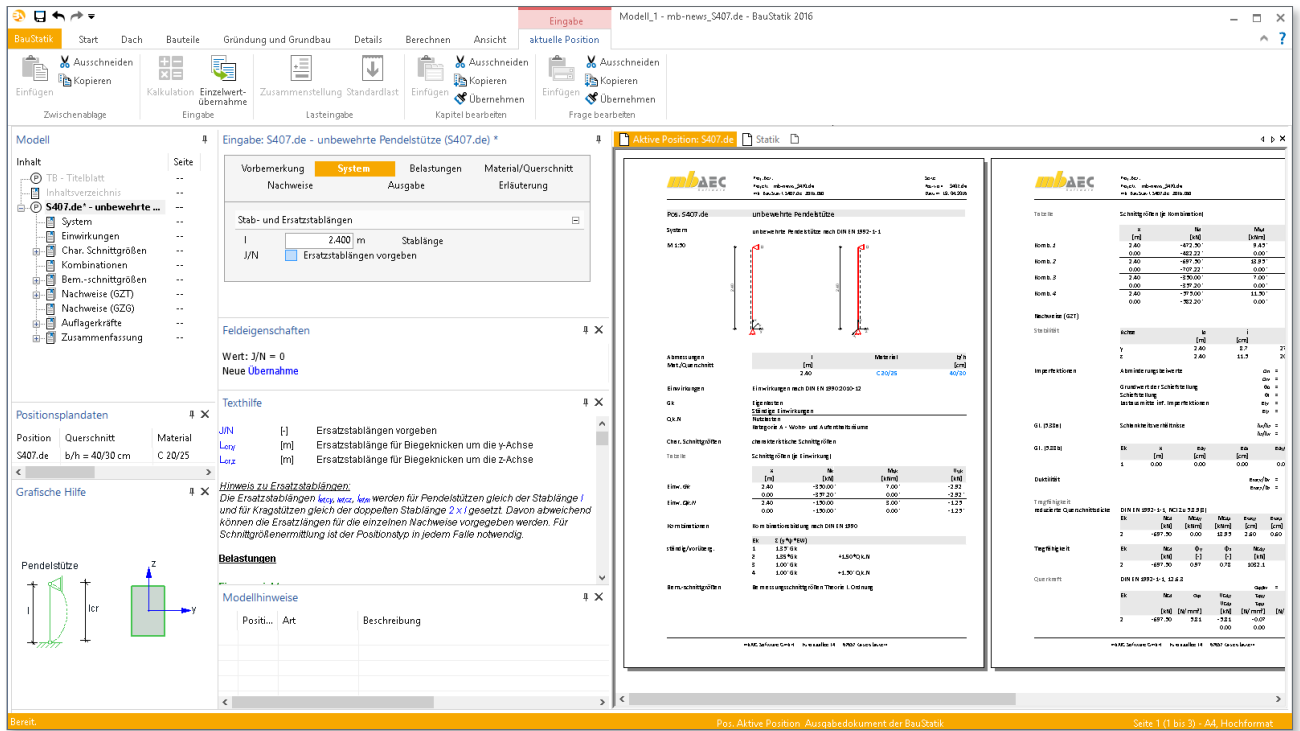


Dipl.-Ing. Nouman Elias M.Sc.

# Nachweis unbewehrter oder gering bewehrter Betonstützen

Leistungsbeschreibung des BauStatik-Moduls S407.de Stahlbeton-Stütze, unbewehrt

Überwiegend auf Druck ruhend beanspruchte Bauteile wie Stützen, Wände oder Fundamente können in bestimmten Anwendungsgrenzen als unbewehrte oder gering bewehrte Bauteile ausgeführt werden. Dabei gelten die Bauteile als unbewehrt (ohne Bewehrung) bzw. gering bewehrt, wenn deren Bewehrungsanteil geringer ist als die Mindestbewehrung nach EC 2 Teil 1-1. Dies ist vor allem bei Bestandsbauteilen häufig der Fall. Das Modul S407.de ermöglicht u.a. deren Nachweis entsprechend aktueller Normung.



