

A modern, multi-story apartment building with balconies and large windows, set against a light sky. The building is surrounded by greenery, including trees and a hedge. Two cars are parked in front of the building.

Wirtschaftlich bauen: rationelle und innovative Bauweisen

Prof. Dr.-Ing. Detleff Schermer

Ostbayerische Technische Hochschule, Regensburg

Prüfingenieur für Massivbau, München

Prof. Dr.-Ing. Eric Brehm

Hochschule Karlsruhe

BREHM Bauconsult, Bensheim

Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Übersicht

- Einleitung
- Normenstand Eurocode 6 in Deutschland
– Neuerungen & Änderungen
- Baustoffe und Festigkeiten
- Bemessung und Konstruktion von Mauerwerk nach EC 6
- Praxisbeispiel: Außenwand mit Optimierung
- Nachweis der Feuerwiderstandsdauer



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Einleitung



massives Mauerwerk = robust = dauerhaft = nachhaltig



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Einleitung

Ausführung /
Verarbeitung
auf Baustelle /
Ablauf

Wirtschaftliche Lösung

Planung

=> Tragwerksplanung

=> Wahl der Baustoffe

=> Detaillösungen

Einfluss

Einfluss

Einfluss



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Einleitung: Planung / Tragwerksplanung

Startpunkt:
Eingabeplanung

=> Wahl der Baustoffe
/ Lösung nach
Funktion und
Anforderung



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

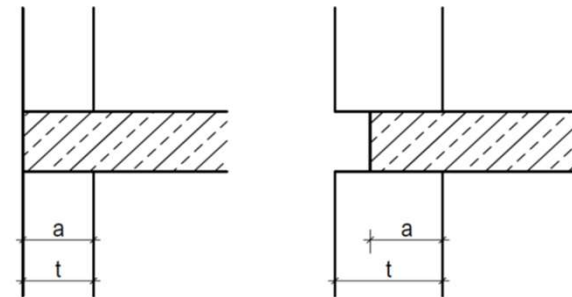
Feuerwiderstand

Fazit

Normenstand: Eurocode 6 in Deutschland

Neuerungen zu DIN 1053-1 (1996-11):

- Detaillierte Anpassung der Festigkeitswerte an die Baustoffe (Steinart, Lochbild, Mörtel, Steinformat)
=> wirtschaftlichere Nachweisführung
- Knicklänge bis zur Schlankheit 27 möglich
- Berücksichtigung eines reduzierten Überbindemaßes $\bar{u}/h < 0,4$
- Berücksichtigung teilaufgelagerter Geschossdecken ($a < t$)



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Normenstand: Eurocode 6 in Deutschland

Neuerungen zu DIN 1053-1 (1996-11):

- neues *Stark vereinfachtes Verfahren* für Nachweis einfacher Konstruktionen (in Anhang A von EC6, Teil 3)
- Anpassung von Ausfachungsflächen auf „neue“ Windlasten
- höhere Erdanschüttung bei Kellermauerwerk zulässig
- Mischung von *genauerem* und *vereinfachten Verfahren* sehr einfach, da identisches Lastniveau bei Nachweisen (Bemessungsniveau / design-Niveau)



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Normenstand: Eurocode 6 in Deutschland

- **DIN EN 1996-1-1: 2005 + AC:2012 + DIN EN 1996-1-1/NA: 2012-05 + DIN EN 1996-1-1/NA/A1: 2014-03 + DIN EN 1996-1-1/NA/A2: 2014-08 + DIN EN 1996-1-1/NA/A3: 2019-12**: 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: 2012-05 mit Korrekturen A1:2014-03, A2: 2014-08 und A3: 2019-12
- **DIN EN 1996-1-2: 2005 + AC:2010 + DIN EN 1996-1-2/NA: 2013-06**: 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: 2013-06
- **DIN EN 1996-2 + AC:2009 + DIN EN 1996-2/NA: 2012-01**: 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 1996-3 + AC:2009 + DIN EN 1996-2/NA: 2012-01 + DIN EN 1996-3/NA/A1: 2014-03 + DIN EN 1996-3/NA/A2: 2014-08 + DIN EN 1996-3/NA/A3: 2019-12**: 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: 2012-01 mit Korrekturen A1:2014-03, A2: 2014-08 und A3: 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) (Ausgabe 2020):* gibt die Norm und wichtige Hintergrundinformationen mit eingearbeitetem NA in (gut) lesbarer Form wieder, Änderungen des Nationalen Anhangs (A1, A2 und A3-Änderung) enthalten
- KLB-Fachinformation Statik / Bemessung: Eurocode 6 Kompendium (1. Auflage 2018):
<https://www.klb-klimaleichtblock.de/mauerwerk-und-tragf%C3%A4higkeit.html>



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

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 und hoch wärmedämmenden
Leichtbetonsteinen,

z.B. Leichtbeton Planblock SW1



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

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 je nach Stein-Mörtel-Kombination:

Mauerwerksdruckfestigkeit f_k (abhängig von Steindruckfestigkeit f_b , Mörtelgruppe, Steinart, Lochbild und Steinformat, ggfs. besondere Regelungen in *abZ*)

Schubfestigkeit f_{vk} (abhängig von Haftscherfestigkeit f_{vk0} , Steinzugfestigkeit $f_{bt,cal}$, Mörtelgruppe, Steinart, Lochbild, Überbindemaß l_{ol}/h_u und vertikaler Auflast, ggfs. besondere Regelungen in *abZ*)

Biegefestigkeit f_{xk1}, f_{xk2} (abhängig von Haftscherfestigkeit f_{vk0} , Steinzugfestigkeit $f_{bt,cal}$, Überbindemaß l_{ol}/h_u und vertikaler Auflast, ggfs. besondere Regelungen in *abZ*)

nur für genaueres
Verfahren erforderlich!



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 Einsteinauermwerk aus Vollziegeln sowie Kalksand-Vollsteinen und Kalksand-Blocksteinen mit Normmauermörtel

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
36	10,2	11,4	12,7	14,3
48	10,2	11,4	15,1	16,9
60	10,2	11,4	15,1	16,9

Tabelle NA.D.1 — Charakteristische Druckfestigkeit f_k in N/mm² von Einsteinauermwerk aus Hochlochziegeln mit Lochung A (HLA), Lochung B (HLB), Lochung E (HLE), Mauerfachziegeln T4 sowie Kalksand-Loch- und Hochlochblocksteinen mit Normmauermörtel

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	5,6
12	3,9	4,5	5,6	6,3
16	4,5	5,1	6,3	7,1
20	5,1	5,8	7,1	8,0
28	5,8	6,6	8,1	9,2
36	6,6	7,5	9,2	10,5
48	6,6	7,5	10,8	12,4
60	6,6	7,5	12,7	14,6

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

Leichtbetonsteine	Steindruckfestigkeitsklasse	f_k N/mm ²			
		Mörtelgruppe			
HL, HLa	2	II	III	IV	IVa
		1,4	1,7	2,0	2,3
4	4	II	III	IV	IVa
		2,4	2,8	3,3	3,8
6	6	II	III	IV	IVa
		3,1	3,7	4,4	5,0
8	8	II	III	IV	IVa
		3,7	4,4	5,2	6,0
10	10	II	III	IV	IVa
		4,3	5,1	6,0	7,0
12	12	II	III	IV	IVa
		4,9	5,8	6,8	8,0
16	16	II	III	IV	IVa
		5,8	6,9	8,1	9,5
20	20	II	III	IV	IVa
		6,7	8,0	9,4	11,0
28	28	II	III	IV	IVa
		7,8	9,3	11,0	13,0
36	36	II	III	IV	IVa
		9,0	10,8	12,9	15,3
48	48	II	III	IV	IVa
		10,2	12,3	14,8	17,7
60	60	II	III	IV	IVa
		11,4	13,8	16,7	19,7

Tabelle NA.D.5 — Charakteristische Druckfestigkeit f_k in N/mm² von Einsteinauermwerk aus Mauerziegeln und Kalksandblocksteinen mit Leichtmauermörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	f_k N/mm ²	
	LM 21	LM 36
2	1,2	1,3
4	1,6	1,8
6	2,0	2,2
8	2,4	2,6
10	2,8	3,1
12	3,2	3,5
16	3,6	4,0
20	4,0	4,5
28	4,4	5,0

Tabelle NA.D.4 — Charakteristische Druckfestigkeit f_k in N/mm² von Einsteinauermwerk aus Kalksand-Plansteinen mit Voll- und Leichtmauermörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	f_k N/mm ²			
	Plansteinformate			
2	KS XL	KS XL-E	KSP	KSP
4	4,0	4,0	4,0	3,7
6	6,0	6,0	6,0	5,4
8	8,0	8,0	8,0	7,5
10	10,0	10,0	10,0	11,0
12	12,0	12,0	12,0	13,5
16	16,0	16,0	16,0	18,0
20	20,0	20,0	20,0	22,5
28	28,0	28,0	28,0	32,0
36	36,0	36,0	36,0	40,0
48	48,0	48,0	48,0	54,0
60	60,0	60,0	60,0	72,0

