



4H-EC3BV Stahlbau-Basisverbindungen

Detailinformationen

Seite überarbeitet Dezember 2023

• Kontakt

• Programmübersicht

• Bestelltext

Infos auf dieser Seite

... als pdf

- | | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| • allgemeine Einstellungen | • T-Stummel Zugbeanspruchg. | • Anschlussbleche |
| • Schrauben / Niete / Bolzen | • T-Stummel Zug 4 Schrauben | • Stahlsorten |
| • Tragfähigkeit Schraubverb. . | • T-Stummel Druckbeansprg. | • grafische Darstellung |
| • Tragfähigkeit Schweißverb. | • nationale Anhänge Eurocodes | • Ausdrucksteuerung |

allgemeine Einstellungen



Mit dem Programm 4H-EC3BV (Basisverbindungen) können die grundlegenden Verbindungsarten, die in EC3-1-8 u. NA geregelt sind, bemessen werden:

- **Schraubenverbindungen**
- **Schweißverbindungen**
- T-Stummelverbindungen mit **Zugbeanspruchung**
- ... **Druckbeanspruchung**

Die Verbindungsarten berufen sich hinsichtlich ihrer Teilsicherheitsbeiwerte entweder auf EC3-1-8, 2.2(2), Tab.2.1, oder auf die Grundnorm EC3-1-1, 6.1(1).

Diese Werte können über die Parameterliste eines nationalen **Anwendungsdokuments** (z.B. nationaler Anhang für Deutschland: EC3-1-8/NA-DE) manipuliert werden.

In der Ausgabeliste werden dann diejenigen Bemessungsparameter protokolliert, die für die gewählten Verbindungstypen maßgebend sind.

Ermittlung der Tragfähigkeit

- einer Schrauben-, Niet- oder Bolzenverbindung
- einer Schweißverbindung
- eines T-Stummels unter Zugbelastung
- eines T-Stummels unter Druckbelastung
- einschl. Ermittlung der Ausnutzungen infolge Belastung (Nachweis)

Bei Aktivierung eines Verbindungstyps werden die Parameter im zugehörigen Registerblatt dargestellt und können bearbeitet werden.

Es besteht die Möglichkeit, nur die Tragfähigkeiten zu berechnen oder eine Auswertung gegenüber vorgegebenen Lasten durchzuführen (Nachweis).

Bei Aktivierung des Buttons **einschl. Ermittlung der Ausnutzungen...** werden in den entsprechenden Registerblättern auch Felder zur Eingabe der Belastung freigegeben.

Eine weitere Möglichkeit der Eingabesteuerung besteht darin, die Stahlsorten aller zu verbindenden Bleche einheitlich zu wählen.

Dazu wird im ersten Registerblatt zur Eingabe der allgemeinen Einstellungen der entsprechende Button aktiviert und die **Stahlorte** gewählt.

In den nachfolgenden Registerblättern werden dann die Stahlsorten der Verbindungsbleche nicht mehr angeboten.

Steuerung der Programmeingabe

- einheitliche Stahlorte für alle Verbindungsbleche
 Stahlorte Vorgabe
- Schrauben- und Blechparameter abgleichen

Außerdem kann die Eingabe dahingehend erweitert werden, dass Schrauben- und Blechparameter aller Registerblätter abgeglichen werden, d.h. bei Abänderung z.B. der Blechdicke t wird diese in das entsprechende Eingabefeld der anderen Verbindungsarten übernommen und steht damit generell der Berechnung der Basisverbindungen zur Verfügung.

Schrauben - Niete - Bolzen

4H-EC3 - Basisverbindungen [Position 11: Basisverbindungen]

Schrauben-, Niet- oder Bolzenverbindung:

Verbindungsmittel:

Schraubengröße: Vorgabe

Festigkeitsklasse: Vorgabe

normale Schlüsselweite
 große Schlüsselweite
FK 8.8 oder 10.9: HU-Schraube planmäßig vorgespannt

Passschraube
 gleitfeste Verbindung
 normales Lochspiel
 Langloch horizontal
 Langloch vertikal
 Senkschraube

Anschlussbleche

Blech 1: Blechdicke t_1 mm

Blech 2: Blechdicke t_2 mm ohne Nachweis

Futterblech

Nachweisparameter

einschittiger Anschluss
 zweischittiger Anschluss

Kategorie der Scherverbindungen:

Gewinde liegt in der Scherfuge
 Schaft liegt in der Scherfuge

In Krafrichtung:

Randabstand (Blech 1) $e_{1,1}$ mm

Randabstand (Blech 2) $e_{1,2}$ mm

Lochabstand p_1 mm

Quer zur Krafrichtung:

Randabstand e_2 mm

Lochabstand p_2 mm

einschittiger Anschluss mit nur einer Schraubenreihe in Krafrichtung
 Loch-/Randabstände nicht überprüfen

Gleitflächenklasse:

Nettoquerschnitt im kritischen Schnitt A_{net} cm²

Kategorie der Zugverbindungen:

Belastung je Schraube

Zugkraft $F_{t,Ed}$ kN

Zugkraft im GZG $F_{t,Ed,ser}$ kN

maximale Ausnutzung $U_{max} =$ XXXXXX

Bild vergrößern



Für geschraubte Verbindungen werden folgende Verbindungsmittel angeboten:

Schrauben-, Niet- oder Bolzenverbindung:

- Verbindungsmittel**
- Schrauben
 - Schrauben
 - Niete
 - Injektionsschrauben
 - Bolzen

Die Berechnung der Tragfähigkeit erfolgt mit den Parametern der genormten Größen oder mit den vom Anwender eingegebenen Werten.

Durch Betätigen des Buttons **Vorgabe** werden die im Programm verwendeten Parameter freigegeben und können verändert werden.

Schrauben, Injektionsschrauben

Die Rechenparameter für die gängigen Schraubengrößen M12, M16, M20, M22, M24, M27, M30, M36 und die nach EC 3-1-8, 3.1(2), zugelassenen Festigkeitsklassen 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.8, 8.8, 10.9 sind im Programm hinterlegt.

Die in Deutschland nicht vorgesehenen Festigkeitsklassen (s. NA-DE) sind gekennzeichnet; bei Anwahl des deutschen Nationalen Anhangs können diese nicht verwendet werden.

Schraubenverbindungen sind auf Abscheren, Gleiten, Lochleibung zwischen Schaft und Anschlussblechen und Zug zu bemessen.

Verbindungsmittel		Schraube	
Schraubengröße	M20	<input checked="" type="checkbox"/> Vorgabe	
Schaftdurchmesser	d	20.0	mm
Nennlochspiel	Δd	2.0	mm
Bruttofläche (Schaft)	A	3.142	cm ²
Spannungsfläche	A _s	2.450	cm ²
Schraubenkopf-Schlüsselweite	d _s	32.0	mm
Schraubenkopf-Eckenmaß	d _e	35.03	mm
Schraubenkopfhöhe	t _k	12.5	mm
Höhe der Mutter	t _m	16.0	mm
Unterlegscheibe-Durchmesser	d _p	37.0	mm
Unterlegscheibe-Blechdicke	t _p	4.0	mm
Unterlegscheibe		<input type="radio"/> einseitig <input checked="" type="radio"/> beidseitig	
Festigkeitsklasse	8.8	<input type="checkbox"/> Vorgabe	
<input type="radio"/> normale Schlüsselweite		<input checked="" type="radio"/> große Schlüsselweite	
<input type="checkbox"/> Passschraube		FK 8.8 oder 10.9: HV-Schraube planmäßig vorgespannt	
<input checked="" type="checkbox"/> gleitfeste Verbindung			
Vorspannkraft je Schraube	F _{p,C}	0.0	kN
		= 0: volle Vorspannung	
<input type="radio"/> normales Lochspiel		<input type="radio"/> übergroßes Loch	
<input type="radio"/> kurzes Langloch \perp Krafrichtung		<input type="radio"/> kurzes Langloch \parallel Krafrichtung	
<input checked="" type="radio"/> großes Langloch \perp Krafrichtung		<input type="radio"/> großes Langloch \parallel Krafrichtung	
großes Lochspiel	$\Delta d_{\text{groß}}$	5.0	mm
<input checked="" type="checkbox"/> Senkschraube	t _{k,s}	12.5	mm
	t _{m,s}	0.0	mm

Bei den gängigen Schraubengrößen kann zwischen normaler und großer Schlüsselweite (Schraubenkopfgröße) unterschieden werden.

Die Auswirkungen betreffen die Schraubengeometrie in Eckenmaß/Schlüsselweite/Höhe des Schraubenkopfes, Höhe der Mutter und Blechdicke/Durchmesser der Unterlegscheiben.

Bei normaler Schlüsselweite wird nur eine Unterlegscheibe, bei großer Schlüsselweite werden zwei Unterlegscheiben angeordnet.

Eine Passschraube wird rechnerisch ohne Nennlochspiel verwendet.

Hochfeste Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 oder 10.9 mit großer Schlüsselweite und normalem Lochspiel werden programmintern als planmäßig vorgespannt, in einer gleitfesten Verbindung als kontrolliert voll vorgespannt angesehen (EC 3-1-8, 3.1.2).

Die Vorspannkraft kann bei Bedarf angegeben werden.

Kleine Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 oder 10.9 können ebenfalls vorgespannt sein.

Wird die Schraube als Senkschraube verwendet, reduzieren sich der Lochleibungswiderstand und die Zugtragfähigkeit infolge der um die Versenkung des Kopfes t_{k,s} und/oder der Mutter t_{m,s} verringerten Blechdicke.

Das Nennlochspiel bestimmt die Lochleibungstragfähigkeit und den Gleitwiderstand.

Im EC 3-1-8 werden die im Bild oben angegebenen Locharten unterschieden.

Verbindungsmittel	Injektionsschrauben ▾	
Schraubengröße	M20 ▾	<input type="checkbox"/> Vorgabe
Festigkeitsklasse	8.8 ▾	<input type="checkbox"/> Vorgabe
Festigkeit des Injektionsharzes	$f_{b,resin}$	240.0 N/mm ²

Injektionsschrauben werden als Alternative zu normalen Schrauben oder Nieten insbesondere bei der Instandsetzung von Stahltragwerken verwendet.

In den Zwischenraum zwischen Schraubenschaft und Lochwandung wird ein Injektionsharz eingefüllt, um die Belastung infolge Schlupf zu vermeiden.

Dadurch ist neben Abscheren, Gleiten und Zug die Lochleibungstragfähigkeit zwischen Injektionsharz und Anschlussblechen nachzuweisen.

Niete

Niete (Halbrundniete oder Senkniete) werden heutzutage kaum noch verwendet; die Kenntnis der Bemessung ist jedoch für die Nachrechnung bestehender Bauwerke unumgänglich.

Durch das Einschlagen der erwärmten Niete werden die Nietlöcher stets vollständig ausgefüllt, so dass neben der Festigkeit des Nietwerkstoffs nur der Durchmesser des Nietlochs eingegeben werden muss.