## Allgemeines

Unbewehrte oder gering bewehrte Betonstützen verfügen über eine sehr geringe Duktilität im Querschnitt und im System, sodass sich ein mögliches Versagen ohne ausgeprägte Vorankündigung einstellt. Um ein vergleichbares Sicherheitsniveau (zum üblichen Stahlbetonbau) zu erreichen, wurde in DIN 1045-1 ein erhöhter Teilsicherheitsbeiwert auf der Materialseite verwendet ( $\gamma_c = 1.80$ ). DIN EN 1992-1-1 enthält jedoch einen einheitlichen Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_c$  für alle Betonfestigkeitsklassen.

Ein vergleichbares Sicherheitsniveau wird nach EC 2 dadurch erreicht, dass der Dauerstandsbeiwert zusätzlich noch mit einem Duktilitätsbeiwert multipliziert wird. Pendelstützen aus unbewehrtem Beton werden mit dem Modul S407.de nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 [1] berechnet. Neben dem Nachweis der Querschnittstragfähigkeit werden der Stabilitätsnachweis und der Querkraftnachweis geführt. Alle Anwendungsgrenzen einer unbewehrten Stütze werden programmseitig überprüft.

### System

Als statisches System wird der Pendelstab zugrunde gelegt. Die Ersatzstablänge kann direkt vorgegeben oder programmseitig ermittelt werden.

### Belastungen

Die Ermittlung des Eigengewichts der Stütze erfolgt automatisch. Dabei wird die Wichte für unbewehrten Beton von  $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$  als Basis angenommen.

Als äußere Belastungen können Vertikallasten, Einzelmomente und Horizontallasten definiert werden. Die Vertikallasten wirken am Stützenkopf und können mit einer zusätzlichen Ausmitte definiert werden. Als Einzelmomente können Kopf- und Fußmomente eingegeben werden. Als Horizontallasten sind Punktlasten, Gleichlast, Blocklast und Trapezlast möglich.

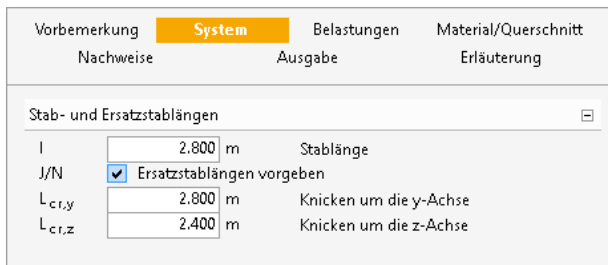


Bild 1. Registerkarte „System“

### Schnittgrößen und Einwirkungskombinationen

Die Ermittlung der Bemessungsschnittgrößen erfolgt für die in EC 0 [4], Abschnitt 6.4.3 geforderten Kombinationsregeln für die ständige und vorübergehende sowie für die außergewöhnliche Bemessungssituation, falls außergewöhnliche Einwirkungen zu berücksichtigen sind. Die Einwirkungskombinationen und die Bemessungsschnittgrößen können für alle Kombinationen oder auch nur für die maßgebenden Kombinationen ausgegeben werden.

### Material / Querschnitt

Für die unbewehrte Stütze stehen alle Betonsorten nach EC 2 [1] zur Verfügung. Die Stütze wird als konstanter Querschnitt bemessen. Das Berechnungsverfahren ist für rechteckige Querschnitte zugelassen.

### Berechnungsgrundlagen

Es werden die Nachweise der Tragfähigkeit, der Stabilität und der Querkraft geführt.

### Baustoffanforderungen

Aufgrund der geringeren Duktilität von unbewehrtem Beton sind in der Regel die Werte, nach EC 2 [1] 12.3.1, für  $\alpha_{cc,pl} = 0,70$  und  $\alpha_{ct,pl} = 0,70$  bei der Berechnung von Druck- ( $f_{cd,pl}$ ) und Zugfestigkeit ( $f_{ctd,pl}$ ) anzusetzen.

