

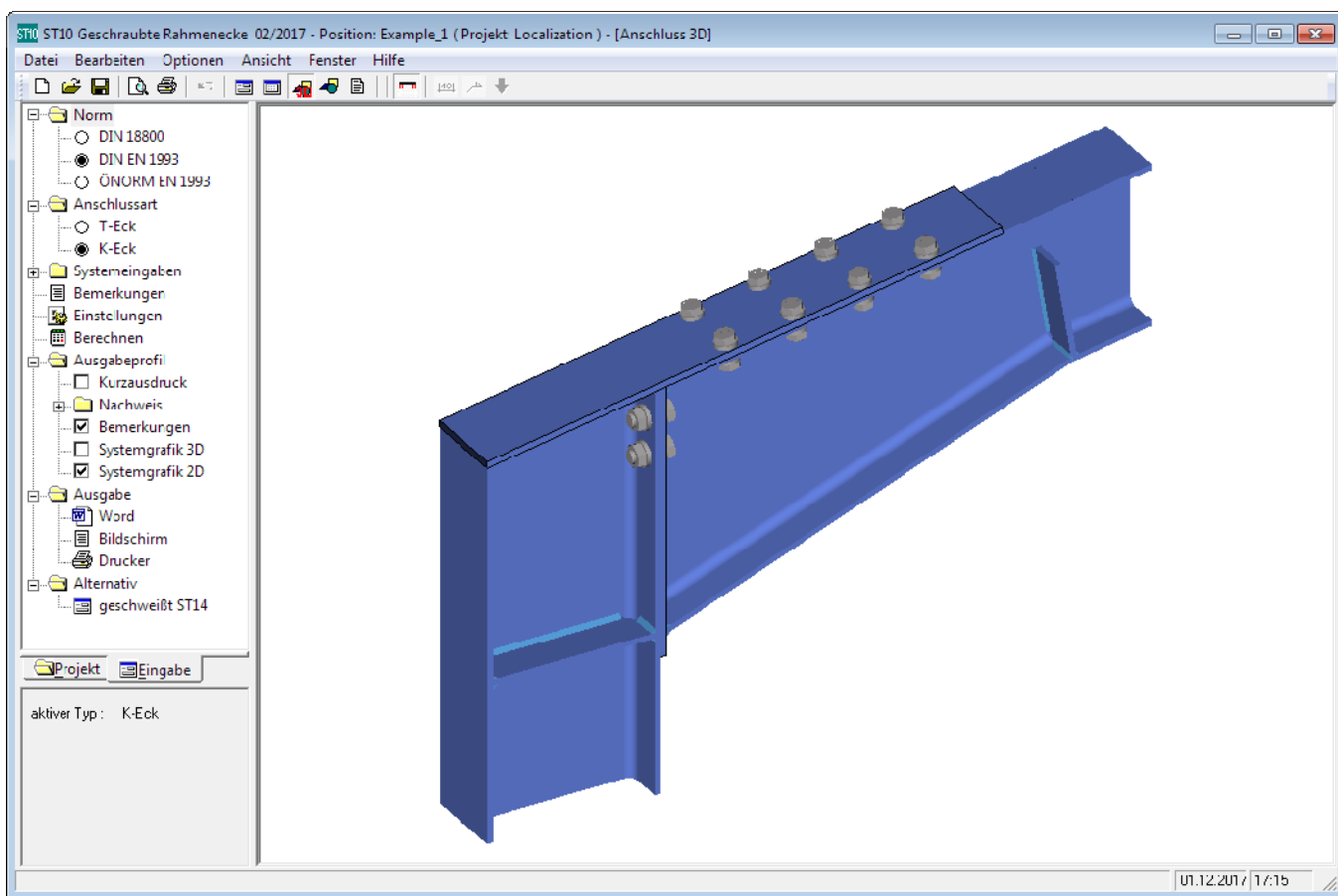
ST10 – Berechnungsgrundlagen

FRILO Software GmbH

www.friilo.eu

info@friilo.eu

Stand: 27.10.2015



ST10 – Berechnungsgrundlagen

Inhaltsverzeichnis

Komponentenmethode	3
DSTV/DASt - T-Eck	19
Schineis	21
T-Eck und Knie-Eck ohne Zuglasche	21
Knie-Eck mit Zuglasche	23
Schnittgrößen	25
Schubfeld	27
Nachweise der Biegespannung im Stützenflansch	28
Nachweis der Aussteifung im Druckbereich	29
Nachweis der lokalen Krafteinleitung	29
Krafteinleitung ohne Rippen	29
Krafteinleitung mit Rippen	30
Zusätzliche Erläuterungen	32
Rippendicke	32
Kehlnähte-Grenzwerte	32
Grenzsweißnahtspannung	32
Anhang:	33
Beispiele: Schraubenbilder für negatives Moment (Zug oben)	33

Komponentenmethode

Die Berechnung erfolgt nach dem im DIN ENV 1993-1-1:1992 / A2; 1998 beschriebenen Verfahren (vgl. auch EC3, Annex J).

Mit dieser Methode wird unter Annahme der plastischen Verteilung der Schraubenkräfte die Beanspruchbarkeit der Verbindung bestimmt. Die Biegebeanspruchbarkeit der Komponenten Stirnplatte und Stützengurt ergibt sich dabei aus idealisierenden, äquivalenten T-Stummel-Modellen, deren Versagensmechanismus durch Fließlinienmodelle beschrieben ist.

Grundsätzlich erfolgt eine Zerlegung der Verbindung in einzelne Komponenten mit den zugehörigen Grenzzuständen der Beanspruchbarkeit, die das Programm nach DIN 18800 ermittelt. Aus der Verteilung der Anschlusskräfte auf die Komponenten und deren Gleichgewicht beim Zusammenschluss ergibt sich die Beanspruchbarkeit der gesamten Verbindung.

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.

Durch Abstimmung der einzelnen Komponenten lässt sich die Anschlusscharakteristik leicht an gegebene Randbedingungen anpassen (z.B. Konstruktion einer gerade noch als starr klassifizierten Verbindung, um eine Schnittkraftermittlung unabhängig von der Anschlusssteifigkeit durchzuführen).

Spezifische Einschränkungen bei der Komponentenmethode:

- Normalkraft im angeschlossenen Träger nicht größer als 10% dessen plastischer Grenzkraft $N_{pl,Rd}$
- die Momenten-Rotationscharakteristik der Verbindung liegt den Annahmen bei der Schnittkraftermittlung zugrunde (ggf. iteratives Verfahren verwenden)
- Stahlgüten S235, S275, S355 sowie S460, das Material muss ausreichende Duktilität besitzen
- Bauteile mit ausreichend dicken Stegen (Schubbeulen nicht relevant, d.h. $d/t \leq 69\epsilon$)
- Schrauben können vorgespannt oder nicht-vorgespannt sein, im Verfahren werden immer nicht-vorgespannte Schrauben angenommen
- Schraubenbild: vertikal zwei Schraubenreihen, die sich innerhalb des Trägerquerschnittes, einschließlich der Aussteifungen mit Gurt (Vouten) befinden und jeweils höchstens eine Schraubenreihe oberhalb bzw. unterhalb der äußeren Gurte
- Aussteifungen als Eckblech ohne Gurt werden nicht berücksichtigt
- Steifen 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

