

Theorie zu Mauerwerksnachweisen

Seite überarbeitet November 2023

• Kontakt • Programmübersicht Handbuch 

Infos auf dieser Seite

... als pdf 

• Materialparameter  • Standsicherheitsnachweise  • Literatur 

Materialparameter für die Mauerwerksnachweise (Basics)

pcae-Programme unterstützen - je nach Ausbaustufe - folgende Bemessungsregeln (Normen)

- DIN 1053-100 - Mauerwerk - Berechnung auf der Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts
- DIN EN 1996 (Eurocode 6) - Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten

Beide Normen beruhen auf dem Teilsicherheitskonzept und sind bis auf wenige Unterschiede identisch.

Im Folgenden werden die Materialparameter beschrieben, die von **pcae** verwendet werden.

Je nach Programmausbaustufe wird jedoch ggf. nur eine Teilmenge der u.a. Materialparameter angeboten werden.

Mauerwerk

Eine Mauerwerkswand setzt sich aus Steinen und Mörtel zusammen.

Da besonders die Festigkeit der Steine vom jeweiligen Standort der Herstellung abhängt, ist die Ermittlung der Materialparameter und damit auch die Bezeichnung des Werkstoffs in den nationalen Normen zu regeln.

In **pcae**-Programmen wird daher bei einer Eurocode-Bemessung, die sich nicht auf Deutschland bezieht (nicht NA-DE), die *freie Parametereingabe* vorausgesetzt (s.u.).

Der Baustoff kann als spezifiziertes oder typisiertes Mauerwerk beschrieben werden. Ferner steht – besonders für die nicht-deutsche EC 6 Anwendung – die freie Parametervorgabe zur Verfügung.

spezifiziertes Mauerwerk

In Auswahlboxen werden die möglichen Mauersteintypen und Mörtelgruppen angeboten.

Baustoff

spezifiziertes Mauerwerk nur für deutsche Normen verfügbar

Kalksandstein KS-R P SFK 20

KS-R-Plansteine

Dünnbettmörtel DM Stoßfuge unvermörtelt

In Abhängigkeit der Mauersteinarten werden die gängigen Typen nach

- DIN 105 bzw. EN 771-1 Mauerziegel
- DIN 106 bzw. EN 771-2 Kalksandsteine
- DIN 18151/52 bzw. EN 771-3 Leichtbetonsteine
- DIN 18153 bzw. EN 771-3 Betonsteine
- DIN 4165/66 bzw. EN 771-4 Porenbetonsteine

(entnommen aus **Gunkler/Budermann** bzw. **EC 6**) angeboten.

Es können auch Poroton-Planziegel ausgewählt werden, deren Rechenwerte allerdings über eine Einzelzulassung geregelt sind, die sich derzeit (8/2013) noch auf DIN 1053 (11'96) bezieht. Daher ist streng genommen eine Bemessung nach DIN 1053-100 bzw. EC 6 nicht zulässig. Die entsprechenden Parameter sind zusätzlich vorzugeben.

Die Steifigkeiten (Tab. 4 und 5)

- 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 28, 36, 48, 60

und die Mörtelgruppen

- I, II, IIa, III, IIIa, Dünnbettmörtel DM, Leichtmörtel LM 21, Leichtmörtel LM 36

können aus den Listen frei gewählt werden.



Es erfolgt keine Plausibilitätsüberprüfung der eingegebenen Werte.

typisiertes Mauerwerk

In Auswahlboxen werden die möglichen Mauerstein- und Mörtelgruppen angeboten.

typisiertes Mauerwerk nur für deutsche Normen verfügbar

Steinsorte	Kalksandstein	▼
Steinart	Vollstein	▼
Steinfestigkeitsklasse	20	▼
Mörtelgruppe	DM	▼

Stoßfuge unvermörtelt

Nach DIN 1053-100, 9.6 (Tab. 3), bzw. EC 6, 3.1.1, können

- Mauerziegel, Kalksandsteine, Leichtbetonsteine, Betonsteine und Porenbetonsteine

als (s. 9.9.5.2,b bzw. EC 6, NA-DE, NDP zu 3.6.2(3),b)

- Hohlblockstein, Hochlochstein (Steine mit Grifflöchern), Vollstein

ausgewählt werden.

Steinfestigkeitsklasse und Mörtelgruppe analog zu *spezifiziertes Mauerwerk*.

freie Parametereingabe

Die Eingabe eines *spezifizierten* oder *typisierten* Mauerwerks hat zur Folge, dass die folgenden Materialparameter vom Programm berechnet bzw. belegt werden.

Der Anwender hat an dieser Stelle jedoch die Möglichkeit, davon abweichende Werte einzugeben, um ggf. nicht erfasste Mauerwerkstypen zu definieren.

Bei Nachweisen nach EC 6 ohne deutschen Anhang (ohne NA-DE) ist die Vorgabe der folgenden Parameter obligatorisch.

freie Parameter Eingabe für nicht-deutsche Normen erforderlich !

Mauerwerksdruckfestigkeit	f_k	10.51	MN/m ²	
Elastizitätsmodul	E_M	9980.8	MN/m ²	
Steindruckfestigkeit	f_{bk}	25.00	MN/m ²	
Steinzugfestigkeit	f_{bz}	0.80	MN/m ²	
Haftscherfestigkeit	f_{vk0}	0.22	MN/m ²	
		<input checked="" type="checkbox"/> Stoßfuge unvermörtelt		
Biegefestigkeit (Bruch parallel)	f_{xk1}	0.20	MN/m ²	nicht NA-DE
Biegefestigkeit (Bruch senkrecht)	f_{xk2}	0.30	MN/m ²	nicht NA-DE

Die Biegefestigkeit ist nur bei Wänden, die durch Horizontallasten auf Plattenbiegung beansprucht werden, relevant und wird bei deutschen Normen vom Programm berechnet.

