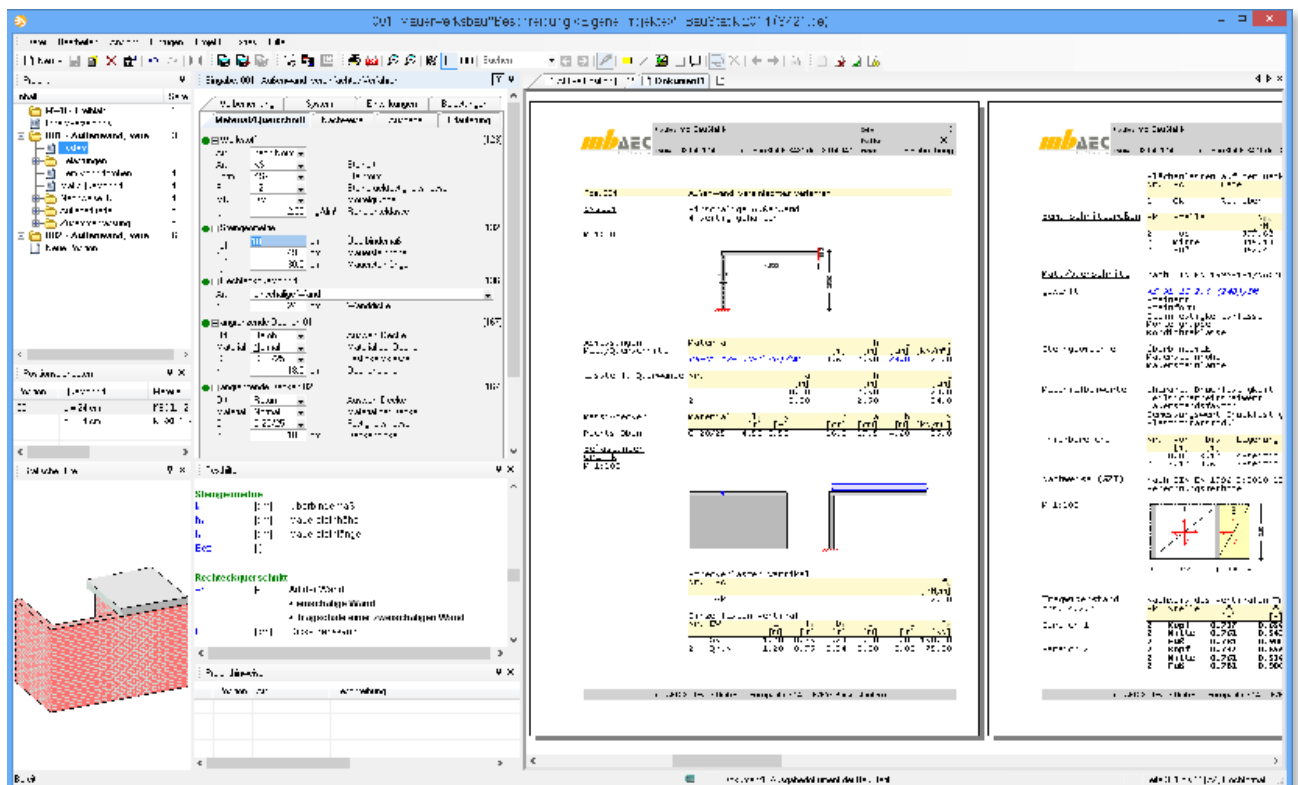


Dipl.-Ing. Sascha Heuß

# Brand- und Erdbebennachweise im Mauerwerksbau

## Leistungsbeschreibung des BauStatik-Moduls S421.de Mauerwerk-Wand, Erdbeben- und Heißbemessung

Für einen vollständigen Mauerwerksnachweis sind neben den Nachweisen in den ständigen und vorübergehenden Situationen auch Nachweise in außergewöhnlichen Situationen zu führen. Dabei nehmen die Nachweise für Brand und Erdbeben eine Sonderstellung ein, da hier jeweils eigene Einwirkungskombinationen zu bilden sind. Daneben sind konstruktive Mindestanforderungen einzuhalten. Das Modul S421.de führt alle erforderlichen Nachweise und fasst die Ergebnisse in einer kompakten und übersichtlichen Ausgabe zusammen.



### Allgemeines

#### Zuordnung der Berechnungsmethoden

In DIN EN 1996-3 [5] ist die Vereinfachte Berechnungsmethode geregelt. In DIN EN 1996-1-1 [1] die Genauere Berechnungsmethode.

#### Angepasster Fragenkatalog

Da sich beide Berechnungsverfahren in Berechnungsumfang und Detaillierungsgrad stark unterscheiden, ist der Fragenkatalog abhängig vom gewählten Berechnungsverfahren unterschiedlich aufgebaut.

Naturngemäß ergibt sich für die Vereinfachte Berechnungsmethode eine gegenüber der Genaueren Berechnungsmethode deutlich reduzierte Anzahl an vorzugebenden Parametern.

Exemplarisch werden die Unterschiede anhand der Belastungseingabe (Bild 2) verdeutlicht. Bei der Vereinfachten Berechnungsmethode fehlen die Möglichkeiten zur Eingabe von Exzentrizitäten und Horizontallasten sowohl in Platten- als auch in Scheibenrichtung.

## Genormtes Mauerwerk

Im Modul S421.de erfolgt die Ermittlung der charakteristischen Druckfestigkeit für genormte Stein-Mörtel-Kombinationen automatisch. Es sind lediglich das Material, die Steinform, die Steindruckfestigkeitsklasse und die Mörtelgruppe vorzugeben (Bild 3). Die Ermittlung erfolgt dann nach den im Grundlagenartikel [11] beschriebenen Verfahren.

## Vereinfachte Berechnungsmethode

### Anwendungsgrenzen

Die Anwendungsgrenzen des Vereinfachten Verfahrens werden programmseitig überprüft und im Fall einer Überschreitung durch eine Fehlermeldung abgefangen.

### System

Im Kapitel „System“ werden die Wand- und Deckenabmessungen vorgegeben.

Dabei werden neben der lichten Höhe und den Spannweiten auch die Breiten der Bauteile abgefragt. Dies dient zur Berechnung der Knicklängen, zum anderen auch der Ermittlung der Last aus den Decken. Z. B. kann durch Vorgabe unterschiedlicher Breiten bei Decke und Wand ein Pfeiler zwischen zwei Fensteröffnungen abgebildet werden.

Weiterhin bietet der Eurocode 6 [5] erstmals die Möglichkeit, teilaufgelagerte Decken in den Nachweis mit einzubeziehen. Bei Vorgabe einer Auflagertiefe wird diese auf die Mindestabmessungen hin überprüft und der Tragfähigkeitsnachweis entsprechend geführt.

