

Bemessung von unbewehrtem Mauerwerk nach Eurocode 6 mit Nationalem Anhang



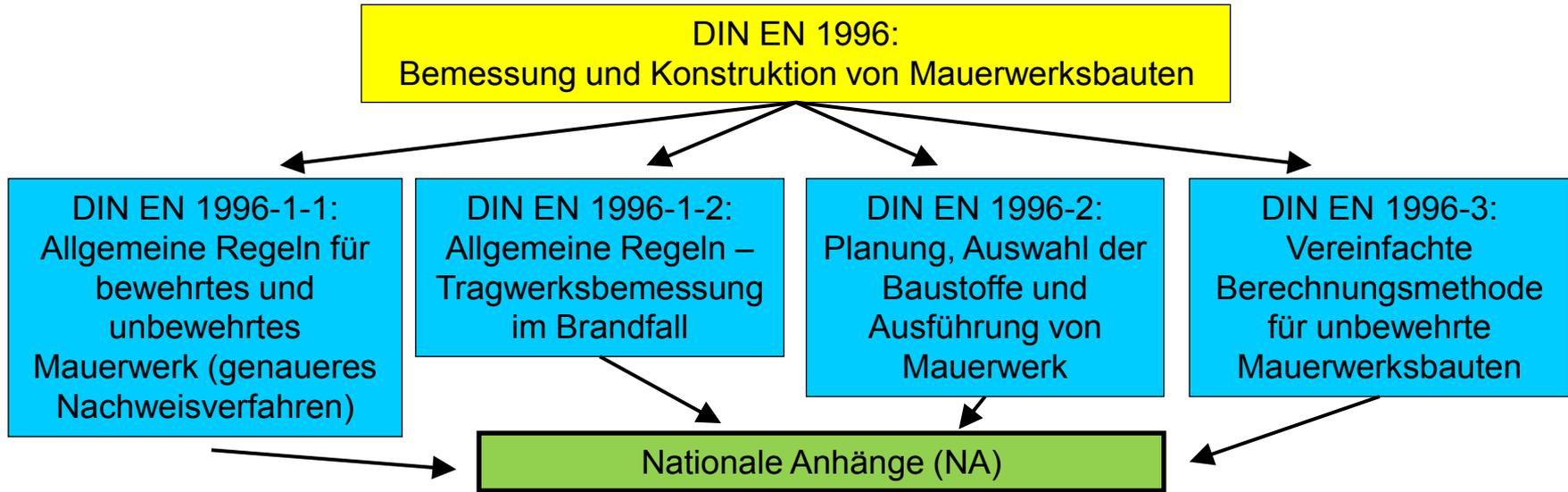
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Univ.-Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner, Michael Schmitt M.Sc.
TU Darmstadt, Institut für Massivbau



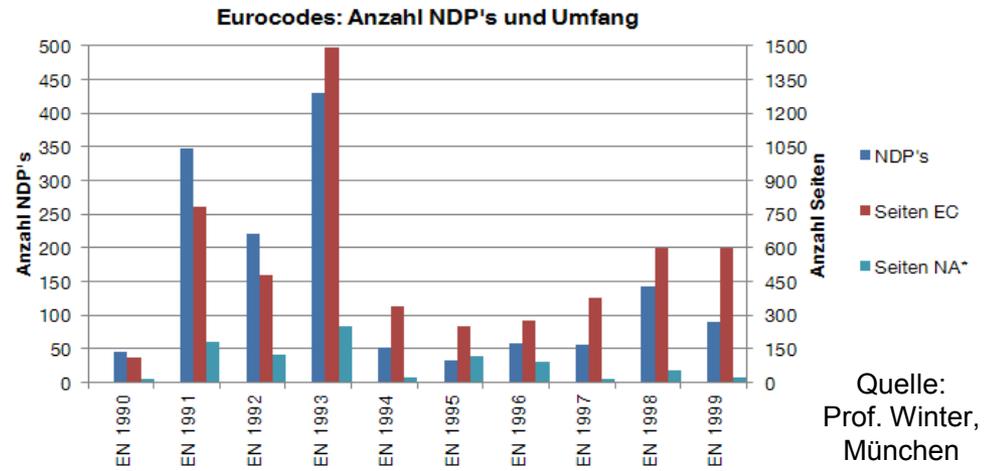
- Einführung (Gliederung, Sicherheitskonzept, Druckfestigkeit)
- Bemessung nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren gemäß DIN EN 1996-3/NA
- Bemessung nach dem genaueren Berechnungsverfahren gemäß DIN EN 1996-1-1/NA
- Zusammenfassung

Gliederung der DIN EN 1996



Die parallele Anwendung von
DIN EN 1996-1-1 und
DIN EN 1996-3 ist zulässig.
Es besteht kein Mischungsverbot!

Bauaufsichtliche Einführung des
EC 6 voraussichtlich zum
1.1.2014



DIN EN 1996-1-1 : Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk

1. **Allgemeines** (Anwendungsbereich, Normative Verweise, Begriffe)
 2. **Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung**
 3. **Baustoffe** (Mauersteine, Mörtel, Bewehrung)
 4. **Dauerhaftigkeit**
 5. **Ermittlung der Schnittkräfte** (Imperfektionen, Knicklängenermittlung etc.)
 6. **Grenzzustand der Tragfähigkeit**
 7. **Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit**
 8. **Bauliche Durchbildung** (Mindestdicke, Überbindemaß, Wandanschlüsse, zweischalige Wände, Schlitze und Aussparungen)
 9. **Ausführung**
- Anhänge A bis M**

DIN EN 1996-2 : Ausführung von Mauerwerk

1. **Allgemeines** (Anwendungsbereich, Normative Verweise, Begriffe)
2. **Planungsgrundsätze** (Dauerhaftigkeit, Baustoffe, Konstruktionsdetails)
3. **Ausführung** (Handhabung und Lagerung von Baustoffen, zul. Abweichungen Fugen, Feuchtesperren, Nachbehandlung, Schutzmaßnahmen)

Anhänge A bis E

DIN EN 1996-3 : Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten

1. **Allgemeines** (Anwendungsbereich, Normative Verweise, Begriffe)
2. **Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung**
3. **Baustoffe** (Mauerwerksfestigkeiten)
4. **Vereinfachter Nachweis unbewehrter Mauerwerkswände**

Anhänge A bis D

Teilsicherheitskonzept – Bemessungswert der Einwirkung

▪ DIN EN 1996-1-1 und -3

- Ständige und vorübergehende Einwirkungskombination

$$E_d = E \left\{ \sum \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \text{ vereinfacht: } E_d = E \left\{ \sum \gamma_G \cdot G_{k,i} + \sum \gamma_Q \cdot Q_{k,i} \right\}$$

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot \sum N_{Gk} + 1,50 \cdot \sum N_{Qk}$$

- In Hochbauten mit Stahlbetondecken, die mit einer charakteristischen Nutzlast von $q_k \leq 3,0 \text{ kN/m}^2$ belastet sind, darf die im Grenzzustand der Tragfähigkeit einwirkende Normalkraft N_{Ed} vereinfachend bestimmt werden:

$$N_{Ed} = 1,4 \cdot \left(\sum N_{Gk} + \sum N_{Qk} \right)$$

- Beim Nachweis von Wandscheiben unter Horizontallasten in Scheibenrichtung wird häufig die minimale Auflast bemessungsmaßgebend:

$$\min N_{Ed} = 1,0 \cdot \sum N_{Gk}$$

in Verbindung mit:

$$\max M_{Ed} = 1,0 \cdot M_{Gk} + 1,5 \cdot M_{Qk}$$

- Außergewöhnliche Bemessungssituation

$$E_d = E \left\{ \sum \gamma_{GA,i} \cdot G_{k,i} + A_d + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite und Bemessungswert des Bauteilwiderstandes

■ Teilsicherheitsbeiwert γ_M :

| Material | Mauerwerk aus | γ_M | |
|----------|--|---------------------------|-----------------|
| | | Bemessungssituation | |
| | | ständig und vorübergehend | Außergewöhnlich |
| A | Steinen der Kategorie I und Mörtel nach Eignungsprüfung ^a | 1,5 | 1,3 |
| B | Steinen der Kategorie I und Rezeptmörtel ^b | wie A | wie A |

a Anforderungen an Mörtel nach Eignungsprüfung sind in DIN EN 998-2 in Verbindung mit DIN 20000-412 sowie DIN V 18580 gegeben.
b gilt nur für Baustellenmörtel nach DIN V 18580

■ Bemessungswert des Bauteilwiderstandes:

- Druckfestigkeit: $f_d = \zeta \cdot f_k / \gamma_M$ f_k : charakteristischer Wert der Druckfestigkeit nach DIN EN 1996-1-1/NA bzw. DIN EN 1996-3/NA
 - Schubfestigkeit: $f_{vd} = f_{vit} / \gamma_M$ f_{xk} : charakteristischer Wert der Biegezugfestigkeit nach DIN EN 1996-1-1
 - Biegezugfestigkeit: $f_{xd} = f_{xk} / \gamma_M$ f_{vit} : charakteristischer Wert der Schubfestigkeit nach DIN EN 1996-1-1/NA
- ζ : Dauerstandsfaktor $\zeta = 0,85$
 γ_M : Teilsicherheitsbeiwert des Tragwerkwiderstandes

- Differenzierung der Mauerwerksdruckfestigkeit nach Steinsorten, Lochbildern sowie Steinabmessungen (normale Steine, Plansteine oder Planelemente)
- Der charakteristische Wert der Mauerwerksdruckfestigkeit errechnet sich aus Stein- und Mörtelfestigkeit:

$$f_k = K \cdot f_{st}^\alpha \cdot f_m^\beta$$

- In Anhang D der DIN EN 1996-3/NA sind in Tabellen für die verschiedenen Stein- und Mörtelkombinationen die Druckfestigkeiten angegeben
- Die rechnerischen Druckfestigkeiten f_k nach DIN EN 1996-1-1/NA sind mit den tabellarischen Werten nach DIN EN 1996-3/NA Anhang D nahezu identisch. Beispielweise gilt für Mauerwerk 12/IIa aus Hochlochziegel HLZA:

$$f_k = K \cdot f_{st}^\alpha \cdot f_m^\beta = 0,79 \cdot 15^{0,585} \cdot 5,0^{0,162} = 4,99 \text{ N/mm}^2 \cong f_{k, \text{Anhang D}} = 5,0 \text{ N/mm}^2$$

Gleichung und Tabellenwerte gelten nur für Ziegel nach DIN-EN 1996 **nicht** für Ziegel nach Zulassungen

Bei Wandquerschnitten $A < 0,1 \text{ m}^2$ ist die Druckfestigkeit mit dem Faktor 0,8 bzw. $(0,7 + 0,3 \cdot A)$ zu multiplizieren

Vereinfachtes Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-3/NA

■ Annahmen und Randbedingungen

- Auf einen rechnerischen Nachweis der Gebäudeaussteifung darf unter bestimmten Voraussetzungen verzichtet werden:
 - Geschossdecken sind als steife Scheiben ausgebildet
 - statisch nachgewiesene, ausreichend steife Ringbalken vorliegen
 - offensichtlich ausreichende Anzahl von genügend langen aussteifenden Wänden in Längs- und Querrichtung vorliegen, die ohne größere Schwächungen und ohne Versprünge bis auf die Fundamente geführt sind
- **Entscheidung obliegt dem Tragwerksplaner!**
- Einspannungen zwischen Wand und Decke werden nicht explizit ermittelt, sondern über eine Abminderung der zulässigen Traglasten erfasst
 - Unplanmäßige Lastexzentrizitäten (Imperfektionen) sowie Windlast auf Außenwände brauchen nicht gesondert betrachtet zu werden. Diese Zusatzbeanspruchungen sind über den Traglastfaktor abgedeckt. **Dies gilt auch bei teilaufliegenden Decken.** Bei größeren planmäßigen Lastexzentrizitäten (z.B. infolge großer horizontaler Einwirkungen) muss der Nachweis unbedingt nach dem genaueren Verfahren durchgeführt werden.

