

Peter Schöps

Institut für Massivbau

Bemessung - Horizontale Lasten und Aussteifung

BIW 3-02 Mauerwerksbau

06.12.2024

Gliederung der Vorlesungen

1. Einführung und Grundlagen (25.10.2024)
2. Bemessung – Vereinfachtes Verfahren (08.11.2024)
3. Bemessung – Genaues Verfahren (22.11.2024)
4. **Bemessung – Horizontale Lasten und Aussteifung** **(06.12.2024)**
5. Bemessung und Ausführung (20.12.2024)
6. Gebrauchstauglichkeit und Sanierung (17.01.2025)
7. Ingenieurbauwerke & spezielle Bauten (31.01.2025)
8. Übung

Heutige Vorlesung

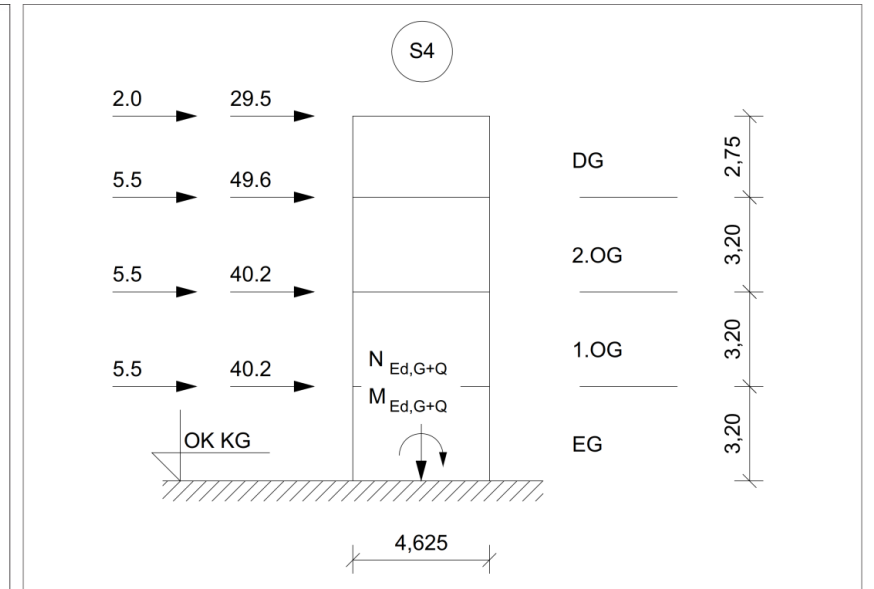
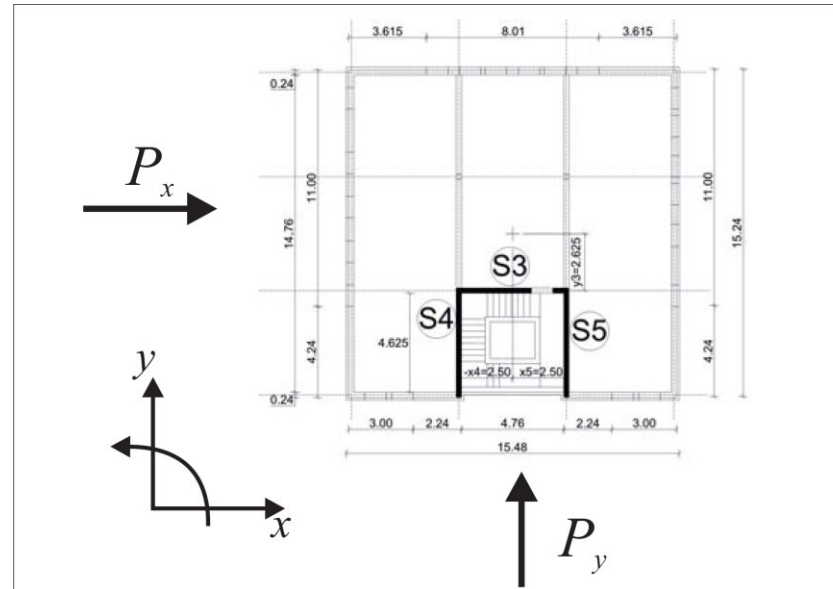
4. Bemessung – Horizontale Lasten und Aussteifung

1. Horizontale Einwirkungen
2. Lastabtrag
3. Schnittkraftermittlung
4. Konstruktive Aspekte
5. Nachweis einer Aussteifungswand
6. Hintergründe/Herleitung

1. Horizontale Einwirkungen

Horizontale Einwirkungen

1. Wind
2. Erdbeben
3. Erddruck
4. Anprall
5. Schiefstellung
6. Sonstige



Horizontale Einwirkungen

Wind

Wind auf Gebäude (Grundriss)

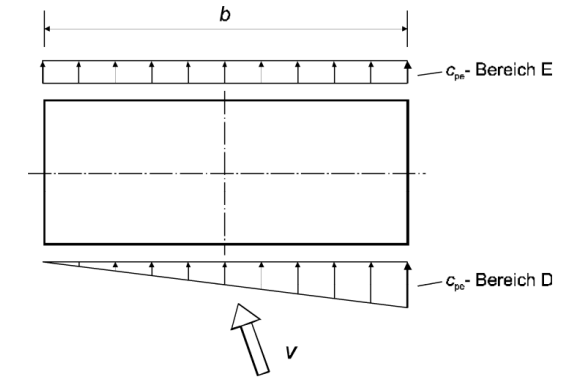
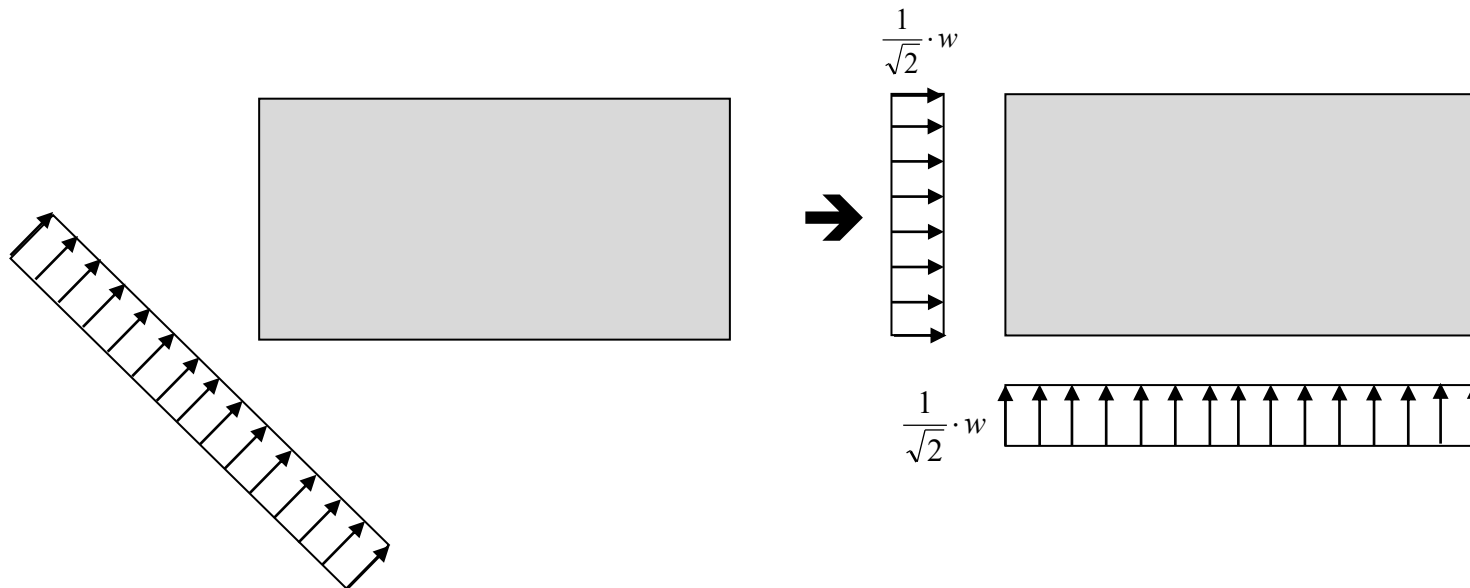
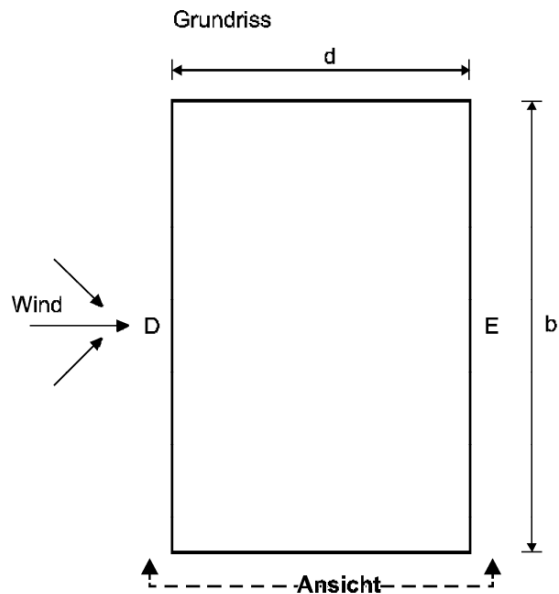


Bild 7.1 — Druckverteilung zur Berücksichtigung von Torsionseffekten. Die Druckzonen und Druckbeiwerte sind in Tabelle 7.1 und Bild 7.5 angegeben.

Horizontale Einwirkungen

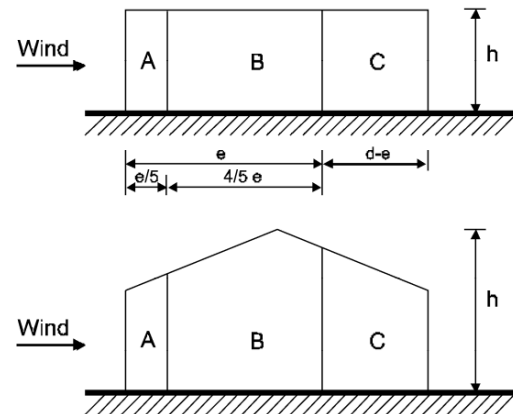
Wind



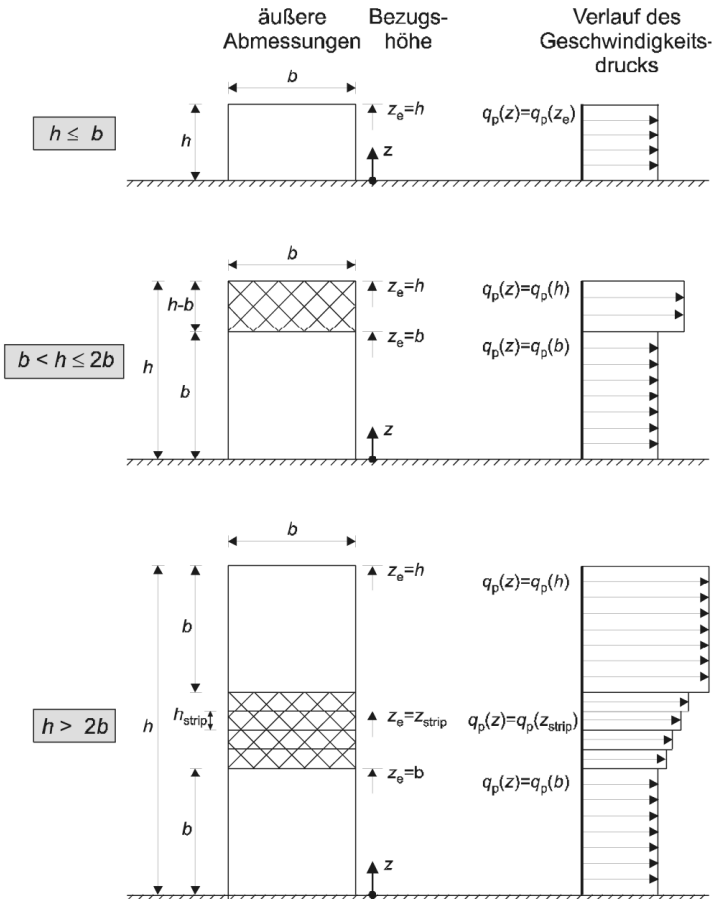
$e = b$ oder $2h$,
der kleinere Wert ist maßgebend

b: Abmessung quer zum Wind

Ansicht für $e < d$



DIN EN 1991-1-4:2010-12
EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)

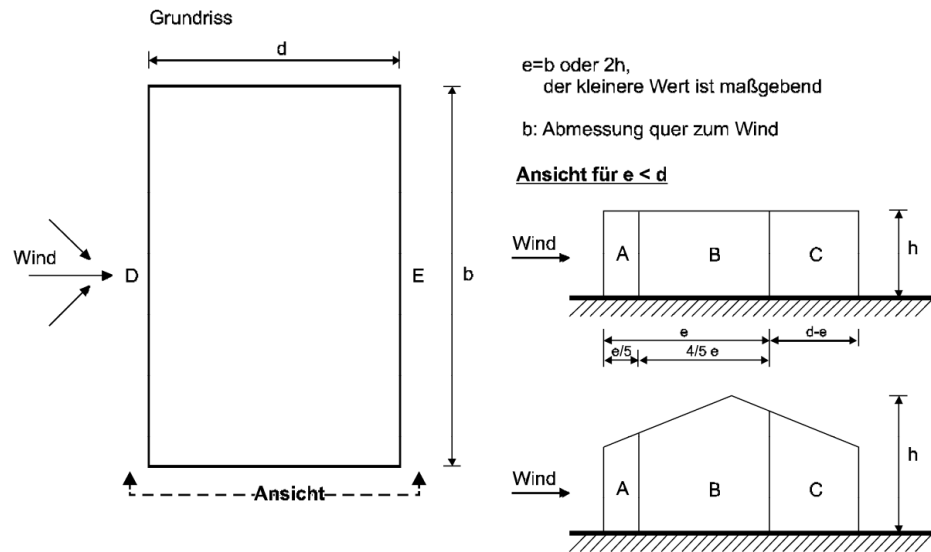


ANMERKUNG: Der Geschwindigkeitsdruck ist für jeden horizontalen Streifen gleichmäßig verteilt anzunehmen.

Horizontale Einwirkungen

Wind

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$



DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12

Tabelle NA.B.3 — Vereinfachte Geschwindigkeitsdrücke für Bauwerke bis 25 m Höhe

Windzone		Geschwindigkeitsdruck q_p in kN/m^2 bei einer Gebäudehöhe h in den Grenzen von		
		$h \leq 10\text{m}$	$10\text{ m} < h \leq 18\text{ m}$	$18\text{ m} < h \leq 25\text{ m}$
1	Binnenland	0,50	0,65	0,75
	Küste und Inseln der Ostsee	0,85	1,00	1,10
2	Binnenland	0,65	0,80	0,90
	Küste und Inseln der Ostsee	0,85	1,00	1,10
3	Binnenland	0,80	0,95	1,10
	Küste und Inseln der Ostsee	1,05	1,20	1,30
4	Binnenland	0,95	1,15	1,30
	Küste der Nord- und Ostsee und Inseln der Ostsee	1,25	1,40	1,55
	Inseln der Nordsee	1,40	—	—

NDP zu 7.2.2 (2), Anmerkung 1

Es gilt nachstehende Tabelle:

Tabelle NA.1 — Außendruckbeiwerte für vertikale Wände rechteckiger Gebäude

Bereich	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
$h/d \geq 5$	-1,4	-1,7	-0,8	-1,1	-0,5	-0,7	+0,8	+1,0	-0,5	-0,7
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	-0,7	+0,8	+1,0	-0,5	-0,7
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	-0,7	+0,7	+1,0	-0,3	-0,5

Für einzeln in offenem Gelände stehende Gebäude können im Sogbereich auch größere Sogkräfte auftreten.

Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

Für Gebäude mit $h/d > 5$ ist die Gesamtwindlast anhand der Kraftbeiwerte aus 7.6 bis 7.8 und 7.9.2 zu ermitteln.

Horizontale Einwirkungen

Wind

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

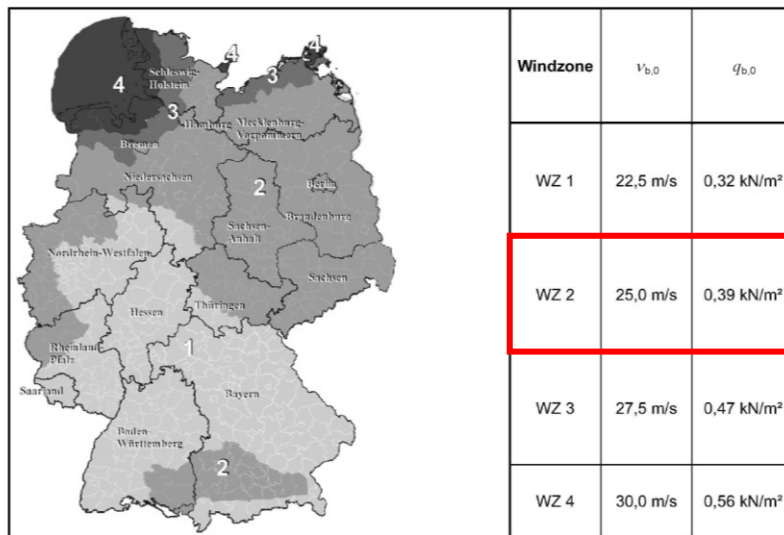


Bild NA.A.1 — Windzonenkarte für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland

DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12

Tabelle NA.B.3 — Vereinfachte Geschwindigkeitsdrücke für Bauwerke bis 25 m Höhe

Windzone		Geschwindigkeitsdruck q_p in kN/m ² bei einer Gebäudehöhe h in den Grenzen von		
		$h \leq 10$ m	$10 \text{ m} < h \leq 18 \text{ m}$	$18 \text{ m} < h \leq 25 \text{ m}$
1	Binnenland	0,50	0,65	0,75
2	Binnenland	0,65	0,80	0,90
	Küste und Inseln der Ostsee	0,85	1,00	1,10
3	Binnenland	0,80	0,95	1,10
	Küste und Inseln der Ostsee	1,05	1,20	1,30
4	Binnenland	0,95	1,15	1,30
	Küste der Nord- und Ostsee und Inseln der Ostsee	1,25	1,40	1,55
	Inseln der Nordsee	1,40	—	—

a) im Binnenland (Mischprofil der Geländekategorien II und III):

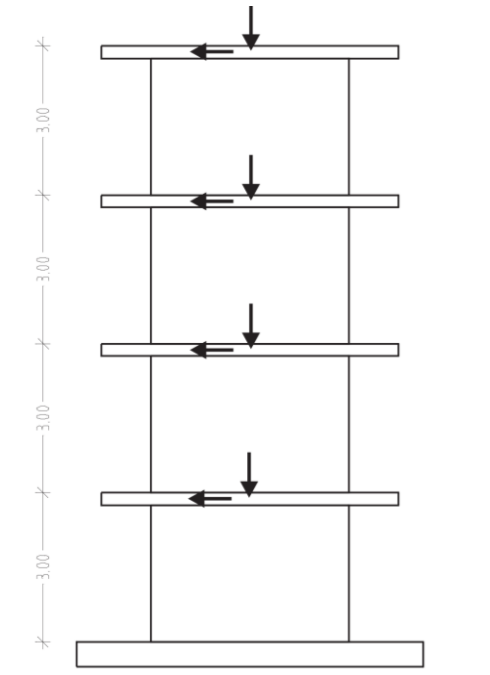
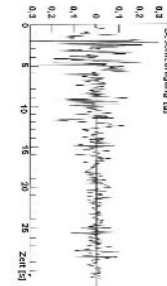
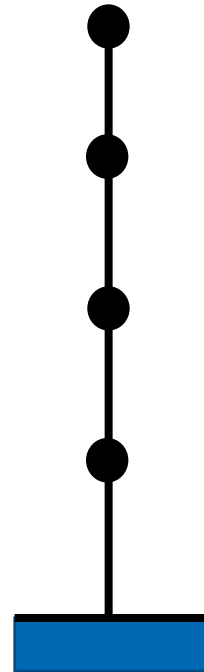
$$q_p(z) = 1,5 \times q_b \quad \text{für } z \leq 7 \text{ m}$$

$$q_p(z) = 1,7 \times q_b \left(\frac{z}{10} \right)^{0,37} \quad \text{für } 7 \text{ m} < z \leq 50 \text{ m}$$

$$q_p(z) = 2,1 \times q_b \left(\frac{z}{10} \right)^{0,24} \quad \text{für } 50 \text{ m} < z \leq 300 \text{ m}$$

Horizontale Einwirkungen Erdbeben

- DIN 4149
- DIN EN 1998-1/NA
- Verhaltensfaktor q
- Mehrmassenschwinger



Horizontale Einwirkungen

Bauordnung – SächsBO – VwV TB – Anlage 1- Abschnitt A – A 1.2.9

	bäuden		
A 1.2.9 Bauliche Anlagen in Erdbebengebieten			
A 1.2.9.1	Bauten in deutschen Erbebengebieten	DIN 4149:2005-04	Anlage A 1.2.9/1 Anhang B

Anhang B

Zuordnung von Gemeinden im Freistaat Sachsen zu Erdbebenzonen 1 und 2 nach DIN 4149:2005-04

Die Zuordnung der Gemeinden zu den Landkreisen bezieht sich auf den Gebietsstand **1. Januar 2017**. Bei Anwendung ist der jeweils aktuelle Gebietsstand zugrunde zu legen.