Aufgrund der fehlenden Auflast sind Decken im obersten Geschoss im Tragfähigkeitsnachweis gesondert zu betrachten. Es ist daher anzugeben, ob es sich um eine Wand im obersten Geschoss handelt oder nicht.

### Belastungen

Da das Vereinfachte Verfahren auf den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit beschränkt ist, sind auch die Möglichkeiten der Lasteingabe gegenüber dem Genaueren Verfahren eingeschränkt.

Als Lastarten stehen folgende Belastungen am Wandkopf zur Verfügung:

- Gleichlasten [kN/m]
- Blocklasten [kN/m]
- Trapezlasten [kN/m]
- Einzellasten [kN]
- Deckenlasten [kN/m<sup>2</sup>]

Lasten, die senkrecht in Plattenrichtung auf die Wand wirken (z.B. Wind), brauchen und können im Vereinfachten Verfahren nicht berücksichtigt zu werden.

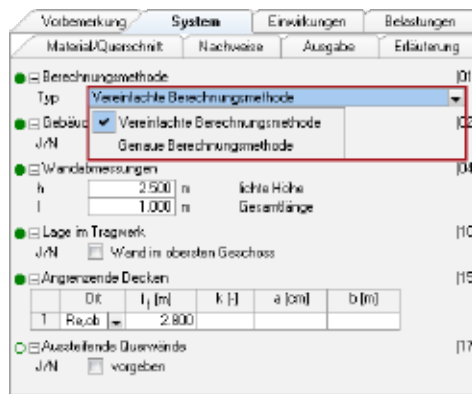
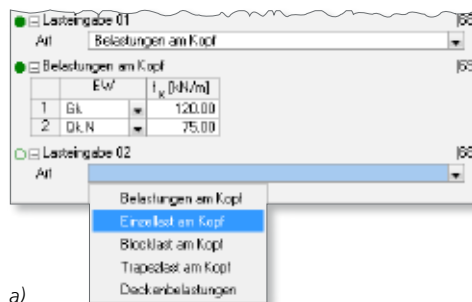
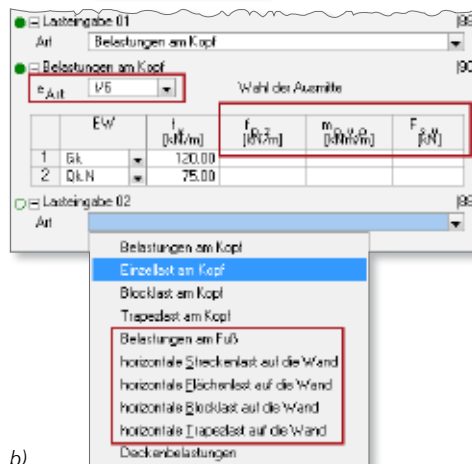


Bild 1. Auswahl der Berechnungsmethode



a)



b)

Bild 2. Angepasste Belastungseingabe, hier Unterschiede in der Lastdefinition bei  
a) der Vereinfachten Berechnungsmethode  
b) der Genauen Berechnungsmethode

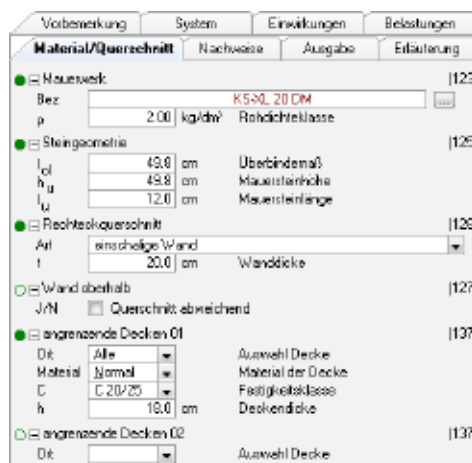


Bild 3. Materialdefinition von genormten Mauersteinen

**Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)**

Im Grenzzustand der Tragfähigkeiten ist nachzuweisen, dass:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

mit

$N_{Ed}$  Bemessungswert der vertikalen Belastung

$N_{Rd}$  Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstands

$$N_{Rd} = \Phi_S \cdot f_d \cdot A$$

mit

$\Phi_S$  Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Schlankheit und der Lastausmitte

$f_d$  Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks

$A$  Bruttoquerschnittsfläche der Wand

$$A = l \cdot t$$

$l$  Länge der Wand

$t$  Wandstärke

Der Abminderungsbeiwert ist am Wandkopf, -fuß festgelegt auf:

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

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

mit

$l_f$  Deckenspannweite [m]

$a$  Deckenauflagertiefe bei Teilauflagerung

$t$  Wandstärke

Für den Fall, dass es sich bei der Wand um ein Innenaufleger einer durchlaufenden Decke handelt, oder dass bei einem Endauflager konstruktive Maßnahmen (z.B. Zentrierleisten) zur Vermeidung der Traglastminderung infolge Deckendrehwinkel vorgenommen werden, gilt:

$$\Phi_1 = 0,9 \cdot \frac{a}{t}$$

Bei Decken über dem obersten Geschoss, insbesondere Dachdecken, gilt aufgrund geringer Auflasten:

$$\Phi_1 = 0,333$$

In Wandmitte gilt:

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

mit

$h_{ef}$  Knicklänge der Wand

Die Knicklängen der Wand werden programmseitig abhängig von den eingegebenen Querwänden automatisch ermittelt und der Nachweis an der maßgebenden Stelle geführt.

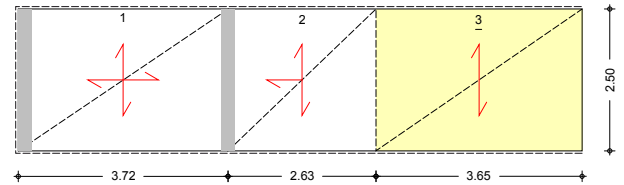


Bild 4. Automatische Aufteilung der Wand in Knicklängenbereiche und Markierung des maßgebenden Bereichs