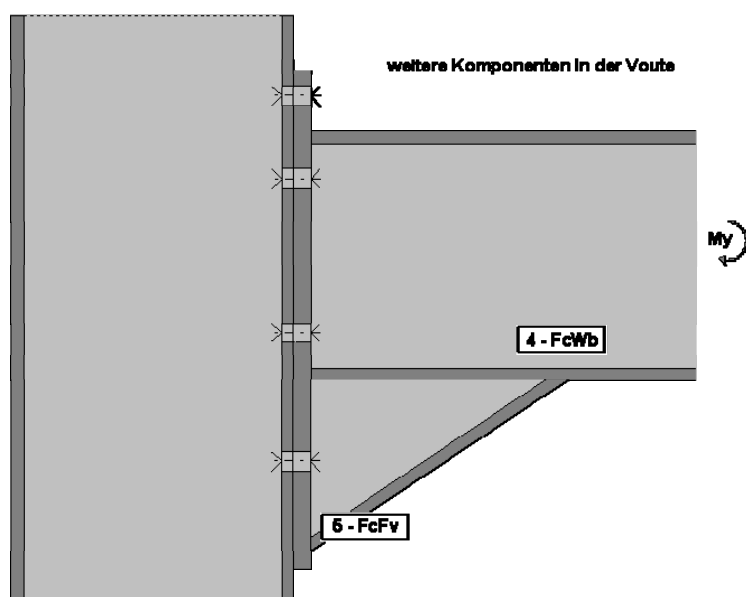
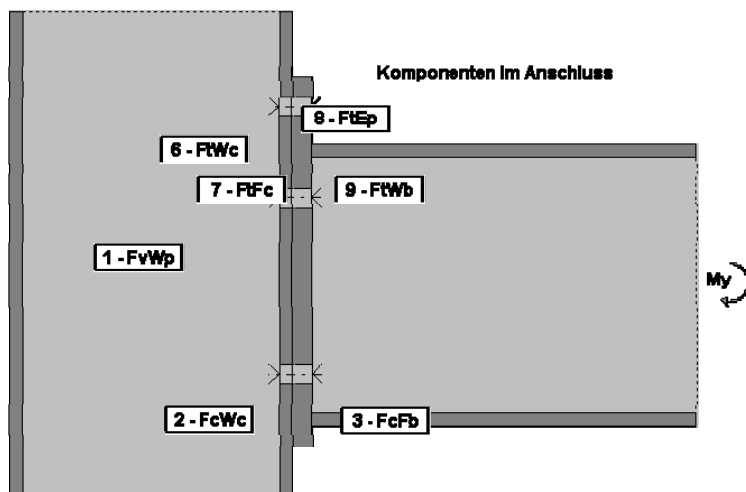
Komponenten in der Verbindung

allgemein :

- 1- FvWp Stützensteg auf Schub (J 3.5.1 in [8])
- 2- FcWc Stützensteg auf Druck (J 3.5.2 in [8])
- 3- FcFb Trägerflansch und -steg auf Druck (J 3.5.7 in [8])
- 4- FcWb Trägersteg auf Druck bei Vouten (Kap. 4 in [9])
- 5- FcFv Voutengurt auf Druck (Kap. 4 in [9])

und jeweils in den T-Stummeln :

- 6- FtWc Stützensteg auf Zug (J 3.5.3 in [8])
- 7- FtFc Stützenflansch auf Biegung (J 3.5.4 in [8])
- 8- FtEp Stirnplatte auf Biegung (J 3.5.5 in [8])
- 9- FtWb Trägersteg auf Zug (J 3.5.8 in [8])



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 der 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.

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 stützensseitig |
| $F_{t,Fc}$ | Stützenflansch auf Biegung der entsprechenden Gruppe stützensseitig |
| $F_{t,Ep}$ | 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 $F_{t,Rd} \leq F_{t,Rd} \cdot h_j / h_i$ begrenzt, mit
- | | |
|------------|---|
| h_j | Abstand Schraubenreihe j zum Druckpunkt |
| h_i | Abstand Schraubenreihe i zum Druckpunkt |
| $B_{t,Rd}$ | Minimum aus Durchstantragfähigkeit $B_{p,Rd}$ 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 $M_{a,Rd}$ abgeleitet werden:

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

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.

Siehe hierzu: [Stahlschlüsse – Komponentenmethode.pdf](#)

Komponente Stützensteg auf Schub

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

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

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

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

β Übertragungsparameter für Anschlussmoment (Schubeinfluss Stützenstegfeld) nach Tab. J 4 in [8]

für einseitig ausgeführte Anschlüsse ist β 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.

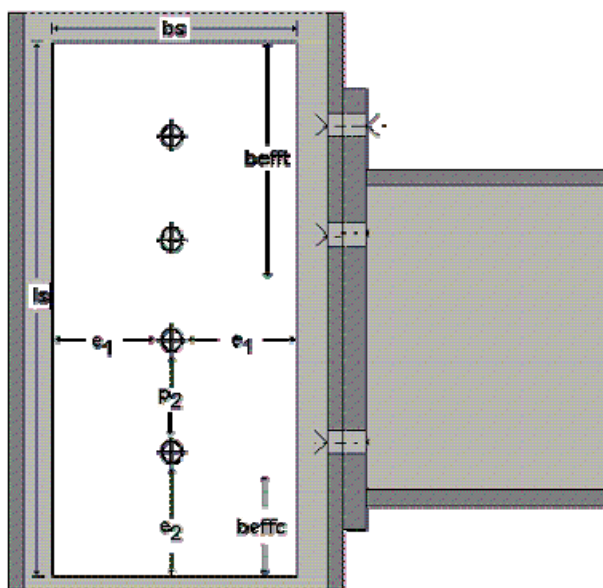
A_{vc} erhöht sich um: $b_s \cdot \min[t_s; s_{\text{Stützensteg}}]$

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 :

$\max(e_1, e_2, p) \leq 40 \cdot \varepsilon \cdot t_s$ 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.

$$V_{wp,Rd,add} = \frac{4 \cdot M_{pl,fc,Rd}}{d_s} \quad \text{und} \quad V_{wp,Rd,add} \leq \frac{2 \cdot M_{pl,fc,Rd} + 2 \cdot M_{pl,st,Rd}}{d_s}$$

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

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

ρ : Abminderungsfaktor für Plattenbeulen

ω : 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 $1,5 \cdot t_{wc}$.

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

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 $2 \cdot t_{Stirnplatte}$.

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

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

λ_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 ω entsprechend Tabelle J 5 in [8]

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

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

$h_{Anschluss}$: 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 [\[10\]](#) 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)

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:

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

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

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

$t_{Riegelsteg}$: Dicke Riegelsteg

$\tan \beta$: Neigungswinkel der Voute

ρ : Abminderungsfaktor für Plattenbeulen, analog zu ρ 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)

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

Die Tragfähigkeit für nicht ausgereiften 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)

ω : Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung von Schub im Steg, entspricht dem Abminderungsfaktor ω 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

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 [9]:

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

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
α_a	: Abscherfaktor
$f_{ub,d}$: Bemessungswert Schraubenzugfestigkeit
F_t	: Zugkraft einer Schraube
$F_{t,Rd}$: Grenzzugkraft
d_{sch}	: Schraubenschaftdurchmesser
t	: Blechdicke
α_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.

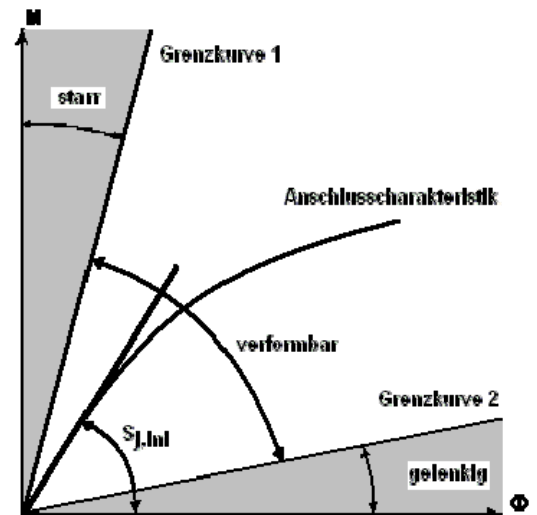
Rotationssteifigkeit

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.



