

Aus-der-Ebene-Verhalten von Mauerwerkswänden

Dr. Safak Arslantürkoglu

Aus-der-Ebene-Verhalten von Mauerwerkswänden

- Verhalten Aus-der-Ebene
 - Der Mechanismus dahinter
 - Versagensbilder
 - Behandlung in Vorschriften
- Starrkörperbewegung
- Fazit

Aus-der-Ebene-Verhalten von Mauerwerkswänden

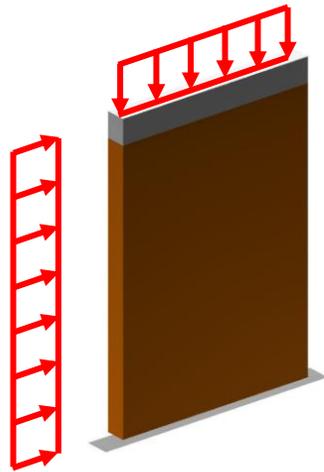
- Verhalten Aus-der-Ebene
 - Der Mechanismus dahinter
 - Versagensbilder
 - Behandlung in Vorschriften
- Starrkörperbewegung
- Fazit

Verhalten aus-der-Ebene – der Mechanismus dahinter

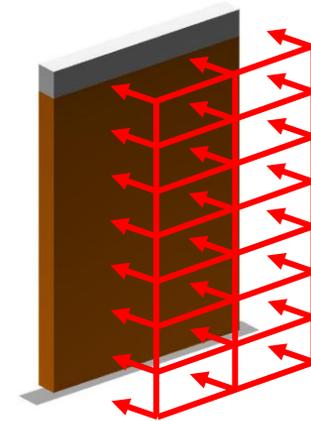
7.8.2 Unreinforced Walls Subjected to Out-of-Plane Excitation

(a) *Response Accelerations* The response of unreinforced masonry walls to out-of-plane seismic excitation is one of the most complex and ill-understood areas of seismic analysis.

Paulay and Priestley, Seismic Design of RC and Masonry Buildings (1992)



Belastung in-der-Ebene



Belastung aus-der-Ebene

Verhalten aus-der-Ebene – der Mechanismus dahinter

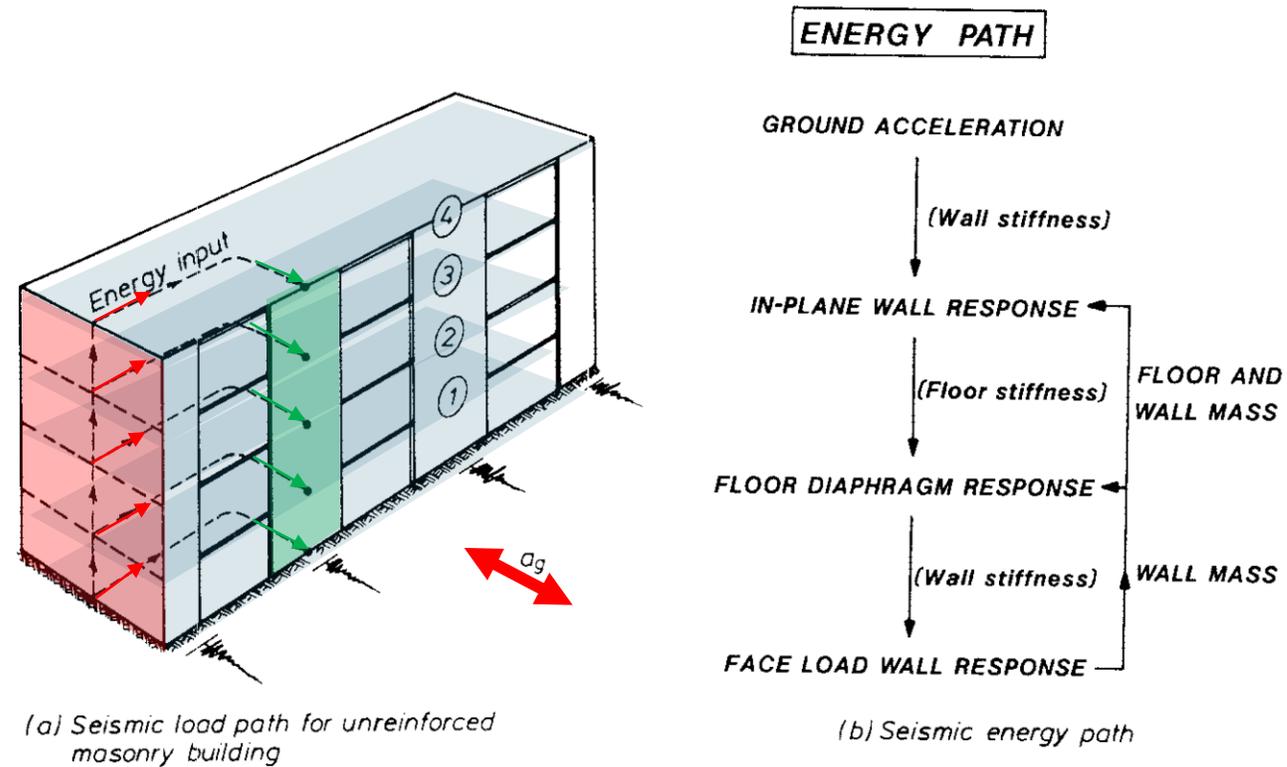
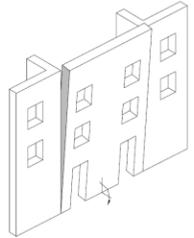
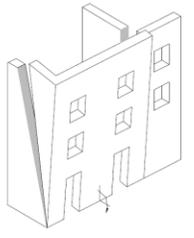
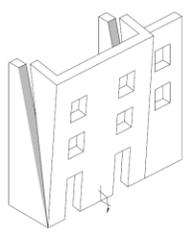
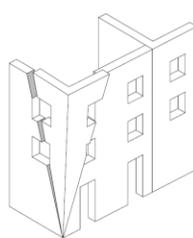
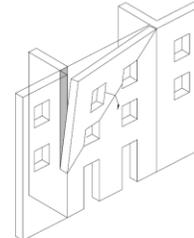
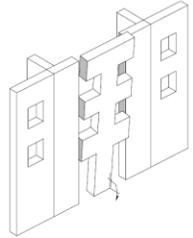
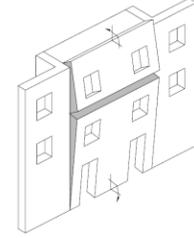
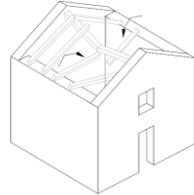
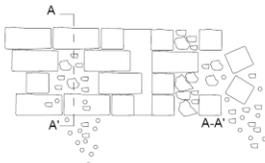
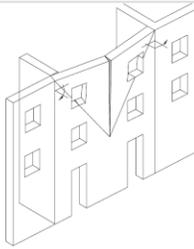
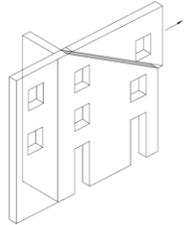
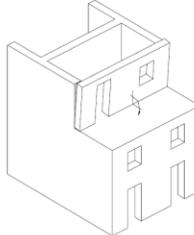
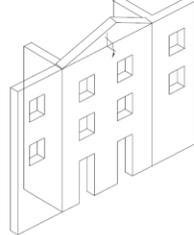


Fig. 7.55 Seismic response of an unreinforced masonry building.

Paulay and Priestley, Seismic Design of RC and Masonry Buildings (1992)

Verhalten aus-der-Ebene – der Mechanismus dahinter

A	B1	B2	C	D	E	F
VERTICAL OVERTURNING	OVERTURNING WITH 1 SIDE WING	OVERTURNING WITH 2 SIDE WINGS	CORNER FAILURE	PARTIAL OVERTURNING	VERTICAL STRIP OVERTURNING	VERTICAL ARCH
						

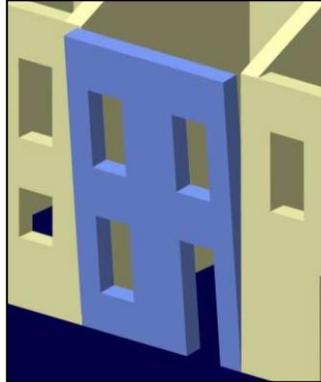
FURTHER PARTIAL FAILURES				ASSOCIATED FAILURES	
G	H	I	L	ROOF/FLOORS COLLAPSE	MASONRY FAILURE
HORIZONTAL ARCH	IN PLANE FAILURE	VERTICAL ADDITION	GABLE OVERTURNING		
					Insufficient cohesion in the fabric

D'Ayala, Sperenza (2002)

Aus-der-Ebene-Verhalten von Mauerwerkswänden

- Verhalten Aus-der-Ebene
 - Der Mechanismus dahinter
 - **Versagensbilder**
 - Behandlung in Vorschriften
- Starrkörperbewegung
- Fazit

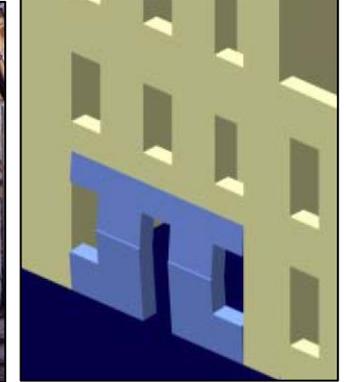
Versagensbilder aus früheren Erdbeben



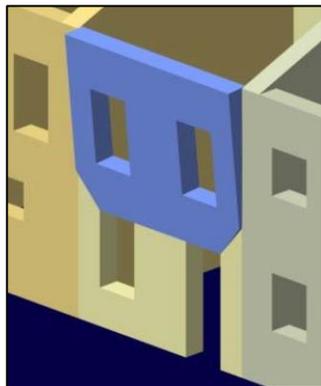
*Arch. Fot. Vice Comm. Del. Beni Culturali
– Sisma Abruzzo (2009)*



