

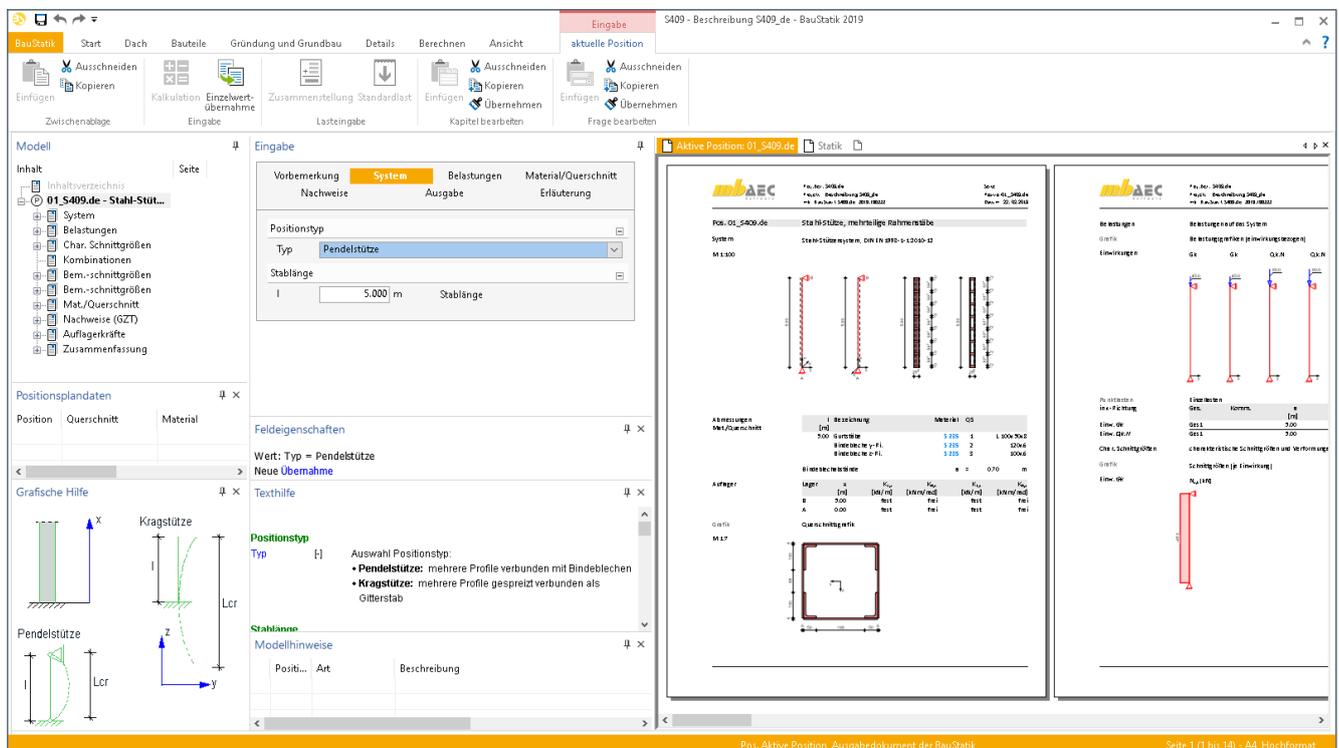
Dipl.-Ing. Thomas Blüm

Mehrteilige Druckstäbe aus Stahl

Leistungsbeschreibung des BauStatik-Moduls

S409.de Stahl-Stütze, mehrteilige Rahmenstäbe – EC 3, DIN EN 1993-1-1

Zur Erhöhung des Trägheitsmomentes bei gleichzeitiger Gewichtseinsparung können Druckstäbe aus mehreren Querschnittsteilen zusammengesetzt werden. Mit dem Modul S409.de können Rahmenstäbe mit verschiedene Querschnittstypen nachgewiesen werden.



