



# KS-QUADRO E Systemmauerwerk

Bemessung nach Norm SIA 266

Bauen mit System





# 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, so dass die der Norm SIA 266 zugrunde gelegten Berechnungsmodelle anwendbar sind.

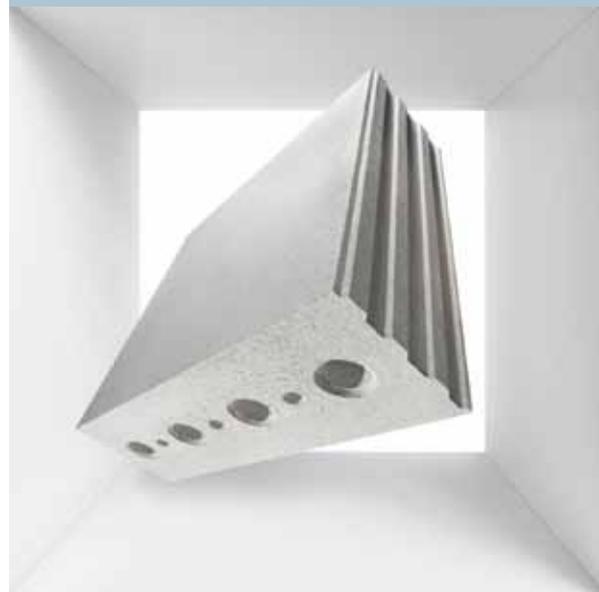
### 3. Bemessung von Mauerwerk KS-QUADRO E mit Dünnbettmörtel

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   5
Vorgegebene Wandexzentrizitäten	6
Tragsicherheit	7
Aufgezwungene Wandverdrehungen	8
Nachweise Tragsicherheit	9   10
Gebrauchstauglichkeit	11   12
Tragsicherheit unter Schubbeanspruchung	13
Kennwerte	14

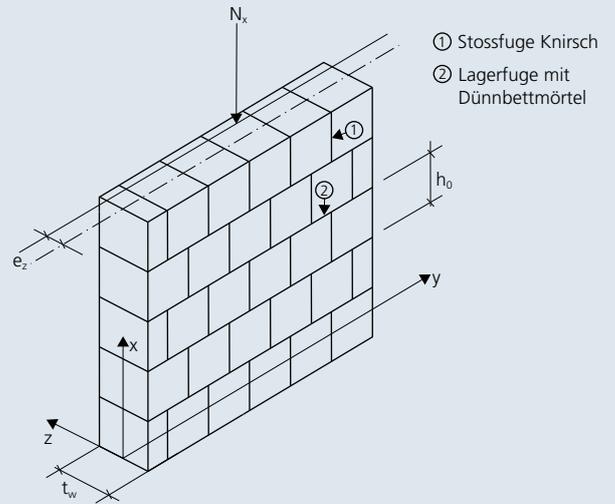
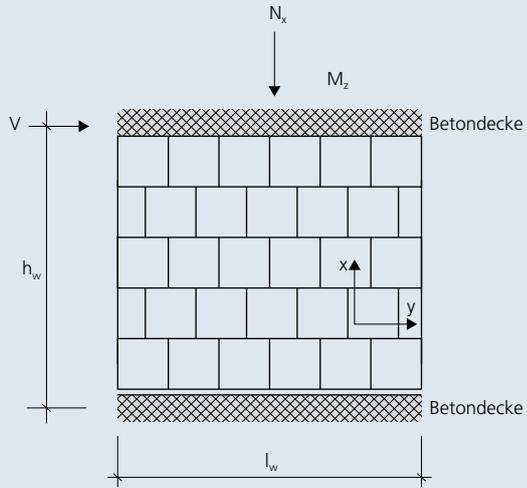
[www.ks-quadro.ch](http://www.ks-quadro.ch)



## Begriffe und Abkürzungen

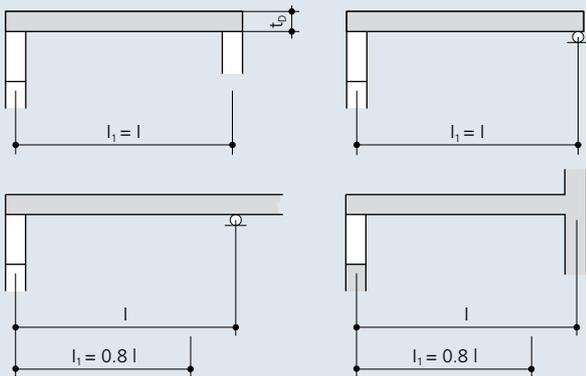
Soweit möglich, werden in erster Linie die Begriffe und Abkürzungen der Norm SIA 266 verwendet

$t_w$	Wanddicke [mm]	$h_{cr}$	Knicklänge der Wand [m] für ausgewählte Fälle (Siehe: Erläuterung zu $h_{cr}$ Seite 5)
$e_z$	Exzentrizität von $N_x$ bzw. $N_{xd}$ in der Richtung senkrecht zur Wandebene	$k_N$	Beiwert zur Ermittlung des Tragwiderstandes
$h_w$	auf die Mitten der angrenzenden Decken bezogene Wandhöhe [m]	$r$	Rechnerische Rissbreite [mm]
$h_o$	Schichthöhe	$N_x$	Normalkraft pro Laufmeter Wand [kN/m'] (Druck = positiv)
$t_D$	Dicke der Decke [m]	$N_{xo}$	Bezugsgrösse [kN/m']
$l_1$	Bezogene Spannweite der Decke [m] (Siehe: Erläuterung zu $l_1$ , Seite 5)	$N_{xd}$	Bemessungswert der Normalkraft [kN/m']
$l_w$	Wandlänge [m]	$f_{xd}$	Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
$g$	Eigenlasten der Decke [kN/m <sup>2</sup> ] (einschliesslich Unterlagsboden, u.s.w.)	$f_{xk}$	charakteristischer Wert der Mauerwerksdruckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
$q$	Nutzlasten [kN/m <sup>2</sup> ]	$E_{xd}$	Bemessungswert des Elastizitätsmoduls des Mauerwerks [kN/mm <sup>2</sup> ]
$\gamma_G$	Partialfaktor für Eigenlasten, in der Regel 1.35 Tragsicherheit (1.0 Gebrauchstauglichkeit)	$\vartheta$	Wand-Decken-Knotendrehwinkel [rad]
$\gamma_Q$	Partialfaktor für Nutzlasten, in der Regel 1.5 Tragsicherheit (1.0 Gebrauchstauglichkeit)	$\vartheta_d$	Bemessungswert von $\vartheta$ [rad]
$E'_c$	Elastizitätsmodul des Betons, Langzeitwert mit Kriecheinfluss, in der Regel $12 \cdot 10^6$ kN/m <sup>2</sup>		
$E'_{cd}$	Bemessungswert des Elastizitätsmoduls von Beton, in der Regel $10 \cdot 10^6$ kN/m <sup>2</sup>		
$k_1$	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		