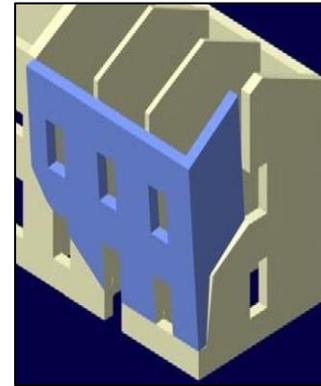
*MEDEA
– Papa e Zucaro (2001)*



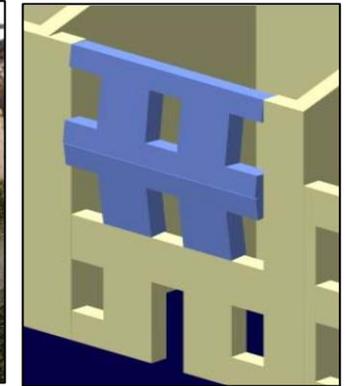
Bollettino Ufficiale Regionale Marche (2000)



*Arch. Fot. Vice Comm. Del. Beni Culturali
– Sisma Abruzzo (2009)*



*Arch. Fot. Vice Comm. Del. Beni Culturali
– Sisma Abruzzo (2009)*



*Arch. Fot. Vice Comm. Del. Beni Culturali
– Sisma Abruzzo (2009)*

Versagensbilder aus früheren Erdbeben



Antakya, 2023 Türkei Erdbeben



Arsuz, 2023 Türkei Erdbeben



Arsuz, 2023 Türkei Erdbeben

Versagensbilder aus früheren Erdbeben

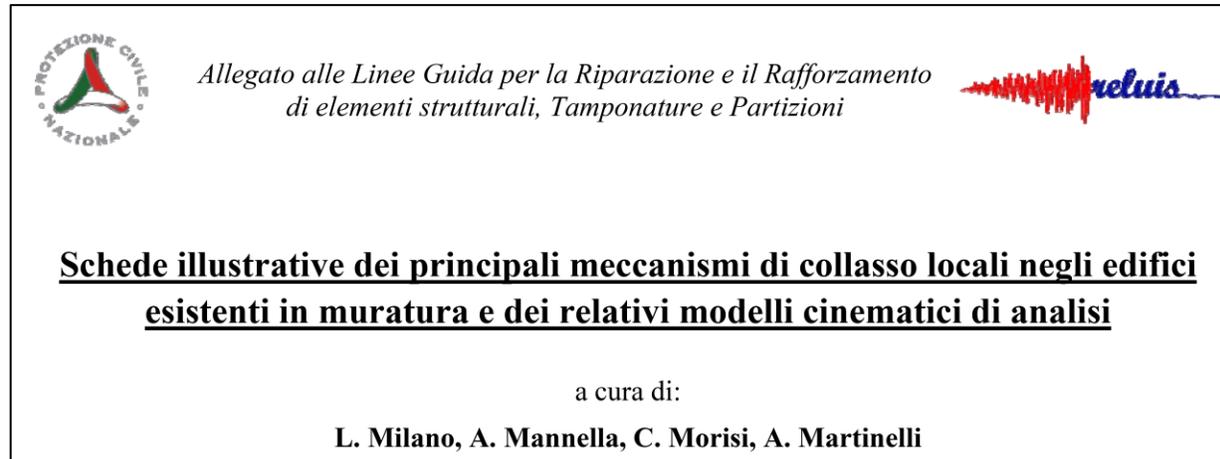


Antakya, 2023 Türkei Erdbeben

Aus-der-Ebene-Verhalten von Mauerwerkswänden

- Verhalten Aus-der-Ebene
 - Der Mechanismus dahinter
 - Versagensbilder
 - **Behandlung in Vorschriften**
- Starrkörperbewegung
- Fazit

Verhalten in der Ebene vs. Aus der Ebene



Sheets illustrating the main local collapse mechanisms in existing masonry buildings and the related kinematic analysis models

*"When the building **does not show a clear overall behavior**, but rather tends to respond to the earthquake as a set of subsystems (local mechanisms), **the verification on a global model does not correspond to its actual seismic behavior.** In such cases, the global verification can be carried out through an exhaustive set of local verifications."* (Übersetzt aus dem Italienischen Text)

SIA 261 (2020) – sekundäre Bauteile

16.7 Sekundäre Bauteile

16.7.1 Für sekundäre Bauteile von Bauwerken der Bauwerksklassen I, II und III, die im Falle des Versagens Personen gefährden oder das Tragwerk beschädigen können, ist sowohl für das Bauteil als auch für dessen Verbindungen, Befestigungen oder Verankerungen der Nachweis der Tragsicherheit zu erbringen. Gleiches gilt für sekundäre Bauteile von Bauwerken der Bauwerksklassen II und III, die eine bedeutende Infrastrukturfunktion beeinträchtigen, besonders wertvolle Einrichtungen beschädigen oder die Umwelt gefährden können.

16.7.2 Im Massenschwerpunkt des Bauteils ist folgende Horizontalkraft in beiden horizontalen Richtungen aufzubringen:

$$F_a = \frac{\gamma_f \cdot a_{gd} \cdot S \cdot G_a}{g \cdot q_a} \cdot \left[\frac{3 \cdot \left(1 + \frac{z_a}{h}\right)}{1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right)^2} - 0,5 \right] \geq \frac{\gamma_f \cdot a_{gd} \cdot S \cdot G_a}{g \cdot q_a} \quad (49)$$

Dabei bezeichnen G_a , T_a und z_a die Eigenlast, die Grundschwingzeit und die Höhe des Bauteils über dem Fundament des Bauwerks. T_1 und h bezeichnen die Grundschwingzeit des Bauwerks in der betrachteten horizontalen Richtung bzw. die Gesamthöhe des Bauwerks.

16.7.3 Der Verhaltensbeiwert q_a für die Bemessung des sekundären Bauteils als auch für dessen Verbindungen, Befestigungen oder Verankerungen ist im Allgemeinen zu $q_a = 1,5$ anzusetzen. Für den Nachweis der Grenzzustände Abheben und Kippen des sekundären Bauteils ist der Verhaltensbeiwert zu $q_a = 1,0$ anzusetzen.

SIA 266 (2015)

4.3.4 Querbelastung

4.3.4.1 Sofern die Bedingungen

$$h_w \leq 15 t_w \quad (19)$$

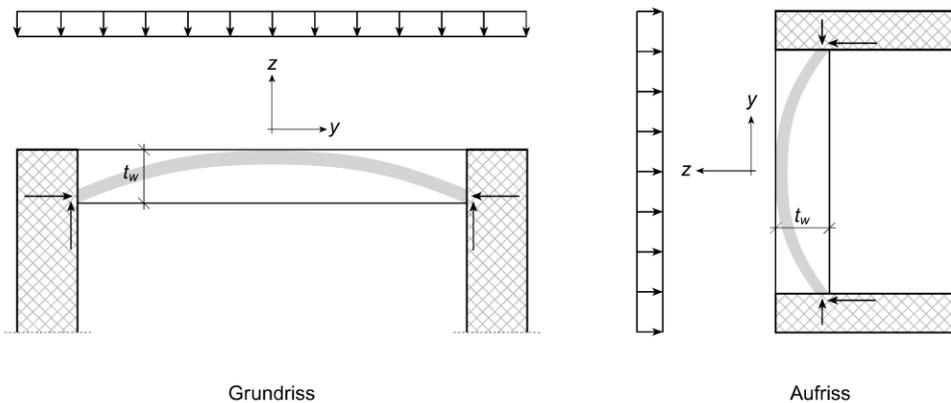
und

$$w_d \leq 0,002 h_{cr} \quad (20)$$

erfüllt sind, dürfen die Effekte 2. Ordnung auf den Tragwiderstand vernachlässigt werden. Die Durchbiegung w_d ist mit Bemessungswerten nach Elastizitätstheorie 1. Ordnung zu ermitteln.

4.3.4.2 Als statisch zulässige Spannungszustände in unbewehrtem Mauerwerk sind Druckgewölbe gemäss Figur 11 anzunehmen.

Figur 11: Druckgewölbe



4.7.1.2 Mauerwerkswände sind auf Beanspruchungen in ihrer Ebene und quer zu ihrer Ebene nachzuweisen. Wände, die nicht für den Nachweis der Bemessungssituation Erdbeben herangezogen werden, sind auf die Normalkraft unter maximaler Stockwerksschiefstellung in ihrer Ebene und quer zu ihrer Ebene nachzuweisen.

4.7.1.6 Es darf ein verformungsbasiertes Verfahren angewendet werden. Weiterführende Informationen zur verformungsbasierten Tragwerksanalyse sind in Anhang B zu finden. Ohne genauere Untersuchungen und solange die Bedingung (27) erfüllt ist, darf bei durch steife Stahlbetondecken oben und unten eingespannten Wänden ein Bemessungswert der maximalen Stockwerksschiefstellung von $\delta_{ud} = 0,2\%$ und in den übrigen Fällen ein Bemessungswert von $\delta_{ud} = 0,4\%$ angenommen werden.

5.1.3 Tragsicherheit

5.1.3.1 Die Dicke tragender Wände muss mindestens 1/28 der Stockwerkshöhe betragen, jedoch nicht weniger als 115 mm. Für Schubwände beträgt die Mindestdicke 150 mm.

SIA 269/8 (2017)

6.1.2 Mauerwerkswände sind auf Auswirkungen sowohl in ihrer Ebene als auch quer zu ihrer Ebene zu überprüfen.

6.5 Tragwiderstand quer zur Wandebene

6.5.1 Der Tragwiderstand für die Erdbebeneinwirkung quer zur Bauteilebene von tragenden Wänden und von sekundären Bauteilen ist entweder nach dem kraftbasierten oder nach dem verformungsbasierten Verfahren zu überprüfen.

6.5.2 Beim kraftbasierten Verfahren ist die Erdbebeneinwirkung quer zur Bauteilebene als Ersatzkraft für sekundäre Bauteile gemäss SIA 261 anzusetzen und der Tragwiderstand quer zur Bauteilebene gemäss SIA 266 zu bestimmen.

