

# Berechnungsgrundlagen für Stahlschlüsse mit der Komponentenmethode nach DIN ENV 1993-1-1:1992 / A2; 1998 (DIN 18800)

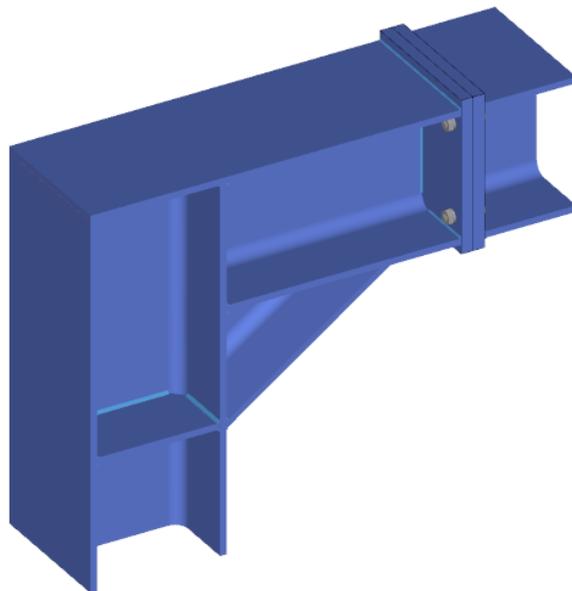
---

FRILO Software GmbH

[www.friilo.eu](http://www.friilo.eu)

[info@friilo.eu](mailto:info@friilo.eu)

Stand: 19.03.2019



# Berechnungsgrundlagen für Stahlanschlüsse mit der Komponentenmethode nach DIN ENV 1993-1-1:1992 / A2; 1998 (DIN 18800)

Diese Dokumentation beinhaltet die Berechnungsgrundlagen zur Komponentenmethode nach DIN ENV 1993-1-1:1992 / A2; 1998 (DIN 18800) in den Stahlprogrammen ST10 - Geschraubte Rahmenecke und ST14 - Geschweisste Rahmenecke.

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>Komponenten in der Träger-Stützenverbindung</b>	<b>4</b>
<b>Komponenten in der Stirnplattenverbindung</b>	<b>5</b>
<b>Modell der T-Stummel</b>	<b>9</b>
<b>Komponente Stützensteg auf Schub (nur Träger-Stützenverbindung)</b>	<b>15</b>
<b>Komponente Stützensteg auf Druck (nur Träger-Stützenverbindung)</b>	<b>17</b>
<b>Komponente Trägerflansch und -steg auf Druck</b>	<b>18</b>
<b>Komponente Gurt auf Druck (nur bei Vouten in Träger-Stützenverbindung)</b>	<b>19</b>
<b>Komponente Stützensteg auf Zug (nur Träger-Stützenverbindung)</b>	<b>19</b>
<b>Komponente Stützenflansch auf Biegung (nur Träger-Stützenverbindung)</b>	<b>19</b>
<b>Komponente Stirnplatte auf Biegung</b>	<b>19</b>
<b>Komponente Trägersteg auf Zug</b>	<b>19</b>
<b>Nachweis der Schweißnähte</b>	<b>20</b>
<b>Nachweis der Querkrafttragfähigkeit</b>	<b>21</b>
<b>Rotationssteifigkeit</b>	<b>22</b>
<b>Die Steifigkeitskoeffizienten der einzelnen Komponenten</b>	<b>25</b>
<b>Klassifizierung nach der Tragfähigkeit</b>	<b>27</b>
<b>Literatur</b>	<b>27</b>

## Einleitung

Diese Beschreibung bezieht sich auf die Anwendung der Komponentenmethode im Nachweis von Träger-Stützenanschlüssen und biegesteifen Stirnplattenstößen nach DIN 18800. Grundlage ist das in DIN ENV 1993-1-1:1992 / A2; 1998 beschriebene Verfahren.

Mit der Komponentenmethode ist es möglich, neben der Momententragfähigkeit auch das Verformungsverhalten des Anschlusses zu ermitteln. Damit können nachgiebige Verbindungen berücksichtigt werden. Mittels Feder gehen deren Anschlusssteifigkeiten in die Systemberechnung ein und führen so über eine iterative Berechnung zu einer Gesamtoptimierung der Konstruktion.

Die Tragfähigkeit und Steifigkeit von Verbindungen wird durch Berechnung der Grundkomponenten eines Anschlusses bestimmt. Diese Grundkomponenten sind in Tabelle J.1 aufgeführt.

### Einschränkungen bei der Anwendung in den Programmen:

- Normalkraft im angeschlossenen Träger nicht größer als 10% seiner plastischer Grenzkraft  $N_{pl,Rd}$
- Stahlgüten S235, S275, S355 sowie S460 - das Material muss ausreichende Duktilität besitzen
- Bauteile besitzen ausreichend dicke Stege mit  $d/t \leq 69\epsilon$ , d.h. Schubbeulen darf nicht relevant sein
- Schrauben können vorgespannt oder nicht-vorgespannt sein, im Verfahren werden immer nicht-vorgespannte Schrauben angenommen
- Schraubenbild: vertikal zwei Schraubenreihen, die sich innerhalb des Anschlussquerschnittes, einschließlich ggf. vorhandener Aussteifungen mit Gurt befinden und jeweils höchstens eine Schraubenreihe oberhalb bzw. unterhalb der äußeren Gurte
- Aussteifungen vom Anschluss als Eckblech ohne Gurt werden nicht berücksichtigt
- Steifen sind durchgehend, Breite und Dicke entsprechen mindestens den Flanschen der angeschlossenen Bauteile
- Schweißnähte sind nur begrenzt duktil und sollten daher für die Momententragfähigkeit so dimensioniert werden, dass sie nicht bemessungsrelevant sind, d.h. eine andere Komponente zuerst versagt, bzw. das Fließen im Material der angeschlossenen Bauteile ausreichend früh vor dem Schweißnahtversagen erfolgt

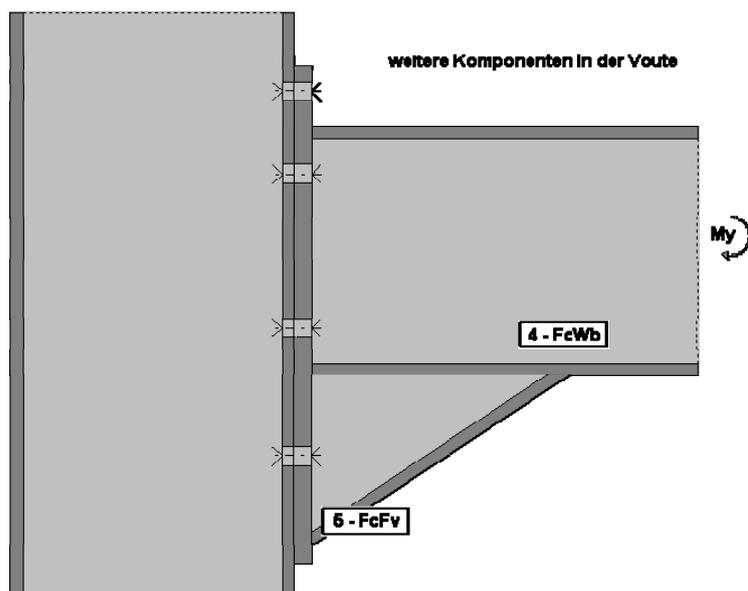
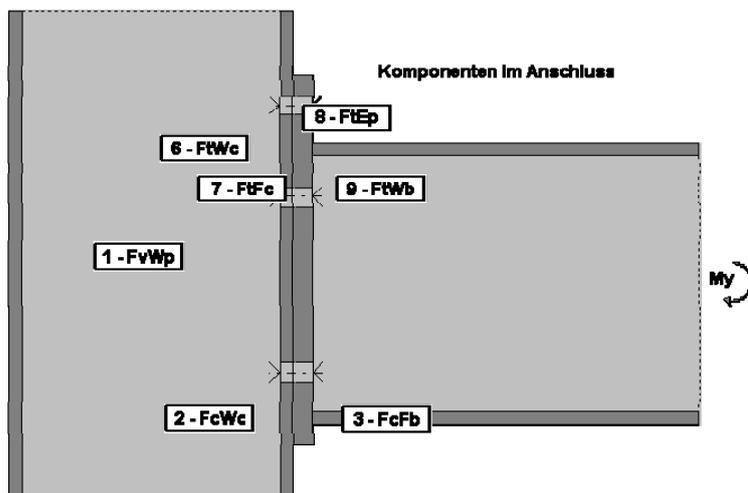
## Komponenten in der Träger-Stützenverbindung

allgemein:

- 1 -  $F_v W_p$  Stützensteg auf Schub ( J 3.5.1 in [ 2])
- 2 -  $F_c W_c$  Stützensteg auf Druck ( J 3.5.2 in [ 2])
- 3 -  $F_c F_b$  Trägerflansch und -steg auf Druck ( J 3.5.7 in [ 2])
- 4 -  $F_c W_b$  Trägersteg auf Druck bei Vouten ( Kap. 4 in [ 3])
- 5 -  $F_c F_v$  Voutengurt auf Druck ( Kap. 4 in [ 3])

und jeweils in den T-Stummeln :

