

Dr.-Ing. Joachim Kretz

Anschlüsse nach DIN EN 1993-1-8

Teil 2: Grundlagen zu Anschlüssen mit H- und I-Querschnitten / Kenngroße Momententragfähigkeit

Trägerstöße und Verbindungen zwischen Rahmenriegeln und Stützen werden häufig als geschraubte, momententragfähige Anschlusskonstruktionen mit Stirnplattenverbindungen hergestellt. Zur Berechnung dieser Verbindungen steht dem Ingenieur mit der Komponentenmethode nach DIN EN 1993-1-8 ein allgemeingültiges Bemessungsmodell für die Ermittlung der Tragfähigkeit, der Steifigkeit und der Anschlussverformung von 2-reihigen momententragfähigen Stirnplattenverbindungen zur Verfügung.



Grundlage der Komponentenmethode ist die Betrachtung eines Anschlusses als das Zusammenwirken einzelner Grundkomponenten. Die in DIN EN 1993-1-8 verwendeten Grundkomponenten sind in Tabelle 6.1 [1] aufgeführt. Der EC 3 enthält jedoch nur Komponenten für Anschlüsse mit zwei Schrauben in einer Reihe. Die Ermittlung der Kenngrößen dieser Grundkomponenten erfolgt nach den Regelungen des EC 3. Mit den Regeln des EC 3 sind aber die häufig ausgeführten Anschlüsse mit vier Schrauben in einer Reihe nicht nachweisbar.

Es besteht jedoch die Möglichkeit weitere Grundkomponenten hinzuzufügen, wenn deren Kenngrößen mit Versuchen oder durch numerische Verfahren, die an Versuchen kalibriert sind, bestimmt werden.

Im nachfolgenden Beitrag wird die Kenngröße „Momententragfähigkeit“ der wesentlichen Grundkomponenten von Anschlüssen mit H- oder I-Querschnitten vorgestellt. Die Erweiterung der Komponentenmethode auf vier Schrauben in einer Reihe sowie die weiteren Kenngrößen der Momenten-Rotations-Charakteristik werden in dem Folgeartikel näher beschrieben.

Wegen der Komplexität des Themas können im Rahmen dieses Artikels nur die wesentlichen Grundlagen und Berechnungsformeln angegeben und erläutert werden. Die Bestimmungsgleichungen der Grundkomponenten von zweireihigen momententragfähigen Stirnplattenverbindungen sind jedoch in DIN EN 1993-1-8 vollständig abgedruckt. Zur weiteren Vertiefung wird auf den zugrunde liegenden Teil 1-8 des EC 3 sowie auf die weiterführende Literatur verwiesen ([3] - [9], ..).

1 Einleitung

1.1 Kenngrößen – Momenten-Rotations-Charakteristik

Die Charakteristik eines Anschlusses ist im allgemeinen ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen dem einwirkenden Moment $M_{j,Ed}$ und der relativen Verdrehung Φ_{Ed} . Im statischen Modell wird ein Anschluss durch eine Rotationsfeder dargestellt, die die verbundenen Bauteile im Kreuzungspunkt der Schwerlinien verbindet. Wie bereits in Teil 1 [10] näher beschrieben, liefert die Momenten-Rotations-Charakteristik die drei wesentlichen Kenngrößen:

- Momenten Tragfähigkeit
- Rotationssteifigkeit
- Rotationskapazität

Die Momenten-Rotations-Charakteristik eines Anschlusses hängt von den Kenngrößen seiner Grundkomponenten ab, die Tabelle 6.1 des EC 3 [1] zu entnehmen sind.

1.2 Grundkomponenten eines Anschlusses

Die Verbindungen von Trägerstößen und Stützen-Riegel-Anschlüssen mit Stirnplatten setzen sich aus den in Bild 1 dargestellten Grundkomponenten zusammen:

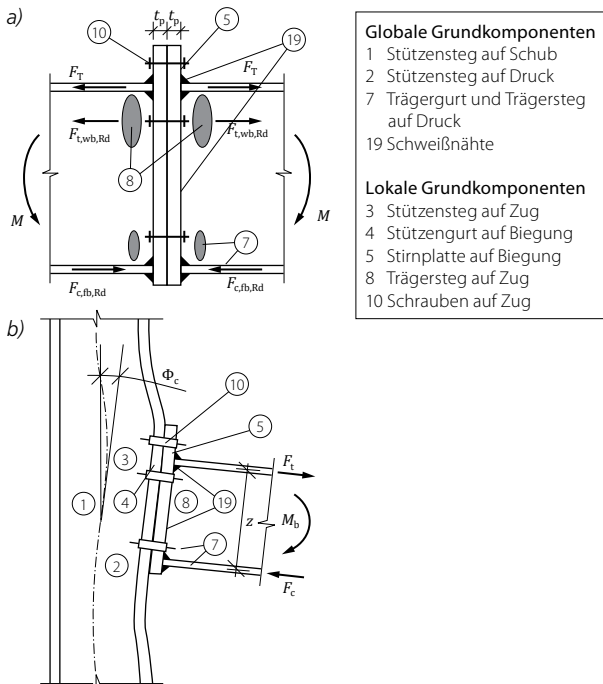


Bild 1. Grundkomponenten
 a) eines Stirnplattenstoßes
 b) eines Stützen-Riegel-Anschlusses

Die Nummerierung der Grundkomponenten ist auf die in Tabelle 6.1 [1] vorgegebene Nummerierung der Grundkomponenten abgestimmt. Wie aus Bild 1 ersichtlich, beinhaltet der Stützen-Riegel-Anschluss alle Grundkomponenten des Stirnplattenstoßes und ist zusätzlich um einige Grundkomponenten der Stütze erweitert.

Tabelle 6.1 [1] enthält eine Übersicht aller im EC 3 geregelten Grundkomponenten mit Querverweisen auf die jeweiligen Berechnungsverfahren der einzelnen Kenngrößen. Auszugsweise sind in Tabelle 1 die Grundkomponenten 1 bis 10 aus [1] angegeben.