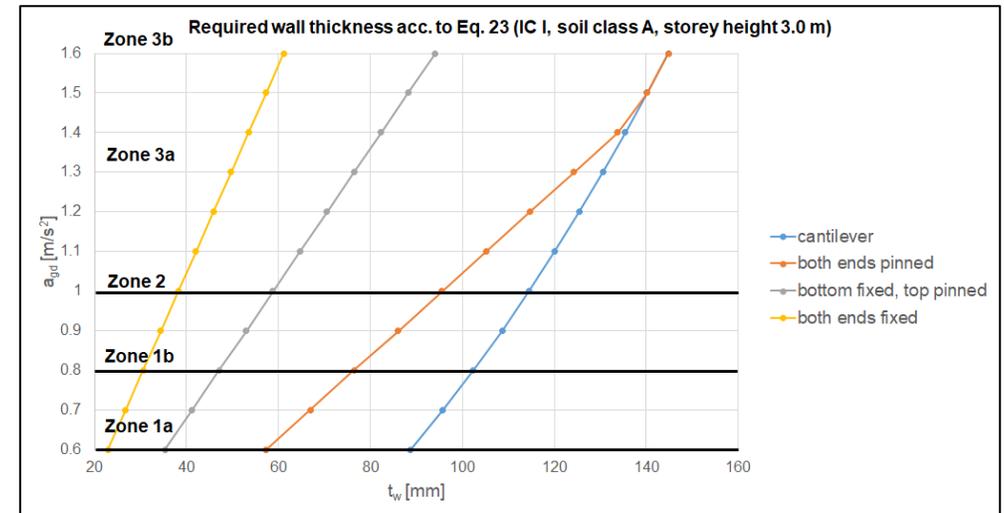
6.5.3 Falls die Wandschlankheit h_i/t_w die folgenden beiden Bedingungen erfüllt, darf angenommen werden, dass der Erfüllungsfaktor $\alpha_{eff} \geq \alpha_{min}$ ist:

$$\frac{h_i}{t_w} \leq \frac{k g}{\alpha_{min} \gamma_f \alpha_{gd} S} \quad \text{und} \quad \frac{h_i}{t_w} \leq \sqrt{\frac{70 g}{\gamma_f \alpha_{gd} S}} \quad (23)$$

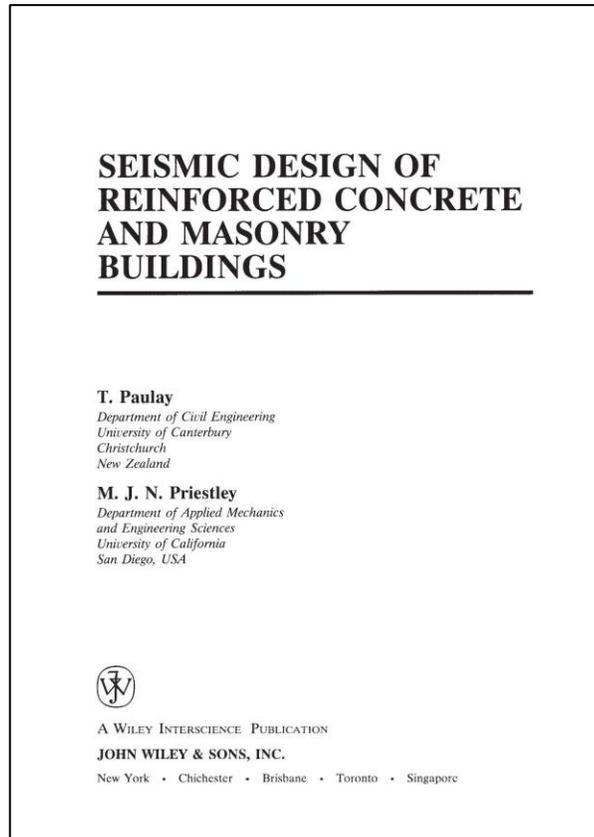
6.5.4 Der Beiwert k beträgt je nach Einspannverhältnissen in den Decken:

- oben nicht gehaltene Wand: $k = 0,4$
- unten und oben gelenkig gehaltene Wand: $k = 0,8$
- unten eingespannte und oben gelenkig gehaltene Wand: $k = 1,3$
- unten und oben eingespannte, durch Betondecke belastete Wand: $k = 2,0$

6.5.5 Soll ein höherer Erfüllungsfaktor α_{eff} als α_{min} belegt werden, so ist ein Nachweis für Erdbebeneinwirkung quer zur Wandebene durchzuführen.



Literatur



7.4 Tragwiderstand senkrecht zur Wandebene

- 7.4.1 Der Tragwiderstand senkrecht zur Wandebene wird normalerweise nicht formal ausgedrückt, sondern die Wandschlankheit wird mit Grenzwerten verglichen.
- 7.4.2 Um ein Versagen senkrecht zur Wandebene ausschliessen zu können, muss die Wandschlankheit als Verhältnis lichte Höhe h zu Wanddicke t einer unbewehrten Mauerwerkswand kleiner sein als die Werte gemäss Tabelle 1.

Tabelle 1 Anforderungen an die Wandschlankheit h/t für α_{min}

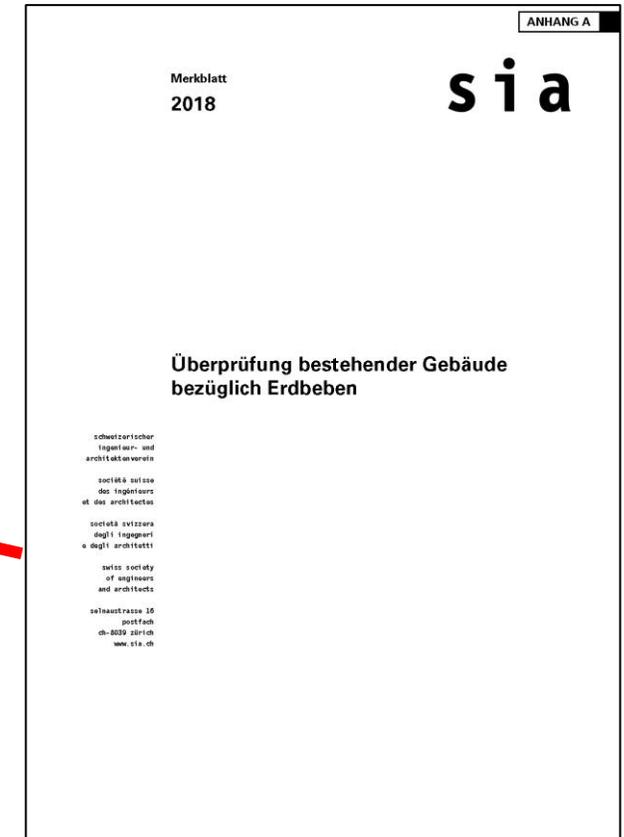
	Erdbebenzone/Bauwerkklasse		
	Z 1 / BWK I Z 1 / BWK II	Z 2 / BWK I Z 2 / BWK II	Z 3 / BWK I Z 3 / BWK II BWK III
Oberstes Stockwerk eines mehrstöckigen Gebäudes	≤ 18	≤ 17	≤ 17
Unterstes Stockwerk eines mehrstöckigen Gebäudes	≤ 20	≤ 19	≤ 18
Alle übrigen Fälle	≤ 19	≤ 18	≤ 17

Ist diese Bedingung nicht erfüllt oder soll ein höherer Erfüllungsfaktor α_{eff} belegt werden, ist die Tragsicherheit der Wand unter Querbelastung nach Norm SIA 266 zu beurteilen.

Eine alternative Methode ist das "rocking model" der gerissenen Wand gemäss Kapitel 7.8.2 von Paulay/Priestley 1992.

- 7.4.3 Aussenwände auf denen keine Decken aufliegen, haben bei jedem Stockwerk (Decke) eine Sicherung gegen Beanspruchungen senkrecht zur Wandebene aufzuweisen.

Ersetzt durch SIA 269/8

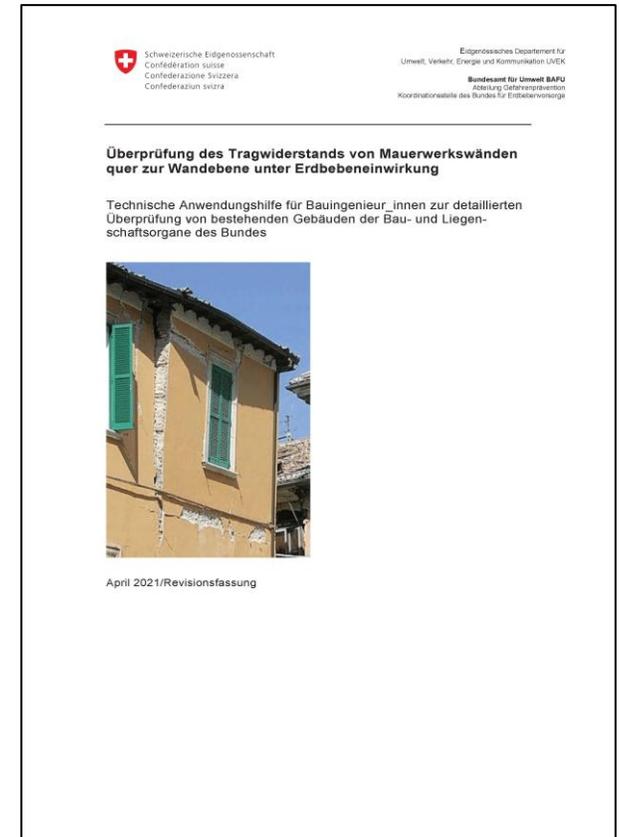


Ersetzt durch SIA 269/8

Literatur



Paulay & Priestley Methode



Starrkörperbewegung (Griffith Methode)