Materialsicherheit

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit ergibt sich die Bemessungsdruckfestigkeit des Mauerwerks n. DIN 1053-100, 9.9.1.1, bzw. EC 6, 2.4.1, zu

$$f_d = \eta \cdot f_k / \gamma_M \quad \dots \text{ mit } \dots \gamma_M = k_0 \cdot \gamma_{M0}$$

η Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung von Langzeitauswirkungen etc.

Dazu werden n. DIN 1053-100, Tab. 1, neben den Materialparametern (s.o.) in Abhängigkeit der Bemessungssituation folgende Werte gesetzt

$$\gamma_{M0} = 1.5 \quad \dots \text{ und } \dots \eta = 0.85 \quad \text{normale Einwirkungen}$$

$$\gamma_{M0} = 1.3 \quad \dots \text{ und } \dots \eta = 1.0 \quad \text{außergewöhnliche Einwirkungen}$$

Zudem können die Beiwerte direkt angegeben werden.

γ_{M0}	1.50	Sicherheitsbeiwert (Grundwert)
η	0.850	Abminderungsbeiwert ($0.85 \leq \eta \leq 1.0$)
nur NA-DE		

Nach EC 6, 2.4.3, 2.4.4, werden die Sicherheitsbeiwerte im nationalen Anhang geregelt, der Abminderungsbeiwert ist nur bei deutschen Anhängen (NA-DE) relevant.

Im Mauerwerksbau wird der Materialsicherheitsbeiwert γ_M um einen Faktor $k_0 \geq 1$ erhöht, wenn ungeschwächte *kurze Wände* (s. **Voraussetzungen**) bemessen werden sollen.

Eine *kurze Wand* liegt vor, wenn die Querschnittsfläche der Wand $A < 0.1 \text{ m}^2$ ist.

Im Programm wird die Eingabe von k_0 nur berücksichtigt, wenn eine *kurze Wand* vorliegt.

k_0	0.00	bei kurzen Wänden: $1.0 \leq k_0 \leq 1.25$
wenn $k_0 = 0 \Rightarrow k_0$ nach Norm		

Nach EC 6, 6.1.2.1(3), wird der Erhöhungsfaktor berechnet zu

$$k_0 = 1 / (0.7 + 3 \cdot A) \geq 1$$

Standsicherheitsnachweise für unbewehrtes Mauerwerk (Basics)

pcae-Programme unterstützen - je nach Ausbaustufe - folgende Bemessungsregeln (Normen)

- DIN 1053-100 - Mauerwerk - Berechnung auf der Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts
- DIN EN 1996 (Eurocode 6) - Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten

Beide Normen beruhen auf dem Teilsicherheitskonzept und sind bis auf wenige Unterschiede identisch.

Im Folgenden werden sämtliche Nachweise beschrieben, die von **pcae** unterstützt werden.

Je nach Ausbaustufe des Programms kann jedoch ggf. nur eine Teilmenge der u.a. Nachweise angeboten werden.

Voraussetzungen

- wird nach DIN 1053-100 bemessen, sind die Grundlagen der DIN 1055-100 zu beachten.
Eurocode 6 basiert auf den Eurocode-Normen DIN EN 1990 (Eurocode 0) und DIN EN 1991 (Eurocode 1).
- Wände mit Querschnittsflächen $A < 400 \text{ cm}^2$ (DIN 1053-100, 8.9.1.1) sind nicht tragend und daher unzulässig
- Wände mit Querschnittsflächen $A < 1000 \text{ cm}^2$ (DIN 1053-100, 5.3 bzw. EC 6, 6.1.2.1(3)) sind *kurze Wände*.
Für sie muss mit erhöhter Sicherheit bemessen werden (s. **Materialsicherheit**).
- die Schlankheit einer i.W. vertikal beanspruchten Wand $\lambda = h_k/d$ darf nicht größer sein als
 $\lambda_{\max} = 25$ (DIN 1053-100, 9.9.1.3) bzw. $\lambda_{\max} = 27$ (EC 6, 5.5.1.4)
- dreiseitig (an einer Seite ausgesteift) gehaltene Wände dürfen eine Wandlänge von der 15-fachen Wanddicke nicht überschreiten (DIN 1053-100, 8.7.1, bzw. EC 6, 5.5.1.2(7))
- vierseitig (an beiden Seiten ausgesteift) gehaltene Wände dürfen eine Wandlänge von der 30-fachen Wanddicke nicht überschreiten (DIN 1053-100, 8.7.1, bzw. EC 6, 5.5.1.2(7))

- Pfeiler werden in beiden Richtungen gleichwertig auf Längskraft mit/ohne Biegung bemessen

Sicherheitskonzept

Es wird die Teilsicherheitsmethode angewandt, bei der die Einwirkungen nach der Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens mit Sicherheitsbeiwerten behaftet werden (DIN 1055-100 bzw. EC 0 und EC 1).

Auf der Widerstandsseite wird die charakteristische Größe durch den maßgebenden Materialsicherheitsbeiwert γ_M geteilt (DIN 1053-100 bzw. EC 6), wodurch sich der entsprechende Bemessungswert ergibt.

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) sind sowohl die normale (ständige und veränderliche) als auch die außergewöhnliche Bemessungssituation (Katastrophe und Erdbeben) zu untersuchen.

Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) wird i.A. nur für die seltene und häufige Einwirkungskombination relevant.

Bemessung mit dem genaueren Verfahren (GZT)

Nach DIN 1053-100, 9.9, bzw. EC 6, 6, können - je nach Ausbaustufe des Programms - folgende Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit geführt werden

Nachweis

- bei zentrischer und exzentrischer Druckbeanspruchung
 - einer ungewollten Horizontallast
- der Knicksicherheit
- der schiefen Biegung bei zweiachsiger Beanspruchung
- bei kombinierter Beanspruchung von Biegung und Knicken
- der Teilflächenpressung
- bei Zug- und Biegezugbeanspruchung
- bei Schubbeanspruchung

nicht EC 6

nur NA-DE

Zusätzlich kann ein Nachweis speziell für Wände mit Erddruckbelastung oder für windbeanspruchte Wände geführt werden.