| Mat./Querschnitt |                        | nach DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05                                 |                             |
|------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| gewählt          | KS 12-2.0-(175)/NM Iia | Kalksandstein                                                   |                             |
|                  | Steinart               | Vollstein KS                                                    |                             |
|                  | Steinform              | 12                                                              |                             |
|                  | Steinfestigkeitsklasse | Normalmauermörtel NM Iia                                        |                             |
|                  | Mörtelgruppe           | $\rho = 2.00 \text{ g/cm}^3$                                    |                             |
|                  | Rohdichteklasse        |                                                                 |                             |
| Materialbeiwerte |                        | charakt. Druckfestigkeit                                        | $f_k = 6.01 \text{ N/mm}^2$ |
|                  |                        | Teilsicherheitsbeiwert                                          | $\gamma_m = 1.50$           |
|                  |                        | Dauerstandsfaktor                                               | $\zeta = 0.85$              |
|                  |                        | Bemessungswert Druckfestig.                                     | $f_d = 3.41 \text{ N/mm}^2$ |
|                  |                        | Elastizitätsmodul                                               | $E = 5711 \text{ N/mm}^2$   |
| Knickbereiche    |                        | Nr. von bis Lagerung $\rho_2$ $\alpha$ $h_{ef}$ $\lambda$       |                             |
|                  |                        | 1 0.00 10.00 2-seitig 0.75 [-] 1.88 10.71                       |                             |
| Nachweise (GZT)  |                        | nach DIN EN 1996-3:2010-12 mit vereinfachter Berechnungsmethode |                             |
| Tragwiderstand   |                        | Nachweis des vertikalen Tragwiderstands                         |                             |
| Abs. 4.2.2       |                        | EK Stelle $\Phi_1$ $\Phi_2$ $N_{Ed}$ $N_{Rd}$ $\eta$            |                             |
|                  |                        | 1 Kopf 0.900 0.724 85.05 5365.11 0.02                           |                             |
|                  |                        | 1 Mitte 0.900 144.11 4314.29 0.03                               |                             |
|                  |                        | 1 Fuß 0.900 203.18 5365.11 0.04                                 |                             |

Bild 5. Ausgabebeispiel Materialdokumentation u. Nachweise (GZT)

Im Eingabekapitel „Nachweise“ können optional konstruktive Maßnahmen zur Begrenzung der Traglastminderung vorgegeben werden. Der Wert  $\Phi_1$  wird dann wie oben beschrieben ohne Berücksichtigung der Deckenspannweite ermittelt.

### Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)

Aufgrund der konstruktiven Vorgaben und Einschränkungen und des Sicherheitsabstandes in der Berechnung der  $\Phi$ -Werte sind keine Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zu führen.

### Genaueres Verfahren

#### Allgemeines

Das Genauere Berechnungsverfahren kommt immer dann zum Einsatz, wenn die Randbedingungen des Vereinfachten Verfahrens nicht eingehalten werden können oder wenn eine wirtschaftlichere Bemessung angestrebt wird.

Das grundsätzliche Vorgehen entspricht für den Nachweis des vertikalen Tragwiderstandes dem des Vereinfachten Verfahrens mit dem Unterschied, dass die Ermittlung der Abminderungsfaktoren  $\Phi$  differenzierter erfolgt.

Zusätzlich ist der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit in Platten- und Scheibenrichtung zu führen. Für Einzellasten besteht die Möglichkeit, die erhöhten Tragfähigkeiten infolge einer Teilflächenbelastung auszunutzen.

#### Systeme und Schnittgrößenermittlung

Die Querschnittsbelastung wird abhängig von der jeweiligen Lastkomponente an unterschiedlichen statischen Systemen ermittelt.

### Momente aus Deckendrehwinkel

DIN EN 1996-1-1[2], NCI Anhang NA.C lässt die Berechnung der Momente am Wand-Decken-Knoten oder an einem geeigneten Rahmensystem zu. Die unter Annahme eines ungerissenen Wand-Decken-Knotens ermittelten Momente dürfen noch mit dem Faktor  $\eta$  abgemindert werden.

$$\eta = 1 - \frac{k_m}{4}$$

mit

$$k_m = \frac{n_3 \cdot \frac{EI_3}{l_3} + n_4 \cdot \frac{EI_4}{l_4}}{n_1 \cdot \frac{EI_1}{h_1} + n_2 \cdot \frac{EI_2}{h_2}}$$

$n_i$  Steifigkeitsfaktor des anschließenden Stabs:  
Der Faktor ist 4 für beidseitig eingespannte Stäbe und 3 in allen anderen Fällen.

$EI_{1,2}$  Steifigkeit der anschließenden Wandstäbe

$EI_{3,4}$  Steifigkeit der anschließenden Deckenstäbe

$h_i$  lichte Höhe der Wandstäbe

$l_i$  Spannweite der Decken

Bild 6. Systemeingabe mit Wänden ober- und unterhalb der betrachteten Wand

Im Modul S421.de werden die Momente aus Deckendrehwinkeln an einem Rahmensystem ermittelt. Dabei sind alle an die betrachtete Wand anschließenden Stäbe vorzugeben, d.h. sofern vorhanden, sind neben den Decken auch die Wände ober- und unterhalb der betrachteten Wand vorzugeben.

Die Ausgabe der Momente aus Deckenverdrehung erfolgt grafisch und tabellarisch, wobei der Abminderungsfaktor  $\eta$  und Wert  $k_m$  ebenfalls zur besseren Nachvollziehbarkeit mit ausgegeben werden.

| aus Deckenverdrehung | Ek | Stelle | Med.v  | $k_m$ | $\eta$ | Med.v, red |
|----------------------|----|--------|--------|-------|--------|------------|
|                      | 1  | Kopf   | -29.26 | 1.73  | 0.57   | -16.59     |
|                      | 1  | Mitte  | 1.07   | 2.00  | 0.50   | -0.44      |
|                      | 1  | Fuß    | 31.40  | 2.00  | 0.50   | 15.70      |

Bild 7. Tabellarische Ausgabe der Momente aus Deckenverdrehung

### Momente aus Lasten in Plattenrichtung

Die Momente aus Lasten in Plattenrichtung (z.B. Wind senkrecht auf die Wand) werden am Einfeldträger ermittelt, wobei die Endenspannungen zwischen den Extrema „Volleinspannung“ und „gelenkige Lagerung“ vom Aufsteller frei gewählt werden dürfen.

Bild 8. Vorgabe der Endenspannungen für Plattenbelastung

Im Modul S421.de wird die Einspannung an den Endauflagern mit einer prozentualen Einspannung im Kapitel „System“ vorgegeben. So sind alle Zustände zwischen Volleinspannung und gelenkiger Lagerung modellierbar.

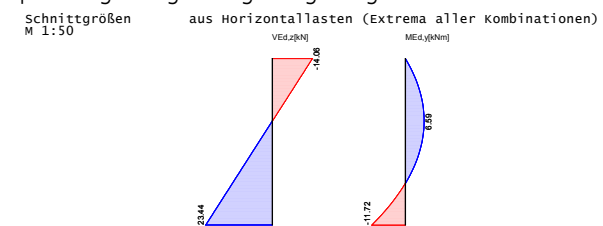


Bild 9. Schnittgrößen aus horizontaler Plattenbelastung

### Momente aus Scheibenbelastung

Hier wird die Wand als am Fußpunkt eingespannter Kragträger betrachtet.