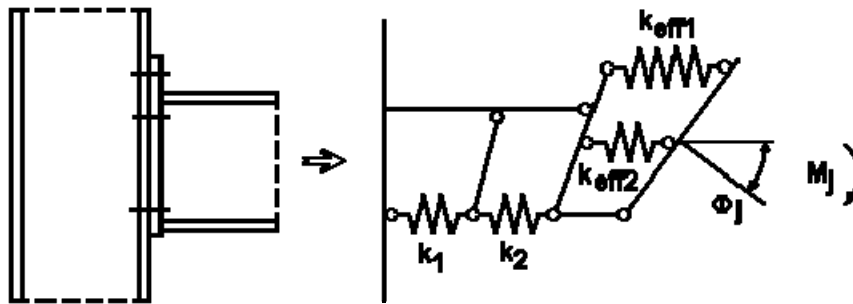
Anschlüsse in verschieblichen Rahmen	
gelenkig	$S_{j,ini} \leq 0,5 \cdot E \cdot I_b / L_b$
verformbar	$0,5 \cdot E \cdot I_b / L_b < S_{j,ini} < 25 \cdot E \cdot I_b / L_b$
starr	$S_{j,ini} \geq 25 \cdot E \cdot I_b / L_b$
Anschlüsse in unverschieblichen Rahmen	
gelenkig	$S_{j,ini} \leq 0,5 \cdot E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

μ : 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 μ

$$\mu = 1 \quad \text{wenn } M_{jSd} \leq \frac{2}{3} \cdot M_{jRd}$$

und zur Berücksichtigung der nichtlinearen Verhaltens in der Anschlusscharakteristik

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

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

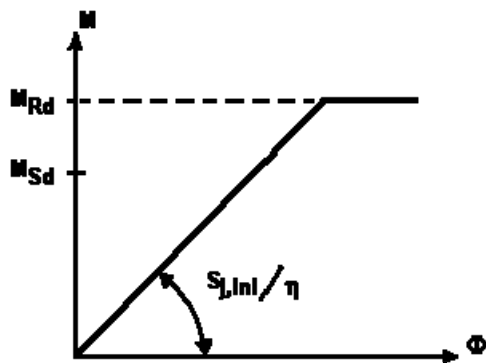
Anfangssteifigkeit $S_{j,ini}$

$S_{j,ini} = S_j$ 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

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

z_{eq} Hebelarm

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

β 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

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

$b_{eff,c,wc}$ 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

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

$b_{eff,t,wc}$ 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)

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

I_{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

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

I_{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 $m = m_x$

k10 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_{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_{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

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

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

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

$M_{b,pl,Rd}$ 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

Weitere Nachweise

- Nachweis der Lasteinleitung in den Stützen-/ Riegelsteg (Rippe)

DSTV/DAST - T-Eck

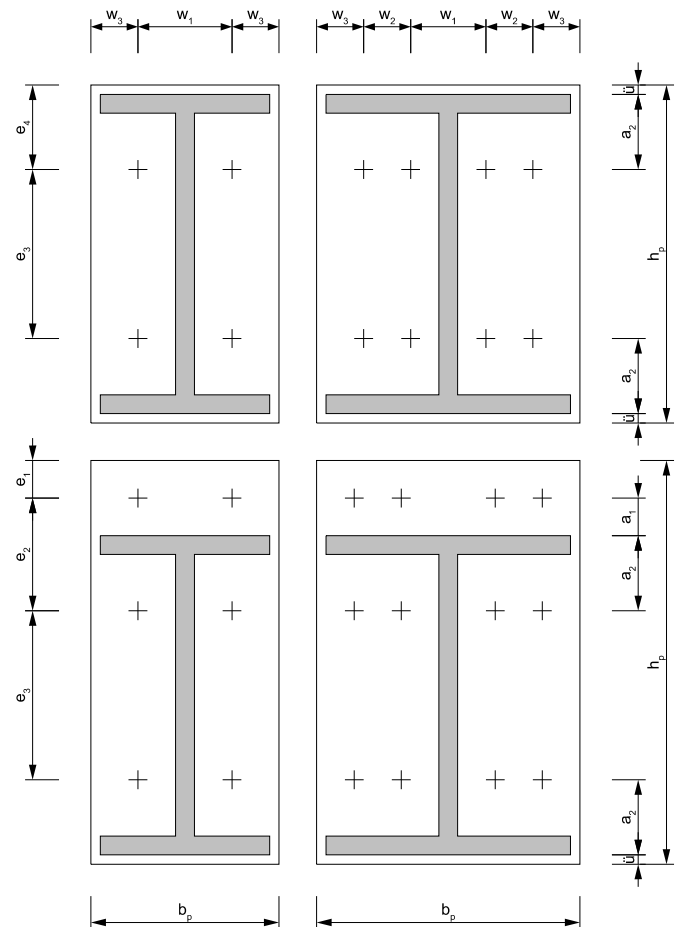
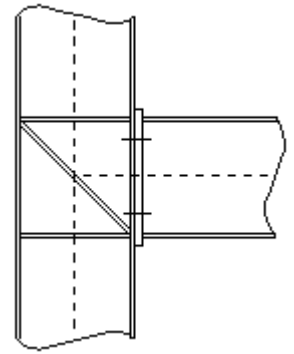
Grundlage für die Rahmenecke "T-Eck DSTV/DAST" sind die vom Deutschen Stahlbau-Verband in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Ausschuss für Stahlbau typisierten Anschlüsse im

DSTV/DAST Stahlbauringbuch 1984 (siehe [2])

Spezifische Einschränkungen DSTV/DAST:

- Das Material für Riegel, Stütze und Stirnplatte ist immer S235.
- verwendet werden hochfeste vorgespannte Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9.
- die Übertragung der Biegemomente erfolgt hauptsächlich durch die Flansche, d.h. Bedingung $I_{\text{Steg}} / I_{\text{Gesamt}} \leq 0.15$ ist eingehalten
- an einer Trägerseite muss Zug, an der gegenüberliegenden Druck vorliegen
- durchgehende Gurte des Trägers bei Eckaussteifungen mit Gurt werden vernachlässigt
- Schraubenbild: vertikal zwei oder vier Schraubenreihen, horizontal zwei Schraubenreihen um den äußeren gezogenen Gurt, oder eine Schraubenreihe unterhalb dieses Gurtes, zur Querkraftübertragung werden alle Schrauben innerhalb der gegenüberliegenden Anschlusshälfte herangezogen

Die Belastung im Riegel besteht allgemein aus Biegemoment $M_{y,d}$, Normalkraft N_d und Querkraft $V_{z,d}$. Für das Biegemoment sind auch Umkehrmomente zulässig.



Nachweis der Zugkraft Z_T im oberen Riegelflansch (Tragfähigkeit des Stirnplattenanschlusses)

Berechnet wird die Zugkraft Z_T im äußeren gezogenen Riegelflansch. Diese darf die plastische Zugkraft $Z_{T,pl}$ nicht überschreiten. Für den Gesamtquerschnitt bedeutet das, dass der Querschnitt nicht plastiziert sein darf, also noch im elastischen Bereich sein muss.

Für den Nachweis der Tragfähigkeit des Stirnplattenanschlusses wird die Kraft Z_T der zulässigen Kraft $Z_{T,zul}$ gegenübergestellt. Je nach Versagensmechanismus werden mehrere zulässige Kräfte $Z_{T,zul}$ berechnet.

