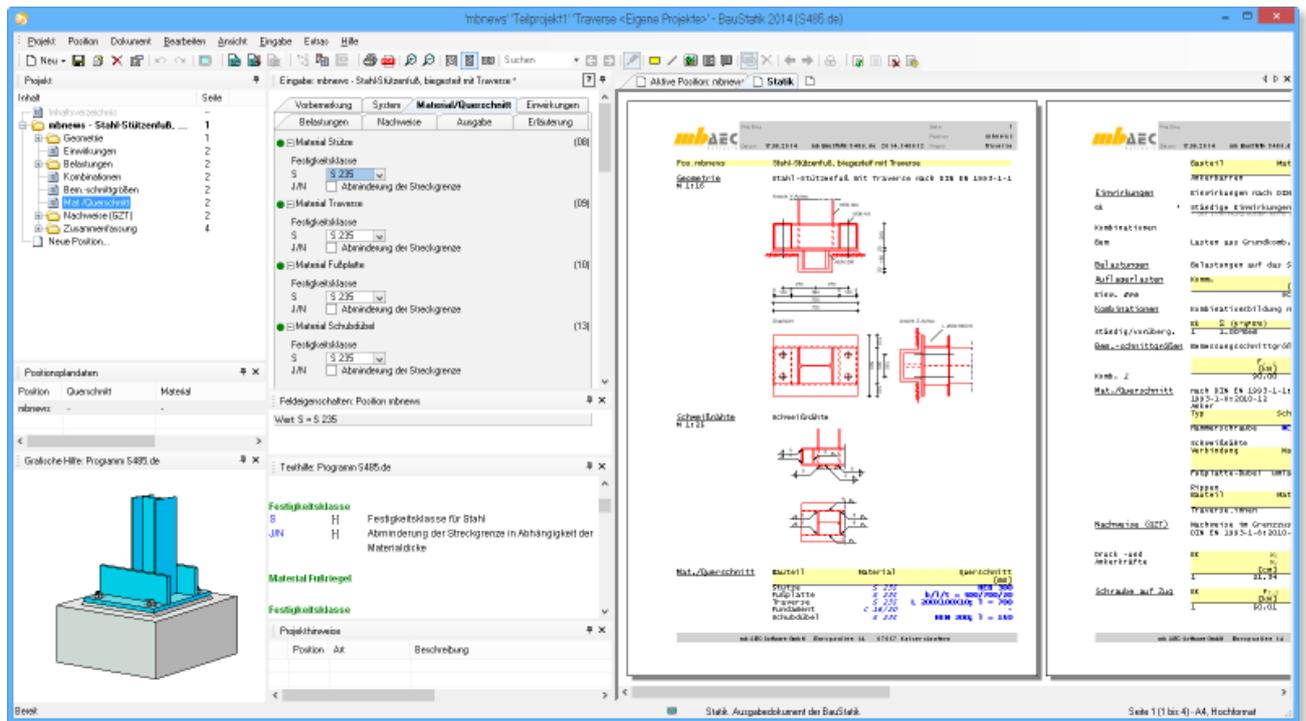


Dipl.-Ing. Petra Licht

Stahl-Stützenfuß, biegesteif mit Traverse, Fußriegel

Leistungsbeschreibung des BauStatik-Moduls
S485.de Stahl-Stützenfuß, Eurocode 3

Die Fußpunkte von Kragstützen und eingespannten Rahmenstützen erfordern eine möglichst große Basis in der Momentenebene, um unter Verwendung von Zugankern das Einspannmoment über den sich so ergebenden inneren Hebelarm abtragen zu können. Bei hohen Einspannmomenten werden kräftige Fußtraversen oder Fußriegel angeordnet, nicht nur, um das Moment von der Stütze auf das Fundament absetzen zu können, sondern auch, um eine möglichst verformungsfreie, starre Einspannung zu realisieren, damit die Voraussetzungen der statischen Berechnung eingehalten sind.



System

Im Programm stehen zwei Stützenfußausbildungen zur Verfügung (Bild 1):

- Stützenfuß mit Traverse
- Stützenfuß mit Fußriegel

Fußausbildungen mit Traverse können entweder mit einer durchgehenden Fußplatte oder mit einer geteilten Fußplatte ausgeführt werden.