Nachweis

- der Grenzlast für Kellerwände
- der Mindestauflast für windbeanspruchte Außenwände

Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)

Nach DIN 1053-100 bzw. EC 6 sind u.U. folgende Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zu führen

Nachweis

- der planmäßigen Exzentrizitäten (GZG)
- der zulässigen Randdehnungen (GZG)

Nachweis bei zentrischer und exzentrischer Druckbeanspruchung

Nach DIN 1053-100, 9.9.1, bzw. EC 6, 6.1.2, ist im Grenzzustand der Tragfähigkeit nachzuweisen

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \quad \dots \text{ mit } \dots$$

N_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft in kN
 DIN 1053-100: n. DIN 1055-100 oder Anhang A.4
 EC 6: n. EC 0 und EC 1

$N_{Rd} = \Phi \cdot A \cdot f_d$ Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft in kN

f_d Bemessungsdruckfestigkeit des Mauerwerks in N/mm^2

A belastete Bruttoquerschnittsfläche in m^2

Φ Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Schlankheit und der Lastausmitte

- bei **vorwiegend biegebeanspruchten** Bauteilen (z.B. Wind-, Aussteifungsscheiben, Pfeiler) gilt

$$\Phi = \Phi_1 = 1 - 2 \cdot e/b \quad \dots \text{ mit } \dots$$

$$e = M_{Ed}/N_{Ed} \leq b/3$$

b Wandlänge bei Scheibenbeanspruchung bzw. Wanddicke bei Plattenbeanspruchung



Scheibenbeanspruchung liegt vor, wenn die Wand parallel zur ihrer Fläche belastet wird.

Plattenbeanspruchung entsteht bei senkrecht auf die Wand wirkender Belastung.

- **geschoss hohe Wände** sind am Wandkopf, Wandfuß und in halber Geschosshöhe (Wandmitte) nachzuweisen.

- Wandkopf, Wandfuß

Der Abminderungsfaktor beträgt am Wandkopf, Wandfuß

$$\Phi = \Phi_{o,u} = 1 - 2 \cdot e_{o,u}/d \quad \dots \text{ mit } \dots$$

$$e_{o,u} = M_{Ed,o,u}/N_{Ed,o,u} + e_{he,o,u} + e_{init} \geq 0,05 \cdot d \quad \dots \text{ mit } \dots$$

$e_{he,o,u}$ Ausmitte inf. horizontaler Lasten (z.B. Wind)

e_{init} ungewollte Ausmitte, n. DIN 1053-100 bzw. EC 6, NA-DE, $e_{init} = 0$, sonst $e_{init} = h_{ef}/450$

- Wandmitte (gilt auch als Knicksicherheitsnachweis)

DIN 1053-100, 9.9.2 und EC 6, Anh. NA.G

$$\Phi = \Phi_m = 1,14 \cdot (1 - 2 \cdot e_m/d) - 0,024 \cdot h_k/d \leq 1 - 2 \cdot e_m/d \quad \dots \text{ mit } \dots$$

h_k Knicklänge

Exzentrizitäten $e_m = e_{m0} + e_{mk} \leq d/3$; $e_{m0} = M_{Ed,m}/N_{Ed,m} + e_a$; $e_a = h_k/450$

für $\lambda > \lambda_c$ $e_{mk} = 0,002 \cdot \varphi_\infty \cdot \lambda \cdot \sqrt{e_{m0} \cdot d}$; sonst $e_{mk} = 0$

φ_∞ Rechenwert der Endkriechzahl

$\lambda = h_k/d$ Schlankheit

λ_c Grenzschlankheit; DIN 1053-100: $\lambda_c = 10$, EC 6: $\lambda_c = 15$

EC 6, Anh. G

$$\Phi = \Phi_m = (1 - 2 \cdot e_{mk}/t) \cdot e^{-\frac{u^2}{2}} \quad \dots \text{ mit } \dots e \dots \text{ natürlicher Logarithmus}$$

$$e_{mk} = e_m + e_k \geq 0.05 \cdot d \quad \dots \text{ mit } \dots$$

$$e_m = M_{Ed,m}/N_{Ed,m} + e_{he,m} + e_{init} \geq 0.05 \cdot d \quad \text{Ausmitte infolge der Lasten}$$

$$e_{init} = h_{ef}/450$$

$$e_k = 0.002 \cdot \varphi_{\infty} \cdot \lambda \cdot \sqrt{t \cdot e_m} \quad \text{Kriechausmitte, für } \lambda < \lambda_c \dots e_k = 0$$

φ_{∞} Endkriechzahl
 $\lambda = h_{ef}/t_{ef}$ Schlankeheit
 $\lambda_c = 15$ Grenزشlankeheit
 h_{ef} Knicklänge
 t_{ef} effektive Wanddicke, hier $t_{ef} = t$

$$u = \frac{\lambda - 0.063}{0.73 - 1.17 \cdot e_{mk}/t} \quad \dots \text{ mit } \dots \lambda = h_{ef}/t_{ef} \cdot \sqrt{f_k/E}$$

zusätzliche Eingabeparameter

Knicksicherheitsnachweis

<input type="radio"/>	Knicklänge	h_k	<input type="text" value="0.000"/>	$\cdot h_w$	Knicklänge ($h_k = 0 \Rightarrow h_k$ nach Norm)
<input checked="" type="radio"/>	Knickbeiwert	β	<input type="text" value="0.000"/>		Knickbeiwert ($\beta = 0 \Rightarrow \beta$ nach Norm)
<input checked="" type="checkbox"/>	flächig aufgelagerte Massivdecke/Stahlbetondecke				
<input checked="" type="checkbox"/>	Kriechen	φ_{∞}	<input type="text" value="0.000"/>		Endkriechzahl ($\varphi_{\infty} = 0 \Rightarrow \varphi_{\infty}$ nach Norm)
		λ_c	<input type="text" value="15"/>		Grenزشlankeheit (λ_c nach Norm)

Die Knicklänge kann entweder als ein Vielfaches der Wandhöhe bzw. als Knicklängenbeiwert $\beta = h_k/h_w$ beschrieben oder, bei Eingabe von 0, nach Norm vom Programm ermittelt werden.