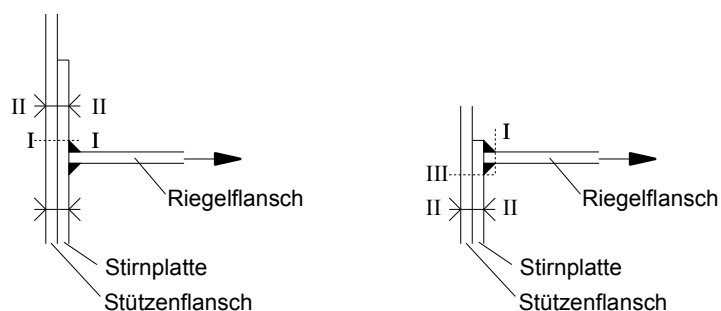
Bei überstehender Stirnplatte

Index	Versagensmechanismus
1	Schubversagen in der Stirnplatte
2	Fließgelenkkette in der Stirnplatte (Platte ist in den Schnitten I-I und II-II durchplastiziert)
3	Schraubenversagen und Fließgelenk in der Stirnplatte (Schnitt I-I)
4	Schraubenversagen und Fließgelenk in der Stirnplatte (Schnitt II-II)

Bei bündiger Stirnplatte

Index	Versagensmechanismus
1	Schubversagen in der Stirnplatte
2	Schraubenversagen und Stirnplatte im Schnitt III-III plastiziert
3	Stirnplatte im Schnitt I-I und III-III plastiziert
4	Schraubenversagen und Stirnplatte im Schnitt II-II plastiziert
5	Schraubenversagen und Zugflansch im Schnitt I-I plastiziert
6	Stirnplatte im Schnitt I-I und Zugflansch im Schnitt I-I plastiziert

Der Auslastungsgrad η ergibt sich aus der kleinsten der zulässigen Zugkräfte.



Weitere Nachweise

- Die Querkraft wird allein über die unteren Schraubenreihen übertragen. Für diese Schrauben erfolgt ein Abscher- und ein Lochleibungsnachweis.
- Nachweis der Gebrauchstauglichkeit gemäß Stahlbauringbuch
- Nachweis der Schweißnaht am Riegelflansch, Belastung aus Biegung und Normalkraft
- Nachweis der Schweißnaht am Riegelsteg, Belastung aus Querkraft
- [Nachweis der Biegespannung im Stützenflansch](#) (Fließlinienmodell)
- Nachweis der Lasteinleitung in den Stützensteg (Rippe)
- [Nachweis des Schubfeldes](#)

Schineis

T-Eck und Knie-Eck ohne Zuglasche

Grundlage: M. Schineis: Vereinfachte Berechnung geschraubter Rahmenecken, in „Der Bauingenieur“ Heft 12/1969 (Jg. 44)

Bei der Berechnung wird von der Annahme ausgegangen, dass die Stirnplatte bei der Verformung eben bleibt. Rein praktisch ist es unmöglich, die inneren Kräfte genau zu erfassen, da hier Scheiben-, Platten- und Stabteile zusammenwirken. Die Rechnung ist also in jedem Fall nur als **Näherungsverfahren** anzusehen!

Voraussetzungen der Anwendbarkeit des Verfahrens nach Schineis:

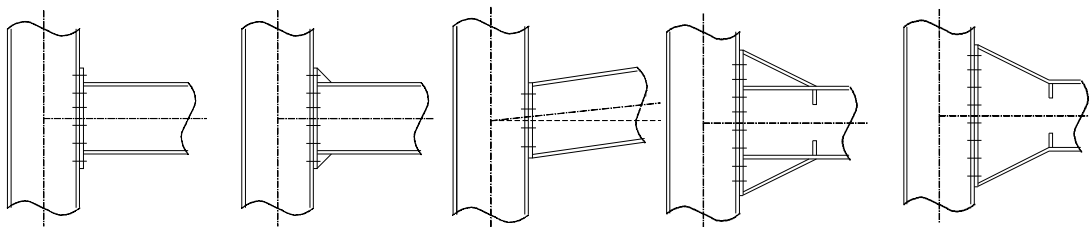
- Flansche und Stirnplatte besitzen ausreichend hohe Steifigkeiten (im Verfahren wird vom ebenbleiben der Stirnplatte ausgegangen)
- an einer Trägerseite muss Zug, an der gegenüberliegenden Druck vorliegen, alternativ: ausschließlich Querkraftübertragung
- Die Schrauben sind nicht vorgespannt!
- im vereinfachten Verfahren ist ein definierter Druckpunkt als Rippe in der Stütze vorhanden
- im genauen Verfahren müssen die Schrauben über die Anschlusshöhe gleichmäßig verteilt sein
- Schraubenbild: es werden alle Schrauben berücksichtigt, die sich innerhalb des Trägerquerschnittes, einschließlich der Aussteifungen mit oder ohne Gurt befinden, außerhalb angeordnete Schrauben werden vernachlässigt

Die Belastung im Riegel besteht allgemein aus Biegemoment M_{yd} , Normalkraft N_d und Querkraft V_{zd} . Die Verhältnisse müssen jedoch derart sein, dass an einer Trägerseite Zugspannungen und an der gegenüberliegenden Seite Druckspannungen auftreten. Das Biegemoment kann auch als Umkehrmoment eingegeben werden. Alternativ ist es möglich, einen reinen Querkraftstoß zu berechnen.

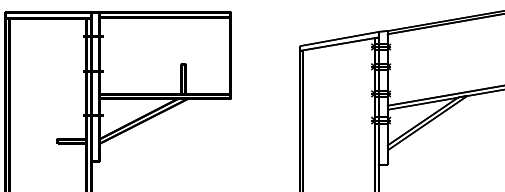
Die Stirnplatte kann bündig oder überstehend ausgeführt werden. Zur Erhöhung der Tragfähigkeit kann die Rahmenecke durch zusätzliche Aussteifungen an der Riegelober- und der Riegelunterseite verstärkt werden. Diese Aussteifungen sind beliebig kombinierbar.

Zur Berechnung werden alle Schrauben herangezogen, die sich innerhalb des Trägerquerschnittes, einschließlich der Aussteifungen mit oder ohne Gurt befinden, Schrauben außerhalb entfallen im Nachweis.

Beispiele T-Eck:



Beispiele K-Eck:



Berechnungsmethode Schineis

Für die Berechnung der Schraubenzugkräfte steht ein "vereinfachtes" und ein "genaueres Verfahren" zur Verfügung.

Welches der beiden Verfahren die geringere Auslastung liefert, ist abhängig von Geometrie und Belastung.

Das **vereinfachte Verfahren** wurde ursprünglich für die Handrechnung konzipiert. Dabei wird die Höhe der Druckzone nicht berechnet, sondern es wird davon ausgegangen, dass die Druckkraft über den äußeren Riegeflansch bzw. den Flansch der Aussteifung übertragen wird. Diese Annahme ist nur dann berechtigt, wenn in der Stütze an der entsprechenden Stelle eine Rippe vorhanden ist, um die Druckkraft aufzunehmen. Der Fehler, der durch diese Vereinfachung gemacht wird, wird kompensiert, indem die Schraubenzugkräfte der Schrauben in der unteren Hälfte des Anschlusses nicht in Rechnung gestellt werden.

Beim **genauen Verfahren** wird die Höhe des Druckbereichs zwischen Stirnplatte und Stütze berechnet. Die Größe der Druckzone kann der Textausgabe des Programms entnommen werden. Die Zugkräfte werden für alle Schrauben in der Zugzone berechnet. Das Rechnungsverfahren von Schineis sieht jedoch auch hierbei eine Vereinfachung vor, die voraussetzt, dass die Schrauben gleichmäßig über die Querschnittshöhe verteilt sind.

Diese Voraussetzung wird vom Programm als erfüllt angesehen, wenn

- der Schwerpunkt des Schraubenbildes nicht mehr als 10% von der Mitte des Querschnittes abweicht;
- der maximale Schraubenabstand e bei n Schraubenreihen nicht größer als $2 \cdot n$ -tels Bereiche der Stirnplatte ist;
- das Verhältnis maximaler zu minimaler Schraubenabstand die Anzahl der Schraubenreihen nicht übersteigt.