Nietverbindungen sind für die Übertragung von Scher-, Lochleibung- und Zugkräften zu bemessen.

Verbindungsmittel	Niete ▾	
Nietwerkstoff	USt 36 ▾	s. NA-DE
Nietlochdurchmesser	d_0	20.0 mm

Derzeit sind im EC 3-1-8 keine Bezugsnormen für den Nietwerkstoff angegeben, weshalb die deutschen Nietwerkstoffe USt 36 und RSt 38 (s. Kindmann/Stracke) angeboten werden.

Zudem besteht die Möglichkeit, den Nietwerkstoff über eine Stahlsorte nach DIN EN 1993-1-1 vorzugeben, wobei bei Einsatz der Stahlsorte S235 nach EC 3-1-8, 6.3.1(15), die Zugfestigkeit mit $f_{ur} = 400 \text{ N/mm}^2$ angesetzt wird.

Bolzen

Bolzen (Kopf- oder Gewindebolzen) dienen zur reibungsfreien Übertragung großer Zugkräfte in den Anschlussblechen, wodurch sie auf Abscheren und Biegung beansprucht werden.

Soll der Bolzen austauschbar sein, ist auch im GZG die Schertragfähigkeit nachzuweisen.

Verbindungsmittel	Bolzen ▾	
Bolzenwerkstoff	Festigkeitsklasse 4.8 ▾	s. NA-DE
Bolzendurchmesser	d	32.0 mm
Bolzenlochdurchmesser	d_0	40.0 mm
<input checked="" type="checkbox"/>	Bolzen austauschbar	

Derzeit sind im EC 3-1-8 keine Bezugsnormen für den Bolzenwerkstoff angegeben, weshalb die deutschen Bolzenwerkstoffe *Festigkeitsklasse 4.8* und *S235J2 + C450* (s. NA-DE) angeboten werden.

Zudem besteht die Möglichkeit, den Bolzenwerkstoff über eine Stahlsorte nach DIN EN 1993-1-1 vorzugeben.

Die Anschlussbleche werden als Augenstäbe ausgeführt und müssen vorgegebenen geometrischen Bedingungen genügen.

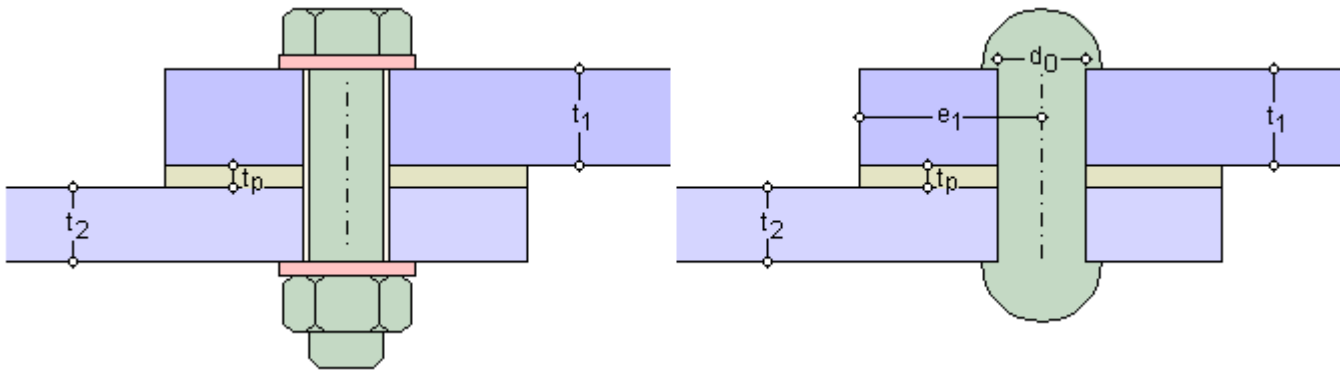
Tragfähigkeit von Schraubenverbindungen



Verbindungen **Schrauben** (einschl. Injektionsschrauben) und Nieten können auf Abscheren (EC 3-1-8, 3.6+3.7+3.9) und Zug (EC 3-1-8, 3.6) beansprucht werden, wohingegen Bolzenverbindungen auf Abscheren und Biegung (EC 3-1-8, 3.13.2) bemessen werden.

Die **Anschlussbleche** werden hier nicht bemessen!

Schrauben und Niete



Zur Ermittlung der Tragfähigkeit sind Schraubenverbindungen in Kategorien einzuteilen (Niete sind nicht vorgespannt und können demnach nur nach Kategorie A und/oder D bemessen werden).

• Scherbeanspruchung

- Kategorie A: Scher-/Lochleibungsverbindung für Schrauben aller Festigkeitsklassen ohne Vorspannung
 - Bemessungswert der Schertragfähigkeit
 - Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit
- Kategorie B: Gleitfeste Verbindung (GZG) für hochfeste vorgespannte Schrauben
 - Bemessungswert des Gleitwiderstands im GZG
 - Bemessungswert der Schertragfähigkeit
 - Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit
 - Injektionsschrauben: Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit des Injektionsharzes
- Kategorie C: Gleitfeste Verbindung (GZT) für hochfeste vorgespannte Schrauben
 - Bemessungswert des Gleitwiderstands im GZT
 - Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit
 - Injektionsschrauben: Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit des Injektionsharzes
 - bei Zugverbindungen: Bemessungswert des plastischen Widerstands des Nettoquerschnitts im kritischen Schnitt durch die Schraubenlöcher

• Zugbeanspruchung

- Kategorie D: Zugbeanspruchung für Schrauben aller Festigkeitsklassen ohne Vorspannung
 - Bemessungswert der Zugtragfähigkeit
 - Bemessungswert der Durchstanztragfähigkeit
- Kategorie E: Zugbeanspruchung für hochfeste vorgespannte Schrauben
 - Bemessungswert der Zugtragfähigkeit
 - Bemessungswert der Durchstanztragfähigkeit

Berechnung der Tragfähigkeiten von Schrauben und Nieten

Beispielhaft ist hier das Eingabeblatt zur Berechnung der Tragfähigkeit einer Schraube dargestellt.

einschrittiger Anschluss
 mehrschrittiger Anschluss

Kategorie der Scherverbindungen C

Gewinde liegt in der Scherfuge
 Schaft liegt in der Scherfuge

In Krafrichtung:

Randabstand e_1 50,0 mm
 Lochabstand p_1 70,0 mm

innen liegende Schraube
 am Rand liegende Schraube

Quer zur Krafrichtung:

Randabstand e_2 30,0 mm
 Lochabstand p_2 55,0 mm

innen liegende Schraube
 am Rand liegende Schraube

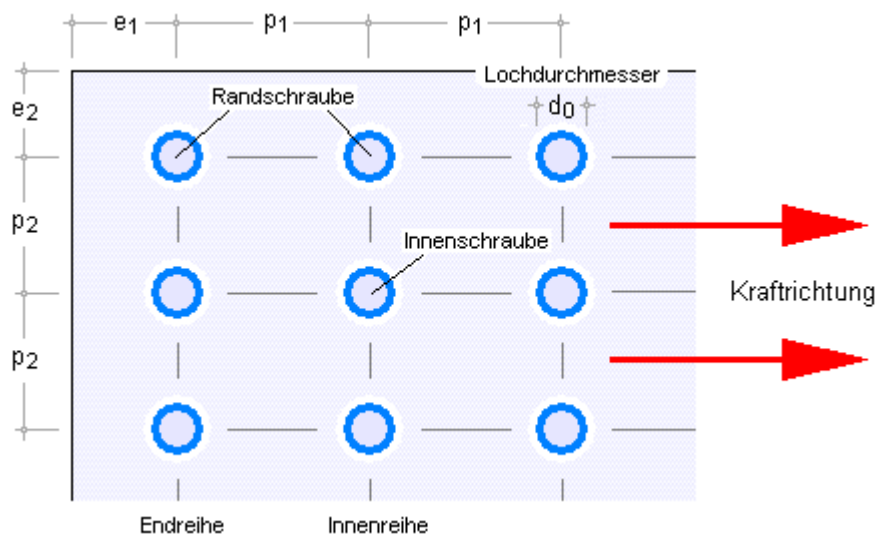
einschrittiger Anschluss
 mehrschrittiger Anschluss

Gleitflächenklasse A

Nettoquerschnitt im kritischen Schnitt A_{net} 11,250 cm²

Kategorie der Zugverbindungen E

Die Abstände sind folgendermaßen definiert



Rand- und Lochabstände werden nach EC 3-1-8, Tab.3.3, überprüft.

Ist der Lochabstand $p_1 = 0$, besteht der Anschluss nur aus einer Schraubenreihe (s. bes. Regel zur Lochleibungstragfähigkeit für einschrittige Schraubenverbindungen).

Ist auch $p_2 = 0$, besteht die Verbindung nur aus einer Schraube / einem Niet.

Verbindungen mit nur einem Niet sind nicht zu verwenden (EC 3-1-8, 3.6.1(10))!

• Abscheren je Scherfuge

- Schraube

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot \bar{A}}{\gamma_{M2}} \quad \text{mit} \quad \begin{cases} \text{Gewinde in der Scherfuge} & \left\{ \begin{array}{l} \alpha_v = 0.6 \quad \dots \text{für} \quad \dots \text{FK 4.6, 5.6, 8.8} \\ \alpha_v = 0.5 \quad \dots \text{für} \quad \dots \text{FK 4.8, 5.8, 6.8, 10.9} \end{array} \right\} \quad \dots \text{und} \quad \dots \bar{A} = A_s \\ \text{Schaft in der Scherfuge} & \alpha_v = 0.6 \quad \dots \dots \dots \quad \dots \text{und} \quad \dots \bar{A} = A \end{cases}$$

Niet

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ur} \cdot A_0}{\gamma_{M2}}$$

Die Abschertragfähigkeit wird nur angesetzt, wenn die Schraubenlöcher ein normales Lochspiel haben (EC 3-1-8, 3.6.1(4)).

Übertragen Schrauben oder Niete Scherkräfte über Futterbleche, ist die Schertragfähigkeit abzumindern mit

$$\beta_p = \frac{g \cdot d}{8 \cdot d + 3 \cdot t_p} \leq 1.0 \quad \dots \text{ (EC 3-1-8, 3.6.1(12))}$$

• Lochleibung

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad \dots \text{ mit } \dots \alpha_b = \min \left(\alpha_d, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1.0 \right)$$

Beiwert α_d in Krafrichtung

- in der Endreihe liegende Schrauben/Niete $\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0}$
- in der Innenreihe liegende Schrauben/Niete $\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}$

Beiwert k_1 quer zur Krafrichtung

- am seitlichen Rand liegende Schrauben/Niete $k_1 = \min \left(2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5 \right)$
- innen liegende Schrauben/Niete $k_1 = \min \left(1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5 \right)$

Die Lochleibungstragfähigkeit wird bei Schraubenverbindungen mit großem Lochspiel auf 80%, mit Langlöchern, deren Längsachse quer zur Krafrichtung verläuft, auf 60% abgemindert (EC 3-1-8, Tab.3.4, 1)).