Erläuterung zu:  $l_1$

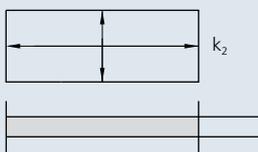
Aussenwände:



Zwischenwände:

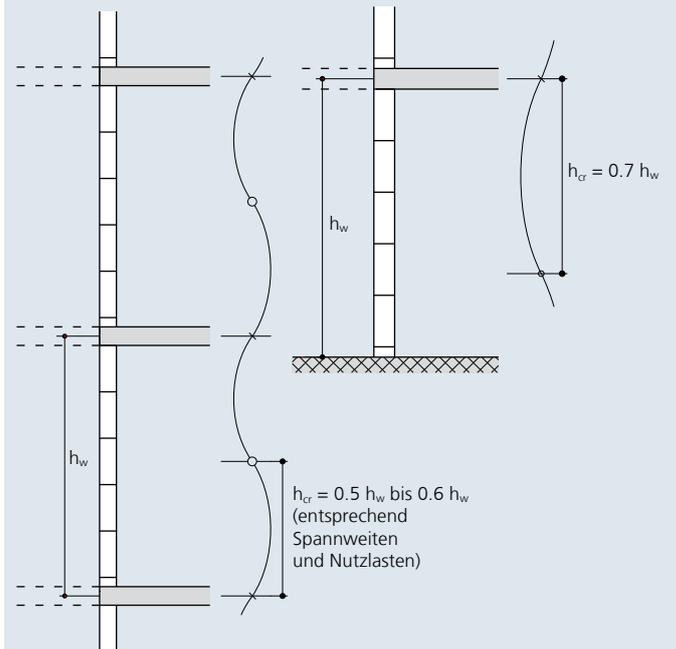


Erläuterung zu:  $k_2$

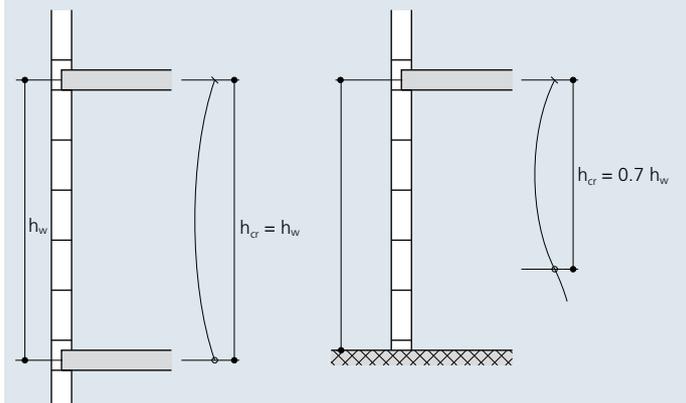


Erläuterung zu:  $h_{cr}$

Bei voll eingebundenen Decken:



Bei teilweise eingebundenen Decken:



# Vorgegebene Wandexzentrizitäten

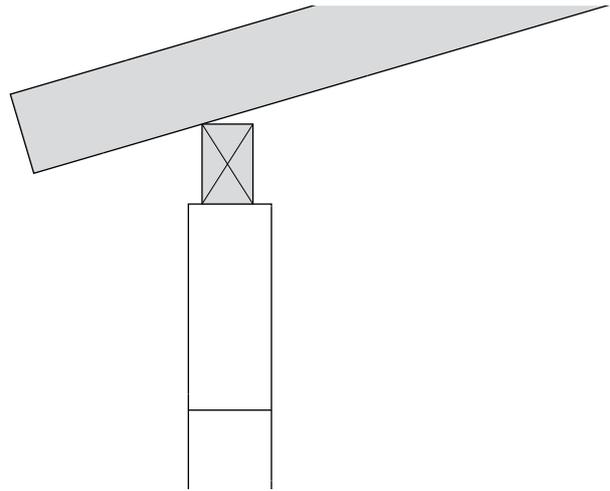
## Bemessung und Nachweis mit Diagrammen