Für die maximal belastete Schraube wird die Zugkraft nachgewiesen.

Die vom Anschluss aufnehmbare Querkraft ergibt sich aus den zulässigen Querkraften der Schrauben.

Die Querkraftbeanspruchung in Rahmenecken ist von untergeordneter Bedeutung. Die aufgrund des Momentes vorhandenen Schrauben können die Querkraft über Lochleibung und Abscherkräfte abtragen. Die Verwendung von gleitfesten Verbindungen ist nicht erforderlich, und wird im Programm auch nicht berücksichtigt.

Vorraussetzung für die Anwendbarkeit des Verfahrens nach Schineis ist,

- dass Flansche und Stirnplatte ausreichend hohe Steifigkeiten besitzen
- und dass die Schrauben nicht vorgespannt sind

Nachweise Schineis

Folgende Nachweise werden für das T-Eck und K-Eck ohne Zuglasche nach Schineis geführt:

- Nachweis der Schraubenzugkräfte und der aufnehmbaren Querkraft nach vereinfachtem oder genauem Verfahren
- Nachweis der Zugspannung im Riegelsteg
- Nachweis der Biegespannung in der Stirnplatte
- [Nachweis der Biegespannung im Stützenflansch](#) (Fließlinienmodell)
- Nachweis der Schweißnaht am Riegeflansch, Belastung aus Biegung und Normalkraft.
- Nachweis der Schweißnaht am Riegelsteg, Belastung aus Querkraft.
- [Nachweis der Aussteifung im Druckbereich](#)
- Nachweis der Lasteinleitung in den Stützensteg (Rippe)
- Nachweis der Umlenkkräfte in den Riegelsteg bei Aussteifung (Rippe)
- [Nachweis des Schubfeldes](#)

Knie-Eck mit Zuglasche

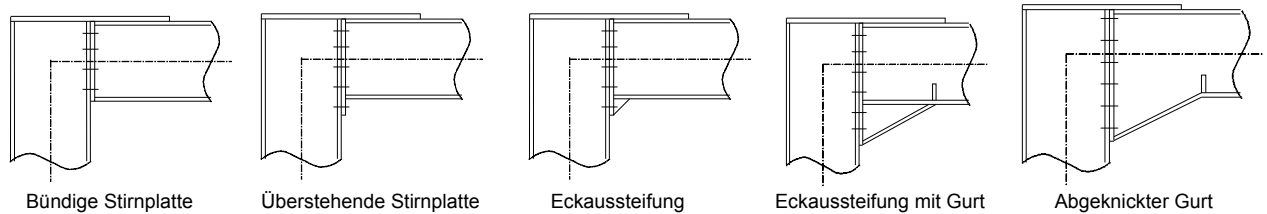
Grundlage: M. Schineis: Vereinfachte Berechnung geschraubter Rahmenecken, in „Der Bauingenieur“ Heft 12/1969 (Jg. 44)

Bei der Berechnung wird von der Annahme ausgegangen, dass die Stirnplatte bei der Verformung eben bleibt. Rein praktisch ist es unmöglich, die inneren Kräfte genau zu erfassen, da hier Scheiben-, Platten- und Stabteile zusammenwirken. Die Rechnung ist also in jedem Fall nur als **Näherungsverfahren** anzusehen!

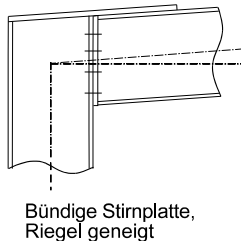
Die Belastung im Riegel besteht allgemein aus Biegemoment M_{yd} , Normalkraft N_d und Querkraft V_{zd} . Die Verhältnisse müssen jedoch derart sein, dass an der Riegeloberkante Zugspannungen und an der Riegelunterkante Druckspannungen auftreten. Das Biegemoment muss negativ sein. Für Umkehrmomente kommen die Komponentenmethode bzw. das Verfahren nach Schineis, wie im oberen Teil beschrieben, zur Anwendung.

Zur Erhöhung der Tragfähigkeit kann die Rahmenecke durch zusätzliche Aussteifungen an der Riegelunterseite verstärkt werden.

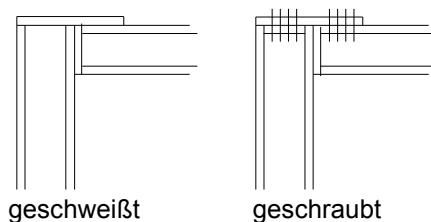
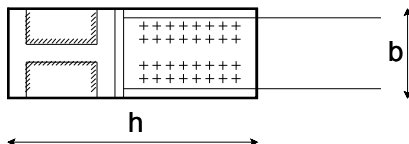
Schraubenbild Stirnplatte: es werden alle Schrauben berücksichtigt, die sich innerhalb des Trägerquerschnittes, einschließlich der Aussteifung mit oder ohne Gurt befinden



Eine Neigung des Riegels ist möglich.



Die Zuglasche kann mit dem Riegel verschweißt oder mit Schrauben verbunden sein. Die Verbindung zwischen Stütze und Zuglasche kann geschweißt oder mit einer zusätzlichen Stirnplatte verschraubt sein.



Nachweise K-Eck Zuglasche

Die Zugkraft an der Riegeloberseite wird allein durch die Zuglasche übertragen. Die Schrauben werden nicht für die Aufnahme des Moments bzw. der Normalkraft herangezogen. Nachgewiesen werden neben der Zuglasche selbst auch die Verbindungen mit dem Riegel und der Stirnplatte.

Ein vereinfachtes Verfahren entsprechend der Berechnung des T-Ecks nach Schineis steht beim K-Eck z.Zt. nicht zur Auswahl.

Die vom Anschluss aufnehmbare Querkraft ergibt sich aus den zulässigen Querkraften aller Schrauben.

Die Querkraftbeanspruchung in Rahmenecken ist von untergeordneter Bedeutung. Die aufgrund des Momentes vorhandenen Schrauben können die Querkraft über Lochleibung und Abscherkräfte abtragen. Die Verwendung von gleitfesten Verbindungen ist nicht erforderlich, und wird im Programm auch nicht berücksichtigt.

Weitere Nachweise:

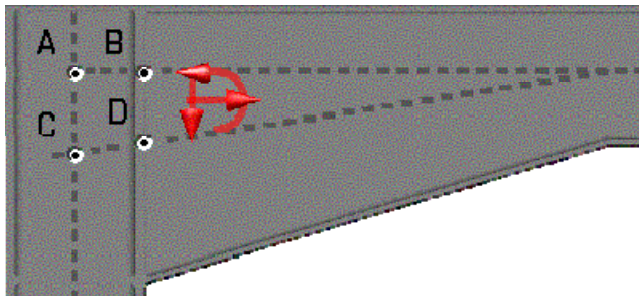
- Nachweis der Schweißnaht am Riegelflansch, Belastung aus Biegung und Normalkraft
- Nachweis der Schweißnaht am Riegelsteg, Belastung aus Querkraft
- [Nachweis der Aussteifung im Druckbereich](#)
- [Nachweis der Lasteinleitung in den Stützensteg](#) (Rippe)
- Nachweis der Umlenkkräfte in den Riegelsteg bei Aussteifungen (Rippe)
- [Nachweis des Schubfeldes](#)

Schnittgrößen

Die Schnittgrößen werden als Bemessungswerte, also γ_F -fach eingegeben.

Prinzipiell kann die Eckverbindung mit den Schnittgrößen, die sich im Knoten (Schnittpunkt) der Systemlinien von Riegel und Stütze ergeben, näherungsweise nachgewiesen werden. Das Programm rechnet jedoch die dem jeweiligen Bezugspunkt zugeordneten Schnittgrößen in die zum Nachweis erforderlichen Anschnittgrößen automatisch um.