Bei Senkschrauben wird bei der Berechnung der Lochleibungstragfähigkeit die Blechdicke t abzüglich der Hälfte der Senkung angesetzt (EC 3-1-8, Tab.3.4, 2)).

In einschnittigen Anschlüssen mit nur einer Schraubenreihe ($p_1 = 0$ und $n = 1$) ist die Lochleibungstragfähigkeit zu begrenzen $\Rightarrow k_1 \cdot \alpha_b \leq 1.5$.

Verbindungen mit nur einem Niet sollten nicht verwendet werden (EC 3-1-8, 3.6.1(10))!

Bei Injektionsschrauben ist die Lochleibungstragfähigkeit des Injektionsharzes zu ermitteln (EC 3-1-8, 3.6.2.2(5)):

$$F_{b,Rd,resin} = \frac{k_t \cdot k_s \cdot d \cdot t_{b,resin} \cdot \beta \cdot f_{b,resin}}{\gamma_{M4}} \quad \dots \text{ mit } \dots$$

$$k_t = \begin{cases} 1.0 & \text{im GZG (Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit)} \\ 1.2 & \text{im GZT (Grenzzustand der Tragfähigkeit)} \end{cases}$$

$$k_s = 1.0 - 0.1 \cdot m \quad \dots \text{ mit } \dots m = \Delta d_{\text{groß}} - \Delta d \quad (\text{s. Parameter einer Schraube})$$

$$\beta = 1.66 - 0.33 \cdot (t_1/t_2) \begin{cases} \leq 1.33 \\ \geq 1.0 \end{cases}$$

$$t_{b,resin} = 2 \cdot t_2 \leq 1.5 \cdot d \quad \dots \text{ für } \dots t_1/t_2 \geq 2.0$$

$$t_{b,resin} = t_1 \leq 1.5 \cdot d \quad \dots \text{ für } \dots 1.0 < t_1/t_2 < 2.0$$

$$t_{b,resin} = t_1 \leq 1.5 \cdot d \quad \dots \text{ für } \dots t_1/t_2 < 1.0$$

• Zug

- Schraube

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad \dots \text{ mit } \dots \begin{cases} k_2 = 0.63 & \text{bei Senkschrauben} \\ k_2 = 0.9 & \text{sonst} \end{cases}$$

- Niet

$$F_{t,Rd} = \frac{0.6 \cdot f_{ur} \cdot A_0}{\gamma_{M2}}$$

• Durchstanzen

- Schraube (bei Niet nicht erforderlich)

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

• Kombination von Scher-/Lochleibung und Zug

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

• Gleiten

- im GZT

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,C}$$

- im GZG

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3,ser}} \cdot F_{p,C}$$

$F_{p,C} = 0.7 \cdot f_{ub} \cdot A_s$ Vorspannkraft bei Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9

$k_s = 1.0$ für Schrauben in Löchern mit normalem Lochspiel

$k_s = 0.85$ übergroßen Löchern

$k_s = 0.85$ kurzen Langlöchern \perp Krafrichtung

$k_s = 0.7$ großen Langlöchern \perp Krafrichtung

$k_s = 0.76$ kurzen Langlöchern \parallel Krafrichtung

$k_s = 0.63$ großen Langlöchern \parallel Krafrichtung

n Anzahl Reiboberflächen (=1 bei einschnittigen Verbindungen)

μ Reibungszahl für vorgespannte Schrauben nach Gleitflächenklassen (s. EC 3-1-8, 3.9.1, Tab.3.7)

Bei kombinierter Scher- und Zugbeanspruchung ist der Gleitwiderstand je Schraube wie folgt anzunehmen (EC 3-1-8, 3.9.2):

- im GZT

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot (F_{p,C} - 0.8 \cdot F_{t,Ed})$$

- im GZG

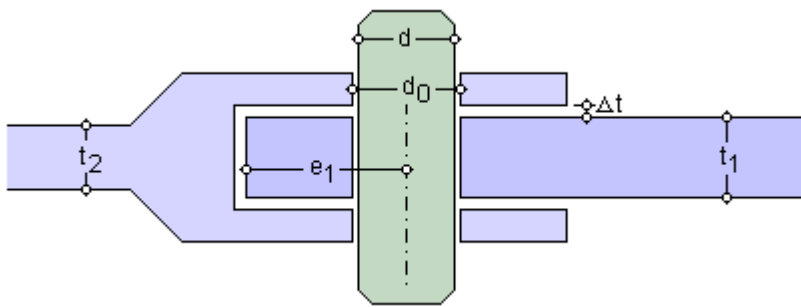
$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3,ser}} \cdot (F_{p,C} - 0.8 \cdot F_{t,Ed,ser})$$

• Querschnittsversagen bei Zugverbindungen

Bemessungswert des plastischen Widerstands des Nettoquerschnitts im kritischen Schnitt durch die Schraubenlöcher (EC 3-1-1, 6.2):

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Bolzen

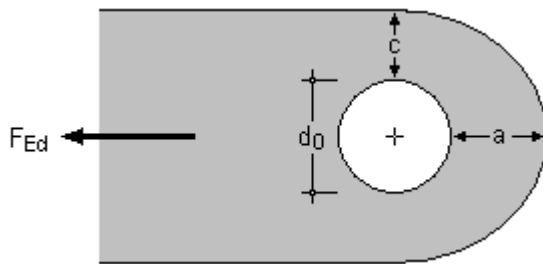


Die als Augenstäbe ausgeführten Anschlussbleche müssen zur sinnvollen Kraftübertragung geometrischen Anforderungen genügen, die bei Bedarf überprüft werden:

- Geometrische Anforderungen an die Augenstäbe
 - Möglichkeit A: Dicke und Lochdurchmesser sind vorgegeben
 - Möglichkeit B: nur die Geometrie ist vorgegeben

• Möglichkeit A

Blechedicke t und Bolzenlochdurchmesser d_0 sind vorgegeben

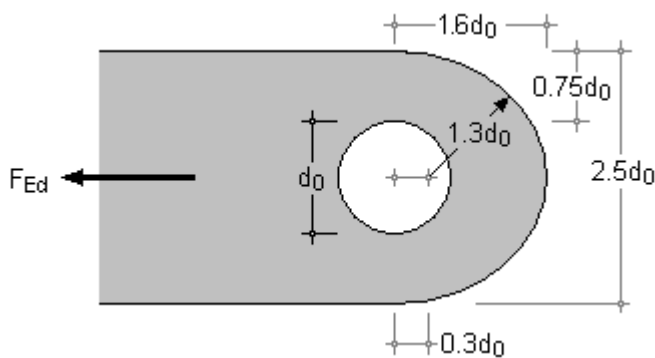


Die geometrischen Parameter a und c müssen dann folgenden Bedingungen genügen:

$$a \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} \quad \dots \text{ und } \dots \quad c \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3}$$

• Möglichkeit B

Die Geometrie des Augenstabs in Abhängigkeit vom Bolzenlochdurchmesser ist vorgegeben.



Blechedicke t und Bolzenlochdurchmesser d_0 müssen dann den folgenden Bedingungen genügen:

$$t \geq 0.7 \cdot \sqrt{\frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} \quad \dots \text{ und } \dots \quad d_0 \leq 2.5 \cdot t$$

Berechnung der Tragfähigkeiten massiver Rundbolzen

Lochspiel zw. den Anschlussblechen	Δt	3.0	mm
Abstand der Bolzenachse vom Zugrand	e_1	50.0	mm
zum seitr. Rand	e_2	30.0	mm

- **Abscheren**

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 \cdot f_{up} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

- **Lochleibung von Augenblech und Bolzen**

$$F_{b,Rd} = \frac{1.5 \cdot t \cdot d \cdot \bar{f}_y}{\gamma_{M0}}$$

bei austauschbaren Bolzen zusätzlich

$$F_{b,Rd,ser} = \frac{0.6 \cdot t \cdot d \cdot \bar{f}_y}{\gamma_{M6,ser}} \quad \dots \text{ mit } \dots \quad \bar{f}_y = \min(f_{yp}, f_y)$$

Ist der Bolzen austauschbar, muss außerdem gelten

$$\sigma_{h,Ed} \leq f_{h,Rd} \quad \dots \text{ mit } \dots \quad \sigma_{h,Ed} = 0.591 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F_{b,Ed,ser} \cdot (d_0 - d)}{d^2 - t}} \quad \dots \text{ und } \dots \quad f_{h,Rd} = \frac{2.5 \cdot f_y}{\gamma_{M6,ser}}$$

- **Biegung des Bolzens**

$$M_{Rd} = \frac{1.5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}}$$

bei austauschbaren Bolzen zusätzlich

$$M_{Rd,ser} = \frac{0.8 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M6,ser}} \quad \dots \text{ mit } \dots \quad W_{el} = \pi \cdot d^3 / 32 \quad \dots \text{ und } \dots \quad M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} \cdot (t_1 + 4 \cdot \Delta t + t_2)$$

- **Kombination von Abscheren und Biegung des Bolzens**

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1.0$$

Tragfähigkeit von Schweißverbindungen

4H-EC3 - Basisverbindungen [Position 11: Basisverbindungen]

Nachweis einer Schweißverbindung:

- Kehlnaht
- Schlitznaht
- Stumpfnah
- Lochschweißung

Schweißnahtlänge l_w mm

Schweißnaht voll ausgeführt ($l_{eff} = l_w$)

wirksame Nahtdicke a mm

Einbrandtiefe e mm $\leq e_{max}$

Öffnungswinkel φ °

einseitige Schweißnaht links einseitige Schweißnaht rechts

beidseitige Schweißnaht

Anschlussbleche

Blech 1: Blechdicke t_1 mm

Blech 2: Blechdicke t_2 mm

Futterblech

Nachweisparameter

- Richtungsbezogenes Verfahren
- Vereinfachtes Verfahren
- Bemessungsschnittgrößen im Anschlussblech 2

Schweißnahtlänge $l_w = 0 \rightarrow$ kein Nachweis !!

Normalkraft N_{Ed} kN

Biegemoment senkrecht zur Nahtachse $M_{\perp Ed}$ kNm

Querkraft parallel zur Nahtachse $V_{\parallel Ed}$ kN

Biegemoment parallel zur Nahtachse $M_{\parallel Ed}$ kNm

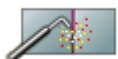
Querkraft senkrecht zur Nahtachse $V_{\perp Ed}$ kN

Bemessungskräfte in der Nahtwurzel (gesamt)

Bemessungsspannungen in der Nahtebene (gesamt)

maximale Ausnutzung $U_{max} = \text{XXXXXX}$

Bild vergrößern



Schweißverbindungen können nach EC 3-1-8, 4, bemessen werden, wenn die zu verschweißenden Blechdicken 4 mm bzw. bei Hohlprofilen 2.5 mm oder mehr aufweisen.

