KS-QUADRO *E*
Bemessungsgrundlagen

Nach Norm SIA 266 (Statik)

KS QUADRO

HUNZIKER KALKSANDSTEIN
H+H Group

KS-QUADRO E, Ausgabe März 2018
Erarbeitet von Dr. Joseph Schwartz, Consulting Engineer, CH-6315 Oberägeri

Einleitung

Kalksandstein-Mauerwerk KS-QUADRO E mit Dünnbettmörtel

1. Grundlagen

Die vorliegenden Bemessungsgrundlagen basieren auf folgenden experimentellen Untersuchungen:

- Am p+f Sursee durchgeführte Versuche zur Ermittlung der Mauerwerksdruckfestigkeit f_x senkrecht zur Lagerfuge sowie des zugehörigen Elastizitätsmoduls E_x sowie am p+f Sursee durchgeführte Versuche zur Ermittlung der Mauerwerksdruckfestigkeit f_y parallel zur Lagerfuge.
- Am p+f Sursee und durch die ETH begleitete Rotations- und Schubversuche an Kleinkörpern mit geneigten Lagerfugen.

2. Resultate

Das Mauerwerk KS-QUADRO E mit Dünnbettmörtel hat sich bei den Versuchen qualitativ identisch verhalten wie das klassische KS-Mauerwerk mit Mörtelfugen. Das mechanische Verhalten sowie auch das Verformungsvermögen des Mauerwerks mit Dünnbettfugen ist vergleichbar mit denjenigen des Mauerwerks mit klassischen Mörtelfugen, sodass die der Norm SIA 266 zugrunde gelegten Berechnungsmodelle anwendbar sind.

3. Bemessung von Mauerwerk KS-QUADRO E mit Dünnbettmörtel

Die ermittelten Baustoffkennwerte des Mauerwerks KS-QUADRO E mit Dünnbettmörtel liegen nicht unwesentlich höher als diejenigen des Mauerwerks mit klassischen Mörtelfugen. Im Folgenden sind Bemessungsdiagramme für Normalkraftbeanspruchung sowie für Schubbeanspruchung dargestellt. Es hat sich bei den Versuchen gezeigt, dass infolge der wirkenden Normalkraftbeanspruchung die Risse nicht nur in den Lagerfugen, sondern auch horizontal in den Steinen zwischen den Lagerfugen auftreten können. Es wird vorgeschlagen, bei den Nachweisen mit Rissabständen von ca. 200 mm zu rechnen. In diesem Sinne sind die Diagramme mit „fiktiven" Steinhöhen, d. h. Rissabständen, von 200 mm ermittelt worden. Eine Umrechnung auf andere Rissabstände ist einfach möglich, da die Rissbreite linear vom Rissabstand abhängig ist.

Inhalt

Zeichenerklärung 4
Vorgegebene Wandexzentrizitäten 6
Tragsicherheit 7
Aufgezwungene Wandverdrehungen 8
Nachweise Tragsicherheit 9
Gebrauchstauglichkeit 11
Tragsicherheit unter Schubbeanspruchung 13
Kennwerte 14

www.hunziker-kalksandstein.ch

Zeichenerklärung

Soweit möglich, werden in erster Linie die Begriffe und Abkürzungen der Norm SIA 266 verwendet.

t_w Wanddicke [mm]

e_z Exzentrizität von N_x bzw. N_{xd} in der Richtung senkrecht zur Wandebene

h_w auf die Mitten der angrenzenden Decken bezogene Wandhöhe [m]

h_{cr} Knicklänge der Wand [m] für ausgewählte Fälle (siehe: Erläuterung zu h_{cr} Seite 5)

h_o Schichthöhe

t_D Dicke der Decke [m]

l_1 Bezogene Spannweite der Decke [m] (siehe: Erläuterung zu l_1, Seite 5)

l_w Wandlänge [m]

g Eigenlasten der Decke [kN/m²] (einschliesslich Unterlagsboden usw.)

q Nutzlasten [kN/m²]

γ_G Partialfaktor für Eigenlasten, in der Regel 1.35 Tragsicherheit (1.0 Gebrauchstauglichkeit)

γ_Q Partialfaktor für Nutzlasten, in der Regel 1.5 Tragsicherheit (1.0 Gebrauchstauglichkeit)

E'_c Elastizitätsmodul des Betons, Langzeitwert mit Kriecheinfluss, in der Regel $12 \cdot 106$ kN/m²

E'_{cd} Bemessungswert des Elastizitätsmoduls von Beton, in der Regel $10 \cdot 106$ kN/m²

k_1 Faktor zur Berücksichtigung des Reissens der Decke: ungerissen $k_1 = 1$, gerissen $k_1 = 2$

k_2 Anteil der Lastabtragung der Decke in der betreffenden Richtung (Gesamtlast = 1.0) (siehe: Erläuterung zu k_2, Seite 5)

k_N Beiwert zur Ermittlung des Tragwiderstandes

r Rechnerische Rissbreite [mm]

N_x Normalkraft pro Laufmeter Wand [kN/m¹] (Druck = positiv)

N_{xo} Bezugsgrösse [kN/m¹]

N_{xd} Bemessungswert der Normalkraft [kN/m¹]

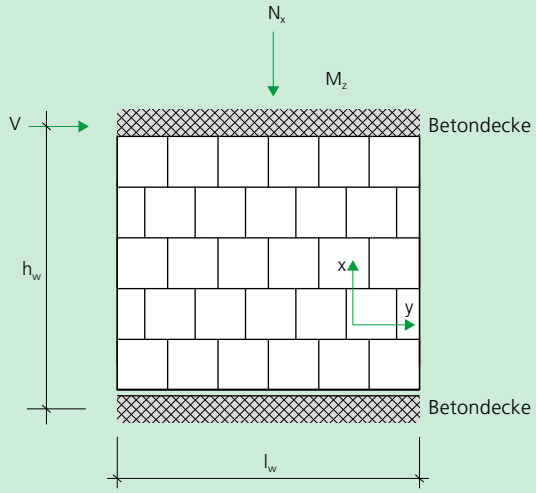
f_{xd} Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit [N/mm²]

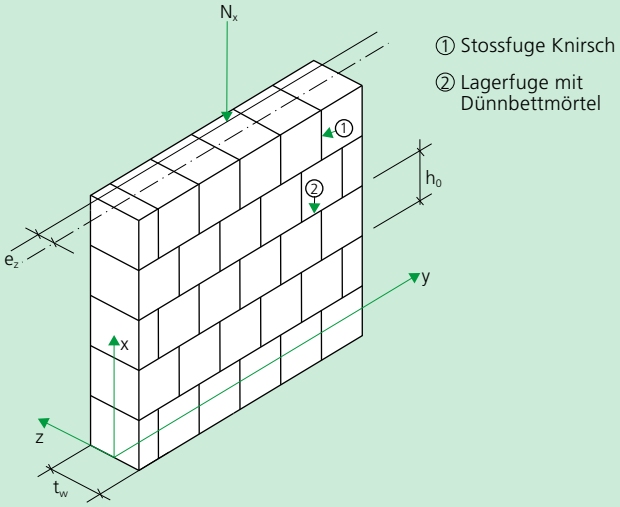
f_{xk} charakteristischer Wert der Mauerwerksdruckfestigkeit [N/mm²]