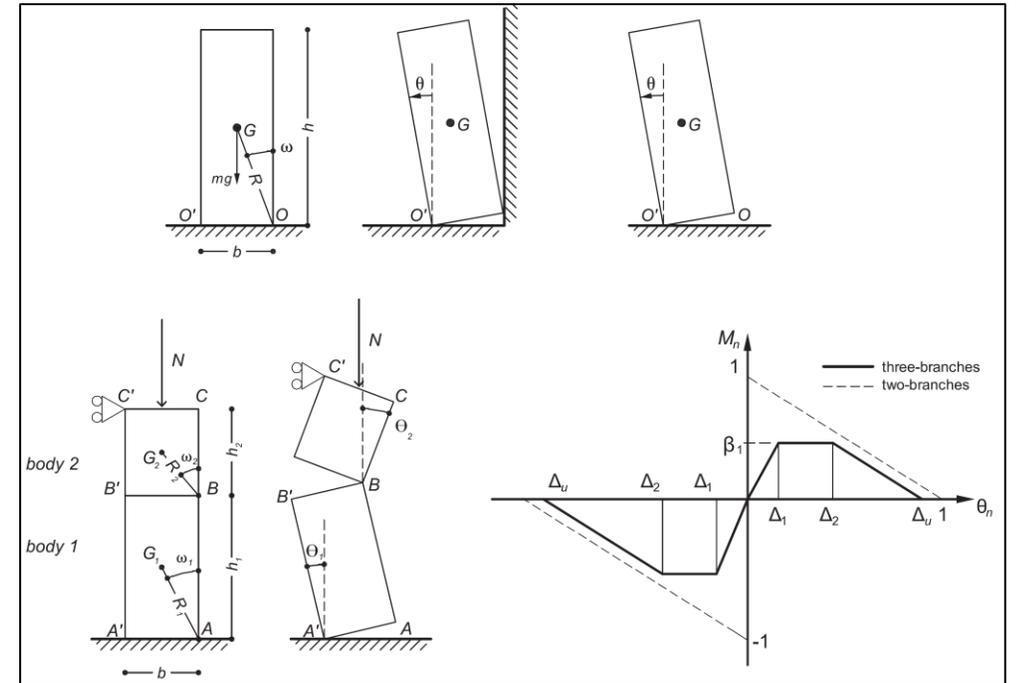
Aus-der-Ebene-Verhalten von Mauerwerkswänden

- Verhalten Aus-der-Ebene
 - Der Mechanismus dahinter
 - Versagensbilder
 - Behandlung in Vorschriften
- **Starrkörperbewegung**
- Fazit

Starrkörperbewegung

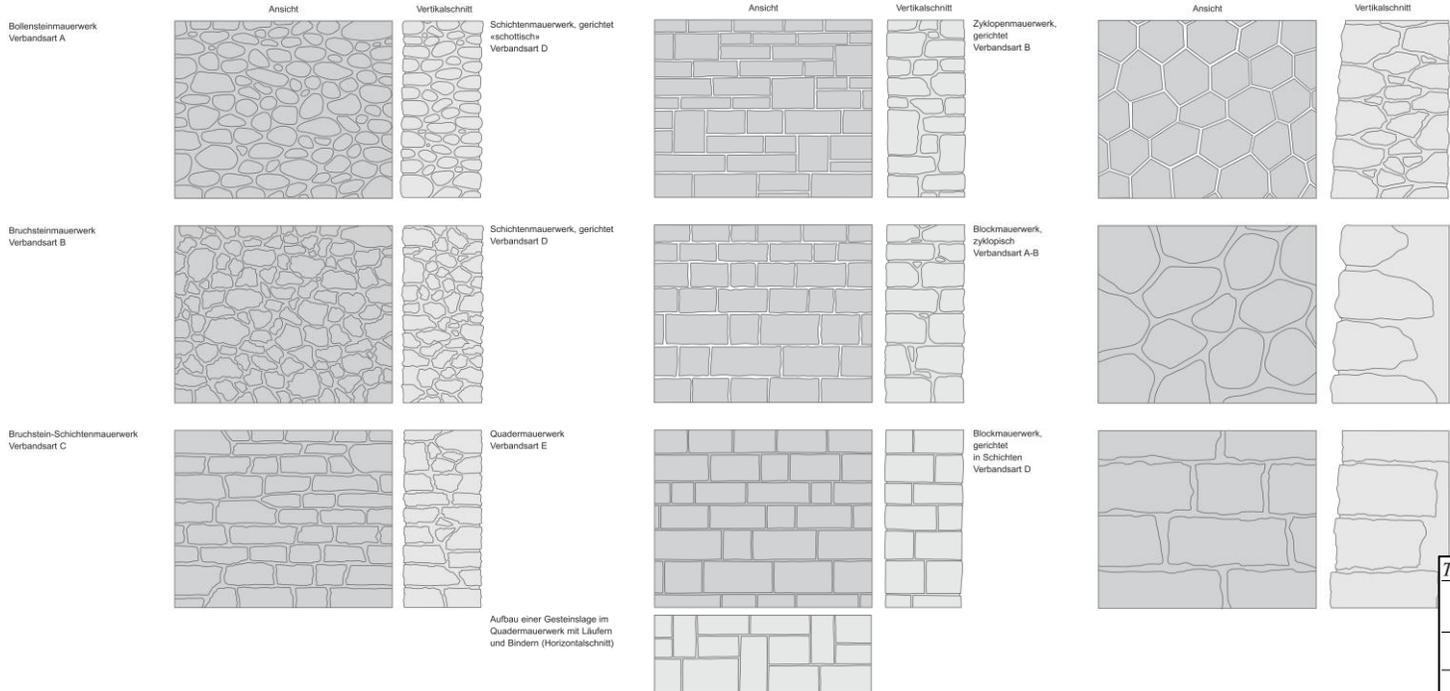
Zugrundeliegende Annahmen

- Wand besteht aus Starrkörpern («Rigid macroblock»)
- Gleiten ist verhindert
- Monolithische Natur der Wand wird beibehalten



Sorrentino, Review of Out-of-Plane Seismic Assessment Techniques Applied to Existing Masonry Buildings (2016)

Kraftbasiert vs. Verformungsbasiert



SIA 266/2, Natursteinmauerwerk (2012)

BAFU, Überprüfung des Tragwiderstands von MW-Wänden quer zur Wandebene unter Erdbebeneinwirkung (2021)

- Verbandsart
- Höhe des Mechanismus
- Bauwerksperiode (nichttragende Wände)

Tabelle 1: Empfehlung zur Wahl des Nachweisverfahrens für tragende Mauerwerkswände

Verbandsart	Höhe des Wandfuss-Drehpunktes ¹⁾	
	auf Einbindungshorizont	über Einbindungshorizont
C,D,E (gemäss SIA 266/2 ²⁾)	verformungsbasiert	kraftbasiert (verformungsbasiert) ²⁾
A,B (gemäss SIA 266/2 ²⁾)	kraftbasiert	kraftbasiert

¹⁾ Die Einteilung der Verbandsarten A bis E stammt aus der Norm SIA 266/2 (Natursteinmauerwerk) [7]. Für Mauerwerk aus künstlichen Steinen wird i.d.R. Verbandsart D oder E verwendet. Es wird hier sinngemäss eingeschlossen.
²⁾ Verformungsbasiert nur, falls der Verformungsbedarf der Wand aus dynamischen Analysen bekannt ist.

Tabelle 2: Empfehlung zur Wahl des Nachweisverfahrens für sekundäre Mauerwerkswände

Verbandsart	bekannt	Kenntnis T ₁	
		unbekannt	
		auf Einbindungshorizont	über Einbindungshorizont
C,D,E (gemäss SIA 266/2 ²⁾)	verformungsbasiert	verformungsbasiert	kraftbasiert
A,B (gemäss SIA 266/2 ²⁾)	kraftbasiert	kraftbasiert	kraftbasiert

Sicherheit- und Verhaltensbeiwert

Sicherheitsbeiwert:

- BAFU: 1.0 (einschaliges Mauerwerk), 2.0 (zweischaliges Mauerwerk)



De Felice, Out-of-plane seismic capacity of masonry depending on wall section morphology (2011)

Verhaltensbeiwert bei dem kraftbasierten Verfahren:

- NTC 08: $q = 1.0$ (Damage limit state), $q = 2.0$ (Life safety limit state)
- BAFU: Je nach Verbandsart und Verhältnis O/W

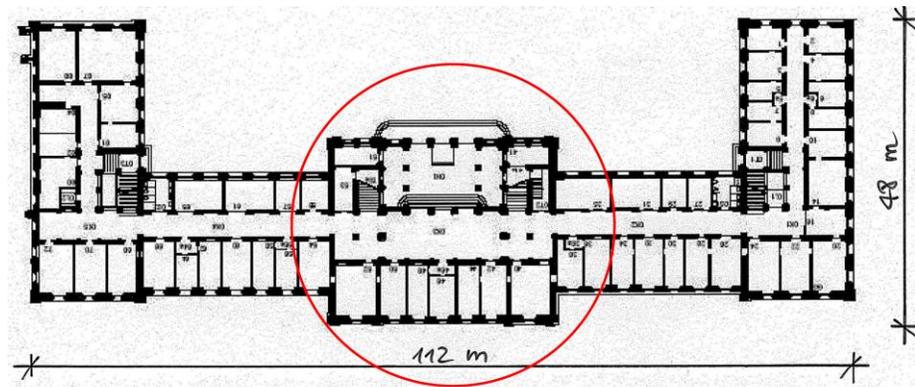
Tabelle 4: Empfehlung zur Wahl des Verhaltensbeiwerts q beim kraftbasierten Verfahren

$O/W^{1)} < 1,0$ UND Verbandsart C, D, E	$O/W^{1)} \geq 1,0$ ODER Verbandsart A, B
$q = 1,5$	$q = 1,0$
<small>¹⁾ O = Auflast auf Wand, W: Eigengewicht der Wand, O/W ist geschossweise zu evaluieren</small>	

BAFU, Überprüfung des Tragwiderstands von MW-Wänden quer zur Wandebene unter Erdbebeneinwirkung (2021)