Komponente	Verweis auf Berechnungsverfahren		
	Tragfähigkeit	Steifigkeitskoeffizient	Rotationskapazität
1 Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung 	6.2.6.1	6.3.2	6.4.2 6.4.3
2 Stützensteg mit Querdruckbeanspruchung 	6.2.6.2	6.3.2	6.4.2 6.4.3
3 Stützensteg mit Querzugbeanspruchung 	6.2.6.3	6.3.2	6.4.2 6.4.3
4 Stützenflansch mit Biegung 	6.2.6.4	6.3.2	6.4.2 6.4.3
5 Stirnblech mit Biegebeanspruchung 	6.2.6.5	6.3.2	6.4.2
6 Flanschkante mit Biegebeanspruchung 	6.2.6.6	6.3.2	6.4.2
7 Träger- oder Stützenflansch und -steg mit Druckbeanspruchung 	6.2.6.7	6.3.2	-
8 Trägersteg mit Zugbeanspruchung 	6.2.6.8	6.3.2	-
9 Blech mit Zug- oder Druckbeanspruchung 	auf Zug: EN 1993-1-1 auf Druck: EN 1993-1-1	6.3.2	-
10 Schrauben mit Zugbeanspruchung 	mit Stützenflansch: 6.2.6.4 mit Stirnblech: 6.2.6.5 mit Flanschkante: 6.2.6.6	6.3.2	6.4.2

Tabelle 1. Grundkomponenten (Auszug) eines Anschlusses nach [1]

Die Zusammenhänge zwischen den Kenngrößen der Grundkomponenten eines Anschlusses und den Kenngrößen des Anschlusses sind im Teil 1-8 [1] in folgenden Abschnitten angegeben:

- für die Momententragfähigkeit in 6.2.7 und 6.2.8
- für die Rotationssteifigkeit in 6.3.1
- für die Rotationskapazität in 6.4

2 Momententragfähigkeit eines Anschlusses

2.1 Prinzipielles Vorgehen zur Ermittlung der Anschlusszugtragfähigkeit

Bevor die Ermittlung der Beanspruchbarkeiten der einzelnen Grundkomponenten im Detail dargestellt wird, wird zunächst das generelle Vorgehen bei der Ermittlung der Anschlussbiegetragfähigkeit eines geschraubten, momententragfähigen Stützen-Riegel-Anschlusses (Bild 2) prinzipiell angegeben.

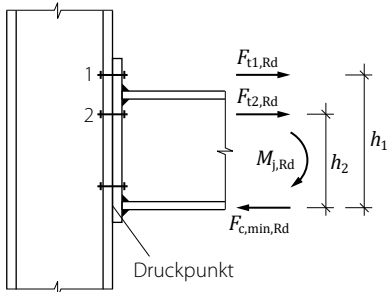


Bild 2. Berechnung der Anschlussbiegetragfähigkeit

Die Anschlussbiegetragfähigkeit $M_{j,Rd}$ wird für geschraubte Stirnplattenverbindungen allgemein nach folgender Gleichung bestimmt:

$$M_{j,Rd} = \sum_r F_{tr,Rd} \cdot h_r$$

mit

- $F_{tr,Rd}$ maßgebende Grenzzugkraft der Schraubenreihe r auf Zug, die von den Tragfähigkeiten der lokalen und globalen Grundkomponenten des Anschlusses abhängt
- h_r Abstand der Schraubenreihe vom Druckpunkt, der i.d.R. in der Mittelachse des Druckflansches angenommen wird
- r Nummer der Schraubenreihe

Die Nummerierung der Schraubenreihen beginnt mit der äußersten Schraubenreihe. Die maßgebende Grenzzugkraft $F_{tr,Rd}$ der Schraubenreihe r ist die kleinste Grenzzugkraft entweder der lokalen Grundkomponenten für jede einzelne Schraubenreihe oder für jede Schraubenreihengruppe.

Sofern zwei oder mehrere Schraubenreihen in der Zugzone des Anschlusses eine Schraubengruppe bilden, sind alle Grundkomponenten für diese Schraubengruppe zu bilden. Die Schraubengruppe besitzt ein eigenes Fließlinienmuster, das für das Versagen dieser Schraubengruppe maßgebend ist. Es ist zu überprüfen, dass die Summe der minimalen Zugkräfte der 1. und 2. usw. Schraubenreihe nicht größer ist als die minimale Zugkraft der Schraubengruppe.

Nachfolgende Bedingung ist dabei für die gesamte Tragfähigkeit in der Zugzone einzuhalten:

$$F_{t1,Rd} + F_{t2,Rd} \leq F_{t,1+2,Rd}$$

mit

- $F_{t1,Rd}$ minimale Zugkraft in der 1. Schraubenreihe
- $F_{t2,Rd}$ minimale Zugkraft in der 2. Schraubenreihe
- $F_{t,1+2,Rd}$ minimale Zugkraft der Schraubengruppe

Sofern diese Bedingung nicht eingehalten ist, ist die maßgebende Tragfähigkeit der letzten Schraubenreihe, und gegebenenfalls noch weitere, zu reduzieren.

$$F_{t2,Rd} = F_{t,1+2,Rd} - F_{t1,Rd}$$

Damit die Summe der minimalen Schraubenkräfte $\sum_r F_{tr,Rd}$ in der Zugzone im Anschluss aufgenommen werden kann, muss eine Druckkräfteinleitung von mindestens der Größe der minimalen Schraubenzugkräfte in den Anschluss möglich sein. Die maßgebenden Schraubenzugkräfte dürfen deshalb nicht größer als die folgenden Tragfähigkeiten sein:

- Stützensteg auf Schub $V_{wp,Rd}/\beta$
- Stützensteg mit Querdruck $F_{c,wc,Rd}$
- Trägerflansch und -steg auf Druck $F_{c,fb,Rd}$

Kann die Druckkraft nicht eingeleitet werden, so ist die wirksame Tragfähigkeit der letzten Schraubenreihe nochmals zu reduzieren. Das schwächste Glied d.h. die schwächste Grundkomponente bestimmt die Tragfähigkeit.

Sind die einzelnen Traganteile ermittelt, kann die Anschlusskonstellation durch eine gezielte Änderung der schwächsten Komponente(n) optimiert werden. Mit den maßgebenden Grenzzugkräften $F_{tr,Rd}$ der Schraubenreihen kann abschließend die Momententragfähigkeit $M_{j,Rd}$ des Anschlusses unter Verwendung der Hebelarme h_r bestimmt werden.

2.2 Beanspruchbarkeit der lokalen Grundkomponenten

2.2.1 Beanspruchbarkeit der Schrauben auf Zug (Grundkomponente 10)

Nach EC 3-1-8 bestimmt sich die Zugbeanspruchbarkeit von Schrauben zu:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

mit

- f_{ub} Zugfestigkeit des Schraubenmaterials
- A_s Spannungsquerschnitt der Schrauben
- $\gamma_{M2} = 1.25$ Teilsicherheitsbeiwert nach EC 3-1-8, Tab. 2.1

Bei Verbindungen mit hochfesten Schrauben wird im Allgemeinen davon ausgegangen, dass sich die Stirnplatten eines Anschlusses elastisch-plastisch verhalten. Unter Belastung kann sich die Stirnplatte verformen; sie bleibt i.A. nicht ideal eben. Dies kann dazu führen, dass in der Verbindung Abstützkräfte Q durch die Verformung der Kopfplatte entstehen können. Diese Abstützkräfte müssen zusätzlich von den Schrauben aufgenommen werden können.