Die Norm behandelt Kehlnähte, Schlitznähte, Stumpfnähte und Lochschweißungen.

Die **Anschlussbleche** werden hier nicht bemessen!

Kehlnähte

Kehlnaht / Hohlkehlnaht

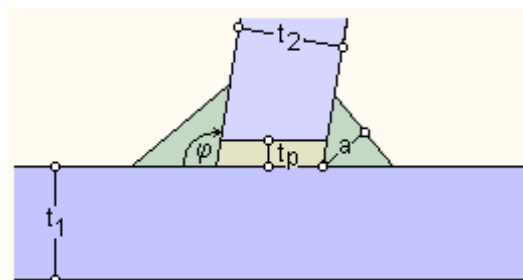
Nahtlänge l_w mm

Schweißnaht voll ausgeführt ($l_{eff} = l_w$)

wirksame Nahtdicke a mm

Einbrandtiefe e mm $\leq e_{max}$

Öffnungswinkel φ °



Wird keine Nahtlänge vorgegeben, werden die Ergebnisse auf den lfd. m bezogen.

Bei vorgegebener Länge kann die Schweißnaht voll ausgeführt sein, d.h. die wirksame Nahtlänge entspricht dem eingegebenen Wert oder die Länge ist um den 2-fachen Betrag der Kehlnahtdicke zu reduzieren.

Eine Länge von weniger als 30 mm oder des 6-fachen der Nahtdicke sollte zur Übertragung von Kräften nicht in Betracht gezogen werden (EC 3-1-8, 4.5.1).

Die wirksame Nahtdicke einer Kehlnaht sollte größer als 3 mm sein (EC 3-1-8, 4.5.2).

Nach NA-DE ist zusätzlich bei einer Blechdicke von 3 mm und mehr eine Mindestdicke von

$$a \geq \sqrt{\max t} - 0.5$$

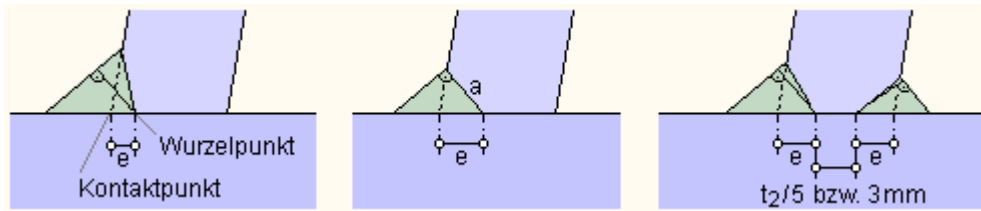
vorgeschrieben.

In Anlehnung an DIN 18800 wird auch nach NA-DE die maximale Schweißnahtdicke überprüft

$$a \leq 0,7 \cdot \min t$$

Ist kein Futterblech angeordnet, kann die Kehlnaht tief eingebrannt sein, d.h. die Naht trägt gegenüber einer nicht eingebrannten Kehlnaht nicht so stark auf. Der Eingabewert der wirksamen Nahtdicke wird davon nicht beeinflusst!

Die maximale Einbrandtiefe ist an geometrische Gegebenheiten geknüpft (s.a. T-Stöße in EC 3-1-8, 4.7.3):



Der Öffnungswinkel bezeichnet den Winkel zwischen den zu verschweißenden Anschlussblechen und sollte bei Kehlnähten zwischen 60° und 120° liegen.

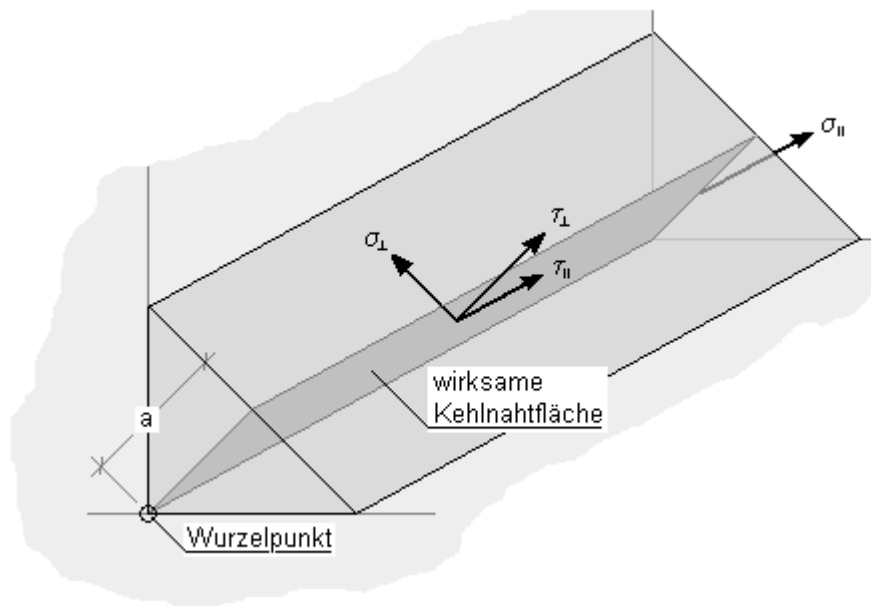
Kleinere Winkel sind zugelassen, werden aber wie nicht durchgeschweißte Stumpfnähte behandelt (EC 3-1-8, 4.3.2.1).

Die Tragfähigkeit von Kehlnähten kann mit Hilfe des richtungsbezogenen Verfahrens oder des vereinfachten Verfahrens ermittelt werden.

• richtungsbezogenes Verfahren

Die Kräfte werden aufgeteilt in Anteile parallel und rechtwinklig zur Längsachse der Schweißnaht und normal und orthogonal zur Lage der wirksamen Kehlnahtfläche.

Die Lage der wirksamen Kehlnahtfläche wird im Wurzelpunkt konzentriert angenommen.



Die auf die Kehlnaht einwirkenden Spannungen ergeben sich zu

$$\sigma_{\perp} = \frac{F_{Ed}(\sigma_{\perp})}{a} \quad \text{Normalspannung senkrecht zur Schweißnahtachse}$$

$$\sigma_{\parallel} = 0 \quad \text{Normalspannung parallel zur Schweißnahtachse}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Ed}(\tau_{\parallel})}{a} \quad \text{Schubspannung in der Ebene der Kehlnahtfläche senkrecht zur Schweißnahtachse}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{F_{Ed}(\tau_{\perp})}{a} \quad \text{Schubspannung in der Ebene der Kehlnahtfläche parallel zur Schweißnahtachse}$$

Die Tragfähigkeit einer Kehlnaht ist ausreichend, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{... und ...} \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{... mit ...} \quad f_u = \min(f_u(\text{Blech 1}), f_u(\text{Blech 2}))$$

• vereinfachtes Verfahren

Die Resultierende aller auf die Kehlnaht einwirkenden Kräfte muss die folgende Bedingung erfüllen:

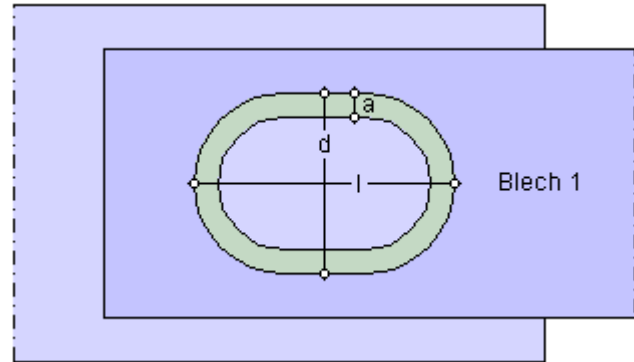
$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \quad \text{mit} \quad F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a \quad \text{und} \quad \text{Scherfestigkeit} \quad f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{mit} \quad f_u \text{ s.o.}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{F_{Ed}^2(\sigma_{\perp}) + F_{Ed}^2(\tau_{\perp}) + F_{Ed}^2(\tau_{\parallel})}$$

Schlitznähte

⊙ Schlitznaht

Lochdurchmesser	d	48.0	mm
Lochlänge	l	70.0	mm
wirksame Nahtdicke	a	6.0	mm



Der Durchmesser d des Schlitzes darf nicht kleiner sein als die 4-fache Blechdicke (EC 3-1-8, 4.3.3(2)).

Die Tragfähigkeit einer Schlitznaht wird wie die Tragfähigkeit einer Kehlnaht berechnet (s.o.).

Stumpfnähte

⊙ Stumpfnäht

○ durchgeschweißt

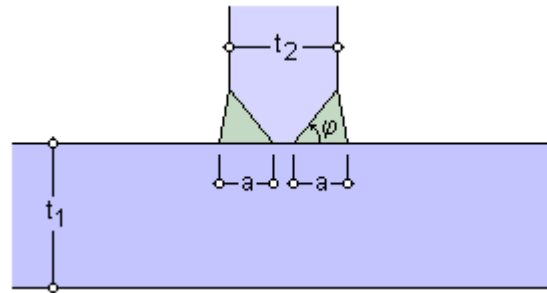
⊙ nicht durchgeschweißt

Nahtlänge	l_w	400.0	mm
wirksame Nahtdicke	a	4.0	mm
Öffnungswinkel	φ	90	°

$\varphi = 0^\circ$: geschweißter Stoß

⊙ einseitige Schweißnaht

○ beidseitige Schweißnaht



Stumpfnähte können durchgeschweißt oder nicht durchgeschweißt ausgeführt werden.

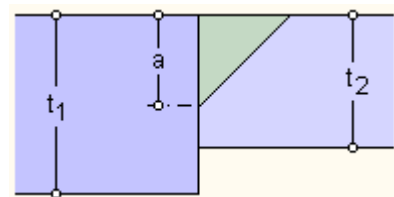
Eine durchgeschweißte Stumpfnäht ist eine Schweißnaht mit vollständigem Einbrand und vollständiger Verschmelzung des Schweißwerkstoffs mit dem Grundmaterial über die gesamte Dicke der Verbindung (EC 3-1-8, 4.3.4(1)), d.h. $a = t_2/2$ bei beidseitiger Schweißung bzw. $a = t_2$ bei einseitiger Schweißung.

Bei einer nicht durchgeschweißten Stumpfnäht ist die Durchschweißung daher kleiner als die volle Dicke des Grundmaterials (EC 3-1-8, 4.3.4(2)).

Die Tragfähigkeit von durchgeschweißten Stumpfnähten ist mit der Tragfähigkeit des schwächeren der verbundenen Bauteile gleichzusetzen, während die Tragfähigkeit von nicht durchgeschweißten Stumpfnähten wie für Kehlnähte zu ermitteln ist (EC 3-1-8, 4.7.1+2).

Bei einem Öffnungswinkel von 0° wird ein Stoß verschweißt.