E_{xd} Bemessungswert des Elastizitätsmoduls des Mauerwerks [kN/mm²]

ϑ Wand-Decken-Knotendrehwinkel [rad]

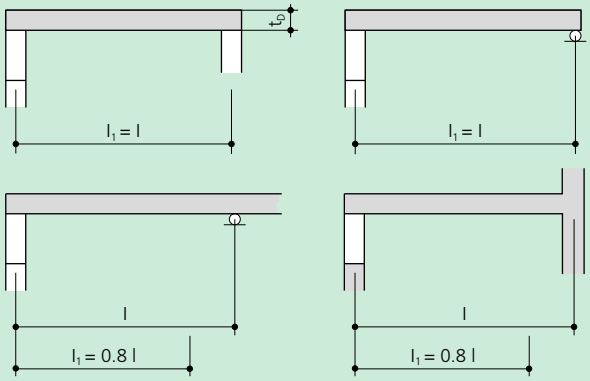
ϑ_d Bemessungswert von ϑ [rad]



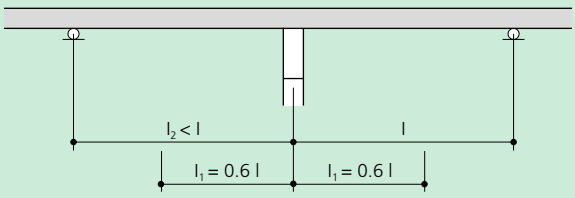


Erläuterung zu: l_1

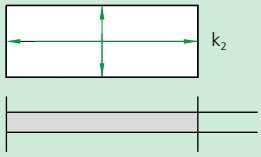
Aussenwände:



Zwischenwände:

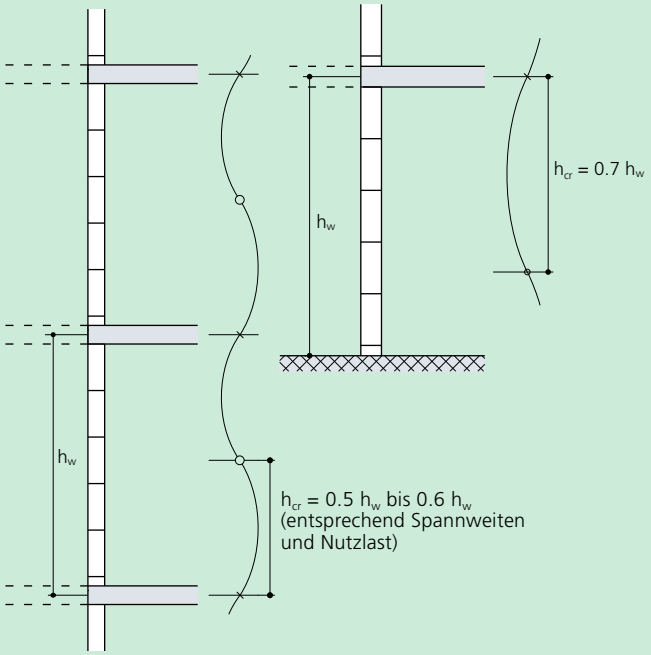


Erläuterung zu: k_2

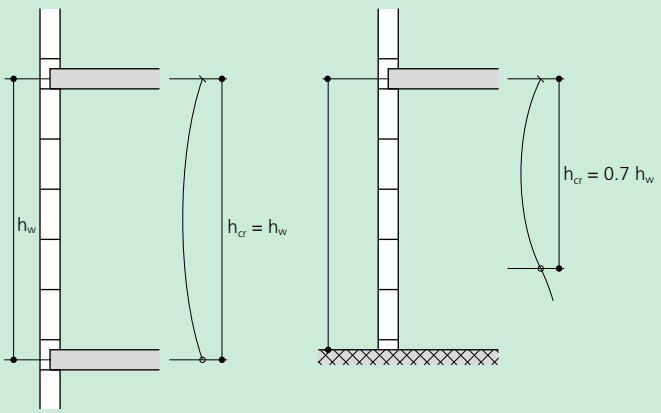


Erläuterung zu: h_{cr}

Bei voll eingebundenen Decken:



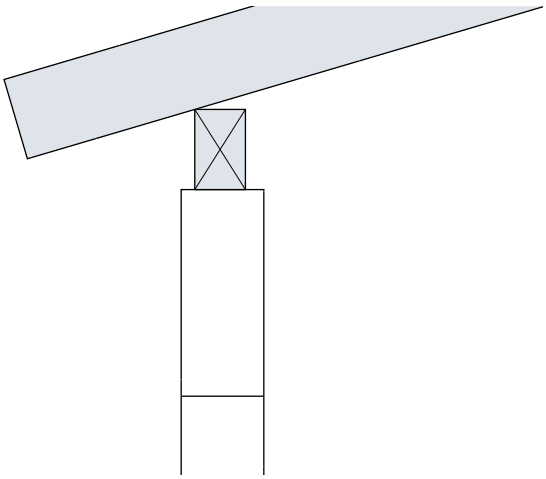
Bei teilweise eingebundenen Decken:



Vorgegebene Wandexzentrizitäten

Bemessung und Nachweis mit Diagrammen

Der Nachweis erfolgt nach Theorie 2. Ordnung gemäss Artikel 4.3.1 der Norm SIA 266.

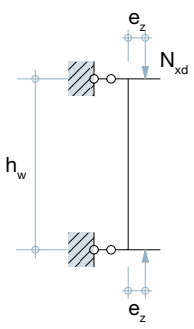


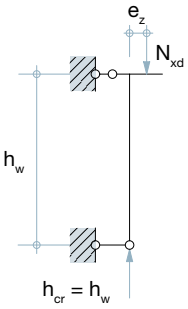
Tragsicherheit

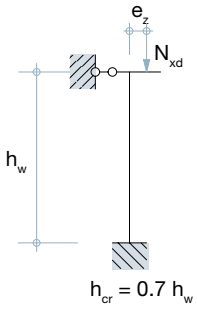
Die Tragsicherheit ist nachgewiesen, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