Ob sich Abstützkräfte einstellen, hängt von den Abmessungen der Stirnplatte und der Schrauben ab. Bei Vorverformungen, wie in Bild 3 rechts skizziert, stellen sich keine Abstützkräfte ein. Zur Vereinfachung der Berechnung sind die Abstützkräfte in dem T-Stummel-Modell nach Abschnitt 6.2.4 [1], mit dem in der Komponentenmethode die Tragfähigkeit der auf Biegung beanspruchten Komponenten wie Stirnplatten oder Stützenflansche bestimmt wird, implizit berücksichtigt.

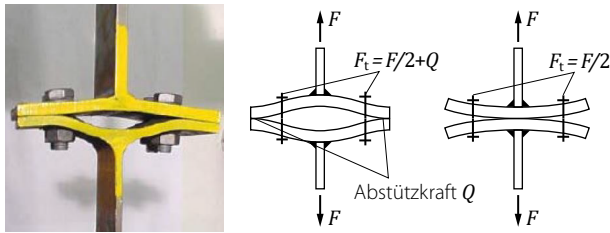


Bild 3. Zugbeanspruchter T-Stoß [8] mit und ohne Abstützkräfte

2.2.2 Beanspruchbarkeit von Stirnplatte und Stützenflansch auf Biegung (Grundkomponenten 4 und 5)

Bei der Übertragung der Zugkräfte in geschraubten Anschlüssen werden die Grundkomponenten Stützenflansch und Stirnplatte (bzw. Gurtwinkel) auf Biegung beansprucht. Der Versagenszustand der biegebeanspruchten Komponenten tritt durch Bildung bestimmter Fließlinienmechanismen ein.

Die Beanspruchbarkeit dieser Komponenten wird rechnerisch mit einem die Geometrie idealisierenden, äquivalenten T-Stummel unter Zugbeanspruchung nachgewiesen. Der T-Stummel besteht dabei aus einem Last einleitenden Steg und einem biegebeanspruchten Flansch. Der Flansch ist in den Schraubenachsen auf Zug und an den Außenrändern unter Annahme einer unendlich starren Unterlage auf Druck gelagert. Die Länge des T-Stummels folgt aus der wirksamen Länge l_{eff} der Schraubenreihe in der Zugzone. Die Parameter m und e ergeben sich aus der Geometrie des Stützenprofils (geschweißt oder gewalzt).

In Bild 4 sind die Abmessungen eines äquivalenten T-Stummels nach [1] und [3] dargestellt.

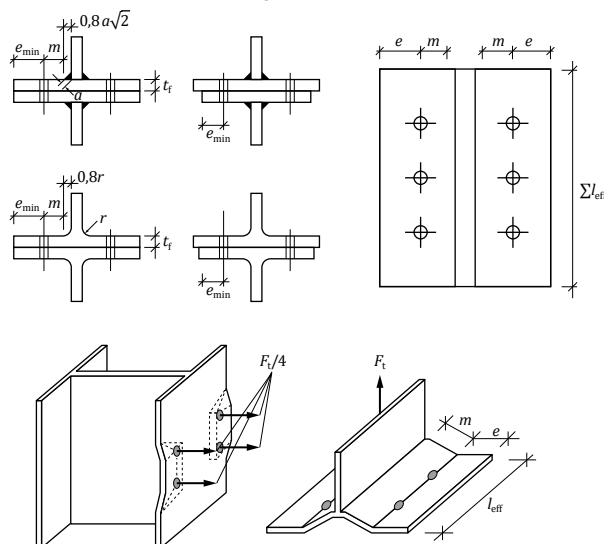


Bild 4. Äquivalenter T-Stummel

Abhängig von der Plattengeometrie und der Beanspruchbarkeit der Schrauben werden beim T-Stummel drei mögliche Versagensarten (Bild 5) unterschieden.

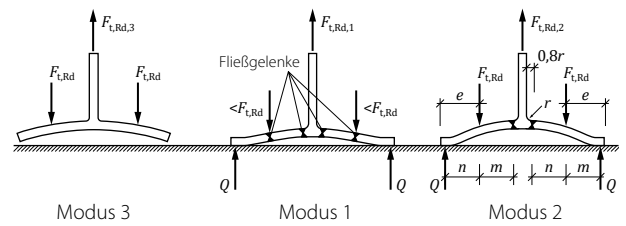


Bild 5. Versagensarten des T-Stummels mit zwei Schrauben in einer Reihe nach [3]

Versagensart 1:

(Modus 1) Vollständiges Fließen der Flansche

Das Versagen ist gekennzeichnet durch ein vollständiges Fließen der Flansche; es stellen sich vier plastische Gelenke ein. Dieses Versagen tritt bei dünnen Stützenflanschen / Stirnplatten auf. Die Zugkräfte in den Schrauben sind geringer als die Zugtragfähigkeit $F_{t,Rd}$. Die Biegebeanspruchbarkeit der Flansche bestimmt allein die Beanspruchbarkeit des T-Stummels, wobei aus den möglichen Fließlinienmuster die maßgebende Länge des T-Stummels l_{eff} abgeleitet wird. Durch die Biegeverformung des Flansches entstehen Abstützkräfte Q , die mit der Beanspruchbarkeit $F_{t,Rd}$ und den Schraubkräften im Gleichgewicht stehen.

Versagensart 2:

(Modus 2) Schraubenversagen mit Fließen der Flansche

Hierbei handelt es sich um ein gemischtes Versagen durch Ausbildung von Fließlinien in den Flanschen ohne Erreichen des vollständigen plastischen Versagens und Erreichen der Zugbeanspruchbarkeit der Schrauben infolge $F_{t,Rd}$ und der Abstützkräfte Q . Dieses Versagen tritt bei mitteldicken Platten auf. Für Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 liegt das Verhältnis der Plattendicke zu dem Schraubendurchmesser näherungsweise bei $0.75 < t/d < 1.25$.

Bei den Versagensarten 1 und 2 können Abstützkräfte Q auftreten, die die Beanspruchungen in den Schrauben vergrößern. Die in Tabelle 6.2 [1] aufgeführten Gleichungen enthalten implizit die Abstützkräfte Q .

Versagensart 3:

(Modus 3) Schraubenversagen

Die Beanspruchbarkeit des T-Stummels wird allein durch die Grenztragfähigkeit der Schrauben bestimmt. Infolge der großen Biegesteifigkeit der Flansche entstehen keine Abstützkräfte.