Allgemein

Rahmenstäbe werden vorrangig aus Gründen der Gewichtseinsparung verwendet und waren in früheren Zeiten sehr verbreitet. Im modernen Stahlbau werden diese aufgrund des höheren Fertigungsaufwands nicht mehr so häufig eingesetzt. Von mehrteiligen Druckstäben spricht man, wenn der Querschnitt mindestens eine „stofffreie“ Achse hat. Die Teilquerschnitte werden untereinander mittels Binde- oder Futterblechen verbunden.

Die Berechnung erfolgt als vorverformter Stab nach der Elastizitätstheorie II. Ordnung, wobei ein schubweicher Vollstab angenommen wird. Verformungen infolge von Schubkräften werden durch den Ansatz einer verschmierten kontinuierlichen Schubsteifigkeit berücksichtigt. Da die Gurte nicht kontinuierlich verbunden sind, besteht die Möglichkeit eines örtlichen Ausknickens. Dies muss ebenfalls untersucht werden.

System

Beim statischen System kann zwischen einer Pendelstütze und einer Kragstütze gewählt werden. Außerdem muss die Stablänge eingegeben werden.

Belastung

Das Eigengewicht der Stütze kann das Programm automatisch ermitteln und als Last ansetzen.

Weitere Belastungen in Form einer Last am Stützenkopf können als „Lastabtrag“ aus einer anderen Position komfortabel eingegeben werden. Hierfür kann in der Eingabe direkt auf die Auflagerreaktionen von ausgewählten BauStatik-Modulen sowie MicroFe-Ergebnissen zugegriffen werden.

Alternativ können die Belastungen manuell definiert werden. Eine Dokumentation von Lastzusammenstellungen und einzelnen Lastübernahmen ist in der Ausgabe möglich.

Material / Querschnitt

Über die Querschnittsform muss zunächst die Grundanordnung für die L- und U-Profile festgelegt werden. Folgende Anordnungen sind möglich:

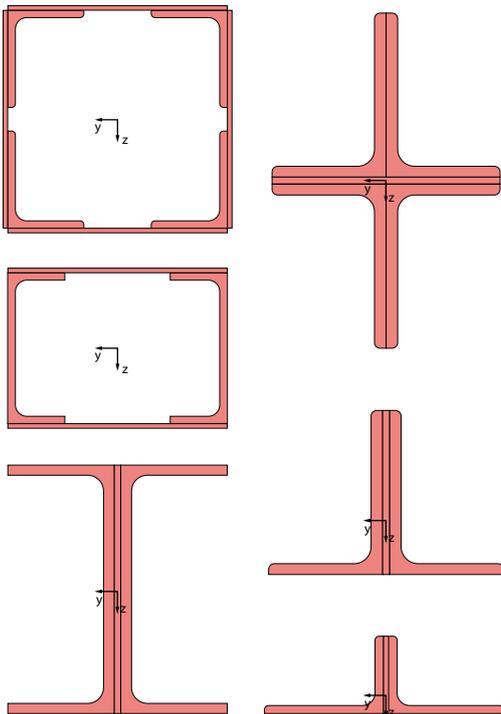


Bild 1. Querschnittsformen

Für rechteckige Anordnungen werden über die äußeren Abmessungen b_y und gegebenenfalls b_z die Größe des Gesamtquerschnitts definiert.

Weiterhin sind Anzahl, Abmessung und Material der Bindebleche festzulegen. Die Bindebleche werden immer im gleichen Abstand über die Stützenlänge verteilt. Nach [1], 6.4.1 muss die Stütze aus mindestens 3 Feldern bestehen.