Rechnerisch darf, nach EC 2 [2], NCI Zu 12.6, keine höhere Festigkeitsklasse des Betons als C35/45 für Normalbeton und LC20/22 für Leichtbeton angesetzt werden. Entsprechend wird bei höheren Betonfestigkeitsklassen programmseitig eine maximale Betondruckfestigkeit von  $f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$  für Normalbeton und  $f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$  für Leichtbeton für die Nachweise angenommen.

### Stabilitätsnachweis

Gemäß EC 2 [2], 12.6.5.1, NA.6 ist ein Stabilitätsnachweis zu führen, wenn die Bedingung  $l_0/h_w < 2,5$  nicht eingehalten ist.

Falls die Schlankheit den Wert  $\lambda = 86$  überschreitet, wird der Anwender durch eine entsprechende Fehlermeldung darauf hingewiesen, dass gem. EC 2 [1], 12.6.5.1 (5) die Stütze nicht als unbewehrtes Bauteil ausführbar ist.

### Druckglieder mit zweiachsiger Lastausmitte

Getrennte Nachweise in den Richtungen der beiden Hauptachsen dürfen bei zweiachsiger Ausmitte geführt werden, wenn die Schlankheitsverhältnisse die folgenden Bedingungen erfüllen:

$$\lambda_y/\lambda_z \leq 2 \text{ und } \lambda_z/\lambda_y \leq 2 \quad \text{EC 2 [1], Gl. 5.38a}$$

Die bezogenen Lastausmitten  $e_y/b_y$  und  $e_z/b_z$  müssen eine der folgenden Bedingungen erfüllen:

$$\frac{e_y/b_y}{e_z/b_z} \leq 0,2 \text{ oder } \frac{e_z/b_z}{e_y/b_y} \leq 0,2 \quad \text{EC 2 [1], Gl. 5.38b}$$

Die Lastausmitten werden nach Heft 600 [6], mit den Bemessungsmomenten nach Theorie I. Ordnung ermittelt. Imperfektionen werden dabei nur in der jeweils ungünstigen Richtung angesetzt.

- Anzeige -

**Der Stellenmarkt in bauingenieur24 ist doppelt stark.** Erstens: Hier finden Sie attraktive Jobangebote, sortiert nach Arbeitsort (Region), Fachgebiet, Berufsgruppe, Arbeitgeber und Anstellungsart. Und mit dem Jobletter erhalten Sie alle neuen Stellenangebote auch bequem per E-Mail - einfach anmelden! Zweitens: Sie legen sich ein kostenfreies Bewerberprofil an und bewerben sich damit online - auch plattformunabhängig. Perspektive für Sie: [www.bauingenieur24.de/stellenmarkt](http://www.bauingenieur24.de/stellenmarkt)

Die Verhältniszerte aus der Gleichung EC 2 [1], Gl. 5.38b werden für jede Kombination in jedem maßgebenden Querschnitt (Fuß, Kopf,  $N_{max}$ ,  $M_{y,max}$ ,  $M_{z,max}$ ) untersucht und die maßgebenden Verhältniszerte in der Ausgabe dokumentiert (Bild 2).

Gl. (5.38a)	Schlankheitsverhältnisse					$\lambda_y/\lambda_z = 2.00 \leq 2.0$	$\lambda_z/\lambda_y = 0.50 \leq 2.0$
Gl. (5.38b)	Ek	x [m]	$e_{0y}$ [cm]	$e_{0z}$ [cm]	$e_{0y}/b_y$	$e_{0z}/b_z$	
	1	2.80	10.00	0.50	0.100	0.005	
	Verhältniszerte			$0.100/0.005 = 20.00 > 0.2$	$0.005/0.100 = 0.05 \leq 0.2$		
Duktilität				$e_{tot,y}/b_y = 0.11 < 0.4$	$e_{tot,z}/b_z = 0.01 < 0.4$		