Tabelle NA.D.7 — Charakteristische Druckfestigkeit f_k in N/mm² von Einsteinauermwerk aus Voll- und Leichtmauermörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	f_k N/mm ²			
	II	III	IIIa	IIIb
2	1,4	1,6	1,8	—
4	2,1	2,4	2,8	—
6	2,7	3,1	3,7	—
8	3,1	3,6	4,4	—
10	3,5	4,0	5,0	5,6
12	3,9	4,5	5,6	6,3
16	4,5	5,1	6,3	7,1
20	5,1	5,8	7,1	8,0
28	5,8	6,6	8,1	9,2
36	6,6	7,5	9,2	10,5
48	6,6	7,5	10,8	12,4
60	6,6	7,5	12,7	14,6

Tabelle NA.D.2 — Charakteristische Druckfestigkeit f_k in N/mm² von Einsteinauermwerk aus Hochlochziegeln mit Lochung W (HLW), Mauerfachziegeln (T2, T3 und T4) sowie Langlochziegeln (LL2) mit Normmauermörtel

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

Tabelle NA.D.9 — Charakteristische Druckfestigkeit f_k in N/mm² von Einsteinauermwerk aus Porenbeton-Plansteinen und Porenbeton-Plansteinen mit Dübelmörtel

Steindruckfestigkeitsklasse	f_k N/mm ²
2	1,8
4 ^a	3,0
6 ^b	4,1
8	5,1

genormte Stein-Mörtel-Kombinationen



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

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

Druckfestigkeits- 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

genormte Kombination

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 $f_k=10\text{MN/m}^2$
(in Regeldruckfestigkeitsklasse 20)



Zulassungsgeregelte Produkte

Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

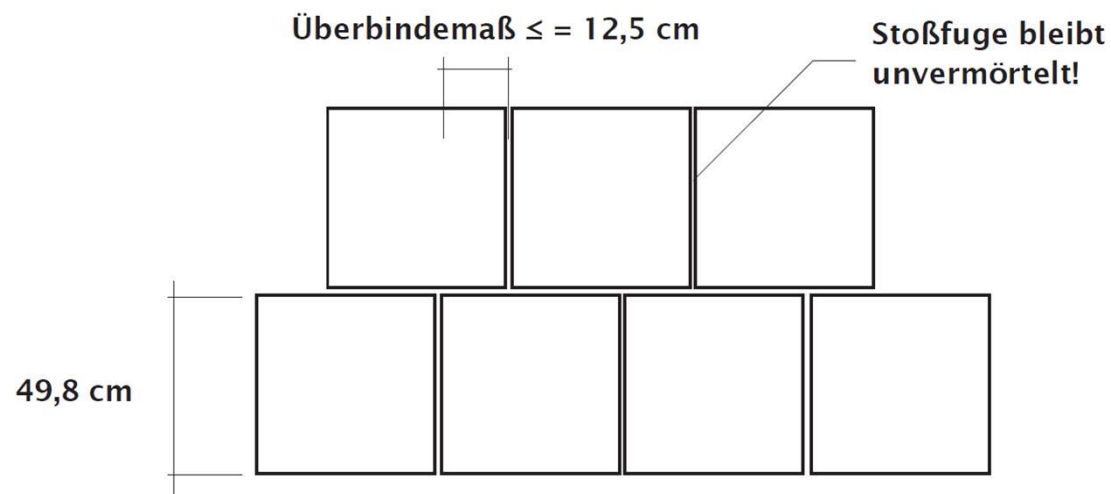
Mauerstein + Mörtel => Verbundbaustoff Mauerwerk
zulassungsgeregelte Produkte

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 $0,25 \cdot h$ bzw. 12,5cm reduzierbar!



Zulassungsgeregelte Produkte

Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

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

Einleitung und Übersicht



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

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

Nachweis 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}

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



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

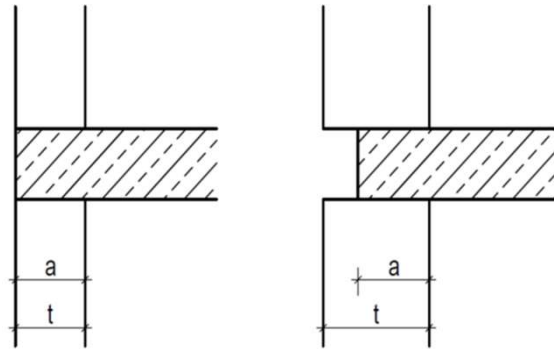
Feuerwiderstand

Fazit

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

Anwendungsgrenzen:

- Gebäudehöhe max. 20 m
- Stützweite der Decke l_f max. 6m
(bei 2-achsig gespannten Decken: $l_f = 0,85^* l_{min(1; 2)}$)
- 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

Deckenauflagertiefe bei monolithischen Außenwänden:

- Ziel: Einhaltung der Wärmebrückenanforderung (pauschalierter Wärmebrückenzuschlag $\Delta U_{WB} = 0,03 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bzw. $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ nach neuem DIN 4108, Beiblatt 2 (Ausgabe 2019))

$$t=30\text{cm}: \quad a/t=0,80 \Rightarrow \Delta U_{WB} = 0,03$$

$$a/t=0,83 \Rightarrow \Delta U_{WB} = 0,05$$

$$t=36^5\text{cm}: \quad a/t=0,81 \Rightarrow \Delta U_{WB} = 0,03$$

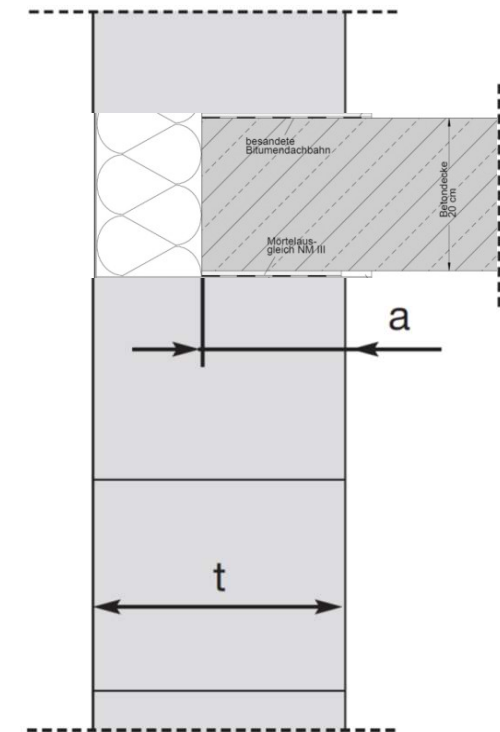
$$a/t=0,86 \Rightarrow \Delta U_{WB} = 0,05$$

$$t=42^5\text{cm}: \quad a/t=0,82 \Rightarrow \Delta U_{WB} = 0,03$$

$$a/t=0,88 \Rightarrow \Delta U_{WB} = 0,05$$

Empfehlung für Praxis: $a/t = 0,8$

aus: Kranzler, T.: Geschosswohnungsbau mit monolithischem Mauerwerk aus Leichtbeton, in: das Mauerwerk, Heft 3, 2019



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

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

Weitere Voraussetzungen (wichtige Neuerung in A3-Änderung):

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			
			Mauerwerkwerksdruckfestigkeit 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}	3,5 ^g
	≥ 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
tragende Innenwände	≥ 300	12 · t	12 · t	12 · t	12 · t	12 · t	12 · t
	≥ 115	2,75	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
	≥ 240	k. E.	k. E.	k. E.	keine Einschränkung (k. E.)		

Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

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

Nachweis der Drucktragfähigkeit – allgemeines:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$
$$N_{Ed,max} = 1,35 \cdot N_{Gk} + 1,5 \cdot N_{Qk}$$
$$(N_{Ed,min} = 1,0 \cdot N_{Gk})$$
$$N_{Rd} = \Phi_{1,2} \cdot A \cdot f_d$$

Abminderungsfaktor Stelle i:

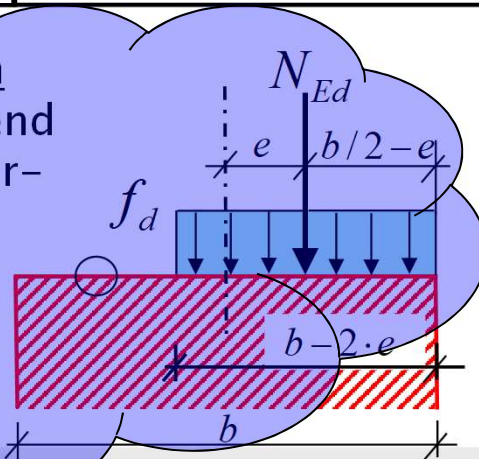
Querschnittsfläche (brutto / kein Klaffen!)