Bild 2. Kapitel „Material/Querschnitt“

Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) wird auf Basis der DIN EN 1993-1-1 geführt. Folgende Nachweise führt das Modul:

- Stabilitätsnachweis rechtwinklig zur Stoffachse (mit Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung)
- Stabilitätsnachweis rechtwinklig zur stofffreien Achse (mit Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung)
- Nachweis gegen lokales Knicken des Gurtes zwischen den Bindeblechen mit dem Ersatzstabverfahren
- Querschnittsnachweis der Bindebleche

Ermittlung der Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung

Die Ermittlung der Schnittgrößen unter Berücksichtigung der Effekte aus der Theorie II erfolgt nach der Elastizitätstheorie. Bei einem Pendelstab wird die Anfangsvorkrümmung mit einem Stichmaß von $e_0 = L/500$ angenommen. Bei einer Kragstütze wird die Anfangsschiefstellung nach [1], 5.3.2 ermittelt.

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h$$

mit

$$\phi_0 = 1/200$$

und

$$\frac{2}{3} \leq \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{L}} \leq 1,0$$

Bei der Ermittlung der Schnittgrößen muss die Schubweichheit des Stabes ebenfalls berücksichtigt werden.

Stabilitätsnachweis rechtwinklig zur Stoffachse

Mehrteilige Stäbe, deren Querschnitte eine Stoffachse haben, sind für das Ausweichen rechtwinklig zu dieser Achse wie einteilige Stäbe zu berechnen. Dabei wird ein Querschnittsnachweis mit den Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung geführt.

Stabilitätsnachweis rechtwinklig zur stofffreien Achse

Für das Ausweichen rechtwinklig zur stofffreien Achse dürfen mehrteilige Stäbe ersatzweise wie einteilige Stäbe berechnet werden. Dabei sind die effektive Steifigkeit und die Schubsteifigkeit zu berücksichtigen und die Einzelglieder für die lokalen Schnittgrößen, die sich aus den Gesamtschnittgrößen ergeben, zu bemessen.

Bei Querschnitten mit zwei stofffreien Achsen gelten diese Aussagen sinngemäß für beide Achsen.

Die in der Norm angegebenen und im Folgenden aufgeführten Formeln gelten für den Sonderfall des beidseitig gelenkig unverschieblich gelagerten Stabes mit konstantem Querschnitt unter planmäßig mittigem Druck und Biegung.

Das effektive Flächenträgheitsmoment der Stütze darf wie folgt angenommen werden:

$$I_{\text{eff}} = 0,5h_0^2 A_{\text{ch}} + 2\mu I_{\text{ch}}$$

Die Schubsteifigkeit ist wie folgt anzunehmen:

$$S_v = \frac{24EI_{\text{ch}}}{a^2 \left[1 + \frac{2I_{\text{ch}} h_0}{nI_b a} \right]} \leq \frac{2\pi EI_{\text{ch}}}{a^2}$$

Dabei ist

- I_{ch} das Flächenträgheitsmoment eines Gurtstabes in der Nachweisebene
- I_b das Flächenträgheitsmoment eines Bindebleches in der Nachweisebene
- μ der Wirkungsgrad nach Tabelle 6.8
- n die Anzahl der parallelen Ebenen mit Bindeblechen

Bei der Berechnung des effektiven Flächenträgheitsmomentes kann das Trägheitsmoment der Gurte nicht immer voll angesetzt werden. Bei größeren Schlankheiten kommt es zu Plastizierungen am Gesamtstab, die größere Verformungen und damit größere Gurtkräfte hervorrufen (vgl. [3]). Daher wird ein Korrekturwert μ verwendet, der bei einer Schlankheit $\lambda \geq 150$ gleich 0 ist.

Kriterium	Wirkungsgrad μ
$\lambda \geq 150$	0
$75 < \lambda < 150$	$\mu = 2 - \frac{\lambda}{75}$
$\lambda \leq 75$	1,0

wobei $\lambda = \frac{l_0}{i_0}$; $i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2A_{\text{ch}}}}$; $i_0 = 0,5h_0^2 A_{\text{ch}} + 2I_{\text{ch}}$

Tabelle 1. Wirkungsgrad μ (Tabelle 6.8 aus [1])