- Anwendungsbedingungen
 - Begrenzung von lichter Wandhöhe und Nutzlast nach Tabelle **NA.2** von DIN EN 1996-3/NA:
 - Gebäudehöhe über Gelände $h_{tot} \leq 20 \text{ m}$
 - Stützweite $l_f \leq 6,0 \text{ m}$
 - Maximale Wandschlankheit $\lambda \leq 27$
 - Das Überbindemaß l_{ol} nach DIN EN 1996-2 muss mindestens $0,4 \cdot h_u$ und mindestens **45 mm** betragen.
 - Die Deckenauflagertiefe a muss mindestens die **halbe Wanddicke ($t/2$)**, jedoch mehr als **100 mm** betragen. Bei $t \geq 365 \text{ mm}$ muss $a \geq 0,45 \cdot t$ eingehalten werden.

Im vereinfachten Berechnungsverfahren ist jetzt auch die Berücksichtigung einer nur teilaufliegenden Decke möglich

Vereinfachtes Berechnungsverfahren - Anwendungsgrenzen

| | Bauteil | Voraussetzungen | | | |
|---|--|------------------------|-----------------------------|------------------------|---|
| | | | | aufliegende Decke | |
| | | Wanddicke t [mm] | Lichte Wandhöhe h [m] | Stützweite l [m] | Nutzlast ^a q _k [kN/m ²] |
| 1 | Innenwände | ≥ 115 | ≤ 2,75 | ≤ 6,00 | ≤ 5 |
| 2 | | < 240 | | | |
| 3 | Außenwände und zweischalige Haustrenn- wände | ≥ 240 | --- | ≤ 6,00 | ≤ 3 |
| 4 | | ≥ 115 ^b | ≤ 2,75 | | |
| 5 | | < 150 ^b | | | |
| 6 | | ≥ 150 ^c | | | ≤ 5 |
| | | < 175 ^c | | | |
| | | ≥ 175 | | | |
| | < 240 | ≤ 12 t | | | |

^a Einschließlich Zuschlag für nichttragende innere Trennwände.

^b Als einschalige Außenwand nur bei eingeschossigen Garagen und vergleichbaren Bauwerken, die nicht zum dauernden Aufenthalt von Menschen vorgesehen sind.

Als Tragschale zweischaliger Außenwände und bei zweischaligen Haustrennwänden bis maximal zwei Vollgeschosse zuzüglich ausgebautes Dachgeschoss; aussteifende Querwände im Abstand ≤ 4,50 m bzw. Randabstand von einer Öffnung ≤ 2,0 m

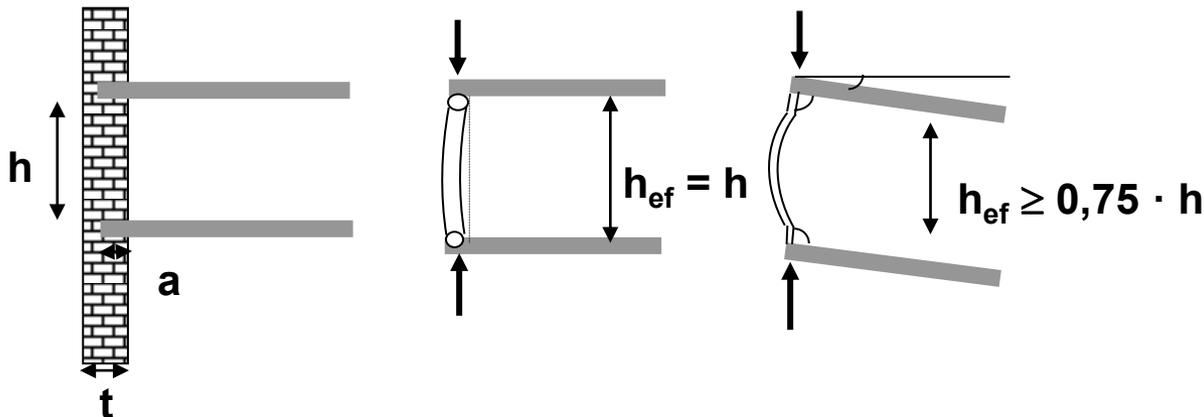
^c Bei charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeiten $f_k < 1,8 \text{ N/mm}^2$ gilt zusätzlich Fußnote b.

Aussteifung und Knicklängenermittlung

- Ermittlung der Knicklänge $h_{ef} = \rho_2 \cdot h$
 - h = lichte Höhe
 - ρ_2 = Knicklängenbeiwert für zweiseitig gehaltene Wand

- für zweiseitig gehaltene Wände gilt:

| Wanddicke t [cm] | Abminderungsbeiwert ρ_2 [-] | Mindestauflagertiefe a [cm] |
|--------------------------|--|-------------------------------------|
| $\leq 17,5$ | 0,75 | $a = t$ |
| 24 | 0,90 | $a \geq 17,5$ |
| > 24 | 1,00 | - |



Bei Wandstärken $t < 24$ cm
und
teilaufgelegener Decke gilt:
 $\rho_2 = 1,0$

Aussteifung und Knicklängenermittlung

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

▪ Vierseitig gehaltene Wände:

▪ für $\alpha_4 \cdot \frac{h}{b} \leq 1$ gilt:

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

▪ für $\alpha_4 \cdot \frac{h}{b} > 1$ gilt:

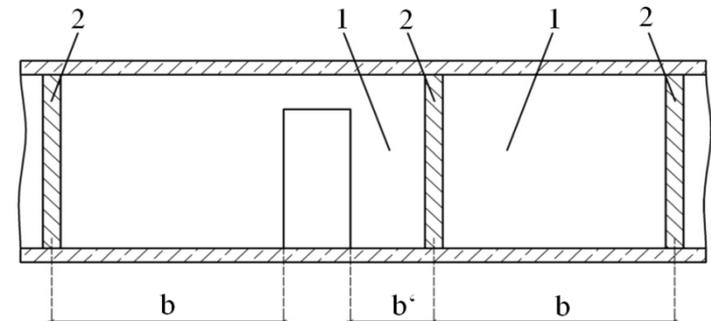
$$h_{ef} = \alpha_4 \cdot \frac{b}{2}$$

Die Faktoren α_3 und α_4 sind ausschließlich für Elementmauerwerk von Bedeutung.

Bei Mauersteinen nach Zulassung mit üblichen Abmessungen und Überbindemaß $l_{ol} \geq 0,4 \cdot h_u$ gilt:

$$\alpha_3 = \alpha_4 = 1,0$$

Das Knickverhalten tragender Wände wird durch Art, Lage und Anzahl aussteifender Querwände und Decken beeinflusst.



1 gehaltene Wand
2 aussteifende Wände

Voraussetzung: $b' \leq 15 \cdot t$; $b \leq 30 \cdot t$

Vereinfachtes Nachweisverfahren nach DIN EN 1996-3/NA

- Normalkraft und Biegung (Grenzzustand der Tragfähigkeit)

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

Der Nachweis ist formal am Wandkopf, in Wandmitte und am Wandfuß zu führen!

A = wirksame Querschnittsfläche, ggf. unter Berücksichtigung von Schlitzern und Aussparungen

f_d = Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

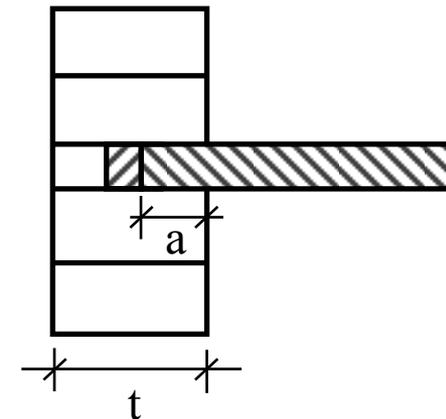
Φ = Traglastfaktor nach

- DIN EN 1996-3/NA Anhang A (stark vereinfachte Ermittlung) oder
- DIN EN 1996-3/NA 4.2.2.3

- Teilweise aufliegende Deckenplatte:

Nach DIN EN 1996-3/NA ist eine Ausführung mit teilaufliegender Deckenplatte ($a < t$) möglich!

Die Verminderung der Tragfähigkeit infolge Lastexzentrizität wird über den Traglastfaktor Φ berücksichtigt.



Vereinfachtes Nachweisverfahren nach DIN EN 1996-3/NA 4.2.2.3

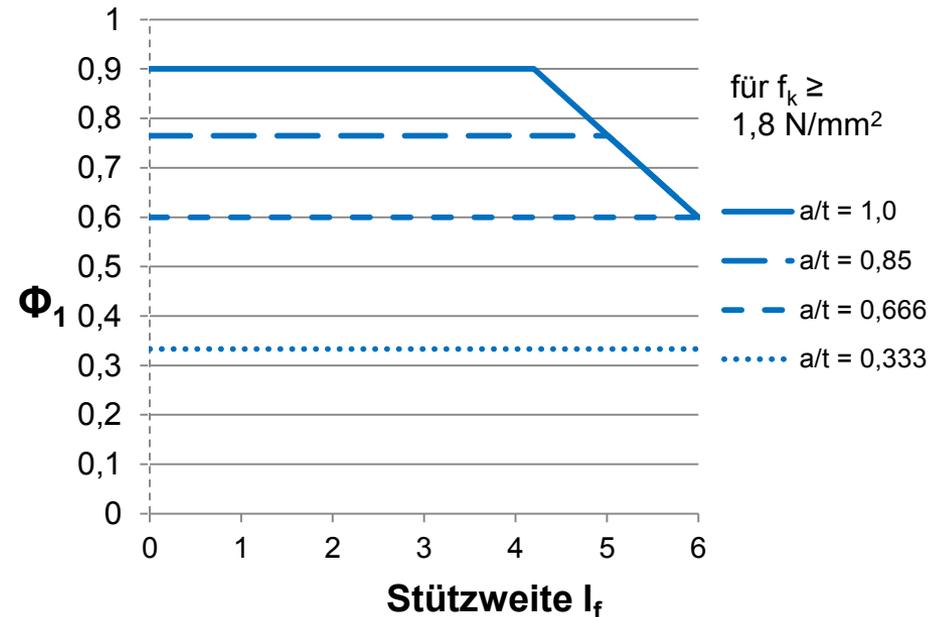
Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit am Wandkopf und Wandfuß (Traglastfaktor nach 4.2.2.3):

- Φ_1 berücksichtigt die Lastexzentrizität bei Endauflagern auf Außen- und Innenwänden.