Erdbebenzone 2

Landkreis	Gemeinde	Gemarkung	Geologische Untergrundklasse
Landkreis Zwickau	Crimmitschau, Stadt	Blankenhain Großpillingsdorf Kleinpillingsdorf Langenreinsdorf Mannichswalde Mark Sahnau Rudelswalde Rußdorf	R
	Langenbernsdorf	Niederaltersdorf Oberaltersdorf	

Horizontale Einwirkungen

Erdbeben



Bild 2 — Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland

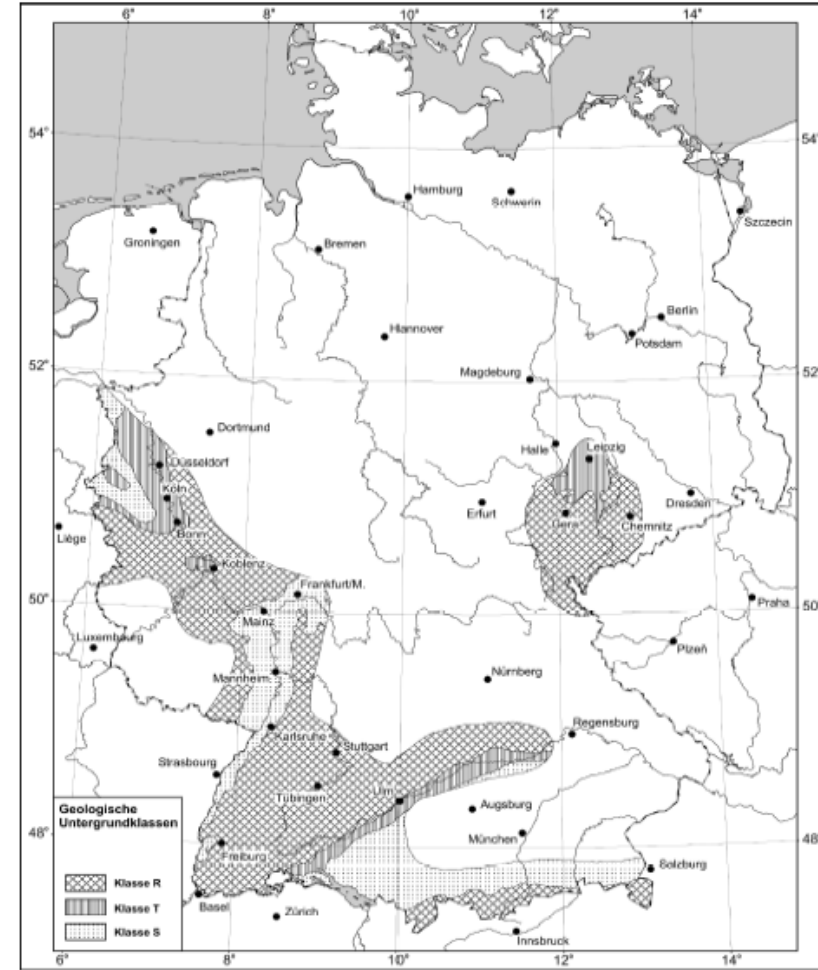


Bild 3 — Geologische Untergrundklassen in den Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland

Horizontale Einwirkungen

Erdbeben

Tabelle 2 — Zuordnung von Intensitätsintervallen und Bemessungswerten der Bodenbeschleunigung zu den Erdbebenzonen

Erdbebenzone	Intensitätsintervalle	Bemessungswert der Bodenbeschleunigung a_g m/s ²
0	$6 \leq I < 6,5$	—
1	$6,5 \leq I < 7$	0,4
2	$7 \leq I < 7,5$	0,6
3	$7,5 \leq I$	0,8

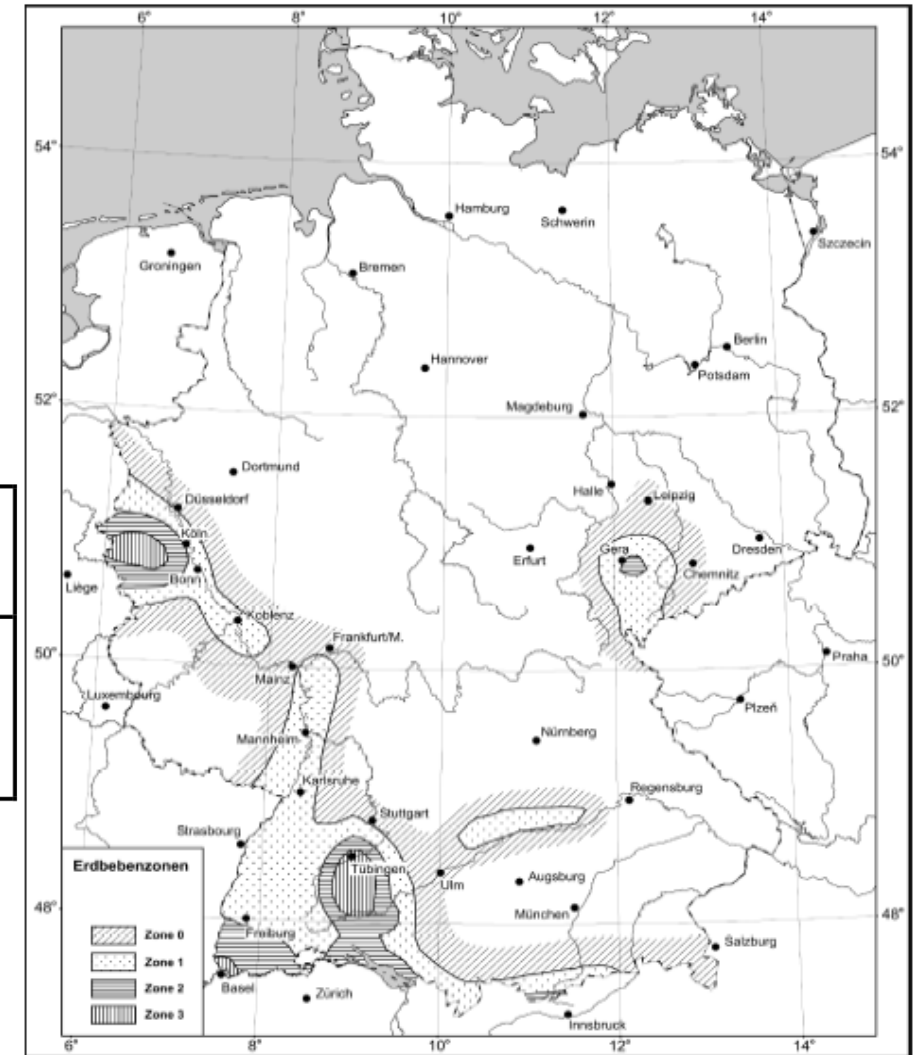


Bild 2 — Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland

Horizontale Einwirkungen

Erdbeben

Tabelle 4 — Werte der Parameter zur Beschreibung des elastischen horizontalen Antwortspektrums

Untergrundverhältnisse	S	T_B s	T_C s	T_D s
A-R	1,00	0,05	0,20	2,0
B-R	1,25	0,05	0,25	2,0
C-R	1,50	0,05	0,30	2,0
B-T	1,00	0,1	0,30	2,0
C-T	1,25	0,1	0,40	2,0
C-S	0,75	0,1	0,50	2,0

Tabelle 5 — Werte der Parameter zur Beschreibung des elastischen vertikalen Antwortspektrums

Untergrundverhältnisse	S	T_B s	T_C s	T_D s
A-R	1,00	0,05	0,20	2,0
B-R	1,25	0,05	0,20	2,0
C-R	1,50	0,05	0,20	2,0
B-T	1,00	0,1	0,20	2,0
C-T	1,25	0,1	0,20	2,0
C-S	0,75	0,1	0,20	2,0

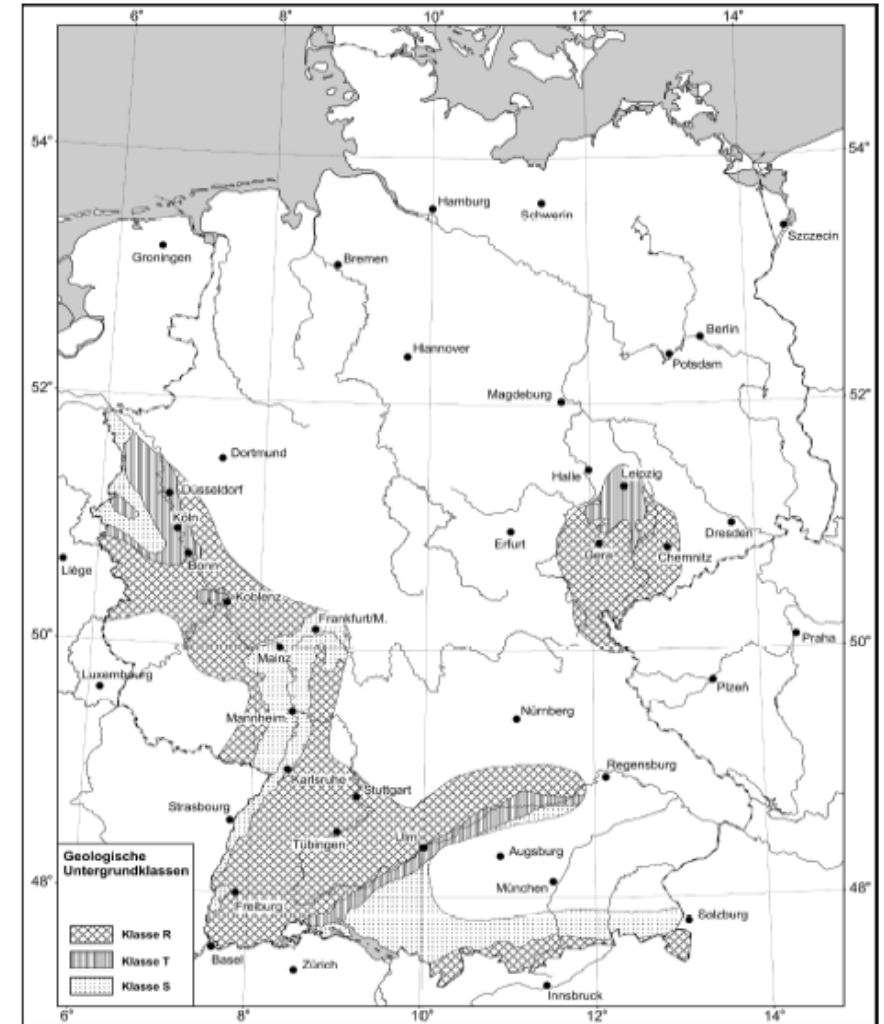


Bild 3 — Geologische Untergrundklassen in den Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland

Horizontale Einwirkungen

Erdbeben

Tabelle 3 — Bedeutungskategorien und Bedeutungsbeiwerte für Hochbauten

Bedeutungskategorie	Bauwerke	Bedeutungsbeiwert γ_1
I	Bauwerke von geringer Bedeutung für die öffentliche Sicherheit, z. B. landwirtschaftliche Bauten usw.	0,8
II	Gewöhnliche Bauten, die nicht zu den anderen Kategorien gehören, z. B. Wohngebäude	1,0
III	Bauwerke, deren Widerstandsfähigkeit gegen Erdbeben im Hinblick auf die mit einem Einsturz verbundenen Folgen wichtig ist, z. B. große Wohnanlagen, Verwaltungsgebäude, Schulen, Versammlungshallen, kulturelle Einrichtungen, Kaufhäuser usw.	1,2
IV	Bauwerke, deren Unversehrtheit im Erdbebenfall von Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit ist, z. B. Krankenhäuser, wichtige Einrichtungen des Katastrophenschutzes und der Sicherheitskräfte, Feuerwehrrhäuser usw.	1,4

Horizontale Einwirkungen

Erdbeben

(3) Das Bemessungsspektrum $S_d(T)$ wird durch die folgenden Ausdrücke bestimmt.

$$T_A \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{\beta_0}{q} - 1 \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \frac{\beta_0}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) = a_g \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \frac{\beta_0}{q} \cdot \frac{T_C}{T}$$

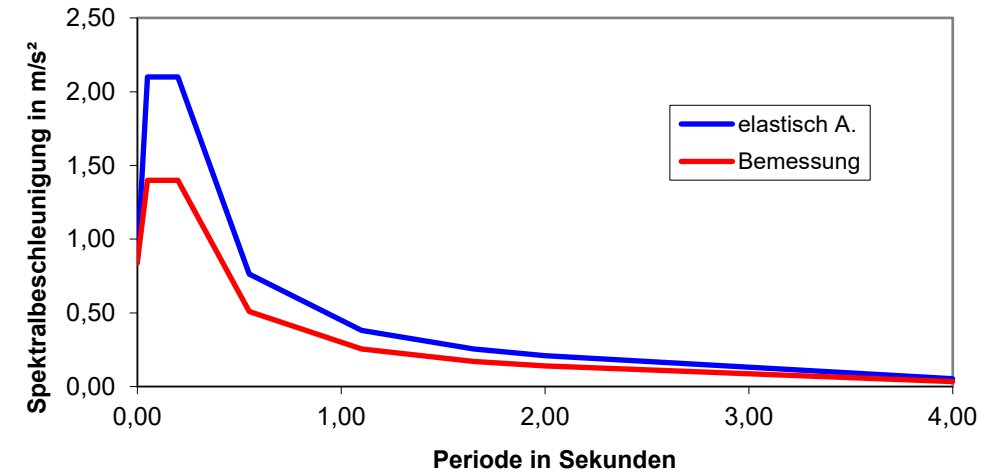
$$T_D \leq T : S_d(T) = a_g \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \frac{\beta_0}{q} \cdot \frac{T_C T_D}{T^2}$$

Dabei ist

$S_d(T)$ die Ordinate des Bemessungsspektrums;

q der Verhaltensbeiwert (siehe Abschnitte 8 bis 12).

Antwortspektren für horizontale Anregung



$$a_g = 0,6 \text{ m/s}^2$$

$$\gamma_I = 1,4$$

$$S = 1$$

$$\xi = 5,0 \%$$

$$\eta = 1,00$$

$$\beta_0 = 2,5$$

$$q = 1,5$$

Bemessungswert der Bodenbeschleunigung

Bedeutungsbeiwert:

Untergrundparameter

Wert der viskosen Dämpfung

Dämpfungskorrekturbeiwert

Verstärkungsbeiwert der

Spektralbeschleunigung

Verhaltensfaktor

Horizontale Einwirkungen

Erdbeben

$$F_b = S_d(T_1) \cdot M \cdot \lambda$$

$$F_i = F_b \cdot \frac{s_i \cdot m_i}{\sum s_j \cdot m_j}$$

$$F_{ji} = F_i \frac{I_j}{\sum I_j} \left(1 \pm \frac{e \cdot r_j}{r^2}\right)$$

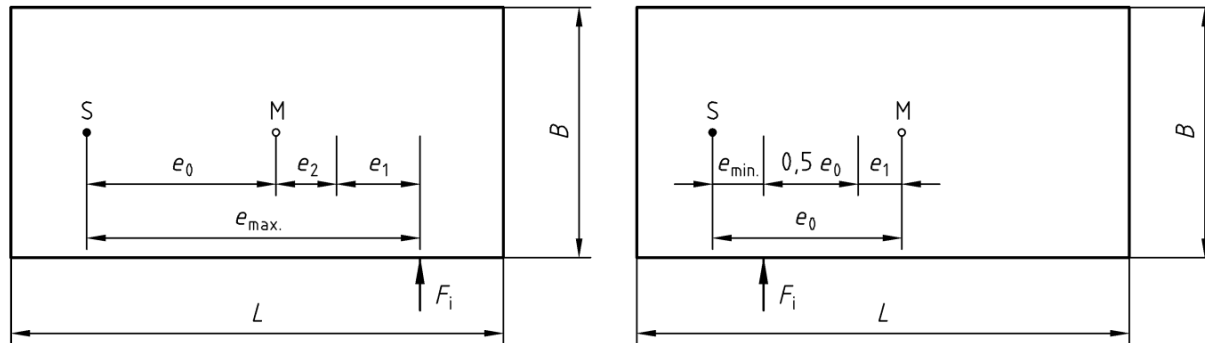
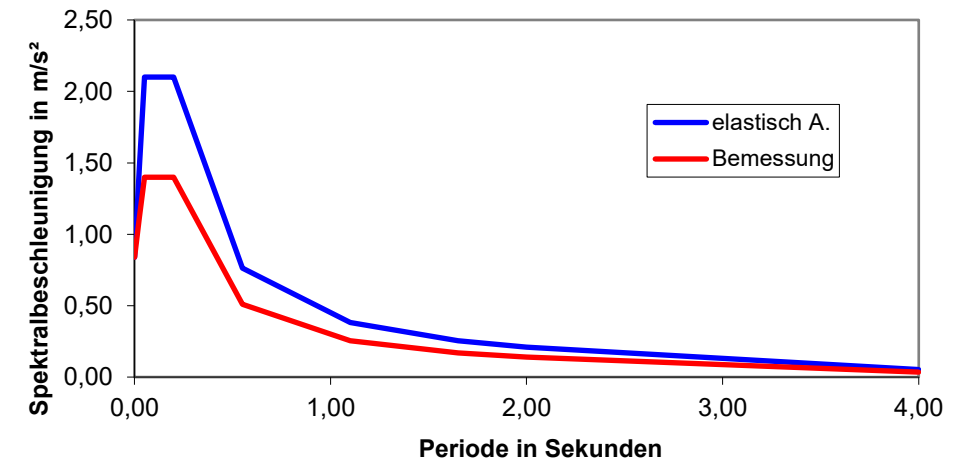


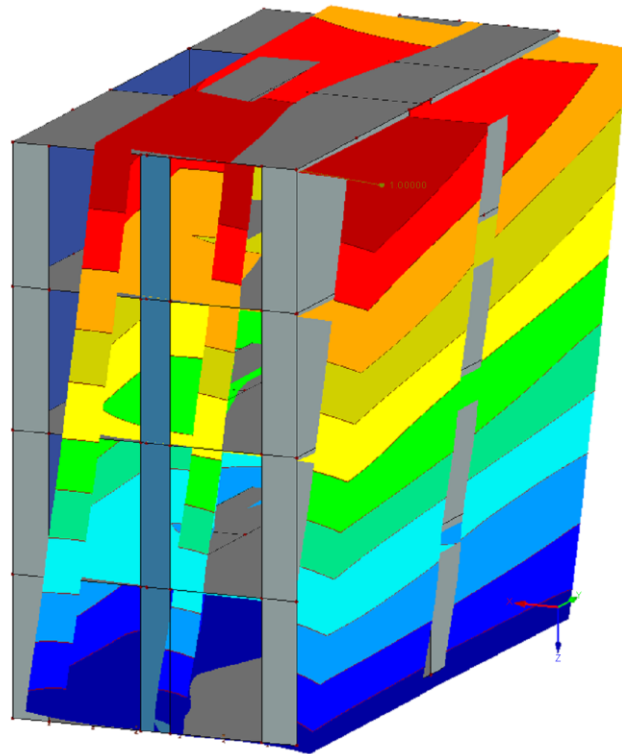
Bild 5 — Bestimmung der Exzentrizitäten der Horizontalkraft F_i