Bemessungswert der MW-Druckfestigkeit

$$f_d = \zeta \cdot f_k / \gamma_M = 0,85 \cdot f_k / 1,5$$

Allgemein (im genaueren Verfahren): (bei vorwiegend biegebeanspruchten Querschnitten, z.B. Scheiben):
Spannungsblock

$$\Phi = 1 - 2 \cdot \frac{e}{b}$$



Geschosshohe Wände
(Standardfall):

$$\Phi = \min \left\{ \begin{array}{l} \Phi_1 \rightarrow \text{Deckenverdrehung} \\ \Phi_2 \rightarrow \text{Knicken} \end{array} \right.$$



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

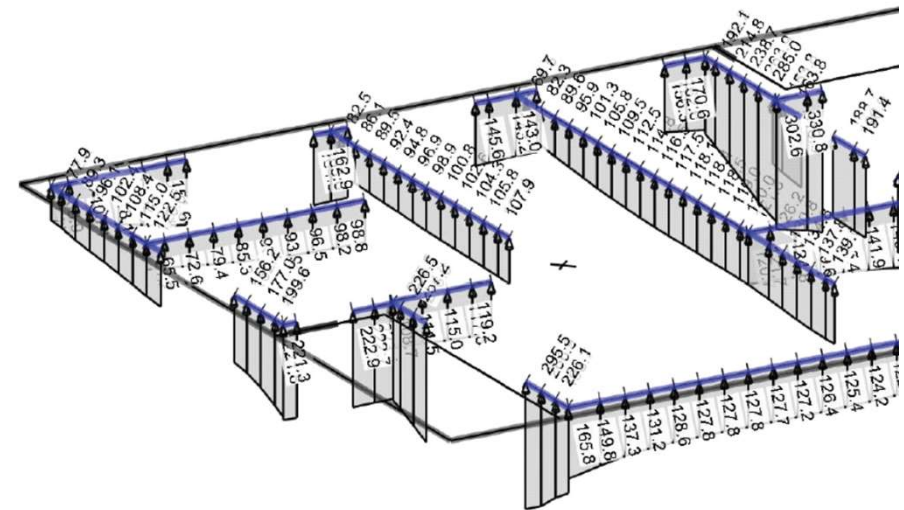
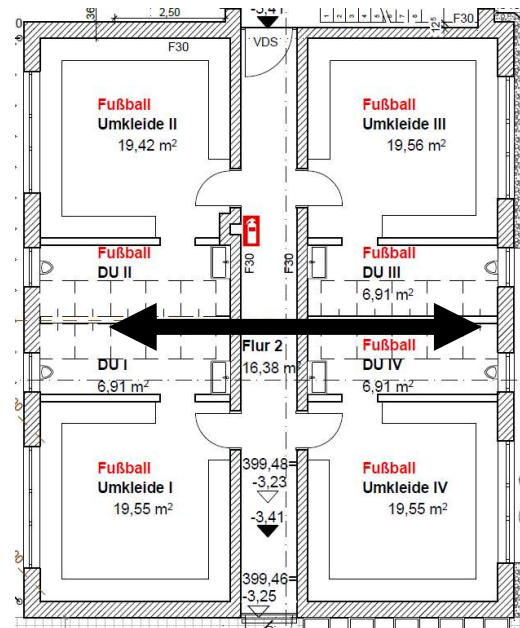
Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

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

Einwirkung: N_{Ed} aus Schnittgrößenermittlung



einfache, 1- der 2-achsig gespannte Decken:
Lastermittlung mittels Lastezugsflächen

kompliziertere Deckensysteme / ggf. mit
Abfangungen: Lastermittlung mittels FEM

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

günstige und ungünstige
Grundrissgestaltung bzgl. gleichmäßiger Beanspruchung



aus: Kranzler, T.: Geschosswohnungsbau mit monolithischem Mauerwerk aus Leichtbeton, in: das Mauerwerk, Heft 3, 2019

Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

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

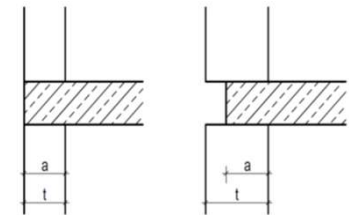
Nachweis: $N_{Rd} = \Phi_{1,2} \cdot t \cdot f_d \geq N_{Ed}$

Deckenverdrehung: Nachweisstelle = Wandkopf und Wandfuß

- Wand als Endauflager von Decken:

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

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



- Zwischenaufleger: keine Abminderung



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

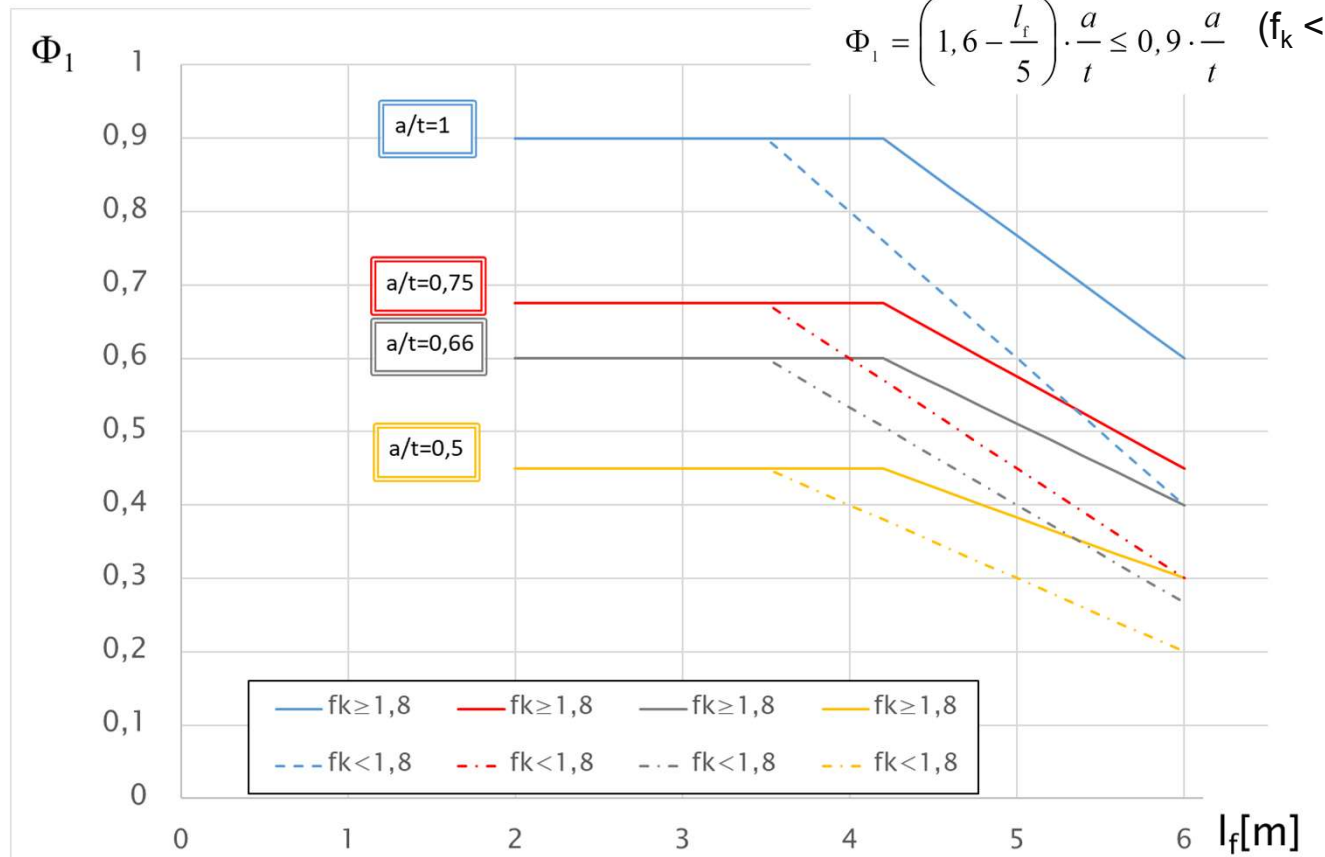
Fazit

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

Deckenverdrehung:

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

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



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

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

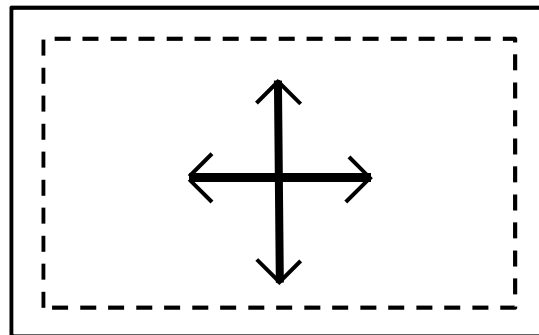
Deckenverdrehung:

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

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

Neuerung in A3-Änderung (2019-12):

Bei 2-achsig gespannten Decken ($0,5 \leq l_1/l_2 \leq 2$) darf für l_f das 0,85-fache der kürzeren Stützweite angesetzt werden!!