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

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

- Bei Zwischenauflagern: $\Phi_1 = 0,9$
- Bei Decken über dem obersten Geschoss (Endauflagern), insbesondere bei Dachdecken: $\Phi_1 = 0,333$.



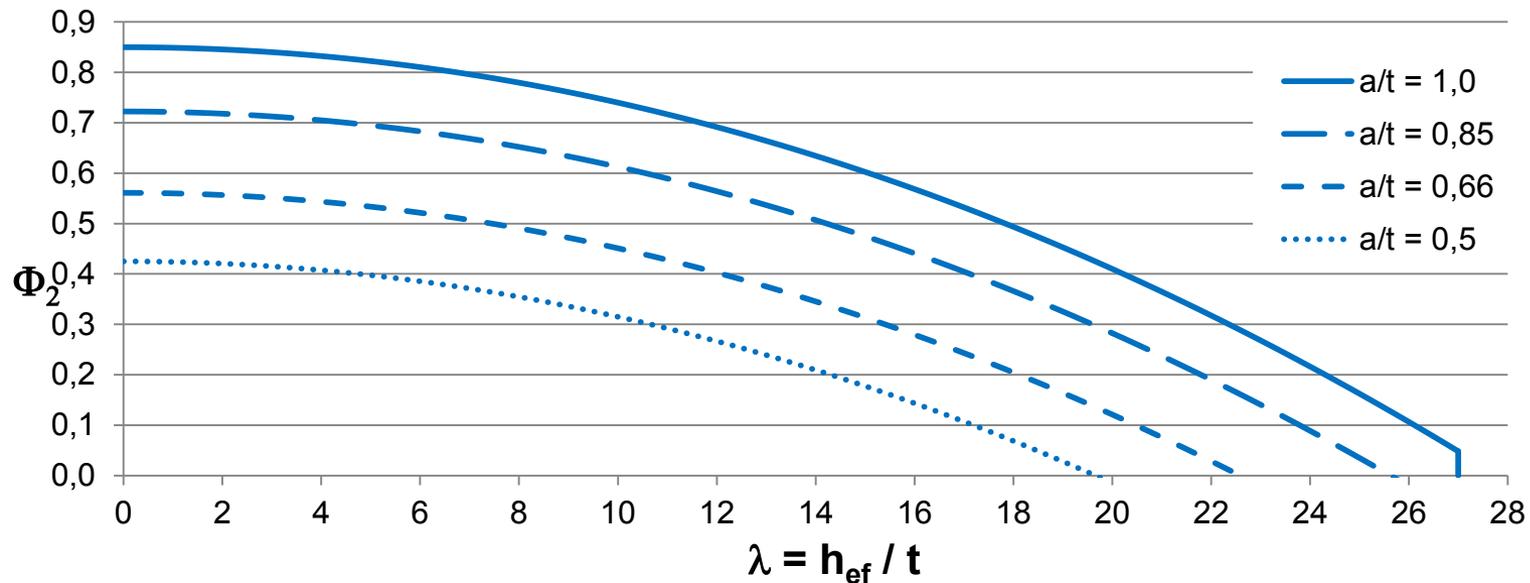
Vereinfachtes Nachweisverfahren nach DIN EN 1996-3/NA

Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit in Wandhöhenmitte bei Knickgefahr:

- Φ_2 berücksichtigt die Traglastminderung bei Knickgefahr:

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

h_{ef} = Knicklänge der Wand



- Vereinfachung:

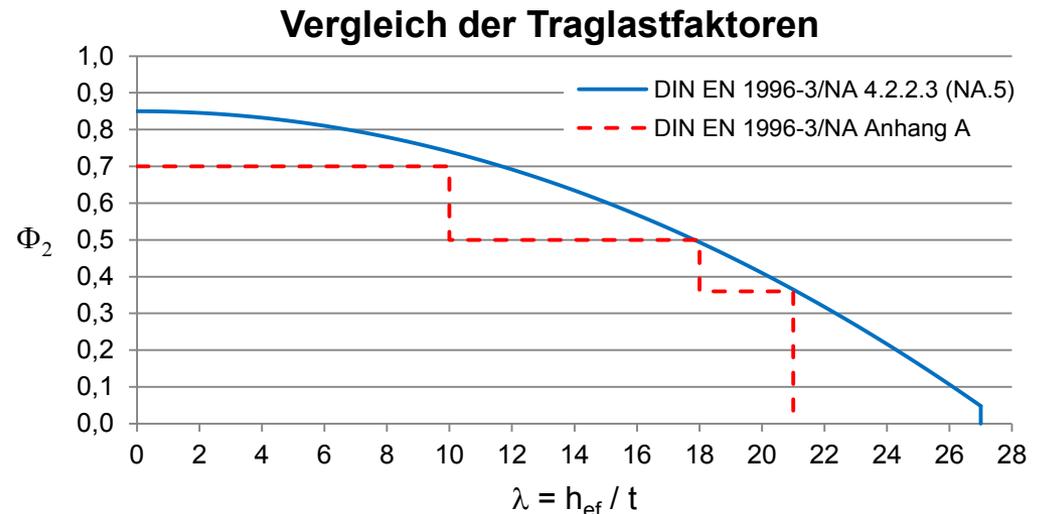
$$\max N_{Ed} \leq N_{Rd} = \min(\Phi_1; \Phi_2) \cdot A \cdot f_d$$

Vereinfachte Berechnungsmethode bei höchstens 3 Geschossen nach DIN EN 1996-3 Anhang A

- Zusätzliche Anwendungsbedingungen:
 - Die Wände sind rechtwinklig zur Wandebene durch die Decken und das Dach **in horizontaler Richtung gehalten**, und zwar entweder durch die Decken und das Dach selbst oder durch geeignete Konstruktionen, z.B. Ringbalken mit aussteifender Steifigkeit.
 - Die Wandschlankheit $\lambda \leq 21$ ist.
 - Die lichte Geschosshöhe ist nicht größer als **3,0 m**.
 - Die kleinste Gebäudeabmessung im Grundriss beträgt mindestens **1/3 der Gebäudehöhe**
 - Für eine teilaufliegende Decke ist eine Mindestwanddicke von $t = 30 \text{ cm}$ und eine Mindestauflagertiefe $a \geq 2/3 t$ erforderlich.

- Traglastfaktor Φ
(in der Norm c_A genannt):

| | | |
|--------|--------|-------------------------------|
| Φ | = 0,70 | für $\lambda \leq 10$ |
| | = 0,50 | für $10 < \lambda \leq 18$ |
| | = 0,36 | für $18 < \lambda \leq 21$ |
| | = 0,45 | für teilaufliegende Decken |



Nachweis der Querkrafttragfähigkeit nach DIN EN 1996-3/NA

- Bei üblichen Hochbauten, welche den Anwendungsbereich des vereinfachten Verfahrens nach DIN EN 1996-3 erfüllen, ist im Regelfall ein Nachweis der Querkrafttragfähigkeit **nicht** erforderlich.
- Dies gilt sowohl für Außenwände unter Plattenschub, da die Aufnahme von Windeinwirkungen bei Gebäudehöhen ≤ 20 m konstruktiv abgedeckt ist, als auch für Mauerwerkswände unter Scheibenschub, welche der Gebäudeaussteifung dienen.
- Bei Kellerwänden deckt der Nachweis der Biegetragfähigkeit auch den Nachweis gegen Plattenschub ab.

- Größte zulässige Werte der Ausfachungsfläche ohne rechnerischen Nachweis

| Wanddicke t mm | Größte zulässige Werte ^{a, b} der Ausfachungsfläche in m ² bei einer Höhe über Gelände von | | | | | |
|------------------------------|--|-------------|----------------|---------------------------|-------------|----------------|
| | 0 m bis 8 m | | | 8 m bis 20 m ^c | | |
| | $h/l \leq 0,5$ | $h/l = 1,0$ | $h/l \geq 2,0$ | $h/l \leq 0,5$ | $h/l = 1,0$ | $h/l \geq 2,0$ |
| 115^{c, d} | 8 | 12 | 8 | - | - | - |
| 150^d | 8 | 12 | 8 | 5 | 8 | 5 |
| 175 | 14 | 20 | 14 | 9 | 13 | 9 |
| 240 | 25 | 36 | 25 | 16 | 23 | 16 |
| ≥ 300 | 33 | 50 | 33 | 23 | 35 | 23 |

a Bei Seitenverhältnissen $0,5 < h/l < 1,0$ bzw. $1,0 < h/l < 2,0$ dürfen die größten zulässigen Werte der Ausfachungsflächen geradlinig interpoliert werden.

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

c In Windlastzone 4 nur im Binnenland zulässig.

d Bei Verwendung von Steinen der Festigkeitsklassen ≥ 12 dürfen die Werte dieser Zeile um 1/3 vergrößert werden.