Bild 2. Ausgabe zur Berechnung von der Gleichungen EC 2 [1], Gl. 5.38a,b

**Reduzierte Dicke des Querschnitts**

Nach EC 2 [2], NCI Zu 5.8.9 (3) dürfen Druckglieder mit rechteckigem Querschnitt und mit  $e_{0z} > 0,2 h$  (bzw.  $e_{0z} > 0,2 b_z$ ) nur dann getrennt nachgewiesen werden, wenn der Nachweis der Biegung über die schwächere Hauptachse z des Querschnitts auf der Grundlage der reduzierten Querschnittsdicke  $h_{red}$  (bzw.  $b_{z,red}$ ) geführt wird (Bild 3).

Der Wert  $h_{red}$  wird unter der Annahme einer linearen Spannungsverteilung nach folgender Gleichung ermittelt:

$$h_{red} = \frac{h}{2} \left( 1 + \frac{h}{6(e_{0z} + e_{iz})} \right) \leq h \quad \text{EC 2 [2], (NA.5.38.1)}$$

Dabei ist:

- $h$  die größere der beiden Querschnittsseiten
- $e_{iz}$  Zusatzausmitte zur Berücksichtigung geometrischer Ersatzimperfectionen in z-Richtung
- $e_{0z}$  Lastausmitte nach Theorie I. Ordnung in Richtung der Querschnittsseite  $h$

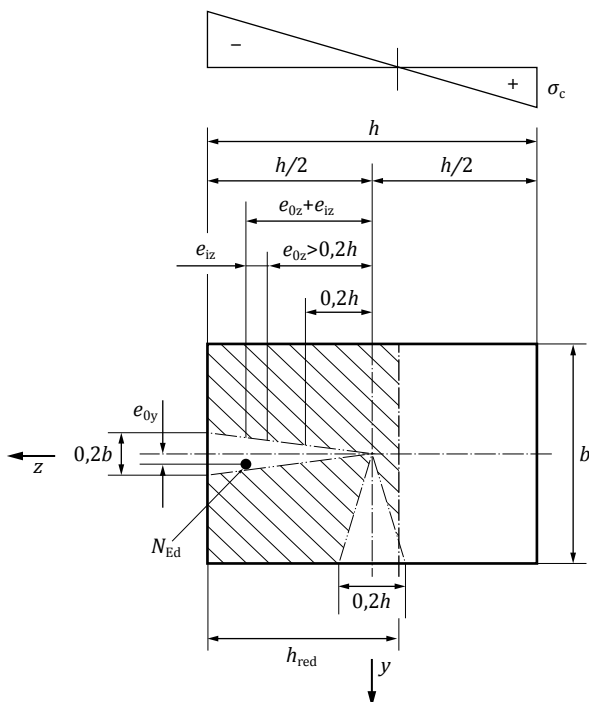


Bild 3. EC 2 [2], Bild NA.5.8.1-Reduzierte Querschnittsdicke  $h_{red}$

Diese Regelungen gelten gleichermaßen für die y- und die z-Richtung.

**Duktilitätskriterium**

Nach EC 2 [2], NCI zu 12.6.2 (1)P gilt das Duktilitätskriterium als erfüllt, wenn die Ausmitte der Längskraft in der maßgebenden Einwirkungskombination des Grenzzustandes der Tragfähigkeit auf  $e_{z,d}/b_z < 0,4$  bzw.  $e_{y,d}/b_y < 0,4$  beschränkt wird. Diese Bedingung wird programmseitig überprüft. Bei Nichteinhaltung wird der Anwender durch eine entsprechende Fehlermeldung darauf hingewiesen.