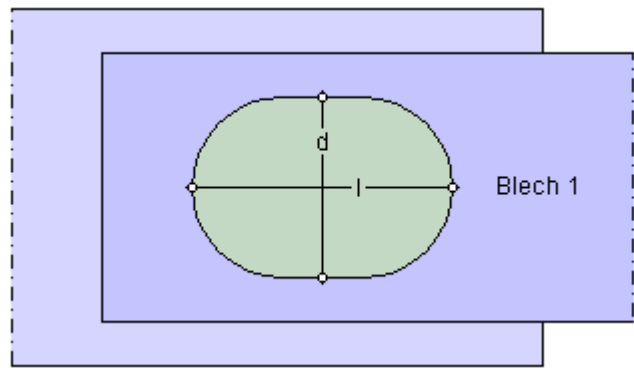
Die maximale Schweißnahtdicke ist auf die Dicke des dünnsten Anschluss-blechs beschränkt.



Lochschweißung

Lochschiweißung

Lochdurchmesser	d	48.0	mm
Lochlänge	l	70.0	mm
Dicke der Lochschweißung	a	12.0	mm



Lochschiweißungen können Schub übertragen; sie sollten jedoch nicht in zugbeanspruchten Verbindungen verwendet werden (EC 3-1-8, 4.3.5(1)).

Der Durchmesser des Lochs muss für eine Lochschweißung mindestens 8 mm größer sein als die Blechdicke (EC 3-1-8, 4.3.5(2)).

Die Dicke einer Lochschweißung muss folgenden Anforderungen genügen (EC 3-1-8, 4.3.5(4)):

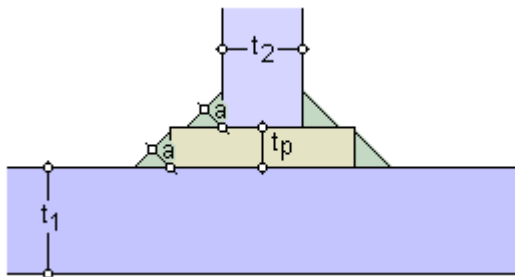
$$a = t_1 \dots \text{für} \dots t_1 \leq 16 \text{ mm}$$

$$a = \max\left(\frac{t_1}{2}, 16 \text{ mm}\right) \dots \text{für} \dots t_1 > 16 \text{ mm}$$

Die Tragfähigkeit einer Lochschweißung ergibt sich zu

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot A_w \dots \text{mit} \dots A_w = \frac{\pi \cdot d^2}{4} + (l - d) \cdot d \quad (\text{Scherfestigkeit } f_{vw,d} \text{ s. Kehlnaht})$$

Anordnung von Futterblechen bei Kehl-, Schlitz- und Lochnähten



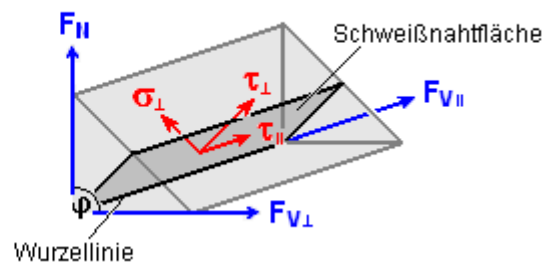
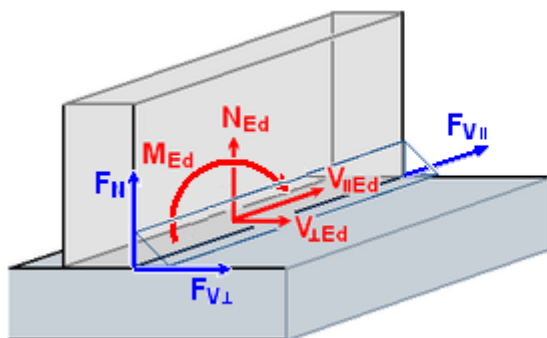
Das Futterblech sollte bündig zum Rand des zu verschweißenden Bauteils angepasst sein (EC 3-1-8, 4.4(1)).

Es gilt

$$t_p < a_{erf} \Rightarrow a = a_{erf} + t_p$$

$$t_p \geq a_{erf} \Rightarrow 2 \text{ Nähte mit } a = a_{erf}$$

Umrechnung von Blechschnittgrößen in Schweißnahtkräfte



Schnittgrößen, die im Anschlussblech wirken, werden in die Bemessungsspannungen bzw. resultierende Bemessungskraft der Schweißnaht umgerechnet, die in der Schweißnahtfläche wirken.

Bei beidseitiger Naht halbieren sich die Kräfte (s. Vorfaktor 0.5).

Die Normalkraft im Blech N_{Ed} wirkt als Zugkraft senkrecht zur Nahtachse, das Biegemoment M_{Ed} dreht senkrecht zur Nahtachse um V_{Ed} und erzeugt zusätzlich zur Normalkraft Zug in der Wurzellinie.

Bei einseitigem Anschluss von Kehlnähten oder nicht durchgeschweißten Stumpfnähten sollte das sich aus der Exzentrizität ergebende Zusatzmoment berücksichtigt werden, sofern es Zug in der Schweißnahtwurzel erzeugt (EC 3-1-8, 4.12).

Es gelten folgende Beziehungen

Bemessungswerte der im Wurzellpunkt wirkenden Kräfte

$$F_{N,Ed} = 0.5 \cdot (N_{Ed} + M_{Ed} \cdot A_w / W_w) / l_{eff} \quad \dots A_w = a \cdot l_{eff} \quad \dots W_w = a \cdot l_{eff}^2 / 6$$

$$F_{V_{II},Ed} = 0.5 \cdot V_{II,Ed} / l_{eff}$$

$$F_{V_{\perp},Ed} = 0.5 \cdot V_{\perp,Ed} / l_{eff}$$

Bemessungswerte der auf die wirksame Nahtfläche einwirkenden Kräfte ($\alpha = \varphi/2$)

$$F_{Ed}(\sigma_{\perp}) = F_{N,Ed} \cdot \sin \alpha + F_{V_{\perp},Ed} \cdot \cos \alpha$$

$$F_{Ed}(\tau_{\perp}) = F_{N,Ed} \cdot \cos \alpha - F_{V_{\perp},Ed} \cdot \sin \alpha$$

$$F_{Ed}(\tau_{II}) = F_{V_{II},Ed}$$

aus exzentrischer Belastung bei einseitiger Schweißnaht

$$\text{Zusatzmoment senkrecht zur Naht} \quad \Delta M_{\perp} = N_{Ed} \cdot e_{\perp} \quad \dots \text{mit} \quad e_{\perp} = t_2/2 - e + a/2 \cdot \cos \alpha$$

$$\text{Zusatzspannung} \quad \Delta \sigma_{\perp} = \Delta M_{\perp} / W_{w,\perp} \quad \dots \text{mit} \quad W_{w,\perp} = l_{eff} \cdot a^2 / 6$$

Bemessungswert der auf die wirksame Nahtfläche einwirkenden resultierenden Kraft

$$F_{w,Ed} = (F_{Ed}^2(\sigma_{\perp}) + F_{Ed}^2(\tau_{\perp}) + F_{Ed}^2(\tau_{II}))^{0.5}$$

Bemessungswerte der auf die wirksame Nahtfläche einwirkenden Spannungen

$$\sigma_{\perp} = F_{Ed}(\sigma_{\perp}) / a \quad \dots \tau_{\perp} = F_{Ed}(\tau_{\perp}) / a \quad \dots \tau_{II} = F_{Ed}(\tau_{II}) / a$$

äquivalenter T-Stummel mit Zugbeanspruchung

4H-EC3 - Basisverbindungen [Position 11: Basisverbindungen]

Nachweis eines T-Stummels unter Zugbeanspruchung:

Schraubengröße: Vorgabe

Festigkeitsklasse: Vorgabe

normale Schlüsselweite große Schlüsselweite
FK 8.8 oder 10.9: HU-Schraube planmäßig vorgespannt

T-Stummelflansch (Stützenflansch)

Blechdicke t_f : mm

Verstärkung

Nachweisparameter

Vorgabe der wirksamen Längen

Tragfähigkeit des Stützenflanschs

eine Schraubenreihe neben einer Steife

Tragfähigkeit des Stirnblechs - zwischen den Trägerflanschen

Tragfähigkeit des Stirnblechs - überstehender Teil

Anzahl der Schraubenreihen n_b : = 1: Schraubenreihe einzeln
2 Schrauben je Reihe

innere Schraubenreihe

äußere Schraubenreihe

Anzahl Schrauben je Reihe:

Schraubenabstand e zum Flanschrand der Stütze: mm

Schraubenabstand m zum Steg der Stütze: mm

Schraubenabstand (Endreihe) e_1 zum freien Ende des Stützenflanschs: mm
 $e_1 = 0$: kein freies Ende vorhanden

Verfahren: = 1: standard

Belastung

Bemessungswert der Zugkraft je Schraube: kN

maximale Ausnutzung

$U_{max} = \text{XXXXXX}$

Bild vergrößern

Das Modell eines äquivalenten T-Stummels mit Zugbeanspruchung dient zur Ermittlung der



Tragfähigkeiten folgender geschraubter Grundkomponenten

- Stützenflansch mit Biegebeanspruchung
- Stirnblech mit Biegebeanspruchung
- Flanschwinkel mit Biegebeanspruchung
- Fußplatte mit Biegebeanspruchung infolge Zugbeanspruchung

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Versagensarten des Flansches eines äquivalenten T-Stummels die gleichen sind wie die der o.a. Grundkomponenten.

Als Verbindungsmittel sind lediglich **Schrauben** zugelassen; die **Anschlussbleche** werden hier nicht bemessen!