Genaueres Berechnungsverfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA

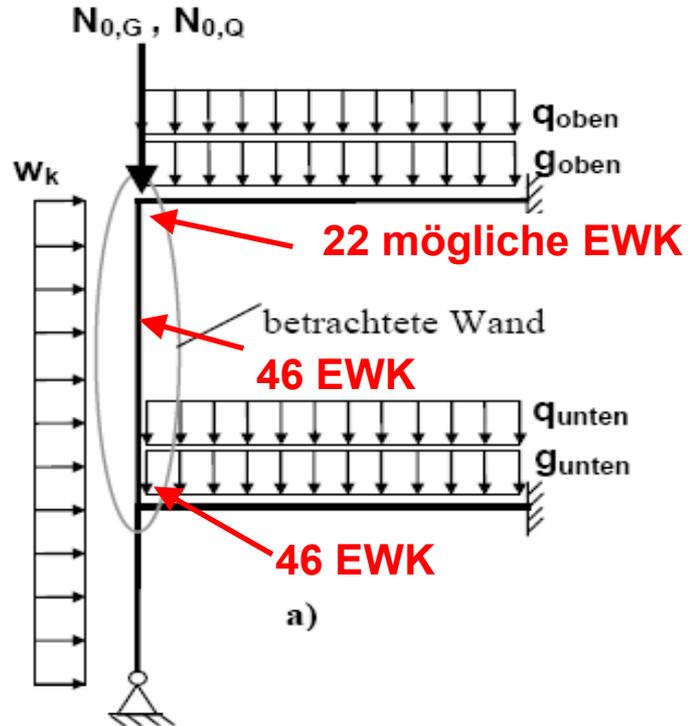
- Das genauere Nachweisverfahren darf für ganze Gebäude aber auch für einzelne Bauteile angewendet werden. Eine Mischung mit dem vereinfachten Nachweisverfahren ist **zulässig**
- Der Nachweis für exzentrische Druckbeanspruchung erfolgt mit den Bemessungswerten am Wandkopf und Wandfuß (Regelbemessung nach Theorie I. Ordnung) sowie in Wandmitte (Knicksicherheitsnachweis nach Theorie II. Ordnung) unter Berücksichtigung von:
 - planmäßigen Exzentrizitäten
 - unplanmäßigen Exzentrizitäten
 - Zusatzverformungen nach Theorie II. Ordnung
- Bei der Berechnung der aufnehmbaren Normalkraft wird grundsätzlich von starrplastischem Materialverhalten ausgegangen (Spannungsblock)
- Die einwirkenden Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung (insbesondere Momente am Wand-Decken-Knoten) werden in der Regel an einem Rahmensystem unter Berücksichtigung linear-elastischen Materialverhaltens ermittelt
- Die Berücksichtigung der Einwirkungen nach Theorie II. Ordnung erfolgt über eine Abminderung der aufnehmbaren Normalkraft

Auswirkungen des Teilsicherheitskonzeptes bei unterschiedlichen Einwirkungskombinationen

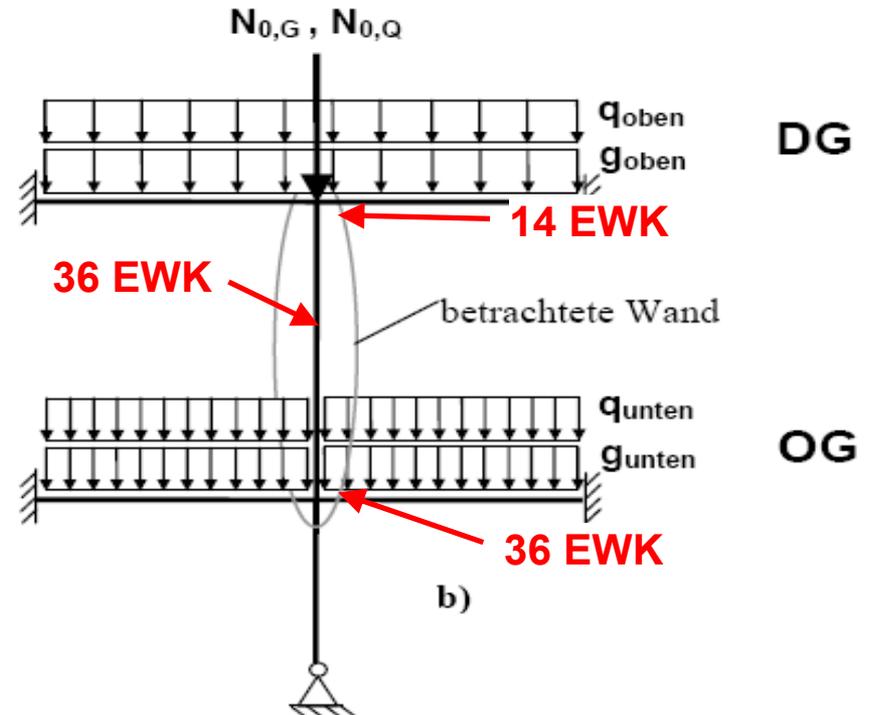
$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,k1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

- Differenzierung der Teilsicherheitsbeiwerte und Einführung von Kombinationsbeiwerten führt zu einer Vielzahl möglicher Einwirkungskombinationen
- Für den jeweiligen Bemessungsfall ist nur eine Einwirkungskombination maßgebend
- Schwierigkeiten bei der Bestimmung der maßgebenden Einwirkungskombination

Außenwand



Innenwand



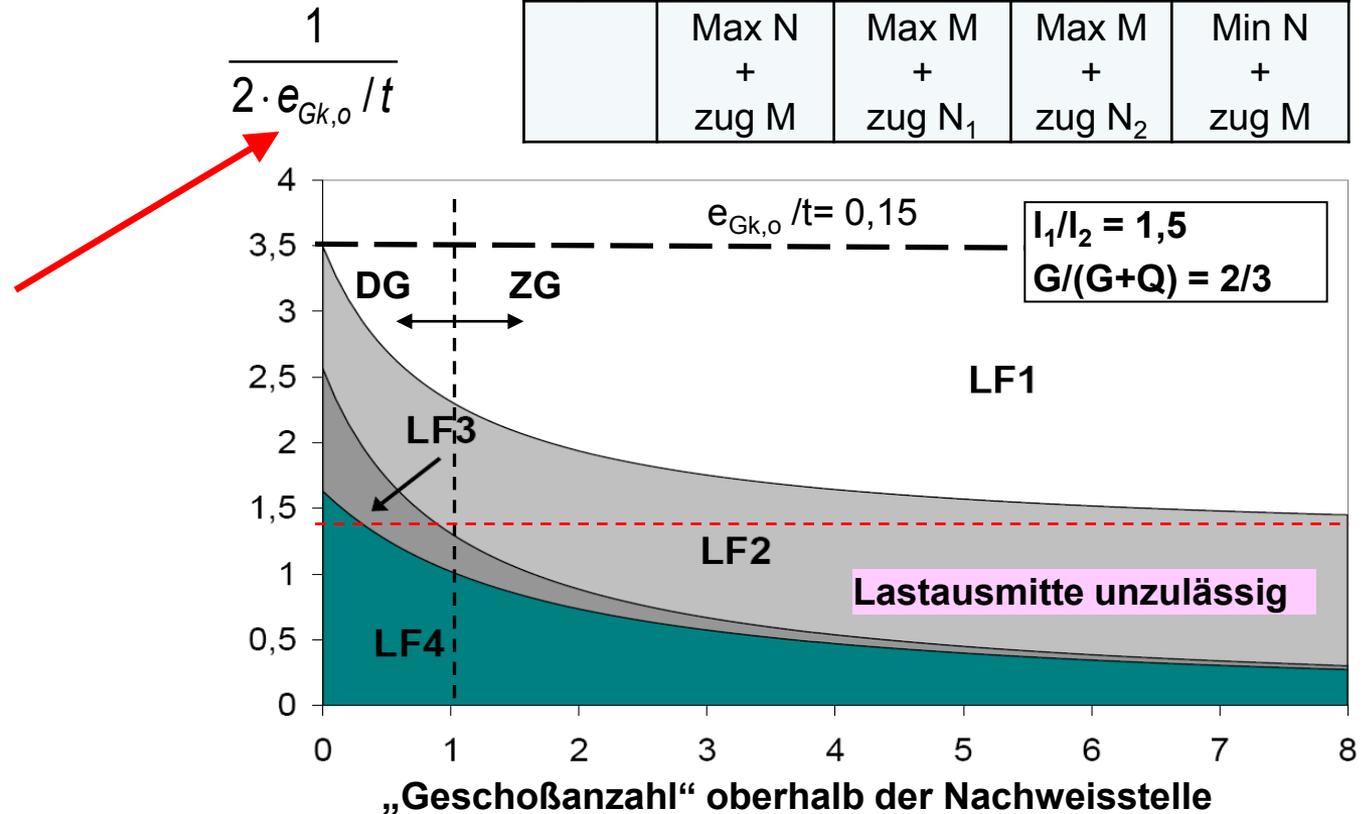
Einflussfaktoren:

- Lage des Knotens
- Verteilung der Windmomente
- Systemgrößen (Kriechbeiwert, Schlankheit)
- Nutzlastanteil
- Stützweitenverhältnis

Schnittgrößenermittlung: Einwirkungskombinationen

- Beispiel:
Nachweis am Kopf der Innenwand
- Maximal 4 EWK im DG
- 2 mögliche EWK in darunterliegenden Zwischengeschossen
- Bestimmung der maßgebenden EWK über die Ausmitte $e_{Gk,0}$ aus ständiger Last auf der anschließenden Geschossdecke

| | LF1 | LF2 | LF3 | LF4 |
|-----------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|
| γ_G | 1,35 | 1,35 | 1,35 | 1,0 |
| $\gamma_{Q,0}$ | 1,5 | 1,5 | 0 | 0 |
| $\gamma_{Q,li}$ | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| $\gamma_{Q,re}$ | 1,5 | 0 | 0 | 0 |
| | Max N + zug M | Max M + zug N_1 | Max M + zug N_2 | Min N + zug M |

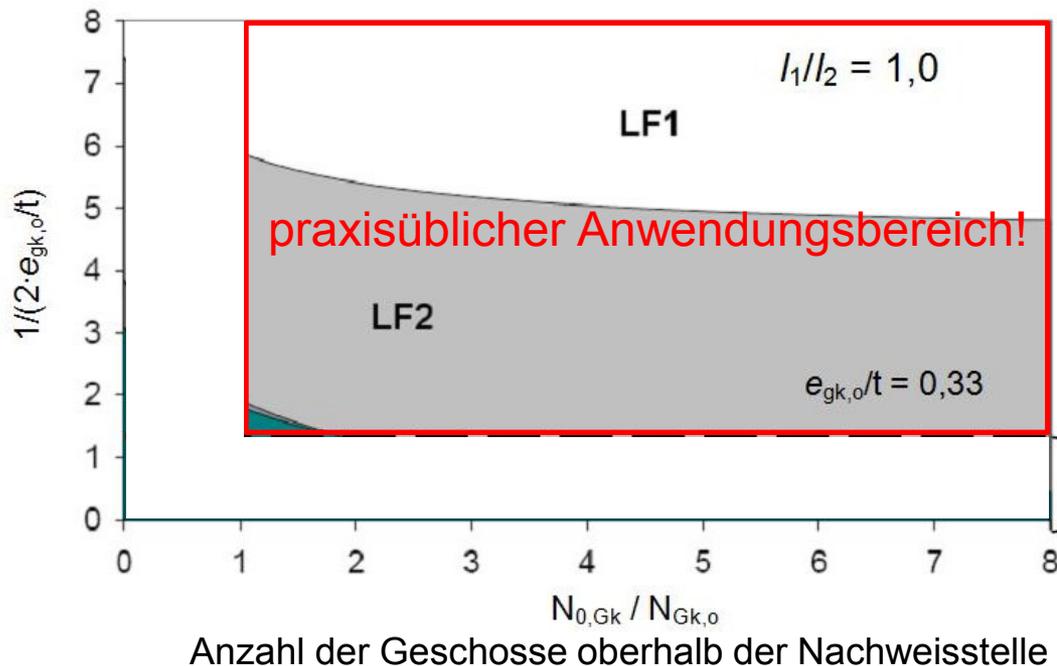


Schnittgrößenermittlung: Einwirkungskombinationen nach EC 0

Auswirkungen des Teilsicherheitskonzeptes bei unterschiedlichen Einwirkungskombinationen