Antwortspektren für horizontale Anregung

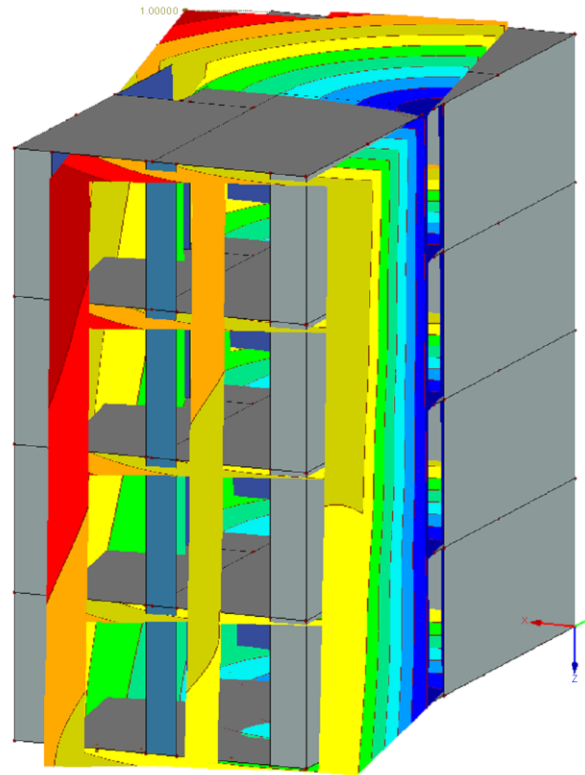


Horizontale Einwirkungen

Erdbeben

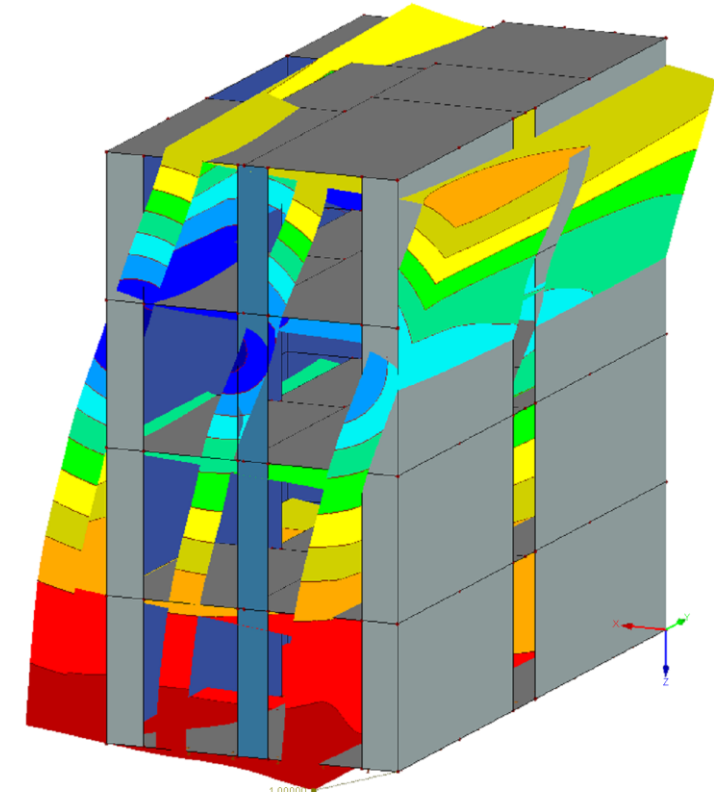


1.70



1.70

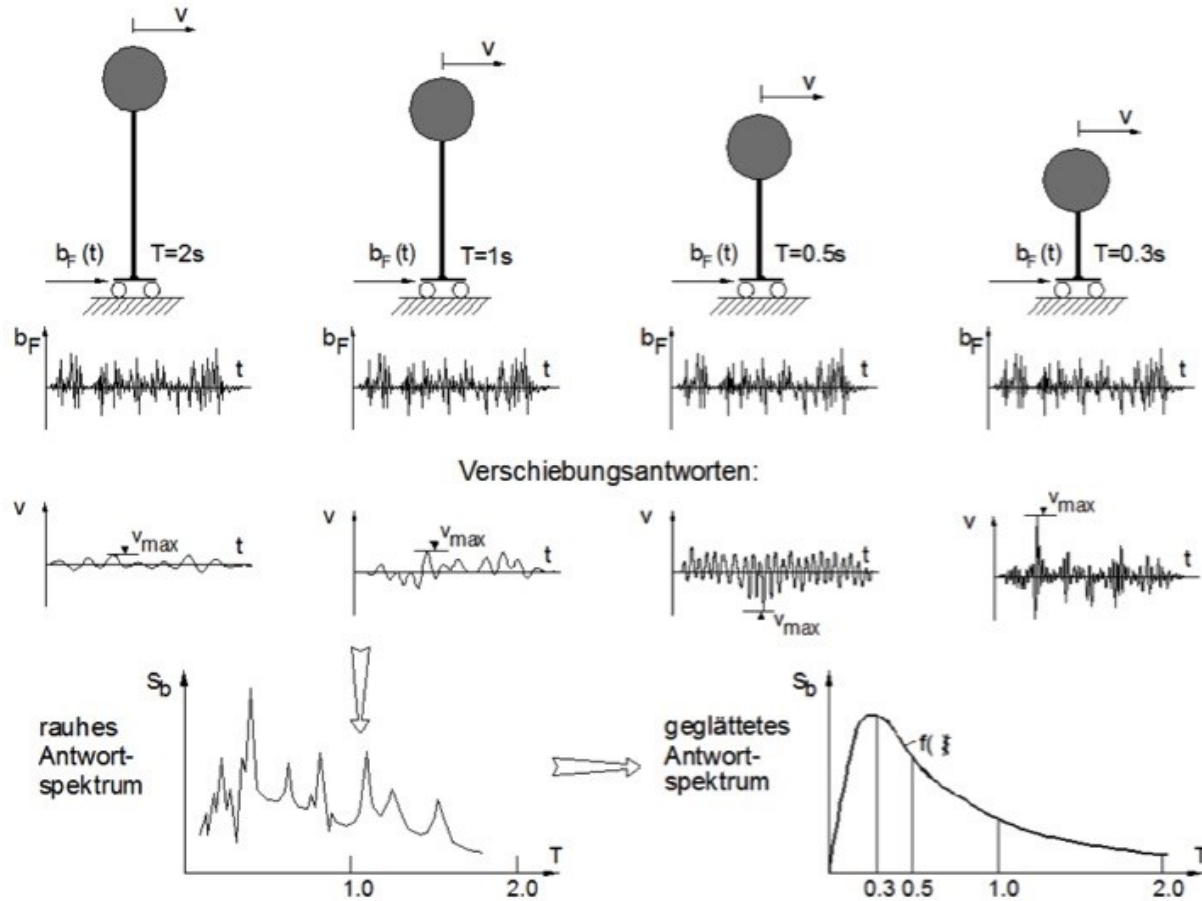
51 Hz



ungen: 1.70

Horizontale Einwirkungen

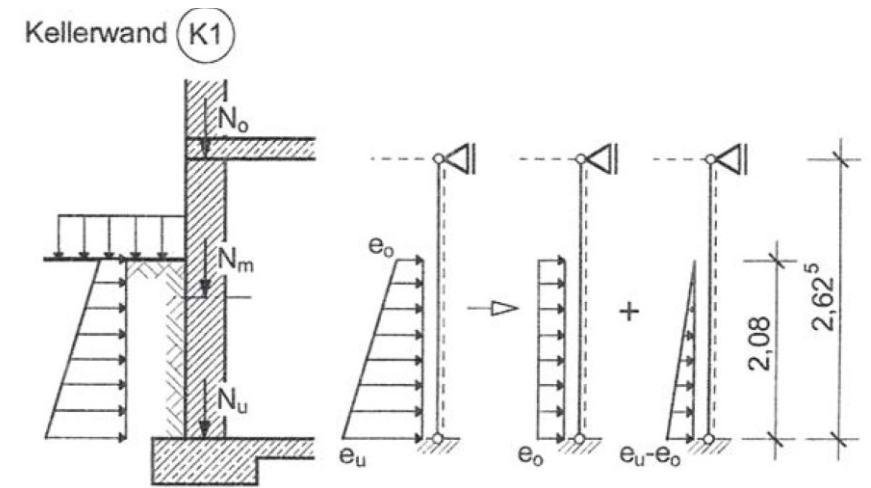
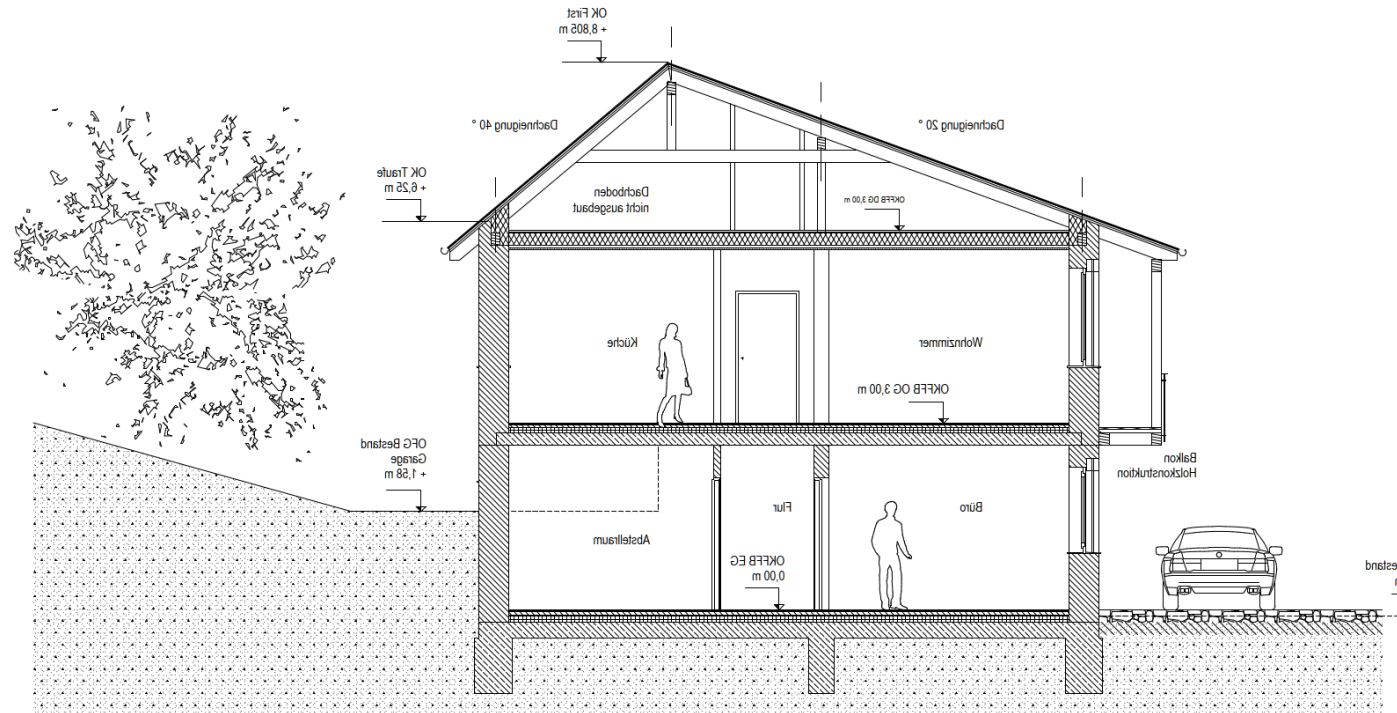
Antwortspektrum erstellen



Quelle: Peil Ingenieure

Horizontale Einwirkungen

Erddruck



Horizontale Einwirkungen Anprall

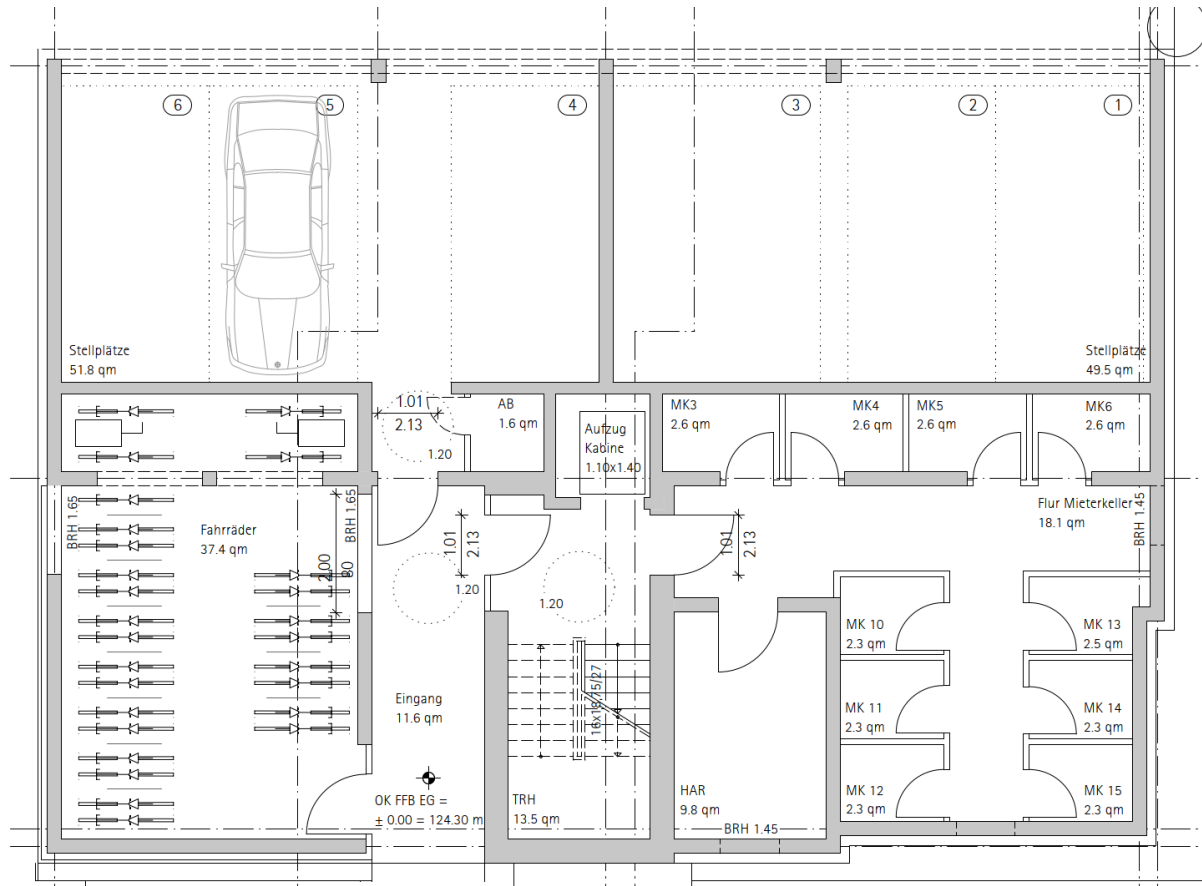


Tabelle NA.2-4.1 — Äquivalente statische Anprallkräfte aus Straßenfahrzeugen

Kategorie	Statisch äquivalente Anprallkraft in MN	
	F_{dx} in Fahrtrichtung	F_{dy} rechtwinklig zur Fahrtrichtung
1 Straßen außerorts	1,5	0,15
2 Straßen innerorts bei $v \geq 50$ km/h ^a	1,0	0,5
Straßen innerorts bei $v < 50$ km/h ^{a b}		
3 — an ausspringenden Gebäudeecken	0,5	0,5
4 — in allen anderen Fällen	0,25	0,25
5 Für Lkw befahrbare Verkehrsflächen (z. B. Hof-räume) bzw. Gebäude mit Pkw-Verkehr > 30 kN	0,1	0,1
6 Für Pkw befahrbare Verkehrsflächen	0,050	0,025
7 — bei Geschwindigkeitsbeschränkung für $v \leq 10$ km/h	0,015	0,008
8 Tankstellenüberdachungen ^{b c}	0,1	0,1
Parkgaragen für Pkw ≤ 30 kN ^b		
9 — Einzel-/Doppel-Garage, Carports	0,01	0,01
10 — in allen anderen Fällen	0,04	0,025

^a Nur anzusetzen, wenn stützende Bauteile der unmittelbaren Gefahr des Anpralls von Straßenfahrzeugen ausgesetzt sind, d. h. im Allgemeinen im Abstand von weniger als 1 m von der Bordschwelle.
^b Nur anzusetzen, wenn bei Ausfall der stützenden Bauteile die Standsicherheit von Gebäude/Überdachung/Decke gefährdet ist.
^c Nur anzusetzen, wenn die stützenden Bauteile nicht am fließenden Verkehr liegen, sonst wie Zeile 1 bis 4.

Horizontale Einwirkungen

Schiefstellung

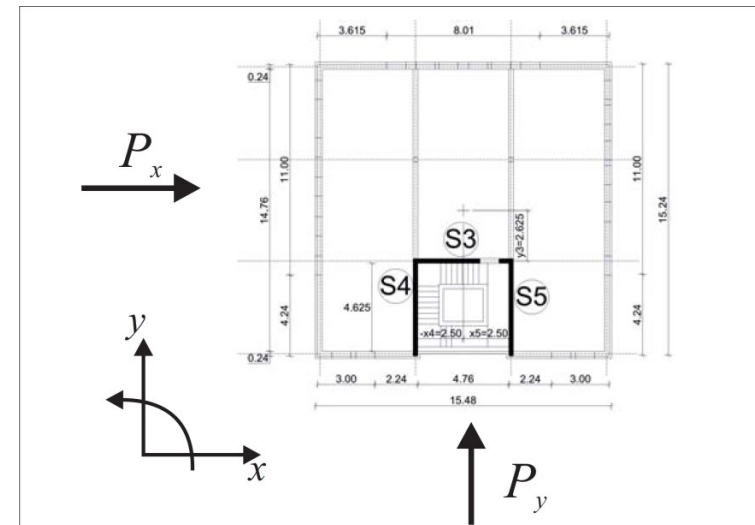
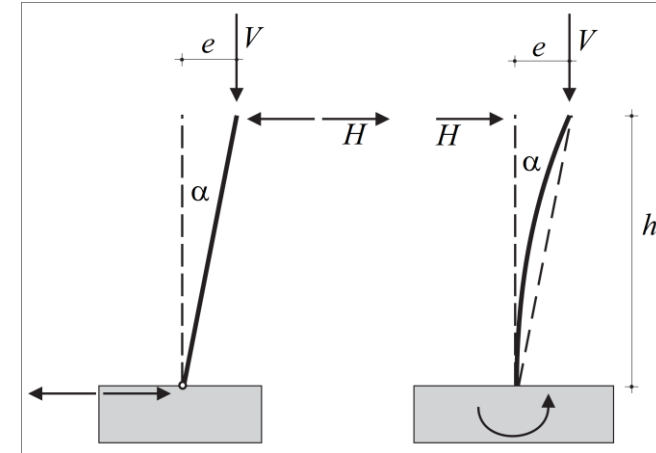
- Anteil aus Schiefstellung
- Anteil aus Th. II. Ordnung

$$V = V_{\alpha} + V_{Th II.O}$$

$$v = \frac{1}{100\sqrt{h_{tot}}} \text{ (rad)}$$

$$h_{tot} \sqrt{\frac{N_{Ed}}{\sum EI}} \leq 0,6 \quad \text{für } n \geq 4$$

$$\leq 0,2 + 0,1 n \quad \text{für } 1 \leq n < 4$$



Horizontale Einwirkungen

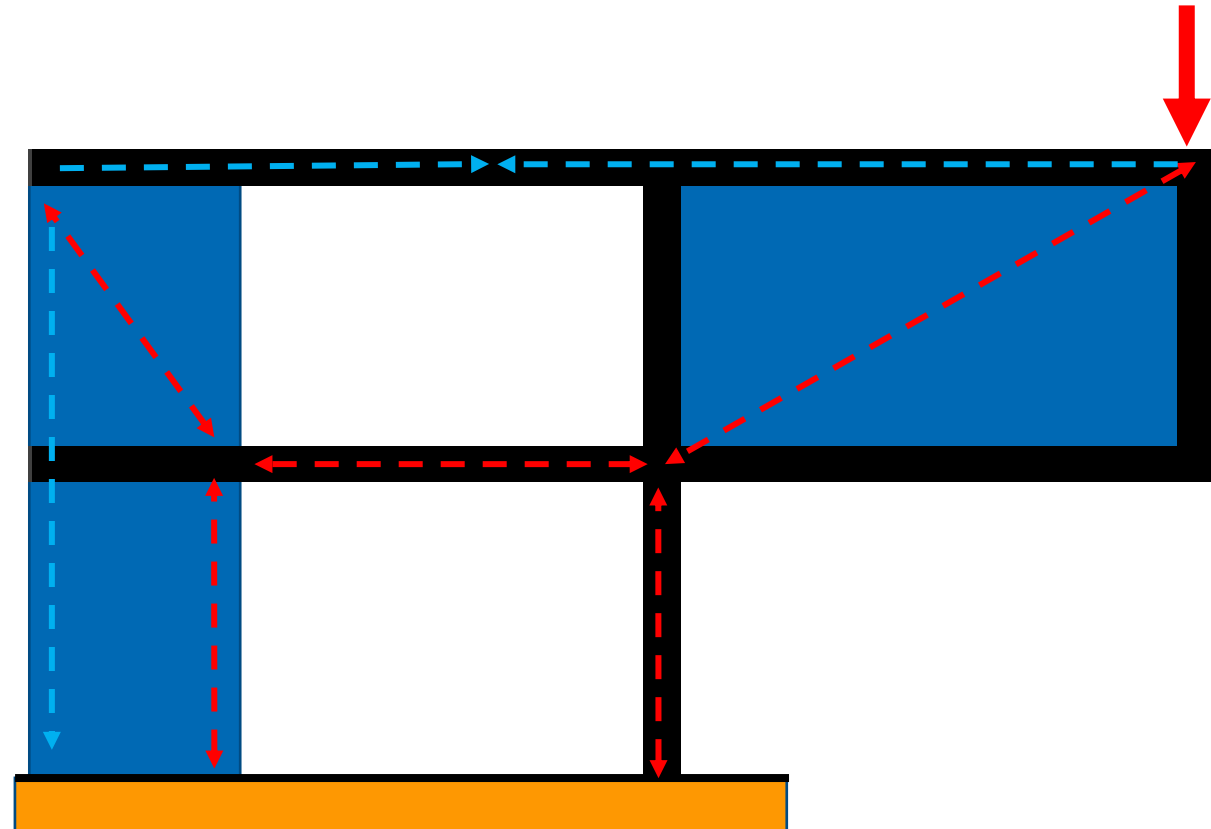
Bsp. Schiefstellung

Sicherheitskonzept DIN EN 1990 + NA												
zugrundeliegende Lastnorm DIN EN 1991-1 + NA												
zugrundeliegende Mauerwerksnorm DIN EN 1996-1-1 + NA (EC6), 1996-3 + NA (EC6-3)												
Räumliche Steifigkeit												
			DG	OG2	OG1	EG	KG					
Charakteristische Vertikallasten OK Mauerwerk												
Ständige	kN	836	2671	2671	2671	2671	2671					
davon Wände	kN	371	371	371	371	371	371					
Ständige akkumuliert	kN	836	3508	6179	8850	11521						
Teilsicherheitsbeiwert											1,35	
Veränderliche	kN	189	688	688	688	688	688					
Veränderliche akkumuliert	kN	189	876	1564	2252	2940						
Teilsicherheitsbeiwert											1,50	
N _k	MN										19,96	
Flächenträgheitsmomente												
				S3	S4	S5	Summe					
Länge x	m			5,00	0,24	0,24						
Länge y	m			0,24	5,10	5,10						
1. Schwerpunktskoordinate x	m			0,00	-2,50	2,50	0,00					
1. Schwerpunktskoordinate y	m			-2,63	-5,18	-5,18	-4,34					
Fläche	m ²			1,20	1,22	1,22	3,65					
Eigen-Flächenträgheitsmoment um x	m ⁴			0,01	2,65	2,65	5,31					
Eigen-Flächenträgheitsmoment um y	m ⁴			2,50	0,01	0,01	2,51					
2. Schwerpunktskoordinate x	m			0,00	-2,50	2,50						
2. Schwerpunktskoordinate y	m			1,71	-0,84	-0,84						
Globales Flächenträgheitsmoment um x	m ²			3,52	3,51	3,51	10,55					
Globales Flächenträgheitsmoment um y	m ²			2,50	7,66	7,66	17,81					
Nachweis räumliche Steifigkeit												
Maßgebendes Flächenträgheitsmoment J	m ⁴						2,51					
Elastizitätsmodul E	MN/m ²						6882	vor. Blatt				
Gebäudehöhe ab OK Fundament h _{ges}	m						15,48					
Anzahl Geschosse n							5					
Grenzwert α							0,60					
Vorhanden α							0,53	h _{ges} √N k/EJ	EC6 (5.1)			
Nachweis η _{min}							0,8768	< 1,0				
Last aus Verformung nach Th II. O. muss nicht berücksichtigt werden.												