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

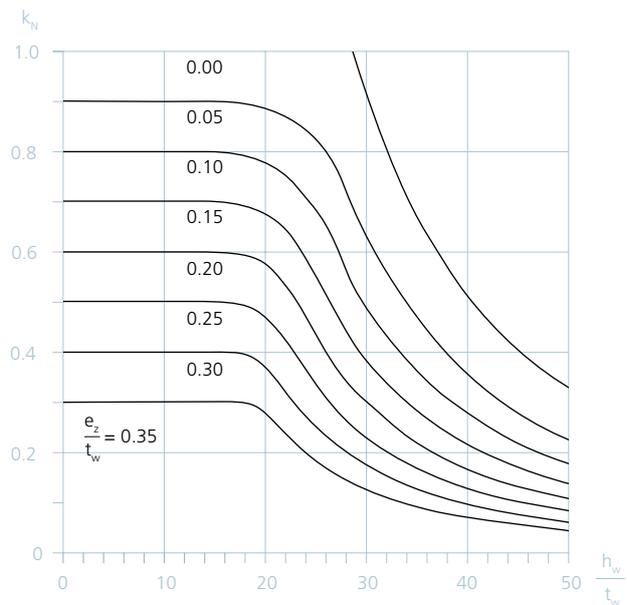
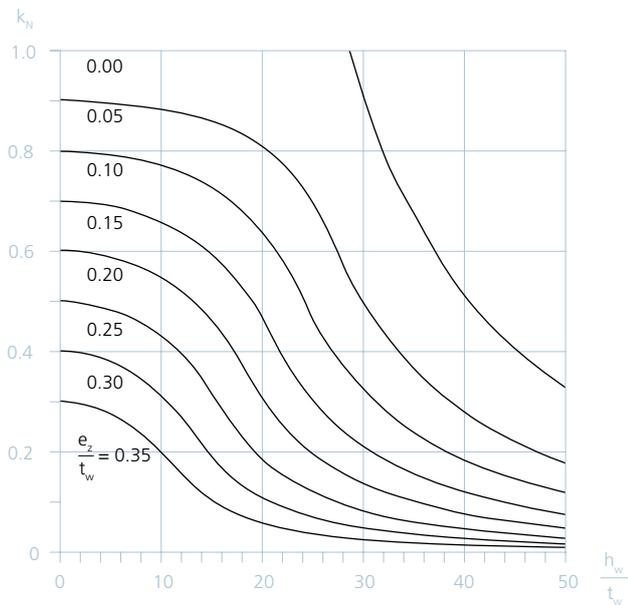
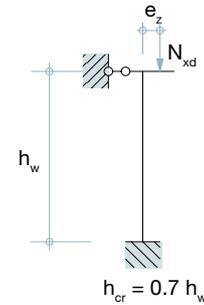
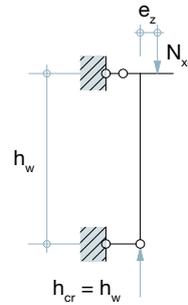
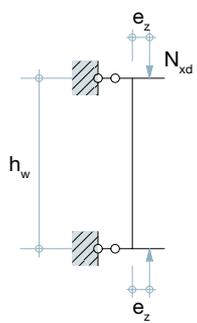
### Tragsicherheit

Die Tragsicherheit ist nachgewiesen, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

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



Der Faktor  $k_N$  kann mit den folgenden Diagrammen ermittelt werden:



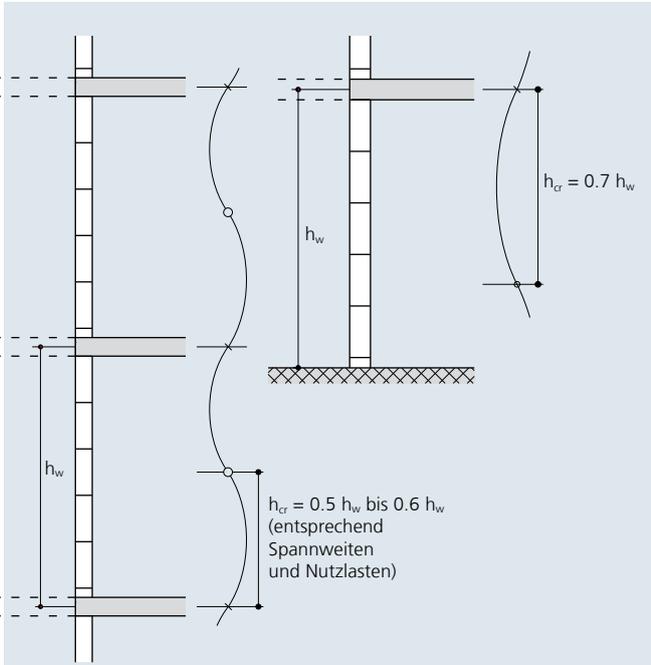
### Gebrauchstauglichkeit

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 KS-QUADRO E Mauerwerk

Bemessungsdiagramme Tragsicherheit unter Normkraftbeanspruchung



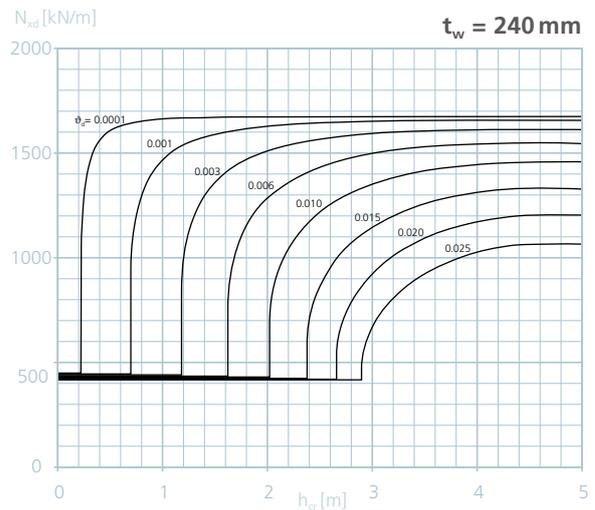
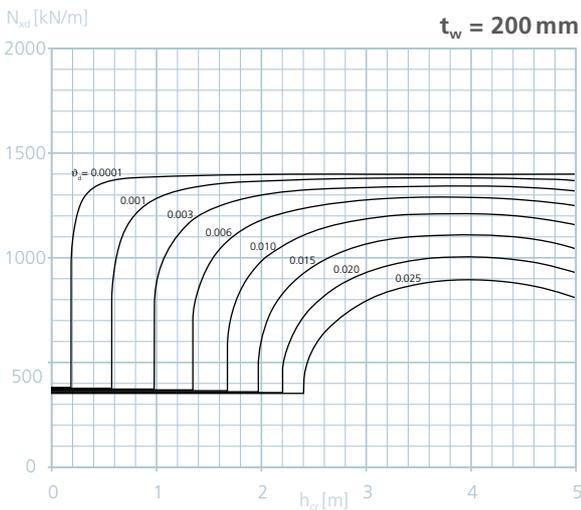
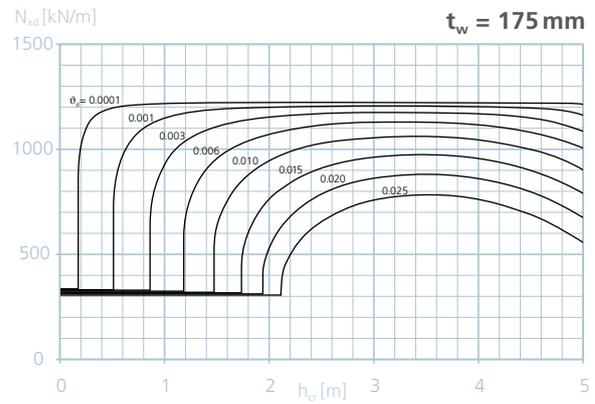
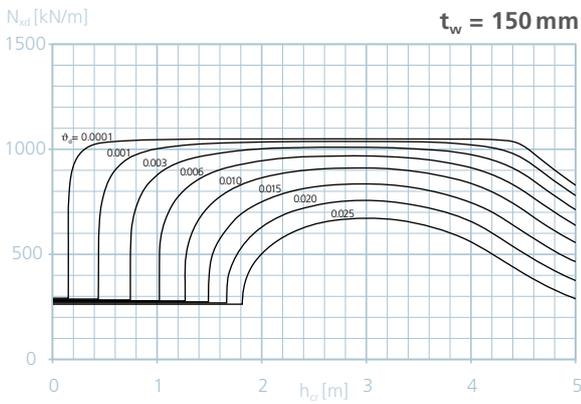
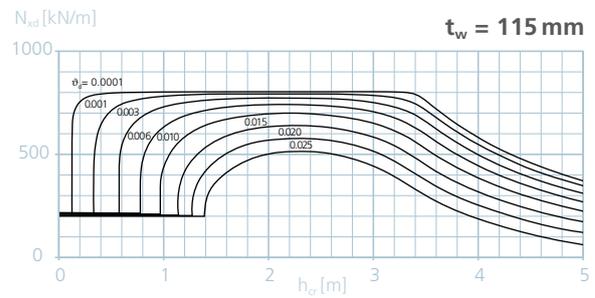
## Tragsicherheit von KS-QUADRO E Mauerwerken mit Dünnbettmörtel

$f_{xd} = 7.0 \text{ N/mm}^2$

$E_{xd} = 3.7 \text{ kN/mm}^2$

$\vartheta_d$ : Bemessungswert des Deckenauflegerdrehwinkels

$h_{cr}$ : 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

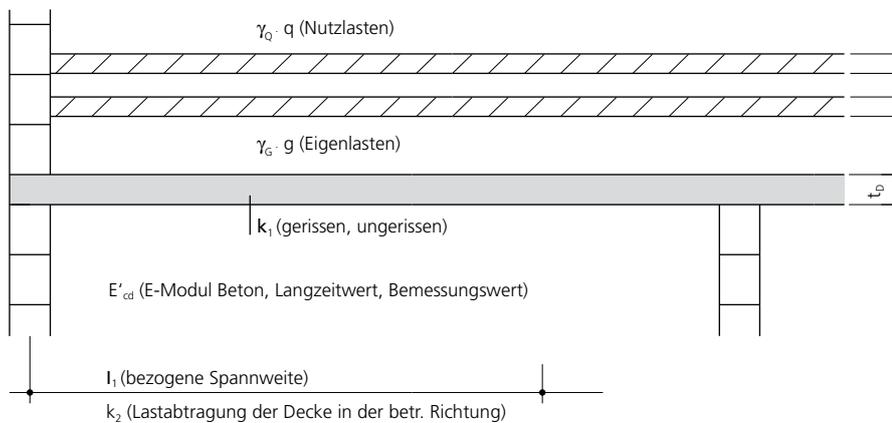
Die Beurteilung erfolgt mit dem Bemessungswert  $\vartheta_d$  (Auflagerdrehwinkel der einfach gelagerten Decke) nach der folgenden Formel:

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

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  $\vartheta_d$  ist der statischen Berechnung der zugehörigen Geschossdecke wie folgt zu entnehmen:



# Nachweise für Tragsicherheit

## Beispiel 1

Innere Schale einer Aussenwand in Zweischalen-Mauerwerk eines mehrgeschossigen Gebäudes.

### ■ Bezogene Höhe der Wand $h_{cr}$ :

Annahmen:

- in den Zwischengeschossen:  $h_{cr} = 0.5 \cdot 2.9 = 1.45 \text{ m}$
- im untersten Geschoss:  $h_{cr} = 0.7 \cdot 2.9 = 2.03 \text{ m}$

### ■ Lastabtragung der Decke:

In der massgebenden Richtung, festgelegt beispielsweise anhand von Lastezugsflächen.