- 6 -  $F_t W_c$  Stützensteg auf Zug ( J 3.5.3 in [ 2])
- 7 -  $F_t F_c$  Stützenflansch auf Biegung ( J 3.5.4 in [ 2])
- 8 -  $F_t E_p$  Stirnplatte auf Biegung ( J 3.5.5 in [ 2])
- 9 -  $F_t W_b$  Trägersteg auf Zug ( J 3.5.8 in [ 2])



## Komponenten in der Stirnplattenverbindung

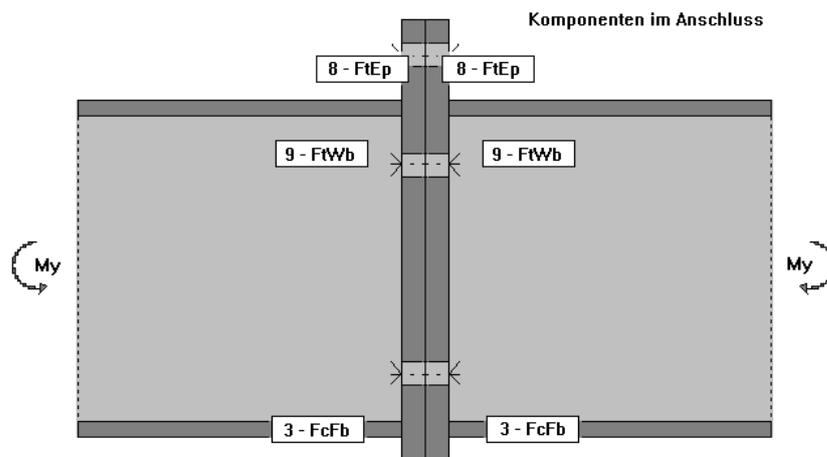
allgemein:

3 - FcFb      Trägerflansch und -steg auf Druck ( J 3.5.7 in [ 2])

und jeweils in den T-Stummeln :

8 - FtEp      Stirnplatte auf Biegung ( J 3.5.5 in [ 2])

9 - FtWb      Trägersteg auf Zug ( J 3.5.8 in [ 2])



### Grenzmoment der Verbindung

Das plastische Grenzmoment ergibt sich aus der Summe der Grenzkräfte jeder einzelnen Schraubenreihe  $i$  mit deren Abstand zum Druckpunkt  $h_i$  :

$$M_{a_{Rd}} = \sum_i h_i \cdot F_{t_{Rd}}$$

$i$  Nummer der Schraubenreihe

$h_i$  Abstand Schraubenreihe  $i$  zum Druckpunkt

$F_{t_{Rd}}$  wirksame Grenzzugkraft Schraubenreihe  $i$  aus der Zusammensetzung aller Komponenten

Als Druckpunkt wird die Mitte des äußersten gedrückten Flansches im Träger, einschließlich einer ggf. vorhandenen Voute angenommen.

Die wirksame Grenzzugkraft einer Schraubenreihe ergibt sich dabei aus einem schrittweisen Berechnungsverfahren. Angefangen wird mit der vom Druckpunkt weitest entfernten Schraubenreihe und der Bestimmung des Gleichgewichtes aller Komponenten unter Berücksichtigung dieser Reihe. In den nächsten Schritten wird jeweils eine weitere Schraubenreihe ( die in Richtung Druckpunkt nachfolgende ) hinzugenommen und die Grenzkraft aus dem Zusammenspiel dieser Schraubengruppe unter Berücksichtigung des Gleichgewichtes aller Komponenten erneut berechnet. Näher zum Druckpunkt liegende Schraubenreihen als die gerade hinzugenommene, bleiben im jeweiligen Berechnungsschritt unberücksichtigt.

Welche Schraubenreihe als im Zugbereich liegende herangezogen wird, kann mit dem Faktor  $f$  aus den Optionen zum Berechnungsverfahren gesteuert werden. Vorgabewert ist 0,5 und bedeutet, dass sich der Zugbereich auf die halbe Anschlusshöhe erstreckt. Schrauben außerhalb dieses Bereiches werden dann nur zur Querkraftübertragung herangezogen.

### Effektive Tragfähigkeit $F_{t_{Rd}}$ in der Träger-Stützenverbindung

Das  $F_{t_{Rd}}$  eines Berechnungsschrittes zur Schraubenreihe  $i$  ergibt sich aus der minimalen Grenzzugkraft der folgenden Bedingungen:

1.  $F_{t_{Rd}}$  der einzelnen Schraubenreihe ( also als T-Stummel mit nur einer Schraubenreihe) durch Minimum aus
 

$F_{t_{Wc}}$	Stützensteg auf Zug
$F_{t_{Fc}}$	Stützenflansch auf Biegung
$F_{t_{Ep}}$	Stirnplatte auf Biegung
$F_{t_{Wb}}$	Trägersteg auf Zug
  
2. Abminderung des  $F_{t_{Rd}}$  aus 1. so dass die Summe aller betrachteten Schraubenreihen einschließlich der Reihe  $i$  höchstens dem Minimum aus
 

$F_{v_{Wp}}$	Stützensteg auf Schub
$F_{c_{Wc}}$	Stützensteg auf Druck
$F_{c_{Fb}}$	Trägerflansch und -steg auf Druck, nur ohne Voute
$F_{c_{Wb}}$	Trägersteg auf Druck, nur bei Vouten,
$F_{c_{Fv}}$	Gurt auf Druck, nur bei Vouten

entspricht

3. ist die Schraubenreihe  $i$  Teil eines mehrreihigen T-Stummels im Stützengurt, muss  $F_{t_{Rd}}$  aus 2. ggf. so abgemindert werden, dass für alle Gruppen von Schrauben im T-Stummel bis und einschließlich der Reihe  $i$  die Grenzkraft dieser Schraubengruppe als T-Stummel betrachtet nicht überschritten wird, Bedingung:
- |              |   |
|--------------|---|
| $F_{t_{Wc}}$ | Stützensteg auf Zug dieser Gruppe                               |
| $F_{t_{Fc}}$ | Stützenflansch auf Biegung dieser Gruppe                        |
| $F_{t_{Ep}}$ | Stirnplatte auf Biegung der entsprechenden Gruppe plattenseitig |
| $F_{t_{Wb}}$ | Trägersteg auf Zug der entsprechenden Gruppe plattenseitig      |
4. ist die Schraubenreihe  $i$  Teil eines mehrreihigen T-Stummels in der Stirnplatte, muss  $F_{t_{Rd}}$  aus 3. ggf. durch Gruppierung der Schraubenreihen im T-Stummel analog Schritt 3 abgemindert werden, Bedingung:
- |              |  |
|--------------|--|
| $F_{t_{Wc}}$ | Stützensteg auf Zug der entsprechenden Gruppe stützenseitig        |
| $F_{t_{Fc}}$ | Stützenflansch auf Biegung der entsprechenden Gruppe stützenseitig |
| $F_{t_{Ep}}$ | Stirnplatte auf Biegung dieser Gruppe                              |
| $F_{t_{Wb}}$ | Trägersteg auf Zug dieser Gruppe                                   |
5. ist  $F_{t_{Rd}}$  einer vorher berechneten Schraubenreihe  $j$  ( also  $j < i$  ) größer als  $1,9 \cdot B_{t_{Rd}}$ , so wird  $F_{t_{Rd}}$  der Schraubenreihe  $i$  durch  $F_{t_{i_{Rd}}} \leq F_{t_{j_{Rd}}} \cdot h_j / h_i$  begrenzt, mit
- |              |  |
|--------------|--|
| $h_j$        | Abstand Schraubenreihe $j$ zum Druckpunkt  |
| $h_i$        | Abstand Schraubenreihe $i$ zum Druckpunkt  |
| $B_{t_{Rd}}$ | Minimum aus Durchstantragfähigkeit $B_{pRd}$ und Grenzzugkraft $F_{t_{Rd}}$ der Schraube aus der Schraubenstatik |

### Effektive Tragfähigkeit $F_{t_{i_{Rd}}}$ in der Stirnplattenverbindung

Das  $F_{t_{i_{Rd}}}$  eines Berechnungsschrittes zur Schraubenreihe  $i$  ergibt sich aus der minimalen Grenzzugkraft der folgenden Bedingungen:

- $F_{t_{Rd}}$  der einzelnen Schraubenreihe ( also als T-Stummel mit nur einer Schraubenreihe) durch Minimum aus
 

$F_{t_{Ep}}$	Stirnplatte auf Biegung
$F_{t_{Wb}}$	Trägersteg auf Zug
- Abminderung des  $F_{t_{Rd}}$  aus 1. so dass die Summe aller betrachteten Schraubenreihen einschließlich der Reihe  $i$  höchstens dem Minimum aus
 

$F_{c_{Fb}}$	Trägerflansch und -steg auf Druck
--------------	-----------------------------------

 entspricht
- ist die Schraubenreihe  $i$  Teil eines mehrreihigen T-Stummels in der Stirnplatte, muss  $F_{t_{Rd}}$  aus 2. ggf. durch Gruppierung der Schraubenreihen im T-Stummel analog Schritt 2 abgemindert werden, Bedingung:
 