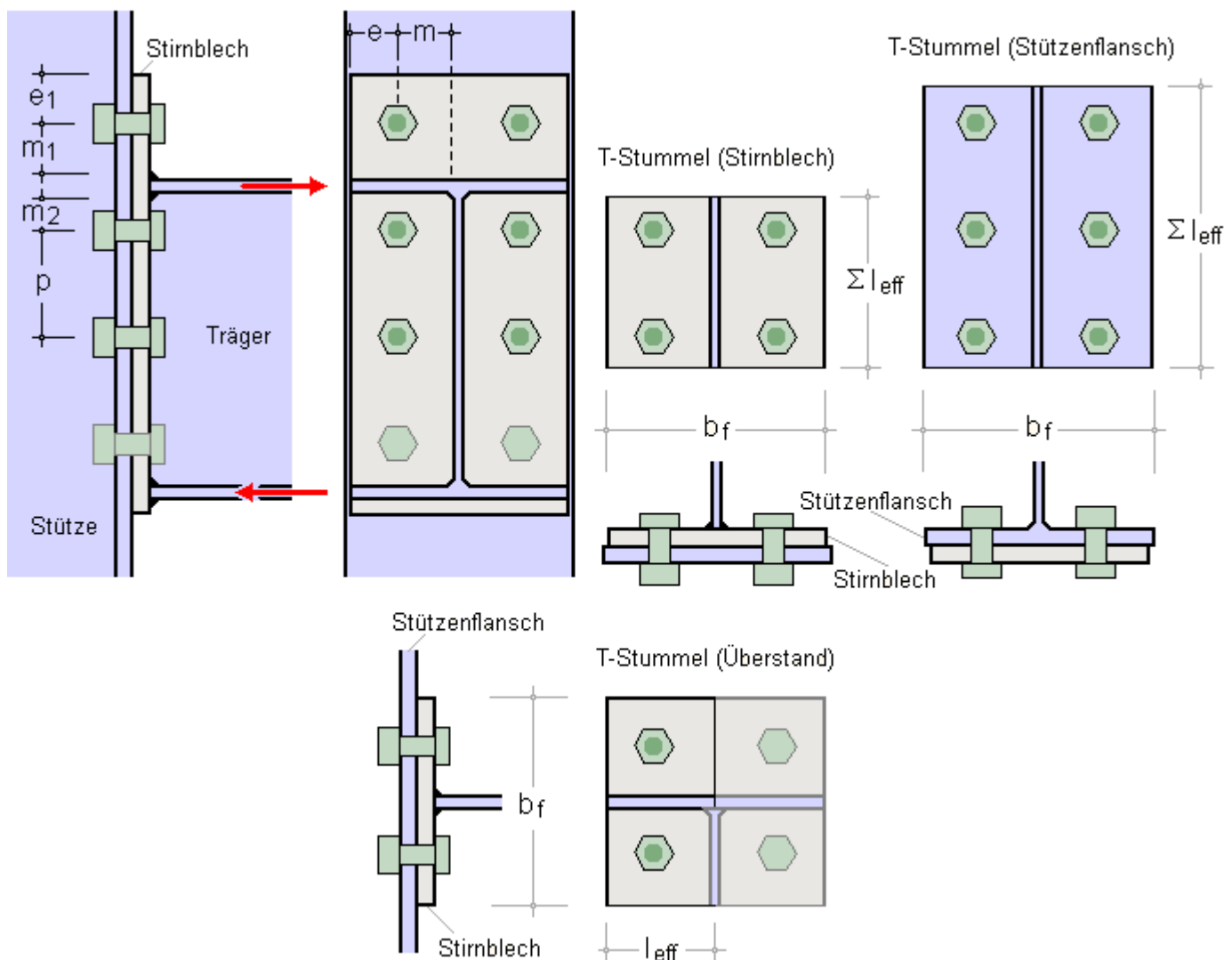
T-Stummel sind Schraubverbindungen zur Übertragung von Zugkräften aus dem T-Stummelsteg über den T-Stummelflansch und einer beliebigen Anzahl von Schraubenreihen (zwei Schrauben je Reihe, symmetrisch jeweils links und rechts vom Steg angeordnet) in das Anschlussblech.

Eine Erweiterung auf vier Schrauben je **Schraubenreihe** wurde für typisierte IH2- und IH4-Anschlüsse umgesetzt.

Dazu ist die T-Stummelgeometrie für die jeweiligen Belastungsfälle zu bestimmen.

Im Folgenden ist die Bildung der äquivalenten T-Stummel für eine nicht ausgesteifte Stirnblechverbindung von Träger und Stütze dargestellt.

Drei Schraubenreihen nehmen die Zugkraft auf; eine Schraubenreihe befindet sich im überstehenden Teil des Stirnblechs.



Der äquivalente T-Stummel für das Stirnblech (ohne Überstand) wird mit dem Stirnblech als Stummelflansch und dem Trägersteg als Stummelsteg gebildet.

Für den überstehenden Teil des Stirnblechs ist das Stirnblech der Stummelflansch und der Trägerflansch der Stummelsteg des äquivalenten T-Stummels.

Der Stützenflansch wird abgebildet durch einen äquivalenten T-Stummel mit dem Stützenflansch als Stummelflansch

und dem Stützensteg als Stummelsteg.

Wesentliche Parameter sind

- Abstand e der Schraube vom Flanschrand
- Abstand m der Schraube vom Steganschnitt

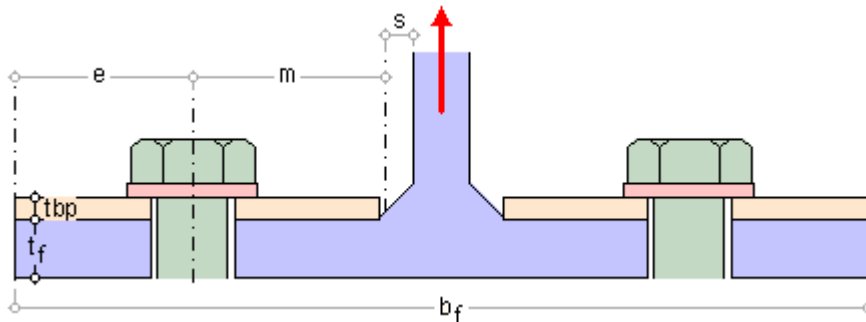
Der Steganschnitt befindet sich im Abstand

$$s = 0.8 \cdot a \cdot \sqrt{2} \quad (\text{geschweißter T-Stummel } a = \text{Schweißnahtdicke}) \text{ bzw.}$$

$$s = 0.8 \cdot r \quad (\text{gewalzter T-Stummel } r = \text{Ausrundungsradius})$$

vom Steg.

- Dicke t_f und Breite b_f des T-Stummelflansches
- Dicke t_{bp} der Flanschverstärkung (Futterblech)



Es werden drei Versagensmodi zur Ermittlung der Tragfähigkeit eines T-Stummelflansches unter Zugbelastung unterschieden

- Modus 1 beschreibt das vollständige Fließen des Flansches
- Modus 3 dagegen das reine Schraubenversagen
- Modus 2 bezeichnet die Mischform, wenn Schraubenversagen bei gleichzeitigem Fließen des Flansches eintritt

Das Fließen des Flanschs ist abhängig von der wirksamen T-Stummellänge Σl_{eff} , die u.U. für Modus 1 und 2 unterschiedlich ist (Modus 3 ist unabhängig von der wirksamen T-Stummellänge).

Die wirksame T-Stummellänge kann entweder vom Programm berechnet oder direkt eingegeben werden.

Obwohl die Kräfte in jeder Schraubenreihe gleich groß angenommen werden, ist außerdem zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Kräfte in den verschiedenen Schraubenreihen auftreten können.

Daher sind u.U. einzelne Schraubenreihen oder Gruppen von Schraubenreihen zu untersuchen.

Berechnung der wirksamen Längen

Es wird zwischen der Berechnung der wirksamen Längen für ausgesteifte oder nicht ausgesteifte Stützenflansche (EC3-1-8, Tab.6.5 oder Tab.6.4) und für Stirnbleche (EC3-1-8, Tab.6.6) unterschieden.

Die wirksamen Längen werden für die verschiedenen Versagensmodi unterschiedlich ermittelt.

• Stützenflansch

Tragfähigkeit des Stützenflansches

eine Schraubenreihe neben einer Steife

Tragfähigkeit des Stirnblechs - zwischen den Trägerflanschen

Tragfähigkeit des Stirnblechs - überstehender Teil

Anzahl der Schraubenreihen n_b = 1: einzeln betrachtet
(2 Schrauben je Reihe)

innere Schraubenreihe

äußere Schraubenreihe

Wird nur eine Schraubenreihe betrachtet, gilt

- Schraubenreihe einzeln betrachtet

Modus 1 $l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff},nc} \leq l_{\text{eff},cp}$... und ... Modus 2 $l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff},nc}$... mit ...

- innere Schraubenreihe $l_{\text{eff},cp} = 2 \cdot \pi \cdot m$
 $l_{\text{eff},nc} = 4 \cdot m + 1.25 \cdot e$
 $l_{\text{eff},nc,s} = \alpha \cdot m$ (neben einer Steife)
- äußere Schraubenreihe $l_{\text{eff},cp} = \min(2 \cdot \pi \cdot m, \pi \cdot m + 2 \cdot e_1)$
 $l_{\text{eff},nc} = \min(4 \cdot m + 1.25 \cdot e, 2 \cdot m + 0.625 \cdot e + e_1)$
 $l_{\text{eff},nc,s} = e_1 + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e)$ (neben einer Steife)

• Schraubenreihe als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen

Modus 1 $\sum l_{\text{eff},1} = \sum l_{\text{eff},nc} \leq \sum l_{\text{eff},cp}$... und ... Modus 2 $\sum l_{\text{eff},2} = \sum l_{\text{eff},nc}$... mit ...

- innere Schraubenreihe $l_{\text{eff},cp} = 2 \cdot p$
 $l_{\text{eff},nc} = p$
 $l_{\text{eff},nc,s} = \pi \cdot m + p$ (neben einer Steife)
 $l_{\text{eff},nc,s} = 0.5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0.625 \cdot e)$ (neben einer Steife)
- äußere Schraubenreihe $l_{\text{eff},cp} = \min(\pi \cdot m + p, 2 \cdot e_1 + p)$
 $l_{\text{eff},nc} = \min(2 \cdot m + 0.625 \cdot e + 0.5 \cdot p, e_1 + 0.5 \cdot p)$

Der Beiwert α wird EC3-1-8, Bild 6.11, entnommen und ist ein Maß für den Abstand der Schraube zu Steg und Steife.

Wird eine Gruppe von $n_b > 1$ Schraubenreihen betrachtet, berechnet sich die gesamte wirksame Länge als Summe der wirksamen Längen der einzelnen Schraubenreihen.

Dabei wirken immer eine äußere Schraubenreihe und optional eine innere Schraubenreihe neben einer Steife mit.

• Stirnblech - zwischen den Trägerflanschen

- Tragfähigkeit des Stützenflansches
 - Tragfähigkeit des Stirnblechs - zwischen den Trägerflanschen
 - eine (innere) Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch
 - Tragfähigkeit des Stirnblechs - überstehender Teil
- Anzahl der Schraubenreihen n_b = 1: einzeln betrachtet
(2 Schrauben je Reihe)
- innere Schraubenreihe
 - äußere Schraubenreihe

Für die Bemessung eines Stirnblechs zwischen den Trägerflanschen gelten die Formeln des Stützenflansches ebenso, allerdings ohne die Terme, die e_1 enthalten.

Wird eine Gruppe von $n_b > 1$ Schraubenreihen betrachtet, berechnet sich die gesamte wirksame Länge als Summe der wirksamen Längen der einzelnen Schraubenreihen.

Dabei wirken immer eine äußere Schraubenreihe und optional eine innere Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch mit.