Nach Norm ergibt sich für

- frei stehende Wände oder Pfeiler

$$h_k = 2 \cdot h_s \cdot \sqrt{\frac{1 + 2 \cdot N_{od}/N_{ud}}{3}}$$

N_{od}, N_{ud} Bemessungswerte der Längskraft am Wandkopf, Wandfuß und
 h_s lichte Wandhöhe

- zweiseitig (d.h. oben und unten) gehaltene Wände oder zweiseitig gelagerte Pfeiler

$$h_k = \beta \cdot h_s \quad \dots \text{ mit i.A. } \beta = 1$$

Nach DIN 1053-100 darf bei flächig aufgelagerten Massivdecken der Knicklängenbeiwert β abgemindert werden, bei $e_{m0} \leq d/6$ auf $\beta = 0.75$ bzw. wenn $e_{m0} = d/3$ auf $\beta = 1.0$ (dazwischen linear interpolieren).

Die erforderliche Auflagertiefe a einer einseitig aufgelagerten Decke beträgt bei $d \geq 125$ mm: $a \geq 2/3 d$ bzw. bei $d < 125$ mm: $a \geq 85$ mm.

Nach EC 6 darf der Knicklängenbeiwert β bei flächig aufgelagerten Stahlbetondecken abgemindert werden, wenn die Lastausmitte am Wandkopf nicht größer als das 0.25-fache der Wanddicke ist.

Die Auflagertiefe a einer einseitig aufgelagerten Decke muss mindestens $2/3$ der Wanddicke betragen.

Bei Holzbalkendecken darf nicht abgemindert werden; die Auflagertiefe einer einseitig aufgelagerten Decke muss mindestens $2/3$ der Wanddicke ≥ 85 mm sein.

- dreiseitig gehaltene Wände (mit einem freien vertikalen Rand)

DIN 1053-100

$$h_k = \frac{1}{1 + \left(\frac{\beta \cdot h_s}{3 \cdot b'}\right)^2} \cdot \beta \cdot h_s \geq 0.3 \cdot h_s$$

b' Abstand des freien Randes von der Mitte der aussteifenden Wand
($b' \leq 15 \cdot d$, sonst zweiseitig gehalten)

β einer zweiseitig gehaltenen Wand

EC 6

$$h_k = \frac{1}{1 + \left(\frac{\beta \cdot h_s}{3 \cdot l}\right)^2} \cdot \beta \cdot h_s \quad \text{bei } h_s \leq 3.5 \cdot l$$

$$h_k = 1.5 \cdot l \geq 0.3 \cdot h_s \quad \text{bei } h_s > 3.5 \cdot l$$

β einer zweiseitig gehaltenen Wand

♦ vierseitig gehaltene Wände**DIN 1053-100**

$$h_k = \frac{1}{1 + \left(\frac{\beta \cdot h_s}{b}\right)^2} \cdot \beta \cdot h_s \quad \text{bei } h_s \leq b$$

$$h_k = \frac{b}{2} \quad \text{bei } h_s > b$$

b Mittenabstand der aussteifenden Wände
($b \leq 30 \cdot d$, sonst zweiseitig gehalten)

β einer zweiseitig gehaltenen Wand

EC 6

$$h_k = \frac{1}{1 + \left(\frac{\beta \cdot h_s}{l}\right)^2} \cdot \beta \cdot h_s \quad \text{bei } h_s \leq 1.15 \cdot l$$

$$h_k = 0.5 \cdot l \quad \text{bei } h_s > 1.15 \cdot l$$

β einer zweiseitig gehaltenen Wand

I.A. müssen Wände nach DIN 1053-100, 9.9.1.3, bzw. EC 6, 6.1.2.2(2), mit Schlankheiten von λ_c oder größer den Einfluss des Kriechens berücksichtigen. Der Rechenwert der Endkriechzahl wird in Abhängigkeit der Mauersteinart DIN 1053-100, Tab. 3, bzw. nach EC 6, 3.7.4.(2), dem nationalen Anhang entnommen.

zweiachsige Beanspruchung

Bei zweiachsiger Beanspruchung kann ein Nachweis auf Doppelbiegung geführt werden.

Hierzu wird der Abminderungsfaktor als Produkt aus parallelem und senkrechtem Anteil ermittelt.

$$\Phi = \Phi_{\parallel} \cdot \Phi_{\perp}$$

Der Nachweis der Doppelbiegung darf entfallen, wenn Biegung um die starke Achse nicht maßgebend wird, d.h. wenn gilt

$$\Phi_{\parallel} > \Phi_{\perp}$$

Der Nachweis wird nur von deutschen Normen (DIN 1053-100 bzw. EC 6, NA-DE) verlangt.

Nachweis einer ungewollten Horizontallast

Nach DIN 1053-100, 9.9.1.4, ist bei zweiseitig gehaltenen Wänden mit Wanddicken $d < 175$ mm und mit Schlankheiten $h_k/d > 12$ und mit Wandbreiten $b < 2$ m der Einfluss einer ungewollten horizontalen Einzellast $H = 0.5$ kN, die als außergewöhnliche Einwirkung in halber Geschosshöhe angreift, im Grenzzustand der Tragfähigkeit nachzuweisen.