Mittels der Traverse oder des Riegels können große Einspannmomente und Zugkräfte aufgenommen werden. Treten Horizontalkräfte auf, ist deren Einleitung in das Fundament nachzuweisen. Für die Abtragung der Horizontalkräfte bietet das Programm drei Möglichkeiten:

- Abtragung über Schubdübel
- Abtragung über Reibung
- Abtragung über Reibung und Abscheren der Ankerschrauben

Bei kleineren Horizontalkräften kann die Kraft allein über Reibung zwischen Platte und Fundament übertragen werden, bei größeren Horizontalkräften sind Schubstücke anzuhängen. Als Schubstücke können Flachstäbe oder gewalzte Doppel-T-Profile im Programm ausgewählt werden.

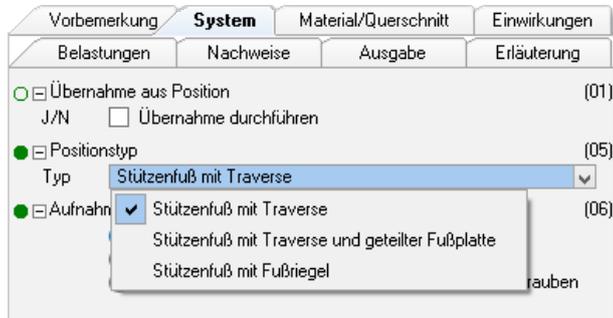


Bild 1. Kapitel „System“

Ermittlung der Druck- und Ankerkräfte

Die Beanspruchungsverhältnisse sind von der Fußausbildung abhängig. Bei einer Fußausbildung mit Traverse und geteilter Fußplatte sind die Beanspruchungsverhältnisse relativ eindeutig, denn es existieren definierte Auflagerbereiche in der Fundamentfuge. Die Annahme einer gleichmäßigen (gemittelten) Pressung ist gerechtfertigt, die Lage der Druckresultierenden liegt fest. Die Druck- und Ankerkräfte werden über Gleichgewichtsbedingungen wie folgt ermittelt:

Ankerzugkraft Z_d :

$$Z_d = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot d}{z + d}$$

Betondruckkraft D_d :

$$D_d = \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot d}{z + d}$$

mit:

M_{Ed}	Bemessungswert des Einspannmomentes
N_{Ed}	Bemessungswert der Stützennormalkraft, Druck ist positiv
z	Abstand Stützenachse - Anker
d	Abstand Stützenachse - Plattenmitte

Bei einer Fußausbildung mit Traverse und durchgehender Fußplatte oder mit Fußriegel liegt der Stützenfuß ganzflächig auf, die Beanspruchungsverhältnisse sind weniger eindeutig. Für diese Fälle erfolgt die Ermittlung der Druck- und Ankerkräfte nach Petersen, [9]. Die Fundamentfuge wird als Stahlbetonquerschnitt begriffen. Es erfolgt zunächst die Ermittlung der Betondruckzonenhöhe x . Ist diese bekannt, können die Ankerzugkraft und Betonpressung bzw. die Druckkraft ermittelt werden. Nachfolgend werden die entsprechenden Berechnungsgleichungen angegeben.

Tiefe x des gedrückten Bereiches:

$$x = x^3 - x^2 \cdot 3 \cdot (h - z - e) + x \cdot \frac{6 \cdot n \cdot A_{Sch}}{b_{pl}} \cdot (z + e) - h \cdot \frac{6 \cdot n \cdot A_{Sch}}{b_{pl}} \cdot (z + e)$$

mit:

h	Abstand von der gedrückten Kante bis zum Anker (Bild 2)
e	Lastexzentrizität: $e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$
z	Abstand Stützenachse - Anker
A_{Sch}	Schaftquerschnitt Anker
b_{pl}	Breite der Fußplatte
n	Verhältniswert: $n = \frac{E_a}{E_c}$
E_a	E-Modul Anker
E_c	E-Modul Beton

Lage der Druckkraftresultierenden:

$$d = h - z - \frac{x}{3}$$

Betonpressung:

$$\sigma_{c,d} = \frac{2 \cdot N_{Ed} \cdot (z + e)}{b_{pl} \cdot x \cdot (z + d)}$$