Sie können sich je nach Voraussetzung auf die folgenden Punkte beziehen:



- A: Schnitt der Systemlinie Stütze mit der Systemlinie Riegel – ohne Voute
- B: Anschnitt Riegel an der Stütze mit der Systemlinie Riegel – ohne Voute
- C: Schnitt der Systemlinie Stütze mit der Systemlinie Riegel – einschließlich Voute
- D: Anschnitt Riegel an der Stütze mit der Systemlinie Riegel – einschließlich Voute

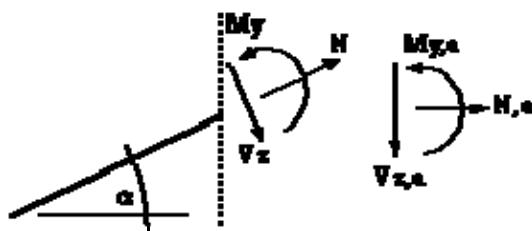
Systemlinie Riegel einschließlich Voute bedeutet hierbei die Winkelhalbierende der Voutenkontur.

Die Schnittgrößen beziehen sich dabei immer auf die Neigung des Riegels (wenn im Punkt A oder B eingegeben) bzw. auf die Neigung der Systemlinie einschließlich Voute (bei Eingabe im Punkt C oder D).

In der Variante „Riegel über Stütze“ können sich die Schnittgrößen optional auf die Stütze oder den Riegel beziehen.

Schnittgrößen die sich in der Variante T-Eck auf die Stütze oben beziehen, können wahlweise im Punkt A oder E eingegeben werden. Punkt E stellt den Schnittpunkt der Systemlinie Stütze mit dem Anschnitt des Schubfeldes oben dar.

Zur Umrechnung der lokalen Ausrichtung der Schnittgrößen auf die horizontale bzw. vertikale Richtung wird folgende Transformation durchgeführt:

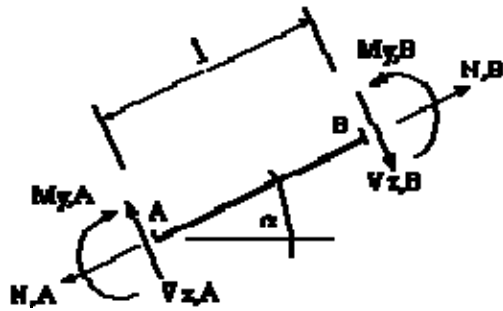


$$M_{y,a} = M_y$$

$$V_{za} = V_z \cdot \cos(\alpha) - N \cdot \sin(\alpha)$$

$$N_a = N \cdot \cos(\alpha) + V_z \cdot \sin(\alpha)$$

Die Umrechnung der Bezugspunkte untereinander sei durch folgende Transformation beispielhaft gezeigt:



$$M_{yB} = M_{yA} + V_{zA} \cdot l$$

$$V_{zB} = V_{zA}$$

$$N_B = N_A$$

Ggf. kann hier noch die Transformation bzgl. der Neigung erforderlich sein (z.B. Punkt C nach A).

Schubfeld

Folgende Ausführung des Schubfelds sind möglich:

- unverstärktes Schubfeld
- verstärktes Schubfeld (einseitige Stegblechverstärkung)
- Schubfeld mit Diagonalsteife, von links oben nach rechts unten

unverstärktes Schubfeld

Es werden folgende Nachweise geführt:

- Nachweis der Spannungen im Schubfeld
- Beulnachweis

verstärktes Schubfeld

Es werden folgende Nachweise geführt:

- Nachweis der Spannungen
- Beulnachweis des Schubfeldes
- Beulnachweis der Verstärkung
- Nachweis der Schweißnaht der Verstärkung

Schubfeld mit Diagonalsteife

Das Schubfeld selbst wird für die Rechnung nicht angesetzt. Die Kraft in der Diagonalsteife wird über ein Fachwerkmodell berechnet.

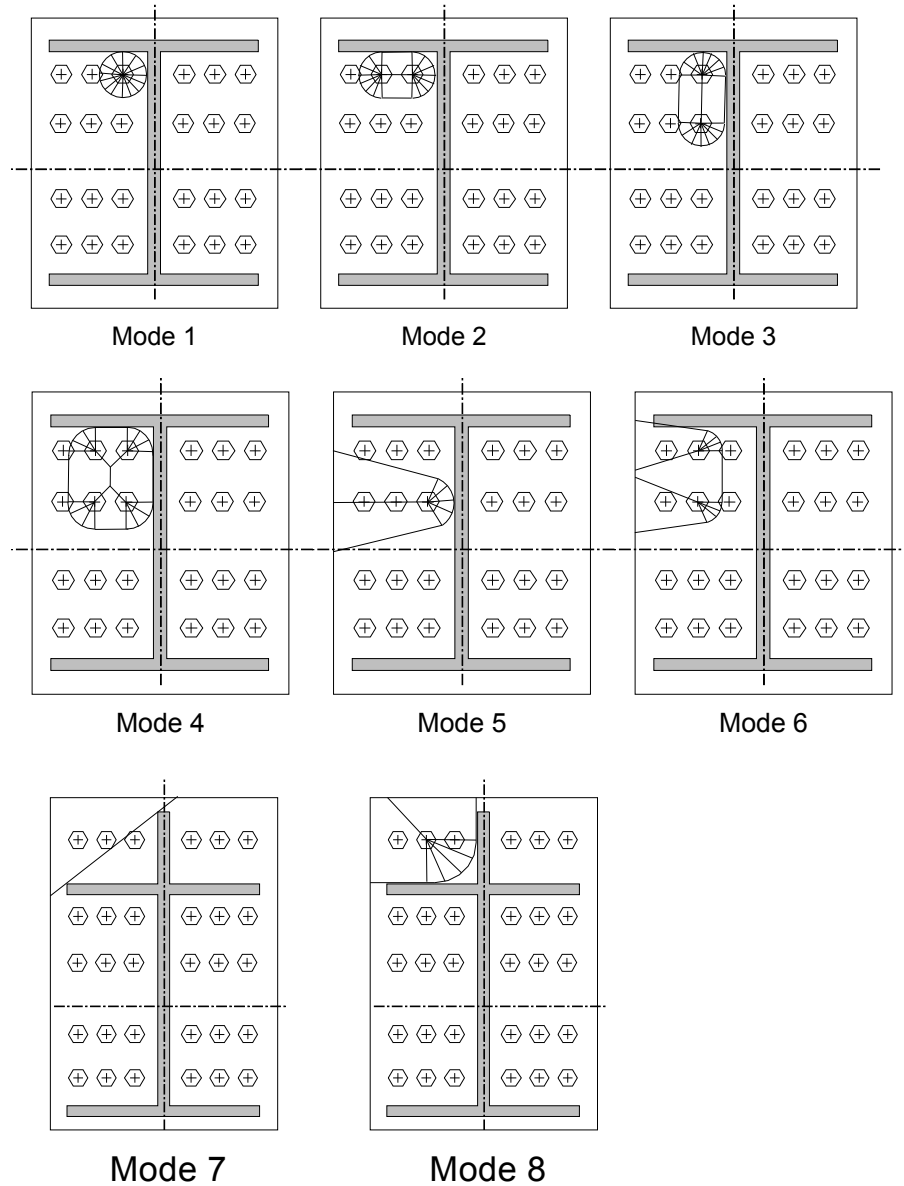
Es werden folgende Nachweise geführt:

- Nachweis der Spannungen in der Diagonalsteife
- Knicknachweis der Diagonalsteife
- Beulnachweis der freien Ränder der Diagonalsteife

Das Komponentenmodell beinhaltet in sich die Nachweise für ein verstärktes bzw. unverstärktes Schubfeld. Nur bei Ausführung mit Diagonalsteifen wird für diese ein gesonderter Nachweis geführt.