### Ausmitten

Grundlage für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) ist die Ermittlung der Exzentrizitäten am Wandkopf, in Wandmitte und am Wandfuß.

| Ausmitte in Scheibenrichtung |       | Ek | Stelle | $e_{z,L}$ | $e_{z,D}$ | $e_{ne}$ | $e_{init}$ | $e_k$ | $e_z$ |
|------------------------------|-------|----|--------|-----------|-----------|----------|------------|-------|-------|
| 1                            | Kopf  |    |        | 0.0       | 11.1      | 0.0      | 0.0        | 11.1  | 0.0   |
| 4                            | Mitte |    |        | 0.0       | -0.2      | -4.0     | -0.6       | -5.2  | 8.6   |
| 1                            | Fuß   |    |        | 0.0       | -6.3      | 0.0      | 0.0        | -6.3  | 13.2  |

| Ausmitte in Plattenrichtung |       | Ek | Stelle | $e_{z,L}$ | $e_{z,D}$ | $e_{ne}$ | $e_{init}$ | $e_k$ | $e_z$ |
|-----------------------------|-------|----|--------|-----------|-----------|----------|------------|-------|-------|
| 1                           | Kopf  |    |        | 0.0       | 11.1      | 0.0      | 0.0        | 11.1  | 0.0   |
| 4                           | Mitte |    |        | 0.0       | -0.2      | -4.0     | -0.6       | -5.2  | 8.6   |
| 1                           | Fuß   |    |        | 0.0       | -6.3      | 0.0      | 0.0        | -6.3  | 13.2  |

Bild 10. Ausgabe der Exzentrizitäten

Die einzelnen Anteile an der Gesamtexzentrizität werden übersichtlich und mit einer Legende versehen ausgegeben, wobei in der letzten Spalte die Summe aller Anteile ausgegeben wird. Neben den Exzentrizitäten aus Lasten werden die Anteile aus Imperfektionen und Kriechen programmseitig automatisch nach DIN EN 1996-1-1[1], 6.1.2.1(ii) ermittelt. Dabei wird die Gesamtausmitte nie kleiner als die Mindestausmitte von  $0,05 \cdot t$  angenommen.

### Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

Die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) werden mit resultierenden Schnittgrößen am Gesamtsystem geführt. Nur für Belastungen, die als Einzellasten vorgegeben sind, wird zusätzlich neben dem Nachweis der Teilflächenpressungen der Knicknachweis in halber Höhe unter dem Lastenleitungspunkt geführt.

### Vertikaler Tragwiderstand

Das Nachweisformat entspricht dem Vereinfachten Verfahren, wobei die zweiachsige Biegung über die Abminderungsfaktoren in beiden Richtungen berücksichtigt wird.

$$N_{Rd} = \phi_y \cdot \phi_z \cdot f_d \cdot A$$

mit

$\phi_y$  Abminderungsfaktor in Scheibenrichtung

$$\phi_y = 1 - 2 \cdot \frac{e_y}{l}$$

mit

$e_y$  Ausmitte in Scheibenrichtung  
 $l$  Wandlänge

$\phi_z$  Abminderungsfaktor in Plattenrichtung

an Wandkopf und -fuß:

$$\phi_z = 1 - 2 \cdot \frac{e_z}{t}$$

in Wandmitte:

$$\phi_z = 1,14 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_z}{t}\right) - 0,024 \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \leq 1 - 2 \cdot \frac{e_z}{t}$$

mit

$e_z$  Ausmitte in Plattenrichtung

$t$  Wandstärke

$h_{ef}$  Knicklänge der Wand

| Nachweis des vertikalen Tragwiderstands |            |       |        |          |          |          |
|-----------------------------------------|------------|-------|--------|----------|----------|----------|
| Tragwiderstand                          | Abs. 6.1.2 | Ek    | Stelle | $\phi_y$ | $\phi_z$ | $N_{Ed}$ |
|                                         |            |       |        |          |          |          |
| 1                                       | Kopf       | 1.000 | 0.421  | 91.13    | 2509.31  | 0.04     |
| 1                                       | Mitte      | 0.978 | 0.706  | 150.19   | 4112.13  | 0.04     |
| 1                                       | Fuß        | 0.968 | 0.756  | 209.25   | 4360.11  | 0.05     |
| 4                                       | Kopf       | 1.000 | 0.421  | 67.50    | 2509.31  | 0.03     |
| 4                                       | Mitte      | 0.978 | 0.020  | 111.25   | 115.97   | 0.96     |
| 4                                       | Fuß        | 0.968 | 0.380  | 155.00   | 2193.07  | 0.07     |

Bild 11. Nachweis des vertikalen Tragwiderstands

### Querkrafttragfähigkeit

Die Querkrafttragfähigkeit wird nach Nationalem Anhang zu DIN EN 1996-1-1[2], NCI zu 6.2.(NA.6) für die Querkraft in Platten- und Scheibenrichtung ermittelt. Einzelheiten hierzu sind dem Grundlagenartikel [11] zu entnehmen. Die Ermittlung der Schubfestigkeiten erfolgt nach Nationalem Anhang zu DIN EN 1996-1-1[2], NDP zu 3.6.2.

| Nachweis der Querkrafttragf. in Scheibenrichtung  |        |           |       |          |            |             |
|---------------------------------------------------|--------|-----------|-------|----------|------------|-------------|
| Ek                                                | Stelle | $t_{cal}$ | $C$   | $F_{vk}$ | $V_{ed,v}$ | $V_{ed1,t}$ |
|                                                   |        |           |       |          |            |             |
| 3                                                 | Kopf   | 11.25     | 1.00  | 0.02     | 10.00      | 20.25       |
| 3                                                 | Mitte  | 11.25     | 1.00  | 0.03     | 10.00      | 33.38       |
| 3                                                 | Fuß    | 11.25     | 1.00  | 0.04     | 10.00      | 46.50       |
| Nachweis Querkrafttragf. inf. Schubdruckversagens |        |           |       |          |            |             |
| 1                                                 | Fuß    | 9.68      | 1.00  | 209.25   | 13.50      | 2158.6      |
| Nachweis Querkrafttragf. inf. Fugenversagens      |        |           |       |          |            |             |
| 1                                                 | Mitte  | 209.25    | 13.50 | 68.70    | 0.20       |             |
| Nachweis der Querkrafttragf. in Plattenrichtung   |        |           |       |          |            |             |
| Ek                                                | Stelle | $t_{cal}$ | $C$   | $F_{vk}$ | $V_{ed,z}$ | $V_{ed1,t}$ |
|                                                   |        |           |       |          |            |             |
| 4                                                 | Kopf   | 0.05      | 1.50  | 0.23     | -14.06     | 48.03       |
| 4                                                 | Mitte  | 0.07      | 1.50  | 0.24     | 4.69       | 74.05       |
| 4                                                 | Fuß    | 0.17      | 1.50  | 0.21     | 23.44      | 165.17      |