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

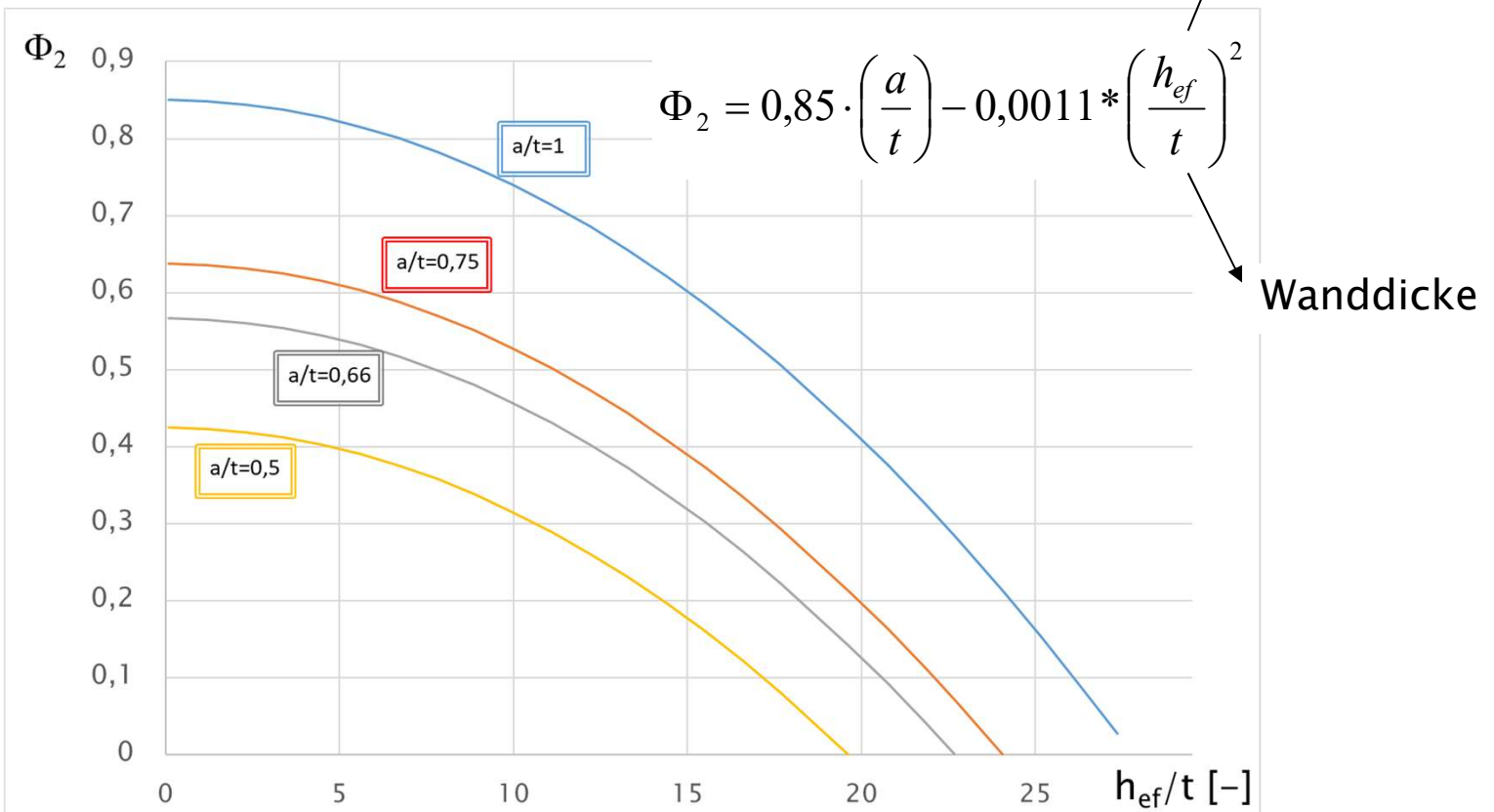
Fazit

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

Knicken: Nachweisstelle = halbe Wandhöhe

Knicklänge:

$$h_{eff} = h \cdot \rho$$



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

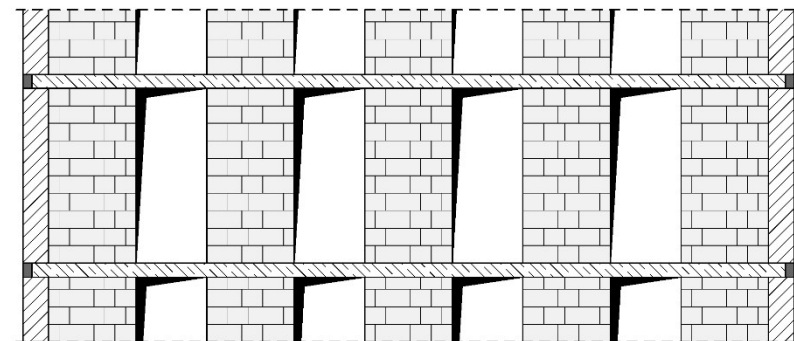
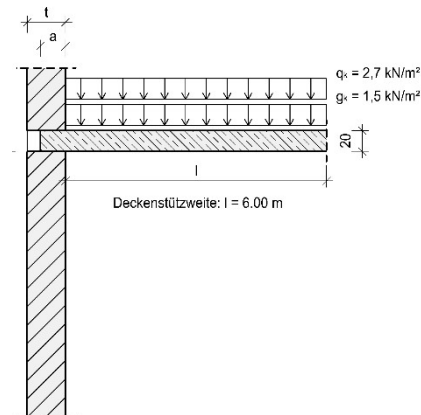
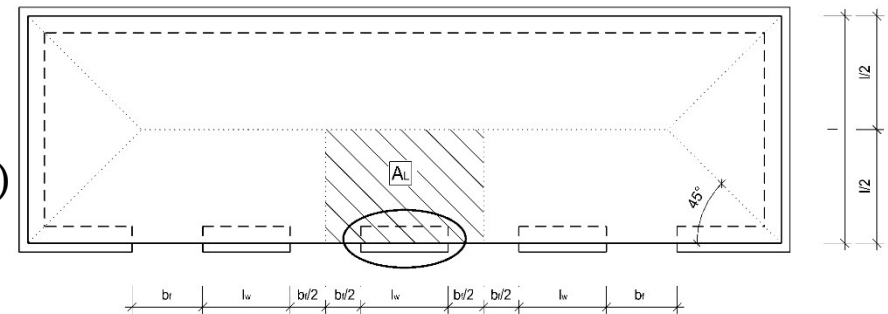
Feuerwiderstand

Fazit

Hilfsmittel für Vorbemessung Außenwände nach dem Vereinfachten Verfahren

Vereinfachte Annahme: regelmäßige Wandgliederung
=> Ergebnis: erforderliche Mauerwerksdruckfestigkeit f_k

- Parameter:
Wandhöhe: h
Wanddicke: t
Auflagertiefe: a
Deckenlast: g_k, q_k
Öffnungsanteil: $b_f / (b_f + l_w)$
Geschossanzahl: n



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

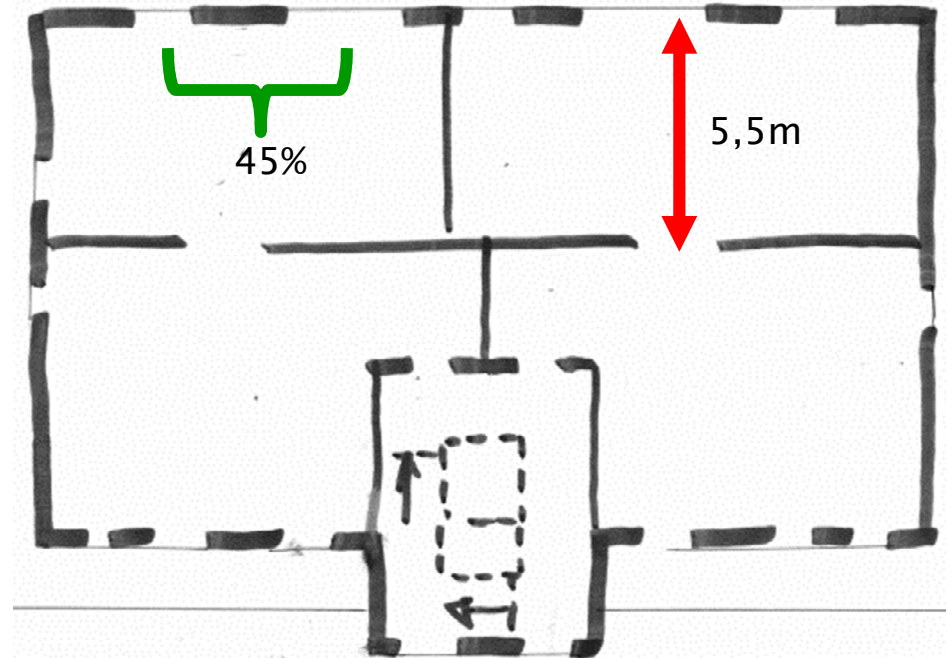
Hilfsmittel für Vorbemessung Außenwände nach dem Vereinfachten Verfahren