Bild 6. Beispiel eines Trägerstoßes (dicke Kopfplatten)

Die Tragfähigkeit $F_{T,Rd}$ eines T-Stummelflansches bei Zugbeanspruchung ermittelt sich nach DIN EN 1993-1-8 zu:

$$F_{T,Rd,1} = \frac{4 \cdot m_{pl,Rd} \cdot l_{eff,1}}{m} \quad \text{für Versagensart 1}$$

$$F_{T,Rd,2} = \frac{2 \cdot m_{pl,Rd} \cdot l_{eff,2} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} \quad \text{für Versagensart 2}$$

$$F_{T,Rd,3} = \sum F_{t,Rd} \quad \text{für Versagensart 3}$$

mit

$$m_{pl,Rd} = \frac{t^2 \cdot f_y}{4 \cdot \gamma_{M0}} \quad \text{Plastisches Plattenmoment des T-Stummelflansches}$$

- t Flanschdicke
- f_y Streckgrenze
- $\gamma_{M0} = 1.00$ Teilsicherheitsbeiwert
- m und e geometrische Angaben bzgl. der Schraubenachse und unter Berücksichtigung des Walzradius zur Erfassung der Lage der Fließlinien
- n Abstand der Abstützkraft Q von der Schraubenachse; $n = e_{min}$, wobei n auf $1.25 \cdot m$ begrenzt ist
- $\sum F_{t,Rd}$ Summe der Zugtragfähigkeiten der Schrauben im T-Stummel
- $l_{eff,1}, l_{eff,2}$ kleinste wirksame Breite aus der Betrachtung der möglichen Fließlinienmechanismen im T-Stummel unter Berücksichtigung der Versagensarten

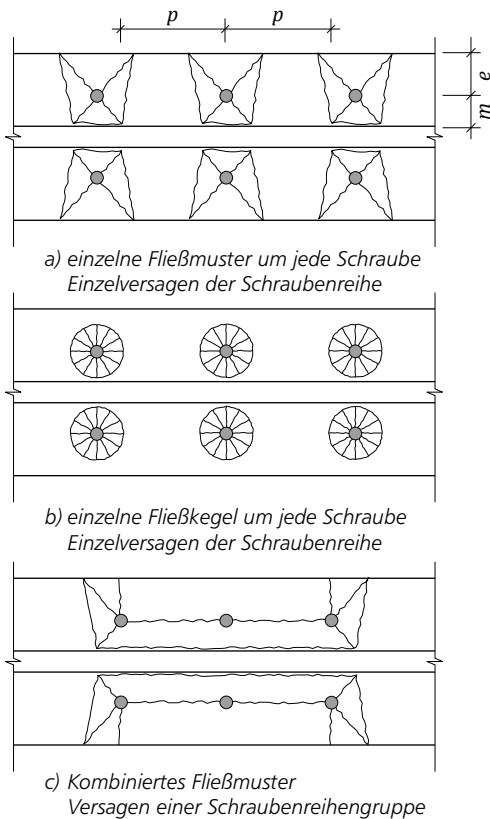


Bild 7. Mögliche Fließmuster

Die Tragfähigkeiten eines T-Stummelflansches bei Zugbeanspruchung sind in Tabelle 6.2 [1] vollständig mit allen Parametern für alle drei Versagensarten angegeben.

Die Gleichungen können sowohl bei nicht ausgesteiften und ausgesteiften Stützenflanschen sowie bei Stirnplatten verwendet werden. Der Einfluss von Steifen oder die Stirnplatte stützenden Flanschen wird über die wirksame Länge l_{eff} erfasst, die nach den Tabellen 6.4 bis 6.6 der DIN EN 1993-1-8 zu bestimmen ist.

In Bild 7 sind mögliche Fließmuster für einen unausgesteiften T-Stummel dargestellt. Um jede Schraube herum kann sich ein einzelnes Fließmuster mit Fließlinien oder ein Fließkegel bilden. Für eine Schraube als Teil einer Gruppe entsteht ein kombiniertes Fließmuster, das mehrere Schrauben umfasst (Bild 7c).

Nach DIN EN 1993-1-8 wird für die Unterscheidung in die drei Versagensarten unterstellt, dass sich ein Fließmuster nach Bild 7a) als maßgebend einstellt. In Abhängigkeit von der Geometrie des Flansches kann sich aber auch ein Fließkegel (Bild 7b) um jede einzelne Schraube bilden. Dieser führt zu einer anderen wirksamen Länge des T-Stummels. Von entscheidender Bedeutung ist, abgesehen von den unterschiedlichen wirksamen Längen, dass bei Ausbildung eines Fließkegels um die Schraube keine Abstützkräfte Q entstehen, die bei der Versagensart 2 zu einer Überbelastung der Schrauben und damit zu dem kombinierten Versagenszustand führen. Die Versagensart 2 kann deshalb nicht bei Ausbildung von Fließkegeln eintreten. Bei Ausbildung von Fließkegeln erfolgt ein direkter Übergang von der Versagensart 1 zur Versagensart 3.

Für nicht ausgesteifte Stützenflansche ergibt sich die wirksame Länge l_{eff} entsprechend den Angaben in Tabelle 2 (\equiv Tabelle 6.4 aus [1]) mit den zugehörigen Fließmustern nach Tabelle 3.

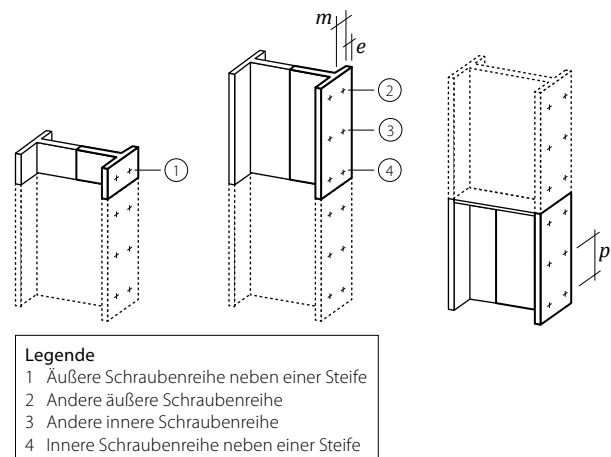


Bild 8. T-Stummel-Modelle ausgesteifter Stützenflansche nach [1]

Werden die Stützen im Anschlussbereich durch Steifen verstärkt, ergeben sich die wirksamen Längen l_{eff} nach Tabelle 4 (\equiv Tabelle 6.5 aus [1]) mit den Fließmustern entsprechend Tabelle 5. Die Fließmuster für innere und äußere Schraubenreihen, die nicht direkt neben einer Steife liegen, entsprechen denen für nicht ausgesteifte Stützenflansche. Bild 8 zeigt die Untersuchung eines ausgesteiften Stützenflansches mit unterschiedlichen T-Stummel-Modellen.

Lage der Schraubenreihe	Schraubenreihe einzeln betrachtet		Schraubenreihe als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen	
	Kreisförmiges Muster $l_{eff,cp}$	Nicht kreisförmiges Muster $l_{eff,nc}$	Kreisförmiges Muster $l_{eff,cp}$	Nicht kreisförmiges Muster $l_{eff,nc}$
Innere Schraubenreihe	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Äußere Schraubenreihe	der kleinere Wert von: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	der kleinere Wert von: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	der kleinere Wert von: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	der kleinere Wert von: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Modus 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ jedoch $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ jedoch $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$	
Modus 2:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc}$	

e_1 ist der Abstand von der Mitte der Verbindungsmittel in der Endreihe zum benachbarten freien Ende des Stützenflanschs, gemessen in der Richtung der Achse des Stützenprofils (siehe Zeile 1 und Zeile 2 in Bild 6.9 in [1]).