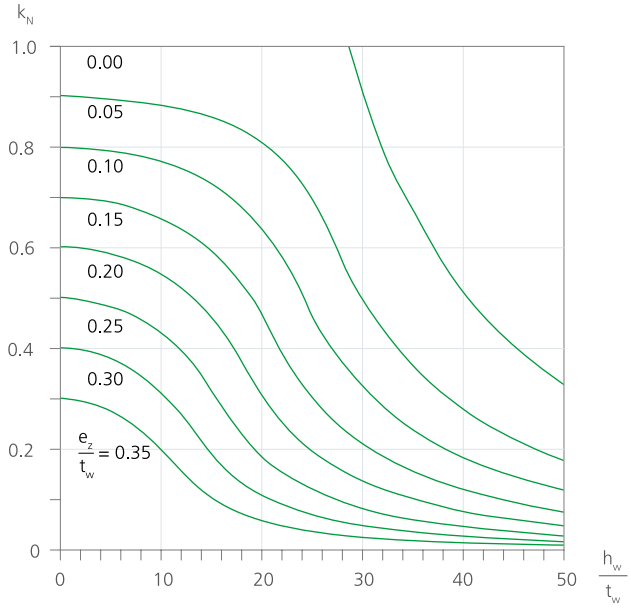
$$N_{xd} \leq k_N \cdot l_w \cdot t_w \cdot f_{xd}$$

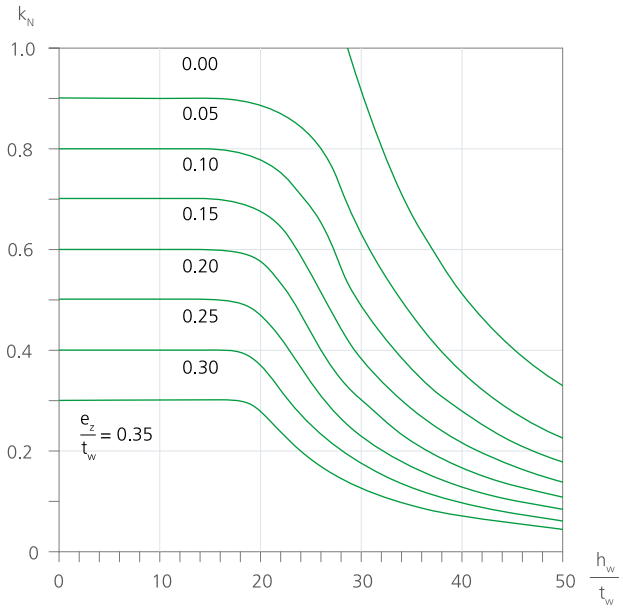
Der Faktor k_N kann mit den folgenden Diagrammen ermittelt werden:











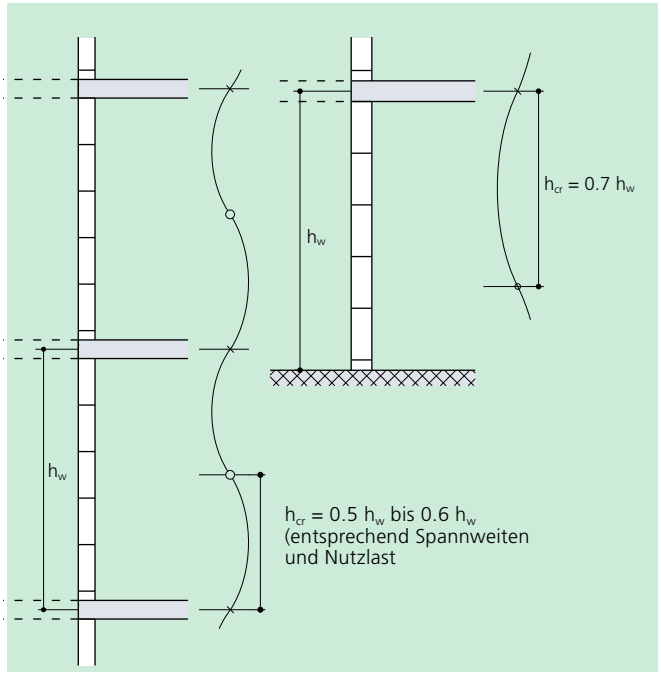
Gebrauchstauglichkeit

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Gebrauchstauglichkeit gewährleistet ist, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\frac{e_z}{t_w} \leq \frac{1}{6}$$

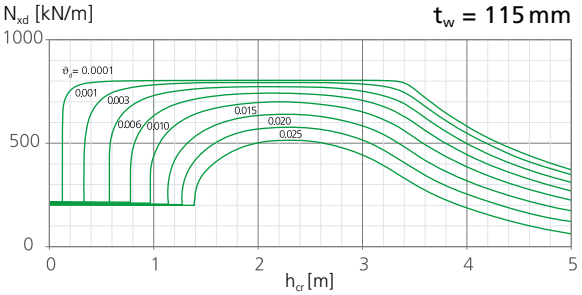
Tragsicherheit

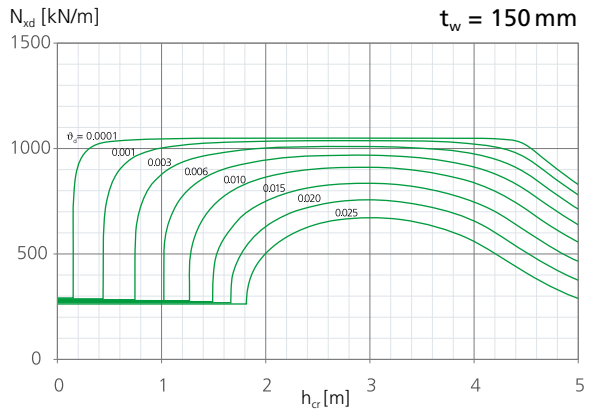
Bemessungsdiagramme Tragsicherheit unter Normalkraftbeanspruchung

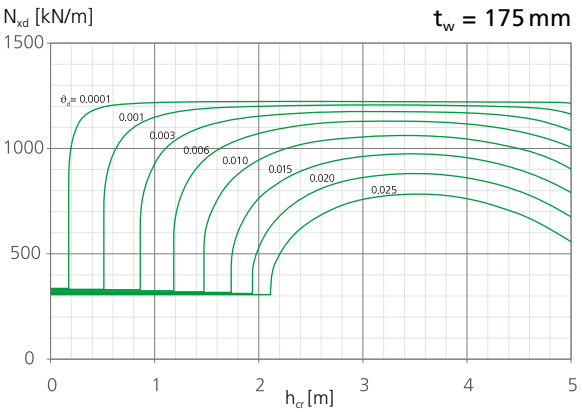


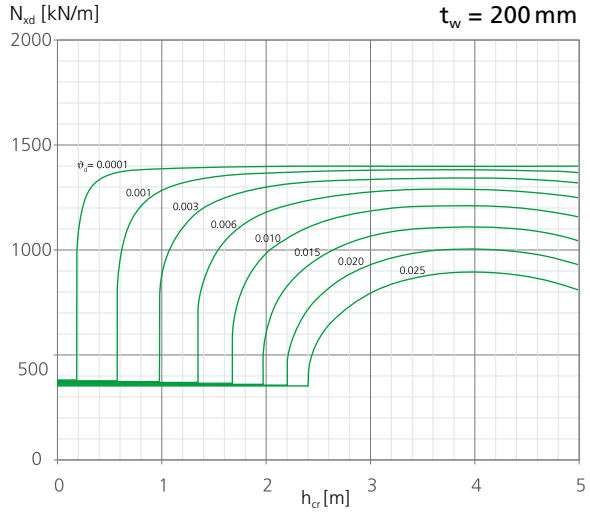
Tragsicherheit von KS-QUADRO E Mauerwerken mit Dünnbettmörtel:

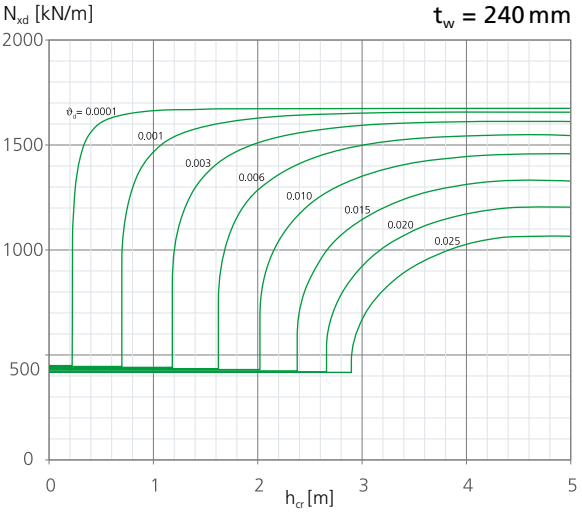
f_{xd} = 7.0 N/mm²
E_{xd} = 3.7 kN/mm²
ϑ_d: Bemessungswert des Deckenauflagerdrehwinkels
h_{cr}: für ausgewählte Fälle, bei voll eingebundenen Decken











Aufgezwungene Wandverdrehungen

Bemessung und Nachweis mit Diagrammen

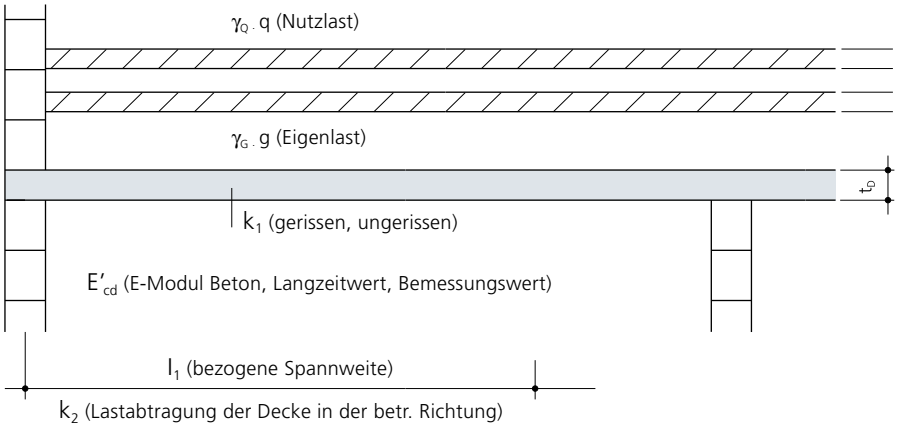
Der Nachweis erfolgt nach Theorie 2. Ordnung gemäss Artikel 4.3.1 der Norm SIA 266.

Tragsicherheit
Die Beurteilung erfolgt mit dem Bemessungswert ϑ_d (Auflagerdrehwinkel der einfach gelagerten Decke) nach der folgenden Formel:

$$\vartheta_d = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot (\gamma_G \cdot g + \gamma_Q \cdot q) \cdot l_1^3}{2 \cdot E'_{cd} \cdot t_D^3} \text{ [rad]}$$

Die Traglast N_{xd} ergibt sich aus dem Diagramm in Abhängigkeit der Knicklänge h_{cr} der Wand.
Zwischen den einzelnen Kurven darf interpoliert werden.

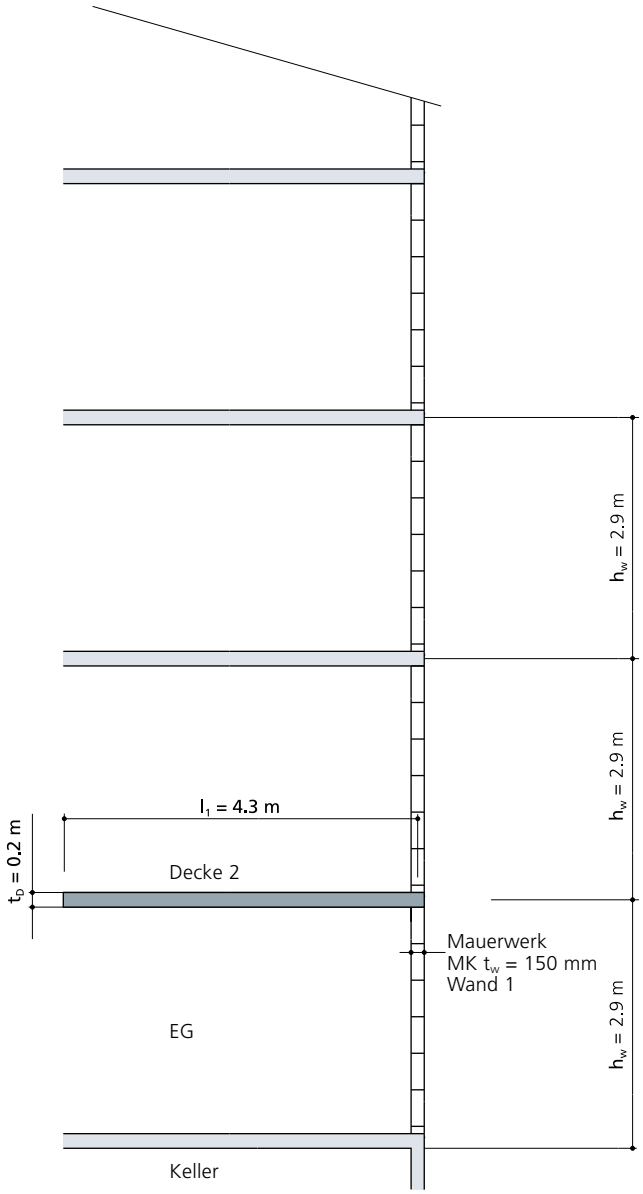
Der Kennwert für die Bestimmung von ϑ_d ist der statischen Berechnung der zugehörigen Geschossdecke wie folgt zu entnehmen:



Nachweise für Tragsicherheit

Beispiel 1

Aussenwand eines mehrgeschossigen Gebäudes



- **Bezogene Höhe der Wand h_{cr}:**
  Annahmen:
  in den Zwischengeschossen: $h_{cr} = 0.5 \cdot 2.9 = 1.45\,m$
  im untersten Geschoss: $h_{cr} = 0.7 \cdot 2.9 = 2.03\,m$