Betondruckkraft D_d :

$$D_d = \sigma_{c,d} \cdot x \cdot 0,5 \cdot b_{pl}$$

Für den Nachweis der Betonpressung wird eine rechteckige Betondruckspannungsverteilung angenommen:

$$\sigma_{c,d} = 0,75 \cdot \sigma_{c,d}$$

Ankerzugkraft Z_d :

$$Z_d = \frac{-N_{Ed} \cdot (d - e)}{(z + d)}$$

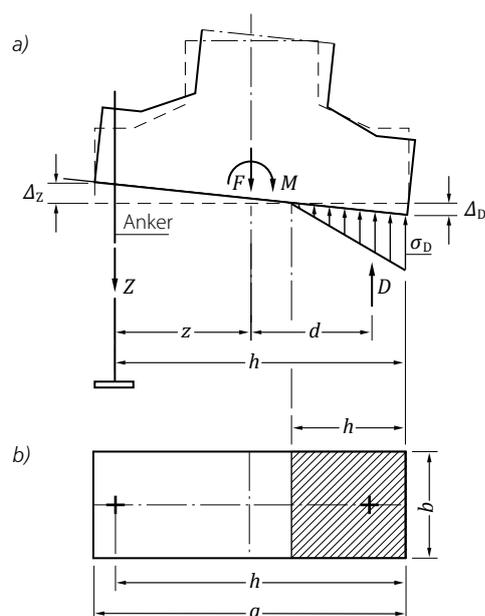


Bild 2. Berechnungsansatz nach Petersen, Bild 90, [9]

Aufnahme der Horizontalkräfte

Zur Aufnahme von größeren Horizontalkräften stehen im Programm Schubelemente (Flachstähle oder gewalzte Doppel-T-Querschnitte) zur Auswahl. Der Nachweis der Schubelemente erfolgt nach DIN EN 1993-1-1, [3], die Betonpressung wird nach den Regeln der DIN EN 1992-1-1, [5] nachgewiesen.

Bei kleineren Horizontalkräften ist es zulässig die Kraft allein über die Reibung zwischen Platte und Fundament aufzunehmen. Der empfohlene Reibbeiwert $C_{f,d}$ zwischen Fußplatte und Mörtelschicht beträgt 0,2. Der Gleitwiderstand wird wie folgt ermittelt:

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{c,Ed}$$

mit

$N_{c,Ed}$ Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft in der Stütze.

Falls die Schraubenlöcher für die Anker nicht übergroß sind, können die Horizontalkräfte auch über die Abschertragfähigkeit der Ankerschrauben, zusammen mit dem Gleitwiderstand zwischen Fußplatte und Fundament, übertragen werden. Die Abschertragfähigkeit $F_{vb,Rd}$ wird wie folgt bestimmt:

$$F_{vb,Rd} = \text{Min}\{F_{1,vb,Rd}; F_{2,vb,Rd}\}$$

$$F_{1,vb,Rd} = \frac{0,85 \cdot \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M,2}}$$

$\alpha_v = 0,6$ für Festigkeitsklasse 4.6; 5.6 und 8.8
 $\alpha_v = 0,5$ für Festigkeitsklasse 4.8; 5.8; 6.8 und 10.9

Im Programm wird, auf der sicheren Seite liegend, davon ausgegangen, dass der Spannungsquerschnitt in der Scherfuge liegt und dass die Anforderungen nach DIN EN 1090 nicht erfüllt sind, siehe hierzu auch DIN EN 1993-1-8, 3.6.1 (3), [4].

$$F_{2,vb,Rd} = \frac{(0,44 - 0,0003 \cdot f_{yb}) \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M,2}}$$

f_{ub} Zugfestigkeit der Ankerschraube
 f_{yb} Streckgrenze der Ankerschraube wobei $235N/mm^2 \leq f_{yb} \leq 640N/mm^2$

Die „lokale Lochleibungsfestigkeit“ des Betons wird im Programm nach Hahn, Seite 303ff, [10] nachgewiesen. Die Tragfähigkeit des Betons auf Kantenpressung ermittelt sich zu:

$$F_{c,Rd} = \frac{d \cdot l^2}{\eta_{\sigma,P} \cdot l + \eta_{\sigma,M} \cdot e} \cdot f_{c,d}$$

mit

$$e = \frac{d_{pl}}{2} + d_{M\ddot{o}}$$

d Durchmesser der Ankerschraube
 d_{pl} Dicke der Fußplatte
 $d_{M\ddot{o}}$ Dicke der Mörtelfuge

Ermittlung von $f_{c,d}$:

Nach Hahn, [10] versagt der Dübel durch die Bildung eines Spaltrisses, wenn die Kantenpressung $\sigma_K \sim 2\beta_w$ erreicht. Mit zunehmendem Durchmesser wird der Wert kleiner.