Tabelle 2. Wirksame Längen für nicht ausgesteifte Stützenflansche nach [1]

Lage der Schraubenreihe	Schraubenreihe einzeln betrachtet		Schraubenreihe als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen	
	Kreisförmiges Muster	Nicht kreisförmiges Muster	Kreisförmiges Muster	Nicht kreisförmiges Muster
Innere Schraubenreihe				
Äußere Schraubenreihe				

Tabelle 3. Fließmuster für nicht ausgesteifte Stützenflansche [3]

Durch die Anordnung von Steifen erhöht sich die Beanspruchbarkeit des Stützenflansches. Dieser Effekt wird durch den Hilfswert α nach Bild 9 erfasst. Auf nähere Erläuterungen zu den wirksamen Längen und den Fließmustern wird an dieser Stelle verzichtet, da dies in DIN EN 1993-1-8 detailliert angegeben ist.

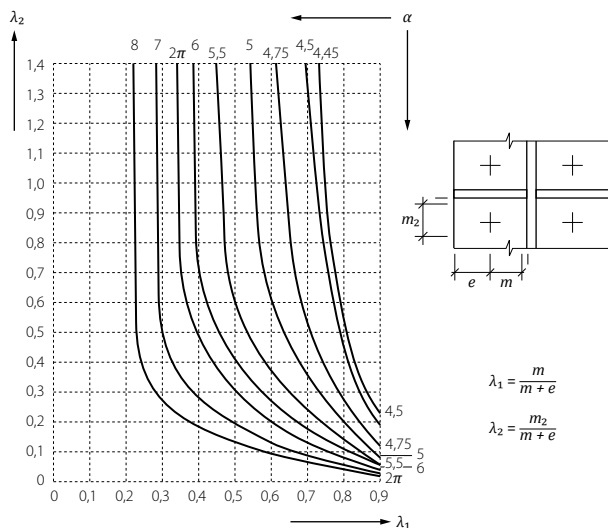


Bild 9. α -Werte für ausgesteifte Stützenflansche und Stirnplatten nach [1]

Eine Stirnplatte wird durch den angeschlossenen Riegel in zwei unabhängig voneinander wirkende Plattenbereiche unterteilt. Infolge des fehlenden Mittelstegs des Riegels ist die Stirnplatte oberhalb des Riegelzuggurts nicht ausgesteift. Auf die obere Schraubenreihe ist deshalb das Modell eines quer liegenden äquivalenten T-Stummels nicht anwendbar; es wird gedanklich ein längs liegender T-Stummel als Modell verwendet. Damit ergeben sich die in Tabelle 6 angegebenen wirksamen Längen in Abhängigkeit von der Lage der Schraubenreihe und dem möglichen Fließmuster nach Tabelle 7.

Eine weitere Möglichkeit die Beanspruchbarkeit des Stützenflansches für die Versagensart 1 zu erhöhen, ist die Anordnung von Futterplatten (Bild 10).

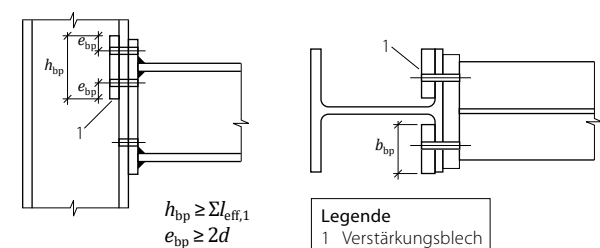


Bild 10. Stützenflansch mit Last verteilenden Futterplatten in der Zugzone nach [1]

Lage der Schraubenreihe	Schraubenreihe einzeln betrachtet		Schraubenreihe als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen	
	Kreisförmiges Muster $l_{eff,cp}$	Nicht kreisförmiges Muster $l_{eff,nc}$	Kreisförmiges Muster $l_{eff,cp}$	Nicht kreisförmiges Muster $l_{eff,nc}$
Innere Schraubenreihe neben einer Steife	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Andere innere Schraubenreihe	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Andere äußere Schraubenreihe	der kleinere Wert von: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	der kleinere Wert von: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	der kleinere Wert von: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	der kleinere Wert von: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Äußere Schraubenreihe neben einer Steife	der kleinere Wert von: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	$e_1 + \alpha m - (2m + 0,625e)$	nicht relevant	nicht relevant
Modus 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ jedoch $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ jedoch $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$	
Modus 2:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc}$	

α ist Bild 9 zu entnehmen

e_1 ist der Abstand von der Mitte der Verbindungsmittel in der Endreihe zum benachbarten freien Ende des Stützenflanschs, gemessen in der Richtung der Achse des Stützenprofils (siehe Zeile 1 und Zeile 2 in Bild 6.9 in [1]).

Tabelle 4. Wirksame Längen für ausgesteifte Stützenflansche nach [1]

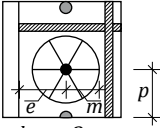
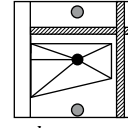
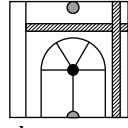
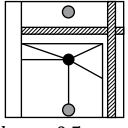
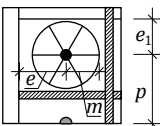
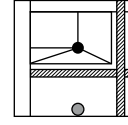
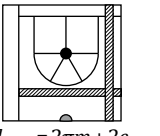
Lage der Schraubenreihe	Schraubenreihe einzeln betrachtet		Schraubenreihe als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen	
	Kreisförmiges Muster	Nicht kreisförmiges Muster	Kreisförmiges Muster	Nicht kreisförmiges Muster
Innere Schraubenreihe neben einer Steife	 $l_{eff,cp} = 2\pi m$	 $l_{eff,np} = \alpha m$	 $l_{eff,cp} = \pi m + p$	 $l_{eff,np} = 0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Äußere Schraubenreihe neben einer Steife	 $l_{eff,cp} = 2\pi m$	 $l_{eff,np} = e_1 + \alpha m - (2m + 0,625e)$	nicht relevant	
	 $l_{eff,cp} = 2\pi m + 2e_1$			

Tabelle 5. Fließmuster für ausgesteifte Stützenflansche [3]

Durch die Futterplatten (Verstärkungsbleche) muss der gesamte biegebeanspruchte Flanschbereich abgedeckt werden. Dazu ist eine Blechbreite von b_{bp} erforderlich, die vom Gurtrand bis mindestens 3 mm an die Stegaurundung heranreicht und mit der Höhe h_{bp} die wirksame Länge des Fließmusters abdeckt. Zusätzlich muss der Randüberstand e_{bp} mindestens dem zweifachen Schraubendurchmesser entsprechen.