**Nachweis der Querschnittstragfähigkeit (GZT)**

Der Nachweis der Querschnittstragfähigkeit gilt als erfüllt, wenn der Bemessungswert der Normalkraftbeanspruchung  $N_{Ed}$  kleiner als der Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit  $N_{Rd}$  ist.

Die Normalkrafttragfähigkeit wird mit dem vereinfachten Verfahren für Einzeldruckglieder nach EC 2 [1], 12.6.5.2 berechnet.

$$N_{Rd} = b \cdot h_w \cdot f_{cd,pl} \cdot \phi$$

Dabei ist:

- $b$  Gesamtbreite bzw. die reduzierte Breite des Querschnitts
- $h_w$  Gesamtdicke des Querschnitts
- $\phi$  Faktor zur Berücksichtigung der Lastausmitte

Für ausgesteifte Bauteile darf der Faktor  $\phi$  wie folgt angenommen werden:

$$\phi = 1,14 \cdot \left( 1 - 2 \cdot \frac{e_{tot}}{h_w} \right) - 0,02 \cdot \frac{l_0}{h_w} \leq 1 - 2 \cdot \frac{e_{tot}}{h_w}$$

Dabei errechnet sich  $e_{tot}$  aus der Summe der Lastausmitte der Bemessungsmomente nach Theorie I. Ordnung und der ungewollten zusätzlichen Lastausmitte infolge geometrischer Imperfectionen.

Nachweise (GZT)		im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1992-1-1				
Normalkraft	Ek	x	$N_{Ed}$	$\phi_y$ $\phi_z$	$N_{Ed,y}$ $N_{Ed,z}$	$\eta$
	2	2.80	-555.00	0.97 0.68	1448.53 1008.15	0.55
		[m]	[kN]	[-]	[kN]	[-]

Bild 4. Ausgabe zum Nachweis der Tragfähigkeit

**Querkraftnachweis (GZT)**

Der Nachweis der Querkraft gilt als erfüllt, wenn der Bemessungswert der Querkraftbeanspruchung  $\tau_{cp}$  kleiner als der Bemessungswert der Betonfestigkeit bei Querkraft und Druck  $f_{cvd}$  ist. Nach EC 2 [2], NCI zu 12.6.3 wird der Nachweis der Querkraft nur dann geführt, wenn nachzuweisen ist, dass die Betonzugfestigkeit infolge von Rissbildung nicht ausfällt.

Bei einem Querschnitt, bei dem eine Querkraft  $V_{Ed}$  und eine Normalkraft  $N_{Ed}$  über eine Druckzone  $A_{cc}$  wirken, sind in der Regel die Bemessungswerte der Spannungen wie folgt anzusetzen:

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_{cc}}$$

$$\tau_{cp} = V_{Ed} \cdot \frac{S}{b_w \cdot I} \quad \text{bzw.} \quad \tau_{cp} = 1,5 \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{cc}}$$

Der Bemessungswert der Betonfestigkeit bei Querkraft und Druck wird nach den folgenden Gleichungen ermittelt:

$$\sigma_{c,lim} = f_{cd,pl} - 2 \cdot \sqrt{f_{ctd,pl} \cdot (f_{ctd,pl} + f_{cd,pl})}$$

wenn  $\sigma_{cp} \leq \sigma_{c,lim} \rightarrow$

$$f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd,pl}^2 + \sigma_{cp} \cdot f_{ctd,pl}}$$

wenn  $\sigma_{cp} > \sigma_{c,lim} \rightarrow$

$$f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd,pl}^2 + \sigma_{cp} \cdot f_{ctd,pl} - \left(\frac{\sigma_{cp} - \sigma_{c,lim}}{2}\right)^2}$$

Querkraft NCI Zu 12.6.3(1)									
Ek	x	N <sub>Ed</sub>	σ <sub>cp</sub>	V <sub>Ed,y</sub>	V <sub>Ed,z</sub>	σ <sub>cp,lim</sub>	f <sub>cvd</sub>	η	
	[m]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[kN]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[-]	
2	2.80	-447.0	4.97	-13.04	-0.22	6.48	2.66	0.08	
				-0.80	-0.01				