$$f_{c,d} \cong 2 \cdot \frac{f_{ck,cube} \cdot 0,85}{\gamma_c} \cdot 0,92 \cdot [1 - (d - 10) \cdot 0,01]$$

mit

$0,92$ Faktor zur Umrechnung auf DIN EN 1092-1-1, nach Betonkalender 2000, Teil 1, Seite 42, [11]

$[1-(d-10) \cdot 0,01]$ Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung großer Durchmesser, d in mm

$f_{ck,cube}$ Würfeldruckfestigkeit
 $0,85$ Dauerstands faktor

Ermittlung von $\eta_{\sigma,P}$ und $\eta_{\sigma,M}$, nach Hahn, [10]:

In Abhängigkeit von λ werden die Werte aus den Tafeln bis 17, [10], für $x_i/l = 0$ und $x_0/l = 0$ entnommen.

Zwischenwerte dürfen interpoliert werden.

Berechnung von λ :

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{C \cdot d}{4 \cdot E_a \cdot I} \cdot l}$$

mit

$C = 400 \text{ kN/cm}^3$ Bettungsmodul nach Basler/Witte, [12]
 E_a E-Modul Stahl
 $I = 0,05 \cdot d^4$
 $l = 8 \cdot d$ angenommene Einspannlänge des Ankers
 $\rightarrow \lambda = 4,444 \cdot \sqrt[4]{d}$

Aufnahme der Zugkräfte

Im Programm sind Steinschrauben nach DIN 529, [6] und Hammerschrauben nach DIN 7992, [7] eingearbeitet. Für geringere Zugkräfte kommen Steinschrauben zum Einsatz, für höhere Ankerkräfte sind Anker mit großem Hammerkopf erforderlich, die die Ankerkraft auf parallel liegende][-Barren absetzen. Der Nachweis der Verankerung der Steinschrauben im Beton ist nicht Bestandteil des Programms, diese ist von der Art der Einbettung abhängig und gesondert nachzuweisen.

Die Zugtragfähigkeit der Ankerschrauben wird im Programm wie folgt ermittelt:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{u,b} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

mit

$f_{u,b}$ Zugfestigkeit Anker
 A_s Spannungsquerschnitt Anker
 γ_{M2} Teilsicherheitsbeiwert

Bei Hammerschrauben ist zusätzlich der Schraubenkopf nach DAST-Ri. 018, [8] nachzuweisen. Die Schraubenkopftragfähigkeit berechnet sich zu:

$$N_{H,d} = n_H \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot f_{y,d}$$

mit

n_H Tragfähigkeitsbeiwert für kontrollierten bzw. unkontrollierten Einbau, nach DAST-Ri. 018, [8]
 d Schaftquerschnitt der Hammerschraube
 $f_{y,d}$ Streckgrenze Anker

Bei Hammerschrauben erfolgt die Verankerung im Beton mittels Barren aus zwei [-Profilen. Die dicken Stege der [-Profile kommen der hohen Schubbeanspruchung in den relativ kurzen Barren entgegen.

Einwirkungen

Als Einwirkungen können projektweite Einwirkungen aus dem Modul S030.de übernommen werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit Einwirkungstypen nach Eurocode 0, Tab. NA.A.1.1 [1], [2] manuell zu definieren. Anhand dieser Einwirkungstypen werden programmseitig die Kombinationsbeiwerte zugewiesen und die Kombinationen automatisch gebildet.

S485.de ermöglicht auch die Vorgabe von Bemessungsauflagerlasten. Diese Kombinationszuordnung (Grundkombination, außergewöhnliche Kombination) ist durch den Anwender vorzunehmen.

Belastung

Die Belastungen können als „Lastabtrag“ aus einer anderen Stützenposition komfortabel eingegeben werden. In der Eingabe kann direkt auf die Auflagerreaktionen von ausgewählten BauStatik-Stützenmodulen (S404.de Stahl-Stütze, S414.de Stahl-Stützensystem) sowie auf MicroFe-Ergebnisse zugegriffen werden.