Fallbeispiel

- 4-stöckiges Verwaltungsgebäude aus Mauerwerk, gebaut in 1912



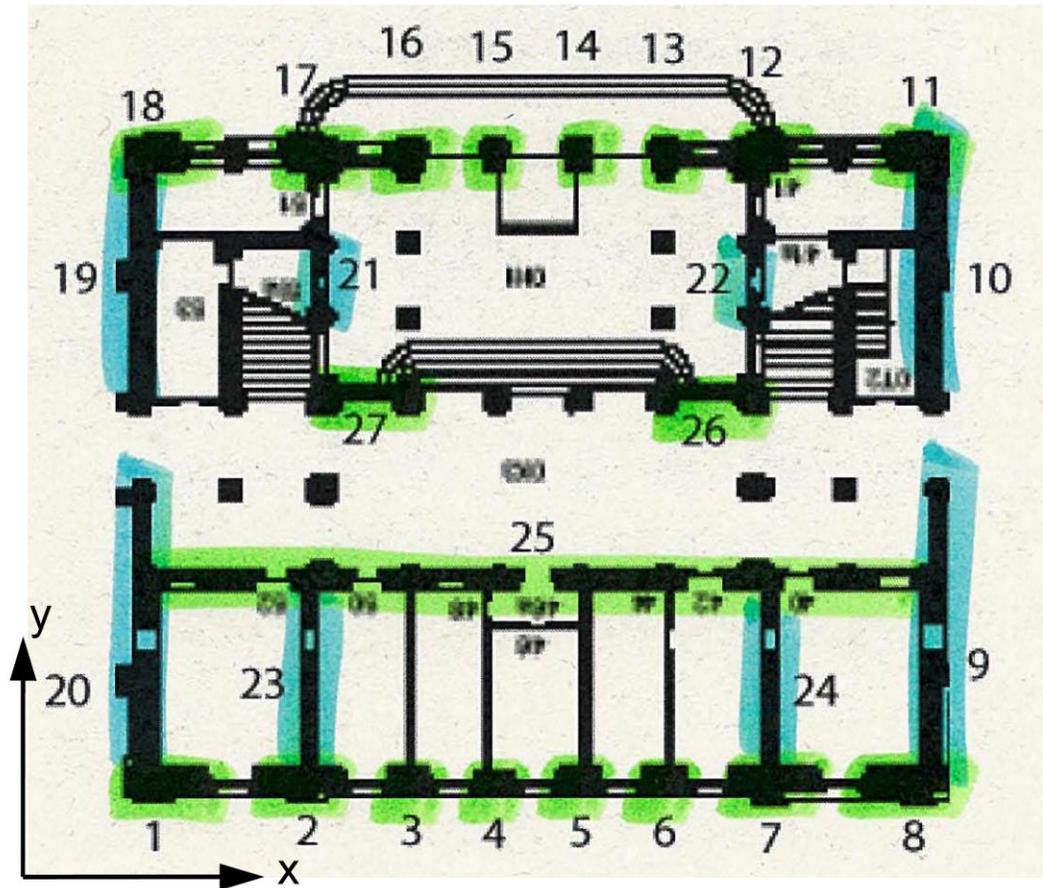
Zone 1a, BGK A	
a_{gd} [m/s ²]	0.60
T_B [s]	0.07
T_C [s]	0.25
T_D [s]	2.00
S [-]	1.00
γ_f [-]	1.00

SIA D 0237: Beurteilung von Mauerwerksgebäuden bezüglich Erdbeben (2010)

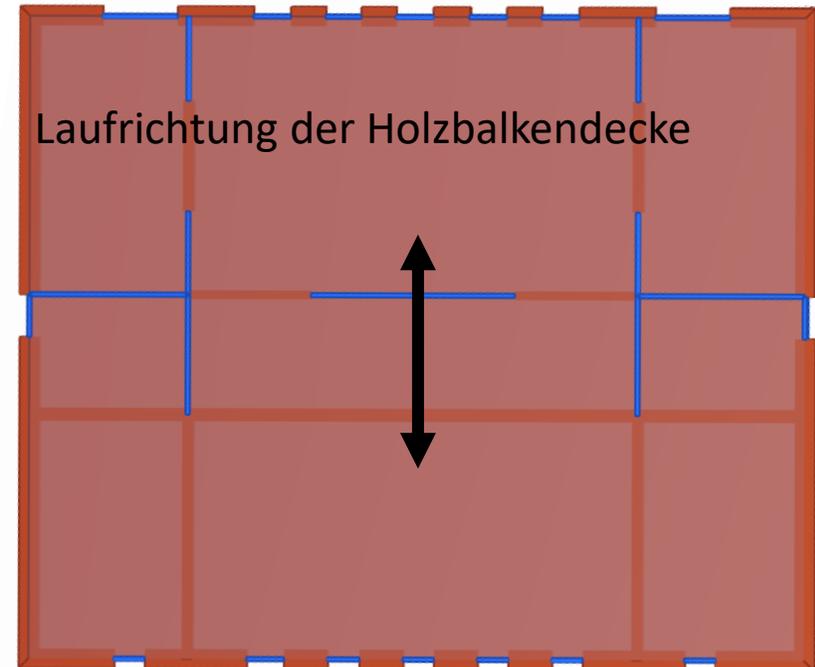
Fallbeispiel – Eingangsgrößen

- Annahme: Erdbebenzone 1, Baugrund A, Bauwerksklasse I (Abweichung zu D 0237)
- Quadersteinmauerwerk mit $\gamma_M = 25 \text{ kN/m}^3$
- Mauerwerksdruckfestigkeit $f_{xk} = 15 \text{ N/mm}^2$, $f_{xd} = 7.5 \text{ N/mm}^2$
- $\gamma_m = 1.00$ (Partialfaktor für die Abminderung der Kapazität, MW einschalig)
- $q = 2.00$ (Partialfaktor für die Abminderung der Anforderung, Verbandsart E)

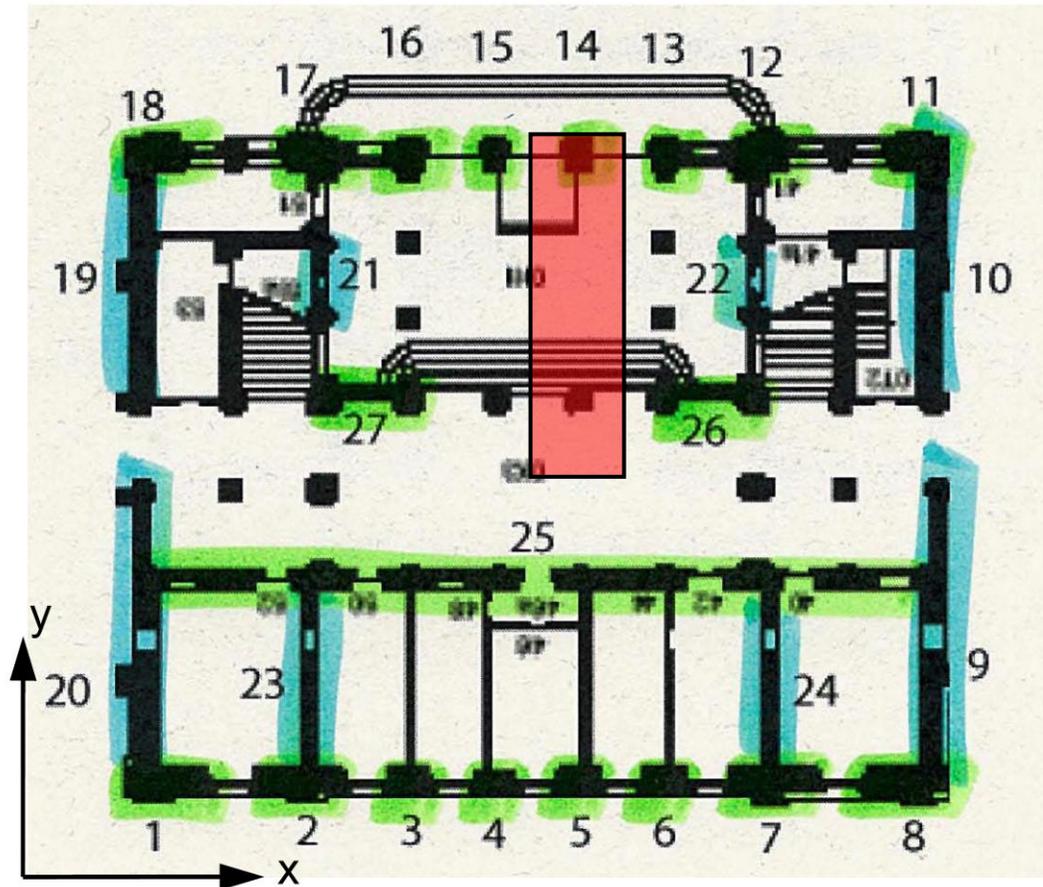
Deckensystem



SIA D 0237: Beurteilung von Mauerwerksgebäuden bezüglich Erdbeben (2010)



Wand W14: Deckenbelastung



SIA D 0237: Beurteilung von Mauerwerksgebäuden bezüglich Erdbeben (2010)

$$p_{d,\text{Geschoss}} = \gamma_G * (G_{k,\text{Decke}} + G_{k,\text{Auflast}}) + \gamma_Q * q_k$$

$$= 1.0 * (0.7 + 1.0) + 0.3 * 3 \text{ kN/m}^2 = 2.6 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{d,\text{Dachgeschoss}} = \gamma_G * (G_{k,\text{Decke}} + G_{k,\text{Auflast}}) + \gamma_Q * q_k$$