$F_{t_{Ep}}$	Stirnplatte auf Biegung dieser Gruppe
$F_{t_{Wb}}$	Trägersteg auf Zug dieser Gruppe
- ist  $F_{t_{Rd}}$  einer vorher berechneten Schraubenreihe  $j$  ( also  $j < i$  ) größer als  $1,9 \cdot B_{t_{Rd}}$ , so wird  $F_{t_{Rd}}$  der Schraubenreihe  $i$  durch  $F_{t_{i_{Rd}}} \leq F_{t_{j_{Rd}}} \cdot h_j / h_i$  begrenzt, mit
 

$h_j$	Abstand Schraubenreihe $j$ zum Druckpunkt
$h_i$	Abstand Schraubenreihe $i$ zum Druckpunkt

$B_{t_{Rd}}$  Minimum aus Durchstanztragfähigkeit  $B_{pRd}$  und Grenzzugkraft  $F_{t_{Rd}}$  der Schraube aus der Schraubenstatik

*Hinweis zu den Komponenten: die Streckgrenze  $f_y$  kann nach DIN 18800 A1 für Komponenten, die durch Fließen und nicht durch Instabilität versagen, um 10% erhöht werden.*

#### **Berechnung elastisch- elastisch**

Erfolgt die Tragwerksberechnung nach dem Verfahren elastisch - elastisch, kann das Grenzmoment der Verbindung aus dem plastischen  $M_{aRd}$  abgeleitet werden:

$$M_{aRd,elastisch} = \frac{2}{3} M_{aRd,plastisch}$$

## Modell der T-Stummel

Die einzelnen Komponenten zur Übertragung der Zugkräfte im Anschluss

FtWc	Stützensteg auf Zug
FtFc	Stützenflansch auf Biegung
FtEp	Stirnplatte auf Biegung
FtWb	Trägersteg auf Zug

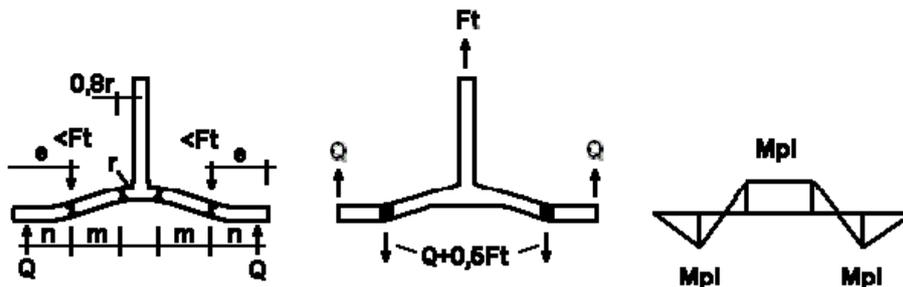
werden durch idealisierende, äquivalente T-Stummel unter Zugbeanspruchung modelliert, deren Versagensmechanismus durch Fließlinienmodelle beschrieben ist.

Ein T-Stummel besteht aus zugbeanspruchtem Steg und biegebeanspruchtem Gurt. In den Schraubenachsen wirkt Zug, der sich an den Außenrändern abstützt, die als starre Lager idealisiert werden.

Eine Besonderheit stellt die Schraubenreihe im nicht ausgesteiften Überstand der Stirnplatte dar. Hier wird ein T-Stummel angenommen, dessen zugbeanspruchter Steg nicht dem Trägersteg, sondern dem Gurt des Trägers entspricht. Er wird also um 90° gedreht angenommen.

Im T-Stummelmodell werden drei Versagensarten unterschieden:

**Versagensart 1** : vollständiges Fließen der Gurte



$$Ft1_{Rd} = \frac{4 \cdot Mpl1_{Rd}}{m}$$

mit  $Mpl1_{Rd} = 0,25 \cdot \sum leff,1 \cdot t_f^2 \cdot 1,1 \cdot fy_d$

und  $leff1$  : wirksame Länge des T-Stummels für Versagensart 1  
 $t_f$  : Dicke Stummelflansch

durch Verwendung von Futterplatten kann die Grenzzugkraft  $Ft1_{Rd}$  erhöht werden:

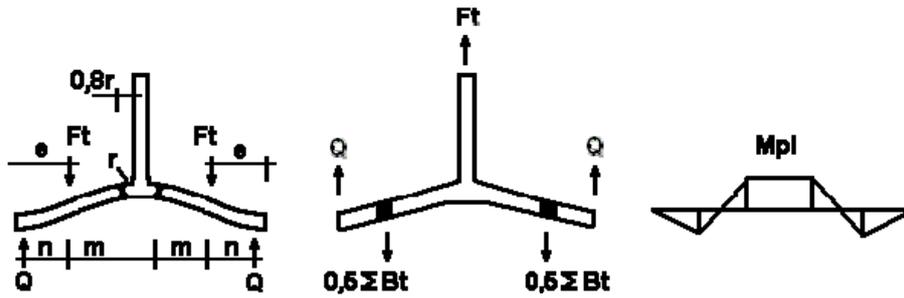
$$Ft1_{Rd} = \frac{4 \cdot Mpl1_{Rd} + 2 \cdot Mbp_{Rd}}{m}$$

mit  $Mbp_{Rd} = 0,25 \cdot \sum leff,1 \cdot t_{bp}^2 \cdot 1,1 \cdot fy_d$

und  $leff1$  : wirksame Länge des T-Stummels für Versagensart 1  
 $t_{bp}$  : Dicke Futterplatte

Die Futterplatte soll dabei die gesamte Breite des Stummelflansches überdecken und mindestens der gesamten wirksamen Länge für die betroffenen Schraubenreihen im T-Stummel entsprechen, mit einem Mindestüberstand von  $2 \cdot d$  über die Endschrauben (  $d$  Nenndurchmesser der Schrauben ).

**Versagensart 2 : Schraubenversagen und Fließen der Gurte**



$$Ft_{2Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl2Rd} + n \cdot \sum B_{tRd}}{m + n}$$

mit  $M_{pl2Rd} = 0,25 \cdot \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot 1,1 \cdot f_{y,d}$

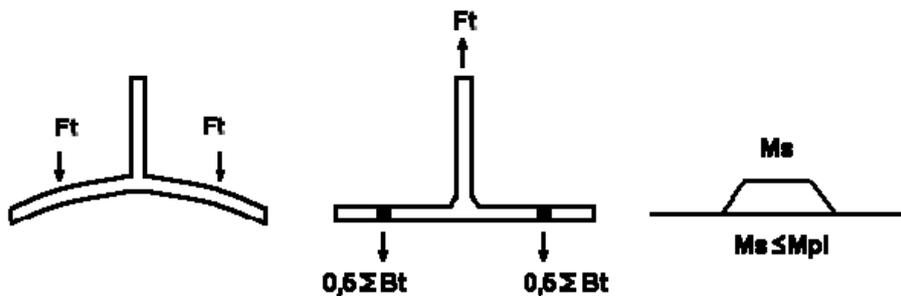
und  $l_{eff,2}$  : wirksame Länge des T-Stummels für Versagensart 2

$t_f$  : Dicke Stummelflansch

$B_{tRd}$  : Minimum aus Durchstanztragfähigkeit  $B_{pRd}$  und Grenzzugkraft  $F_{tRd}$  der Schraube aus der Schraubenstatik

$\sum B_{tRd}$  : Summe  $B_{tRd}$  aller Schrauben im T-Stummel

**Versagensart 3 : Schraubenversagen**

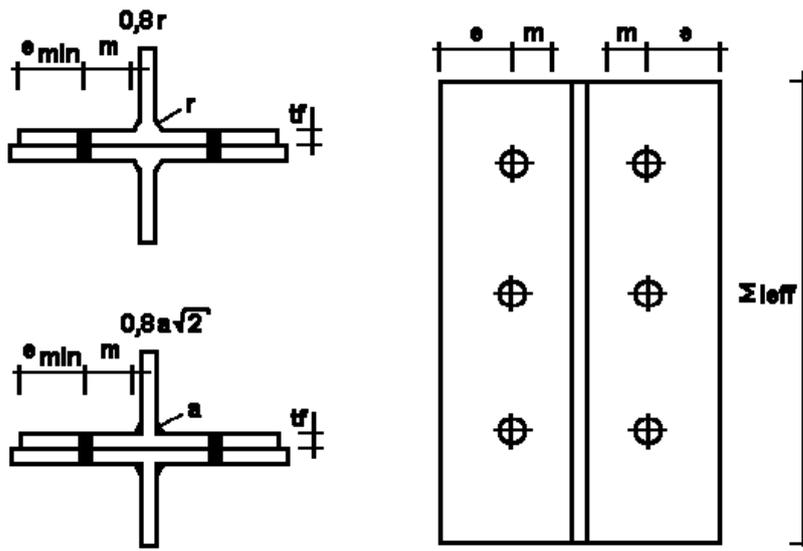


$$Ft_{3Rd} = \sum B_{tRd}$$

mit  $\sum B_{tRd}$  : siehe Versagensart 2

Abmessungen im T-Stummel :

$n = e, \min$  und  $n \leq 1,25 \cdot m$



Alternative Methode zur Berechnung **Versagensart 1**:

Durch genauere Erfassung des Fließlinienverlaufs im Lastverteilungsbereich der Schraubenköpfe kann die Tragfähigkeit der Versagensart 1 erhöht werden. Ein erweitertes Modell setzt die Schraubenkräfte unter der Unterlegscheibe und dem Schraubenkopf bzw. der Schraubenmutter gleichmäßig auf den Gurt verteilt statt konzentriert in der Schraubenachse an.