Nachweise der Biegespannung im Stützenflansch

Für das Versagen des Stützenflansches wird ein Fließlinienmodell angesetzt. Dabei können verschiedene Versagens-Modi auftreten. Welcher Modus maßgebend ist, kann der Textausgabe entnommen werden.



Die Modi 7 und 8 treten bei Aussteifungen ohne Gurt auf.

Nachweis der Aussteifung im Druckbereich

Folgende Nachweise werden für die Aussteifungen im Druckbereich (untere Aussteifung) geführt:

Eckaussteifung (mit Blech, ohne Gurt)

- Spannungsnachweis
- Beulnachweis. Für die Randfaser wird knickstabähnliches Verhalten unterstellt.

Eckaussteifung mit Gurt

- Spannungsnachweis
- Nachweis des Gurtes als Knickstab.

Eckaussteifung mit abgeknicktem Gurt

- Spannungsnachweis
- Nachweis des Gurtes als Knickstab.

Nachweis der lokalen Krafteinleitung

Für die lokale Krafteinleitung gibt es drei verschiedene Möglichkeiten:

- Krafteinleitung ohne Rippe
- Krafteinleitung mit Rippe

Krafteinleitung ohne Rippen

Der Nachweis der Krafteinleitung ohne Rippen in die Stütze erfolgt entsprechend DIN 18800 (Ausgabe 11/1990) T.1, Element 744.

Die Spannungen σ_x und σ_z beziehen sich auf das lokale Koordinatensystem, wobei x in Richtung der Stabachse weist und z senkrecht dazu steht.

Die Grenzkraft $F_{R,d}$ wird unter Berücksichtigung einer eventuell vorhandenen Normalspannung σ_x ermittelt.

Es gilt nach Gleichung (29) für σ_x und σ_z mit unterschiedlichen Vorzeichen und

$$|\sigma_x| > 0,5 f_{y,k}:$$

$$F_{R,d} = \frac{1}{\gamma_M} \cdot s \cdot l \cdot f_{y,k} (1,25 - 0,5 \cdot |\sigma_x| / f_{y,k})$$

und für alle anderen Fälle die Gleichung (30):

$$F_{R,d} = \frac{1}{\gamma_M} \cdot s \cdot l \cdot f_{y,k}$$

Dabei sind:

- h Höhe des Stützenprofils
- s Stegdicke der Stütze
- l mittragende Länge
- σ_x Normalspannung in der Stütze am maßgebenden Schnitt (Stegausrundungsbeginn im Stützenprofil auf der Seite des Riegelanschlusses)

Der Beulsicherheitsnachweis für den Steg wird vom Programm automatisch geführt (erforderlich für Stegslankheiten $h/s > 60$).

Sind die Voraussetzungen für rippenlose Krafteinleitung nicht erfüllt, oder reicht die Tragfähigkeit der rippenlosen Krafteinleitung nicht aus, besteht die Möglichkeit, Rippen anzuordnen.

Krafteinleitung mit Rippen

Bemessung und Konstruktion erfolgt nach Kahlmeyer, Stahlbau nach DIN 18800(11.9), Abschnitt 8, S.308.

Rippen können je nach Rahmenecke sowohl in der Stütze als auch im Riegel angeordnet werden.

Beim **dreiseitigen Rippenanschluss** sind alle drei Seiten der Rippe durch Schweißnähte mit dem Profil verbunden, d.h. die Rippenhöhe h_r ist maximal die Profilhöhe abzüglich der Flanschdicken. Diese Ausführung ist geeignet bei hohen und dünnen Stegen, um Beulen des Steges auszuschalten.

Beim **zweiseitigen Rippenanschluss** ist die Rippenhöhe geringer als im o.g. Fall, die Krafteinleitung erfolgt daher nur durch die Schweißnähte am Steg und am Flansch der belasteten Profelseite.

Kraftverteilung an den Rippen

Für die Einleitung der Kräfte in die Rippen werden folgende Annahmen getroffen:

- gleichmäßige Verteilung der einzuleitenden Kraft F auf die Länge $(2 \cdot b_R + s)$;
- im Bereich $(2 \cdot c_R + s)$ wird die Gleichlast $F / (2 \cdot b_R + s)$ unmittelbar übernommen.

b_R - Rippenbreite

c_R - Aussparung der Rippe am Steg/Flansch

s - Stegdicke

- Auf jede Aussteifungsrippe entfällt die lotrechte Kraft

$$F_1 = F \cdot (b_R - c_R) / (2 \cdot b_R + s),$$

die am belasteten Flansch im Bereich $(b_R - c)$ gleichmäßig verteilt und im Abstand

$$e_1 = (b_R + c_R) / 2 \text{ vom Steg angreift.}$$

Das dadurch hervorgerufene Moment $M = F_1 \cdot e_1$ wird durch die entgegengesetzt wirkende Kraft F_2 aufgehoben.

Bei der Berechnung von F_2 werden zwei Fälle unterschieden:

Zweiseitiger Rippenanschluss

- die Rippe ist nicht über die gesamte Steghöhe durchgeführt
- dreieckige Pressungsverteilung im Bereich $(h_R - c)$ mit Hebelarm

$$e_2 = (2 \cdot h_R + c_R) / 3$$

$$\text{Aus } F_1 \cdot e_1 = F_2 \cdot e_2$$

$$\text{folgt } F_2 = F_1 \cdot e_1 / e_2$$

Dreiseitiger Rippenanschluss

- die Rippe ist über die gesamte Steghöhe durchgeführt
- die Kraft F_2 greift oben und unten an der Rippe im Abstand h_R an

$$e_2 = h_R$$

$$F_2 = F_1 \cdot e_1 / e_2$$

Siehe Kapitel [Rippendicke](#)

Nachweis der Schweißnähte an den Rippen

Aus den Kräften F_1 und F_2 (Kraftverteilung Rippen) ergeben sich die Beanspruchungen der Schweißnähte. Alle Schweißnähte werden als Doppelkehlnaht ausgebildet mit der Dicke a_w und der Länge l_w je Seite .

Die konstruktive Schweißnahtdicke wird überprüft.

Zweiseitiger Rippenanschluss

Naht am belasteten Flansch (Index 1)

Schweißnahtlänge: $l_{w,1} = b_R - c_R$

- Normalspannung senkrecht in Nahrichtung infolge F_1

$$\sigma_{ws,1} = F_1 / (2 \cdot l_{w,1} \cdot a_w)$$

- Schubspannung parallel in Nachrichtung infolge F_2

$$\tau_{wp,1} = F_2 / (2 \cdot l_{w,1} \cdot a_w)$$

- Vergleichspannungsnachweis

$$\sigma_{wv,1} = \sqrt{\sigma_{ws,1}^2 + \tau_{wp,1}^2}$$

Naht am Steg (Index 2)

Schweißnahtlänge: $l_{w,2} = h_R - c_R$

- Normalspannung senkrecht in Nahrichtung infolge F_2

Die Kraft F_2 greift im Schwerpunkt des Normalspannungsdreiecks und damit:

$$\sigma_{ws,2} = 2 \cdot F_2 / (2 \cdot l_{w,2} \cdot a_w)$$

- Schubspannung parallel in Nahrichtung infolge F_1 :

$$\tau_{wp,2} = \frac{F_1}{2 \cdot l_{w,2} \cdot a_w}$$

- Vergleichspannungsnachweis

$$\sigma_{wv,2} = \sqrt{\sigma_{ws,2}^2 + \tau_{wp,2}^2}$$

Dreiseitiger Rippenanschluss

Naht am belasteten Flansch (Index 1) siehe Fall 1

Naht am Steg (Index 2)

Es wirken nur Schubspannungen infolge F_1

$$l_{w,2} = h_R - 2 \cdot c_R$$

$$\tau_{wp,2} = F_1 / (2 \cdot l_{w,2} \cdot a_w)$$

Naht am unbelasteten Flansch (Index 3)

Es wirken nur Schubspannungen infolge F_2

$$l_{w,3} = b_R - c_R$$

$$\tau_{wp,3} = F_2 / (2 \cdot l_{w,3} \cdot a_w)$$

siehe auch Kapitel [Grenzsweißnahtspannung](#)

Zusätzliche Erläuterungen

Rippendicke

Konstruktiv sollte die Rippendicke den Abmessungen von Steg und Flansch des Profils angepasst werden.