- **Lastabtragung der Decke:**
  In der massgebenden Richtung, festgelegt beispielsweise anhand von Lasteinzugsflächen.
  Annahme: $k_2 = 0.70$

- **Lasten:**
  Stahlbetondecke + Unterlagsboden: $g = 7.5\ kN/m^2$
  Nutzlasten: $q = 4.0\ kN/m^2$
  Wandeigenlasten: $q = 2.1\ kN/m^2$

Für den Tragsicherheitsnachweis:

- **Normalkraft pro Geschoss (mit $\gamma_G = 1.35$, $\gamma_Q = 1.5$):**

von Decke:	$7.5 \cdot 1.35 \cdot \frac{4.3}{2} \cdot 0.7$	$= 15.2\ kN/m^1$
	$4.0 \cdot 1.5 \cdot \frac{4.3}{2} \cdot 0.7$	$= 9.0\ kN/m^1$
von Wand:	$2.1 \cdot 1.35 \cdot (2.9 - 2 \cdot 0.1)$	$= 7.7\ kN/m^1$
		$N_{xd} = 31.9\ kN/m^1$

Reduktion für obere Geschosse hier berücksichtigt.

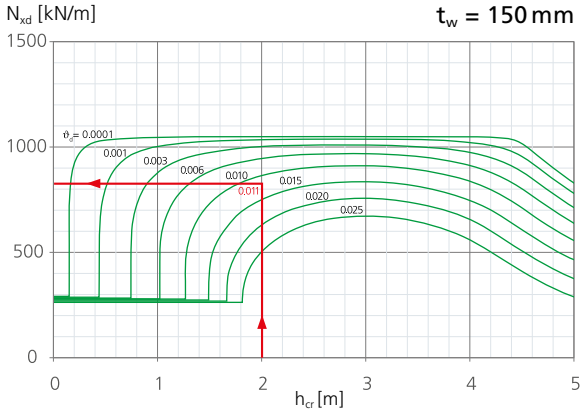
Nachweis Tragsicherheit

Bei 4 Geschossen (+ Dachraum)
im untersten Geschoss, Wand 1:
$N_{xd} = 4 \cdot 31.9 = 127.6\ kN/m^1$
$h_{cr} = 2.03\,m$

$$\vartheta_{d1} = \frac{2 \cdot 0.7 \cdot (1.35 \cdot 7.5 + 1.5 \cdot 4.0) \cdot 4.3^3}{2 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 0.2^3} = 0.011\ rad$$

Nachweis bei 4 Geschossen:
Diagramm MK $t_w = 150\,mm$:
$N_{xd} \cong 820\ kN/m^1 > 127.6\ kN/m^1 = N_{xd\ vorh}$

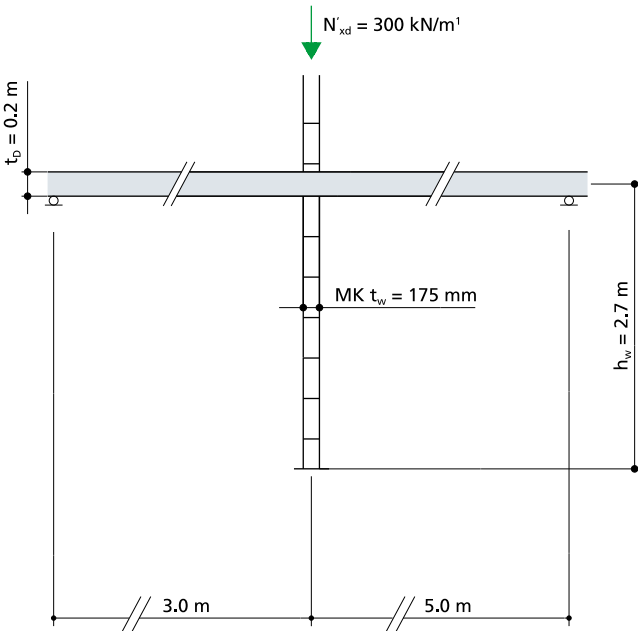
Tragsicherheit nachgewiesen!



Nachweise für Tragsicherheit

Beispiel 2

Hoch belastete Zwischenwand im untersten Geschoss mit unterschiedlichen Deckenspannweiten



- **Bezogene Höhe der Wand h_{cr}:** $h_{cr} = 0.7 \cdot 2.7 = 1.89\,m$
- **Massgebende bezogene Spannweite der Decke:** $l_1 = 0.6 \cdot 5.0 = 3.00\,m$
- **Lastabtragung der Decke:**
  Annahme: $k_2 = 0.80$
- **Lasten:**
  Wand von Obergeschossen: $N'_{xd} = 300\ kN/m^1$
  Stahlbetondecke: $g = 7.5\ kN/m^2$
  Nutzlasten: $q = 4.0\ kN/m^2$
- **Normalkraft pro Geschoss (mit $\gamma_G = 1.35$, $\gamma_Q = 1.5$):**

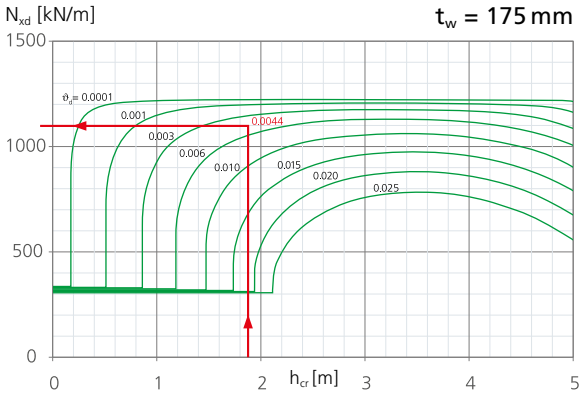
von Obergeschossen:		300.0 kN/m¹
von Decke:	$7.5 \cdot 1.35 \cdot \frac{5.0 + 3.0}{2} \cdot 0.8$	= 32.4 kN/m¹
	$4.0 \cdot 1.5 \cdot \frac{5.0 + 3.0}{2} \cdot 0.8$	= 19.2 kN/m¹
		N_{xd} = 351.6 kN/m¹

Nachweis Tragsicherheit

$$\vartheta_{d1} = \frac{2 \cdot 0.8 \cdot (1.35 \cdot 7.5 + 1.5 \cdot 4.0) \cdot 3.0^3}{2 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 0.2^3} = 0.0044\ rad$$

Nachweis bei 4 Geschossen:
Diagramm MK t_w = 175 mm:
$N_{xd} \cong 1100\ kN/m^1 > 351.6\ kN/m^1 = N_{xd\ vorh}$

Tragsicherheit nachgewiesen!