• Stirnblech - überstehender Teil

- Tragfähigkeit des Stützenflansches
- Tragfähigkeit des Stirnblechs - zwischen den Trägerflanschen
- Tragfähigkeit des Stirnblechs - überstehender Teil
nur eine (äußere) Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch

Der überstehende Teil eines Stirnblechs wird als T-Stummel mit nur einer (äußeren) Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch modelliert. Es gilt

- Schraubenreihe einzeln betrachtet

Modus 1 $l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff},nc} \leq l_{\text{eff},cp}$... und ... Modus 2 $l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff},nc}$... mit ...

• äußere Schraubenreihe $l_{\text{eff},cp} = \min(2 \cdot \pi \cdot m, \pi \cdot m_x + w, \pi \cdot m_x + 2 \cdot e)$

$$l_{\text{eff},nc} = \min(4 \cdot m_x + 1.25 \cdot e_x, e + 2 \cdot m_x + 0.625 \cdot e_x, 0.5 \cdot b_p, 0.5 \cdot w + 2 \cdot m_x + 0.625 \cdot e_x)$$

Tragfähigkeit

Die Ermittlung der Tragfähigkeiten von T-Stummelflanschen unter Zug richtet sich danach, ob Abstützkräfte auftreten können, d.h. wenn gilt

$$L_b \leq L_b^* \quad \dots \text{ mit } \dots \quad L_b^* = \frac{8.8 \cdot m^3 \cdot A_s \cdot n_b}{\sum l_{\text{eff},i} \cdot t_f^3}$$

L_b Dehnlänge der Schraube (Klemmlänge einschl. Unterlegscheiben plus halbe Kopf- und Mutterhöhe)

treten Abstützkräfte auf.

Wenn Abstützkräfte auftreten können, sind in EC3-1-8, Tab.6.2, zwei Verfahren zur Bestimmung der Zugtragfähigkeit eines T-Stummelflansches aufgeführt

• Verfahren 1

• Modus 1 ohne Futterplatten $F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m}$

• Modus 1 mit Futterplatten $F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd} + 2 \cdot M_{bp,Rd}}{m}$

• Modus 2 $F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n}$

• Modus 3 $F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$

• Verfahren 2 (alternativ)

• Modus 1 ohne Futterplatten $F_{T,1,Rd} = \frac{(8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}}{2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m + n)}$

• Modus 1 mit Futterplatten $F_{T,1,Rd} = \frac{(8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd} + 4 \cdot n \cdot M_{bp,Rd}}{2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m + n)}$

• Modus 2 und 3 s. Verfahren 1

Treten keine Abstützkräfte auf, wird die Tragfähigkeit für Modus 1 und 2 berechnet zu (Modus 3 s. Verfahren 1)

$$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m}$$

Die Bemessungswerte der plastischen Momente sind

• Modus 1 $M_{pl,1,Rd} = \frac{0.25 \cdot \sum l_{\text{eff},1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

• Modus 2 $M_{pl,2,Rd} = \frac{0.25 \cdot \sum l_{\text{eff},2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

• Futterplatten $M_{bp,Rd} = \frac{0.25 \cdot \sum l_{\text{eff},1} \cdot t_{f,bp}^2 \cdot f_{y,bp}}{\gamma_{M0}}$

T-Stummel mit 4 Schrauben je Schraubenreihe

Die Komponentenmethode des EC3-1-8 regelt u.A. geschraubte Verbindungen mit nur zwei Schrauben je Schraubenreihe.

Eine Erweiterung auf die in Deutschland gebräuchlichen Stirnblechverbindungen mit vier Schrauben je Reihe

wurde von verschiedenen Autoren veröffentlicht. [pcae](#) hat drei Methoden in ihren Programmen umgesetzt.

B. Schmidt: *Zum Tragverhalten von geschraubten momententragfähigen Stirnplattenverbindungen mit 4 Schrauben in jeder Schraubenreihe*, Dissertation, 2008

B. Schmidt hat die in Deutschland gebräuchlichen Stirnblechverbindungen mit vier Schrauben je Reihe

- IH2 (ohne Überstand) und
- IH4 (mit Überstand)

untersucht. Diese Methode ist daher nur für die dargestellten Anschlusskonfigurationen anwendbar.

Diese Vorgehensweise ist nur für den geschraubten Trägerstoß mit Stirnblech umgesetzt; sie gilt nicht für Träger-Stützenanschlüsse.

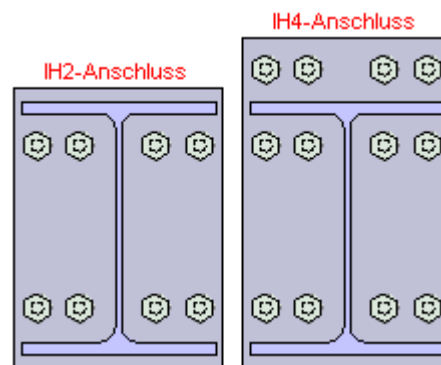


Achtung! Die Anwendung der Methode ist (gegenwärtig) nicht durch eine Norm eingeführt.

Das Verfahren wird anhand der Stirnblechverbindung erläutert.

Bei positivem Biegemoment (d.h. oben Zug, unten Druck) gilt für den

- IH2-Anschluss: Stirnblech ohne Überstand mit einer Schraubenreihe unter Zugbelastung
- IH4-Anschluss: Stirnblech mit Überstand mit zwei Schraubenreihen unter Zugbelastung (eine Reihe befindet sich im Überstand, die zweite Reihe unterhalb des Trägerflanschs)



Analog zu den Anschlussgeometrien mit zwei Schrauben je Schraubenreihe werden die äquivalenten T-Stummel für vier Schrauben je Reihe gebildet.

Für den **überstehenden Teil** des Stirnblechs ist das Stirnblech der Stummelflansch und der Trägerflansch der Stummelsteg des äquivalenten T-Stummels.

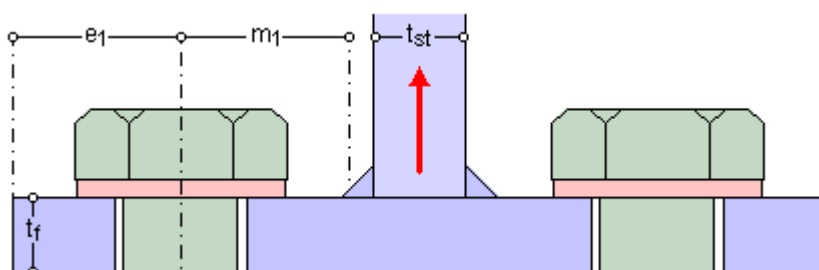
Wesentliche Parameter zur Berechnung der Fließlinien bzw. der effektiven Länge des T-Stummels sind

- Abstand e der äußeren Schraube vom seitlichen Flanschrand
- Abstand w der äußeren von der inneren Schraube
- Abstand e_1 der Schrauben (Endreihe) vom freien Flanschrand
- Abstand m_1 der Schraubenreihe vom Anschnitt der Steife (des Trägerflanschs)

Der Anschnitt der Steife befindet sich im Abstand s von der Steife, wobei gilt

$$s = 0.8 \cdot a_{st} \cdot \sqrt{2} \quad (\text{geschweißter T-Stummel})$$

- Schweißnahtdicke a_{st} zwischen Steife (Trägerzugflansch) und Stirnblech
- Dicke t_{st} und Länge l_{st} der Zugsteife (Dicke und Breite des Trägerflanschs)
- Dicke t_f und Länge l_f des T-Stummelflanschs (Dicke t_p und Breite b_p des Stirnblechs bzw. des Stützenflanschs)



Der äquivalente T-Stummel für die **ausgesteifte Schraubenreihe unterhalb der Steife** (des Trägerzugflanschs) wird mit dem Stirnblech als T-Stummelflansch und dem Trägersteg als T-Stummelsteg gebildet.

Wesentliche Parameter zur Berechnung der Fließlinien bzw. der effektiven Länge des ausgesteiften T-Stummels sind

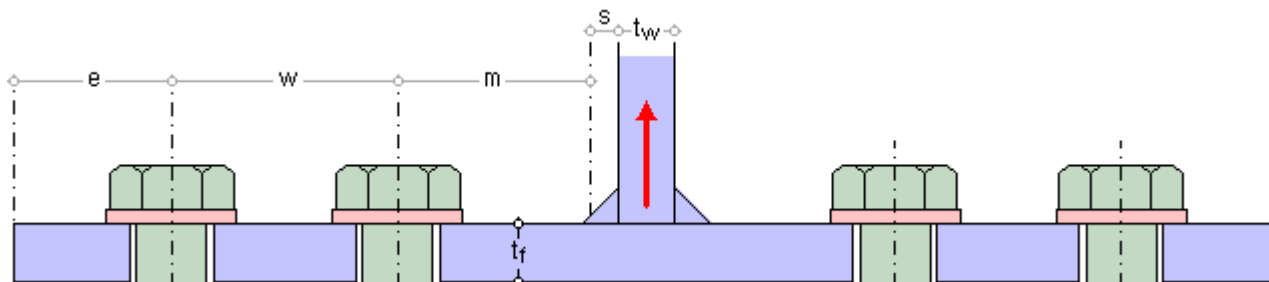
- Abstand e der äußeren Schraube vom Flanschrand
- Abstand w der äußeren von der inneren Schraube
- Abstand m der inneren Schraube vom Steganschnitt

Der Steganschnitt befindet sich im Abstand s vom Steg, wobei gilt

$$s = 0.8 \cdot a \cdot \sqrt{2} \quad (\text{geschweißter T-Stummel } a = \text{Schweißnahtdicke}) \text{ bzw.}$$

$$s = 0.8 \cdot r \quad (\text{gewalzter T-Stummel } r = \text{Ausrundungsradius})$$

- Abstand m_2 der Schrauben vom Anschnitt der Zugsteife (Trägerflansch), Anschnittlänge der Steife analog s
- Dicke t_w des T-Stummelstegs (Dicke des Träger- bzw. Stützenstegs)
- Dicke t_{st} und Länge l_{st} der Zugsteife (Dicke und Breite des Trägerflanschs)
- Dicke t_f und Länge l_f des T-Stummelflanschs (Dicke t_p und Breite b_p des Stirnblechs bzw. des Stützenflanschs)



Es werden drei Versagensmodi zur Ermittlung der Tragfähigkeit eines T-Stummelflansches unter Zugbelastung unterschieden.

- Modus 1 beschreibt das vollständige Fließen des Flanschs
- Modus 3 dagegen das reine Schraubenversagen
- Modus 2 bezeichnet die Mischform, wenn Schraubenversagen bei gleichzeitigem Fließen des Flanschs eintritt

Das Fließen des Flanschs ist abhängig von der wirksamen T-Stummellänge Σl_{eff} , die u.U. für die Modi 1 und 2 unterschiedlich sein kann (Modus 3 ist nur abhängig von der Schraubengüte).

Die wirksame T-Stummellänge kann entweder vom Programm berechnet oder direkt eingegeben werden.