- Annahme:  $k_2 = 0.70$

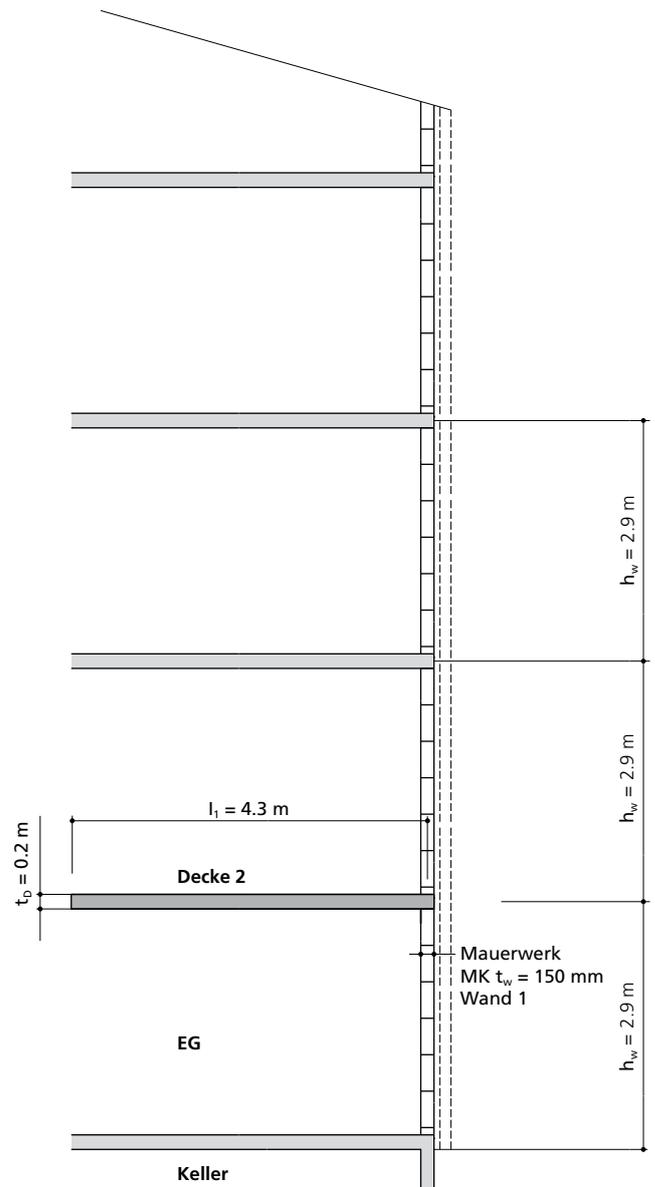
### ■ Lasten:

- Stahlbetondecke + Unterlagsboden:  $g = 7.5 \text{ kN/m}^2$
- Nutzlasten:  $q = 4.0 \text{ kN/m}^2$
- Wandegenlasten:  $q = 2.1 \text{ kN/m}^2$

## Für den Tragsicherheitsnachweis

### ■ Normalkraft pro Geschoss (mit $\gamma_G = 1.35$ , $\gamma_Q = 1.5$ ):

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



## Nachweis Tragsicherheit

### bei 4 Geschossen (+ Dachraum) im untersten Geschoss, Wand 1:

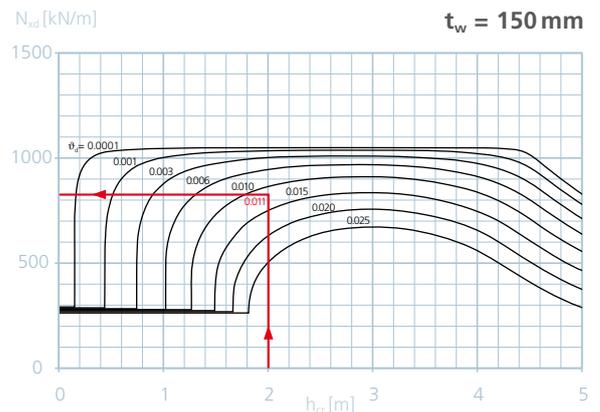
$N_{xd} = 4 \cdot 31.9 = 127.6 \text{ kN/m}^1$   
 $h_{cr} = 2.03 \text{ m}$

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

### Nachweis bei 4 Geschossen:

Diagramm MK  $t_w = 150 \text{ mm}$ :  
 $N_{xd} \approx 820 \text{ kN/m}^1 > 127.6 \text{ kN/m}^1 = N_{xd \text{ vorh}}$

**Tragsicherheit nachgewiesen!**



## Nachweise für Tragsicherheit

### Beispiel 2

Hoch belastete Zwischenwand im untersten Geschoss mit unterschiedlichen Deckenspannweiten.

■ **Bezogene Höhe der Wand  $h_{cr}$ :**

$$h_{cr} = 0.7 \cdot 2.7 = 1.89 \text{ m}$$

■ **Massgebende bezogene Spannweite der Decke:**

$$l_1 = 0.6 \cdot 5.0 = 3.00 \text{ m}$$

■ **Lastabtragung der Decke:**

Annahme:  $k_2 = 0.80$

■ **Lasten:**

Wand von Obergeschossen:  $N'_{xd} = 300 \text{ kN/m}^1$   
 Stahlbetondecke:  $g = 7.5 \text{ kN/m}^2$   
 Nutzlasten:  $q = 4.0 \text{ kN/m}^2$

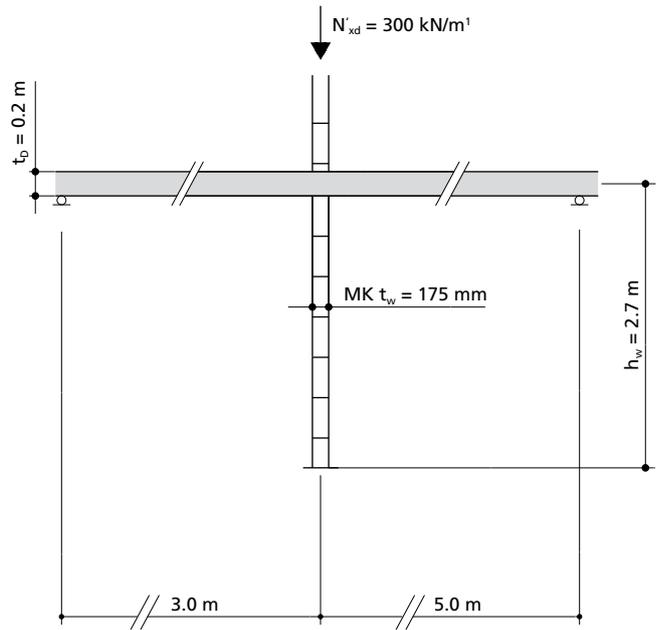
■ **Normalkraft pro Geschoss (mit  $\gamma_G = 1.35, \gamma_Q = 1.5$ ):**

von Obergeschossen:  $300.0 \text{ kN/m}^1$

von Decke:  $7.5 \cdot 1.35 \cdot \frac{5.0 + 3.0}{2} \cdot 0.8 = 32.4 \text{ kN/m}^1$