Horizontale Einwirkungen

Sonstiges

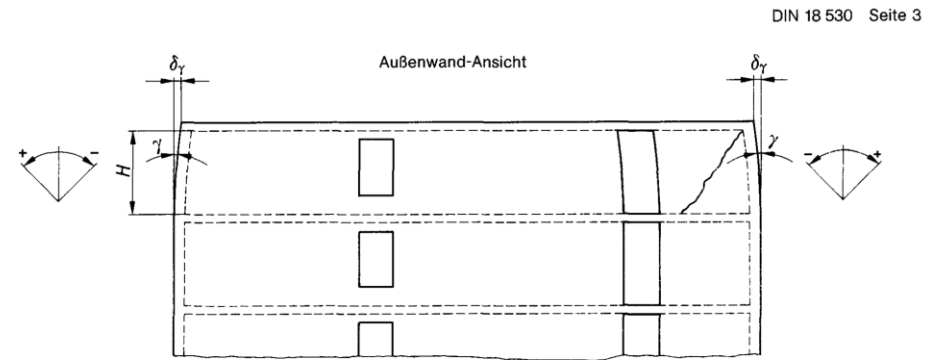
- Temperatur
- Schwinden
- Aus dem statischen System



Horizontale Einwirkungen

Sonstiges

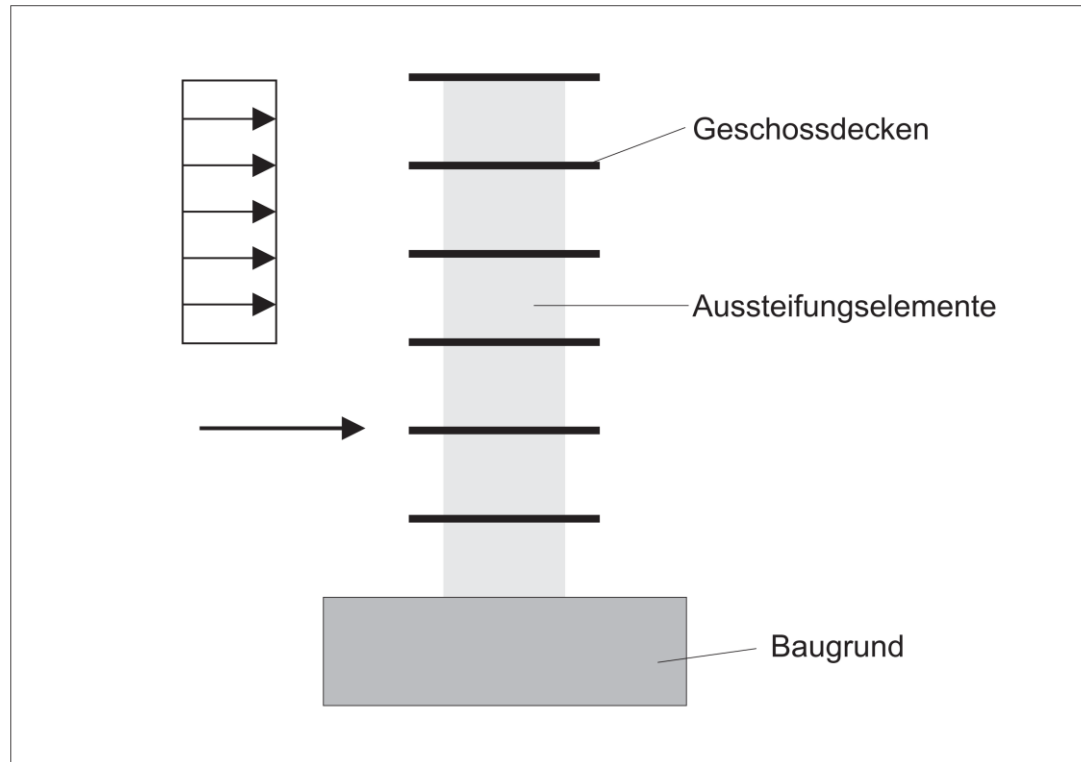
- Temperatur
- Schwinden
- Aus dem statischen System



2. Lastabtrag

Lastabtrag

Prinzipielle Anordnung

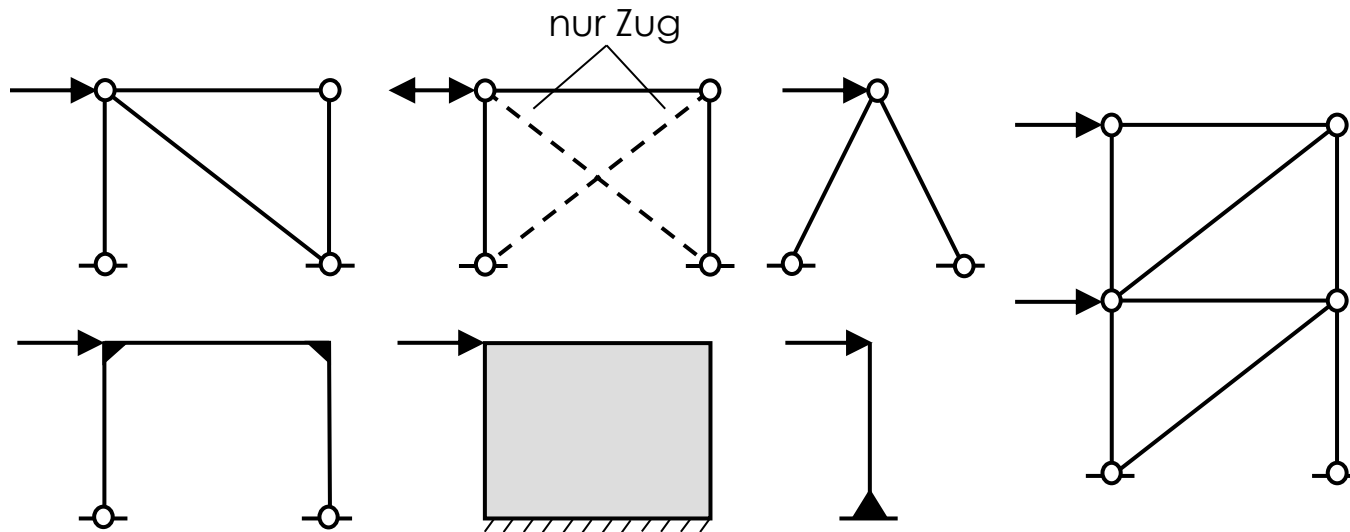


Belastung in x - Richtung	Belastung in y - Richtung	Verdrehung	Grundriss
stabil	labil	labil	labil
stabil	stabil	labil	labil
stabil	labil	stabil	labil
stabil	stabil	labil	labil
stabil	stabil	stabil	stabil

Lastabtrag

statisch bestimmte ($c = 0$) oder statisch unbestimmte Systeme ($c > 0$)

(unbewegliches statisches System, starres oder stabiles statisches System)

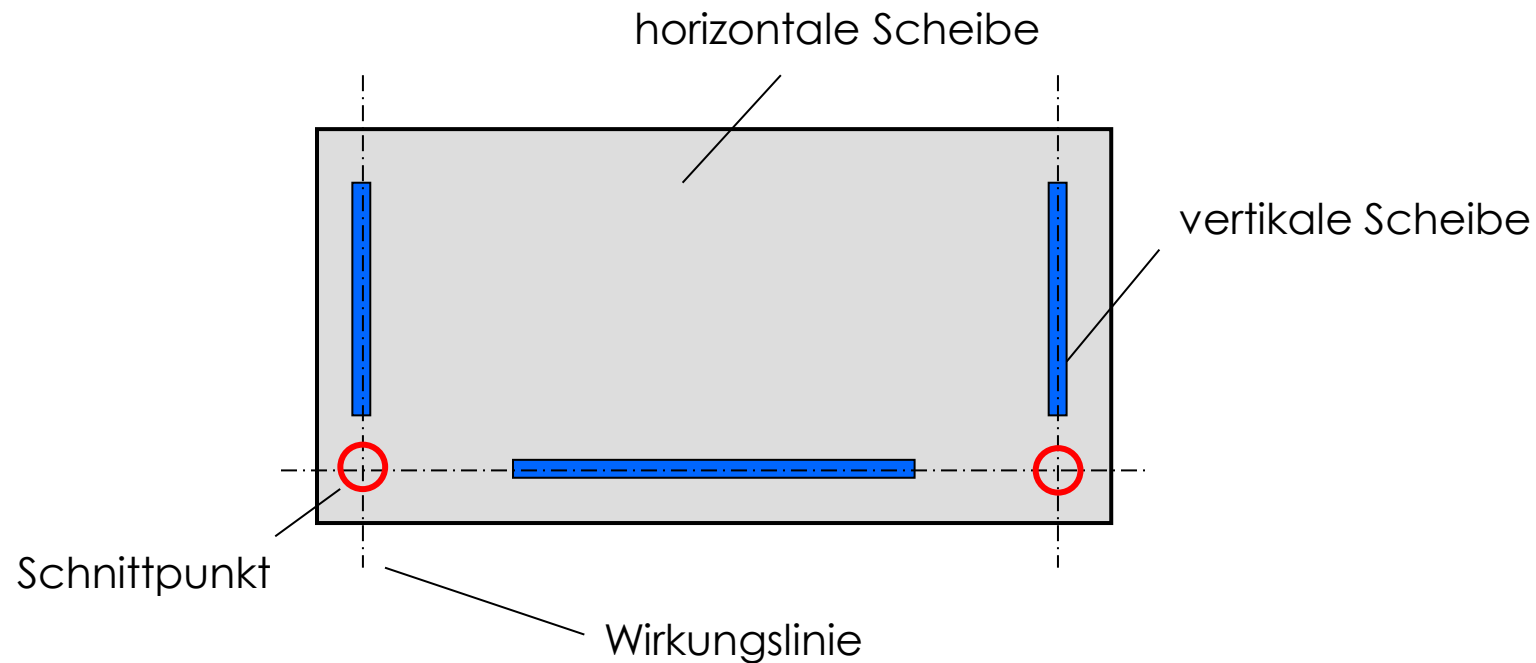


Zusatzbedingung: horizontale Formänderung des Systems darf einen Grenzwert nicht überschreiten

Lastabtrag

Grundsatz 4

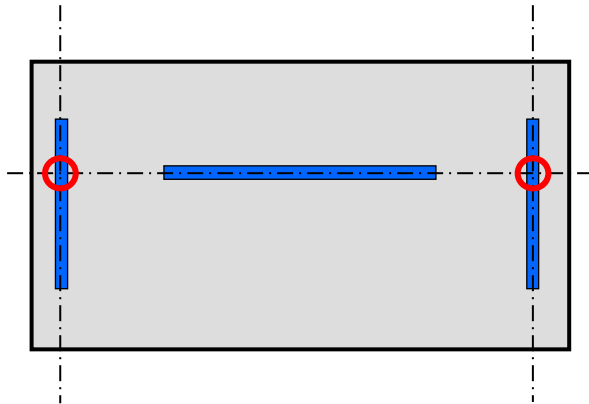
Prinzipiell sind zur Aussteifung mindestens drei vertikale Scheiben und eine horizontale Scheibe pro Etage erforderlich, wobei sich die Wirkungslinien der vertikalen Scheiben nicht in einem Punkt schneiden dürfen.



Lastabtrag

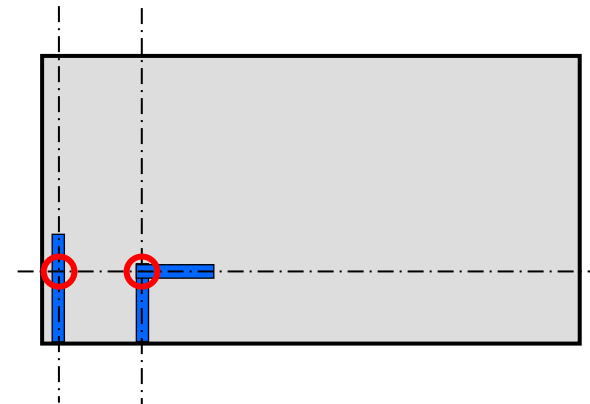
Die Anordnung der Vertikalscheiben im Grundriss sollte so erfolgen, dass kleine Schnittgrößen entstehen und geringe Formänderungen auftreten.

günstige Anordnung



- symmetrische Anordnung
- großer Scheibenabstand

ungünstige Anordnung



- unsymmetrische Anordnung
- kleine Scheibenabstände

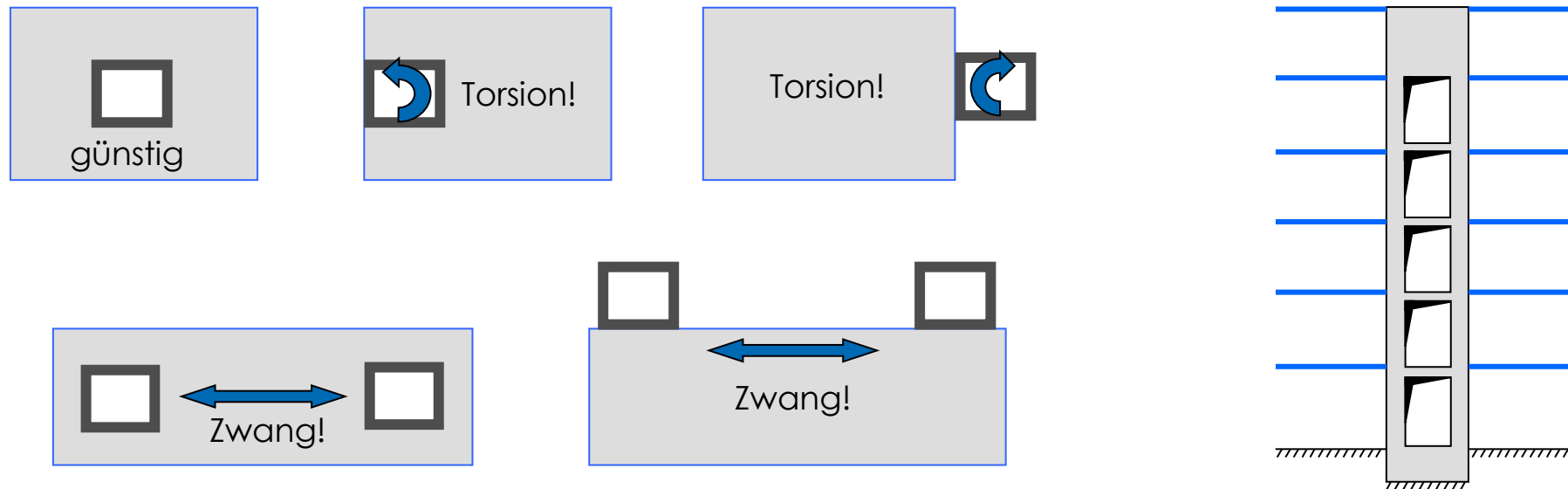
Die fehlende räumliche Aussteifung in einer Ebene führt zum Versagen des Gebäudes!

Lastabtrag

Grundsatz 5

Die schubsteife Verbindung von vier Vertikalscheiben wird als Kern bezeichnet. Kerne können sowohl horizontale Kräfte in alle Richtungen aufnehmen, als auch große Torsionskräfte übertragen. Sie werden vorrangig für Treppen und Aufzüge genutzt.

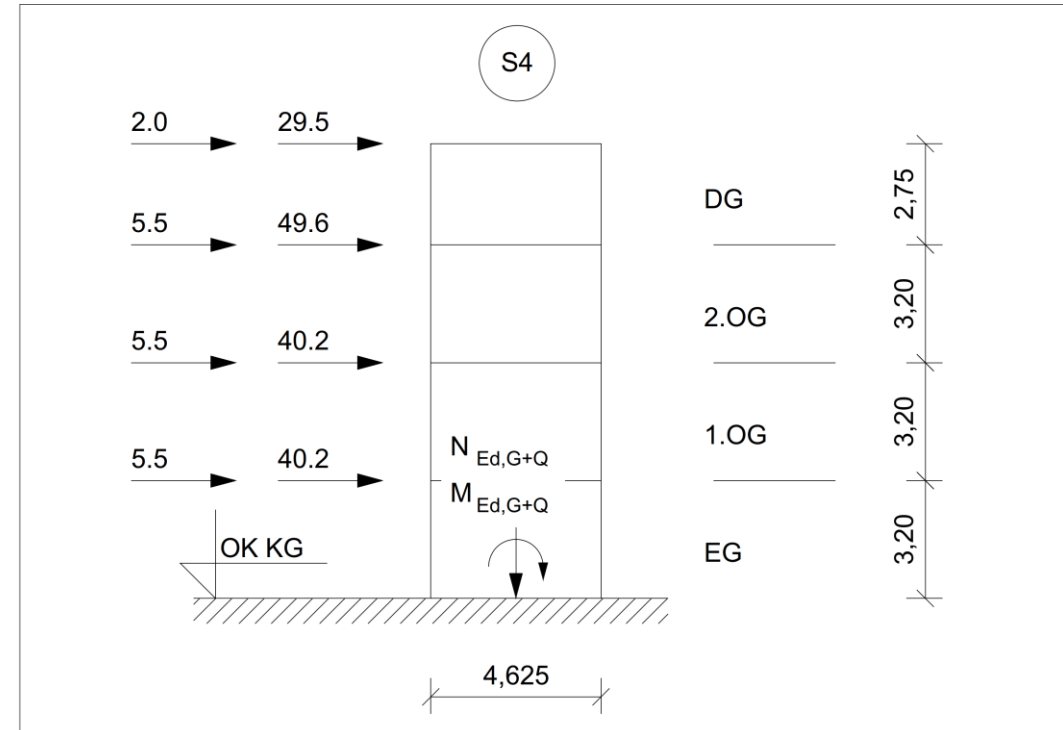
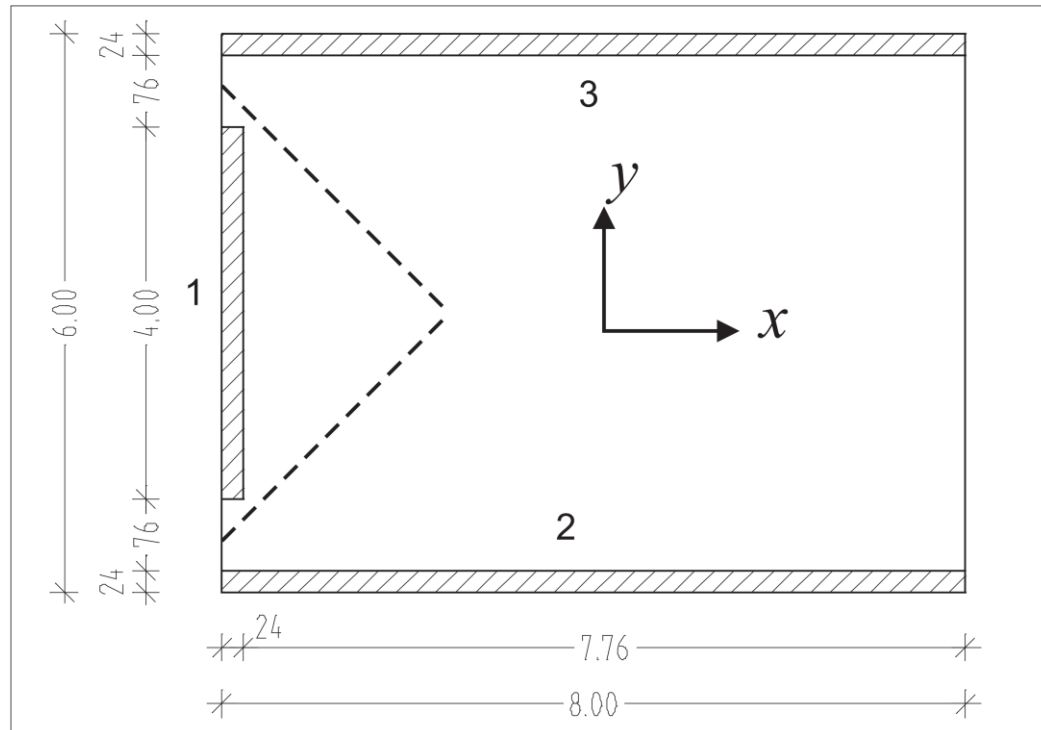
Durch große Aussparungen in den Wandscheiben wird die Tragfähigkeit von Kernen negativ beeinflusst.