Beispiel: Wand-Decken-Knoten einer Innenwand aus Mauerwerk

In der Praxis sind nur **2** Kombinationen relevant !



$$\text{LF1} = \max N + \text{zug } M$$

$$\text{LF2} = \max M + \text{zug } N_1$$

$$\text{LF3} = \max M + \text{zug } N_2$$

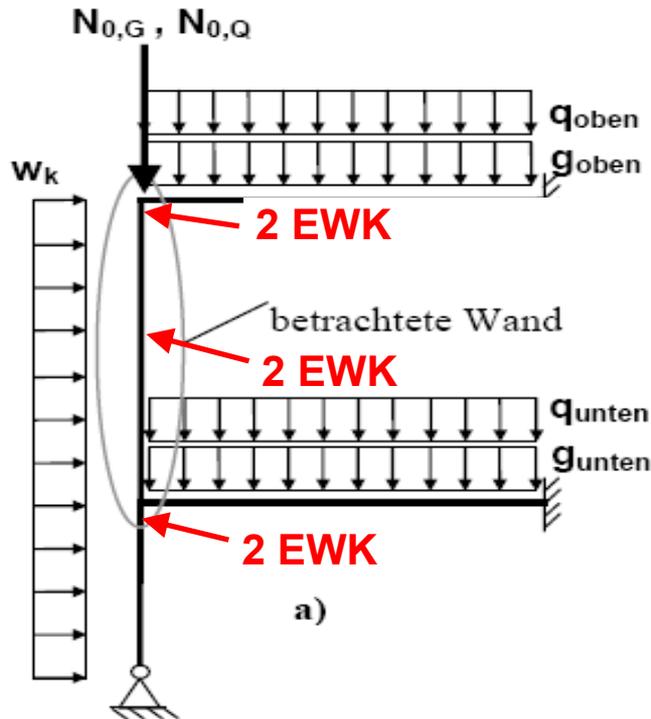
$$\text{LF4} = \min N + \text{zug } M$$

$$e_{Gk,o} = M_{Gk,o}/N_{Gk,o}$$

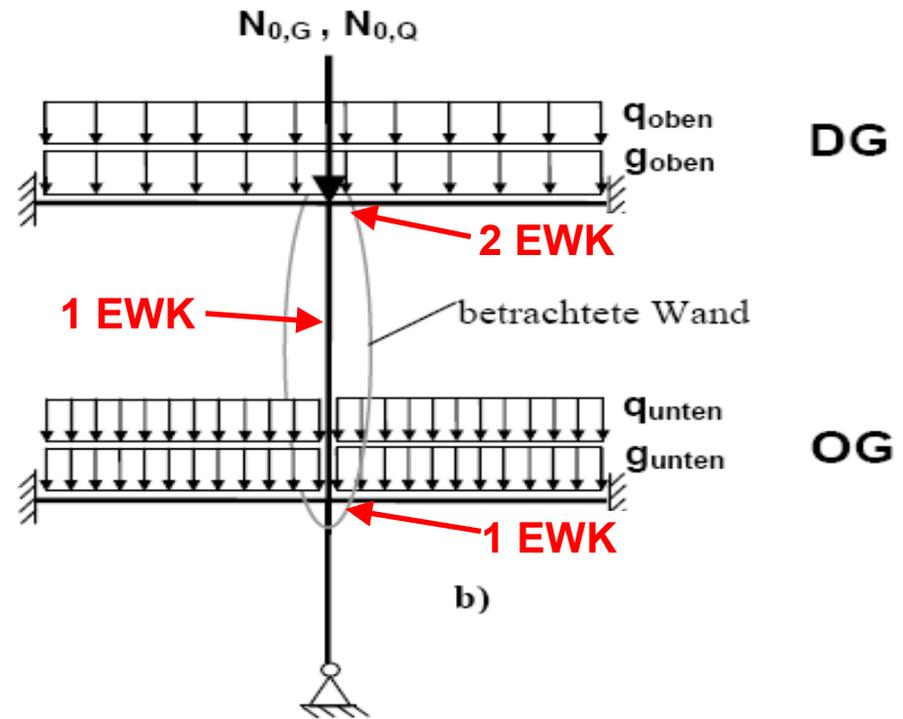
$e_{Gk,o}/t = \text{bez. Lastausmitte}$

$l_1, l_2 = \text{Deckenstützweiten}$

Außenwand



Innenwand



Unter praxisüblichen Randbedingungen und bei vollflächiger Deckenauflagerung ist in fast immer die EWK

max N + zug M (LF1)

bemessungsrelevant !

- Es ist zu prüfen, welche Einwirkungskombination maßgebend wird:
 - maximale Normalkraftbeanspruchung (max N + zugehörig M)
 - maximale Momentenbeanspruchung (max M + zugehörig N)
 - minimale Normalkraft (min N_{Gk} + zugehörig M)
(üblicherweise nur bei Windscheiben, niedrigen Auflasten und stark unterschiedlichen Deckenstützweiten bemessungsrelevant)

Wichtig: Die Bestimmung von Einwirkungskombinationen ist nur im Genaueren Berechnungsverfahren relevant!

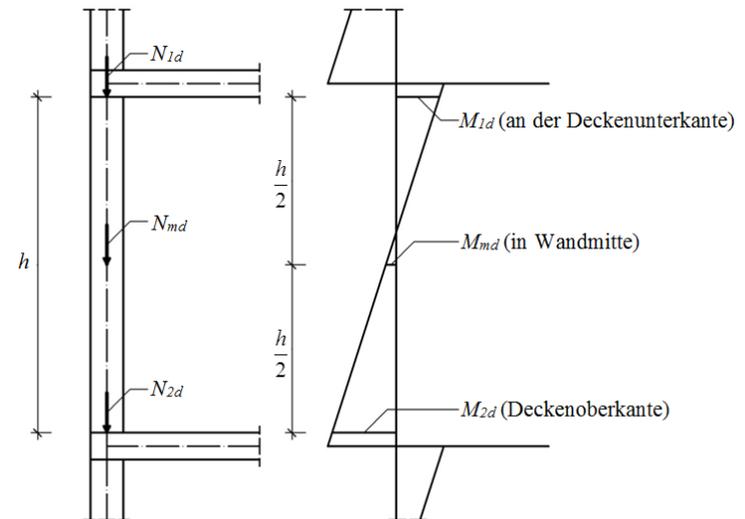
Im vereinfachten Berechnungsverfahren ist immer die maximale Normalkraft bemessungsrelevant, da Aussteifungsscheiben im Regelfall nicht nachgewiesen werden müssen

- DIN EN 1996-1-1/NA Anhang C:

„Die Berechnung der Lastausmitte am Wand-Decken-Knoten sollte mit Hilfe einer geeigneten Modellbildung nach den anerkannten Regeln der Technik erfolgen. Der Einfluss der Deckenverdrehung auf die Ausmitte der Lasteintragung in die Wände ist dabei zu berücksichtigen“

- Vorhandene Verfahren

- Verfahren nach DIN EN 1996-1-1/NA Anhang C:
- Verfahren nach Cross-Kani
- Rahmenberechnung unter Ansatz der tatsächlichen Biegesteifigkeiten von Wänden und Decken



Legende

- 1) M_{1d} (an der Deckenunterkante)
- 2) M_{md} (in Wandmitte)
- 3) M_{2d} (Deckenoberkante)

- Es dürfen die Regeln des Vereinfachten Berechnungsverfahrens angewandt werden!
- Abweichend davon, darf der Knicklängenbeiwert für ρ_2 für zweiseitig gehaltene Wände folgendermaßen ermittelt werden:

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

- h = lichte Höhe
- ρ_2 = Knicklängenbeiwert für zweiseitig gehaltene Wand

| Ermittlung nach dem Genaueren Berechnungsverfahren | |
|--|---------------------------------|
| Exzentrizität e [cm] | Abminderungsfaktor ρ_2 [-] |
| $e \leq t/6$ | 0,75 |
| $e \geq t/3$ | 1,0 |

Eine Abminderung der Knicklänge ist jedoch nur zulässig, wenn erforderliche Auflagertiefen a gegeben sind:

$t < 12,5$ cm $a \geq 10,0$ cm

$t \geq 12,5$ cm $a \geq 2/3 \cdot t$

e = planmäßige Ausmitte des Bemessungswertes der Längsnormalkraft am Wandkopf (ohne Berücksichtigung einer ungewollten Ausmitte).

Genauerer Nachweisverfahren

Nachweis auf Biegung und Normalkraft

- Normalkraft und Biegung (Grenzzustand der Tragfähigkeit)

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = \Phi_{o,u,m} \cdot f_d \cdot A$$

Die aufnehmbare Normalkraft hängt maßgeblich von der vorhandenen Lastexzentrizität *e ab!*

Φ = Abminderungsfaktor am Wandkopf, -fuß und in Wandmitte

A = wirksame Querschnittsfläche, ggf. unter Berücksichtigung von Schlitzten und Aussparungen

f_d = Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

(Bei Wandquerschnitten $A < 0,1 \text{ m}^2$ ist die Druckfestigkeit mit dem Faktor $(0,7 + 0,3 \cdot A [\text{m}^2])$ zu multiplizieren)

- Abminderungsfaktor am Wandkopf / Wandfuß:

$$\Phi_{o,u} = 1 - 2 \cdot \frac{e_i}{t}$$

- Dabei ist e_i die Lastexzentrizität am Kopf bzw. Fuß der Wand $e_i = \frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{he} \geq 0,05 \cdot t$

M_{id} = Bemessungswert des Biegemomentes, resultierend aus der Exzentrizität der Deckenauflegerkraft am Kopf bzw. Fuß der Wand

N_{id} = Bemessungswert der am Kopf bzw. Fuß der Wand wirkenden Vertikalkraft

e_{he} = Ausmitte am Kopf / Fuß der Wand infolge horizontaler Lasten (z.B. Wind)

Stabilitätsversagen bzw. zum Spannungsversagen nach Theorie II.Ordnung nach DIN EN 1996-1/NA