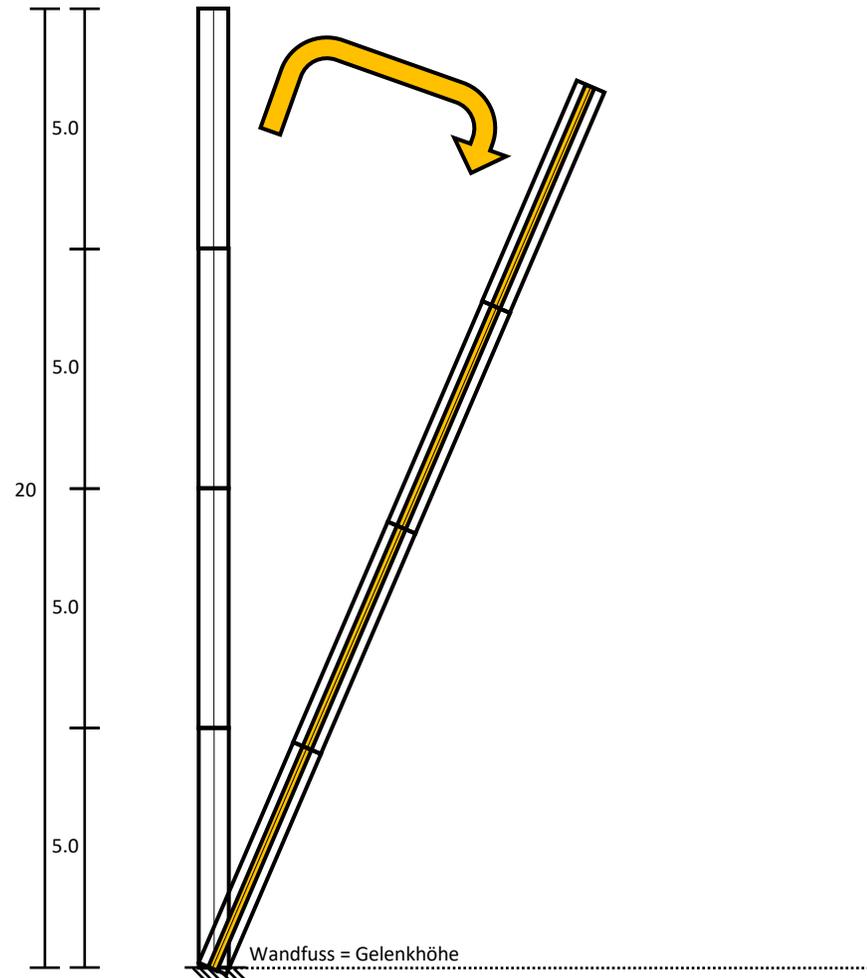
$$= 1.0 * (0.7 + 1.5) + 0.3 * 3 \text{ kN/m}^2 = 3.1 \text{ kN/m}^2$$

Lasteinflussfläche:

$$A_{LE,v} = b_{LE} * h_{LE} = (0.5 * 1.745 + 1.66 + 0.5 * 1.745) * (0.5 * 30) = 3.405 \text{ m} * 15 \text{ m} = 51.08 \text{ m}^2 \text{ (vertikal)}$$

$$A_{LE,h} = 3.405 \text{ m} * 15 \text{ m} = 51.08 \text{ m}^2 \text{ (horizontal)}$$

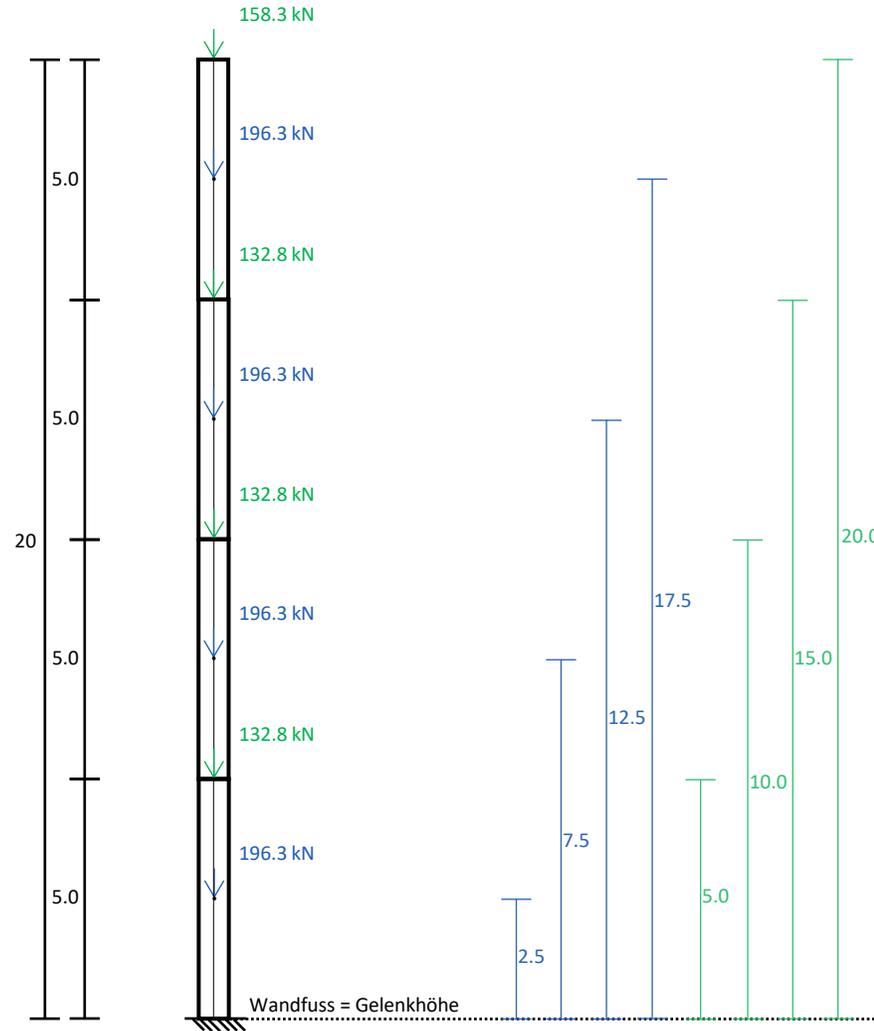
M4: Wand 14 Kragarm – Annahmen



- **3 Annahmen der Starrkörperbewegung**
- **Ausnutzung der Normalkraft ist < 30%**
- *Das Gelenk bildet sich an der Wandaussenkante in Richtung des Bruchmechanismus*
- *Keine Lastexzentrizitäten*

Die Annahmen in **fetter** Schrift sind zwingend für die Anwendung der Starrkörperbewegung. Die *kursiven* Annahmen wurden im Rahmen dieses Vortrags getroffen. Es darf von diesen Annahmen abgewichen werden, in solchen Fällen muss jedoch das statische System angepasst werden.

M4: Wand 14 Kragarm – Vertikale Kräfte



Wandeigengewicht:

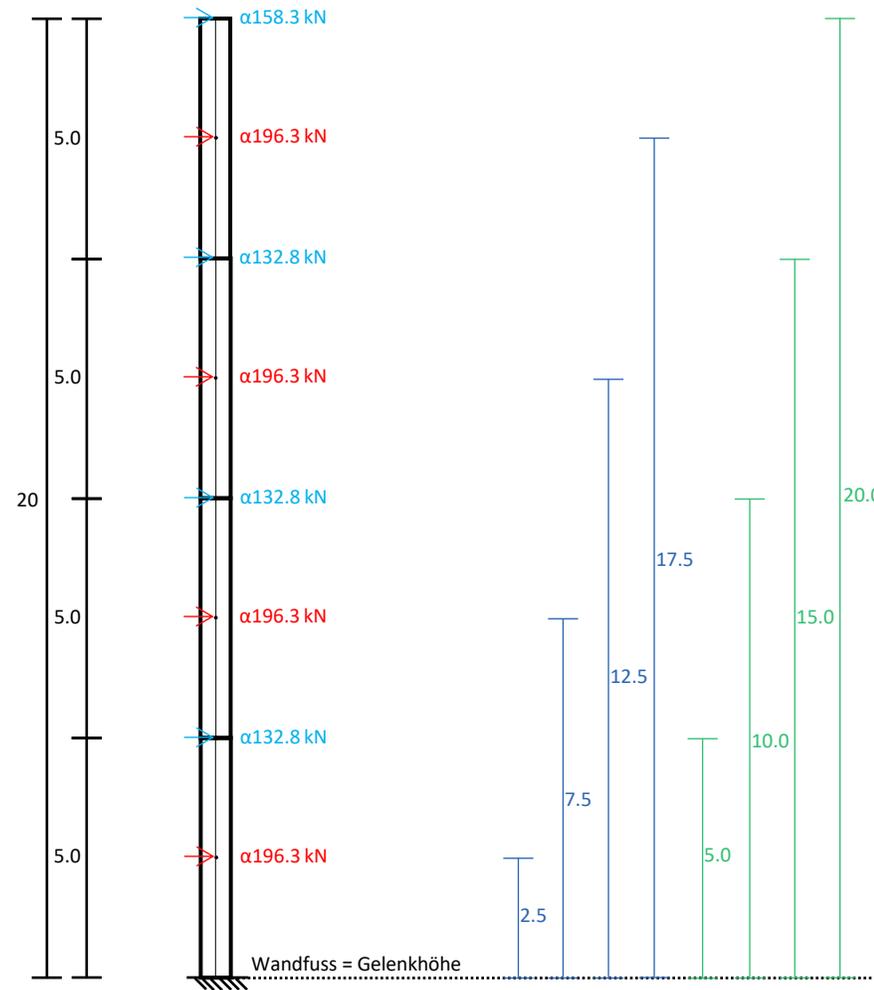
$$G_w = \gamma_M * I_w * t_w * h_w = 25 \text{ kN/m}^3 * 1.745 \text{ m} * 0.90 \text{ m} * 5 \text{ m} = 196.3 \text{ kN (pro Geschoss)}$$

Geschosslasten vertikal:

$$G_{V, \text{Geschoss}} = p_{d, \text{Geschoss}} * A_{LE, v} = 2.6 \text{ kN/m}^2 * 51.08 \text{ m}^2 = 132.8 \text{ kN}$$

$$G_{V, \text{Dach}} = p_{d, \text{Dachgeschoss}} * A_{LE, v} = 3.1 \text{ kN/m}^2 * 51.08 \text{ m}^2 = 158.3 \text{ kN (vgl. 3Muri: 163 kN)}$$

M4: Wand 14 Kragarm – Horizontale Kräfte



Eigengewicht horizontal:

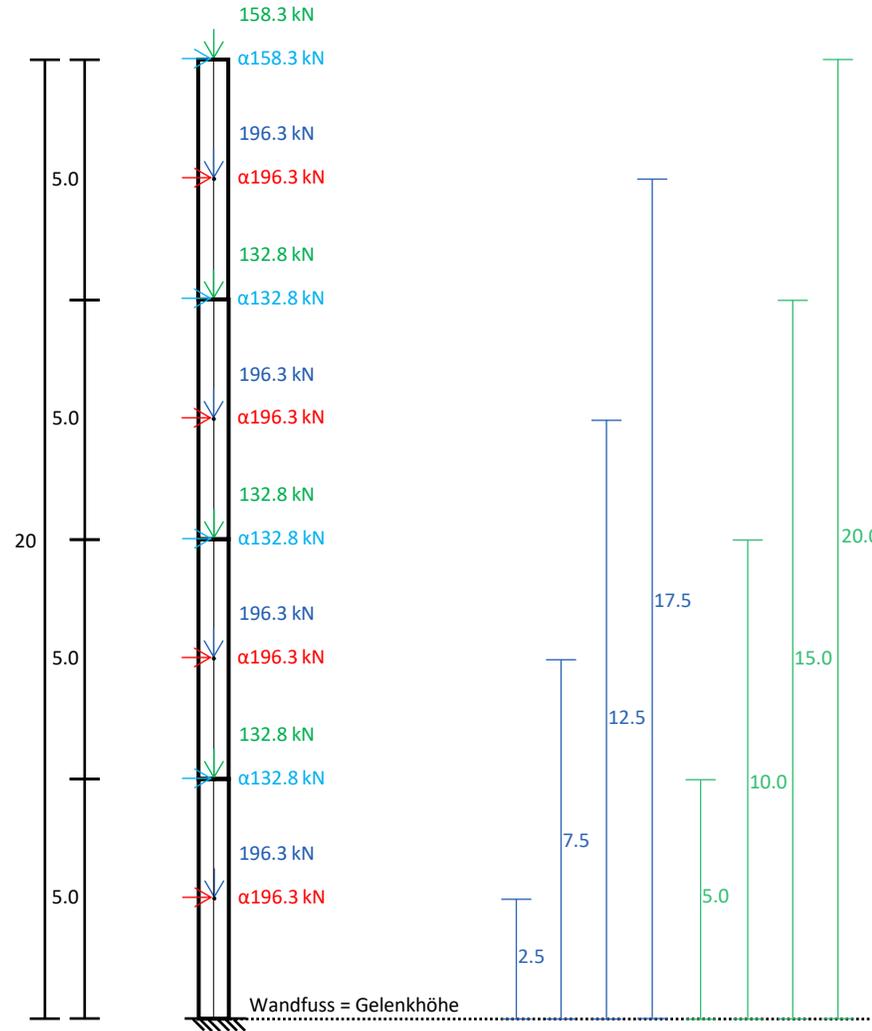
$$G_w = \alpha_0 * 196.3 \text{ kN}$$

Geschosslasten horizontal:

$$G_{h, \text{Geschoss}} = \alpha_0 * 132.8 \text{ kN}$$

$$G_{h, \text{Dach}} = \alpha_0 * 158.3 \text{ kN}$$

M4: Wand 14 Kragarm – Einwirkende Kräfte

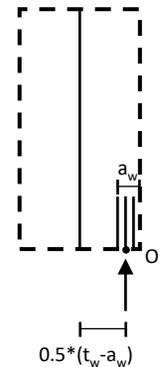


Normalkraft am Wandfuss:

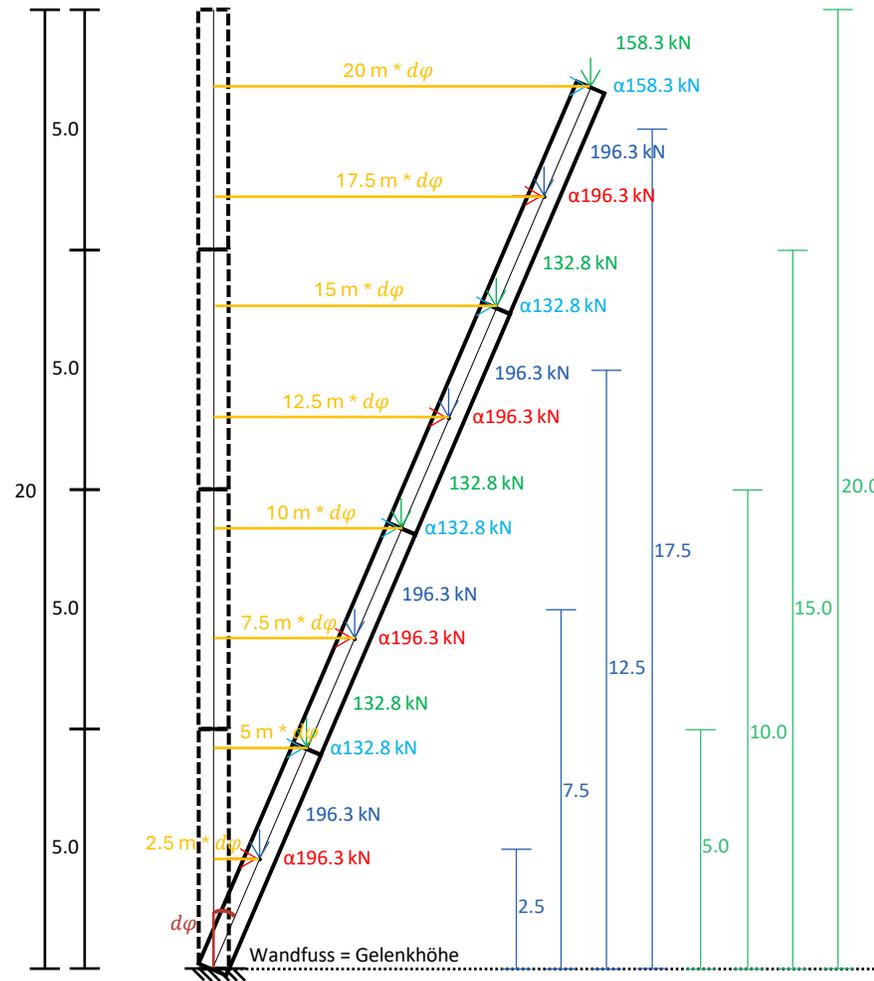
$$N_{xd} = 4 * 196.3 + 158.3 + 3 * 132.8 = 1341.9 \text{ kN}$$

Drucktiefe:

$$a_w = \frac{N_{xd}}{0.85 \cdot f_{xd} \cdot l_w} = 120 \text{ mm}$$



M4: Wand 14 Kragarm – Kinematischer Mechanismus



Virtuelle horizontale Auslenkung gem. Figur links

Virtuelle vertikale Auslenkung:

$$d_y = \left(\frac{t_{w,1} - a_w}{2} \right) \cdot d\varphi = 390 \text{ mm} \cdot d\varphi$$

M4: Wand 14 Kragarm – Prinzip der virtuellen Arbeit

DESTABILISIEREND

$$\delta\varphi \cdot \left(+\alpha(196.3 \text{ kN} \cdot 2.5 \text{ m} + 196.3 \text{ kN} \cdot 7.5 \text{ m} + 196.3 \text{ kN} \cdot 12.5 \text{ m} + 196.3 \text{ kN} \cdot 17.5 \text{ m}) \right. \\ \left. +\alpha(132.8 \text{ kN} \cdot 5 \text{ m} + 132.8 \text{ kN} \cdot 10 \text{ m} + 132.8 \text{ kN} \cdot 15 \text{ m} + 158.3 \text{ kN} \cdot 20 \text{ m}) \right)$$

STABILISIEREND

$$= \delta\varphi \cdot \left(+\alpha(196.3 \text{ kN} \cdot 0.39 \text{ m} + 196.3 \text{ kN} \cdot 0.39 \text{ m} + 196.3 \text{ kN} \cdot 0.39 \text{ m} + 196.3 \text{ kN} \cdot 0.39 \text{ m}) \right. \\ \left. +132.8 \text{ kN} \cdot 0.39 \text{ m} + 132.8 \text{ kN} \cdot 0.39 \text{ m} + 132.8 \text{ kN} \cdot 0.39 \text{ m} + 158.3 \text{ kN} \cdot 0.39 \text{ m} \right)$$

$$\delta\varphi \cdot \left(+\alpha(7852 \text{ kNm}) \right) = \delta\varphi \cdot (306.23 \text{ kNm} + 217.11 \text{ kNm})$$

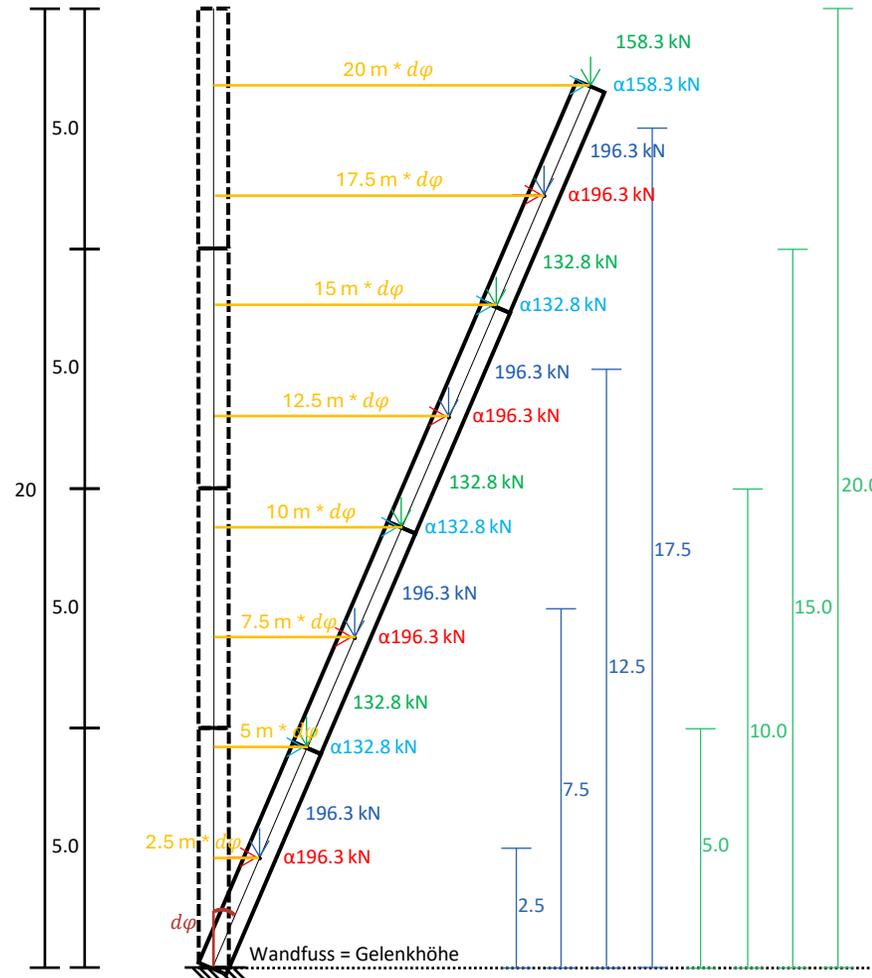
$$\alpha_0 = \frac{(306.23 \text{ kNm} + 217.11 \text{ kNm})}{(7852 \text{ kNm})} = 0.035$$