3. Schnittkraftermittlung

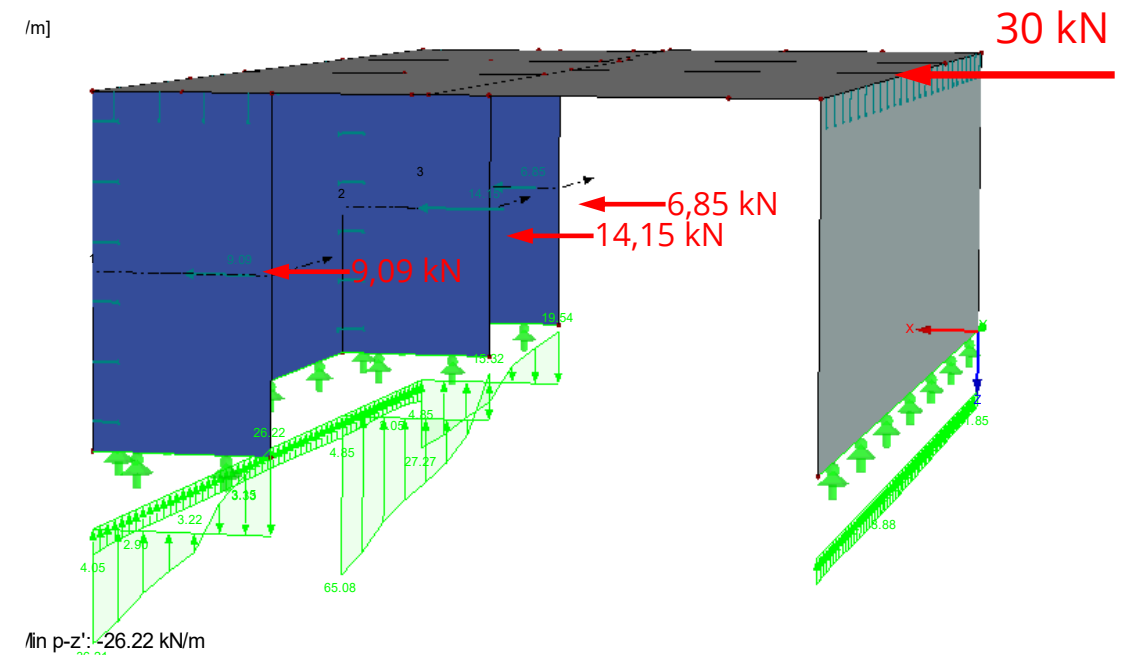
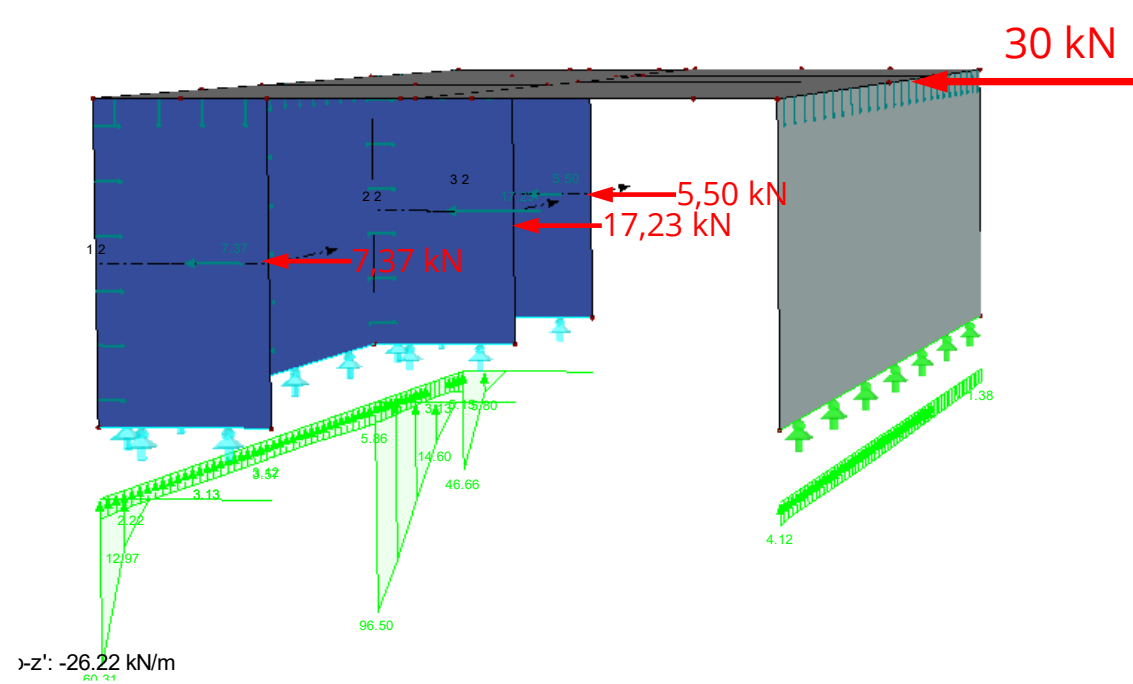
Schnittkraftermittlung

Bsp. 7.1



Schnittkraftermittlung

MW-spezifisch

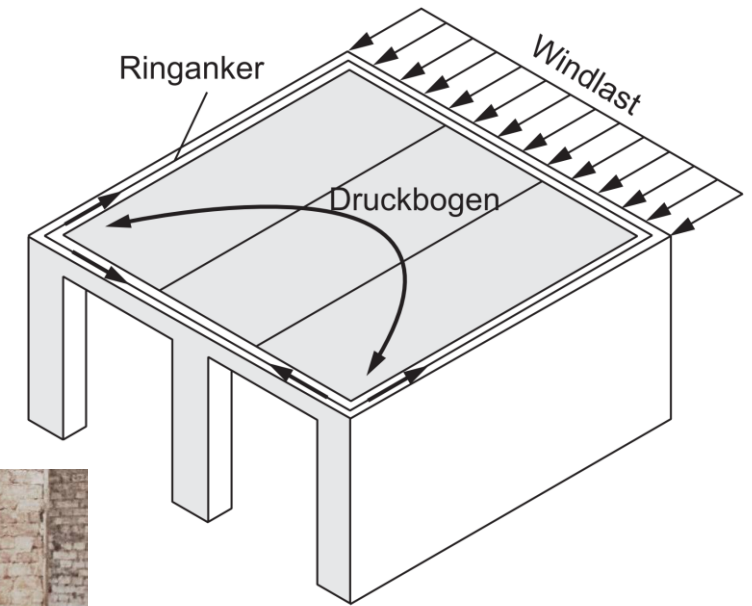


4. Konstruktive Aspekte

Konstruktive Aspekte

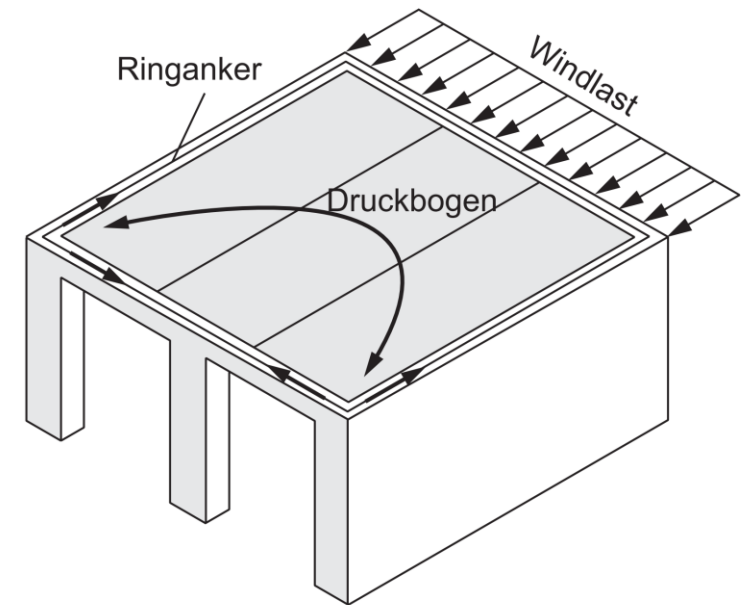
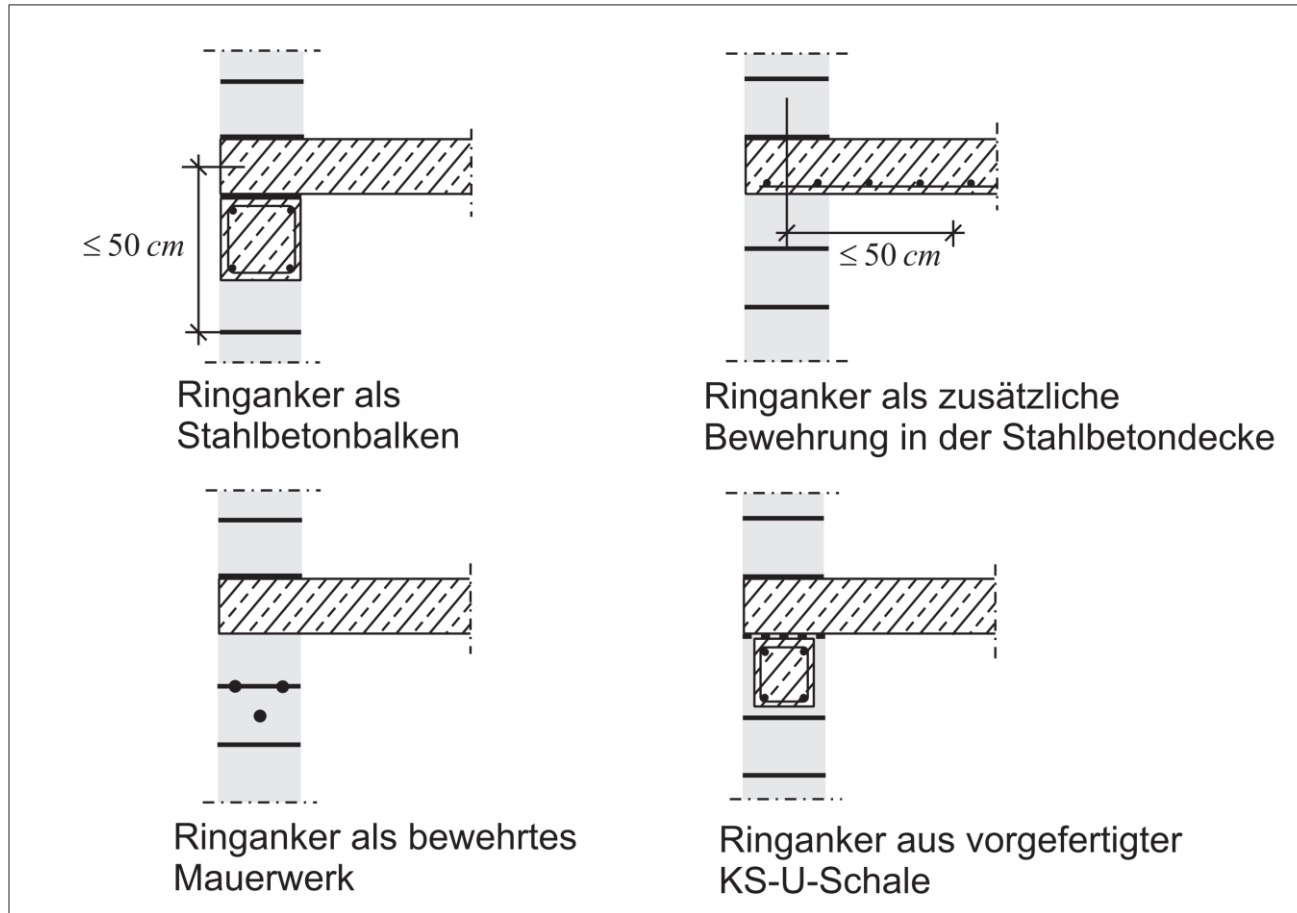
- Zwingend erforderlich zur räumlichen Aussteifung ist das Zusammenwirken von lotrechten Wandscheiben mit der waagerechten Deckenscheibe.
- Zunächst muss die Decke als Scheibe wirksam sein können.
 - Dies ist bei Stahlbetondecken mit Fertigteilen oder Holzbalkendecken zunächst nicht uneingeschränkt gegeben und gegebenenfalls durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen.
 - In diesem Zusammenhang werden Ringanker verwendet: Bauelemente zur Aufnahme von Zugkräften, welche die Außenwände geschlossen umfassen sollten
 - Wenn keine Druckstreben oder -bögen in Scheiben herangezogen werden können, können zur Weiterleitung horizontaler Lasten Ringbalken verwendet werden, die in sich Biegemomente aufnehmen können.
 - Zur Konzeption, Berechnung und Konstruktion von Ringbalken und Ringankern siehe auch [13]

Konstruktive Aspekte



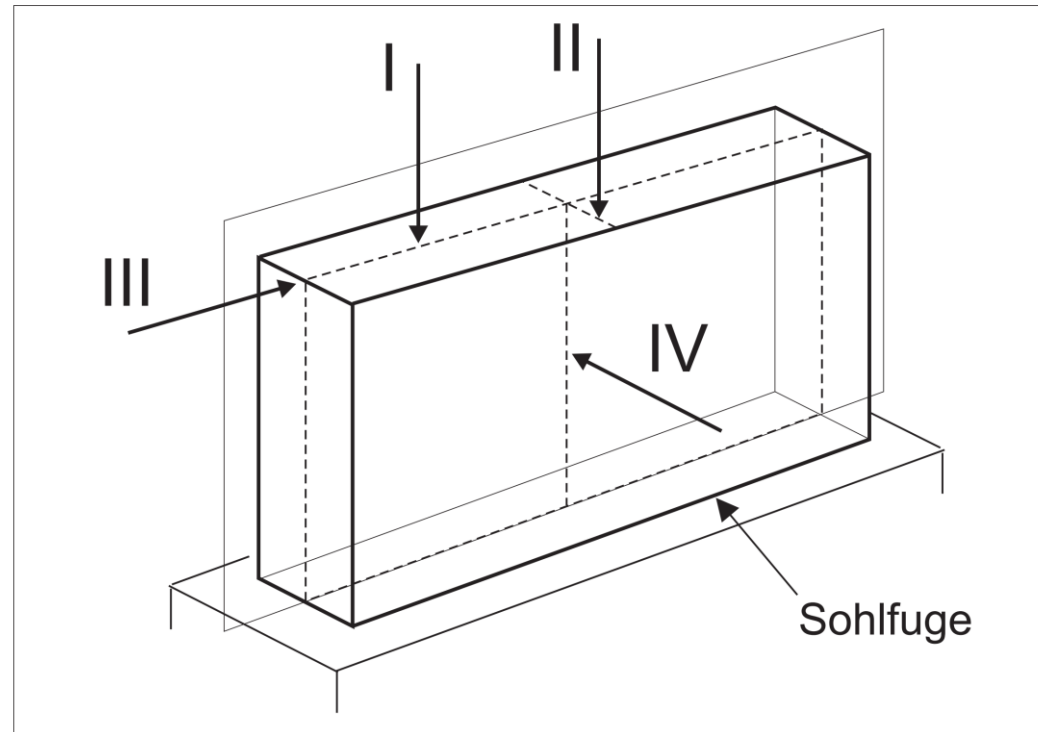
Quelle: Fa. Eder

Konstruktive Aspekte

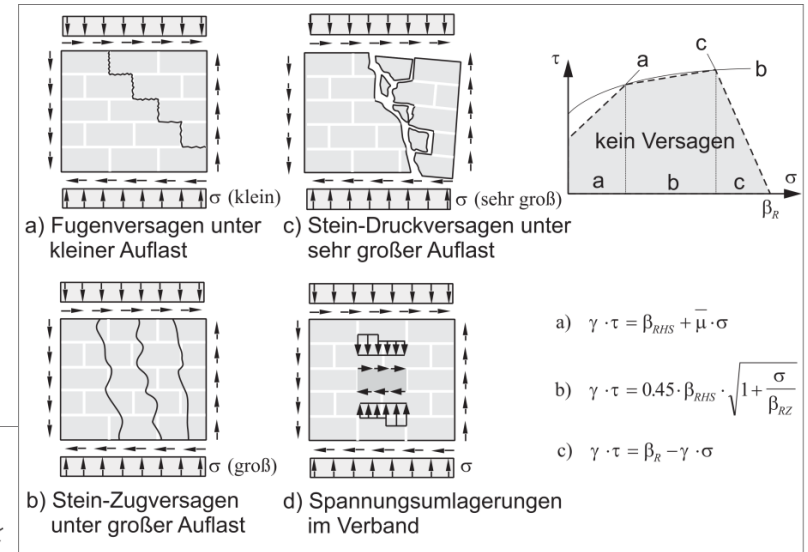
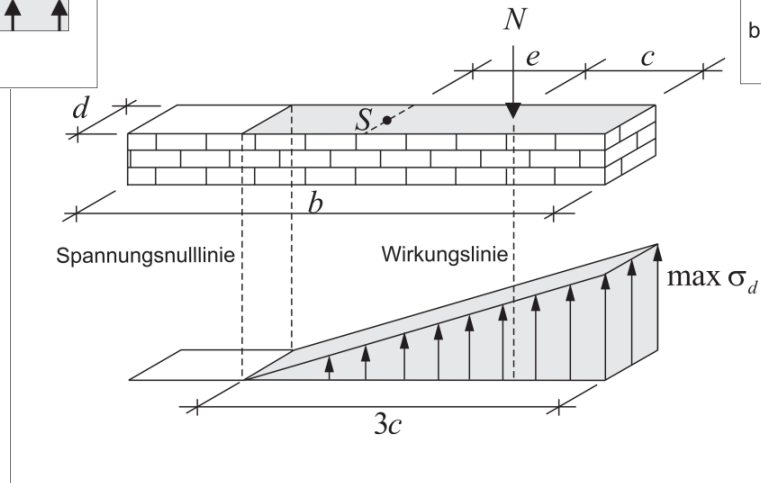
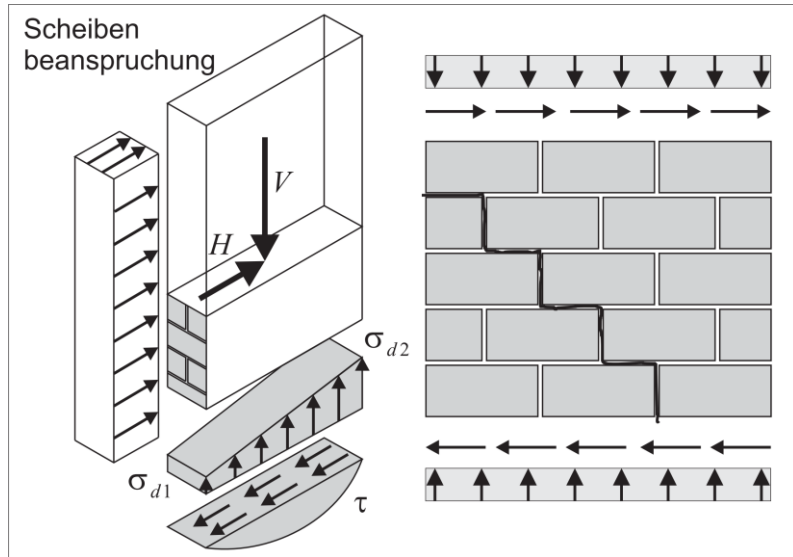