Der Nachweis darf entfallen, wenn gilt

$$\beta = \left(1 + 0.3 \cdot \frac{a_1}{h_c}\right) \cdot \left(1.5 - 1.1 \cdot \frac{A_1}{A_{ef}}\right) \quad \dots \text{ wobei } \dots 1 \leq \beta \leq \min\left(1.25 + \frac{a_1}{2 \cdot h_c}, 1.5\right)$$

a_1 Abstand der Teilfläche vom nächstgelegenen Rand der Wand in Längsrichtung

h_c Höhe der Wand bis zur Ebene der Lasteintragung

A_{ef} wirksame Wandfläche, i.A. $A_{ef} = l_{efm} \cdot t$, t Wanddicke, $\frac{A_1}{A_{ef}} \leq 0.45$

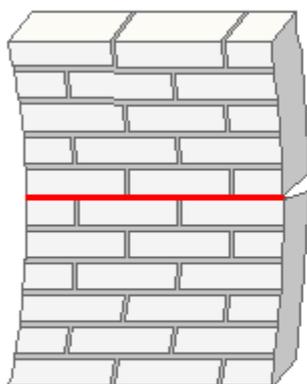
l_{efm} Länge des Lastausbreitungsmaßes in halber Wand- oder Pfeilerhöhe ($h_c/2$) bei einem Ausbreitungswinkel von 60° . Eine Giebelwand mit einer geringeren Dachneigung kann bei der Berechnung von l_{efm} berücksichtigt werden

Nach NA-DE: Wenn die Teilfläche $A_1 \leq 2 \cdot t^2$ und die Exzentrizität der Teilfläche $e_1 \leq t/6$ ist, darf β erhöht werden auf den Wert von α nach DIN 1053-100 (s.o.).

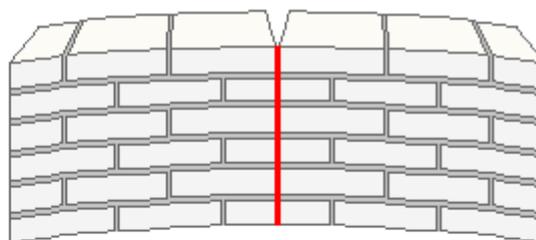
Ist keine Lagerplatte eingegeben ($A_1 = 0$), wird die Aufstandsfläche angenommen zu $A_1 = d^2$ ($e_1 = 0$, $a_1 = l_w/2$).

Nachweis der Biegezugbeanspruchung

Bei einer Beanspruchung senkrecht zur Wandfläche (z.B. aus Wind, Erddruck) entstehen im Mauerwerk je nach Lastabtrag Biegezugspannungen, die zu Bruchebenen senkrecht oder parallel zu den Lagerfugen führen können.



Bruchebene parallel zu den Lagerfugen, f_{xk1}



Bruchebene senkrecht zu den Lagerfugen, f_{xk2}

DIN EN 1996-1-1, Bild 3.1 - Bruchebenen bei Biegebeanspruchung von Mauerwerk

Nach DIN 1053-100, 9.9.4, bzw. EC 6, NA-DE, 3.6.3(3), dürfen Zugspannungen, die parallele Bruchebenen begünstigen, nicht auftreten.

Die Biegezugbeanspruchungen bei Bruchebenen senkrecht zur Lagerfuge sind dagegen im Grenzzustand der Tragfähigkeit nachzuweisen.

Biegezugnachweis

$\bar{\sigma}_{st}/h_{st}$

Verhältnis Überbindemaß zu Steinhöhe

- DIN 1053-100, 9.9.4 (Bruchebene senkrecht zur Lagerfuge)

$$n_{Ed} \leq n_{Rd} = d \cdot f_{x2} / \gamma_M \quad \dots \dots \text{Zugbeanspruchung}$$

$$m_{Ed} \leq m_{Rd} = d^2 \cdot f_{x2} / (6 \cdot \gamma_M) \quad \text{Biegebeanspruchung}$$

f_{x2} charakteristische Biegezugfestigkeit als Minimum aus

$$f_{x2} = (f_{vk0} + \mu \cdot \sigma_{Dd}) \cdot \bar{u} / h \quad \text{Fugenversagen}$$

$$f_{x2} = 0.5 \cdot f_{bz} \leq 0.7 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Steinversagen}$$

f_{vk0} abgeminderte Haftscherfestigkeit n. DIN 1053-100, Tab. 6, in N/mm^2

$\mu = 0.6$ Reibungsbeiwert

σ_{Dd} Bemessungswert der zugehörigen Druckspannung in N/mm^2

\bar{u} / h Verhältnis Überbindemaß zur Steinhöhe

f_{bz} Rechenwert der Steinzugfestigkeit n. DIN 1053-100, 9.9.5.2, in N/mm^2

• EC 6, 6.3 (Bruchebene senkrecht oder parallel zur Lagerfuge)

$$m_{Ed} \leq m_{Rd} = f_{xd} \cdot Z \quad \dots \dots \text{Biegebeanspruchung n. EC 6, 6.3.1}$$

f_{xd} Bemessungswert der Biegefestigkeit der entsprechenden Biegerichtung in N/mm^2

n. EC 6, 3.6.4, unter Beachtung des Orthotropiekoeffizienten $\mu = f_{xd1} / f_{xd2}$

Ist eine vertikale Last vorhanden, darf die Biegefestigkeit erhöht werden um $f_{xd,app} = f_{xd} + \sigma_d$

$\sigma_d \leq 15 \cdot N_{Rd} / A \quad \dots$ Bemessungswert der Druckspannung in Wandmitte in N/mm^2

nach NA-DE $\dots f_{xd} = f_x / \gamma_M$; $f_{xd} = f_{x2} \dots$ wie DIN 1053-100 (s.o.)