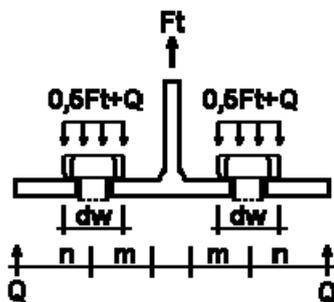
$$F_{t1Rd} = \frac{(8 \cdot n - 2 \cdot ew) \cdot M_{pl1Rd}}{2 \cdot m \cdot n - ew \cdot (m + n)}$$

mit  $ew = dw / 4$

$dw$  Durchmesser Unterlegscheibe bzw. Breite Schraubenkopf/-mutter, für Schrauben mit FK 4.6 und 5.6 nimmt das Programm wegen der fehlenden Unterlegscheibe die Breite des Schraubenkopfes an (Eckmaß)

bei Verwendung von Futterplatten bestimmt sich die Grenzzugkraft  $F_{t1Rd}$  aus:

$$F_{t1Rd} = \frac{(8 \cdot n - 2 \cdot ew) \cdot M_{pl1Rd} + 4 \cdot n \cdot M_{bpRd}}{2 \cdot m \cdot n - ew \cdot (m + n)}$$

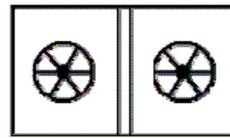


Wirksame Längen  $l_{eff}$  der T-Stummel

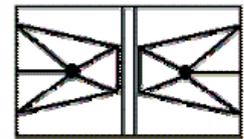
Die wirksamen Längen im Ersatzmodell der T-Stummel entsprechen den Längen der Fließlinien zur jeweiligen Versagensart und können von den geometrischen Längen der Verbindung abweichen. Die Fließlinienlänge einer Schraube bestimmt sich durch deren Lage: randnah, neben einer Aussteifung, am Anfang/Ende einer Gruppe bzw. im inneren einer Gruppe.

Es wird zwischen kreisförmigen und nicht kreisförmigen Mustern der Fließlinien unterschieden.

$l_{eff}$  der Versagensart 2 entspricht den nicht kreisförmigen,  $l_{eff}$  der Versagensart 1 entspricht der kleineren Länge aus kreisförmigen und nicht kreisförmigen Mustern. Effektive Längen von T-Stummeln mit mehreren Schraubenreihen setzen sich aus der Summe der Längen jeder Einzelreihe bezüglich deren Lage zusammen.

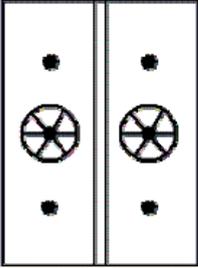
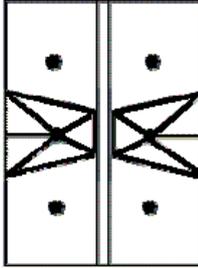
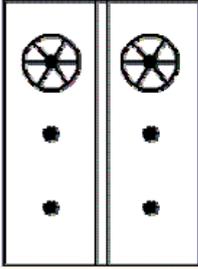
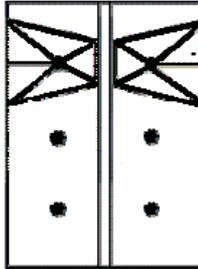
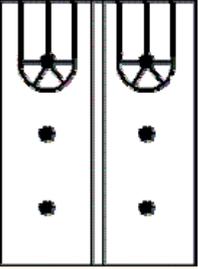
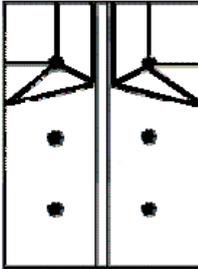
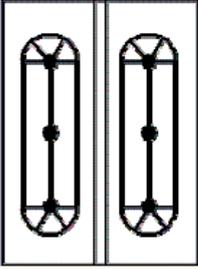
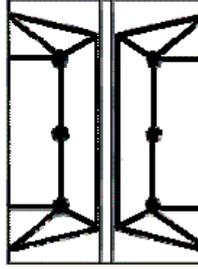
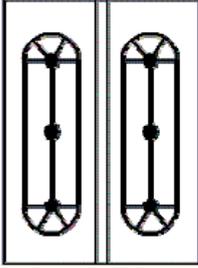
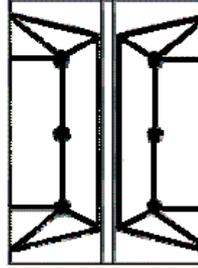
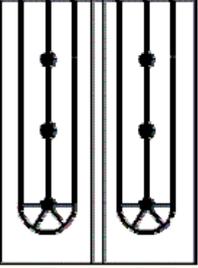
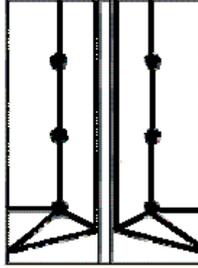


kreisförmige Muster  $l_{eff,cp}$



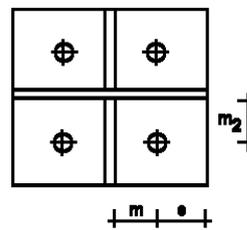
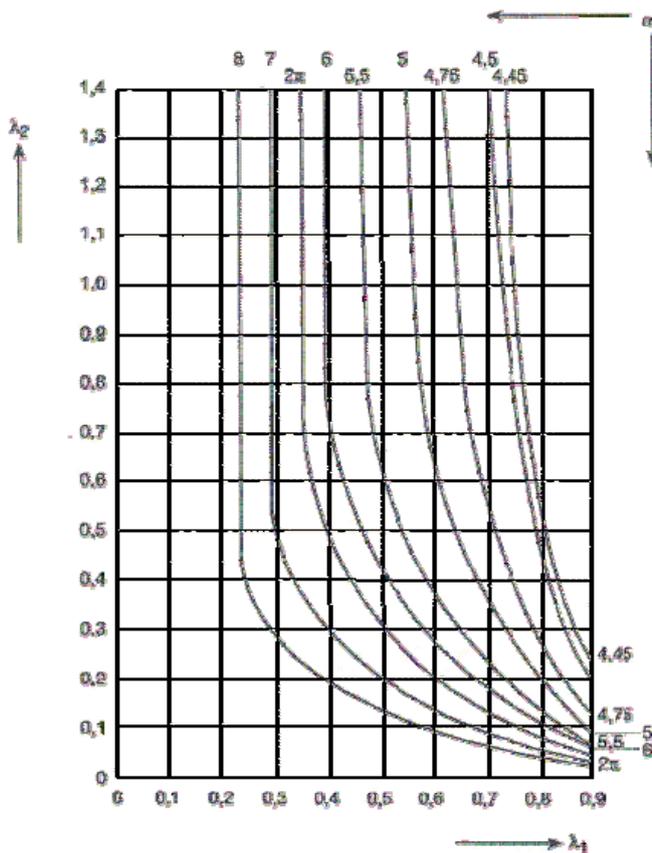
nicht kreisförmige Muster  $l_{eff,nc}$

Beispiel-Fließmuster an nicht ausgesteifter Stütze:

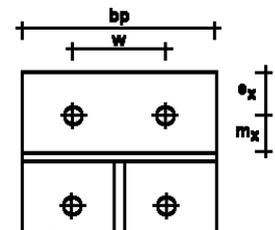
kreisförmige Muster $l_{eff,cp}$		nicht kreisförmige Muster $l_{eff,nc}$	
<b>einzelne Schraubenreihe</b>			
<b>Innen</b>		<b>Innen</b>	
			
<b>am Rand</b>		<b>am Rand</b>	
			
			
<b>Gruppe von Schraubenreihen</b>			
<b>Innen</b>		<b>Innen</b>	
			
<b>am Rand</b>		<b>am Rand</b>	
			
			

Wirksame Längen  $l_{eff}$ :