3.5% der vertikalen Lasten löst einen Mechanismus aus

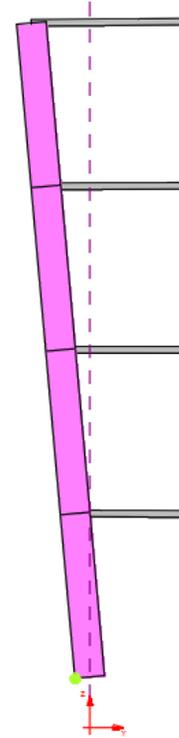
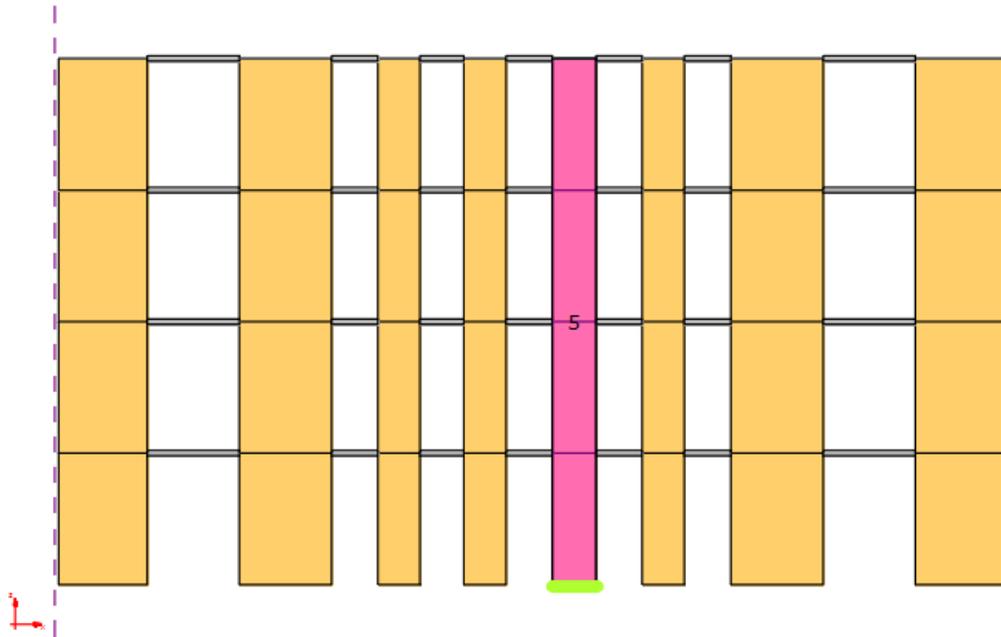
Kapazität: $\alpha_0^* = \frac{\alpha_0 \cdot g}{e^* \cdot \gamma_m} = \frac{0.035 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2}{0.79 \cdot 1.0} = 0.44 \text{ m/s}^2$

Anforderung: $a_d = \frac{a_{gd} \cdot S \cdot \gamma_f}{q} = \frac{0.60 \text{ m/s}^2 \cdot 1.0 \cdot 1.0}{2.0} = 0.30 \text{ m/s}^2$

Erfüllungsfaktor: $\alpha_{eff} = \frac{\alpha_0^*}{a_d} = \frac{0.44 \text{ m/s}^2}{0.30 \text{ m/s}^2} = 147 \%$



Berechnung mit 3Muri



Lineare Mechanismus

Nachweis SLV

Lagerung am Boden

Nachweis erfüllt

a^*_0 0.4602 [m/s²] \geq a^*_{0-min} 0.3000 [m/s²]

$$a^*_{0-min} = \frac{S_e(0)}{q}$$

Aktivierungsfaktor (a0) 0.036

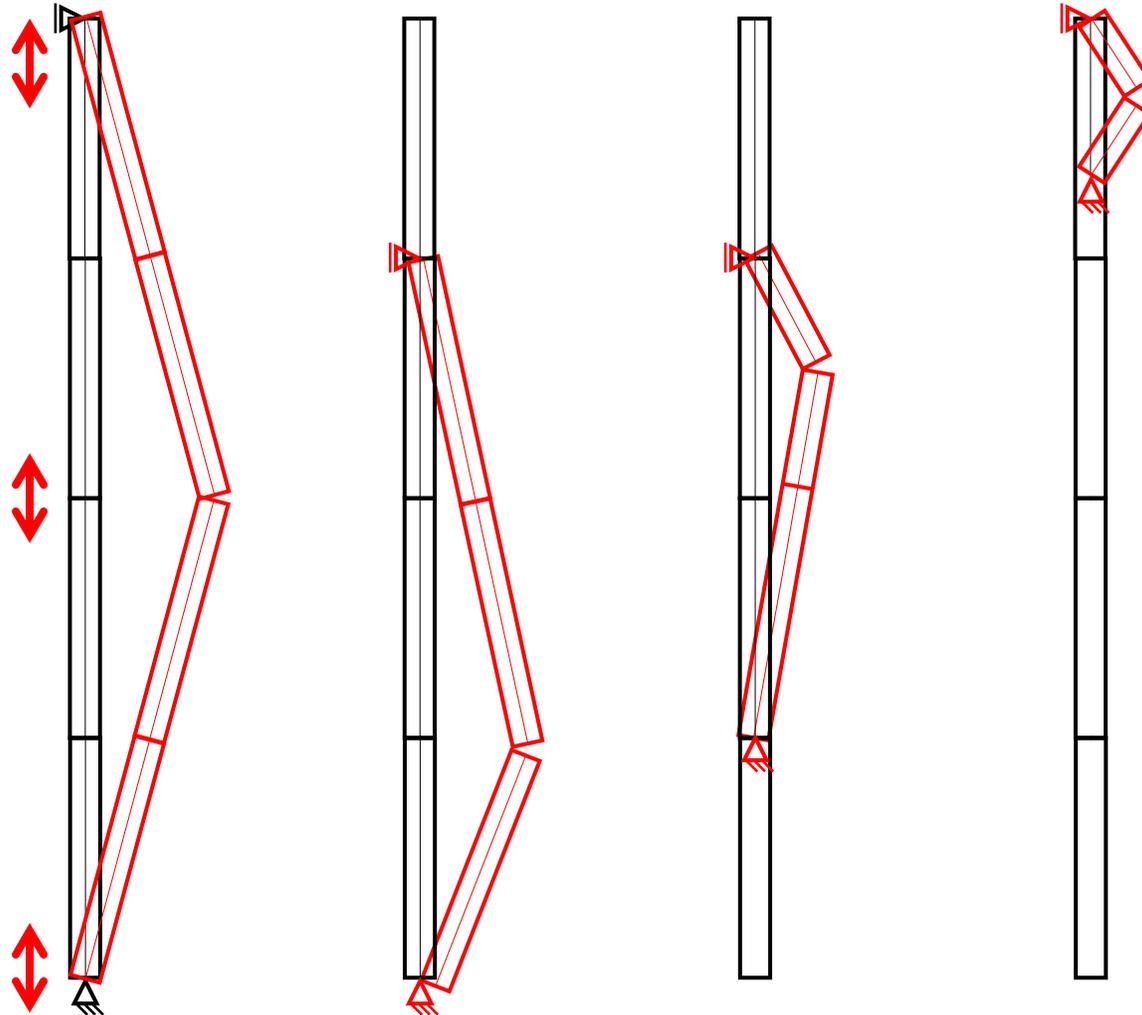
PGAc 0.92 [m/s²] α 1.53

OK ?

Vergleich Handberechnung – 3Muri

	Handberechnung	3Muri
Lastmultiplikator a_0	0.035	0.036
Kapazität α_0^*	0.44 m/s ²	0.46 m/s ²
Anforderung a_d	0.30 m/s ²	0.30 m/s ²
Erfüllungsfaktor α_{eff}	147%	153%

Berechnung von Hand – Herausforderung?



Aus-der-Ebene-Verhalten von Mauerwerkswänden

- Verhalten Aus-der-Ebene
 - Der Mechanismus dahinter
 - Versagensbilder
 - Behandlung in Vorschriften
- Starrkörperbewegung
- **Fazit**

Fazit

- Lokales Verhalten repräsentiert oft das schwächste Glied von MW-Gebäuden mit flexiblen Decken
- Stillschweigende Annahme der Gebäudeintegrität kann zur Überschätzung der Kapazität führen
- 2 Methoden sind verbreitet in der Schweiz:
 - D0237: Paulay & Priestley Methode
 - BAFU: Starrkörperbewegung
- Starrkörperbewegung bietet eine nützliche Alternative zu PP an, wenn die zugrundeliegenden Annahmen gerechtfertigt sind
- Die grösste Herausforderung liegt in der Definition des kinematischen Mechanismus (Sensitivitätsanalyse und Behandlung von Unsicherheiten)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!