Z elastisches Widerstandsmoment der Wand $\dots Z = t^2 / 6$ in m^3/m

$$m_{Rd} = q_{lat,d} \cdot Z \quad \dots \dots \text{Bogentragwirkung n. EC 6, 6.3.2}$$

$$q_{lat,d} = f_d \cdot \left(\frac{t}{l_a} \right)^2 \quad \text{horizontale Bemessungsfestigkeit in } \text{N/mm}^2$$

l_a Länge oder Höhe der Wand zwischen den Auflagern, die Bogenschub aufnehmen können in m

Voraussetzung: Die Bemessungsspannung infolge Vertikallast ist nicht kleiner als 0.1 N/mm^2 und die Schlankheit in der betrachteten Richtung ist nicht größer als 20.

Bei Pfeilern wird dieser Nachweis nicht geführt.

Schubnachweis

Nach DIN 1053-100, 9.9.5, bzw. EC 6, 6.2, ist im Grenzzustand der Tragfähigkeit nachzuweisen

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

V_{Ed} Bemessungswert der Querkraft

V_{Rd} \dots des Bauteilwiderstandes bei Querkraftbeanspruchung

Nach EC 6, 6.2(2), ohne deutschen Bezug wird der Bemessungswert der Schubtragfähigkeit errechnet aus

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

$f_{vd} = f_{vk} / \gamma_M$ Bemessungswert der Schubfestigkeit

f_{vk} \dots charakteristische Schubfestigkeit als Minimum aus

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0.4 \cdot \sigma_d \quad \dots \text{ und } \dots f_{vk} = 0.065 \cdot f_b$$

bzw. bei unvermörtelten Stoßfugen

$$f_{vk} = 0.5 \cdot f_{vk0} + 0.4 \cdot \sigma_d \quad \dots \text{ und } \dots f_{vk} = 0.045 \cdot f_b$$

σ_d \dots Bemessungsspannung senkrecht zur Schubkraft im überdrückten Wandabschnitt

l_c \dots Länge des überdrückten Teils

Nach DIN 1053-100 bzw. EC 6, NA-DE, ist hingegen je nach Krafrichtung zu unterscheiden zwischen Scheibenschub infolge von Kräften parallel zur Wandrichtung und Plattenschub infolge von Kräften senkrecht dazu.

Pfeiler erhalten in beiden Bemessungsrichtungen Plattenschub.

Querschnittsbereiche, in denen die Fugen rechnerisch klaffen, dürfen nicht in Rechnung gestellt werden.

• Scheibenschub

$$V_{Rd} = \alpha_s \cdot f_{vd} \cdot d / c$$

$f_{vd} = f_{vk} / \gamma_M$ Bemessungswert der Schubfestigkeit

f_{vk} charakteristische Schubfestigkeit als Minimum aus

$$f_{vk} = f_{vk0} + \bar{\mu} \cdot \sigma_{Dd} \quad \dots \text{ und } \dots \quad f_{vk} = 0.45 \cdot f_{bz} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_{Dd}}{f_{bz}}}$$

$\bar{\mu} = 0.4$... abgeminderter Reibungsbeiwert

σ_{Dd} Bemessungswert der Spannung im überdrückten Wandabschnitt

α_s Schubtragfähigkeitsbeiwert bzw. rechnerische Wandlänge l_{cal} (s. EC 6, NA-DE)
bei Windscheiben gilt $\alpha_s = \min(1.125 \cdot l, 1.333 \cdot l_c)$, ... sonst ... $\alpha_s = d_c$

l Wandlänge

$l_c = 1.5 \cdot (l - 2 \cdot e) \leq l$ Länge des überdrückten Wandabschnitts

$e = M_{Ed} / N_{Ed}$ Lastausmitte der zugehörigen Bemessungsgrößen

d Wanddicke

c Faktor zur Berücksichtigung der Schubspannungsverteilung über den Querschnitt.
für hohe Wände $h/l \geq 2$... $c = 1.5$... und ... $h/l \leq 1$... $c = 1.0$, dazwischen interpoliert.

h Wandhöhe

• Plattenschub

$$V_{Rd} = \alpha_s \cdot f_{vd} \cdot l / c$$

$f_{vd} = f_{vk} / \gamma_M$ Bemessungswert der Schubfestigkeit

$f_{vk} = f_{vk0} + \mu \cdot \sigma_{Dd}$ charakteristische Schubfestigkeit, $\mu = 0.6$... Reibungsbeiwert

$\alpha_s = d_c$ Schubtragfähigkeitsbeiwert

$d_c = 1.5 \cdot (d - 2 \cdot e) \leq d_c$ Dicke des überdrückten Wandabschnitts

d Wanddicke

l Wandlänge, bei gleichzeitig wirkendem Scheibenschub gilt n. EC 6, NA-DE, 6.2(NA.15)

$$l = l_{c,lin} = 3/2 \cdot (1 - 2 \cdot e_w / l) \cdot l \leq l, \quad e_w \dots \text{Exzentrizität in Wandlängsrichtung}$$

$c = 1.5$ Faktor zur Berücksichtigung der Schubspannungsverteilung über den Querschnitt

Schubnachweis

Haftscherfestigkeit f_{vk0} nicht ansetzen

Wandscheibe unter Windbelastung

Elementmauerwerk

l_{st} mm

Steinlänge

h_{st} mm

Steinhöhe

\bar{u}_{st} mm

Überbindemaß

Wird die Haftscherfestigkeit zur Berechnung der Schubfestigkeit herangezogen, ist n. EC 6, NA-DE, 3.6.2(3), der Nachweis der zulässigen Randdehnungen (GZG) zu führen.

Bei Windscheiben darf n. DIN 1053-100, 9.9.5.1, der Schubtragfähigkeitsbeiwert α_s bzw. n. EC 6, NA-DE, 6.2(NA.12), die rechnerische Wandlänge l_{cal} erhöht werden (s. Scheibenschub).