- Knicksicherheitsnachweis (Näherungsverfahren)
 - Zusatzausmitte nach Theorie II.Ordnung darf vereinfacht berechnet werden ohne Unterscheidung zwischen gerissenem bzw. ungerissenem Querschnitt
 - Die Ausmitte enthält Kriech- und Schwindeinflüsse in Abhängigkeit von der Grenزشlankheit
 - Die Zusatzausmitte wird zur Ausmitte nach Theorie I. Ordnung in Wandmitte addiert
- Für den Nachweis der Knicksicherheit in halber Geschosshöhe ist der Abminderungsfaktor Φ_m zu verwenden:

$$\Phi_m = 1,14 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{mk}}{t}\right) - 0,024 \cdot \frac{h_{ef}}{t} \leq 1 - 2 \cdot \frac{e_{mk}}{t}$$

Exzentrizität der Beanspruchung

Effekte der Traglastminderung infolge der Verformungsanteile nach Theorie II.Ordnung

Genauerer Nachweisverfahren

Nachweis der Knicksicherheit in Wandmitte

- e_{mk} = Ausmitte der Last in halber Wandhöhe:

$$e_{mk} = e_m + e_k \geq 0,05 \cdot t$$

- e_m = Ausmitte der einwirkenden Lasten:

$$e_m = \frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{hm} + e_{init}$$

- M_{md} und N_{md} = Bemessungswerte in halber Wandhöhe, einschließlich der Biegemomente aus allen anderen ausmittig angreifenden Lasten (z. B. Wandschränke)
- $e_{init} = h_{ef}/450$ ungewollte Ausmitte (parabolisch über die Wandhöhe)
- e_{hm} = Ausmitte in Wandmitte infolge horizontalen Lasten (z.B. Wind)
- e_k = Krieचाusmitte:

$$e_k = 0,002 \cdot \phi_{\infty} \cdot \frac{h_{ef}}{t} \cdot \sqrt{t \cdot e_m}$$

$$\lambda \leq \lambda_c \Rightarrow e_k = 0$$

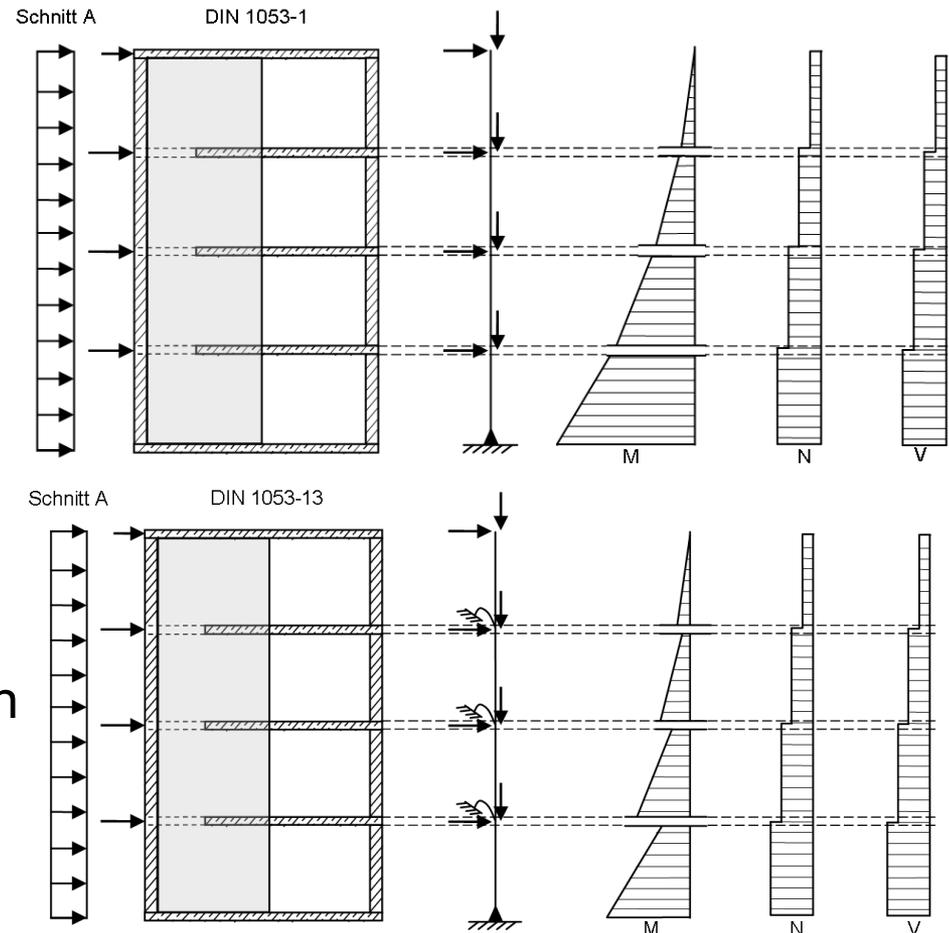
| Mauerwerk | Endkriechzahl ϕ_{∞} (Rechenwert) | Grenz- schlankheit λ_c |
|---|--|--------------------------------------|
| Porenbeton / DM | 0,5 | 20 |
| Ziegel / NM Betonsteine / NM | 1,0 | 15 |
| KS / NM, DM | 1,5 | 12 |
| Ziegel / LM Leichtbetonsteine / NM, DM, LM | 2,0 | 10 |

- Ermittlung der Schnittgrößen bei Scheiben nach 2 Modellen möglich:

- Kragarmmodell nach
DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu 6.2

-> Modell aus DIN 1053-1
übernommen.

- Berücksichtigung der positiven
Effekte aus der Einspannung
sowie rückstellenden Kräften nach
DIN EN 1996-1-1/NA Anhang K



Schnittgrößenermittlung bei Scheiben - Kragarmmodell

▪ Biegedrucknachweis:

Abminderungsfaktor bei überwiegend in Wandlängsrichtung biegebeanspruchten Querschnitten:

$$\Phi = 1 - 2 \cdot \frac{e_w}{l}$$

$$e_w = \frac{M_{Ewd}}{N_{Ed}}$$

Es ist min N_{ED} und max N_{ED} zu prüfen!

- e_w = Exzentrizität der einwirkenden Normalkraft in Wandlängsrichtung
- M_{Ewd} = Bemessungswert des in Wandlängsrichtung einwirkenden Momentes
- N_{Ed} = Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft
(in der Regel $1,0 \cdot N_{Gk}$)
- l = Länge der Wandscheibe

Schnittgrößenermittlung bei Scheiben – DIN EN 1996-1-1/NA Anhang K

- Schubschlankheit λ_v

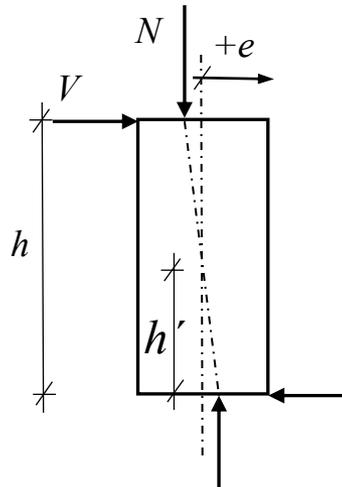
=> „ideelle“ Schlankheit von horizontal (querkraftbeanspruchten) Wandscheiben um deren starke Achse darstellt.

$$\lambda_v = \psi \cdot \frac{h}{l}$$

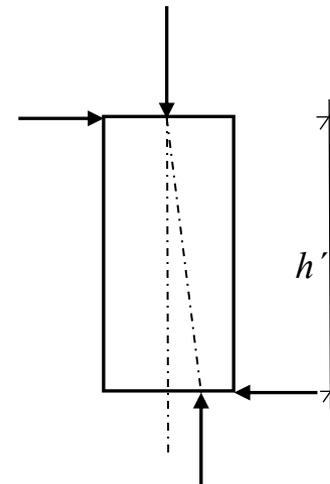
- Der Beiwert ψ beschreibt die vorhandene Momentenverteilung über die Wandscheibenhöhe und ergibt sich aus der Lage des Momentennullpunktes bezogen auf die Wandscheibenhöhe h :

$$\psi = \frac{1}{1 - \frac{e_o}{e_u}} > 0 \quad \text{für} \quad |e_u| > |e_o|$$

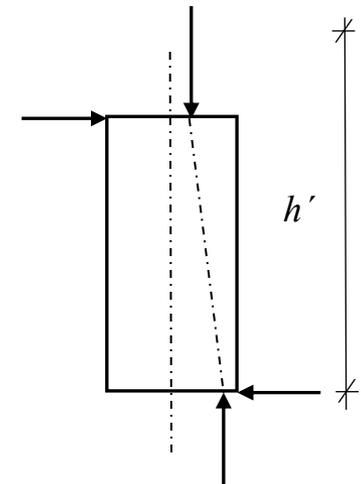
$$\psi = \frac{1}{1 - \frac{e_u}{e_o}} > 0 \quad \text{für} \quad |e_u| \leq |e_o|$$



$$-e_o = e_u \\ \psi = h'/h = 0,5$$



$$e_o = 0; e_u > 0 \\ \psi = h'/h = 1,0$$



$$e_o/e_u < 1,0 \\ \psi = h'/h > 1,0$$

Schnittgrößenermittlung bei Scheiben – DIN EN 1996-1-1 /NA Anhang K und kombinierte Beanspruchung

- Für den Biegenachweis um die starke Achse von Aussteifungsscheiben darf der Abminderungsfaktor Φ_i angenommen werden zu:

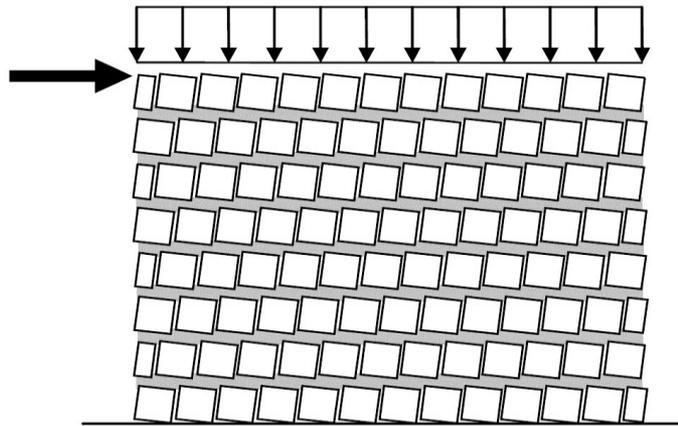
$$\Phi = \Phi_i = 1 - 2 \frac{V_{Ed}}{N_{Ed}} \cdot \lambda_v$$

Es ist min N_{ED} und max N_{ED} zu prüfen!