Alternativ können die Stützenauflagerlasten manuell definiert werden. Folgende Auflagerlasten können eingegeben werden:

- F_x , Normalkraft
- F_y , Horizontallast in y-Richtung
- F_z , Horizontallast in z-Richtung
- M_y , Einspannmoment um die y-Achse

Bei einer Fußausbildung mit Traverse und durchgehender Fußplatte können zusätzlich Biegemomente um die z-Achse abgetragen werden:

- M_z , Einspannmoment um die z-Achse

Die positive Wirkungsrichtung ist in Bild 3 dargestellt. Lastzusammenstellungen und Lastübernahmen werden in der Ausgabe dokumentiert.

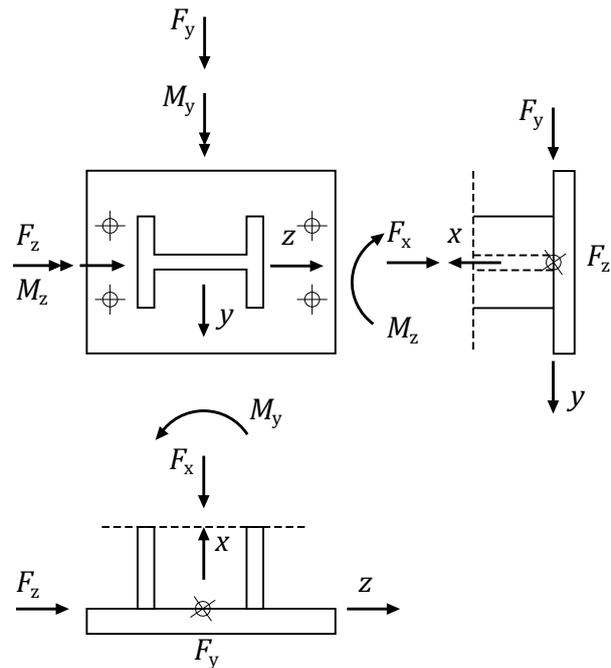


Bild 3. Graf. Hilfe, Eingabe der Auflagerlasten

Material/Querschnitt

Im Kapitel „Material/Querschnitt“ werden, entsprechend der gewählten Stützenfußausbildung, die erforderlichen Profile mit den zugehörigen Materialeigenschaften definiert. Folgende Querschnitte stehen zur Verfügung:

Stütze und Fußriegel:

- gewalztes Doppel-T-Profil
- geschweißtes doppelsymmetrisches T-Profil

Traverse:

- Flachstahl
- L-Profil
- [-Profil

Fußplatte:

- durchgehende Fußplatte
- geteilte Fußplatte

Anker:

- Steinschrauben (M8 bis M48)
- Hammerschrauben (M24 bis M52)

Schubdübel:

- Flachstahl
- gewalztes Doppel-T-Profil

Lasteinleitungsrippen:

- zur Einleitung der Ankerkräfte
- zur Einleitung der Stützenlasten

Neben der Profileingabe erfolgt im Register „Material/Querschnitt“ auch die Definition der Schweißnahtdicken.

Bild 4 zeigt die Fußausbildung mit L-Profilen als Traverse und einem HEM-Profil als Schubdübel.

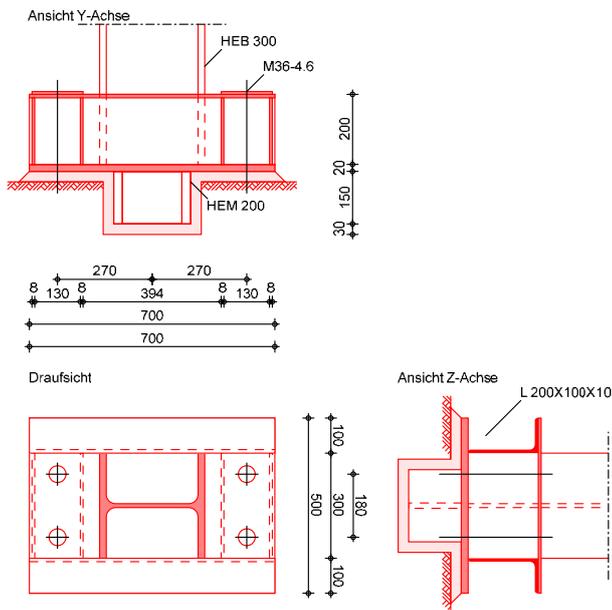


Bild 4. Fußausbildung mit Traverse und durchgehender Fußplatte

Nachweise

S485.de führt die erforderlichen Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit:

Nachweis der Betonpressung

$$\frac{\sigma_{c,d}}{f_{c,d}} \leq 1,0$$

mit:

$\sigma_{c,d}$	vorhandene Betonpressung
$f_{c,d}$	Bemessungswert der Betonfestigkeit, gegebenenfalls unter Berücksichtigung von Teilflächenbelastung nach DIN EN 1992-1-1, [5]

Nachweis der Anker auf Zug

$$\frac{F_{t,d}}{F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

mit:

$F_{t,d}$	vorhandene Zugkraft je Anker
$F_{t,Rd}$	Zugtragfähigkeit der Schrauben, siehe Abschnitt „Aufnahme der Zugkräfte“

Nachweis des Schraubenkopfes bei Hammerschrauben

$$\frac{F_{t,d}}{N_{H,d}} \leq 1,0$$

mit:

$N_{H,Rd}$	Schraubenkopftragfähigkeit, siehe Abschnitt „Aufnahme der Zugkräfte“
------------	----------------------------------------------------------------------

Nachweis der Fußplatte

Die Fußplatten werden unter der Annahme einer lokal konstanten Pressung nachgewiesen.

Bei einer Fußausbildung mit Traverse geht man beim rechnerischen Nachweis von der Modellvorstellung eines balkenförmigen Elements aus. Im Programm wird ein Einfeldbalken mit beidseitigen Kragarmen als stat. Modell verwendet.

$$\frac{\sigma_d}{f_y/\gamma_{M0}} \leq 1,0$$

mit:

σ_d	vorhandene Spannung in der Fußplatte
f_y	Streckgrenze
γ_{M0}	Teilsicherheitsbeiwert

Nachweis der Horizontallastabtragung über Schubdübel

Es wird die Querschnittstragfähigkeit des Schubdübels, die Pressung des Schubdübels gegen den Beton und die Beanspruchung in den Anschlussnähten zwischen Schubdübel und Fußplatte bzw. Fußriegel nachgewiesen. Die Nachweise erfolgen mit elementaren Ansätzen nach DIN EN 1993-1-1, [3] und DIN EN 1992-1-1, [5] und werden an dieser Stelle nicht weiter erläutert.

Nachweis der Horizontallastabtragung über Reibung

$$\frac{F_d}{F_{f,Rd}} \leq 1,0$$

mit:

F_d	vorhandene Horizontallast
$F_{f,Rd}$	Gleitwiderstand, siehe Abschnitt „Aufnahme der Querkräfte“

Nachweis der Horizontallastabtragung über Reibung und Abschertragfähigkeit der Schrauben

$$\frac{F_d}{F_{v,Rd}} \leq 1,0$$

mit:

$$F_{v,Rd} = F_{f,Rd} + 2 \cdot n \cdot F_{Rd}$$

$$F_{Rd} = \min\{F_{c,Rd}; F_{vb,Rd}\}$$

n	Anzahl der Ankerschrauben je Seite
$F_{c,Rd}$	Tragfähigkeit des Betons auf Kantenpressung, siehe Abschnitt „Aufnahme der Querkräfte“
$F_{vb,Rd}$	Tragfähigkeit des Ankers auf Abscheren, siehe Abschnitt „Aufnahme der Querkräfte“

In Bild 5 sind beispielhaft die Nachweise der Horizontallastabtragung über Reibung und Abschertragfähigkeit der Ankerschrauben dargestellt.

Abscheren und Reibung					
EK	$C_{f,d}$	$F_{c,Rd}$ [kN]	$F_{1,vb,Rd}$ [kN]	$F_{2,vb,Rd}$ [kN]	F_{Rd} [kN]
1	0.20	4.30	74.91	54.05	4.30

EK	$F_{z,d}$ $F_{y,d}$ [kN]	F_d N_d [kN]	$F_{F,Rd}$ $n^2 F_{Rd}$ [kN]	F_{vRd} [kN]	η
1	20.00	20.00	18.00	35.19	0.57
		90.00	17.19		

Bild 5. Ausgabe „Nachweis der Horizontalkraftabtragung“

Nachweis der Traverse

Die Traversen werden mit der Fußplatte verschweißt und bilden zusammen mit der Fußplatte einen Querschnitt. Der Spannungsnachweis erfolgt am Stützenanschnitt. Die Biegespannungen im Gesamtquerschnitt sind mit den lokalen Spannungen in der Fußplatte zu überlagern. Die Schweißnaht zwischen Traverse und Fußplatte wird ebenfalls im Programm nachgewiesen. Bild 6 zeigt die entsprechenden Nachweise.