Bei Elementmauerwerk mit Dünnbettmörtel und $\bar{u}_{st}/h_{st} < 0.4$ ist n. EC 6, NA-DE, 6.2(NA.13), die Querkrafttragfähigkeit in Scheibenrichtung infolge Schubdruckversagen am Wandfuß nachzuweisen mit

$$V_{Ed} \leq V_{RdIt} = (f_k \cdot t \cdot l_c - \gamma_M \cdot N_{Ed}) \cdot \frac{\bar{u}_{st}}{h_{st} \cdot \gamma_M \cdot c}; \quad l = l_{c,lin} \text{ (s.o.)}$$

Des Weiteren ist bei Elementmauerwerk mit unvermörtelten Stoßfugen und $h_{st} > l_{st}$ n. EC 6, NA-DE, 6.2(NA.14), die

Querkrafttragfähigkeit in Scheibenrichtung infolge Fugenversagens am Einzelstein in Wandmitte nachzuweisen mit

$$V_{Ed} \leq V_{Rdlt} = 2/3 \cdot \left(\frac{l_{st}}{h_{st}} + \frac{l_{st}}{h} \right) \cdot \frac{N_{Ed}}{\gamma_M}$$

Grenzlastnachweis für Kellerwände

Nach DIN 1053-100, Abs. 10, bzw. EC 6, 6.3.4, kann unter bestimmten Voraussetzungen ein vereinfachtes Verfahren zum Nachweis von Mauerwerkswänden unter Erddruckbelastung verwendet werden.

- DIN 1053-100, 10

Grenzlastnachweis

h_A	1.400	m
γ_A	19.0	kg/m ³

Höhe der Anschüttung ($h_A = 0 \Rightarrow h_A = h_{A,max}$)

Bodenwichte ($\gamma_A = 0 \Rightarrow$ Nachweis unterhalb der Kellerdecke)

Nach DIN 1053-100, Abs. 10, darf bei Kellerwänden der Nachweis auf Erddruck entfallen, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind.

- lichte Höhe der Kellerwand $h_W \leq 2.60$ m, Wanddicke $d \geq 240$ mm
- Kellerdecke wirkt als Scheibe und kann die aus dem Erddruck entstehenden Kräfte aufnehmen
- charakteristische Nutzlast auf der Geländeoberfläche $q_k \leq 5$ kN/m², Geländeoberfläche steigt nicht an, Anschütthöhe $h_A \leq h_W$

Sonder- und Erdbebenlasten werden nicht berücksichtigt.

Der Nachweis kann entweder in halber Höhe der Anschüttung oder unterhalb der Kellerdecke geführt werden.

Der jeweils maßgebende Bemessungswert der Wandnormalkraft muss innerhalb folgender Grenzen liegen

- halbe Anschütthöhe

$$N_{1,Ed,inf} \geq N_{1,lim,d} = \frac{\gamma_A \cdot h_W \cdot h_A^2}{20 \cdot d} \quad \dots \text{ und } \dots \quad N_{1,Ed,sup} \leq N_{1,Rd} = 0.33 \cdot f_d \cdot d$$

γ_A Wichte der Anschüttung

h_A Höhe der Anschüttung

- unterhalb der Kellerdecke

$$N_{0,Ed,inf} \geq N_{0,lim,d} \quad \text{n. Tab. 10 (s. DIN 1053-100)} \quad \text{und } \dots \quad N_{0,Ed,sup} \leq N_{1,Rd}$$

- DIN EC 6, 6.3.4, bzw. EC 6-3, 4.5

Grenzlastnachweis

h_A	1.400	m
γ_A	19.0	kg/m ³
k_{gh}	0.39	

Höhe der Anschüttung ($h_A = 0 \Rightarrow h_A = h_{A,max}$)

Bodenwichte

Erddruckbeiwert

nur NA-DE

Nach EC 6-3, 4.5, darf bei Kellerwänden, die durch horizontalen Erddruck beansprucht werden, ein vereinfachter Nachweis geführt werden, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind.

- lichte Höhe der Kellerwand $h \leq 2.60$ m, Wanddicke $t \geq 200$ mm
- Kellerdecke wirkt als aussteifende Scheibe und kann die aus dem Erddruck entstehenden Kräfte aufnehmen
- charakteristische Verkehrslast auf der Geländeoberfläche $q_k \leq 5$ kN/m², keine Einzellast ≥ 15 kN im Abstand ≤ 1.5 m zur Wand
- Geländeoberfläche steigt nicht an, Anschütthöhe $h_A \leq h$
- kein hydrostatischer Druck auf der Wand

Der Nachweis wird in halber Höhe der Anschüttung geführt.

Der jeweils maßgebende Bemessungswert der Wandnormalkraft muss innerhalb folgender Grenzen liegen.

$$N_{Ed,min} \geq \frac{\gamma_A \cdot b \cdot h \cdot h_A^2}{\beta \cdot t} \quad \dots \text{ und } \dots \quad N_{Ed,max} \leq \frac{t \cdot b \cdot f_d}{3}$$

γ_A Wichte der Anschüttung

h_A Höhe der Anschüttung

$$\beta \dots \begin{cases} 20 & \dots \text{ für } b_c \geq 2 \cdot h \\ 60 - 20 \cdot b_c / h & \dots \text{ } h < b_c < 2 \cdot h \\ 40 & \dots \text{ } b_c \leq h \end{cases}$$

b_c Abstand zwischen aussteifenden Querwänden

EC 6, NA-DE, NCI zu 6.3.4

- lichte Höhe der Kellerwand $h \leq 2.60$ m, Wanddicke $t \geq 240$ mm
- Kellerdecke wirkt als aussteifende Scheibe und kann die aus dem Erddruck entstehenden Kräfte aufnehmen
- charakteristische Verkehrslast auf der Geländeoberfläche $q_k \leq 5$ kN/m²
- Geländeoberfläche steigt nicht an, Anschütthöhe $h_A \leq 1.15 \cdot h$

$$n_{1,d,inf} \geq n_{1,lim,d} = \frac{k_{gh} \cdot \gamma_A \cdot h_W \cdot h_A^2}{7.8 \cdot t} \quad \dots \text{ und } \dots \quad n_{1,Ed,sup} \leq n_{1,Rd} = 0.33 \cdot f_d \cdot t$$

γ_A Wichte der Anschüttung

h_A Höhe der Anschüttung

Bei Pfeilern wird dieser Nachweis nicht geführt.