Lage der Schraubenreihen	einzeln		Gruppe	
	kreisförmig $l_{eff,cp}$	nicht kreisförmig $l_{eff,nc}$	kreisförmig $l_{eff,cp}$	nicht kreisförmig $l_{eff,nc}$
innere Schraubenreihe neben einer Steife	$2 \cdot \pi \cdot m$	$\alpha \cdot m$	$\pi \cdot m + p$	$0,5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0,625 \cdot e)$
andere innere Schraubenreihe	$2 \cdot \pi \cdot m$	$4 \cdot m + 1,25 \cdot e$	$2 \cdot p$	$p$
andere äußere Schraubenreihe	$\min \begin{bmatrix} 2 \cdot \pi \cdot m \\ \pi \cdot m + 2 \cdot e_1 \end{bmatrix}$	$\min \begin{bmatrix} 4 \cdot m + 1,25 \cdot e \\ 2 \cdot m + 0,625 \cdot e + e_1 \end{bmatrix}$	$\min \begin{bmatrix} \pi \cdot m + p \\ 2 \cdot e_1 + p \end{bmatrix}$	$\min \begin{bmatrix} 2 \cdot m + 0,625 \cdot e + 0,5 \cdot p \\ e_1 + 0,5 \cdot p \end{bmatrix}$
äußere Schraubenreihe neben einer Steife	$\min \begin{bmatrix} 2 \cdot \pi \cdot m \\ \pi \cdot m + 2 \cdot e_1 \end{bmatrix}$	$e_1 + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0,625 \cdot e)$	-	-
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	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc}$	



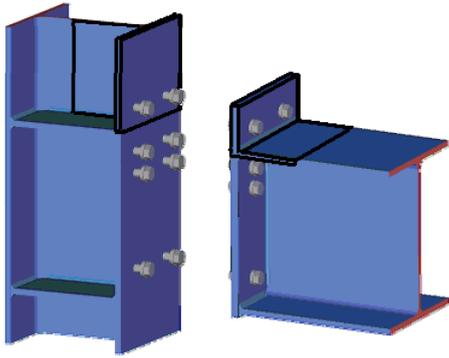
Steffe im Flansch



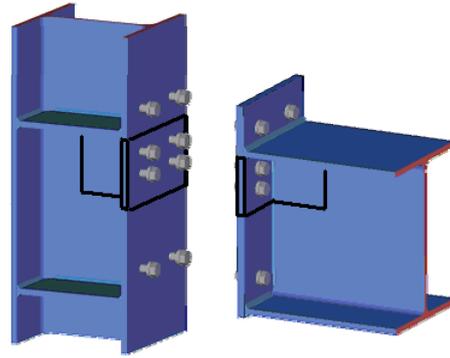
T-Stummel im Oberband der Stimplatte

Der Hilfswert  $\alpha$  für T-Stummel im Bereich von Aussteifungen ergibt sich nach Bild J 27 in [2] mit den folgenden  $\lambda$ -Werten:

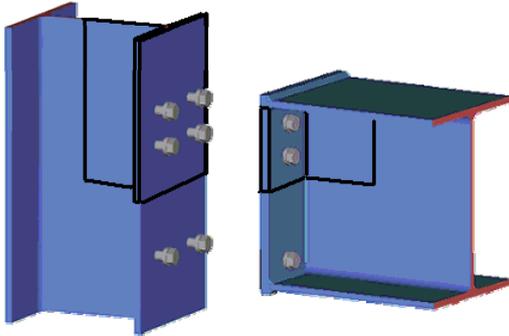
$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} \quad \text{und} \quad \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$$



Bsp. T-Stummel in ausgesteifter Stütze Teil 1  
Teil 2



Bsp. T-Stummel in ausgesteifter Stütze



Bsp.: T-Stummel in nicht ausgesteifter Stütze

## Komponente Stützensteg auf Schub (nur Träger-Stützenverbindung)

Die Tragfähigkeit für Schubbeanspruchung im nicht ausgesteiften Stützensteg ergibt sich aus:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{vc} \cdot 1,1 \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$A_{vc}$  : schubwirksame Fläche der Stütze

$$\text{für Walzprofile} \quad A_{vc} = A_{\text{gesamt}} - 2 \cdot A_{\text{gurt}} + t_{\text{gurt}} \cdot (s_{\text{steg}} + 2 \cdot r_{\text{Ausrundung}})$$

$$\text{für geschweißte Profile} \quad A_{vc} = t_{\text{gurt}} \cdot (h_{\text{gesamt}} - t_{\text{gurt,oben}} - t_{\text{gurt,unten}})$$

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

$\beta$  Übertragungsparameter für Anschlussmoment (Schubeinfluss Stützenstegfeld) nach Tab. J 4 in [ 2]

für einseitig ausgeführte Anschlüsse ist  $\beta$  näherungsweise 1, der Parameter kann in den Berechnungsoptionen für andere Konfigurationen angepasst werden

### Stegblechverstärkung

Eine Möglichkeit, die Schubtragfähigkeit zu erhöhen, ist die Anordnung eines einseitigen Stegbleches der Dicke  $t_s$  in der Stütze. Die Breite  $b_s$  sollte bis an die Eckausrundungen reichen und die Länge  $l_s$  so groß sein, dass die effektiven Breiten des Steges unter Druck und Zug überdeckt sind.

Die erforderlichen Abmessungen werden vom Programm vorgeschlagen. In der Eingabe kann gewählt werden, ob die Stegblechverstärkung nur bei Schnittkraftkombinationen mit Zug an der Riegeloberseite oder nur bei Zug an der Riegelunterseite bzw. immer für Wechselmomente vorgesehen wird, entsprechend passen sich die erf. Längen automatisch an.

Das Stegblech sollte rundherum mit einer Kehlnaht von  $a_w \geq t_s / \sqrt{2}$  angeschweißt werden.

$$A_{vc} \text{ erhöht sich um: } b_s \cdot \min[t_s; s_{\text{Stützensteg}}]$$

Die Stegblechverstärkung erhöht auch die Tragfähigkeit der Komponenten Stützensteg auf Zug und Stützensteg auf Druck.

Das Programm prüft das Stegblech auf geeignetes Zusammenwirken mit dem Stützensteg und gibt erforderlichenfalls die Kennwerte für Lochschweißungen oder Schrauben aus.

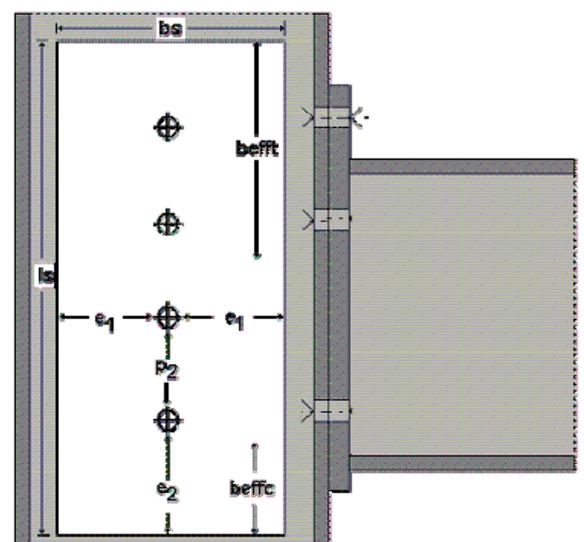
Wenn  $b_s > 40 \cdot \varepsilon \cdot t_s$ , mit  $\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$ , so gilt :

$$\max(e_1, e_2, p) \leq 40 \cdot \varepsilon \cdot t_s \text{ sowie } d_o \geq t_s$$

Sind jeweils im äußeren Druck- und Zugbereich der Stegblechverstärkung Rippen angeordnet, kann  $V_{wp,Rd}$  im Stützenfeld um  $V_{wp,Rd,add}$  erhöht werden.

$$V_{wp,Rd,add} = \frac{4 \cdot M_{pl,fc,Rd}}{d_s} \text{ und}$$

$$V_{wp,Rd,add} \leq \frac{2 \cdot M_{pl,fc,Rd} + 2 \cdot M_{pl,st,Rd}}{d_s}$$



mit

- $d_s$  : Abstand Mittellinien der Rippen
- $M_{pl,fc,Rd}$  : plastisches Grenzmoment eines Stützenflanschs
- $M_{pl,st,Rd}$  : plastisches Grenzmoment einer Rippe

#### Diagonalsteife

Eine weitere Möglichkeit, die Schubtragfähigkeit im Stützensteg zu verbessern, bietet das Programm durch die Anordnung einer Diagonalsteife von links oben nach rechts unten, d.h. für die übliche Beanspruchung der Verbindung durch Druck unten und Zug oben.

Die aufnehmbare Grenzkraft  $F_{cRd\_diagonale}$  der Diagonalsteife ergibt sich aus:

- der Spannung in der Diagonalsteife
- dem Knicknachweis der Diagonalsteife
- dem Beulnachweis der freien Ränder der Diagonalsteife

Die Komponente wird dann durch den größeren Wert aus  $F_{cRd\_diagonale}$  und  $F_{wpRd}$  bestimmt.