Die Mindestdicke ergibt sich aus der Beanspruchung des Rippenquerschnitts am belasteten Flansch (Naht Index 1):

Querschnittsfläche:

$$A_R = t_R \cdot (b_R - c_R)$$

Vergleichsspannung:

$$\sigma_v = \frac{\sqrt{F_1^2 + 3 \cdot F_2^2}}{A_R}$$

rechnerisch erforderliche Rippendicke:

$$\text{erf } t_R \leq \frac{\sqrt{F_1^2 + 3 \cdot F_2^2}}{\text{zul} \sigma \cdot (b_R - c_R)}$$

F_1, F_2 - siehe: [Kraftverteilung an den Rippen](#)

b_R - Rippenbreite

c_R - Aussparung der Rippe am Steg/Flansch

Kehlnähte-Grenzwerte

Die Nahtdicke a_w sollte folgende Grenzwerte nicht über- bzw. unterschreiten:

$$2 \text{ mm} \leq a_w \leq 0,7 \cdot \min t$$

und

$$a_w \geq \sqrt{\max t} - 0,5$$

Diese Grenzwerte werden vom Programm überprüft.

Die Länge der Schweißnaht l_w darf rechnerisch nur berücksichtigt werden, wenn

$l_w \geq 6 \cdot a_w$ bzw. l_w mindestens 30 mm beträgt.

t = Dicke des anzuschließenden Querschnittsteils

bei $t > 30$ → $a_w \geq 5 \text{ mm}$

Grenzsweißnahtspannung

Die Grenzsweißnahtspannung $\sigma_{w, Rd}$ wird nach DIN 18800 Teil 1 Abschnitt 8.4.1.3, Element 829 ermittelt.

Nachweisführung:

$$\text{vorh. } \sigma_w / \sigma_{w, Rd} \leq 1$$

$$\sigma_{w, Rd} = \alpha_w \cdot f_{yk} / \gamma_M$$

σ_{Rd} = Grenzsweißnahtspannung

α_w = Faktor nach DIN 18800 Teil 1, Tab.21, Spalte 4

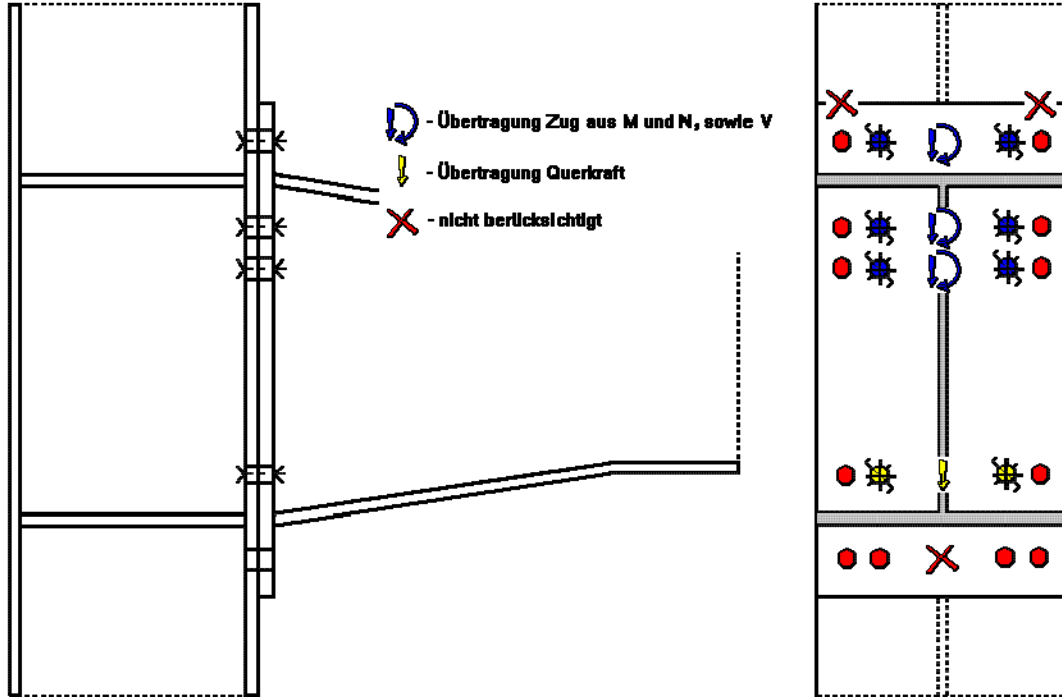
f_{yk} = charakteristischer Wert der Streckgrenze für Grundwerkstoff nach DIN 18800 Teil 1, Tab.1 für Erzeugnisdicken bis 40 mm

γ_M = 1,1 nach DIN 18800 Teil 1, (720)

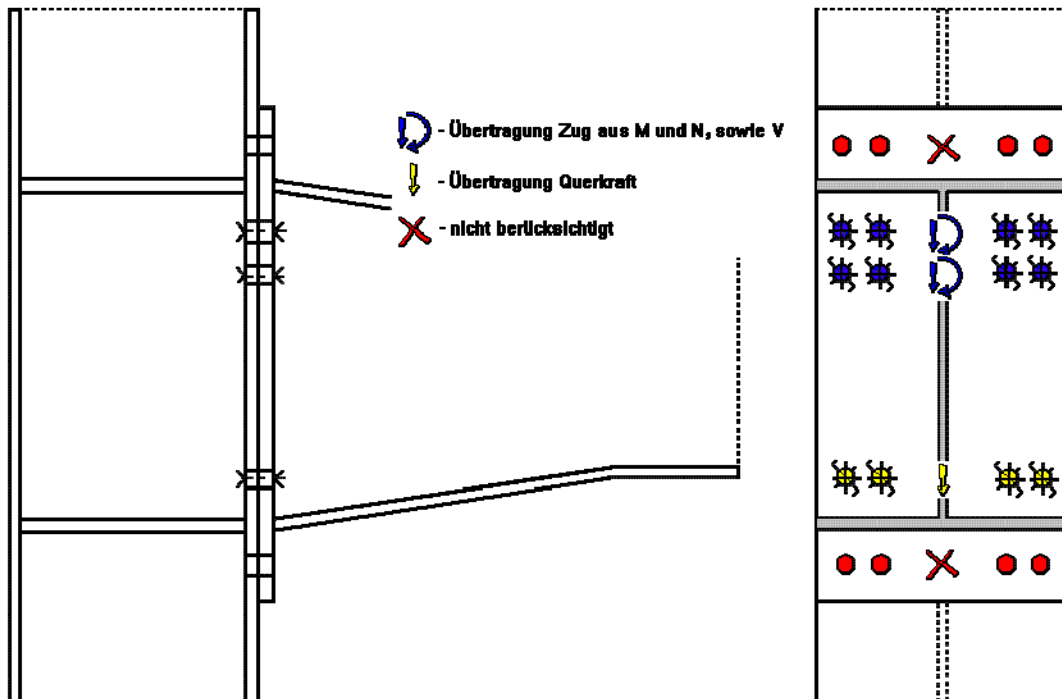
Anhang:

Beispiele: Schraubenbilder für negatives Moment (Zug oben)

Komponentenverfahren



Schneis



DSTV/DAST