Beispielhaft ergibt sich für den Querschnittstyp mit zwei gleichen Gurten die Normalkraft $N_{\text{ch,Ed}}$ in einem Stab zu:

$$N_{\text{ch,Ed}} = 0,5N_{\text{Ed}} + \frac{M_{\text{Ed}} h_0 A_{\text{ch}}}{2I_{\text{eff}}}$$

Dabei ist

- M_{Ed} Bemessungswert des einwirkenden maximalen Moments in der Mitte des Bauteils unter Berücksichtigung der Effekte aus der Theorie II. Ordnung
- h_0 der Abstand zwischen den Schwerachsen der Gurtstäbe
- A_{ch} die Querschnittsfläche eines Gurtstabes
- I_b das Flächenträgheitsmoment eines Bindebleches in der Nachweisebene

Nachweis gegen lokales Knicken des Gurtes zwischen den Bindeblechen

Die oben beschriebenen Nachweise berücksichtigen ein mögliches Versagen des Gesamtsystems. Es muss aber auch untersucht werden, ob der einzelne Gurtstab zwischen den Bindeblechen ausknickt. Hierzu wird das Ersatzstabverfahren mit den vorhandenen Gurtkräften angewendet. Als Knicklänge wird der Abstand der Bindebleche angenommen.

Querschnittsnachweis der Bindebleche

Die Schnittgrößen auf das Bindeblech sind im Bild 6.11 [1] dargestellt. Eine Erleichterung ist dadurch gegeben, dass die Momente in den Schwerpunkten der Bindeblechanschlüsse ermittelt werden dürfen.

Mit den Momenten und Querkräften im Bindeblech wird ein Spannungs- bzw. Interaktionsnachweis geführt.

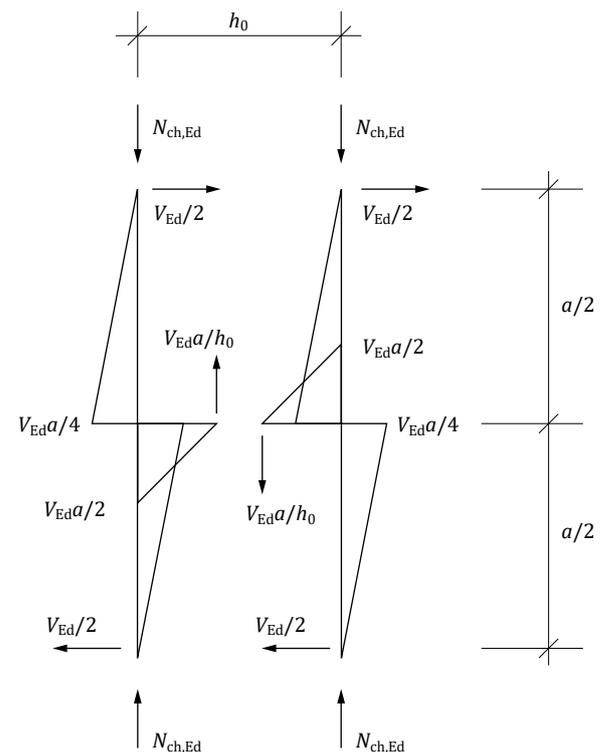


Bild 3. Stabkräfte im Endfeld von Stützen mit Bindeblechen und zwei Gurten (Bild 6.11 [1])

Sonderfall: Querschnitte mit geringer Spreizung

Mehrteilige Bauteile, deren Teile Kontakt haben oder mit geringer Spreizung durch Futterstücke verbunden sind, verhalten sich wie Vollstäbe. Deshalb darf die Berücksichtigung der Schubweichheit entfallen ($S_v = \infty$). Dabei gilt, dass der maximale Abstand zwischen den Achsen von Bindeblechen $15 i_{\min}$ betragen darf. Hier ist i_{\min} der kleinste Trägheitsradius eines Gurtstabes.

Ausgabe

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

Neben der grafischen Darstellung des Systems in Haupttragrichtung werden die Belastungen, Schnittgrößen und Nachweise unter Berücksichtigung der Einstellungen des Anwenders sowohl grafisch als auch tabellarisch ausgegeben.