Beispiel:

- Parameter:
Deckenstützweite: 5,5m ($l_1/l_2 < 2 \Rightarrow$ Reduktion von l_f mit 0,85)
Wandhöhe: $h=2,6m$
Wanddicke: $t=36,5cm$ / Deckenauflagertiefe: $a=30cm$
Deckenlast:
 $g_k=8kN/m^2$
 $q_k=1,5kN/m^2$
Öffnungsanteil: 45%
Geschossanzahl: ...
- Produkt: monolithisch
KLB-ISOSTAR



$f_k=1,7MN/m^2$
(abZ-17.1-1075)



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

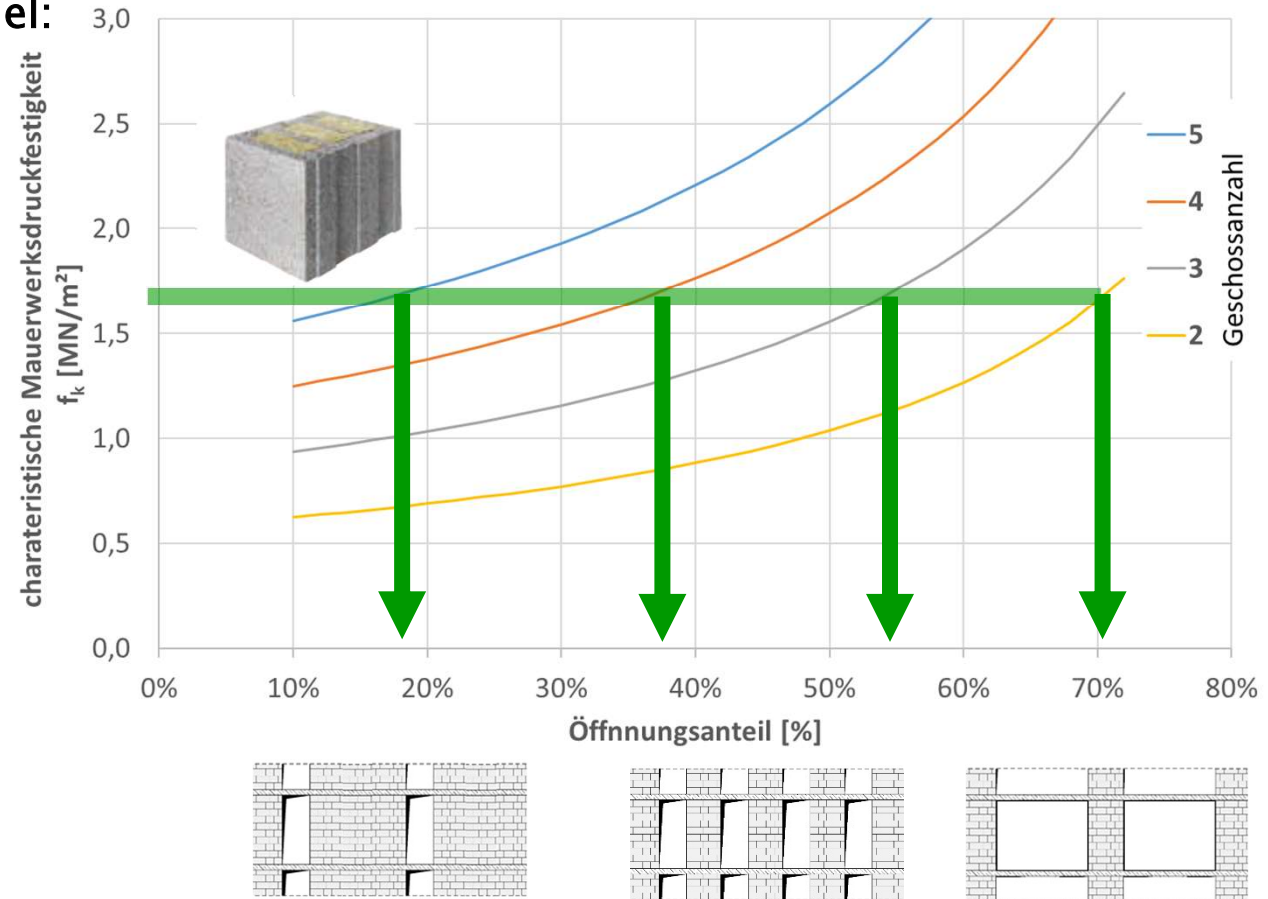
Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Hilfsmittel für Vorbemessung Außenwände nach dem Vereinfachten Verfahren

Beispiel:



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

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

Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

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: $18 < \text{Wandschlankheit} < 21$

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

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

Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

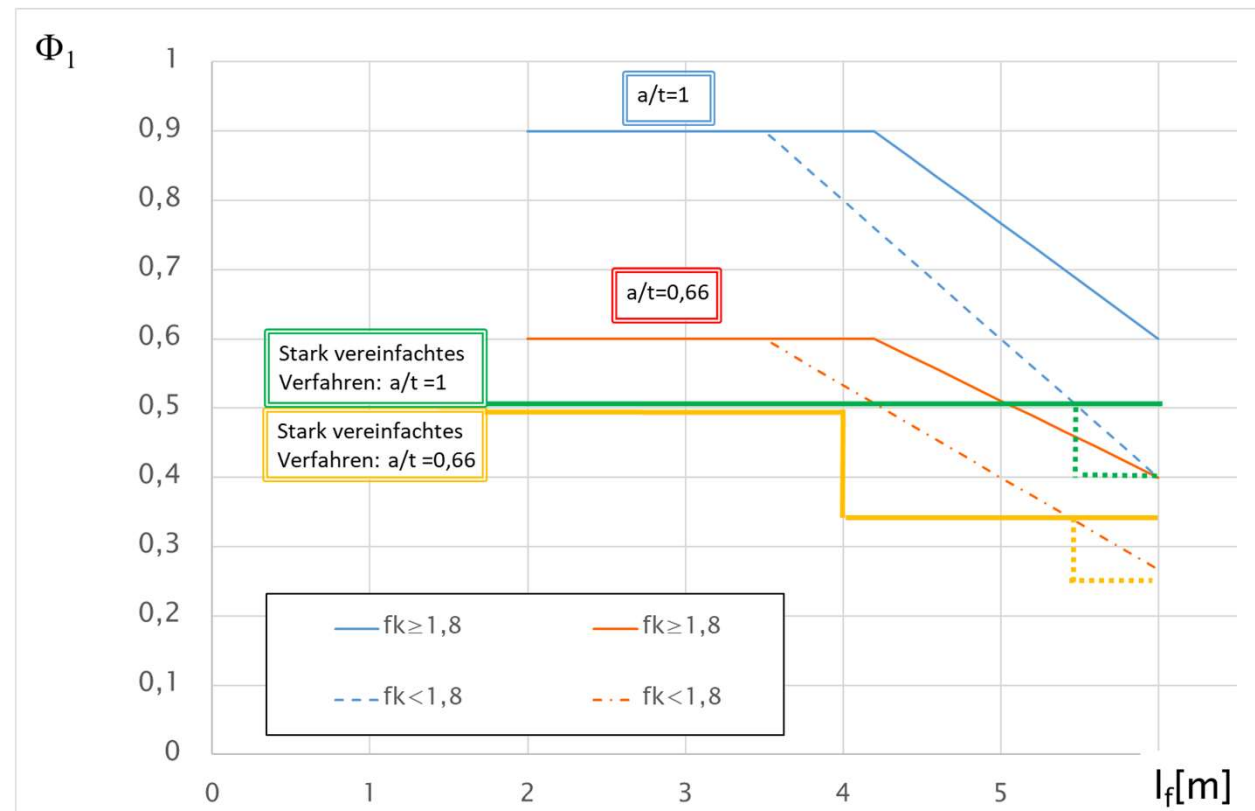
Fazit

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

Vergleich mit Vereinfachtem Verfahren:

- **Deckeneinspannung ϕ_1**

Vergleich der beiden Verfahren (VV und SVV):