5. Nachweis einer Aussteifungswand

Nachweis einer Aussteifungswand

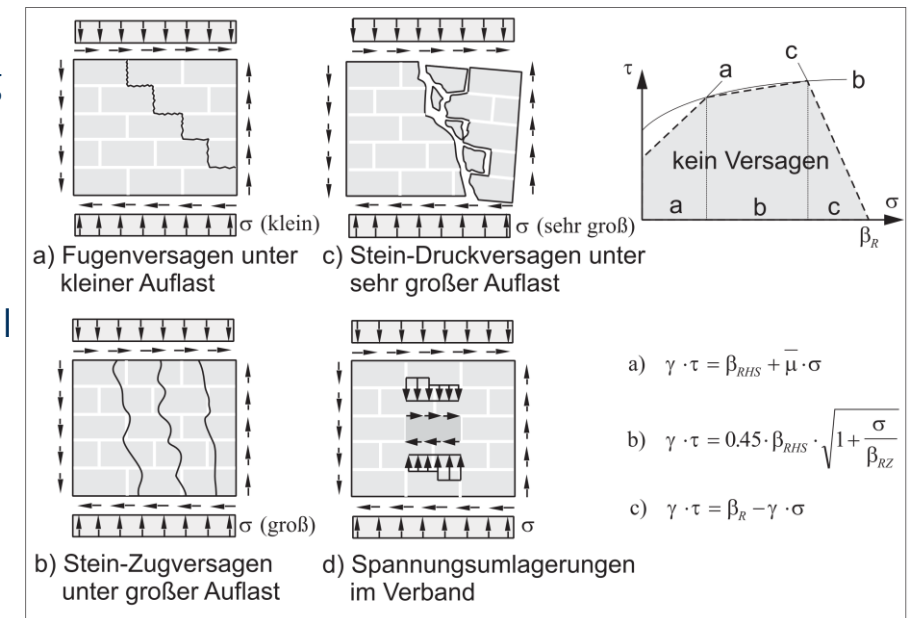


Nachweis einer Aussteifungswand



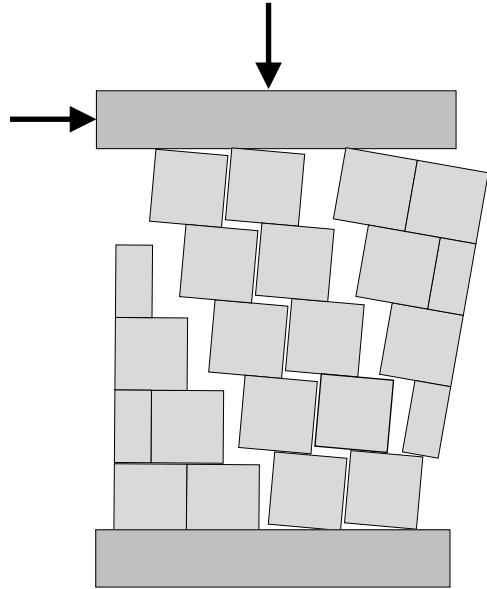
Nachweis einer Aussteifungswand

- Hier wird zunächst der Fall betrachtet, dass die Horizontalkräfte das Mauerwerk in seiner langen Richtung beanspruchen.
 - Scheibentragwirkung
- Übertragung der Schubspannung τ in der Lager- bzw. Sohlfuge über Haftung und Reibung.
 - Sehr hilfreich ist wiederum die Kombination mit einer geeigneten Auflast mit einer Normalspannung σ .
- Grenzspannungsbeziehung zwischen σ und τ (im Wesentlichen experimentell ermittelt)
 - Bereich a: Grenze für Schubversagen der Fugen
 - Bereich b: Grenze für Versagen des Mauerwerks auf Hauptzug
 - Bereich c: Grenze für Versagen des Mauerwerks auf Hauptdruck
- Die rechnerische Beschreibung ist z.B. mit DIN EN 1996-1-1 [Abschnitt 3.6.2] gegeben

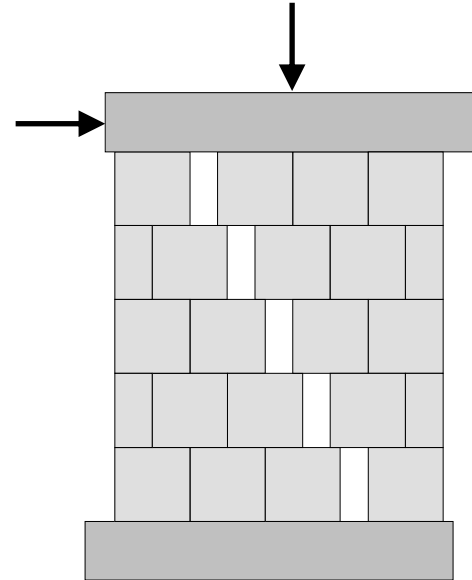


Nachweis einer Aussteifungswand

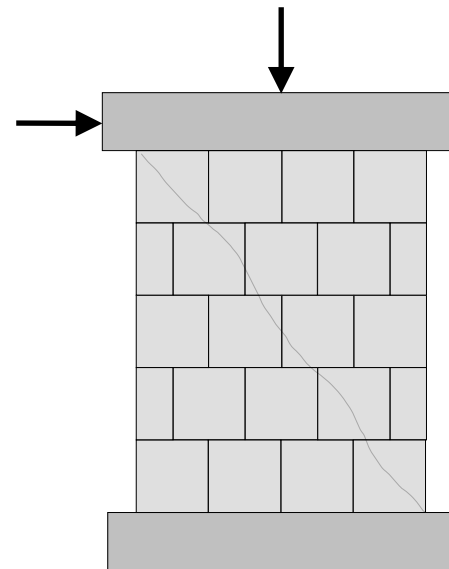
Versagensarten



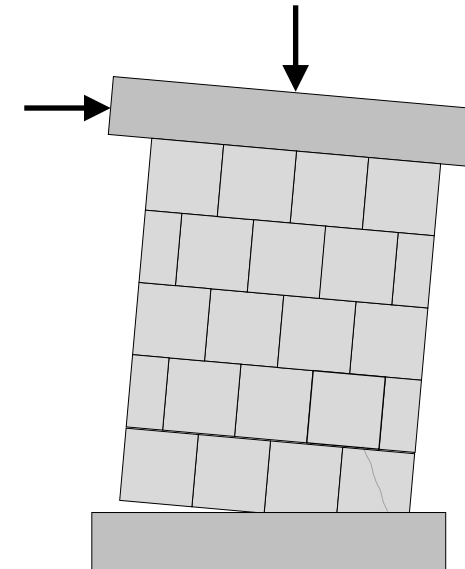
Klaffen



Reibungsversagen



Steinzugversagen



Schubdruckversagen

Nachweis einer Aussteifungswand

DIN EN 1996-1-1:2013-02
EN 1996-1-1:2005+A1:2012 (D)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

$$V_{Rd} = f_{vd} \cdot t \cdot l_c$$

$\boxed{A_1}$ oder alternativ durch:

$$V_{Rd} = V_{Rdlt}$$

f_{vd} der Bemessungswert der Schubfestigkeit von Mauerwerk nach 2.4.1 und 3.6.2, unter Zugrundelegung des Mittelwertes der vertikalen Druckspannung im überdrückten Teil der schubbeanspruchten Wand unter Vernachlässigung der Zugfestigkeit des Mauerwerks;

t die Wanddicke der schubbeanspruchten Wand;

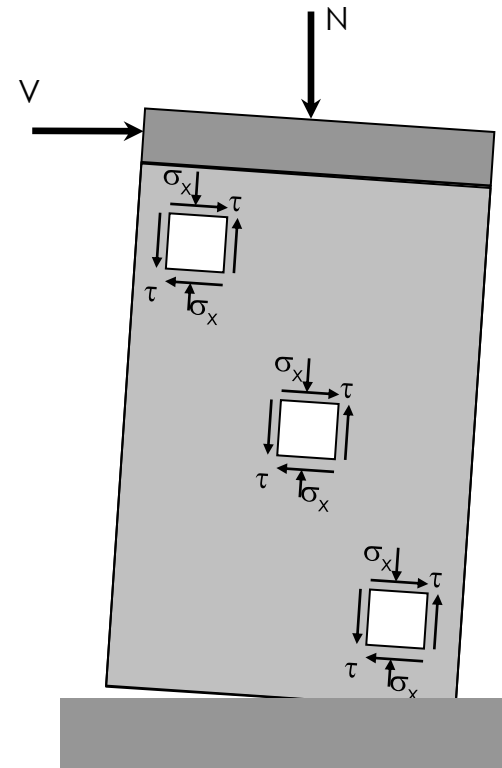
l_c die Länge des überdrückten Teiles der Wand unter Vernachlässigung auf Zug beanspruchter Teile der Wand.

$\boxed{A_1}$ V_{Rdlt} ist der Bemessungswert des Grenzwertes der Schubtragfähigkeit;

ANMERKUNG Die Festlegung, ob in einem Land Gleichung (6.13) und (6.14) anzuwenden ist, und die Größe oder der Funktionsverlauf von V_{Rdlt} , z. B. in Bezug auf die Zugfestigkeit der Mauersteine und/oder die Überbindung des Mauerwerks, sind im Nationalen Anhang eines jeden Landes zu regeln. Fall keine Wahlmöglichkeit angegeben ist, sollte Gleichung (6.13) angewendet werden. $\boxed{A_1}$

Nachweis einer Aussteifungswand

Schubtragfähigkeit



$$V_{Rdl} = l_{cal} \cdot f_{vd} \cdot \frac{t}{c}$$

Nachweis einer Aussteifungswand

DIN EN 1996-1-1:2013-02
EN 1996-1-1:2005+A1:2012 (D)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

$$V_{Rd} = f_{vd} \cdot t \cdot l_c$$

ⓘ oder alternativ durch:

$$V_{Rd} = V_{Rdlt}$$

$$V_{Rdlt} = l_{cal} \cdot f_{vd} \cdot \frac{1}{c}$$

f_{vd} der Bemessungswert der Schubfestigkeit von Mauerwerk nach 2.4.1 und 3.6.2, unter Zugrundelegung des Mittelwertes der vertikalen Druckspannung im überdrückten Teil der schubbeanspruchten Wand unter Vernachlässigung der Zugfestigkeit des Mauerwerks;

t die Wanddicke der schubbeanspruchten Wand;

l_c die Länge des überdrückten Teiles der Wand unter Vernachlässigung auf Zug beanspruchter Teile der Wand.

ⓘ V_{Rdlt} ist der Bemessungswert des Grenzwertes der Schubtragfähigkeit;

ANMERKUNG Die Festlegung, ob in einem Land Gleichung (6.13) und (6.14) anzuwenden ist, und die Größe oder der Funktionsverlauf von V_{Rdlt} , z. B. in Bezug auf die Zugfestigkeit der Mauersteine und/oder die Überbindung des Mauerwerks, sind im Nationalen Anhang eines jeden Landes zu regeln. Fall keine Wahlmöglichkeit angegeben ist, sollte Gleichung (6.13) angewendet werden. ⓘ

l_{cal} die rechnerische Wandlänge. Für den Nachweis von Wandscheiben unter Windbeanspruchung gilt: $l_{cal} = 1,125 l$ bzw. $l_{cal} = 1,333 l_{c,lin}$. Der kleinere der beiden Werte ist maßgebend. In allen anderen Fällen ist $l_{cal} = l$ bzw. $l_{c,lin}$.

c Schubspannungsverteilungsfaktor

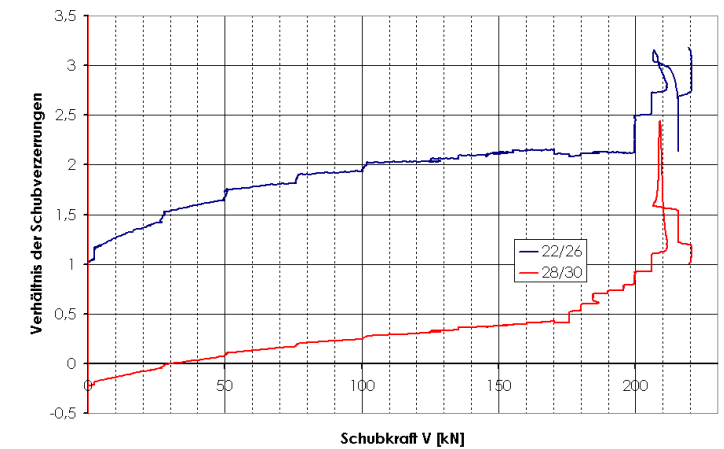
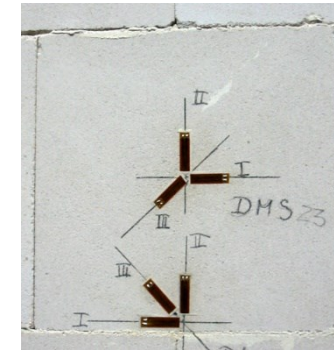
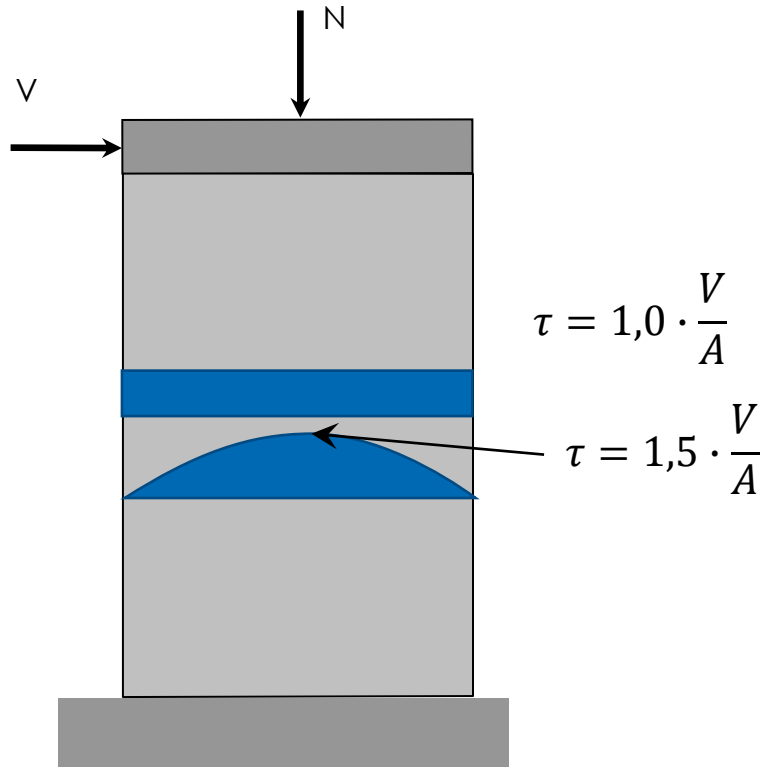
$c = 1,0$ für $h/l \leq 1$

$c = 1,5$ für $h/l \geq 2$

Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden;

Nachweis einer Aussteifungswand

Schubspannungsverteilung



Nachweis einer Aussteifungswand

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \sigma_d$$

jedoch nicht größer als $0,065 f_b$ bzw. f_{vlt} .

(3.5)

Dabei ist

- f_{vk0} die charakteristische Haftscherfestigkeit ohne Auflast;
- f_{vlt} der Grenzwert von f_{vk} ;
- σ_d die Bemessungsdruckspannung rechtwinklig zur Schubkraft in der betrachteten Querschnittsebene des Bauteils unter der entsprechenden Lastkombination als Mittelwert der Vertikalspannungen im überdrückten Bereich, der den Schubwiderstand sicherstellt.
- f_b die normierte Druckfestigkeit der Mauersteine nach 3.1.2.1 in Lastrichtung, d. h. bei Belastung der Prüfkörper senkrecht zur Lagerfuge.

ANMERKUNG Die Festlegung, ob $0,065 f_b$ oder f_{vlt} in einem Land anzuwenden ist, und die Größe oder der Funktionsverlauf von f_{vlt} sind im Nationalen Anhang eines jeden Landes zu regeln.

- b) Der Grenzwert f_{vlt} ergibt sich bei Mauerwerk mit vermörtelten Stoßfugen für Scheibenschub bei **Reibungsversagen** aus

$$f_{vlt1} = f_{vk0} + 0,4 \cdot \sigma_{Dd} \quad (\text{NA.4})$$

bzw. bei **Steinzugversagen** aus

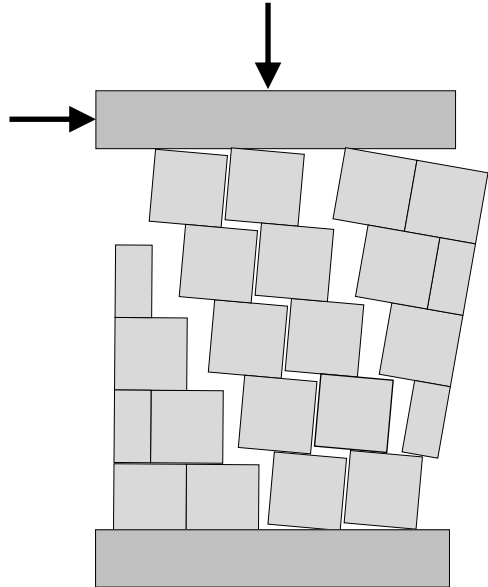
$$f_{vlt2} = 0,45 \cdot f_{bt,cal} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_{Dd}}{f_{bt,cal}}} \quad (\text{NA.5})$$

Bei Mauerwerk aus Porenbetonplansteinen mit glatten Stirnflächen und vollflächig vermörtelten Stoßfugen kann der Wert nach Gleichung NA.5 mit dem Faktor 1,2 erhöht werden.

Dabei ist

- f_{vk0} die Haftscherfestigkeit nach Tabelle NA.11;
- σ_{Dd} der Bemessungswert der zugehörigen Druckspannung an der Stelle der maximalen Schubspannung. Für Rechteckquerschnitte gilt $\sigma_{Dd} = N_{Ed} / A$, dabei ist A der überdrückte Querschnitt; im Regelfall ist die minimale Einwirkung $N_{Ed} = 1,0 N_{Gk}$ maßgebend;
- $f_{bt,cal}$ die rechnerische Steinzugfestigkeit. Es darf angenommen werden:
 - $f_{bt,cal} = 0,020 \cdot f_{st}$ für Hohlblocksteine
 - $f_{bt,cal} = 0,026 \cdot f_{st}$ für Hochlochsteine und Steine mit Grifföchern oder Griffaschen
 - $f_{bt,cal} = 0,032 \cdot f_{st}$ für Vollsteine ohne Grifföcher oder Griffaschen
$$f_{bt,cal} = \frac{0,082}{1,25} \cdot \frac{1}{0,7 + \left(\frac{f_{st}}{25}\right)^{0,5}} \cdot f_{st} \quad f_{st} \text{ in N/mm}^2 \text{ für Porenbetonplansteine der Länge } \geq 498 \text{ mm}$$
 und der Höhe $\geq 248 \text{ mm}$
- f_{st} die umgerechnete mittlere Steindruckfestigkeit (siehe Tabelle NA.3).