Bild 12. Ausgabe Querkraftnachweise mit bis zu drei Nachweisgleichungen für Scheibenschub

### Berücksichtigung von Einzellasten

Im Lasteinleitungsbereich von Einzellasten darf der Spannungsnachweis unter Umständen mit erhöhten Bemessungswerten für die Druckspannungen geführt werden.

$$N_{Ed} \leq N_{Rdc}$$

$$N_{Rdc} = \beta \cdot A_b \cdot f_d$$

Der Lasterhöhungsfaktor hängt von der Steinform, dem Randabstand, der Höhe des Lastangriffs und von der Lastausbreitungslänge ab. Eine Übersicht zeigt folgende Tabelle.

| Vollsteine                                                                                                 |                        | Lochsteine                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------|
| $a_1 > 3 \cdot l_1$                                                                                        | $a_1 \leq 3 \cdot l_1$ |                                                  |
| $\beta = \left(1 + 0,3 \cdot \frac{a_1}{h_c}\right) \cdot \left(1,5 - 1,1 \cdot \frac{A_b}{A_{ef}}\right)$ |                        | $\beta = 1 + 0,1 \cdot \frac{a_1}{l_1} \leq 1,5$ |
| $1,0 \leq \beta \leq \begin{cases} 1,25 + \frac{a_1}{2 \cdot h_c} \\ 1,5 \end{cases}$                      |                        | falls                                            |
| falls                                                                                                      |                        | $A_b \leq 2 \cdot t^2$                           |
| $e \leq \frac{t}{4}$                                                                                       |                        | $e \leq \frac{t}{6}$                             |

Bild 13. Ermittlung Erhöhungsfaktor  $\beta$

Zusätzlich ist noch ein Knicknachweis im Abstand von  $h_c/2$  unterhalb der Lasteinleitungsfläche zu führen. Dabei darf angenommen werden, dass sich die Last unter  $60^\circ$  ausbreitet. Überschneiden sich die Lastausbreitungsflächen zweier benachbarter Einzellasten, so ist dies in der Berechnung zu berücksichtigen.

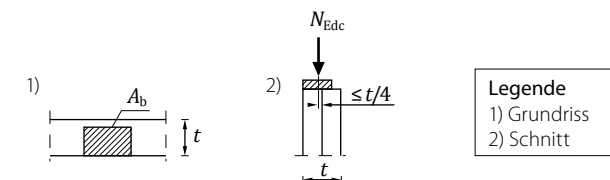
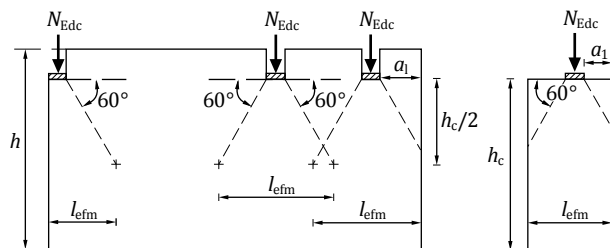


Bild 14. Maße und Bezeichnungen im Bereich von Teilflächenbelastungen

| Nachweis des vert. Tragwiderst. unter Einzellasten |                 |           |          |            |            |        |
|----------------------------------------------------|-----------------|-----------|----------|------------|------------|--------|
| Ek                                                 | $a_1$           | $A_b$     | $\beta$  | $N_{Ed,c}$ | $N_{Rd,c}$ | $\eta$ |
| 1                                                  | 1.75            | 0.120     | 1.473    | 248.06     | 908.03     | 0.27   |
| Nachweis des vert. Tragwiderst. unter Einzellasten |                 |           |          |            |            |        |
| Ek                                                 | $0,5 \cdot h_c$ | $l_{efm}$ | $\phi_z$ | $N_{Ed}$   | $N_{Rd}$   | $\eta$ |
| 1                                                  | 1.25            | 1.94      | 0.839    | 395.33     | 2009.64    | 0.20   |

Bild 15. Ausgabe der Nachweise bei Teilflächenbelastung

### Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)

#### Ausmitte in Plattenrichtung

Die Exzentrizitäten sind in der charakteristischen Kombination ohne ungewollte Ausmitte  $i_{init}$  und Kriechausmitte  $e_k$  zu ermitteln. Es gilt:

$$e \leq \frac{t}{3}$$

#### Ausmitte in Scheibenrichtung

Die Ausmitten in Scheibenrichtung sind nur für Wände zu begrenzen, bei denen gilt:

$$\frac{l}{h} < 0,5$$

Die Exzentrizitäten sind in der häufigen Kombination zu ermitteln. Es gilt:

$$e_y \leq \frac{l}{3}$$

### Nachweis der Randdehnungen

Der Nachweis der Randdehnungen ist nur zu führen, wenn bei der Ermittlung der charakteristischen Schubfestigkeit in Scheibenrichtung die Haftscherfestigkeit berücksichtigt wurde und wenn gilt:

$$e_y > \frac{l}{6} \quad (\text{charakteristische Kombination})$$

In der charakteristischen Bemessungssituation ist nachzuweisen, dass:

$$\varepsilon_R = \frac{\sigma_D}{E} \cdot \frac{l_{c,lin}}{1 - l_{c,lin}} \leq 10^{-4}$$

mit

$$E = 1000 \cdot f_k$$

$$\sigma_D = \frac{2 \cdot N_{Ed}}{l_{c,lin} \cdot t}$$

Das Modul S421.de setzt die Haftscherfestigkeit im Scheibenschubnachweis nur an, wenn es für diesen Nachweis erforderlich wird. Daher entfällt dieser Nachweis für viele gebräuchliche Fälle.