## Komponente Stützensteg auf Druck (nur Träger-Stützenverbindung)

Die Tragfähigkeit für nicht ausgesteiften Stützensteg auf Druck ergibt sich aus:

$$F_{c,wc,Rd} = k_{wc} \cdot \omega \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} \cdot 1,1 \cdot f_{yd} \quad \text{und} \quad F_{c,wc,Rd} \leq \rho \cdot k_{wc} \cdot \omega \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{yd}$$

$b_{eff,c,wc}$  : mitwirkende Breite Stützensteg auf Druck

$\rho$  : Abminderungsfaktor für Plattenbeulen

$\omega$  : Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung von Schub im Steg

$k_{wc}$  : Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Normalspannung im Steg

$t_{wc}$  : Dicke Stützensteg, bei vorhandener Stegblechverstärkung erhöht sich der Wert zu  $1,5 t_{wc}$ .

$$b_{eff,c,wc} = t_{Riegelgurt} + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_{w,gurt} + 5 \cdot (t_{Stützengurt} + s) + s_p$$

$s$  : Ausrundung bei gewalzter Stütze,

$\sqrt{2} \cdot a_{wc}$  bei geschweißter Stütze

$s_p$  : 45° Ausbreitung durch die Stirnplatte, mindestens  $t_{Stirnplatte}$  und bei ausreichendem Überstand bis zu  $2 t_{Stirnplatte}$ .

$$\rho = 1,0 \quad \text{für } \lambda_p \leq 0,673$$

$$\rho = (\lambda_p - 0,22) / \lambda_p^2 \quad \text{für } \lambda_p > 0,673$$

$\lambda_p$  : Plattenschlankheit

$$\lambda_p = 0,932 \sqrt{\frac{b_{eff,c,wc} \cdot d_{wc} \cdot f_y}{E \cdot t_{wc}^2}}$$

$d_{wc}$  : Höhe Steg ohne Ausrundung bzw. Schweißnaht

für einen Übertragungsparameter  $\beta = 1$  ergibt sich

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot (b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} / A_{vc})^2}}$$

$A_{vc}$  : schubwirksame Fläche der Stütze wie in Komponente Stützensteg auf Schub

andere Übertragungsparameter ergeben ein  $\omega$  entsprechend Tabelle J 5 in [2]

$k_{wc} = 1$  im Allgemeinen, bzw.

$k_{wc} = 1,25 - 0,5 \cdot \sigma_{ed} / f_y$  wenn die Normalspannung  $\sigma_{ed}$  in der Stütze  $0,5 f_y$  überschreitet

$\sigma_{ed}$  ist die Normalspannung im Stützensteg aus  $M_y = M_{y,oben} - M_{y,rechts}$  und  $N = N_{oben} - V_{z,rechts}$  im Schnittpunkt der Systemachsen

*Hinweis: das rahmenknickähnliche Beulen im nicht ausgesteiften Stützensteg auf Druck sollte konstruktiv verhindert werden.*

### Stegsteifen

Die Tragfähigkeit der Komponente kann durch Rippen im Druckbereich des Stützenstegs verbessert werden. Sind entsprechende Rippen abgeordnet ergibt sich eine aufnehmbare Grenzkraft  $F_{cRd\_Rippe}$  aus dem Spannungsnachweis in der Rippe.

Die Komponente wird dann durch den größeren Wert aus  $F_{cRd\_Rippe}$  und  $F_{c,wc,Rd}$  bestimmt.

*Hinweis: Im System Knie-Eck mit Zuglasche und positiver Momentenbeanspruchung, also Druck oben, wird die Zuglasche vernachlässigt. Eine Aussteifung des Druckbereiches ergibt sich durch die Kopfplatte der Stütze. Ist keine Kopfplatte vorhanden, rechnet das Programm den Stegbereich als nicht ausgesteift.*

## Komponente Trägerflansch und -steg auf Druck

Die Tragfähigkeit für Trägerflansch und -steg auf Druck ergibt sich mit ausreichender Genauigkeit aus:

$$F_{c,fb,Rd} = M_{c,Rd} / (h_{\text{Anschluss}} - t_{\text{Trägergurt}})$$

$h_{\text{Anschluss}}$  : Höhe vom Anschluss im Anschnitt Stirnplatte (einschließlich Aussteifung)

$M_{c,Rd}$  : Grenzmoment des Trägers unter Interaktion mit Querkraft

In Abhängigkeit der Schlankheit von Steg und Gurten wird der Trägerquerschnitt durch Querschnittsklassen analog Tab. 5.3.1 in [4] beschrieben. Besitzt der Trägerquerschnitt Aussteifungen mit Gurt, wird er vereinfachend durch die äußeren Gurte und der gesamten Steghöhe beschrieben.

$$M_{c,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd} \quad \text{für Querschnittsklasse 1 und 2}$$

$$M_{c,Rd} = W_{el} \cdot f_{yd} \quad \text{für Querschnittsklasse 3}$$

$$M_{c,Rd} = W_{eff} \cdot f_{yd} \quad \text{für Querschnittsklasse 4}$$

$W_{eff}$  : Widerstandsmoment des Querschnitts mit den wirksamen Querschnittsteilen unter Druck

### Komponente Trägersteg auf Druck (nur bei Vouten in Träger-Stützenverbindung)

Im Anschluss gevouteter Träger wird statt der Komponente Trägersteg auf Druck die Komponente Trägersteg auf Druck am Voutenansatz, also der Stelle der Kraftumlenkung, untersucht. Deren Tragfähigkeit ergibt sich aus:

$$F_{c,wb,Rd} = \frac{b_{\text{eff},c,wbl} \cdot t_{\text{Riegelsteg}} \cdot k_{wb} \cdot 1,1 \cdot f_{yd}}{\tan \beta} \quad \text{und} \quad F_{c,wb,Rd} \leq \frac{\rho \cdot b_{\text{eff},c,wbl} \cdot t_{\text{Riegelsteg}} \cdot k_{wb} \cdot f_{yd}}{\tan \beta}$$

$b_{\text{eff},c,wbl}$  : mitwirkende Breite Riegelsteg auf Druck, analog  $b_{\text{eff},c,wc}$  bei Stützensteg auf Druck zu bestimmen

$k_{wb}$  : Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Normalspannung im Steg

$t_{\text{Riegelsteg}}$  : Dicke Riegelsteg

$\tan \beta$  : Neigungswinkel der Voute

$\rho$  : Abminderungsfaktor für Plattenbeulen, analog zu  $p$  bei Stützensteg auf Druck

### Stegsteifen

Die Tragfähigkeit der Komponente kann durch Rippen im Bereich des Trägerstegs verbessert werden. Sind entsprechende Rippen abgeordnet ergibt sich eine aufnehmbare Grenzkraft  $F_{cRd\_Rippe}$  aus dem Spannungsnachweis in der Rippe.

Die Komponente wird dann durch den größeren Wert aus  $F_{cRd\_Rippe}$  und  $F_{c,wb,Rd}$  bestimmt.

## Komponente Gurt auf Druck (nur bei Vouten in Träger-Stützenverbindung)

Im Anschluss gevouteter Träger wird statt der Komponente Trägerflansch auf Druck die Komponente Gurt auf Druck am Anschluss Vouten untersucht. Deren Tragfähigkeit ergibt sich aus:

$$F_{c,fv,Rd} = b_v \cdot t_{fv} \cdot f_{yd} \cdot \cos \beta$$

$t_{fv}$  : Dicke vom Voutengurt

$\cos \beta$  : Neigung Voute

$b_v$  :  $\min(b_{fv}, b_{iv})$

$b_{fv}$  : Breite Voutengurt

$$b_{iv} = 42 \cdot t_{fv} \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} \text{ in N/mm}^2$$

## Komponente Stützensteg auf Zug (nur Träger-Stützenverbindung)

Die Tragfähigkeit für nicht ausgesteiften Stützensteg auf Druck ergibt sich aus:

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot 1,1 \cdot f_{yd}$$

$b_{eff,t,wc}$  : mitwirkende Breite Stützensteg entspricht der wirksamen Länge des äquivalenten T-Stummel im Gurt ( siehe Modell der T-Stummel )

$\omega$  : Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung von Schub im Steg, entspricht dem Abminderungsfaktor  $\omega$  aus der Komponente Stützensteg auf Druck unter Ansatz von  $b_{eff,t,wc}$

$t_{wc}$  : Dicke Stützensteg, bei vorhandener Stegblechverstärkung erhöht sich der Wert zu  $1,5 t_{wc}$  wenn Schweißnahtdicken  $a_w \geq t_{steg}$  verwendet werden oder zu  $1,4 t_{wc}$  bzw.  $1,3 t_{wc}$  bei Schweißnahtdicken  $a_w \geq t_s / \sqrt{2}$  je nach verwendeter Stahlgüte

## Komponente Stützenflansch auf Biegung (nur Träger-Stützenverbindung)

Die Tragfähigkeit  $F_{t,fc,Rd}$  vom Stützenflansch auf Biegung ergibt sich aus der Tragfähigkeit  $F_{t,Rd}$  im Modell des äquivalenten T-Stummels ( siehe Modell der T-Stummel ).

## Komponente Stirnplatte auf Biegung

Die Tragfähigkeit  $F_{t,ep,Rd}$  der Stirnplatte auf Biegung ergibt sich aus der Tragfähigkeit  $F_{t,Rd}$  im Modell des äquivalenten T-Stummels ( siehe Modell der T-Stummel ).

