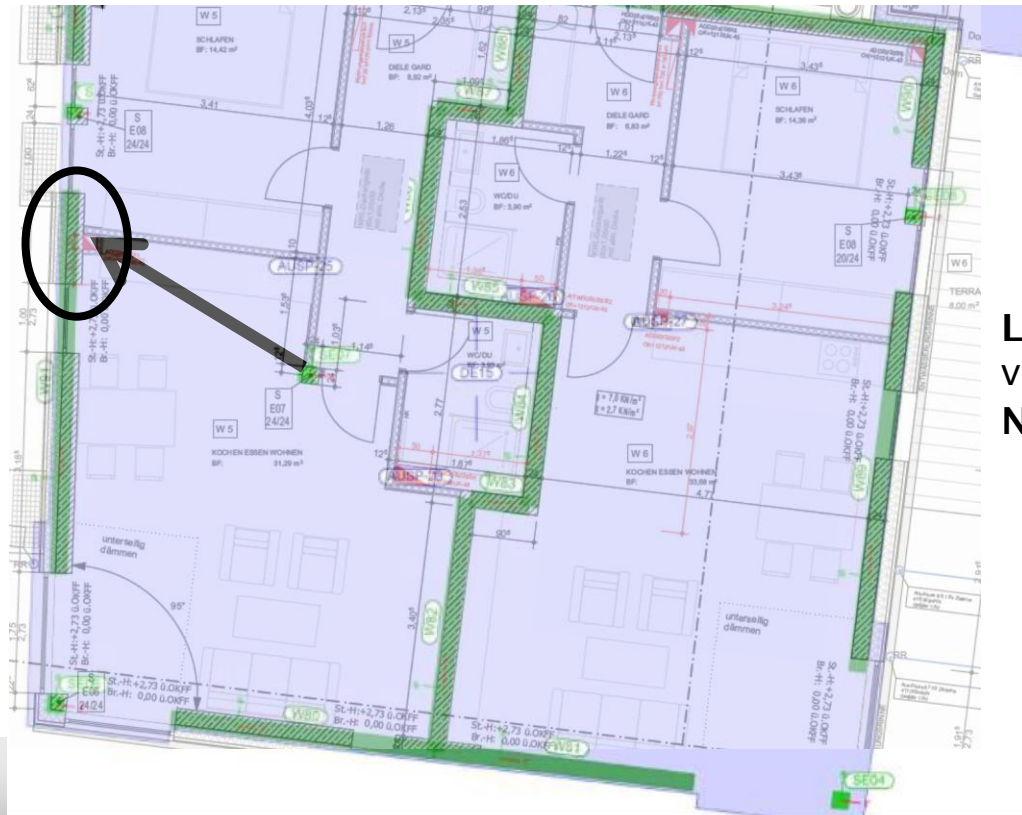
Feuerwiderstand

Fazit

Feuerwiderstand – Beispiel:

Außenwand im EG

KLBQUADRO Planelemente in Druckfestigkeitsklasse 20 mit
Dünnbettmörtel: (a.b. Zulassung 17.1–852)
 $f_k = 10 \text{ MN/m}^2$, $t = 17^5 \text{ cm}$ (voll aufgelagert)



$N_{Ed, kalt} = 363 \text{ kN}$
(s. Beispiel vorne)

Lastfall Brand:
vereinfachend: $\eta_{fi} = 0,7$
 $N_{Ed, fi} = 0,7 * 363 \text{ kN}$
 $= 254 \text{ kN}$

Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Feuerwiderstand – Beispiel:

Außenwand im EG

KLBQUADRO Planelemente in Druckfestigkeitsklasse 20
(Zulassung 17.1-852): $f_k=10\text{MN/m}^2$, $t = 17^5\text{ cm}$ (voll aufgelagert)

Anforderung REI 90:

$N_{Ed,fi}=254\text{ kN}$
aus Bemessung: $N_{Rd} = 861\text{ kN}$

$$\alpha_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}} = 0,29$$

aus Zulassung 17.1-852:

- erf. $t = 15\text{cm} \leq 17^5\text{cm} = \text{vorh. } t$
- zul. $\alpha_{fi} = 0,7 \geq 0,29 = \text{vorh. } \alpha_{fi}$
=> Nachweis erfüllt!

Tabella 4: Einstufung des Mauerwerks in Feuerwiderstandsklassen bzw. als Brandwände gemäß DIN 4102-2 bzw. DIN 4102-3

tragende raumabschließende Wände (einseitige Brandbeanspruchung)				
	Ausnutzungs- faktor	Minstdicke t in mm für die Feuerwiderstandsklassenbenennung		
		F 30-A	F 60-A	F 90-A
Druckfestigkeitsklasse ≥ 12 Rohdichteklasse $\geq 1,60$	$\alpha_{fi} \leq 0,27$	115	115	115
Druckfestigkeitsklasse ≥ 12 Rohdichteklasse $\geq 1,60$	$\alpha_{fi} \leq 0,52$	175	175	175
Druckfestigkeitsklasse ≥ 12 Rohdichteklasse $\geq 2,00$	$\alpha_{fi} \leq 0,70$	(150) ¹	(150) ¹	(150) ¹

Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Zusammenfassung – Fazit

- Eurocode 6: Stand in Deutschland – Neuerungen & Änderungen
- Baustoffe und Festigkeiten
- Bemessung von Mauerwerk nach EC 6
- Beispiel Außenwand mit Optimierung
- Feuerwiderstandsdauer





**Vielen Dank für
Ihre
Aufmerksamkeit!**