Die Beanspruchbarkeit im Modus 1 ermittelt sich zu:

$$F_{T,Rd,1} = \frac{4 \cdot l_{eff,1} \cdot m_{pl,Rd} + 2 \cdot l_{eff,1} \cdot m_{pl,bp,Rd}}{m}$$

mit

$$m_{pl,bp,Rd} = \frac{t_{bp}^2 \cdot f_{y,bp}}{4 \cdot \gamma_{M0}}$$

Die Beanspruchbarkeit in der Versagensart 2 und 3 bleiben hingegen unverändert.

2.2.3 Beanspruchbarkeit Stützensteg auf Zug (Grundkomponente 3)

Zur Bemessung der Grundkomponente 3, Stützensteg auf Zug, ist anzusetzen:

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{wc}}{\gamma_{M0}}$$

Die anzusetzende effektive Breite $b_{eff,t,wc}$ ist für geschraubte und geschweißte Verbindungen unterschiedlich (siehe [1]). Bei geschraubten Verbindungen ist zur Wahrung der Kompatibilität mit den anderen Komponenten die effektive Länge des T-Stummels als effektive Breite b_{eff} zu berücksichtigen.

Lage der Schraubenreihe	Schraubenreihe einzeln betrachtet		Schraubenreihe als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen	
	Kreisförmiges Muster $l_{eff,cp}$	Nicht kreisförmiges Muster $l_{eff,nc}$	Kreisförmiges Muster $l_{eff,cp}$	Nicht kreisförmiges Muster $l_{eff,nc}$
Äußere Schraubenreihe neben Trägerzugflansch	der kleinste Wert von: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	der kleinste Wert von: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	-	-
Innere Schraubenreihe neben Trägerzugflansch	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Andere innere Schraubenreihe	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Andere äußere Schraubenreihe	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
Modus 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ jedoch $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ jedoch $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$	
Modus 2:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc}$	

α ist Bild 9 zu entnehmen

Tabelle 6. Wirksame Längen für eine Stirnplatte nach [1]

Lage der Schraubenreihe	Schraubenreihe einzeln betrachtet	Schraubenreihe als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen
Äußere Schraubenreihe neben Trägerzugflansch		

Tabelle 7. Fließmuster eine Stirnplatte nach [3]

Wird der Stützensteg zusätzlich durch Schub beansprucht, so ist bei der Berechnung der Grundkomponente 3 ein Abminderungsfaktor ω zu berücksichtigen. Der Abminderungsfaktor ω ist abhängig von dem Übertragungsparameter β , d.h. von der Verbindungskonfiguration (ein- oder zweiseitig) sowie der Belastung (gleich- oder gegenläufige Momente).

Übertragungsparameter β	Abminderungsbeiwert ω
$0 \leq \beta \leq 0,5$	$\omega = 1$
$0,5 < \beta < 1$	$\omega = \omega_1 + 2(1-\beta)(1-\omega_1)$
$\beta = 1$	$\omega = \omega_1$
$1 < \beta < 2$	$\omega = \omega_1 + (1-\beta)(\omega_2-\omega_1)$
$\beta = 2$	$\omega = \omega_2$
$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{eff,c,ect_{wc}}/A_{vc})^2}}$	$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2(b_{eff,c,ect_{wc}}/A_{vc})^2}}$

A_{vc} Schubfläche der Stütze, siehe 6.2.6.1;

β Übertragungsparameter, siehe 5.3(7)

Tabelle 8. Übertragungsparameter β und Abminderungsfaktor ω [1]

Unter Berücksichtigung der Interaktion ergibt sich die Beanspruchbarkeit zu:

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{wc}}{\gamma_{M0}}$$

Der Abminderungsfaktor ω ist entsprechend Tabelle 8 zu ermitteln.

2.2.4 Beanspruchbarkeit Trägersteg auf Zug (Grundkomponente 8)

Zur Bemessung der Grundkomponente 8, Trägersteg auf Zug, ist anzusetzen:

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{wb}}{\gamma_{M0}}$$

Die Beanspruchbarkeit des Steges erfolgt analog zum Nachweis des Stützensteiges auf Zug, wobei $b_{eff,t,wb}$ der wirksamen Breite des äquivalenten T-Stummels für die Grundkomponente 4, Stirnplatte auf Biegung, entspricht.

Bei geschraubten Stirnplattenverbindungen entstehen durch die Anordnung der Schrauben im Stegbereich zum Teil hohe lokale Zugkräfte, die bei einer geschweißten Verbindung in diesem Maße nicht auftreten. Der Nachweis der Beanspruchbarkeit des Trägersteges auf Zug ist deshalb nur bei geschraubten Verbindungen zu führen.

2.3 Beanspruchbarkeit der globalen Grundkomponenten

2.3.1 Beanspruchbarkeit des Stützenstegfeldes auf Schub (Grundkomponente 1)

Zur Anwendung des Berechnungsverfahrens ist die Schlankheit des Stützensteges zu begrenzen. Die nachfolgende Bedingung ist einzuhalten:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \leq 69 \cdot \varepsilon$$

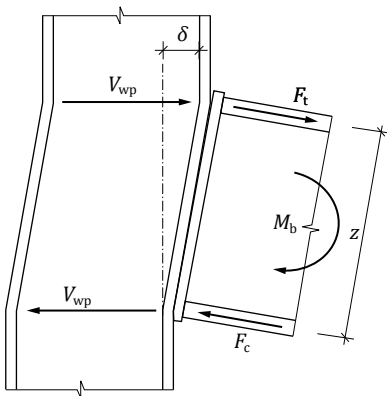


Bild 11. Stützensteg auf Schub in einer Rahmenecke nach [7]

Der Schubwiderstand aus der plastischen Beanspruchbarkeit des Stützensteges ermittelt sich zu:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_{y,wc} \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

mit der Schubfläche A_{vc}

$$A_{vc} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Die Beanspruchbarkeit des Stützenstegfeldes auf Schub berechnet sich zu:

$$F_{wp,Rd} = \frac{V_{wp,Rd}}{\beta}$$

Der Bauteilwiderstand wird nur bei Randknoten (einseitige Verbindung) und bei antimetrisch belasteten Innenknoten (zweiseitige Verbindung) des Rahmensystems aktiviert (vergleiche Tabelle 2 aus [10]). Der Übertragungsfaktor β gibt die Höhe der Schubbeanspruchung infolge des Anschlussmomentes an.

Zur Steigerung der Beanspruchbarkeit kann die Grundkomponente 1 durch die Anordnung zusätzlicher Stegbleche (ein- oder beidseitig; Bild 12) oder durch Steifen erhöht werden.