## Komponente Trägersteg auf Zug

Die Zugtragfähigkeit im Trägersteg ergibt sich aus:

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot 1,1 \cdot f_{yd}$$

$b_{eff,t,wb}$  : mitwirkende Breite Trägersteg, entspricht der wirksamen Länge des äquivalenten T-Stummel in der Stirnplatte (siehe Modell der T-Stummel)

$t_{wb}$  : Dicke Trägersteg

## Nachweis der Schweißnähte

Schweißnähte sind nur begrenzt duktil und sollten daher so dimensioniert werden, dass sie nicht bemessungsrelevant sind, d.h. eine der anderen Komponenten zuerst versagt.

In den Optionen zur Berechnung kann festgelegt werden, ob die Schweißnähte im Anschluss Riegel – Stirnplatte volltragfähig bemessen werden sollen, d.h. der Nachweis mit dem Grenzmoment  $M_{aRd}$  und der Grenzquerkraft  $V_{Rd}$  vom Anschluss erfolgt.

Soll das Verformungsverhalten der Verbindung bis zur vollen Rotationskapazität ausgenutzt werden, müssen die Schweißnähte das 1,4-fache  $M_{aRd}$  für unverschiebliche und das 1,7-fache  $M_{aRd}$  für verschiebliche Rahmen übertragen können. Diese Bedingung wird vom Programm nicht geprüft und muss ggf. bei der Eingabe berücksichtigt werden.

Der Schweißnahtnachweis im Anschluss Stirnplatte erfolgt entsprechend eingestellter Option entweder über die statischen Werte des Gesamtschweißnahtbildes als Nachweis der Vergleichsspannung oder über die Teilschnittgrößen am jeweiligen Gurt und am Steg.

### Nachweis über die Teilschnittgrößen:

Der Steg übernimmt die gesamte Querkraft im Anschluss und wird im Bereich der effektiven T-Stummellänge mit dessen Zugkräften beansprucht. Das Programm führt an dieser Stelle einen Vergleichsspannungsnachweis.

Der Druckgurt im Anschluss wird mit der ermittelten Druckkraft aus der Berechnung des Grenzmomentes der Verbindung geführt.

Alle anderen Gurte werden nur konstruktiv nachgewiesen. Als erforderliche Schweißnahtdicke wird dabei die im Nachweis des Druckgurtes ermittelte Dicke angenommen. Sollen die Schweißnähte volltragfähig ausgebildet werden, setzt das Programm eine Mindestdicke für beide Kehlnähte zusammen aus der 1,1-fachen Dicke des angeschlossenen Gurtes voraus.

## Nachweis der Querkrafttragfähigkeit

Die Querkraft wird je nach eingestellter Berechnungsoption allein über die Schraubenreihen im Druckbereich (dieser wird durch den Faktor  $f$  bestimmt) oder zusätzlich auch über die zugbeanspruchten Schraubenreihen abgetragen.

Schrauben im Druckbereich müssen innerhalb des Anschlussquerschnittes bzw. im Bereich einer Eckaussteifung liegen.

Die Berechnung erfolgt nach DIN 18800 Teil 1 Abschnitt 8.2.1.

$$V_{a,Rd} = A \cdot \alpha_a \cdot f_{ub,d} \quad \text{Grenzabscherkraft}$$

bei Interaktion mit Zug  $F_t$  und Abscheren  $V_a$  ergibt sich nach [3]:

$$\text{aus} \left( \frac{V_a}{V_{a,Rd}} \right) + \left( \frac{F_t}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \right) \leq 1,0$$

die reduzierte Grenzabscherkraft  $V_{a,Interaktion,Rd} = V_{a,Rd} \cdot \left( \frac{0,4}{1,4} \right)$

$$V_{l,Rd} = t \cdot d_{sch} \cdot \alpha_l \cdot f_{y,d} \quad \text{Grenzlochleibungskraft}$$

$A$	: maßgebender Abscherquerschnitt
$\alpha_a$	: Abscherfaktor
$f_{ub,d}$	: Bemessungswert Schraubenzugfestigkeit
$F_t$	: Zugkraft einer Schraube
$F_{t,Rd}$	: Grenzzugkraft
$d_{sch}$	: Schraubenschaftdurchmesser
$t$	: Blechdicke
$\alpha_l$	: Lochleibungsfaktor

Wird die Schubtragfähigkeit des angeschlossenen Trägers  $V_{wb,Rd}$  durch die Grenzquerkraft im Anschluss  $V_{a,Rd}$  überschritten, gibt das Programm eine Warnung aus, bricht aber nicht mit der Berechnung ab.

Soll die Schubtragfähigkeit vom Träger in die Berechnung einfließen, kann die entsprechende Option angewählt werden. Es erfolgt dann eine Begrenzung auf 50% der Riegelschubtragfähigkeit  $V_{wb,Rd}$ .

### Einfluss des Faktors $f$ für die Höhe des Zugbereiches:

Näher zur Druckzone liegende Schrauben können bei der Berechnung der Momententragfähigkeit vernachlässigt werden. Sie wirken dann mit ihrer vollen Grenzabscherkraft, so dass sich ggf. eine höhere Querkrafttragfähigkeit der Verbindung ergibt. Die Unterbewertung der Momententragfähigkeit ist im Allgemeinen gering und wird für Verbindungen, in denen mindestens 50% der Schrauben auf Zug wirken und sich die vernachlässigten Schrauben im Bereich des 0,4-fachen Abstandes der äußersten gezogenen Schraube zum Druckpunkt befinden, mit 15% abgeschätzt.

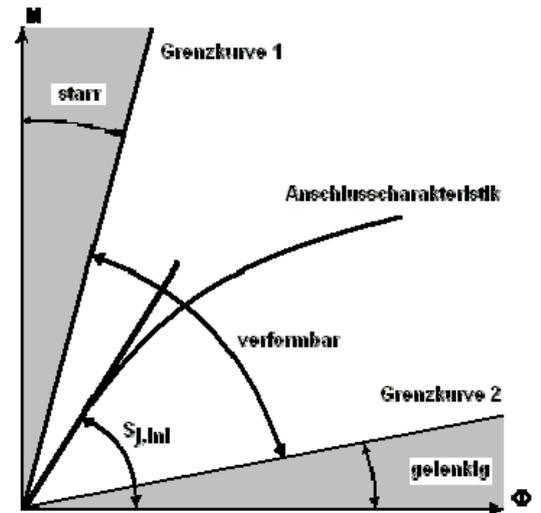
## Rotationssteifigkeit

Mit der Anfangssteifigkeit  $S_{j,ini}$  kann beurteilt werden, ob die Verbindung als starr, verformbar oder gelenkig charakterisiert werden kann.

Die Verbindung gilt als starr, wenn  $S_{j,ini}$  größer als die Grenzkurve 1 ist. In diesem Fall hat die Verformung im Anschluss keinen Einfluss auf die Tragwerksberechnung.

Die Grenzkurven 1 und 2 werden durch die Steifigkeit des angeschlossenen Riegels bezogen auf dessen Länge ermittelt.

Abhängig von der möglichen Anschlussverdrehung ergeben sich Klassifikationen für seitlich unausgesteifte, d.h. verschiebliche und seitlich ausgesteifte Rahmen.



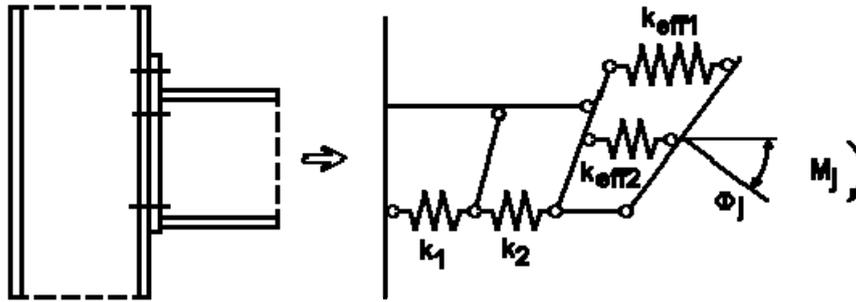
Anschlüsse in verschieblichen Rahmen	
gelenkig	$S_{j,ini} \leq 0,5 \cdot E \cdot I_b / L_b$
verformbar	$0,5 \cdot E \cdot I_b / L_b < S_{j,ini} < 25 \cdot E \cdot I_b / L_b$
starr	$S_{j,ini} \geq 25 \cdot E \cdot I_b / L_b$
Anschlüsse in unverschieblichen Rahmen	
gelenkig	$S_{j,ini} \leq 0,5 \cdot E \cdot I_b / L_b$
verformbar	$0,5 \cdot E \cdot I_b / L_b < S_{j,ini} < 8 \cdot E \cdot I_b / L_b$
starr	$S_{j,ini} \geq 8 \cdot E \cdot I_b / L_b$

- E : E-Modul
- $I_b$  : Trägheitsmoment eines Trägers
- $L_b$  : Systemlänge eines Trägers

Seitlich unverschiebliche Rahmen müssen dabei das Kriterium  $K_b / K_c \geq 0,1$  für jedes Stockwerk erfüllen.

- $K_b$  : Mittelwert aus allen  $I_b / L_b$  aller Träger eines Geschosses
  - $K_c$  : Mittelwert aus allen  $I_c / L_c$  aller Stützen eines Geschosses
- mit
- $I_c$  : Trägheitsmoment einer Stütze
  - $L_c$  : Geschosshöhe einer Stütze

Die Momenten- Rotationskurve der Verbindung ergibt sich entsprechend der Komponentenmethode als Zusammensetzung der einzelnen Kraft- Verformungskurven jeder im Anschluss beteiligten Komponente.