$4.0 \cdot 1.5 \cdot \frac{5.0 + 3.0}{2} \cdot 0.8 = 19.2 \text{ kN/m}^1$

$N_{xd} = 351.6 \text{ kN/m}^1$



### Nachweis Tragsicherheit

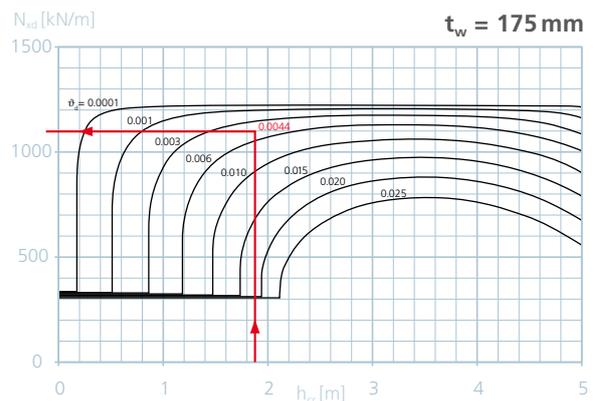
$$\vartheta_{d1} = \frac{2 \cdot 0.8 \cdot (1.35 \cdot 7.5 + 1.5 \cdot 4.0) \cdot 3.0^3}{2 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 0.2^3} = 0.0044 \text{ rad}$$

**Nachweis bei 4 Geschossen:**

Diagramm MK  $t_w = 175 \text{ mm}$ :

$N_{xd} \cong 1100 \text{ kN/m}^1 > 351.6 \text{ kN/m}^1 = N_{xd \text{ vorh}}$

**Tragsicherheit nachgewiesen!**



## Gebrauchstauglichkeit

Die Beurteilung erfolgt mit dem Auflagerdrehwinkel der einfach gelagerten Decke  $\vartheta$  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:

$N_{x0}$ : Bezugsgrösse gemäss Diagramm  
(Bezugsgrösse ohne physikalische Bedeutung zur Optimierung der Anwendungsbereiche der Diagramme)

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

Allgemein gilt:  $r = \frac{h_0}{200} \cdot r_{200}$

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

Abszisse	Kurvenparameter
$h_{cr} \cdot \sqrt{\frac{N_x}{N_{x0}}}$	$\vartheta \cdot \sqrt{\frac{N_{x0}}{N_x}}$

### 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

( $f_{yk} = 14.0$  N/mm<sup>2</sup>,  $E_{yk} = 7.4$  kN/mm<sup>2</sup>)

## 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/m<sup>2</sup>  $2.0 \cdot \frac{4.3}{2} \cdot 0.7 = 3.2$

von Wand:  $2.0 \cdot 2.7 = 5.7$

---

$N_x = 19.7$  kN/m<sup>1</sup>

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

#### ■ Nachweis im untersten Geschoss; Wand 1

$N_x = 4 \cdot 19.7 = 78.8$  kN/m<sup>1</sup>

Diagramm MK,  $t_w = 150$  mm

$$h_{cr} \cdot \sqrt{\frac{N_x}{N_{x0}}} = 2.03 \cdot \sqrt{\frac{78.8}{100}} = 1.80 \text{ m}$$

$$\vartheta \cdot \sqrt{\frac{N_{x0}}{N_x}} = 0.0055 \cdot \sqrt{\frac{100}{78.8}} = 0.0062 \text{ rad}$$

Rissbreite bei Schichthöhe 200 mm:

$$r_{200} \cdot \frac{N_{x0}}{N_x} \cong 0.36 \text{ mm}$$

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

### Beurteilung:

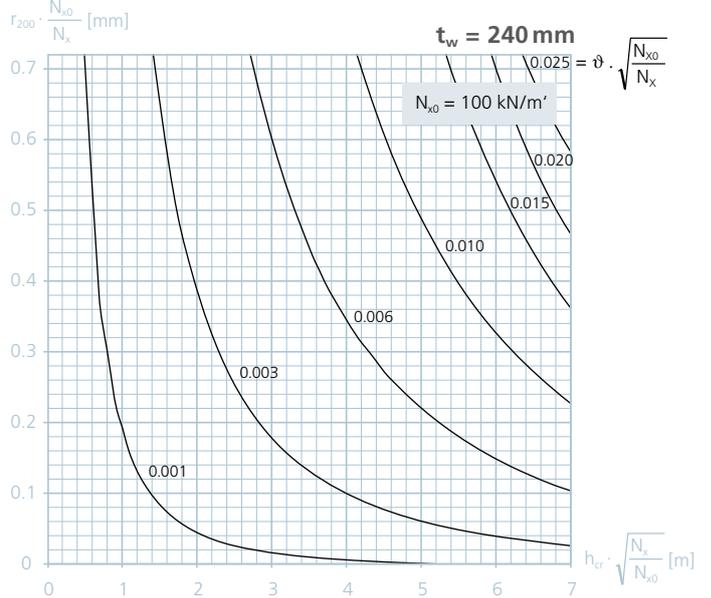
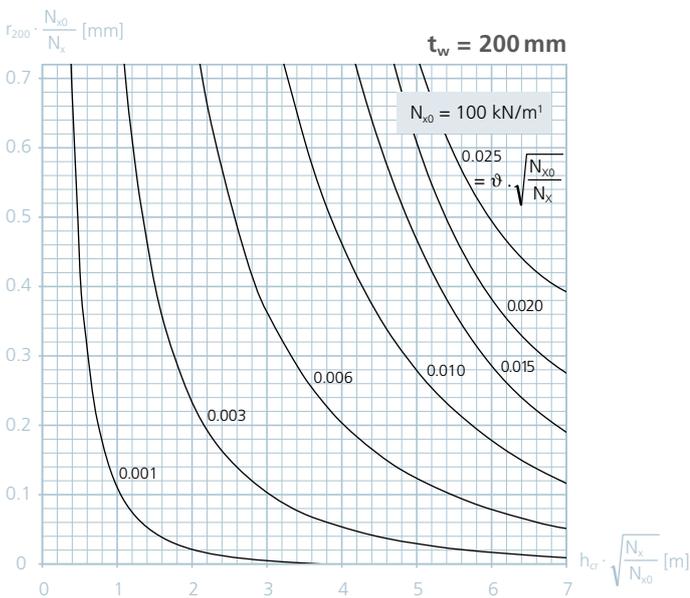
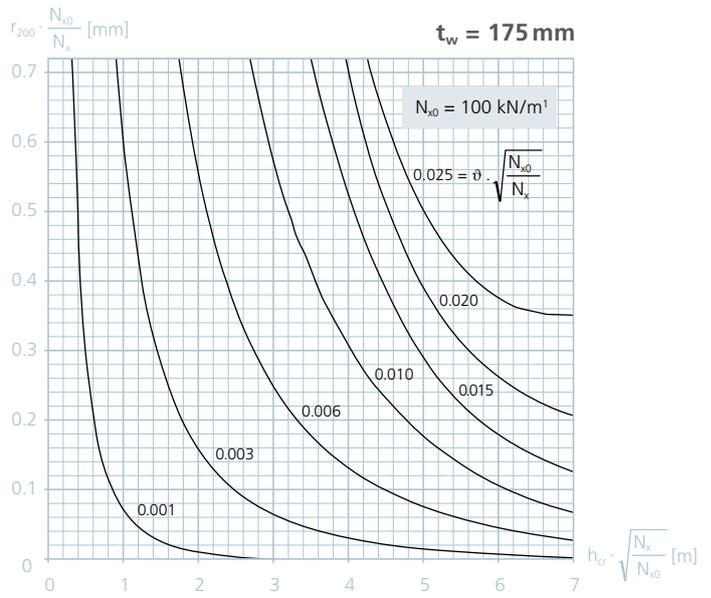
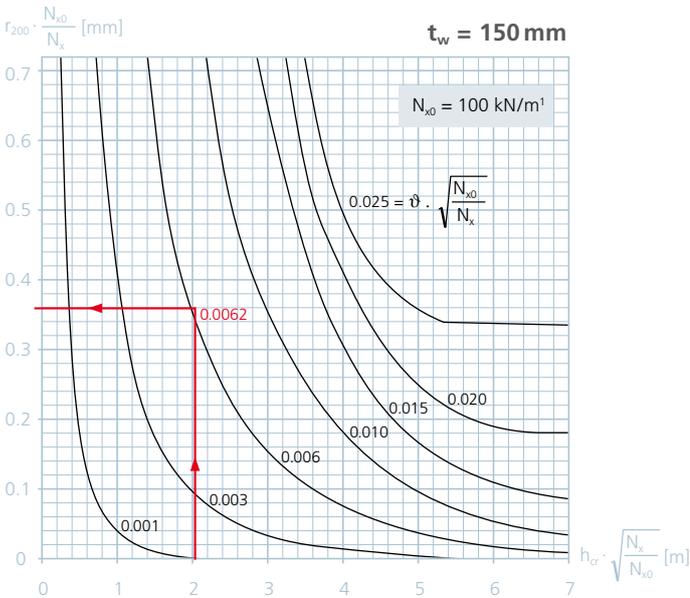
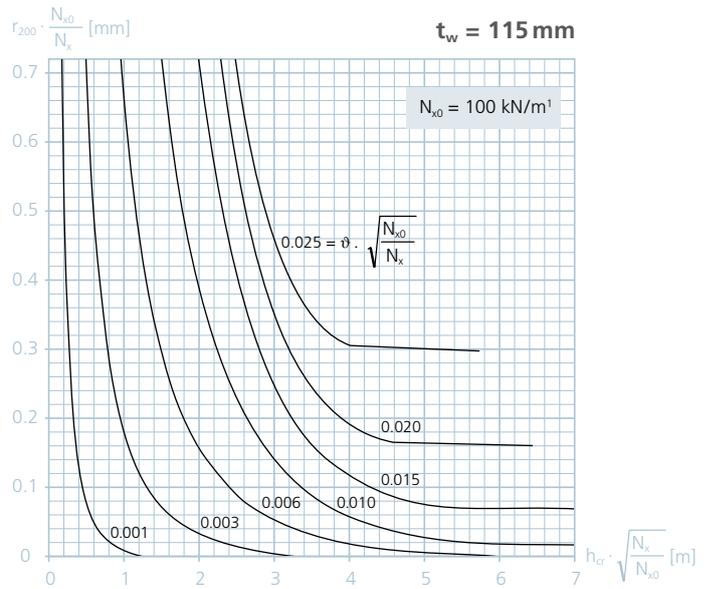
Beim Zweischalenmauerwerk ist der Riss an der Wandaussen-seite der tragenden Schale unbedenklich. Bei nicht allzu hohen Normalkräften erscheint der innere Riss am Übergang Decke-Wand im Bereich des Unterlagsbodens.

# Gebrauchstauglichkeit KS-QUADRO E Mauerwerk

Bemessungsdiagramme Gebrauchstauglichkeit unter Normkraftbeanspruchung

## Gebrauchstauglichkeit von KS-QUADRO E Mauerwerken mit Dünnbettmörtel

$f_{xk} = 14.0 \text{ N/mm}^2$   
 $E_{xk} = 7.4 \text{ kN/mm}^2$



# Bemessungsdiagramm

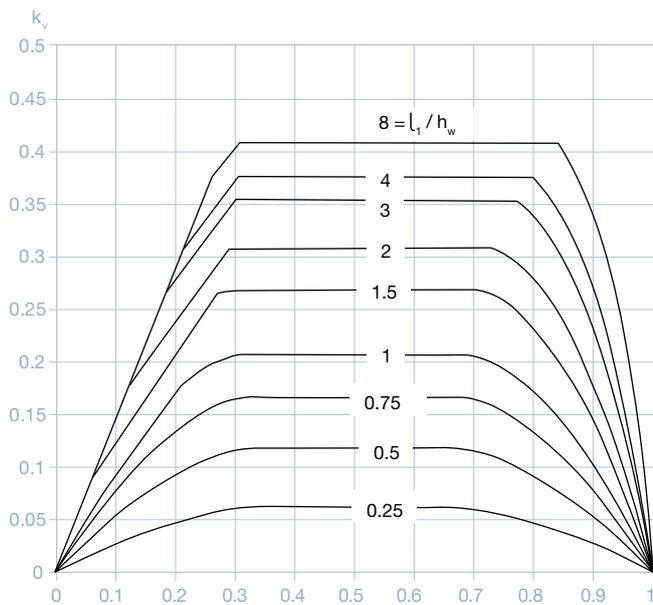
## Tragsicherheit unter Schubbeanspruchung mit zentrischer Normalkraft