|                            |       |                                                                                                                                                  |        |                    |                    |                   |                 |               |
|----------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------|---------------|
| <u>Nachweise (GZG)</u>     |       | nach DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05, NCI zu 7.2                                                                                                      |        |                    |                    |                   |                 |               |
| <u>Ausmitte Plattenri.</u> |       | Nachweis der planmäß. Ausmitte in Plattenrichtung                                                                                                |        |                    |                    |                   |                 |               |
| NCI zu 7.2 (NA.7)          |       | Ek                                                                                                                                               | Stelle | $e_{ex,l}$<br>[cm] | $e_{ex,o}$<br>[cm] | $e_{ehs}$<br>[cm] | zul $e$<br>[cm] | $\eta$<br>[-] |
| 8                          | Kopf  |                                                                                                                                                  |        | 0.0                | 1.7                | 0.0               | 8.0             | 0.22          |
| 8                          | Mitte |                                                                                                                                                  |        | 0.0                | 0.2                | 0.0               | 8.0             | 0.03          |
| 8                          | Fuß   |                                                                                                                                                  |        | 0.0                | -1.0               | 0.0               | 8.0             | 0.13          |
|                            |       | $e_{ex,l}$ : Ausmitte infolge vertikallasten<br>$e_{ex,o}$ : Ausmitte infolge deckenverdrängung<br>$e_{ehs}$ : Ausmitte infolge horizontallasten |        |                    |                    |                   |                 |               |
| <u>Ausmitte Scheibenr.</u> |       | Nachweis der planmäß. Ausmitte in Scheibenrichtung                                                                                               |        |                    |                    |                   |                 |               |
| NCI zu 7.2 (NA.9)          |       | Ek                                                                                                                                               | Stelle | $e_v$<br>[cm]      | zul $e$<br>[cm]    | $\eta$<br>[-]     |                 |               |
| 5                          | Fuß   |                                                                                                                                                  |        | 16.8               | 41.0               | 0.41              |                 |               |
| <u>Randdehnung</u>         |       | Nachweis der Randdehnung aus Scheibenbeanspruchung                                                                                               |        |                    |                    |                   |                 |               |
| NCI zu 7.2 (NA.10)         |       | Nachweis nicht erforderlich, da Rechenwert der Haftscherfestigkeit nicht angesetzt wurde.                                                        |        |                    |                    |                   |                 |               |

Bild 16. Ausgabe Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

## Tragwerksbemessung für den Brandfall

### Allgemeines

Die Tragwerksbemessung im Brandfall erfolgt nach DIN EN 1996-1-2 [12] in Verbindung mit dem zugehörigen Nationalen Anhang DIN EN 1996-1-2/NA:2013-06 [13]. Hier werden abhängig von der Ausnutzung des maßgebenden Mauerwerksabschnittes im Brandfall Mindestbauteildicken und Mindestbauteillängen ermittelt.

### Bemessungswert der Normalkraft im Brandfall

Der Bemessungswert der Normalkraft im Brandfall ist in der außergewöhnlichen Kombination zu ermitteln, wobei gemäß DIN EN 1991-1-2/NA [17], NDP zu 4.3.1(2) als Kombinationsbeiwert für die Leiteinwirkung  $\gamma_{2,1}$  anzusetzen ist. Dies gilt nicht für Bauteile deren Leiteinwirkung der Wind ist. Für diesen Fall ist  $\gamma_{1,1}$  anzuwenden.

Damit ergibt sich die Einwirkungskombination für den Brandfall zu:

$$E_{d,fi} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{PA} \cdot P_k \oplus \psi_{leit} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

mit

$\psi_{leit}$  Kombinationsbeiwert für die Leiteinwirkung  
 $\psi_{leit} = \gamma_{1,1}$  für Wind  
 $\psi_{leit} = \gamma_{2,1}$  für sonstige veränderliche Einwirkungen

Vereinfacht darf der Bemessungswert der Einwirkungen im Brandfall auch angesetzt werden zu:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d$$

mit

$\eta_{fi}$  Reduktionsfaktor für den Bemessungswert der Einwirkungen im Brandfall; ohne genaueren Nachweis gilt  $\eta_{fi} = 0,7$   
 $E_d$  Bemessungswert der Einwirkungen im Kaltzustand (ständige und vorübergehende Situation)

Das Modul S421.de macht von dieser Vereinfachung keinen Gebrauch und errechnet den Bemessungswert der Normalkraft anhand der ersten Gleichung.

### Ausnutzungsfaktor im Brandfall

In Abhängigkeit von der Schlankheit der Wand wird der Ausnutzungsfaktor im Brandfall angegeben zu:

$$\alpha_{6,fi} = \omega \cdot \frac{N_{Ed,fi}}{l \cdot t \cdot \frac{f_k}{k_0} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{mk,fi}}{t}\right)} \quad \text{für} \quad \frac{h_{ef}}{t} < 10$$

$$\alpha_{6,fi} = \omega \cdot \frac{15}{25 - \frac{h_{ef}}{t}} \cdot \frac{N_{Ed,fi}}{l \cdot t \cdot \frac{f_k}{k_0} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{mk,fi}}{t}\right)} \quad \text{für} \quad 10 \leq \frac{h_{ef}}{t} \leq 25$$

mit

$\omega$  Anpassungsfaktor an Steinart nach Tab. NA.1  
 $N_{Ed,fi}$  Bemessungswert der Normalkraft im Brandfall  
 $e_{mk,fi}$  planmäßige Ausmitte von  $N_{Ed,fi}$  in halber Geschosshöhe unter Berücksichtigung des Kriecheinflusses  
 $k_0$  Faktor zur Berücksichtigung von Wandabschnitten kleiner als  $0,1 \text{ m}^2$  mit  $k_0 = 1,25$ ; sonst gilt  $k_0 = 1,0$

### Einordnung in die Tabellen NA.B.1.2 bis NA.B.4.5

Für die genormten Steinarten sind im Nationalen Anhang [13] Tabellen angegeben, mit deren Hilfe die Zuordnung des Mauerwerks in die Feuerwiderstandsklassen erfolgt.

Dabei werden für tragende Wände folgende Typen unterschieden, für die jeweils eigene Tabellen aufgestellt sind:

- tragende, raumabschließende Wände
- tragende, nichtraumabschließende Wände
- tragende, nichtraumabschließende Pfeiler und Wände, Länge  $< 1,0 \text{ m}$
- tragende, raumabschließende Brandwände



Mit Hilfe von Rohdichteklasse, Feuerwiderstandsdauer und Ausnutzungsfaktor können aus der Tabelle die Mindestabmessungen, die zur Erfüllung der Feuerwiderstandsdauer erforderlich sind, abgelesen werden. Dabei wird zwischen Mindestabmessungen für unverputzte und verputzte Wände (Werte in Klammern) unterschieden.