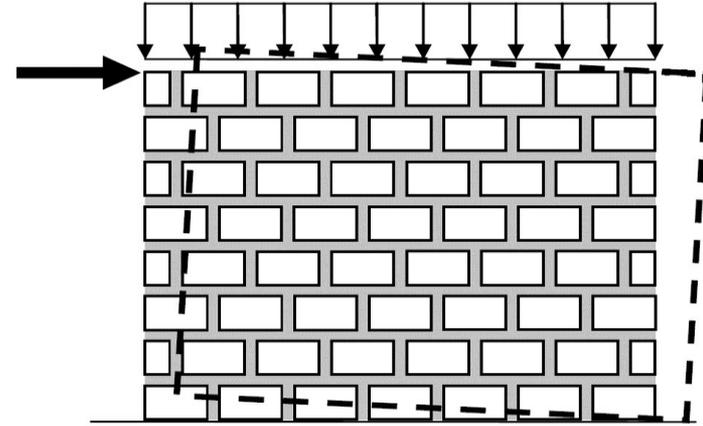
- Φ_i = Abminderungsfaktor an der maßgebenden Nachweisstelle am Wandkopf bzw. am Wandfuß; bei kombinierter Beanspruchung in Wandmitte.
 - V_{Ed} = $1,5 \cdot V_k \Rightarrow$ maximale Querkraft
 - N_{Ed} = $1,0 \cdot N_k \Rightarrow$ minimale Normalkraft sowie $1,5 \cdot N_k \Rightarrow$ maximale Normalkraft
 - λ_v = $\psi \cdot h / l \Rightarrow$ Schubschlankheit der Wand
 - h = lichte Geschosshöhe
 - l = Länge der Wandscheibe.
 - ψ = Kennwert zur Beschreibung der Momentenverteilung (s. Folie 36)
- **Biegedrucknachweis bei kombinierter Beanspruchung:**
Bei Aussteifungswänden ist sowohl am Wandfuss als auch in Wandhöhenmitte nachzuweisen, dass die aus Doppelbiegung entstehenden Beanspruchungen aufgenommen werden können.

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = \Phi_y \cdot \Phi_z \cdot t \cdot l \cdot f_d$$

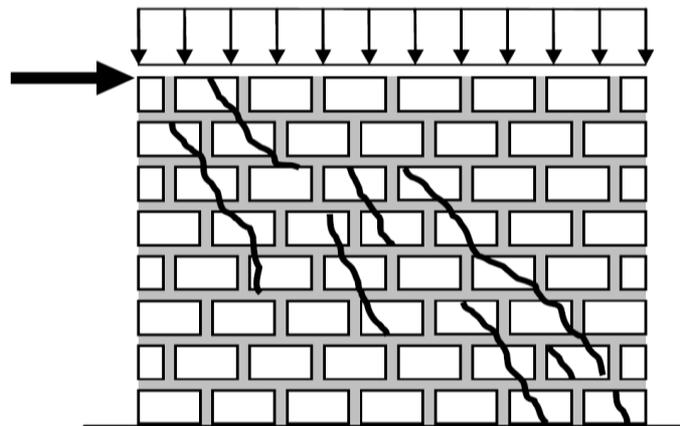
Versagensarten bei Querkraftbeanspruchung



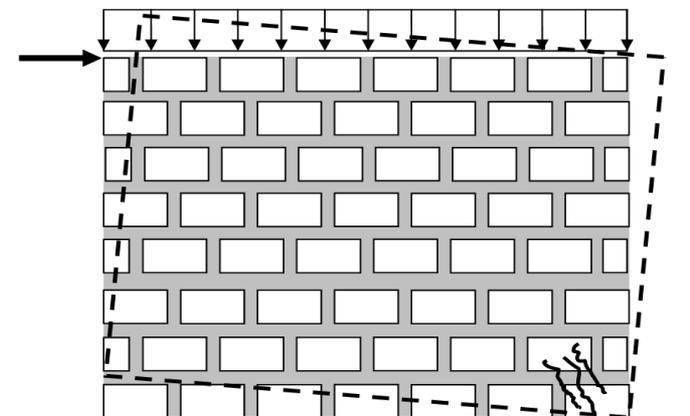
Klaffen der Lagerfugen



Reibungsversagen



Steinzugversagen



Schubdruckversagen

- Dem Querkraftnachweis werden das Kragarmmodell oder das genauere Berechnungsmodell zugrunde gelegt:
 - > Berechnung nach dem Kragarmmodell nach DIN EN 1996-1-1/NA NCI zu 6.2
 - > Berechnung unter Berücksichtigung der positiven Effekte aus der Einspannungswirkung sowie rückstellenden Kräften nach DIN EN 1996-1-1/NA Anhang K
- Die Querkrafttragfähigkeit V_{Rdlt} hängt von der einwirkenden Normalkraft N_{Ed} ab. Im Allgemeinen – außer beim Nachweis gegen Schubdruckversagen (Scheibenrichtung) - kann $N_{Ed} = 1,0 \cdot N_{Gk}$ angenommen werden
- Allgemeine Nachweisgleichung:

$$\gamma_F \cdot V_{Ek} = V_{Ed} \leq V_{Rdlt} \quad V_{Rdlt} = \min \begin{cases} V_{Rdlt} & \Rightarrow \text{Reibungsversagen und Steinzugversagen} \\ V_{Rdlt} & \Rightarrow \text{Schubdruckversagen} \\ V_{Rdlt} & \Rightarrow \text{Fugenversagen durch Kippen der Einzelsteine} \end{cases}$$

Nachweis der Querkrafttragfähigkeit

Schubfestigkeit von Mauerwerk

- Charakteristische Spannung:
- Zulässige Schubspannung (Grenzwert f_{vlt}):

$$f_{vk} = \min(f_{vlt1}; f_{vlt2})$$

| Haftscherfestigkeit f_{vk0} (N/mm ²) | | | | | |
|---|--------|--------|---------|---|-------------------|
| Normalmauermörtel mit einer Festigkeit f_m (N/mm ²) | | | | Dünnbettmörtel (Lagerfugendicke 1 mm bis 3mm) | Leichtmauermörtel |
| NM II | NM IIa | NM III | NM IIIa | | |
| 2,5 | 5,0 | 10,0 | 20,0 | | |
| 0,08 | 0,18 | 0,22 | 0,26 | 0,22 | 0,18 |

Bei Ansatz von f_{vk0} ist die Randdehnung auf $\epsilon_R \leq 10^{-4}$ zu begrenzen.

- Scheibenschub:

- Reibungsversagen:

- Vermörtelte Stoßfugen $f_{vlt1} = f_{vk0} + 0,4 \cdot \sigma_{Dd}$

- Unvermörtelte Stoßfugen $f_{vlt1} = 0,5 \cdot f_{vk0} + 0,4 \cdot \sigma_{Dd}$

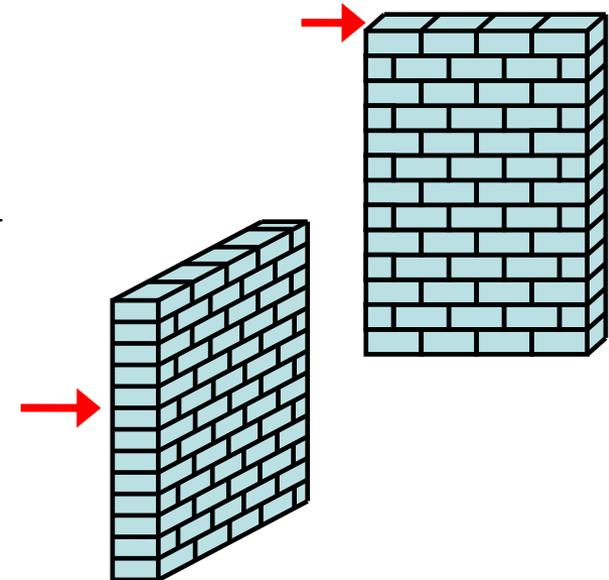
- Steinzugversagen:

$$f_{vlt2} = 0,45 \cdot f_{bt,cal} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_{Dd}}{f_{bt,cal}}}$$

- Plattenschub:

- Vermörtelte Stoßfugen $f_{vlt1} = f_{vk0} + 0,6 \cdot \sigma_{Dd}$

- Unvermörtelte Stoßfugen $f_{vlt1} = 2/3 \cdot f_{vk0} + 0,6 \cdot \sigma_{Dd}$



Querkrafttragfähigkeit bei Scheibenschub: Reibungs- und Steinzugversagen

▪ Tragwiderstand:
$$V_{Rdlt} = \frac{1}{c} \cdot l_{cal} \cdot t \cdot f_{vd}$$

Im Regelfall $\min N_{Ed}$ und zug. M_{Ed}

$$f_{vd} = \frac{f_{vlt}}{\gamma_M (=1,5)}$$

▪ l_{cal} = rechnerische Wandlänge

- Kragarmmodell: - unter Windbelastung: $l_{cal} = \min \{1,125 \cdot l; 1,333 \cdot l_{c,lin}\}$
- Ansonsten: $l_{cal} = \min \{l; l_{c,lin}\}$

$l_{c,lin}$ = überdrückte Wandlänge:

$$l_{c,lin} = \frac{3}{2} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_w}{l}\right) \cdot l \leq l$$

Einfluss der
Stoßfugenvermörtelung
bereits in f_{vd} erfasst
(uv: $0,5 \cdot f_{vko}$, v: $1,0 \cdot f_{vko}$)

▪ Genauere Methode:

$$l_{cal} = \frac{3}{2} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{V_{Ed}}{N_{Ed}} \cdot \lambda_v\right) \cdot l \leq l$$

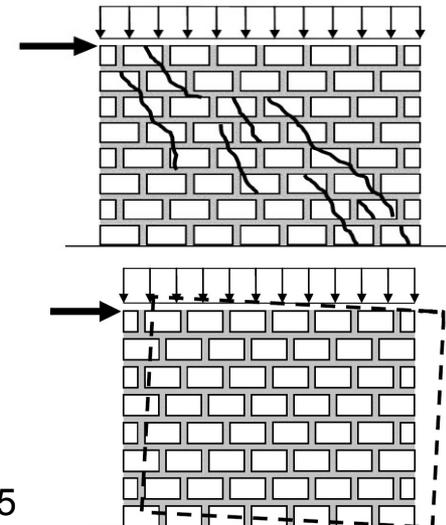
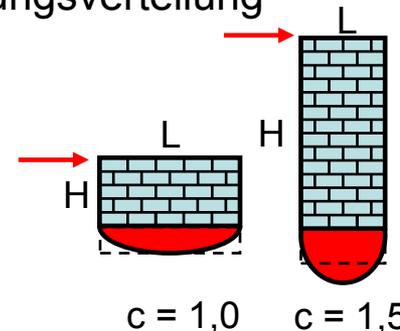
▪ c = Faktor zur Berücksichtigung der Schubspannungsverteilung

▪ gedrungene Wände $H/L \leq 1$ bzw. $\lambda_v \leq 1$:

-> **c = 1,0** (rechteckig)

▪ schlanke Wände $H/L \geq 2$ bzw. $\lambda_v \geq 2$:

-> **c = 1,5** (parabolisch)