Dipl.-Ing. Thomas Blüm
mb AEC Software GmbH
mb-news@mbaec.de

Literatur

- [1] DIN EN 1993-1-1: Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten. Ausgabe Dezember 2010. Beuth Verlag.
- [2] DIN EN 1993-1-1/NA: Nationaler Anhang Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten. Ausgabe Dezember 2010. Beuth Verlag.
- [3] Kommentar zu DIN EN 1993-1-1 mit Nationalem Anhang. Beuth Verlag.
- [4] Stahlbau: Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten. Christian Petersen. Januar 2008. Springer Vieweg.

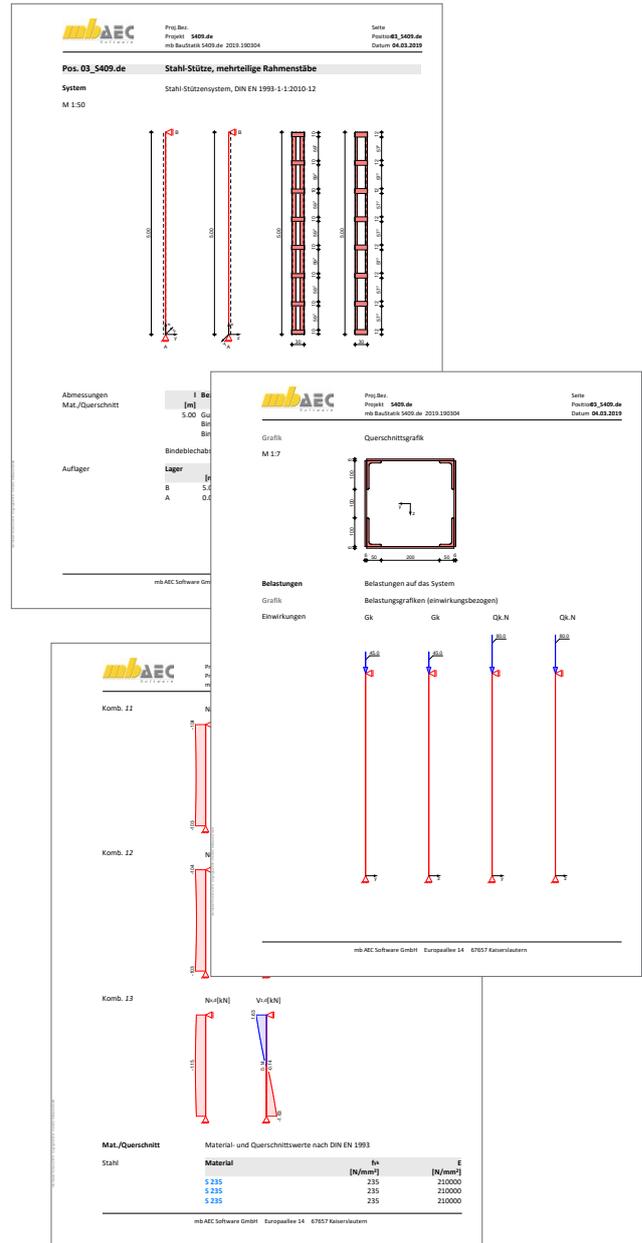


Bild 4. Beispielausgabe

Preise und Angebote

S409.de Stahl-Stütze, mehrteilige Rahmenstäbe – EC 3, DIN EN 1993-1-1 **390,- EUR**
Leistungsbeschreibung siehe nebenstehenden Fachartikel

BauStatik 5er-Paket **990,- EUR**
bestehend aus 5 BauStatik-Modulen deutscher Norm nach Wahl*

BauStatik 10er-Paket **1.690,- EUR**
bestehend aus 10 BauStatik-Modulen deutscher Norm nach Wahl*

* ausgenommen S012, S018, S030, S928, S141.de, S261.de, S410.de, S411.de, S414.de, S630.de, S853.de

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: März 2019

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