infolge Ankerkraft						
EK	$M_{y,d}$ [kNcm]	$V_{z,d}$ [kN]	$\sigma_{z,d,d}^0$ $\sigma_{z,d,d}^0$ [N/mm ²]	$\tau_{z,d,d}$ [N/mm ²]	σ_{Rd} τ_{Rd} [N/mm ²]	η
1	1142	95.19	18.47 7.24	26.09	235.00 135.68	0.19

infolge Betonpressung						
EK	$M_{y,d}$ $V_{z,d}$ [kN(cm)]	$\sigma_{z,d,d}^0$ $\sigma_{z,d,d}^0$ [N/mm ²]	$\tau_{z,d,d}$ $\tau_{z,d,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{y,d}^*$ $\tau_{y,d}^*$ [N/mm ²]	σ_{Rd} τ_{Rd} [N/mm ²]	η
1	2652 185.2	42.89 16.80	50.75 225.02	220.76 23.24	235.00 135.68	0.96

* : Spannungen in der Fußplatte

Schweißnaht Stütze						
EK	N_d [kN]	$M_{y,d}$ $M_{z,d}$ [kNm]	$F_{w,d}$ F_d [kN]	$\tau_{w,d}$ $\sigma_{w,d}$ [N/mm ²]	$\sigma_{v,w,d}$ $f_{v,w,d}$ [N/mm ²]	η
1	90.00	80.00	155.83 20.00	129.86 4.17	129.93 207.85	0.63

Schweißnaht Fußplatte						
EK	$V_{z,d}$ [kN]	$S_{y,d}$ [cm ³]	$\tau_{w,d}$ [N/mm ²]	$f_{v,w,d}$ [N/mm ²]	η	
1	95.19	519.2	50.56	207.85	0.24	

Bild 6. Ausgabe „Nachweis der Traverse“

Nachweis des Fußriegels

Die Querschnittstragfähigkeit des Fußriegels wird am Stützenanschnitt nachgewiesen. Neben der Biegespannung und der Schubspannung erfolgt der Nachweis der Flanschbiegung.

Nachweis der Lasteinleitung

- aus der Stütze in die Traversen
- aus der Stütze in den Fußriegel
- aus der Traverse in die Ankerschrauben
- aus dem Fußriegel in die Ankerschrauben

Die Lasteinleitung erfolgt über Schweißnähte bzw. eingeschweißte Lasteinleitungsrippen. Im Programm werden alle erforderlichen Nachweise geführt.

Ausgabe

Es wird eine vollständige, übersichtliche und prüffähige Ausgabe zur Verfügung gestellt. Der Ausgabeumfang kann in gewohnter Weise gesteuert werden.

Neben maßstabstreuen Detailskizzen werden die Schnittgrößen, Kombinationen und Nachweise unter Angabe der Berechnungsgrundlage und Einstellungen des Anwenders in übersichtlicher tabellarischer Form ausgegeben.

Dipl.-Ing. Petra Licht
mb AEC Software GmbH
mb-news@mbaec.de

Literatur

- [1] DIN EN 1990: Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung, Dezember 2010
- [2] DIN EN 1990/NA: Nationaler Anhang - national festgelegte Parameter – Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung, Dezember 2010
- [3] DIN EN 1993-1-1: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Dezember 2010
- [4] DIN EN 1993-1-8: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen, Dezember 2010
- [5] DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Januar 2011
- [6] DIN 592: Steinschrauben, September 2010
- [7] DIN 7992: Hammerschrauben mit großem Kopf, September 2010
- [8] DAST-RI 018: Hammerschrauben, Deutscher Ausschuss für Stahlbau, November 2001
- [9] Christian Petersen, Stahlbau: Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten, 4. Auflage, Springer Verlag
- [10] J. Hahn, Durchlaufträger, Rahmen, Platten und Balken auf elastischer Bettung, 13. Auflage, Werner Verlag
- [11] Betonkalender 2000, Teil 1, Seite 42
- [12] Basler/Witte, Verbindungen in der Vorfabrikation, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1967

!

Aktuelle Angebote

S485.de Stahl-Stützenfuß, biegesteif mit Traverse, Fußriegel – EC 3, DIN EN 1993-1-1:2010-12

Leistungsbeschreibung siehe nebenstehenden Fachartikel

399,- EUR

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: Juli 2014
Unterstütztes Betriebssystem: Windows 10 (64)

Preisliste www.mbaec.de