Für die Verwendung der Diagramme müssen diese Werte umgerechnet werden:

Gebrauchstauglichkeit

Die Beurteilung erfolgt mit dem Auflagerdrehwinkel der einfach gelagerten Decke ϑ nach der folgenden Formel:

$$\vartheta_d = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot (g + q) \cdot l_1^3}{2 \cdot E'_{cd} \cdot t_D^3} \text{ [rad]}$$

Die rechnerische Rissbreite ergibt sich aus dem Diagramm in Abhängigkeit der Knicklänge h_{cr} der Wand.

Für die Verwendung der Diagramme müssen diese Werte umgerechnet werden:

Ordinate: $r_{200} \cdot \frac{N_{x0}}{N_x}$ mit:

N_{xo}: Bezugsgrösse gemäss Diagramm (Bezugsgrösse ohne physikalische Bedeutung zur Optimierung der Anwendungsbereiche der Diagramme)

r_{200}: Rissbreite bei einer Schichthöhe von 200 mm

Allgemein gilt: $r = \frac{h_O}{200} \cdot r_{200}$

h_o: Höhe eines Steines plus einer Fuge = Schichthöhe (durch Einsetzen eines Wertes $h_0 \neq 200$ mm wird die Rissbreite beeinflusst)

Abszisse $h_{cr} \cdot \sqrt{\frac{N_x}{N_{xo}}}$ Kurvenparameter $\vartheta \cdot \sqrt{\frac{N_{xo}}{N_x}}$

Anforderung gemäss SIA 266:
Normale Anforderungen: $r \leq 0.20$ mm
Hohe Anforderungen: $r \leq 0.05$ mm

Gebrauchstauglichkeit unter Normalkraftbeanspruchung

Formel für die Berechnung der Gebrauchstauglichkeit:

$$r_{200} \cdot \frac{N_{x0}}{N_x} \text{ [mm]}$$

Gebrauchstauglichkeit von KS-QUADRO E Mauerwerken mit Dünnbettmörtel
($f_{xk} = 14.0$ N/mm², $E_{xk} = 7.4$ kN/mm²)

Nachweis Gebrauchstauglichkeit

Beispiel 1

Nachweis der rechnerischen Rissbreite, obwohl bei der Innenschale von Zweischalenmauerwerk in der Regel nicht problematisch.

Beispiel unterste Decke bei 4 Geschossen:

- **Gebrauchslasten pro Geschoss:**

von Decke:	$7.5 \cdot \frac{4.3}{2} \cdot 0.7$	$= 11.3$
mit $q_{ser, lang} = 2.0$ kN/m²	$2.0 \cdot \frac{4.3}{2} \cdot 0.7$	$= 3.2$
von Wand:	$2.0 \cdot 2.7$	$= 5.7$
		$N_x = 19.7$ kN/m¹

$$\vartheta = \frac{2 \cdot 0.7 \cdot (7.5 + 2.0) \cdot 4.3^3}{2 \cdot 12 \cdot 10^6 \cdot 0.2^3} = 0.0055 \text{ rad}$$

- **Nachweis im untersten Geschoss; Wand 1**

$N_x = 4 \cdot 19.7 = 78.8$ kN/m¹

Diagramm MK, $t_w = 150$ mm

$$h_{cr} \cdot \sqrt{\frac{N_x}{N_{xo}}} = 2.03 \cdot \sqrt{\frac{78.8}{100}} = 1.80 \text{ m}$$

$$\vartheta \cdot \sqrt{\frac{N_{xo}}{N_x}} = 0.0055 \cdot \sqrt{\frac{100}{78.8}} = 0.0062 \text{ rad}$$

Rissbreite bei Schichthöhe 200 mm:

$$r_{200} \cdot \frac{N_{xo}}{N_x} \cong 0.36 \text{ mm}$$

$$r_{200} \cong 0.36 \cdot \frac{78.8}{100} = 0.28 \text{ mm}$$

Beurteilung:

Beim Zweischalenmauerwerk ist der Riss an der Wandaussenseite der tragenden Schale unbedenklich. Bei nicht allzu hohen Normalkräften erscheint der innere Riss am Übergang Decke-Wand im Bereich des Unterlagsbodens.

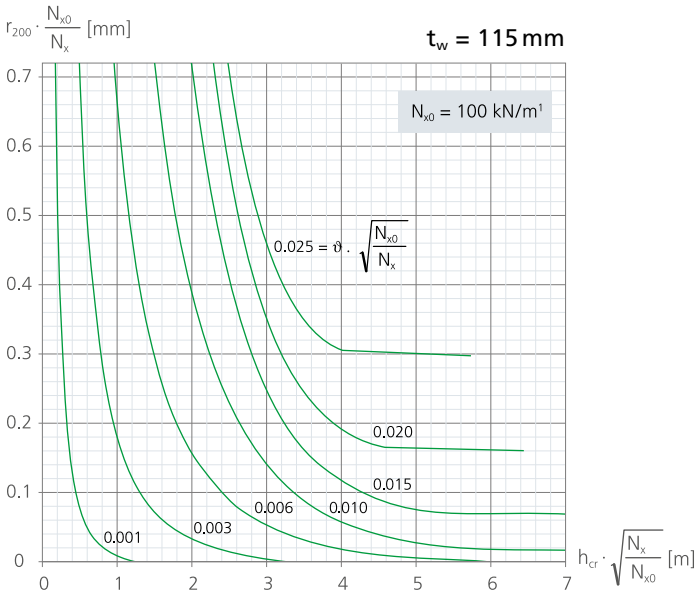
Gebrauchstauglichkeit

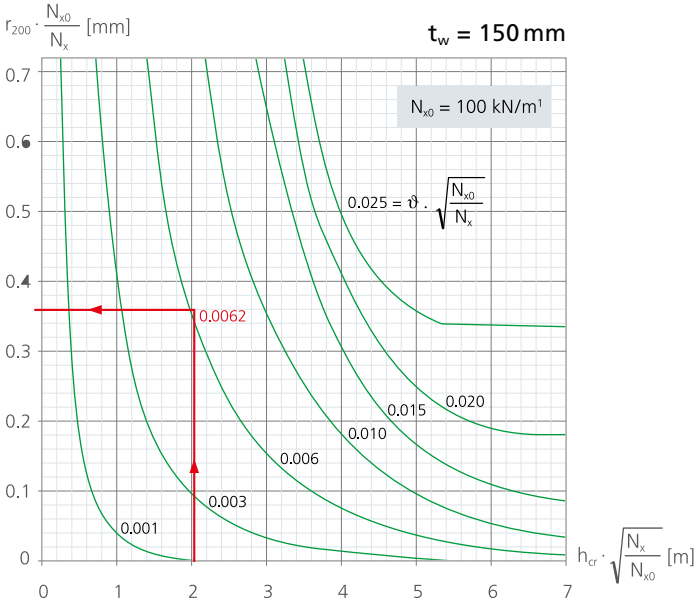
Bemessungsdiagramme Gebrauchstauglichkeit unter Normalkraftbeanspruchung