Mindestauflast für windbeanspruchte Außenwände

Werden vereinfachte Bemessungsmethoden angewandt, darf für Wände, die als Endauflager für Decken dienen und durch Wind beansprucht werden, der Nachweis der Mindestauflast nach EC 6-3, 4.2.1.2, (NA.4) geführt werden.

Nachweis der Mindestauflast

$q_{w,Ed}$ 2.00 kN/m²

Windeinwirkung

a 0.0 cm

Deckenaufлагertiefe ($a = 0$: Mindestwert)

Dazu ist die folgende Gleichung auszuwerten

$$N_{Ed} \geq \frac{3 \cdot q_{Ewd} \cdot h^2 \cdot b}{16 \cdot (a - h/300)} \quad \dots \text{ mit } \dots$$

h lichte Geschosshöhe

q_{Ewd} Bemessungswert der Windlast je Flächeneinheit

N_{Ed} Bemessungswert der kleinsten vertikalen Belastung in Wandhöhenmitte

b Breite, über die die vertikale Belastung wirkt

a Deckenaufлагertiefe

Begrenzung der planmäßigen Exzentrizitäten (GZG)

Nachweis

der planmäßigen Exzentrizitäten (GZG)

der zulässigen Randdehnungen (GZG)

Nach DIN 1053-100, 5.4, bzw. EC 6, NA-DE, 7.2, dürfen klaffende Fugen infolge der planmäßigen Exzentrizitäten der einwirkenden Lasten höchstens bis zum Schwerpunkt des Gesamtquerschnitts entstehen.

Nach DIN 1053-100 ist die charakteristische Einwirkungskombination sowohl parallel als auch senkrecht zur Wandebene zu verwenden.

Nach EC 6 wird senkrecht zur Wandebene die seltene, in Wandlängsrichtung jedoch die häufige Einwirkungskombination angewandt.

$$e_{\perp k} = \frac{M_{\perp k}}{N_k} \leq d/3 \quad \text{senkrecht zur Wandfläche}$$

$$e_{\parallel k} = \frac{M_{\parallel k}}{N_k} \leq l/3 \quad \text{parallel zur Wandfläche}$$

Die charakteristische Lastkombination wird in der seltenen Einwirkungskombination gebildet.

Der Nachweis in Wandlängsrichtung ist nach EC 6 nur für Wände mit Abmessungen $l/h < 0.5$ am Wandfuß zu führen.

Der Nachweis wird nur von deutschen Normen (DIN 1053-100 bzw. EC 6, NA-DE) verlangt.

Nachweis der zulässigen Randdehnungen (GZG)

Dehnungsnachweis

- ⊙ für die seltene (charakteristische) Bemessungssituation
- für die häufige Bemessungssituation

nicht EC 6

Nach DIN 1053-100, 9.9.1.2, bzw. EC 6, NA-DE, 7.2, ist bei Windscheiben mit einer Ausmitte $e > l/6$ der Nachweis der zulässigen Randdehnungen für die seltene (charakteristische) Bemessungssituation zu führen.

Nach EC 6 ist der Nachweis jedoch nur erforderlich, wenn die Haftscherfestigkeit beim Schubnachweis in Scheibenrichtung in Ansatz gebracht wird.

Die rechnerische Randdehnung aus der Scheibenbeanspruchung auf der Seite der Klaffung darf den Wert $\varepsilon_R = 10^{-4}$ nicht überschreiten. Der E-Modul wird dabei zu $E_M = 1000 f_k$ angenommen.

Wenn auf den Ansatz der Haftscherfestigkeit f_{vk0} bei der Ermittlung der Schubfestigkeit verzichtet wird, kann nach DIN 1053-100 der Nachweis für die häufige Einwirkungskombination geführt werden.

Bei Pfeilern wird der Nachweis nicht geführt.

Der Nachweis wird nur von deutschen Normen (DIN 1053-100 bzw. EC 6, NA-DE) verlangt.

Literatur zu Mauerwerksnachweisen

- DIN 1053-100 Mauerwerk - Berechnung auf Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts, Ausgabe September 2007
- DIN 1055-100 Einwirkungen auf Tragwerke - Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln, Ausgabe März 2001
- DIN EN 1990, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1990/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-1, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsche Fassung EN 1991-1-1:2002 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1991-1-1/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter -Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1996-1-1, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; Deutsche Fassung EN 1996-1-1:2005 + A1:2012, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Februar 2013
- DIN EN 1996-1-1/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Mai 2012
- DIN EN 1996-3, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten; Deutsche Fassung EN 1996-3:2006 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- DIN EN 1996-3/NA, Nationaler Anhang -National festgelegte Parameter - Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte

Mauerwerksbauten; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Januar 2012

- Jäger, W. & Marzahn, G.: Mauerwerk - Bemessung nach DIN 1053-100, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2010
- Gunkler, E. & Budelmann, H.: Mauerwerk kompakt, Werner Verlag - Wolters Kluwer Deutschland GmbH, Köln 2008
- Schneider, K.-J., Sahner, G. & Rast, R.: Mauerwerksbau aktuell - Praxishandbuch 2008, Bauwerk Verlag GmbH, Berlin 2008
- Schubert, P., Schneider, K.-J. & Schoch, T.: Mauerwerksbau - Praxis, 2. Auflage, Bauwerk Verlag GmbH, Berlin 2009
- Mauerwerk Kalender, Verlag Ernst und Sohn, Berlin
- Mauerwerk, Zeitschrift für Technik und Architektur, Heft 2, April 2012, Verlag Wilhelm Ernst und Sohn
- Mauerwerk, Zeitschrift für Technik und Architektur, Heft 2, April 2013, Verlag Wilhelm Ernst und Sohn