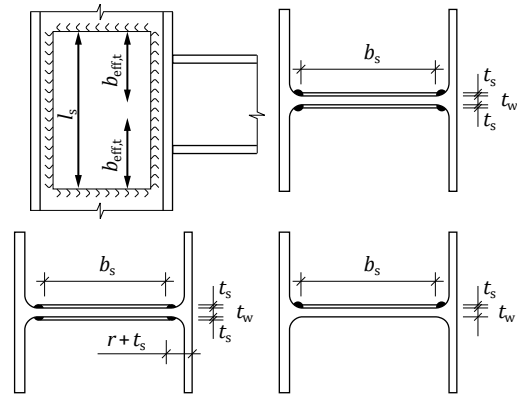


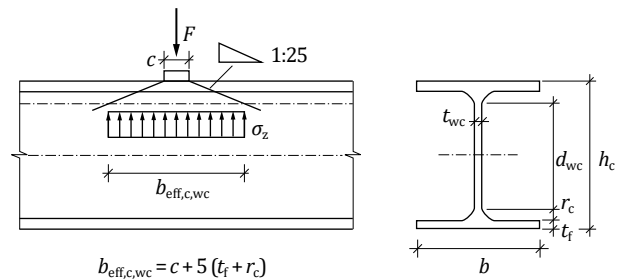
Bild 12. Verstärkung mit Stegblechen

2.3.2 Beanspruchbarkeit des Stützensteges auf Druck (Grundkomponente 2)

Für nicht beulgefährdete Stegbleche von Walzprofilen wird die Beanspruchbarkeit des Stützensteges auf Druck unter Annahme einer konstanten Spannungsverteilung im Lasteinleitungsbereich mit nachfolgender Gleichung bestimmt:

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{wc}}{\gamma_{M0}}$$

jedoch $F_{c,wc,Rd} \leq \frac{\rho \cdot \omega \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{cw} \cdot f_{y,wc}}{\gamma_{M1}}$



$$b_{eff,c,wc} = c + 5(t_f + r_c)$$

Bild 13. Lasteinleitung in unverteifte Stege nach [1]

Der unausgesteifte Stützensteg unter Druckbeanspruchung wird analog zur Komponente 3, dem Stützensteg auf Zug, berechnet. Im Gegensatz zur stabilisierenden Zugbeanspruchung bei Komponente 3, kann es jedoch bei Druckbeanspruchung unter anderem zu lokalen Instabilitäten (Beulen) kommen. Aus diesem Grund wird zusätzlich zum Abminderungsfaktor ω zur Berücksichtigung der Schubeffekte ein weiterer Abminderungsfaktor ρ eingeführt. Mit dem Faktor ρ wird die Schlankheit des Stegbleches berücksichtigt.

Um vorzeitiges Beulen vor Erreichen der Beanspruchbarkeit zu verhindern, muss die Beulslankheit des Stützensteges im Lasteinleitungsbereich $\bar{\lambda}_p \leq 0.72$ sein. Zur Berücksichtigung der Stabilität ist ein Abminderungsfaktor ρ zu ermitteln:

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0.2}{\bar{\lambda}_p^2}$$

Die Plattenschlankheit $\bar{\lambda}_p$ wird für ein Blech der Breite $b_{eff,c,wc}$ und der Höhe d_{wc} (siehe Bild 13) bestimmt mit:

$$\bar{\lambda}_p = 0.932 \cdot \sqrt{\frac{b_{eff,c,wc} \cdot d_{wc} \cdot f_{y,wc}}{E \cdot t_{wc}^2}}$$

2.3.3 Beanspruchbarkeit des Trägerflansches und Trägersteges auf Druck (Grundkomponente 7)

Für den biegebeanspruchten Anschluss ist die Druckkraft auf die Druckbeanspruchbarkeit von Trägerflansch und Trägersteg zu begrenzen. Die Druckbeanspruchbarkeit ermittelt sich zu:

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h - t_{fb}}$$

mit

$M_{c,Rd}$	Momentenbeanspruchbarkeit des angeschlossenen Trägerquerschnitts
h	Höhe des angeschlossenen Trägerquerschnitts
t_{fb}	Flanschdicke des angeschlossenen Trägers

Nach DIN EN 1993-1-8 darf die volle Mitwirkung des Steges bei hohen Trägern im Lasteinleitungsbereich nicht mehr angesetzt werden. Bei Trägerhöhen (einschließlich Vouten) über 600 mm ist daher der Steganteil an der Druckbeanspruchbarkeit auf 20% zu begrenzen.

2.3.3 Beanspruchbarkeit von Schweißnähten (Grundkomponente 19)

Für Schweißnähte gelten die Regelungen nach Abschnitt 4 der DIN EN 1993-1-8. Wegen des nicht duktilen Verhaltens der Schweißnähte sind diese so zu dimensionieren, dass die Beanspruchbarkeit des schwächsten angeschlossenen Bauteils erreicht wird.

Sofern ein gewisses Verformungsvermögen des Anschlusses gefordert wird, muss sichergestellt werden, dass das Fließen im Grundmaterial des angeschlossenen Bauteils ausreichend früh vor dem Erreichen der Beanspruchbarkeit der Schweißnähte eintritt.

2.4 Interaktionsbeziehungen

Gemäß DIN EN 1993-1-8 darf davon ausgegangen werden, dass die durch die Schnittgrößen hervorgerufenen Bauteilbeanspruchungen – bis auf die nachfolgend aufgeführten Fälle – keinen Einfluss auf die Tragfähigkeit der Grundkomponenten haben.

Die mb AEC Software GmbH ist ein etabliertes Unternehmen der Bausoftwarebranche mit Sitz am Technologiestandort Kaiserslautern. Architekten und Ingenieure entwickeln gemeinsam mit Software-Spezialisten komplette Software-Lösungen für CAD, Positionstatik und Finite Elemente. Tragwerksplaner und Architekten aus dem gesamten Bundesgebiet und deutschsprachigen Ausland schätzen uns als kompetenten Softwarehersteller im Bereich Bauwesen.



Nach einem kontinuierlichen Wachstum in den letzten Jahren expandieren wir weiter und suchen dazu motivierte und qualifizierte Mitarbeiter/-innen für die folgenden Bereiche:

Vertrieb/Consulting

Ihr Profil:

- abgeschlossenes Studium (Uni, FH oder BA) im Bereich Architektur oder Bauingenieurwesen
- einschlägige Berufserfahrung
- Verkaufstalent und Wille zum Erfolg
- kunden- und serviceorientierte Einstellung
- selbstständige und strukturierte Arbeitsweise
- ausgeprägte Rhetorik- und Präsentationstechniken sowie ein sicheres Auftreten
- Reisebereitschaft und Flexibilität

Ihre Aufgabe:

Sie arbeiten im Vertriebsteam der mb AEC Software GmbH. Im Mittelpunkt Ihrer Aufgaben stehen die Beratung von Interessenten, die Gewinnung von Neukunden sowie die Betreuung unserer Bestandskunden. Gemeinsam mit Ihren Vertriebskollegen organisieren Sie Präsentations- und Schulungsveranstaltungen.