### Mauerwerk KS-Quadro E mit Dünnbettmörtel

Tragsicherheit

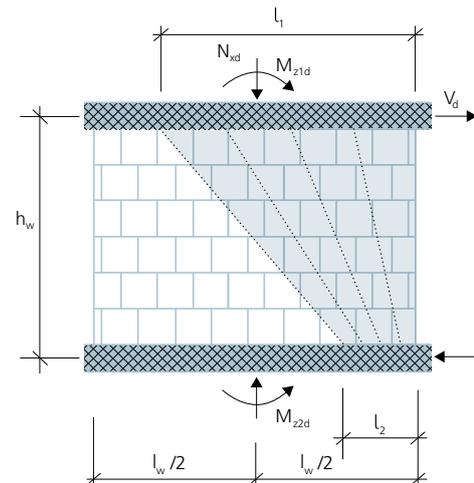
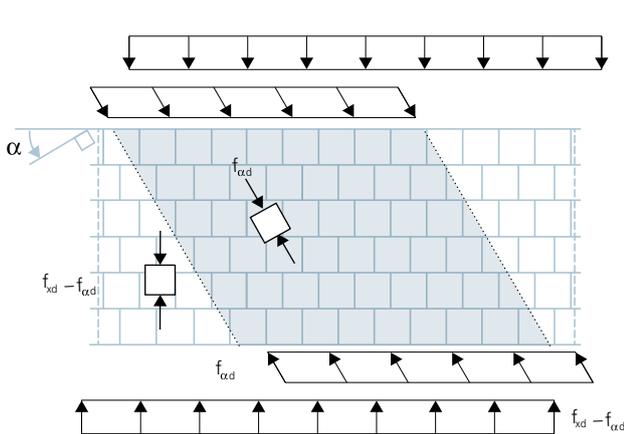
( $f_{xd} = 7.0 \text{ N/mm}^2$ ,  $f_{yd} = 3.0 \text{ N/mm}^2$ ,  $\mu_d = 0.6$ )

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



Figur 6

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



$\alpha$	$f_{\alpha d}$
$0^\circ$	$f_{xd}$
$0 < \alpha \leq \arctan \mu_d$	$f_{yd}$
$\arctan \mu_d < \alpha < 90^\circ$	0
$90^\circ$	$f_{yd}$

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 für KS-QUADRO E

Mechanische Eigenschaften	Deklarierte Werte	Angaben in Norm	Normen
---------------------------	-------------------	-----------------	--------

**MAUERWERK MK**

gemäss Norm SIA 266 und SN 771-2

Mauerwerksdruckfestigkeit $f_{xk}$	14.0 N/mm <sup>2</sup>	7.0 N/mm <sup>2</sup>	SN EN 1052-1
Elastizitätsmodul $E_{xk}$	7.4 kN/mm <sup>2</sup>	7.0 kN/mm <sup>2</sup>	SN EN 1052-1
Mauerwerksbiegezugfestigkeit $f_{fkk}$	0.42 N/mm <sup>2</sup>	0.15 N/mm <sup>2</sup>	SN EN 1052-2
Endkriechwert $\phi$		1.5	SIA 266
Endschwindmass $\epsilon_s$		-0.2 ‰	SIA 266
Verbundfestigkeit, erste Lagerfuge		0.15 N/mm <sup>2</sup>	SN EN 998-2

**MAUERSTEIN K**

gemäss Norm SIA 266:2003 und SN 771-2:2003

Form und Ausbildung		Kategorie 1	SN EN 771-2
Bruttorohdichte 1.8 ( $t_w = 115, 145$ mm)	1610-1800 kg/m <sup>3</sup>		SN EN 771-2
Bruttorohdichte 2.0 ( $t_w = 175, 200, 240$ mm)	1810-2000 kg/m <sup>3</sup>		SN EN 771-2
Steindruckfestigkeit $f_{bk}$	$\geq 30.0$ N/mm <sup>2</sup>	22.0 N/mm <sup>2</sup>	SIA 266/1
Querzugfestigkeit $f_{bqk}$	$\geq 10.0$ N/mm <sup>2</sup>	7.0 N/mm <sup>2</sup>	SIA 266/1
Äquivalente Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10 \text{ trocken}}$ (P = 90%)		1.0 W/mK	SN EN 1745
Frostbeständigkeit/Dauerhaftigkeit	erfüllt		SN EN 772-18
Wasserdiffusionskoeffizient $\mu$	5/25		SN EN 1745
Brandverhalten	Euroklasse A1		SN EN 771-2
Wasseraufnahme $c_w$	5 - 9 %		SN EN 771-2
Gefährliche Substanzen*	Keine		Umwelt-Produkte-Dekl.
Lochflächenanteil	$\leq 15$ %		EN 772-2

\*Institut Bauen und Umwelt, EPD-BKS-2009111-D, [www.bau-umwelt.com](http://www.bau-umwelt.com)**DÜNNBETTMÖRTEL**

gemäss Norm SIA 266 und SN EN 998-2

Druckfestigkeit $f_{mk}$		15.0 N/mm <sup>2</sup>	EN 1015-11
Haftscherfestigkeit/Verbundfestigkeit		0.3 N/mm <sup>2</sup>	SN EN 998-2
Korngrössenbereich		$\leq 2$ mm	EN 1015-1
Trockenrohichte		$\geq 1300$ kg/m <sup>3</sup>	EN 1015-10

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.