Querkrafttragfähigkeit bei Scheibenschub: Schubdruckversagen bei $l_{ol}/h_u < 0,4$

Tragwiderstand:

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

ohne Ansatz eines
Dauerstandfaktors

Im Regelfall $\max N_{Ed}$ und zug. M_{Ed}

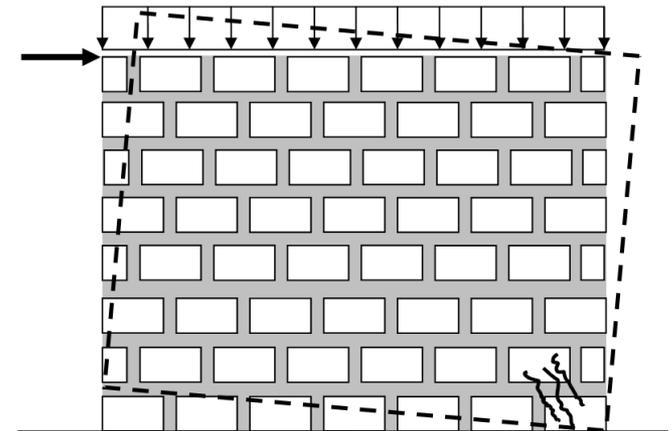
▪ Überdrückte Länge l_c :

▪ Kragarmmodell:

$$l_c = \left(1 - 2 \cdot \frac{e_w}{l} \right) \cdot l \leq l$$

▪ Genauere Methode:

$$l_c = \left(1 - 2 \cdot \frac{V_{Ed}}{N_{Ed}} \cdot \lambda_v \right) \cdot l$$



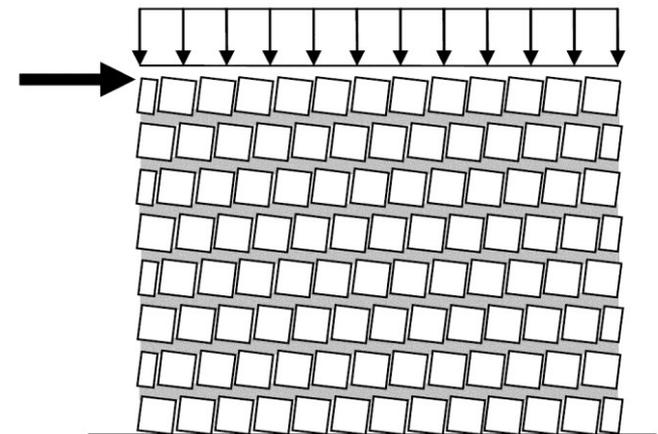
Querkrafttragfähigkeit von **Element-MW** bei Scheibenschub Fugenversagen durch Kippen der Einzelsteine

Nachweis **nur bei Elementmauerwerk** mit außergewöhnlichem Steinformat
 $h_u > l_u$ und **unvermörtelten** Stoßfugen

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

Im Regelfall $\min N_{Ed}$ und zug. M_{Ed}

- Der Nachweis ist halber Wandhöhe zu führen.
- $h =$ Höhe der Wandscheibe
- h_u und $l_u =$ Höhe und Länge des Elementes
- Keine Berücksichtigung der Haftzugfestigkeit senkrecht zur Lagerfuge
- Querschnittstragfähigkeit wird ausschließlich über geometrische Größen mit geringer Streuung bestimmt und ist unabhängig von der Materialfestigkeit.



Querkrafttragfähigkeit bei Plattenschub

- Tragfähigkeit:

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

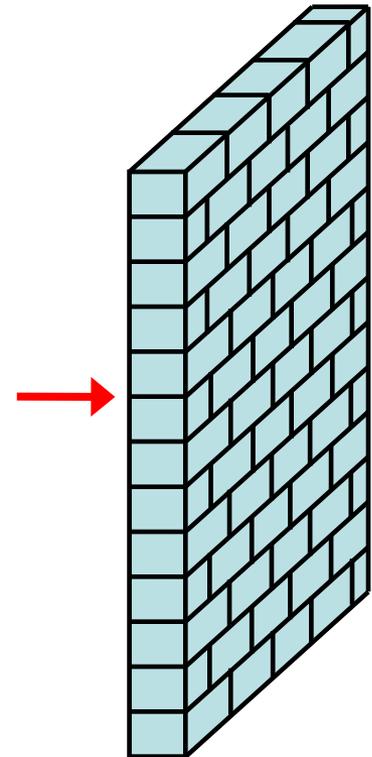
Im Regelfall $\min N_{Ed}$ und zug. M_{Ed}

- t_{cal} = rechnerische Wanddicke
 - am Wandfuß: $t_{cal} = \min \{t; 1,25 \cdot t_{c,lin}\}$,
 - ansonsten: $t_{cal} = \min \{t; t_{c,lin}\}$

- überdrückte Wanddicke $t_{c,lin}$:

$$t_{c,lin} = \frac{3}{2} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e}{t}\right) \cdot t \leq t$$

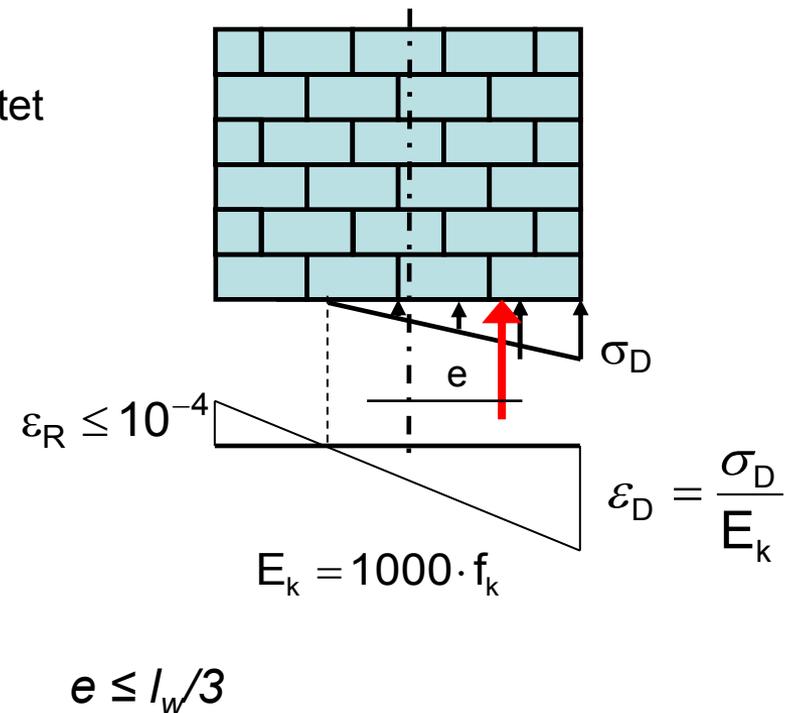
- Der Nachweis ist am Wandkopf und -fuß zu führen.
- Bei gleichzeitig vorhandenem Scheibenschub gilt $l = l_{c,lin}$
- Konstanter Faktor der Schubspannungsverteilung $c = 1,5$



Plattenschub

Nachweis der Lastausmitte im Gebrauchszustand

- Bei Berücksichtigung des Rechenwertes der Haftsscherfestigkeit f_{vko} bei der Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit ist bei Windscheiben mit klaffender Fuge ($e \geq l_w/6$) zusätzlich nachzuweisen, dass die rechnerische Randdehnung unter **der seltenen Einwirkungskombination** auf der Zugseite den Wert $\varepsilon_R = 10^{-4}$ nicht überschreitet.
- Falls beim Scheibenschubnachweis auf die Berücksichtigung der Haftscherfestigkeit verzichtet wird, darf für den Nachweis die **häufige Einwirkungskombination** angesetzt werden.
- Ein Aufreißen des Querschnitts **unter Gebrauchlasten** über den Schwerpunkt hinaus ist nicht zulässig. ($e \leq l_w/3$)



- Mindestabmessungen:
 - Mindestwandstärke: $t \geq 115 \text{ mm}$ (DIN EN 1996-1-1)
 $t \geq 150 \text{ mm}$ (DIN EN 1996-3 bei tragenden Außenwänden)
 $t \geq 300 \text{ mm}$ (DIN EN 1996-3, Anhang A bei teilauf liegender Decke)
- Mindestwandfläche: $A \geq 0,04 \text{ m}^2$ (unter Berücksichtigung von Schlitzten und Aussparungen)
- Deckenaufleger:
 - $a \geq t/3 + 40 \text{ mm}$ bzw. 100 mm (DIN EN 1996-1-1)
 - $a \geq 2/3 \cdot t$ bei abgeminderter Knicklänge (DIN EN 1996-1-1)
 - $a \geq t/2$ bzw. 100 mm bzw. $a \geq 0,45 \cdot t$ bei $t \geq 365 \text{ mm}$ (DIN EN 1996-3)
 - $a \geq 2/3 \cdot t$ (DIN EN 1996-3 Anhang A)
- Überbindemaß:
 - $l_{0l} \geq 0,4 \cdot h_u$ bzw. 45 mm
 - $l_{0l} \geq 0,2 \cdot h_u$ bzw. 125 mm bei Elementmauerwerk
- Lagerfugendicke:
 - $d_L = 12 \text{ mm}$ bei Normalmörtel und Leichtmörtel
 - $d_L = 3 \text{ mm}$ bei Dünnbettmörtel
- Stoßfugenbreite: $d_s = 10 \text{ mm}$ bei Normal- und Leichtmörtel

- Nachweisführung auf Grundlage eines semiprobabilistischen Sicherheitskonzeptes
- Die generelle Nachweisführung hat sich gegenüber DIN 1053-1 (1996) nur punktuell verändert; ein Vereinfachtes und ein Genaueres Berechnungsverfahren stehen weiterhin zur Verfügung
- Die teilweise Auflagerung einer Decke auf der Wand (Lastexzentrizität) kann auch im Vereinfachten Berechnungsverfahren ($a < t$) berücksichtigt werden.
- Die Schnittgrößenermittlung bei horizontal beanspruchten Aussteifungsscheiben muss nicht zwingend nach dem Kragarmmodell, sondern kann auch nach einem Modell unter Berücksichtigung der günstigen Wirkung einer Einspannung der Wand in die Geschossdecken erfolgen.
- Nach DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-3 ergeben sich im Regelfall ähnliche Tragfähigkeiten wie nach DIN 1053-1

**Bis zur formalen bauaufsichtlichen Einführung (1.1.2014)
darf für die Bemessung im Kaltfall
DIN EN 1996 gleichwertig zu DIN 1053-1 verwendet werden**

Broschüre – Bemessung von Ziegelmauerwerk nach DIN EN 1996-3/NA



Download unter:

www.klb-klimaleichtblock.de

-> Bemessung

-> Fachbücher und Broschüren

Herausgeber:

KLB Klimaleichtblock GmbH