Bild 5. Ausgabe zum Nachweis der Querkraft

### Nachweis der Betonzugspannungen (GZG)

Es wird nachgewiesen, dass die Betonzugfestigkeit nicht infolge Rissbildung ausfällt.

$$\sigma_{min} = \frac{N_d}{b_y \cdot b_z} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e_{0,y}}{b_y} - \frac{6 \cdot e_{0,z}}{b_z}\right) \leq f_{ctd,pl}$$

Sofern  $\sigma_{min} < 0$  ist, steht der Querschnitt unter Zugspannungen. In diesem Fall ist nachzuweisen, dass  $|\sigma_{min}| \leq f_{ctd,pl}$  ist.

Betonzugfestigkeit NCI Zu 12.6.3(1)									
Ek	x	N <sub>Ed</sub>	e <sub>0,y</sub>	e <sub>0,z</sub>	σ <sub>min</sub>	f <sub>ctd,pl</sub>	η		
	[m]	[kN]	[cm]	[cm]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[-]		
2	2.80	-447.00	5.80	0.00	0.79	1.57	0.51		

Bild 6. Ausgabe zum Nachweis der Betonzugspannungen

## Berechnung als bewehrte Stütze

Stellt sich heraus, dass die im Modul S407.de eingegebene Stütze nicht als unbewehrte Stütze berechnet werden kann, weil entweder die Berechnungsgrenzen nicht eingehalten sind oder die Tragfähigkeit überschritten ist, kann die Position direkt mit einer „neuen Position als Alternative“ als bewehrte Stütze berechnet werden, ohne dass bereits getätigte Eingaben wiederholt werden müssen.

Dipl.-Ing. Nouman Elias M.Sc.  
mb AEC Software GmbH  
mb-news@mbaec.de

## Literatur

- [1] DIN EN 1992-1-1:2011-01, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [2] DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01, Eurocode 2: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [3] Fingerloos, F.; Hegger, J.; Zilch, K.: Eurocode 2 für Deutschland - DIN EN 1992-1-1 Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau mit Nationalem Anhang, Kommentierte Fassung. Berlin: Ernst & Sohn; Beuth, 2012.
- [4] DIN EN 1990:2012-12, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010.
- [5] DIN EN 1990/NA:2012-12, Eurocode 0: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter – Grundlagen der Tragwerksplanung.
- [6] Deutscher Ausschuss für Stahlbetonbau: DAFStb-Heft 600, Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2), 2012, Beuth-Verlag, Berlin.



## Aktuelle Angebote

**S407.de Stahlbeton-Stütze, unbewehrt – EC 2, DIN EN 1992-1-1 190,- EUR**

Leistungsbeschreibung siehe nebenstehenden Fachartikel

**Einsteiger-Paket „Stahlbeton“ – EC 2, DIN EN 1992-1-1:2011-01 299,- EUR**

bestehend aus S300.de, S401.de, S510.de

**Einsteiger-Paket „Stahl“ – EC 3, DIN EN 1993-1-1:2010-12 299,- EUR**

bestehend aus S301.de, S404.de, S480.de

**Einsteiger-Paket „Holz“ – EC 5, DIN EN 1995-1-1:2010-12 299,- EUR**

bestehend aus S110.de, S302.de, S400.de

**Einsteiger-Paket „Mauerwerk“ – EC 6, DIN EN 1996-1-1:2010-12 299,- EUR**

bestehend aus S405.de, S420.de, S470.de

Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Alle Preise zzgl. Versandkosten und MwSt. – Hardlock für Einzelplatzlizenzen je Arbeitsplatz erforderlich (95,- EUR). Folgelizenz-/Netzwerkbedingungen auf Anfrage. – Stand: Mai 2016

Unterstützte Betriebssysteme:  
Windows 7 (64) / Windows 8 (64) / Windows 10 (64)

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