| Tabelle NA.B.2.2 — Kalksandstein-Mauerwerk — Mindestdicke tragender, raumabschließender, 1-schaliger Wände (Kriterien REI) zur Einstufung in Feuerwiderstandsklassen |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                      |              |                           |              |              |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Zeilen Nr.                                                                                                                                                           | Materialeigenschaften                                                                                                                                                                                                  | Mindestwanddicke (mm) $t_F$ zur Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse REI in (Minuten) $t_{fi,d}$ |              |                           |              |              |              |
|                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                        | 30                                                                                                   | 60           | 90                        | 120          | 180          | 240          |
| 1                                                                                                                                                                    | Kalksandsteine nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN V 20000-402 bzw. DIN V 106 Voll- und Blocksteine (auch als Plan- oder Fasensteine) sowie Planelemente unter Verwendung von Normalmauermörtel und Dünnbettmörtel |                                                                                                      |              |                           |              |              |              |
| 1.1                                                                                                                                                                  | Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi} \leq 0,15$                                                                                                                                                                            | 115<br>(115)                                                                                         | 115<br>(115) | 115<br>(115)              | 115<br>(115) | 150<br>(140) | nvg          |
| 1.2                                                                                                                                                                  | Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi} \leq 0,42$                                                                                                                                                                            | 115<br>(115)                                                                                         | 115<br>(115) | 115<br>(115)              | 140<br>(115) | 175<br>(140) | nvg          |
| 1.3                                                                                                                                                                  | Ausnutzungsfaktor $\alpha_{6,fi} \leq 0,70$                                                                                                                                                                            | 115<br>(115)                                                                                         | 115<br>(115) | 115<br>(115)              | 150<br>(140) | 200<br>(175) | nvg          |
| 1.4                                                                                                                                                                  | alternativ:<br>Ausnutzungsfaktor $\alpha_{fi} \leq 0,70$                                                                                                                                                               | 150<br>(115)                                                                                         | 150<br>(115) | 150<br>(150)              | 175<br>(150) | 240<br>(175) | nvg          |
| 1.5                                                                                                                                                                  | Ausnutzungsfaktor $\alpha_{fi} \leq 0,70$ bei flächig aufgelagerten Massivdecken (Auflagertiefe mindestens so groß wie die Wanddicke)                                                                                  | 115<br>(115)                                                                                         | 115<br>(115) | 150 <sup>a</sup><br>(115) | 150<br>(115) | 150<br>(115) | 175<br>(150) |

Bild 17. Beispiel: Auszug aus Tabelle NA.B.2.2

### Umsetzung im Modul S421.de

Im Modul S421.de werden Feuerwiderstandsdauer und Wandtyp abgefragt.



Bild 18. Eingaben zum Brandnachweis

Die Zuordnung zu den Tabellen erfolgt automatisch. Die maßgebenden Parameter zur Einordnung werden übersichtlich, kompakt und nachvollziehbar ausgegeben.

|                   |                                                                               |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Nachweise (Brand) | nach DIN EN 1996-1-2/NA:2013-06, Zu Anhang B tragende, raumabschließende Wand |
| Tabelle NA.B.2.2  | Feuerwiderstandsklasse REI 90                                                 |
|                   | Anpassungsfaktor an Steinart $\alpha_s = 2,20$                                |
|                   | Normalkraft im Brandfall $N_{ed,fi} = 114,50$ kN                              |
|                   | Ausnutzungsfaktor Brandfall $\alpha_{6,fi} = 0,11$                            |
|                   | Mindestwanddicke $t_F = 115$ mm                                               |
|                   | Wanddicke $t = 200$ mm                                                        |

Bild 19. Beispielausgabe zum Brandnachweis

## Tragwerksbemessung für Erdbeben

### Allgemeines

Die Bemessung für Erdbeben erfolgt nach DIN EN 1998-1 [14]. Da Aussteifungswände nur mit dem Genaueren Verfahren berechnet werden dürfen, stehen die Erdbebennachweise im Modul S421.de nur für den Positionstyp „Genauere Berechnungsmethode“ zur Verfügung.

### Erdbebenkombination

Zusätzlich zu den Nachweisen in der ständigen und vorübergehenden Situation sind die Tragsicherheitsnachweise in der Bemessungssituation für Erdbeben zu führen. Nach DIN EN 1990 [8] ist dabei folgende Kombinationsvorschrift einzuhalten:

$$E_{d,AE} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus P_k \oplus \gamma_1 \cdot A_{Ed} \oplus \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

mit

$A_{Ed}$  Bemessungswert einer Einwirkung aus Erdbeben

### Nachweisführung

Es sind alle Nachweise, wie im Kapitel zum Genaueren Verfahren beschrieben, in der Erdbebenkombination zu führen. Dabei werden nach DIN EN 1998-1/NA [15], Tabelle NA.9 die Festigkeitswerte mit einem reduzierten Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_m = 1,2$  ermittelt. Der Bemessungswert der Druckfestigkeit ergibt sich damit in der Erdbebensituation zu:

$$f_d = 1,0 \cdot \frac{f_k}{1,2}$$

Da es sich um eine außergewöhnliche und damit kurzzeitige Bemessungssituation handelt, darf auf Ansatz des Dauerstandsbeiwertes von 0,85 verzichtet werden.

### Zusätzliche Anforderungen der DIN EN 1998-1

In Abhängigkeit von der Erdbebenzone werden in DIN EN 1998-1/NA [15], Tabelle NA.10 Anforderungen an die Geometrie der Wand gestellt. Es sind maximal zulässige Schlankheiten, Mindestwandstärken und Mindestwandlängen angegeben.

| Tabelle NA.10 — Mindestanforderungen an aussteifende Wände (Schubwände)                                                   |                                 |               |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------|-------------|
| Erdbebenzone                                                                                                              | $h_{ef}/t_{ef}$                 | $t_{ef}$ [mm] | $l/h$       |
| 1                                                                                                                         | nach DIN EN 1996-1-1            |               | $\geq 0,27$ |
| 2                                                                                                                         | $\leq 18$                       | $\geq 150^a$  | $\geq 0,27$ |
| 3                                                                                                                         | $\leq 15$                       | $\geq 175$    | $\geq 0,27$ |
| $h_{ef}$                                                                                                                  | Knicklänge nach DIN EN 1996-1-1 |               |             |
| $t_{ef}$                                                                                                                  | Wanddicke                       |               |             |
| $l$                                                                                                                       | Wandlänge                       |               |             |
| <sup>a</sup> Wände der Wanddicke $\geq 115$ mm dürfen zusätzlich berücksichtigt werden, wenn $h_{ef}/t_{ef} \leq 15$ ist. |                                 |               |             |

Bild 20. Mindestanforderungen nach Tabelle NA.10

### Nachweisführung in S421.de

Um auf die Nachweise in der Erdbebensituation zurückgreifen zu können, müssen eingabeseitig folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- Positionstyp: Genauere Berechnungsmethode
- Definition einer Einwirkung vom Typ „Erdbeben“
- Eingabe von Lasten in der Einwirkung „Erdbeben“
- Aktivierung der Erdbebennachweise im Kapitel „Nachweise“ und Festlegung der Erdbebenzone