Hotline

Ihr Profil:

- abgeschlossenes Studium (Uni, FH oder BA) im Bereich Bauingenieurwesen
- Berufserfahrung in der Tragwerksplanung, idealerweise mit der mb WorkSuite
- Freude am ständigen Lernen sowie dem Umgang mit Software
- fundierte Erfahrungen in der Anwendung von Software
- sichere und zielführende Kommunikation am Telefon

Ihre Aufgabe:

Sie arbeiten in der Kunden-Hotline der mb AEC Software GmbH. Dabei haben Sie ein offenes Ohr für die spezifischen Anforderungen und Probleme der Anwender, lösen diese schnell und unkompliziert und leisten so einen wichtigen Beitrag zu Qualität und Kundenzufriedenheit bei der mb AEC Software GmbH.

Neben einwandfreien Umgangsformen erwarten wir Leistungsbereitschaft, eigenverantwortliches Handeln und Teamfähigkeit. Freuen Sie sich auf ein spannendes Aufgabengebiet in einem aufstrebenden, innovativen Unternehmen. Es erwarten Sie ein offenes, von Teamgeist und Erfolgsorientierung geprägtes Arbeitsklima sowie ein auf langfristige Zusammenarbeit angelegter Arbeitsplatz mit attraktiven Konditionen.

Ihre aussagekräftigen Bewerbungsunterlagen unter Angabe Ihrer Gehaltsvorstellung sowie eines möglichen Eintrittstermins richten Sie bitte an:
mb AEC Software GmbH · Personalabteilung · Europaallee 14 · 67657 Kaiserslautern · personal@mbaec.de · www.mbaec.de

2.4.1 Anschlüsse mit kombinierter

Normalkraft- und Biegebeanspruchung

In Fällen, in denen die Normalkraft im angeschlossenen Bauteil 5% der plastischen Beanspruchbarkeit überschreitet, ist die Momentenbeanspruchbarkeit abzumindern.

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} + \frac{N_{j,Ed}}{N_{j,Rd}} \leq 1.0$$

2.4.2 Stützensteg auf Druck

Für den Stützensteg ist eine Abminderung infolge Druckspannungen aus Biegemoment und Normalkraft zu führen, wenn diese mehr als 70 % der Streckgrenze im Steg beträgt. Der Abminderungsfaktor ist anzusetzen mit:

$$k_{wc} = \frac{1.7 - \sigma_{com,Ed}}{f_{y,wc}}$$

Im Allgemeinen beträgt der Abminderungsbeiwert $k_{wc} = 1,0$, so dass keine Abminderung zu berücksichtigen ist. Die Längsdruckspannung $\sigma_{com,Ed}$ infolge von Druck und Biegung ist in der Stütze am Ende des Ausrundungsradius bei einem Walzprofil bzw. am Schweißnahtübergang bei einem geschweißten Profil zu bestimmen.

Darüber hinaus wird der Einfluss einer Schubbeanspruchung durch die Multiplikation mit dem Abminderungsfaktor ω berücksichtigt. Siehe hierzu auch die Ausführungen im Kapitel 2.3.2 des Artikels.

2.4.3 Stützensteg auf Zug

Siehe hierzu Kapitel 2.2.3 des Artikels.

2.4.4 Schrauben

Die Grenzzugkraft von Schrauben, die durch eine kombinierte Scher- und Zugkraft beansprucht werden, ist nach EC 3-1-8 abzumindern, wenn die Ausnutzung der Grenzabschertragfähigkeit mehr als 28.6 % der Grenzzugkraft beträgt. Die Interaktionsbedingung lautet:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1.0$$

Der EC 3 erlaubt bei Stirnplattenverbindungen weiterhin eine Aufteilung der Zugbeanspruchung auf die Schrauben im Zugbereich und der Schubbeanspruchung auf die in der Nähe des Druckpunktes liegenden Schrauben. Übersteigt die Schubbeanspruchung die Schubbeanspruchbarkeit der Schrauben, die keinen Zug erhalten, ist für die zugbeanspruchten Schrauben eine Interaktion durchzuführen.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Im zweiten Teil des Artikels zur Berechnung von momenten-tragfähigen Anschlüssen nach DIN EN 1993-1-8 wurden die wesentlichen Grundlagen zur Kenngröße „Momententragfähigkeit“ der einzelnen Grundkomponenten für Trägerstöße mit Stirnplatten und für geschraubte, momententragfähige Stützen-Riegel-Anschlüsse angegeben.

In der Fortführung der Fachartikel zur Komponentenmethode wird die Erweiterung der Komponentenmethode auf die Berechnung von Anschlüssen mit vier Schrauben in einer Reihe beschrieben, das Rotationsverhalten der einzelnen Grundkomponenten erläutert und die Berechnung des Gesamtsystems (verschiebliche Rahmenkonstruktion) unter Berücksichtigung der Momenten-Rotations-Charakteristik durchgeführt.

Dr.-Ing. Joachim Kretz
mb AEC Software GmbH
mb-news@mbaec.de

Normen und Literatur

- [1] DIN EN 1993-1-8:2010-12, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Stahlbauten. Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009
- [2] DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter. Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen
- [3] Ungermann, D.; Puthli, R.; Ummenhofer, T.; Weyand, K.: Eurocode 3 Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Band 2: Anschlüsse; DIN EN 1993-1-8 mit Nationalem Anhang Kommentar und Beispiele. Bauforumstahl e. V., Düsseldorf, August 2015.
- [4] AiF: Entwicklung eines Bemessungsmodells für geschraubte, momententragfähige Kopfplattenverbindungen mit 4 Schrauben in einer Schraubenreihe auf Grundlage der prEN 1993-1-8:2003. Bericht zum Forschungsvorhaben AiF-Nr. 15059, 2010.
- [5] Ungermann, D.; Schneider, S.: Momententragfähige Verbindungen nach DIN EN 1993-1-8 (EC3-1-3). In „Dresdener Stahlbaufachtagung“, März 2014.
- [6] Wagenknecht, G.: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 3 Komponentenmethode, 2. akt. Auflage, Beuth Verlag GmbH, März 2017.
- [7] Ungermann, D.; Weyand, K.; Jaspert, J.-P.; Schmidt, B.: Momententragfähige Anschlüsse mit und ohne Steifen. In „Stahlbau Kalender 2005“, Ernst & Sohn, Berlin 2005.
- [8] Schwarzlos, A.: Erweiterung der Komponentenmethode nach EC 3-1-8 um die Interaktion der Schnittgrößen Biegemoment und Normalkraft. Dissertation TU Cottbus, 2005.
- [9] Schmidt, B.: Zum Tragverhalten von geschraubten momententragfähigen Stirnplattenverbindungen mit 4 Schrauben in jeder Schraubenreihe. Dissertation, TU Dortmund 2008.
- [10] Kretz, J.: Anschlüsse nach DIN EN 1993-1-8. Teil 1: Allgemeine Grundlagen zur Anschlussbemessung / Komponentenmethode. In mb-news 4/2017.