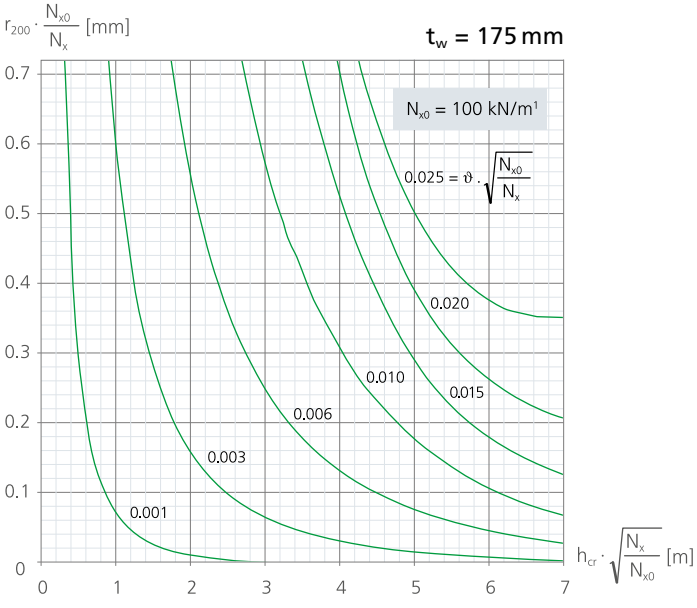
Gebrauchstauglichkeit von KS-QUADRO E Mauerwerken mit Dünnbettmörtel

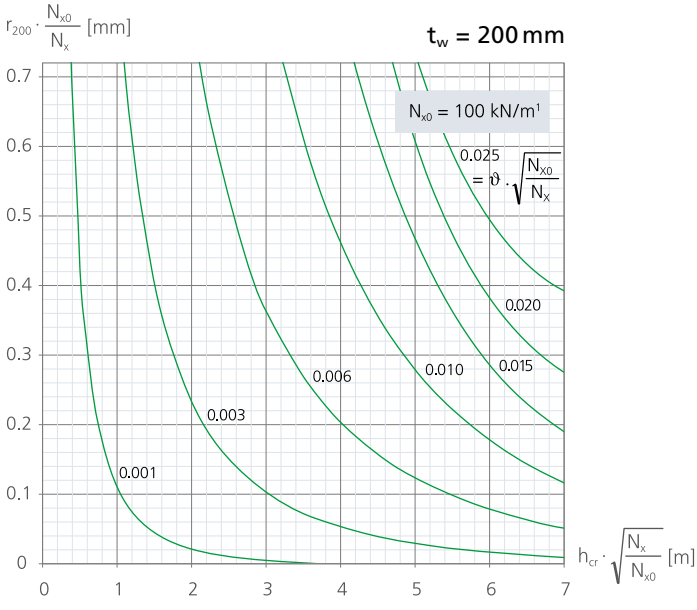
f_{xk} = 14.0 N/mm²

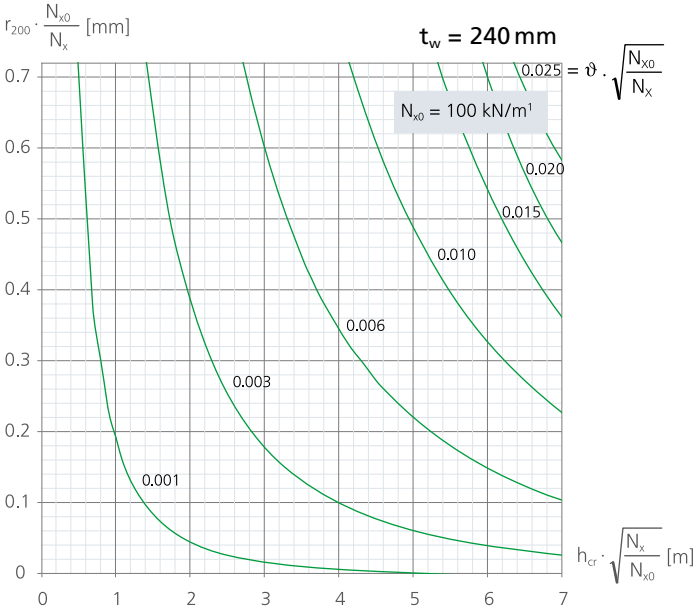
E_{xk} = 7.4 kN/mm²











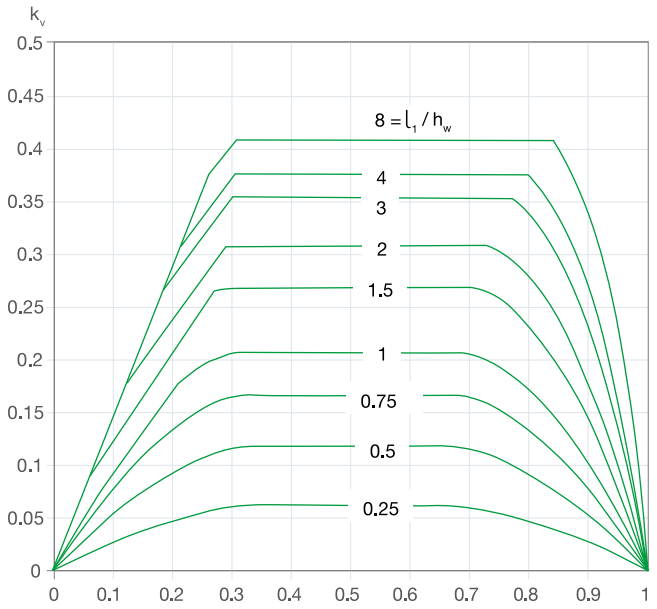
Tragsicherheit unter Schubbeanspruchung

Bemessungsdiagramm mit zentrischer Normalkraft

Mauerwerk KS-Quadro E mit Dünnbettmörtel

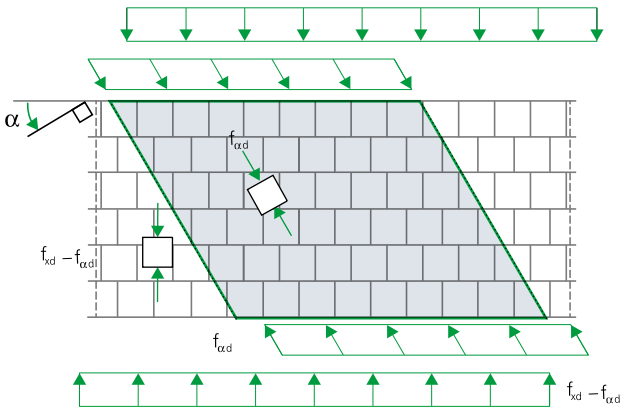
Tragsicherheit
(f_{xd} = 7.0 N/mm², f_{yd} = 3.0 N/mm², μ_d = 0.6)