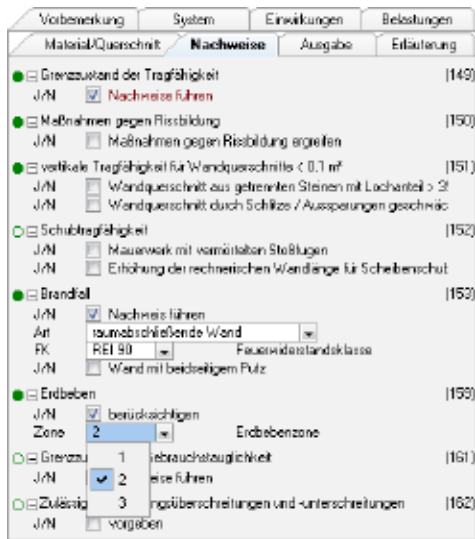


Bild 21. Eingabekapitel „Nachweise“

Ausgabeseitig werden die Tragsicherheitsnachweise als zusätzliche Kombinationen in die Ausgabe der übrigen Nachweise integriert.

| Kombinationen                        |    |                                   |                       |
|--------------------------------------|----|-----------------------------------|-----------------------|
| Kombinationsbildung nach DIN EN 1990 |    |                                   |                       |
|                                      | Ek | $\Sigma (y_i \cdot q_k \cdot EW)$ |                       |
| ständig/vorübergeh.                  | 1  | 1.35*Gk                           |                       |
|                                      | 2  | 1.35*Gk                           | +1.50*qk.N            |
|                                      | 3  | 1.35*Gk                           | +1.50*qk.W            |
|                                      | 4  | 1.35*Gk                           | +1.50*qk.N            |
|                                      | 5  | 1.35*Gk                           | +1.05*qk.N +0.90*qk.W |
|                                      | 6  | 1.00*Gk                           | +1.50*qk.N            |
|                                      | 7  | 1.00*Gk                           | +1.50*qk.N            |
|                                      | 8  | 1.00*Gk                           | +1.50*qk.W            |
|                                      | 9  | 1.00*Gk                           | +1.50*qk.N            |
|                                      | 10 | 1.00*Gk                           | +1.05*qk.N +0.90*qk.W |
| Brand                                | 11 | 1.00*Gk                           | +1.50*qk.N            |
|                                      | 12 | 1.00*Gk                           | +0.30*qk.N            |
|                                      | 13 | 1.00*Gk                           | +0.20*qk.W            |
| Erdbeben                             | 14 | 1.00*Gk                           | +0.30*qk.N +0.20*qk.W |
|                                      | 15 | 1.00*Gk                           | +1.00*A.Ed            |
|                                      | 16 | 1.00*Gk                           | +0.30*qk.N +1.00*A.Ed |

Bild 22. Ausgabe der zusätzlichen Kombinationen

In einem zusätzlichen Ausgabekapitel „Erdbeben“ wird die Einhaltung der Mindestanforderungen nach Tabelle NA.10 dokumentiert.

|                                                 |                                                |       |    |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------|----|
| <u>Erdbeben</u>                                 | nach DIN EN 1998-1/NA:2011-01, NDP zu 9.5.1(5) |       |    |
| Erdbebenzone 2                                  |                                                |       |    |
| Nachweis der Mindestanforderungen an Schubwände |                                                |       |    |
| zulässige Schlankheit                           | zul $\lambda$                                  | 18.00 | -  |
| Schlankheit                                     | $\lambda$                                      | 10.31 | -  |
| Mindestwanddicke                                | min $t$                                        | 115   | mm |
| Wanddicke                                       | $t$                                            | 200   | mm |
| Mindestverhältnis                               | min $l/h$                                      | 0.2   | -  |
| vorhandenes Verhältnis                          | $l/h$                                          | 0.36  | -  |

Bild 23. Nachweis Mindestanforderungen nach Tabelle NA.10

## Nachweis- und Ausgabesteuerung

Nahezu alle in den vorangegangenen Kapiteln erwähnten Optionen zur Nachweisführung können nach Bedarf zu- oder abgeschaltet werden, um den unterschiedlichen Anforderungen möglichst flexibel gerecht zu werden. Alle Nachweise werden vollständig und prüffähig ausgegeben.

Dipl.-Ing. Sascha Heuß  
mb AEC Software GmbH  
mb-news@mbaec.de

## Literatur

- [1] DIN EN 1996-1-1:2010-12, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk
- [2] DIN EN 1996-1-1/NA: 2012-05, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk
- [3] DIN EN 1996-2:2010-12, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk
- [4] DIN EN 1996-2:2012-01, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk
- [5] DIN EN 1996-3:2010-12, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten
- [6] DIN EN 1996-3:2012-01, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten
- [7] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Handbuch Eurocode 6 - Mauerwerksbau – Vom DIN konsolidierte Fassung. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2012.
- [8] DIN EN 1990:2012-12, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010.
- [9] DIN EN 1990/ NA:2012-12, Eurocode 0: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Grundlagen der Tragwerksplanung
- [10] Deutsches Institut für Normung e.V.: Handbuch Eurocode 0 – Grundlagen der Tragwerksplanung – Vom DIN konsolidierte Fassung. Berlin: Beuth 2011
- [11] Kretz, J.: Grundlagen zur Bemessung von Mauerwerksbauten nach Eurocode 6, mb-news Nr. 5/2013, September 2013
- [12] DIN EN 1996-1-2:2011-04, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall
- [13] DIN EN 1996-1-2/NA:2013-06, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall
- [14] DIN EN 1998-1:2010-12, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten
- [15] DIN EN 1998-1/NA:2011-01, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten
- [16] DIN EN 1991-1-2:2010-12, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke
- [17] DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke



## Aktuelle Angebote

**S421.de Mauerwerk-Wand, Erdbeben- und Heißbemessung – EC 6, DIN EN 1996-1-1:2010-12**

**399,- EUR**

Leistungsbeschreibung siehe nebenstehenden Fachartikel

Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Änderungen und Irrtümer vorbehalten.  
Alle Preise zzgl. Versandkosten und MwSt. – Hardlock für Einzelplatzlizenz je Arbeitsplatz erforderlich (95,- EUR). Folgelizenz-/Netzwerkbedingungen auf Anfrage. – Stand: Mai 2014  
Unterstütztes Betriebssystem: Windows 10 (64)

Preisliste: [www.mbaec.de](http://www.mbaec.de)