Beispiel einer nicht ausgesteiften Verbindung mit zwei Schraubenreihen

Die Wegfedern jeder einzelnen Komponente  $i$  werden durch deren Steifigkeitskoeffizienten  $k_i$  beschrieben.

Die **Rotationssteifigkeit**  $S_j$  ergibt sich aus :

$$S_j = \frac{E \cdot z^2}{\mu \cdot \sum_i \frac{1}{k_i}}$$

$z$  : Hebelarm,

bei nur einer Schraubenreihe im Zugbereich als Abstand dieser Reihe zum Druckpunkt im Anschluss

bei mehreren Schraubenreihen im Zugbereich als äquivalenter Hebelarm  $z_{eq}$

$\mu$  : Steifigkeitsverhältnis

$k_i$  : Steifigkeitskoeffizient einer Komponente

äquivalenter Hebelarm für alle Schraubenreihen im Zugbereich :

$$z_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} \cdot h_r^2}{\sum_r k_{eff,r} \cdot h_r} \quad \text{für alle Schraubenreihen } r \text{ im Zugbereich}$$

$k_{eff,r}$  : effektiver Steifigkeitskoeffizient der Schraubenreihe  $r$

$h_r$  : Abstand der Schraubenreihe  $r$  vom Druckpunkt im Anschluss

Steifigkeitsverhältnis  $\mu$

$$\mu = 1 \quad \text{wenn } M_{j,sd} \leq \frac{2}{3} \cdot M_{j,Rd}$$

und zur Berücksichtigung der nichtlinearen Verhaltens in der Anschlusscharakteristik

$$\mu = \left(1,5 \cdot M_{j,sd} / M_{j,Rd}\right)^\psi \quad \text{wenn } \frac{2}{3} \cdot M_{j,Rd} < M_{j,sd} \leq M_{j,Rd}$$

mit  $\psi = 2,7$  für geschraubte Verbindungen

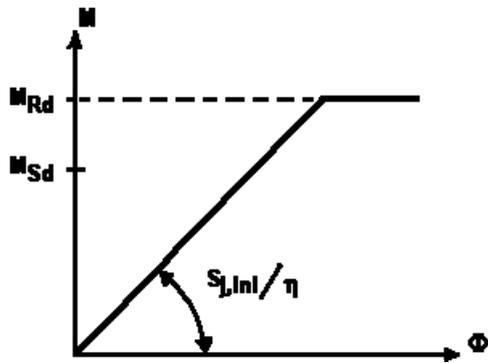
**Anfangssteifigkeit**  $S_{j,ini}$

$S_{j,ini} = S_j$  mit dem Steifigkeitsverhältnis  $\mu = 1$

vereinfachte bi-lineare Momenten- Rotationscharakteristik

Die **Rotationssteifigkeit**  $S_j$  darf zur linear-elastischen und elastisch-plastischen Berechnung aus einem vereinfachten Modell der Anschlusscharakteristik entnommen werden:

$$S_{jn} = S_{j,ini} / \eta \quad \text{mit } \eta = 2 \text{ für geschraubte Stirnplatten}$$



## Die Steifigkeitskoeffizienten der einzelnen Komponenten

k1 Stützenstegfeld auf Schub (nur Träger-Stützenverbindung)

$$k_1 = \frac{0,38 \cdot A_{vc}}{\beta \cdot z_{eq}}$$

$z_{eq}$  Hebelarm

$A_{vc}$  schubwirksame Fläche der Stütze, siehe entsprechende Komponente

$\beta$  Übertragungsparameter für Komponentenmethode nach J.2.3.3 (Schubeinfluss Stützenstegfeld) nach Tab.4 AnnexJ für Anschlussart

Ist das Stützenstegfeld durch eine Diagonalsteife verstärkt, wird der Steifigkeitskoeffizient k1 als unendlich groß angenommen.

k2 Stützensteg auf Druck (nur Träger-Stützenverbindung)

$$k_2 = \frac{0,7 \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc}}{d_c}$$

$b_{eff,c,wc}$  mitwirkende Breite Stützensteg auf Druck

$t_{wc}$  Dicke Stützensteg, bei vorhandener Stegblechverstärkung erhöht sich der Wert zu  $1,5 t_{wc}$ .

$d_c$  lichte Höhe Stützensteg

Ist der Stützensteg im Druckpunkt mit Rippen verstärkt, wird der Steifigkeitskoeffizient k2 als unendlich groß angenommen.

k3 Stützensteg auf Zug (nur Träger-Stützenverbindung)

$$k_3 = \frac{0,7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc}}{d_c}$$

$b_{eff,t,wc}$  kleinste wirksame Länge der äquivalenten T-Stummel für die beteiligten Schrauben im Zugbereich

$t_{wc}$  Dicke Stützensteg, bei vorhandener Stegblechverstärkung erhöht sich der Wert, siehe entsprechende Komponente

$d_c$  lichte Höhe Stützensteg

k4 Stützenflansch auf Biegung (für eine Schraubenreihe)

$$k_4 = \frac{0,85 \cdot l_{eff} \cdot t_{fc}^3}{m^3}$$

$l_{eff}$  kleinste wirksame Länge für diese Schraubenreihe im äquivalenten T-Stummel

$t_{fc}$  Dicke Stützenflansch

$m$  Abstand Schraube zum Steg, siehe Modell der T-Stummel

k5 Stirnplatte auf Biegung

$$k_5 = \frac{0,85 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3}{m^3}$$

$l_{eff}$  kleinste wirksame Länge für diese Schraubenreihe im äquivalenten T-Stummel

$t_p$  Dicke Stirnplatte

$m$  Abstand Schraube zum Steg, siehe Modell der T-Stummel, im überstehenden Teil der Stirnplatte  $m = m_x$

$k_{10}$  Schrauben auf Zug

$$k_{10} = \frac{1,6 \cdot A_s}{L_b}$$

$A_s$  Spannungsquerschnitt der Schraube

$L_b$  Dehnlänge der Schraube, entspricht der Klemmlänge zzgl. halber Kopf und Mutterhöhe

$k_{\text{eff}}$  Effektiver Steifigkeitskoeffizient einer Schraubenreihe

die Steifigkeitskoeffizienten  $k_3$ ,  $k_4$ ,  $k_5$  und  $k_{10}$  einer Schraubenreihe  $r$  lassen sich zusammenfassen:

$$k_{\text{eff},r} = \frac{1}{\frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4} + \frac{1}{k_5} + \frac{1}{k_{10}}}$$

aus diesen ermittelt sich der äquivalente Steifigkeitskoeffizient aller zugbeanspruchten Schraubenreihen  $r$ :

$$k_{\text{eq}} = \frac{\sum k_{\text{eff},r} \cdot h_r}{z_{\text{eq}}}$$

$z_{\text{eq}}$  äquivalenter Hebelarm für alle Schraubenreihen im Zugbereich, siehe Ausführungen zur Rotationssteifigkeit

$h_r$  Abstand der Schraubenreihe  $r$  vom Druckpunkt im Anschluss

## Klassifizierung nach der Tragfähigkeit

Die Verbindung kann in Abhängigkeit der Momentenwiderstände aus den angeschlossenen Bauteilen als volltragfähig, gelenkig oder teiltragfähig klassifiziert werden.

Eine Verbindung am Stützenkopf (Knieeck) gilt als volltragfähig, wenn

$$M_{jRd} \geq \min[M_{b,pl,Rd}; M_{c,pl,Rd}] \text{ erfüllt ist.}$$

Bei einer volltragfähigen Verbindung zwischen zwei Stockwerken (T-Eck) muss

$$M_{jRd} \geq \min[M_{b,pl,Rd}; 2 \cdot M_{c,pl,Rd}] \text{ eingehalten sein.}$$

$M_{b,pl,Rd}$  plastisches Grenzmoment im Träger

$M_{c,pl,Rd}$  plastisches Grenzmoment der Stütze

Als gelenkig gilt die Verbindung, wenn deren Momentenwiderstand  $M_{j,Rd}$  kleiner oder gleich  $\frac{1}{4}$  des Momentenwiderstands für Volltragfähigkeit ist.

Alle anderen Verbindungen werden als teiltragfähig angesehen.

*Hinweis:* zur linear-elastischen Berechnung ist eine Klassifizierung der Verbindung nach ihrer Steifigkeit ausreichend  
zur elastisch-plastischen Berechnung ist eine Klassifizierung nach Steifigkeit und auch nach Tragfähigkeit erforderlich

## Literatur

- [ 1 ] DIN 18800, Fassung: November 1990.
- [ 2 ] DIN ENV 1993-1-1:1992 / A2; 1998
- [ 3 ] Stahlbau Kalender 2005; 7. Jahrgang; Ernst & Sohn, Berlin 2005.
- [ 4 ] DIN ENV 1993 Teil 1-1: EuroCode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau, Ausgabe April 1993