$$\frac{V_d}{l_1 \cdot t_w \cdot f_{yd}}$$

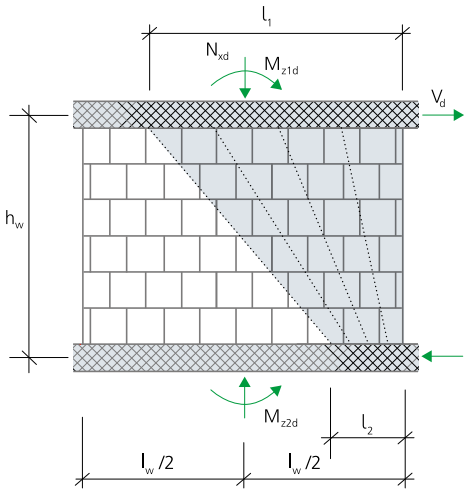


Figur 6

$$\frac{N_{xd}}{l_1 \cdot t_{nom} \cdot f_{xd}}$$



α	$f_{\alpha d}$
0°	f_{xd}
$0 < \alpha \leq \arctan \mu_d$	f_{yd}
$\arctan \mu_d < \alpha < 90°$	0
90°	f_{yd}



Für einfache Schubwände gilt die Tragsicherheit als nachgewiesen, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$V_d \leq k_v l_1 t_w f_{yd}$

k_v = Beiwert aus Figur 6 mit $t_{nom} = t_w$

$l_1 = l_w - \frac{2M_{z1d}}{N_{xd}}$

Kennwerte KS-QUADRO E und KS-PLAN E

Mechanische Eigenschaften		Deklarierte Werte		KS-Normal-mörtel	Normen
		KS-QUADRO E	KS-PLAN E		
MAUERWERK MK gemäss Norm SIA 266 und SN 771					
Mauerwerksdruckfestigkeit f_{xk}		14.0 N/mm²	10.0 N/mm²	7.0 N/mm²	SN EN 1052-1
Elastizitätsmodul E_{xk}		7.4 kN/mm²	6.7 kN/mm²	7.0 kN/mm²	SN EN 1052-1
Mauerwerksbiegezugfestigkeit f_{fxk}		0.42 N/mm²	0.18 N/mm²	0.15 N/mm²	SN EN 1052-2
Mauerwerksdruckfestigkeit f_{fyk}		6.8 N/mm²	5.2 N/mm²	3.2 N/mm²	SN EN 1052-2
Endkriechwert ϕ		1.5		1.5	SIA 266
Endschwindmass ε_s		–0.2 ‰		–0.2 ‰	SIA 266
MAUERSTEIN K gemäss Norm SIA 266 und SN 771					
Form und Ausbildung				Kategorie 1	SN EN 771-2
Bruttorohdichte 1.6 (t_w = 115, 150 mm)		1410 – 1600 kg/m³			SN EN 771-2
Bruttorohdichte 1.8 (t_w = 115, 150, 175 mm)		1610 – 1800 kg/m³			SN EN 771-2
Bruttorohdichte 2.0 (t_w = 175, 200, 240 mm)		1810 – 2000 kg/m³			SN EN 771-2
Bruttorohdichte 2.2 (t_w = 150, 175, 200, 240 mm)		2010 – 2200 kg/m³			SN EN 771-2
Steindruckfestigkeit f_{bk}		≥ 30.0 N/mm²	22.0 N/mm²	22.0 N/mm²	SIA 266/1
Äquivalente Wärme-leitfähigkeit $\lambda_{10\ trocken}$ (P = 90 %)	Brutto-Rohdichte 1.6	0.79 W/mK		0.8 W/mK	SN EN 1745
	Brutto-Rohdichte 1.8	0.99 W/mK		0.9 W/mK	SN EN 1745
	Brutto-Rohdichte 2.0	1.10 W/mK		1.0 W/mK	SN EN 1745
	Brutto-Rohdichte 2.2	1.30 W/mK		1.30 W/mK	SN EN 1745
Frostbeständigkeit / Dauerhaftigkeit		entfällt		erfüllt	SN EN 772-18
Wasserdiffusionskoeffizient μ		15/25		15/25	SN EN 1745
Brandverhalten		Euroklasse A1		Euroklasse A1	SN EN 771-2
Wasseraufnahme c_w		5 – 12 %		5 – 12 %	SN EN 771-2
Gefährliche Substanzen*		keine		keine	Umwelt-Produkte-Deklarationen
Lochflächenanteil		≤ 15 %		≤ 50 %	EN 772-2

*Institut Bauen und Umwelt, EPD-BKS-2009111-D, www.bau-umwelt.com

DÜNNBETTMÖRTEL gemäss Norm SIA 266 und SN EN 998-2

Mechanische Eigenschaften	Angaben in Norm	Normen
Druckfestigkeit f_{mk}	15.0 N/mm²	EN 1015-11
Haftscherfestigkeit / Verbundfestigkeit	0.3 N/mm²	SN EN 998-2
Korngrössenbereich	≤ 2 mm	EN 1015-1
Trockenrohdichte	≥ 1300 kg/m³	EN 1015-10

Brandschutz, beidseitig verputzt mind. 10 mm, mineralisch, gemäss Norm SIA 266

Wände	F30	F60	F90	F120	F180	F240
Tragend. Nicht raumabschliessend	115	115	125	150	200	250
Tragend. Raumabschliessend	115	115	115	125	175	225
Nichttragend. Raumabschliessend	50	70	100	125	150	175

Schalldämmmasse $R'_{w,R}$ für Mauerwerk

Wandstärke mm	70	100	115	150		175		200		240		300
Rohdichteklasse RDK	2.0	1.6	1.8	1.8	2.2	1.8	2.2	1.8	2.2	2.0	2.2	2.0
Flächenmasse kg/m²	151	158	225	270	307	326	358	370	409	465	491	590
Schalldämmmass R'_w(dB)	41	41	45	48	51	50	53	51	54	54	56	59

KS-Wände in Dünnbettmörtel, beidseitig verputzt je 10 mm, 10 kg/m² pro Seite

Hinweis: Alle Angaben über unsere Produkte, insbesondere die in dieser Druckschrift enthaltenen Abbildungen, Zeichnungen, Mass- und Leistungsangaben sowie sonstige technische Angaben, sind annähernd zu betrachtende Durchschnittswerte. Die Änderung von Konstruktion, technischen Daten, Massen und Gewichten bleibt insoweit vorbehalten. Unsere angegebenen Normen, ähnliche technische Regelungen sowie technische Angaben, Beschreibungen und Abbildungen der Produkte entsprechen dem Datum der Drucklegung. Darüber hinaus gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen in der jeweils gültigen Fassung. Massgeblich sind allein die von uns abgegebenen Angebote.

DACHCOM 04/2018

Hunziker Kalksandstein AG
H+H Group
Aarauerstrasse 75
5200 Brugg

Fon +41 56 460 54 66

HUNZIKER KALKSANDSTEIN
H+H Group