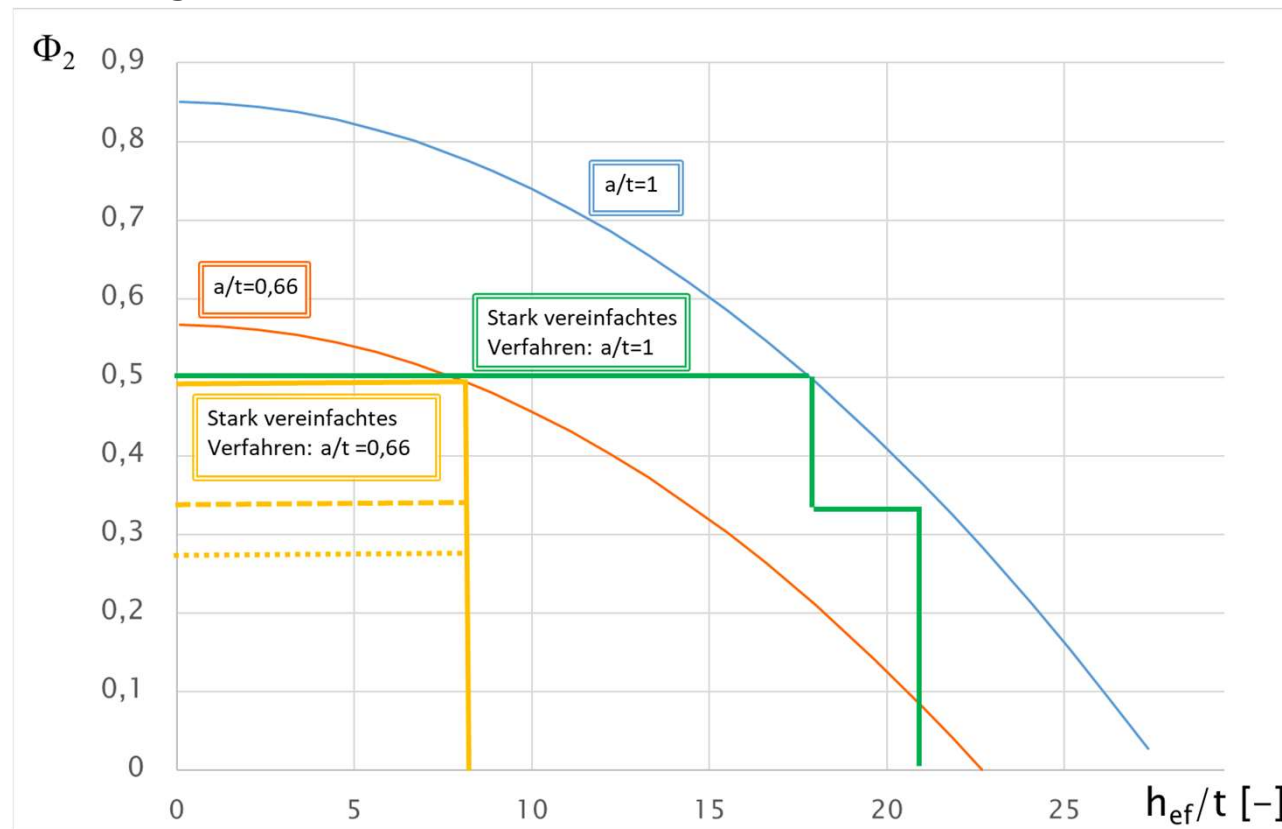


Stark vereinfachtes Verfahren (Anhang A, Eurocode 6-3/NA)

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,...)



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

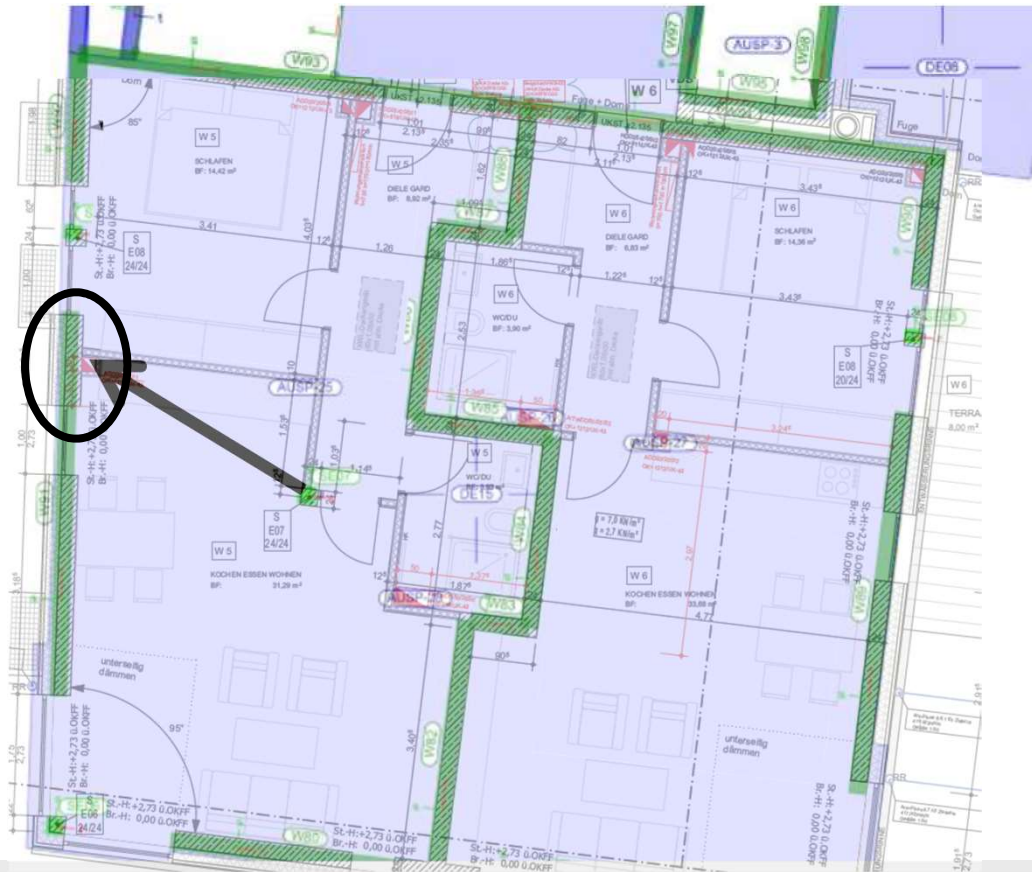
Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Wandbemessung unter vorwiegender vertikaler Belastung:

Beispiel: Außenwand im EG eines MFH



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

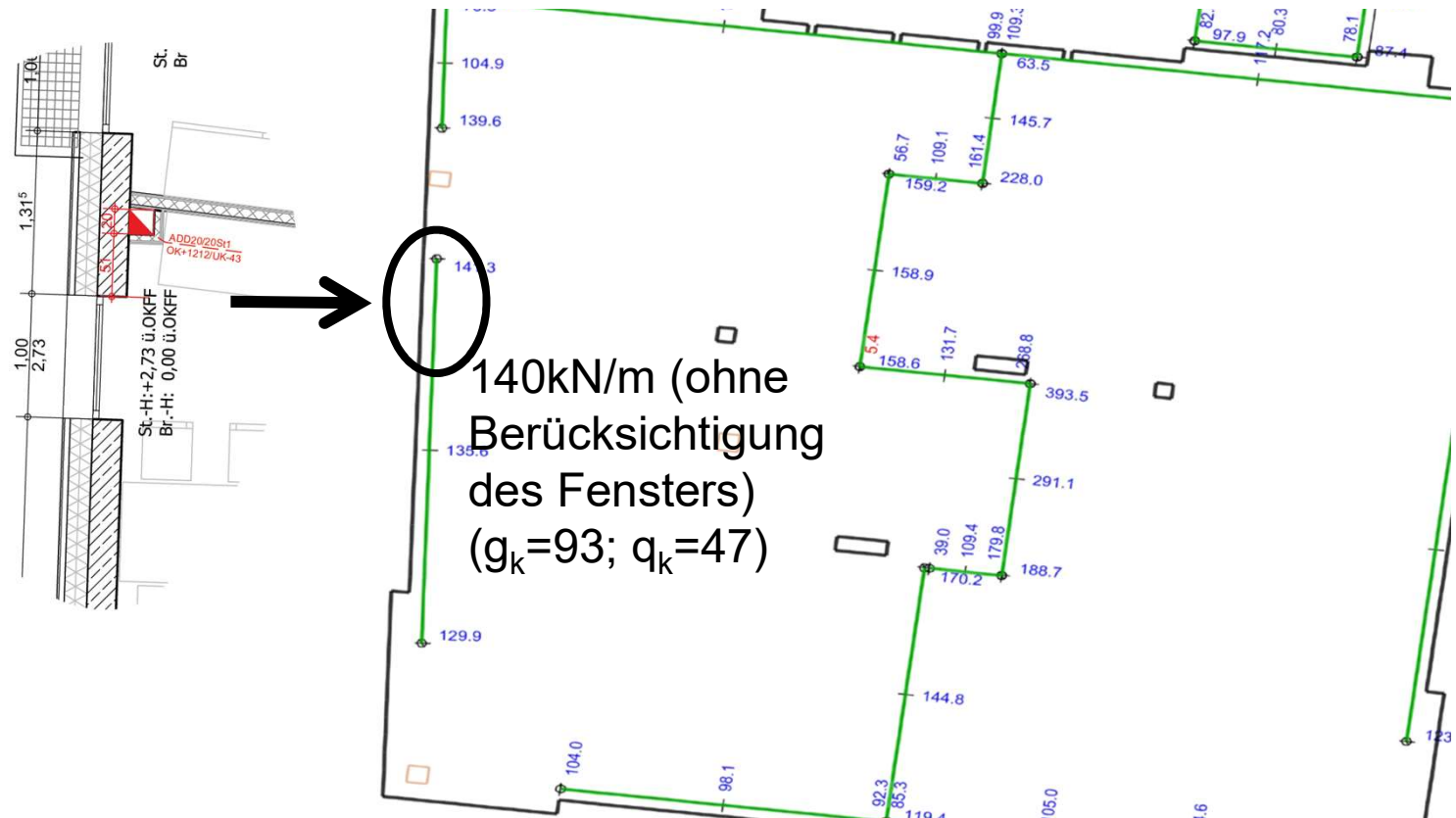
Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Wandbemessung unter vorwiegender vertikaler Belastung:

Maximale Beanspruchung
(= charakteristische Auflagerkräfte am Wandkopf)



140kN/m (ohne Berücksichtigung des Fensters)
($g_k=93$; $q_k=47$)

Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

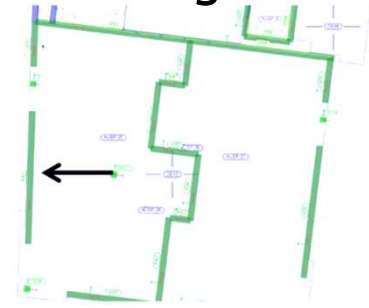
Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Wandbemessung unter vorwiegender vertikaler Belastung:

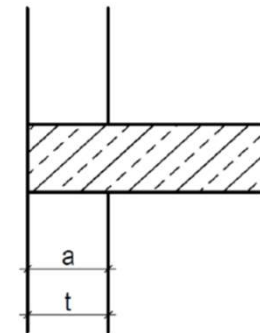


Außenwand

- 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: $t = 24\text{cm}$ bzw. 17^5cm
(voll aufgelagert: $a = t$)



Lasten:

- Wandeigengewicht (Rohdichteklasse 2,0): 12kN/m (bei $t=17^5\text{cm}$)
bzw. 16kN/m (bei $t=24\text{cm}$)



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

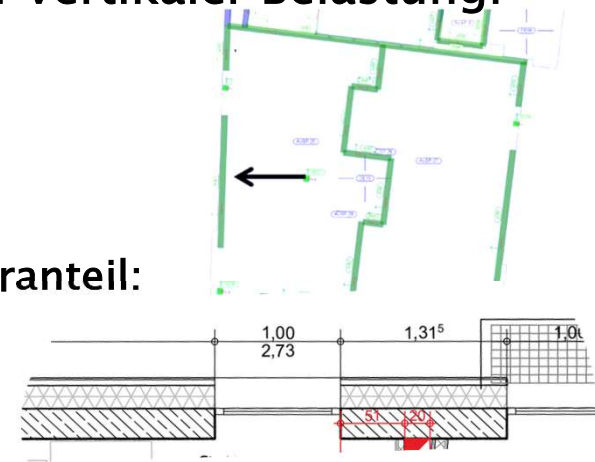
Beispiel

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:
$$N_{Ed} = 1,8\text{m} \cdot (1,35 \cdot 93\text{kN/m} + 1,5 \cdot 47\text{kN/m}) = 353\text{ kN}$$
- Wandmitte:
t=17,5cm: $N_{Ed} = 353\text{kN} + 1,35 \cdot 1,3\text{m} \cdot (0,5 \cdot 12\text{kN/m}) = 363\text{ kN}$
t=24cm: $N_{Ed} = 353\text{kN} + 1,35 \cdot 1,3\text{m} \cdot (0,5 \cdot 16\text{kN/m}) = 367\text{ kN}$
- Wandfuß:
t=17,5cm: $N_{Ed} = 353\text{kN} + 1,35 \cdot 1,3\text{m} \cdot 12\text{kN/m} = 374\text{ kN}$
t=24cm: $N_{Ed} = 353\text{kN} + 1,35 \cdot 1,3\text{m} \cdot 16\text{kN/m} = 381\text{ kN}$

Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Wandbemessung unter vorwiegender vertikaler Belastung: rechnerischer Nachweis: vereinfachtes Verfahren

Außenwand in Wandstärke 24cm:

$$\text{Knicklänge: } h_{\text{ef}} = \rho_2 \cdot h \\ h_{\text{ef}} = 0,9 \cdot 3\text{m} = 2,7\text{m}$$

Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit:

$$f_d = 0,85 \cdot 10 \text{ MN/m}^2 / 1,5 = 5,67 \text{ MN/m}^2$$

Nachweis Deckeneinspannung (maßgebend: Wandfußpunkt):

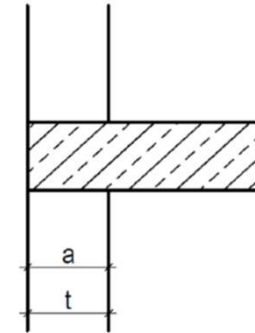
$$\Phi_1 = 1,6 - 5\text{m} / 6\text{m} \leq 0,9 \cdot 0,24 / 0,24 = \min(0,77; 0,9) = 0,77$$

$$N_{\text{Rd,Fuß}} = 1,3\text{m} \cdot 0,24\text{m} \cdot 5,67\text{MN/m}^2 \cdot 0,77 = 1.355\text{kN} > N_{\text{Ed,Fuß}} = 381\text{kN} \\ \text{[Reserve mit Faktor 3,5]}$$

Nachweis Knicken (halbe Wandhöhe):

$$\Phi_2 = 0,85 \cdot 24 / 24 - 0,0011 \cdot (2,7 / 0,24)^2 = 0,71$$

$$N_{\text{Rd,Mitte}} = 1,3\text{m} \cdot 0,24\text{m} \cdot 5,67\text{MN/m}^2 \cdot 0,77 = 1.256 \text{ kN} > N_{\text{Ed,Mitte}} = 367\text{kN} \\ \text{[Reserve mit Faktor 3,4]}$$



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

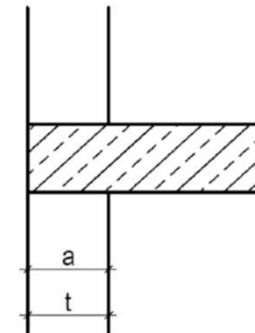
Feuerwiderstand

Fazit

Wandbemessung unter vorwiegender vertikaler Belastung: rechnerischer Nachweis: vereinfachtes Verfahren

Wirtschaftliche Optimierung:

Außenwand in reduzierter Wandstärke **17,5cm:**



Knicklänge: $h_{ef} = \rho_2 * h$
 $h_{ef} = 0,75 * 3m = 2,25m$

Nachweis Deckeneinspannung (maßgebend: Wandfußpunkt):

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

$N_{Rd, Fuß} = 1,3m * 0,175m * 5,67MN/m^2 * 0,77 = 988 \text{ kN} > N_{Ed, Fuß} = 374 \text{ kN}$
[Reserve mit Faktor 2,6 => weitere Wanddickenreduktion möglich]

Nachweis Knicken (halbe Wandhöhe):

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

$N_{Rd, Mitte} = 1,3m * 0,175m * 5,67MN/m^2 * 0,67 = 861 \text{ kN} > N_{Ed, Mitte} = 363 \text{ kN}$
[Reserve mit Faktor 2,4 => weitere Wanddickenreduktion möglich]

Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Wandbemessung unter vorwiegender vertikaler Belastung: rechnerischer Nachweis: vereinfachtes Verfahren

Optimierung des Aufwandes in der Tragwerksplanung:

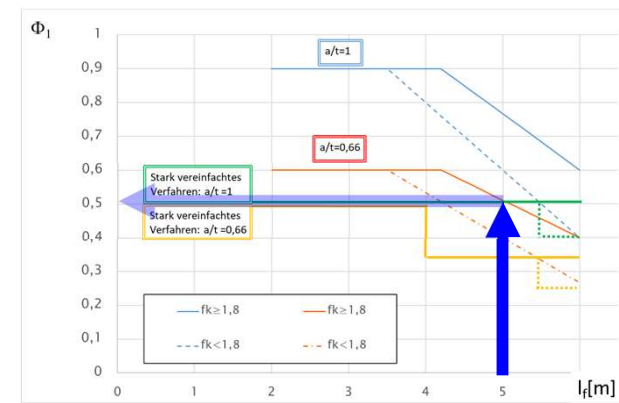
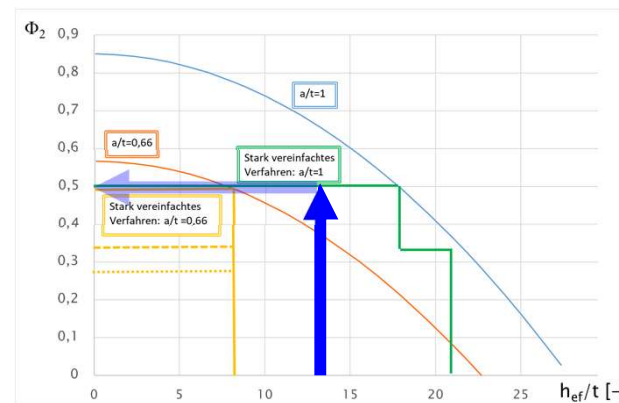
Anwendung des *Stark Vereinfachten Verfahrens*:

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

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

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

⇒ Nachweis erfüllt!!!



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Feuerwiderstand

Feuerwiderstandsdauer abhängig von

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



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

Feuerwiderstand

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

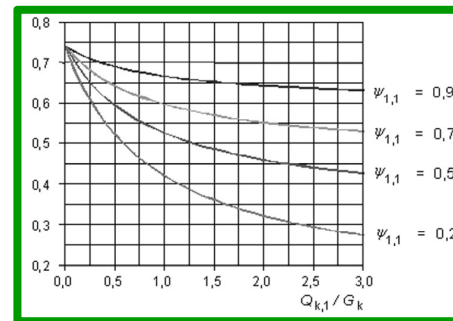
$$\alpha_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}}$$

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

Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

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)



Einleitung

Stand Normung

Baustoffe

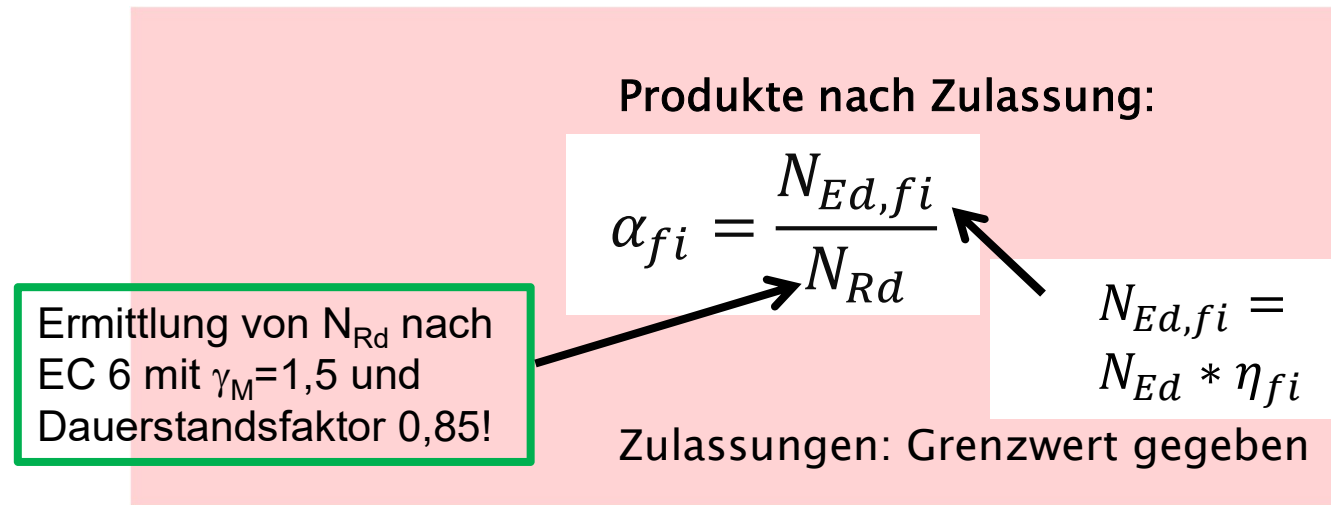
Bemessung

Beispiel

Feuerwiderstand

Fazit

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

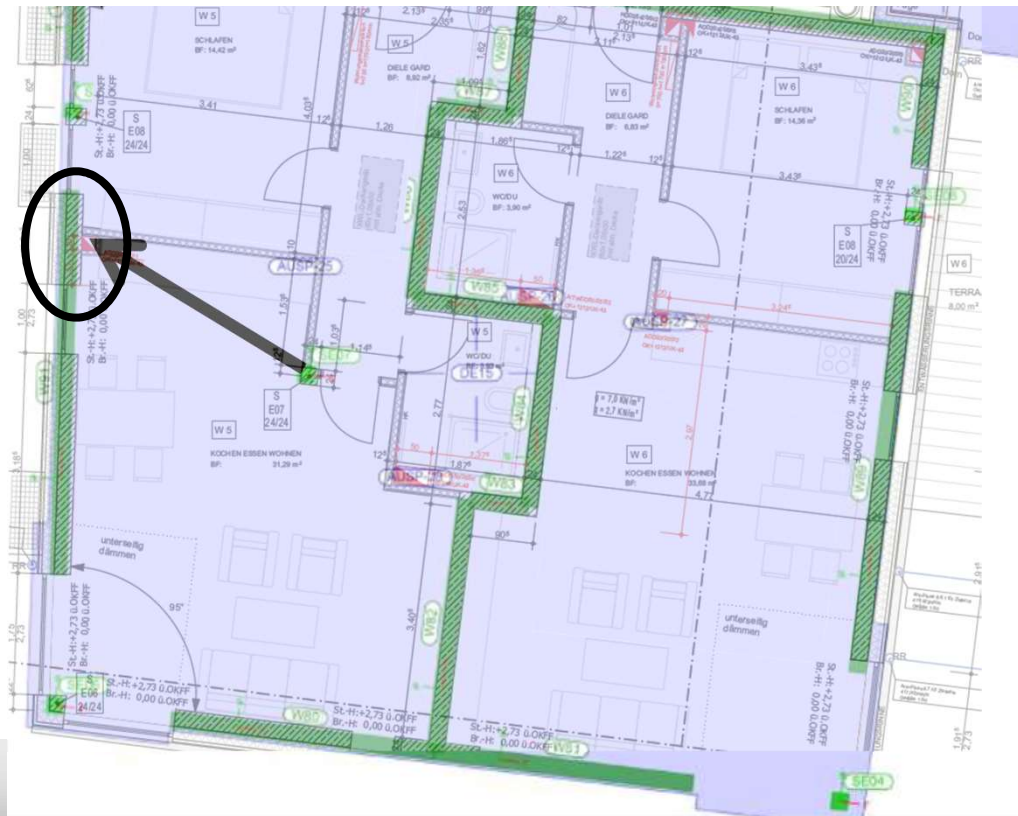
Feuerwiderstand

Fazit

Feuerwiderstand – Beispiel:

Außenwand im EG

KLBQUADRO Panelemente in Druckfestigkeitsklasse 20 mit
Dünnbettmörtel: (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: $\eta_{fi} = 0,7$
 $N_{Ed,fi} = 0,7 \cdot 363 \text{ kN}$
 $= 254 \text{ kN}$

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: $N_{Rd} = 861\text{ kN}$

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

Tabelle 10: Einstufung des Mauerwerks in Feuerwiderstandsklassen bzw. als Brandwände gemäß DIN 4102-2²⁸ bzw. DIN 4102-3²⁹ bei Bemessung des Mauerwerks nach Eurocode 6

tragende raumabschließende Wände (1seitige Brandbeanspruchung)				
	Ausnutzungs- faktor	Minstdicke d in mm für die Feuerwiderstandsklassebenennung		
		F 30-A	F 60-A	F 90-A
Rohdichteklasse $\geq 0,55$ Festigkeitsklasse ≥ 2	$\alpha_{fi} \leq 0,0318 \cdot \kappa$	(175)	(175)	(175)
Rohdichteklasse $\geq 1,6$ Festigkeitsklasse ≥ 12	$\alpha_{fi} \leq 0,52$	175	175	175
Rohdichteklasse $\geq 1,6$ Festigkeitsklasse ≥ 12	$\alpha_{fi} \leq 0,27$	115	115	115

aus Zulassung 17.1-852:
erf. $t = 17^5\text{cm} = \text{vorh. } t$
zul. $\alpha_{fi} = 0,52 \geq 0,29 = \text{vorh. } \alpha_{fi}$
=> Nachweis erfüllt!

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!**