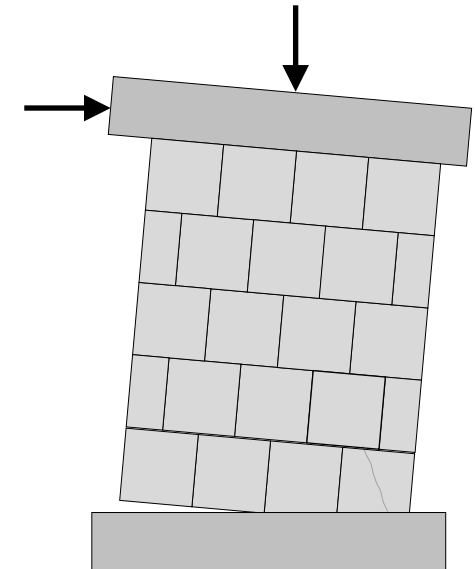
Nachweis einer Aussteifungswand Elementmauerwerk



Klaffen

$$V_{Rdlt} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{\gamma_M} \left(\frac{l_u}{h_u} + \frac{l_u}{h} \right) \cdot N_{Ed}$$

$$V_{Rdlt} = \frac{1}{\gamma_M \cdot c} (f_k \cdot t \cdot l_c - \gamma_M \cdot N_{Ed}) \cdot \frac{l_{ol}}{h_u}$$

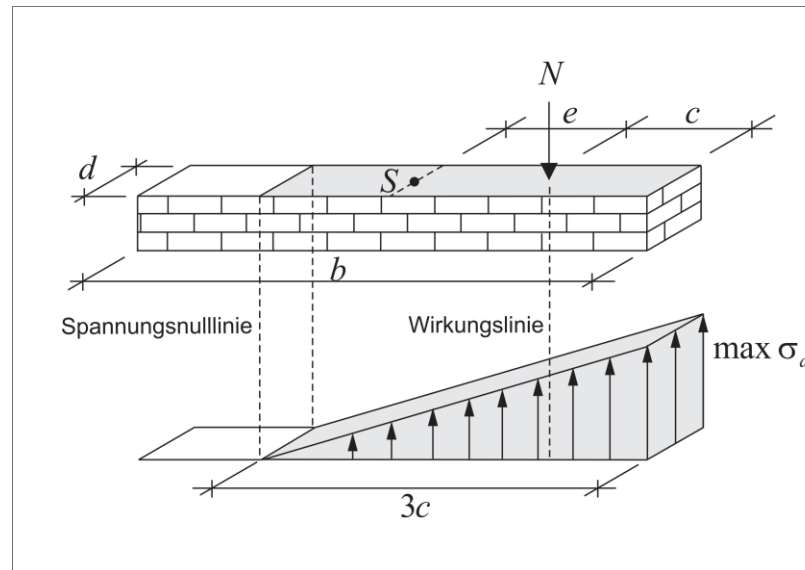


Schubdruck-
versagen

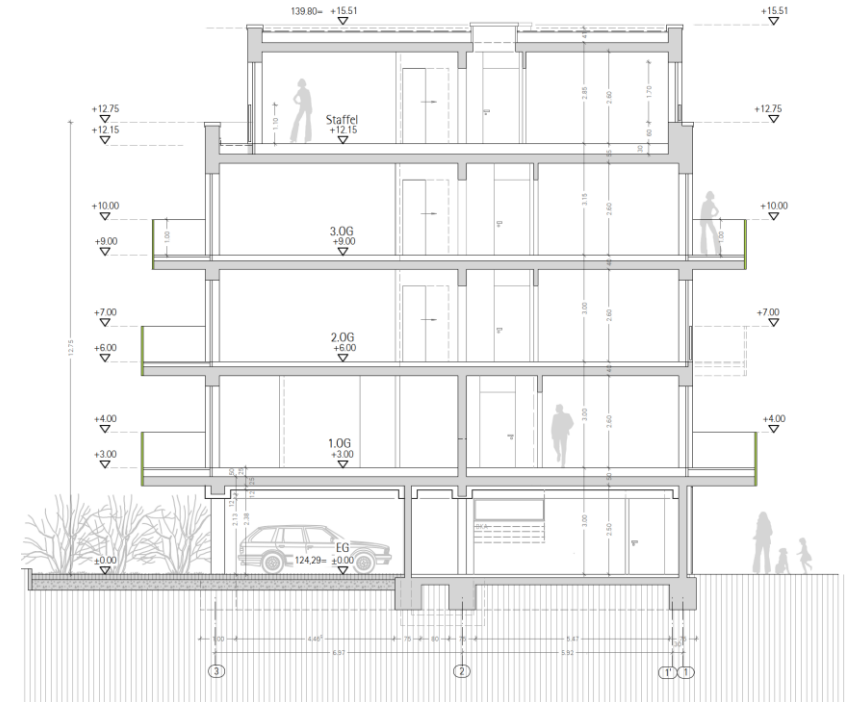
Nachweis einer Aussteifungswand

Randdehnungsnachweis

(NA.10) Sofern in Gleichung (NA.19) der Rechenwert der Haftscherfestigkeit in Ansatz gebracht wird, ist bei Windscheiben mit einer Ausmitte $e > l_w/6$ zusätzlich nachzuweisen, dass die rechnerische Randdehnung aus der Scheibenbeanspruchung auf der Seite der Klaffung $\varepsilon_R = \varepsilon_D \cdot a/l_w$ für charakteristische Bemessungssituationen nach DIN EN 1990:2010-12, 6.5.3 (2) a) den Wert $\varepsilon_R = 10^{-4}$ nicht überschreitet (siehe Bild NA.4). Der Elastizitätsmodul für Mauerwerk darf hierfür zu $E = 1000 f_k$ angenommen werden.



Nachweis einer Aussteifungswand



NDP zu 4.1(1)P „Allgemeines“

Auf einen rechnerischen Nachweis der Aussteifung darf verzichtet werden, wenn die Geschossdecken 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.

Nachweis einer Aussteifungswand

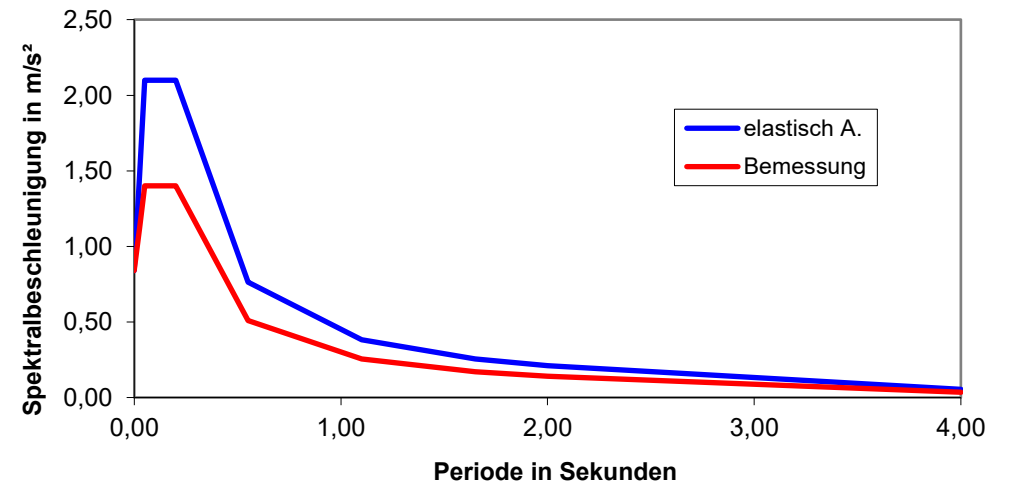
Position S4							
Sicherheitskonzept DIN EN 1990 + NA							
zugrundeliegende Lastnorm DIN EN 1991-1 + NA							
zugrundeliegende Mauerwerksnorm DIN EN 1996-1-1 + NA (EC6), 1996-3 + NA (EC6-3)							
		DG	OG2	OG1	EG		
Position S4, Einwirkung in x-Richtung, Aussteifung, Horizontalkräfte							
Summe charakteristischer Vertikallasten							
Ständige	kN	836	2671	2671	2671	Nebenrechnung	
davon Wände	kN	371	371	371	371	Nebenrechnung	
Ständige akkumuliert	kN	836	3508	6179	8850		
Veränderliche	kN	189	688	688	688	Nebenrechnung	
Veränderliche akkumuliert	kN	189	876	1564	2252		
Charakteristische Schiefstellungslasten OK Mauerwerk							
Gebäudehöhe	h	m	17				
Schiefstellung			0,0024	0,0024	0,0024	0,0024	EC6 5.3 (2)
Ständige	kN		2,0	6,5	6,5	6,5	
Ständige akkumuliert	kN		2,0	8,5	15,0	21,5	
Veränderliche	kN		0,5	1,7	1,7	1,7	
Veränderliche akkumuliert	kN		0,5	2,1	3,8	5,5	
Charakteristische Windlast							
Gebäudebreite	b	m	15,5	15,5	15,5	15,5	
Bemessungswert Wind	kN/m²		0,81	0,81	0,81	0,81	Nebenrechnung nach EC1
Einzugshöhe	m		2,62	2,68	2,68	2,68	
Last	kN		32,9	33,6	33,6	33,6	
Last akkumuliert	kN		32,9	66,5	100,1	133,6	

Einwirkungen S4							
Anteil Normalkraft ständig			0,080	0,080	0,080	0,080	Nebenrechnung
Anteil Normalkraft veränd.			0,100	0,100	0,100	0,100	Nebenrechnung
Anteil Horizontalkraft			0,525	0,525	0,525	0,525	Nebenrechnung
Geschosshöhe	m		2,75	3,20	3,20	3,20	
Hebelarm bez. UK EG			12,35	9,60	6,40	3,20	
Schnittkräfte UK EG							
Teilsicherheitsbeiwert ständig			1,00	1,00	1,00	1,00	EC0
Teilsicherheitsbeiwert veränderlich			0,00	0,00	0,00	0,00	
Teilsicherheitsbeiwert Wind			1,50	1,50	1,50	1,50	EC0
Moment			333	287	191	96	
Moment akkumuliert	M _{Ed}	kNm	333	620	811	906	
Normalkraft	N _{Ed}	kN				738	
Querkraft	V _{ed}	kN				222	
Spannungsverteilung							
Exzentrizität	e	m			1,23		M _{Ed} / N _{Ed}
Wanddicke	d	m			0,24		
Wandlänge	l	m			5,10		4,625+2*0,24
überdrückte Länge	l _c	m			3,96		e > l/6, 1,5 x (l-2e)
rechn. Länge	l _{cal}	m			5,29		EC6 NA 6.2 Gl.(NA.19)
überdrückte Fläche	A _c	m²			1,27		l _c x d
Bemessungswert Druckspann.	σ _{Dd}	MN/m²			0,58		N _{Ed} / A _c
Verteilungsfaktor Schub	c				1,00		EC6 NA 6.2 Gl.(NA.19)
Widerstand							
Steifigkeit	f _{st/b}	MN/m²			25,00		EC6 NA 3.6.1 Tab. NA.3
Steinzugfestigkeit	f _{btca}	MN/m²			0,80		EC6 NA 3.6.2 Gl.(NA.5) Vollsteine!

Nachweis einer Aussteifungswand Erdbeben

1. Vereinfachter Nachweis (Tabelle über Querschnittsflächen)
2. Ersatzkraft
3. Antwortspektrum
4. Kapazitätspektrum
5. Transiente Berechnungen/Zeitverlaufsverfahren (FEM)

Antwortspektren für horizontale Anregung



Nachweis einer Aussteifungswand

Erdbeben - 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^{c), d)}

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 ^{b)}								
	4	6	≥ 12	4	6	≥ 12	4	6	≥ 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					

^{a)} 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 γ_1 wird nach Tabelle NA.6 bestimmt.

^{b)} Bei Verwendung unterschiedlicher Steifigkeitsklassen, z. B. für Innen- und Außenwände, sind die Anforderungswerte im Verhältnis der Steifigkeitsanteile der jeweiligen Steifigkeitsklasse zu wichten.

^{c)} Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

^{d)} Die Verwendung der Steifigkeitsklasse 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 Steifigkeitsklasse 4 geltenden Werte einhalten.

^{e)} 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 $k_r = 1,0$.

Nachweis einer Aussteifungswand

DIN 4149

Tabelle 16 — Teilsicherheitsbeiwerte

Baustoff	Teilsicherheitsbeiwert
Mauerwerk	$\gamma_m = 1,2$
Betonstahl	$\gamma_s = 1,0$

Tabelle 15 — Mindestanforderungen an die auf die Geschossgrundrissfläche bezogene Querschnittsfläche von Schubwänden je Gebäuderichtung

Anzahl der Vollgeschosse (siehe unter 7.1 (4))	$a_g \cdot S \cdot \gamma_I$ $\leq 0,06 g \cdot k^a$			$a_g \cdot S \cdot \gamma_I$ $\leq 0,09 g \cdot k^a$			$a_g \cdot S \cdot \gamma_I$ $\leq 0,12 g \cdot k^a$		
	Steifigkeitsklasse nach DIN 1053-1 ^{b,c}								
	4	6	≥ 12	4	6	≥ 12	4	6	≥ 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					

^a Für Gebäude, bei denen mindestens 70 % der betrachteten Schubwände in einer Richtung länger als 2 m sind, beträgt der Beiwert $k = 1 + (l_{ay} - 2)/4 \leq 2$. Dabei ist l_{ay} die mittlere Wandlänge der betrachteten Schubwände in m. In allen anderen Fällen beträgt $k = 1$. Der Wert γ_I wird nach 5.3 bestimmt.

^b Bei Verwendung unterschiedlicher Steifigkeitsklassen, z. B. für Innen- und Außenwände, sind die Anforderungswerte im Verhältnis der Flächenanteile der jeweiligen Steifigkeitsklasse zu wichten.

^c Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

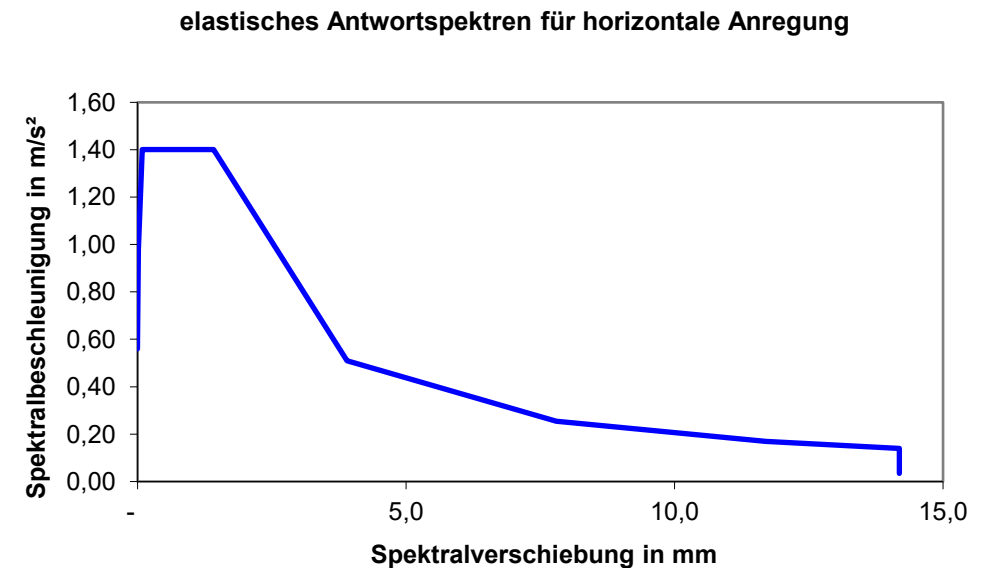
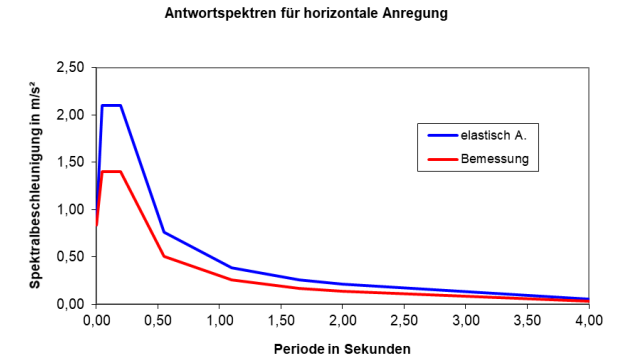
Tabelle 17 — Verhaltensbeiwert q

Mauerwerksart	Verhaltensbeiwert	
	$h/l \leq 1$	$h/l \geq 2$
unbewehrtes Mauerwerk ^a	1,5	2,0
eingefasstes Mauerwerk	2,0	
bewehrtes Mauerwerk	2,5	

^a Die Verwendung von Verhaltensbeiwerten $q > 1,5$ ist nur zulässig, wenn im Gebrauchszustand die mittlere Normalspannung in den entsprechenden Wänden 50 % der zulässigen Spannung nach DIN 1053-1 (ohne Inanspruchnahme der Erhöhung nach Absatz 2, Satz 2) nicht überschreitet.

Nachweis einer Aussteifungswand Erdbeben

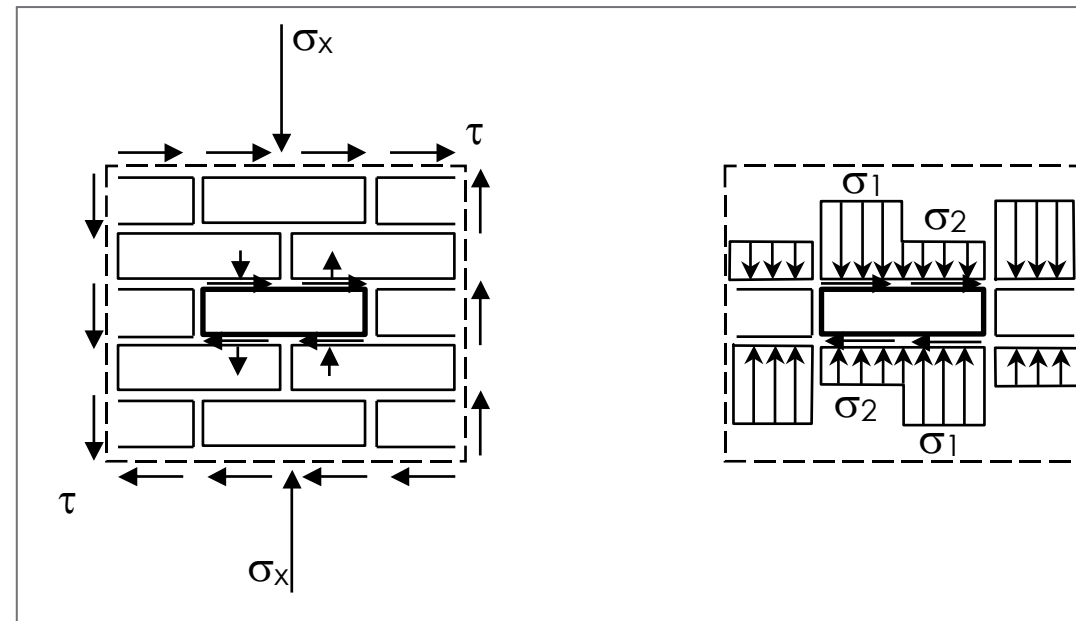
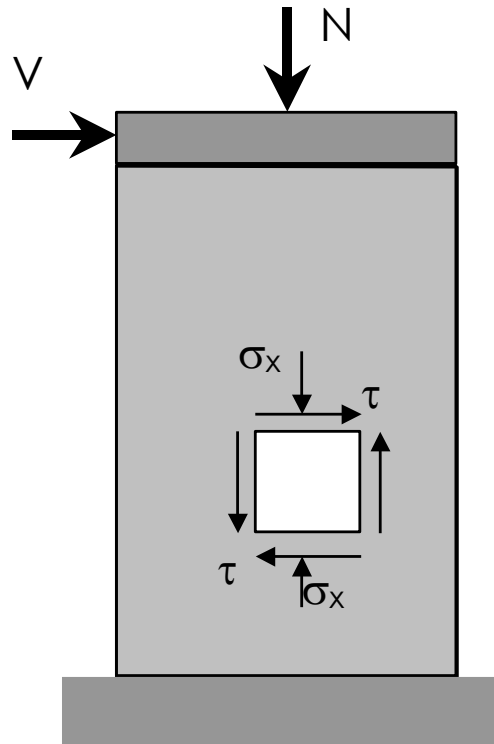
1. Vereinfachter Nachweis (Tabelle über Querschnittsflächen)
2. Ersatzkraft
3. Antwortspektrum
4. Kapazitätspektrum
5. Transiente Berechnungen/Zeitverlaufsverfahren (FEM)



6. Hintergründe/Herleitung

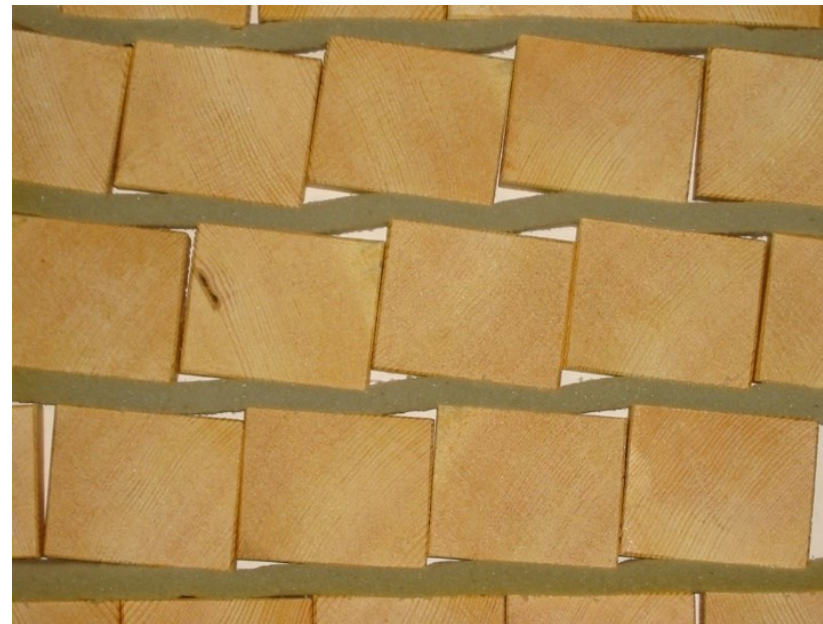
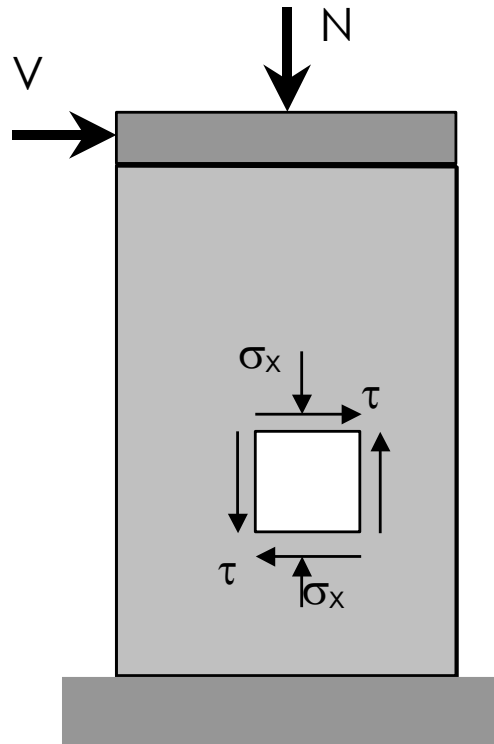
Hintergründe/Herleitung

Prinzipielle Betrachtung

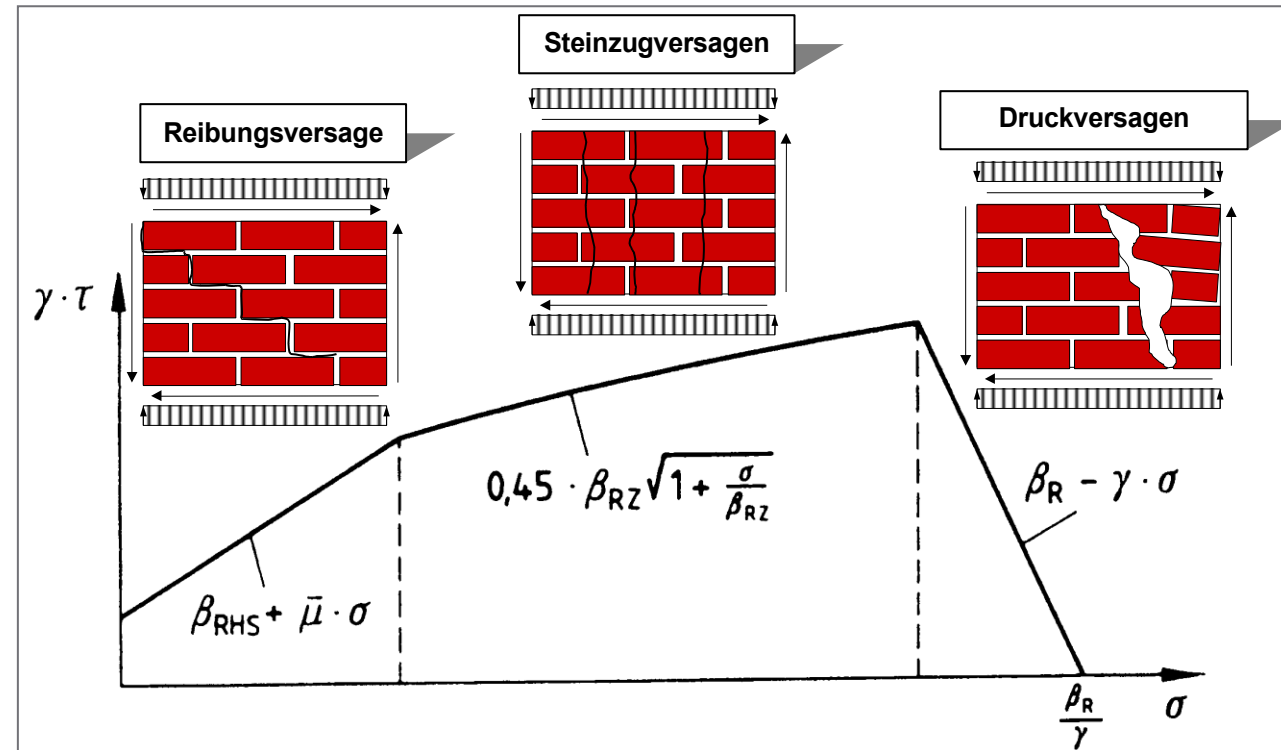
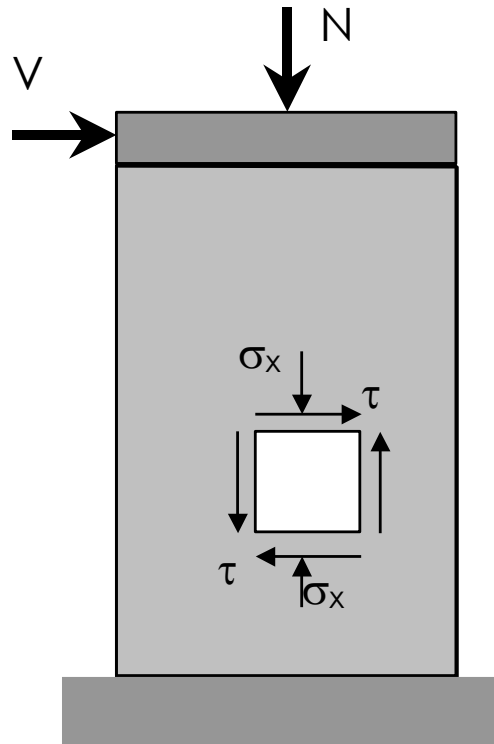


Hintergründe/Herleitung

Prinzipielle Betrachtung



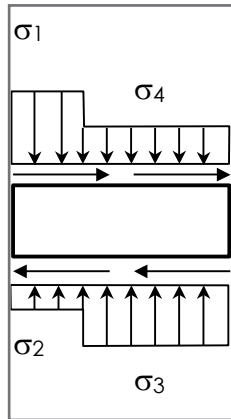
Hintergründe/Herleitung Ursprung Modell Mann/Müller



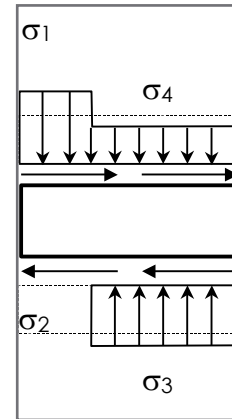
Hintergründe/Herleitung

Theoretische Betrachtungen

Zustand 1

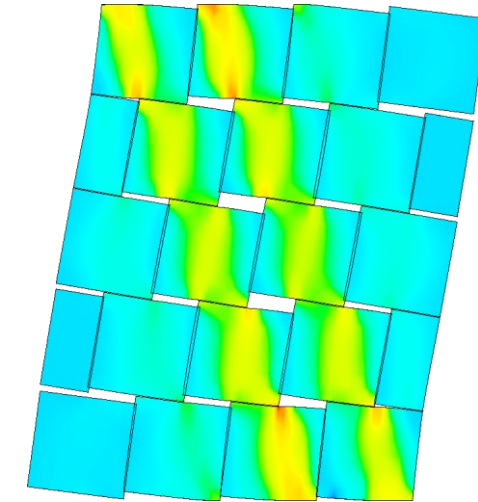
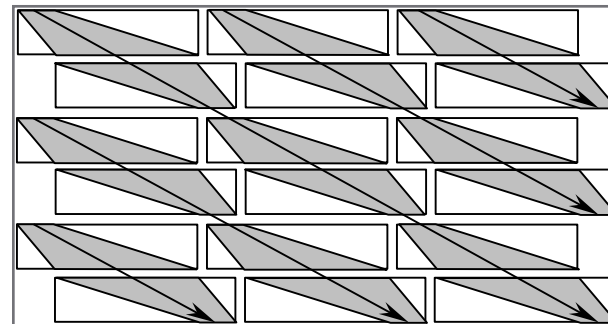
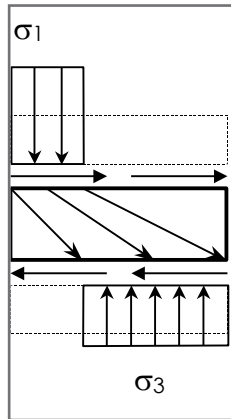


Zustand 2



Klaffen:

Zustand 3



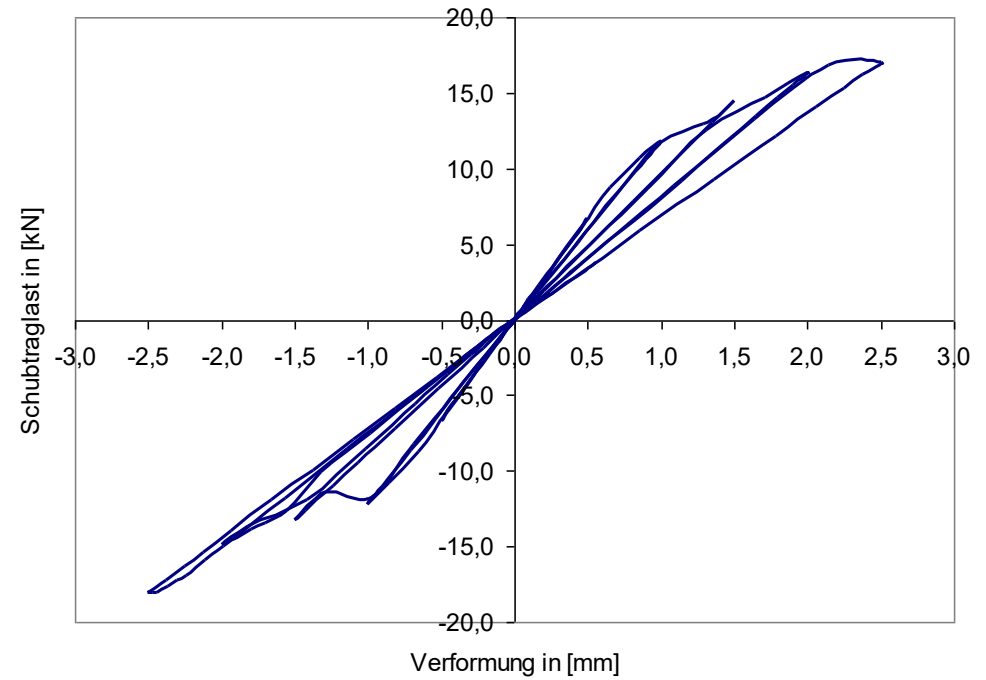
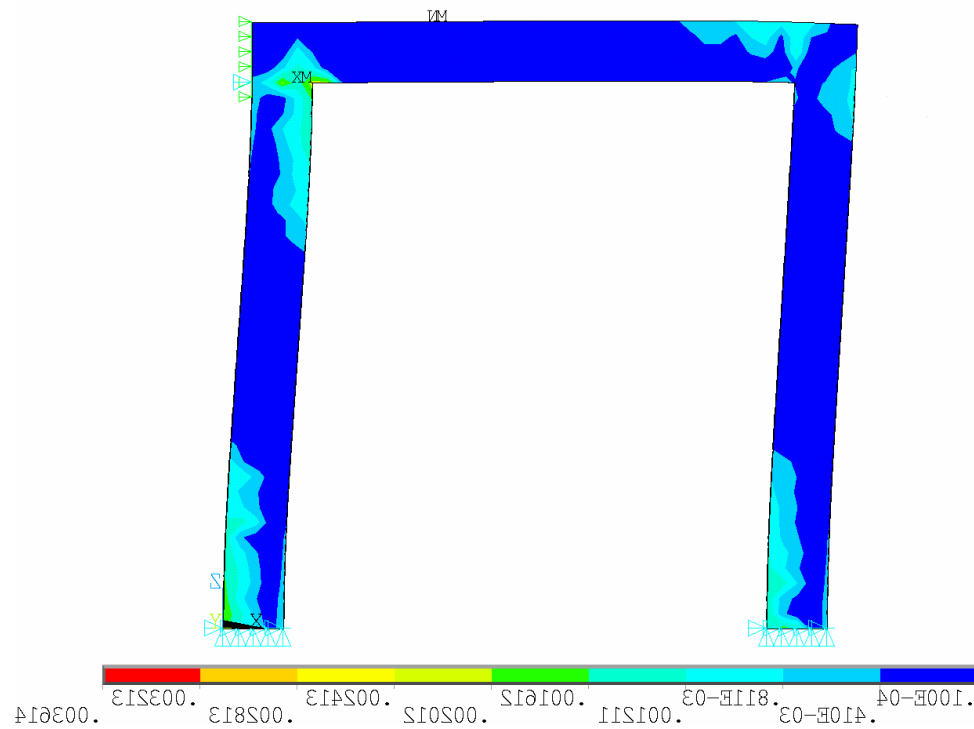
$$\max. \left(f_{vk} = (\beta_{Hz} - \sigma_x) \frac{\ddot{u}}{h_s} ; f_{vk} = \frac{\beta_{Hz} \cdot (l_s - \ddot{u}) - \sigma_x \cdot l_s}{2 \cdot h_s} \right)$$

Hintergründe/Herleitung



Hintergründe/Herleitung

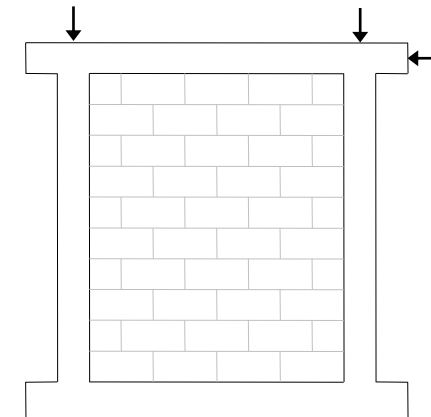
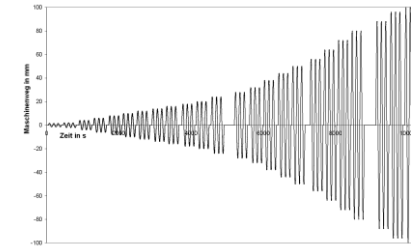
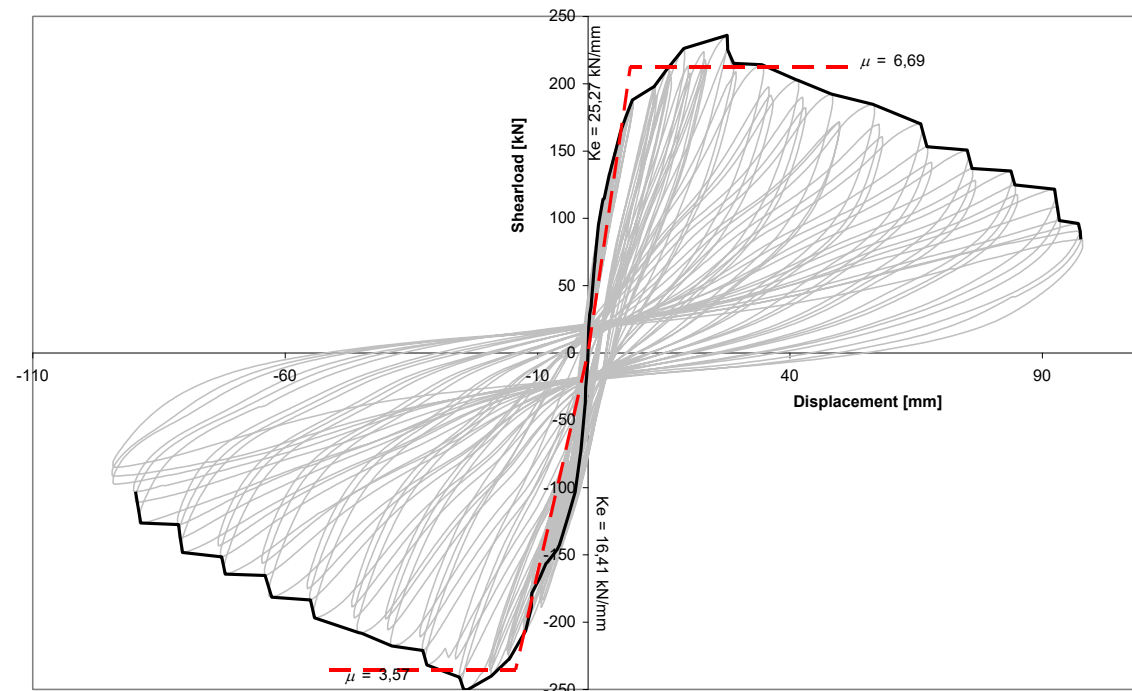
Tragfähigkeit des Stahlbetonrahmens



Hintergründe/Herleitung

4 Cyclic Tests

Force-displacement, -hysterese, - envelopes and bilinear simplification

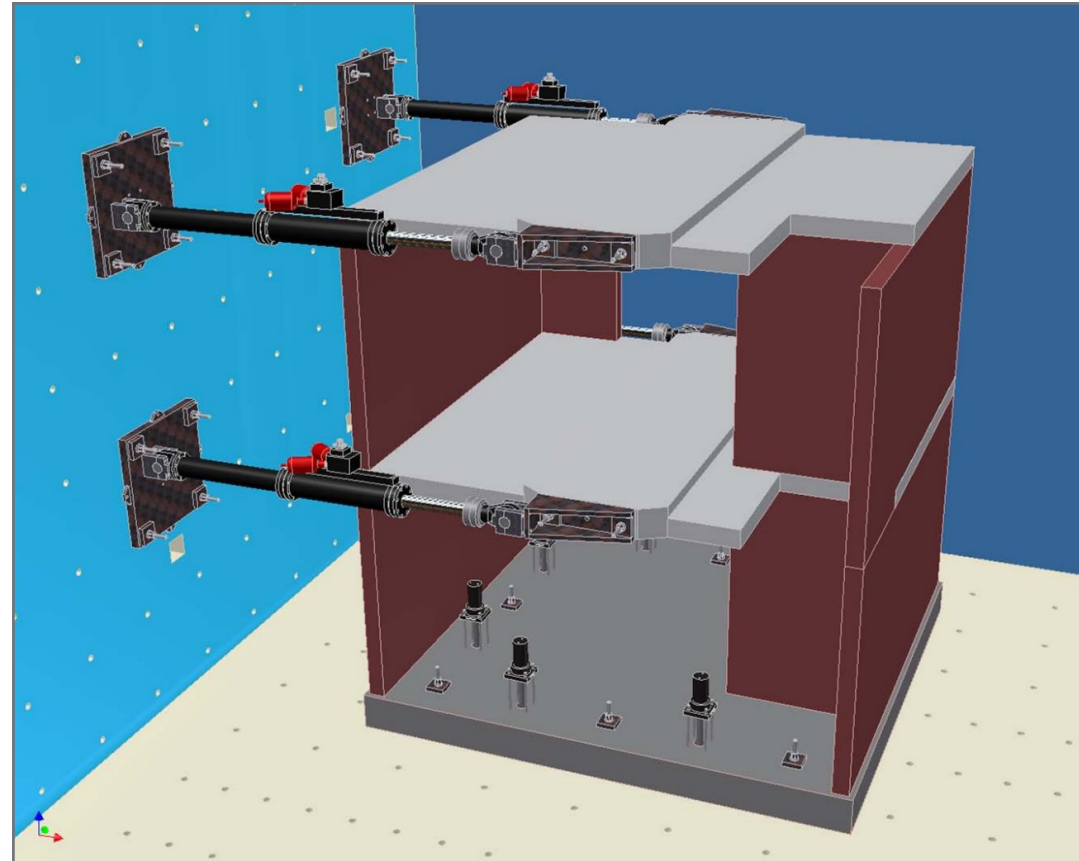


Hintergründe/Herleitung Erdbeben



Hintergründe/Herleitung

Earthquake simulation



JRC-Ispra (Italy)

Übungsfragen

Übungsfragen

1. Wie können sich für Mauerwerkswände Einwirkungen in horizontaler Richtung in ihrer Ebene ergeben? Wie werden diese in und über die Sohlfuge einer Wand übertragen?
2. Wie ist qualitativ die Abhängigkeit der übertragbaren Schubspannung parallel zur Lagerfuge in Abhängigkeit von der Spannung normal zur Lagerfuge (Skizze)? Erläutern Sie kurz die drei Bereiche.
3. Welche Schnittkräfte treten in der Sohlfuge einer Mauerwerkswand auf, die neben den anderen Lasten durch eine Horizontallast beansprucht wird (Lasten alle in Mauerwerksebene)? Skizzieren Sie qualitativ den Verlauf der beiden maßgebenden Spannungsarten.
4. Wozu dient der Randdehnungsnachweis?

Übungsfragen

5. Aussteifungswand

$$V_{Ed} = 150 \text{ kN}; N_{Ed} = 500 \text{ kN};$$

$$e_o = 0 \text{ m}; t = 24 \text{ cm}$$

Gesucht:

1. e_u, I_c
2. $f_{vko}, f_{vlt1}, f_{vlt2}, f_{vlt}$
3. Nachweis $V_{Ed} \leq V_{Rd}$