Obwohl die Kräfte in jeder Schraubenreihe gleich groß angenommen werden, ist zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Kräfte in den verschiedenen Schraubenreihen auftreten können.

Daher sind i.A. sowohl die einzelne Schraubenreihe als auch Gruppen von Schraubenreihen zu untersuchen.

Da das Tragverhalten von IH2- und IH4-Anschlüssen nur durch die einzelnen Schraubenreihen geprägt ist, wird im Folgenden auf die Untersuchung von Schraubengruppen verzichtet.

Berechnung der wirksamen Längen

Die wirksamen Längen werden für die verschiedenen Versagensmodi unterschiedlich ermittelt. Die folgenden Formeln gelten sowohl für das Stirnblech als auch den Stützenflansch.

• Stirnblech - zwischen den Trägerflanschen

- Tragfähigkeit des Stützenflanschs
 - Tragfähigkeit des Stirnblechs - unterhalb des Trägerzugflanschs
 - eine (innere) Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch
 - IH2-Anschluss (ohne Überstand)
 - Tragfähigkeit des Stirnblechs - überstehender Teil
- Anzahl der Schraubenreihen n_b = 1: Schraubenreihe einzeln
- innere Schraubenreihe
 - äußere Schraubenreihe

Es wird hier nur die 'innere Schraubenreihe' neben dem Trägerzugflansch (bzw. der Zugsteife) betrachtet.

Die Berechnung unterscheidet sich je nachdem, ob es sich um einen IH2- oder IH4-Anschluss handelt.

Eine Gruppenbildung mit der unteren Schraubenreihe wird ausgeschlossen ($n_b = 1$).

Im Folgenden gilt für $w_3 = e$, $w_2 = w$, $w_1 = b_p - 2 \cdot (w + e)$, $m_s = m_2$.

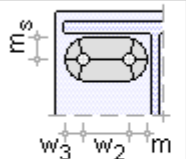
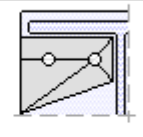
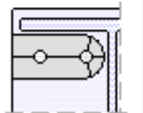
- Schraubenreihe einzeln betrachtet

Modus 1 $l_{eff,1} = l_{eff,nc} \leq l_{eff,cp}$... und ...

Modus 2 $l_{eff,2} = l_{eff,nc}$... mit ...

$$l_{eff,cp} = \min(l_{eff,k,i})$$

$$l_{eff,nc} = l_{eff,m1}$$

Fließkegel		Fließmuster		
		$l_{eff,k}$	$l_{eff,m1}$	
1		$2 \cdot \pi \cdot m + 2 \cdot w_2$	1 	vgl. Gl. (4.27) oder $\alpha \cdot m$
2		$\pi \cdot m + 2 \cdot (w_2 + w_3)$		

Gl. (4.27) aus B. Schmidt: *Zum Tragverhalten von geschraubten momententragfähigen Stirnplattenverbindungen mit 4 Schrauben in jeder Schraubenreihe:*

$$l_{eff,m1} = \frac{m}{2} \left(\frac{m + 2 \cdot w_2 + 2 \cdot w_3}{m_s} + \frac{m_s}{m} + \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}}{\cos \alpha} + \frac{m + 2 \cdot w_2 + 2 \cdot w_3}{m} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin^2 \beta} + \frac{\sqrt{m_s^2 + m^2}}{m \cdot \sin \gamma} \cdot \cos \alpha + \frac{1}{\cos \alpha} + \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \beta}}{\sin \beta} \right)$$

$$\sin \beta = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{(m + w_2 + w_3) \cdot (3 \cdot m + 4 \cdot w_2 + 4 \cdot w_3)}}{m + m_1 + n}$$

$$\cos \alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{(m + w_2 + w_3) \cdot (3 \cdot m + 4 \cdot w_2 + 4 \cdot w_3)}}{m + w_2 + w_3} \cdot \sqrt{\frac{m}{m + w_2 + w_3}}$$

$$\sin \gamma = \sin \left(\arctan \left(\frac{m_s}{m} \right) \right)$$

• **Stirnblech - überstehender Teil**

- Tragfähigkeit des Stützenflansches
- Tragfähigkeit des Stirnblechs - zwischen den Trägerflanschen
- Tragfähigkeit des Stirnblechs - überstehender Teil
nur eine (äußere) Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch

Der überstehende Teil eines Stirnblechs wird als T-Stummel mit nur einer (äußeren) Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch modelliert. Im Folgenden gilt für $w_3 = e$, $w_2 = w$, $w_1 = b_p - 2(w + e)$, $m_x = m_1$, $e_x = e_1$.

• Schraubenreihe einzeln betrachtet

Modus 1 $l_{eff,1} = l_{eff,nc} \leq l_{eff,cp}$... und ...

Modus 2 $l_{eff,2} = l_{eff,nc}$... mit ...

$$l_{eff,cp} = \min(l_{eff,k,i})$$

$$l_{eff,nc} = \min(l_{eff,m1,i})$$

Fließkegel			Fließmuster		
		$l_{eff,k}$			$l_{eff,m1}$
1		$2 \cdot \pi \cdot m_x + 2 \cdot w_2$	1		$4 \cdot m_x + 1.25 \cdot e + w_2$
2		$\pi \cdot m_x + 2 \cdot (w_2 + w_1 \cdot 0.5)$	2		$2 \cdot m_x + 0.625 \cdot e + w_2 + 0.5 \cdot w_1$
3		$\pi \cdot m_x + 2 \cdot (w_2 + w_3)$	3		$2 \cdot m_x + 0.625 \cdot e + w_2 + w_3$
4		$0.5 \cdot \pi \cdot m_x + w_2 + w_3 + e$	4		$b_p/2 < b_b/2 + \sqrt{2} \cdot 0.8 \cdot a_f$
5		$0.5 \cdot \pi \cdot m_x + w_2 + w_1 \cdot 0.5 + e$			
6		$\pi \cdot m_x + w_2 + 2 \cdot e$			

Tragfähigkeit

Bei der Ermittlung der Tragfähigkeiten von ausgesteiften T-Stummelflanschen unter Zug mit vier Schrauben in einer Reihe spielt die Lage der Schrauben sowie die Lastabtragsrichtung eine wesentliche Rolle.

Die effektive Fließlänge wird dementsprechend gewichtet für den Anteil

$$\text{in Flanschrichtung } \delta_F = \frac{K_1 + K_2}{K_1 + K_2 + K_3 + K_4} \dots \text{ mit } \dots K_i = \frac{E \cdot t_p^3}{12 \cdot l_i^3} \Rightarrow \delta_F = \frac{\sum_{i=1}^2 1/l_i^3}{\sum_{i=1}^4 1/l_i^3}$$

$$\dots l_1 = l_2 = m_s \dots l_3 = w_2 \dots l_4 = m$$

$$\text{in Stegrichtung } \delta_S = \frac{K_3 + K_4}{K_1 + K_2 + K_3 + K_4} \dots \Rightarrow \delta_S = \frac{\sum_{i=3}^4 1/l_i^3}{\sum_{i=1}^4 1/l_i^3}$$

sowie beim alternativen Verfahren (Verfahren 2) in Flanschrichtung für die

$$\text{Innenschrauben } \rho_{Fi} = \frac{w_1 + w_2}{b_{st}}$$

$$\text{Außenschrauben } \rho_{Fa} = (1 - \rho_{Fi})$$

Im Stirnplattenüberstand braucht die effektive Fließlänge nicht reduziert zu werden.

Bei IH2- und IH4-Anschlüssen wird davon ausgegangen, dass Abstützkräfte auftreten. Daher werden zwei Verfahren zur Bestimmung der Zugtragfähigkeit eines T-Stummelflansches aufgeführt.

• Verfahren 1

• Modus 1

$$\begin{aligned} \text{im Überstand} \quad F_{T,1,Rd} &= \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m_x} \\ \text{in Flanschrichtung} \quad F_{T,1,F,Rd} &= \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd} \cdot \delta_F}{m_s} \\ &\leq \frac{2 \cdot (M_{pl,1,Rd} + M_{pl,1,st,Rd}) \cdot \delta_F}{m_s} \quad \dots \text{ bei IH2-Anschlüssen} \\ \text{in Stegrichtung} \quad F_{T,1,S,Rd} &= \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd} \cdot \delta_S}{m} \\ \Rightarrow F_{T,1,Rd} &= F_{T,1,F,Rd} + F_{T,1,S,Rd} \end{aligned}$$

• **Modus 2**

$$\begin{aligned} \text{im Überstand} \quad F_{T,2,Rd} &= \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + 4 \cdot F_{t,Rd} \cdot n_x}{m_x + n_x} \quad \dots n_x = e_x \leq 1.25 \cdot m_x \\ \text{in Flanschrichtung} \quad F_{T,2,F,Rd} &= \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} \cdot \delta_F \cdot \rho_{Fa} + 2 \cdot F_{t,Rd} \cdot n_s}{m_s + n_s} \quad \dots n_s = 1.25 \cdot m_s \\ M_{pl,2,Rd} &= \min(M_{pl,2,Rd}; M_{pl,2,st,Rd}) \quad \dots \text{ bei IH2-Anschlüssen} \\ \text{in Stegrichtung} \quad F_{T,2,S,Rd} &= \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} \cdot (\delta_F \cdot \rho_{Fi} + \delta_S) + 2 \cdot F_{t,Rd} \cdot n}{m + n} \quad \dots n = 1.25 \cdot m \\ \Rightarrow F_{T,2,Rd} &= F_{T,2,F,Rd} + F_{T,2,S,Rd} \end{aligned}$$

• **Modus 3**

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

• **Verfahren 2 (alternativ)**

• **Modus 1**

$$\begin{aligned} \text{im Überstand} \quad F_{T,1,Rd} &= \frac{M_{pl,1,Rd} \cdot \left(4 - \frac{e'}{n_x}\right)}{m_x - \frac{(m_x + n_x) \cdot e'}{2 \cdot n_x}} \quad \dots n_x = 1.25 \cdot m_x \leq e_x \quad \dots e' = \frac{d_0}{4} + \frac{d_s + d_e}{8} \\ \text{in Flanschrichtung} \quad F_{T,1,F,Rd} &= \frac{M_{pl,1,Rd} \cdot \left(4 - \frac{e'}{n_s}\right) \cdot \delta_F}{m_s - \frac{(m_s + n_s) \cdot e'}{2 \cdot n_s}} \quad \dots n_s = 1.25 \cdot m_s \\ \text{in Stegrichtung} \quad F_{T,1,S,Rd} &= \frac{M_{pl,1,Rd} \cdot \left(4 - \frac{e'}{n}\right) \cdot \delta_S}{m - \frac{(m + n) \cdot e'}{2 \cdot n}} \quad \dots n = 1.25 \cdot m \\ \Rightarrow F_{T,1,Rd} &= F_{T,1,F,Rd} + F_{T,1,S,Rd} \end{aligned}$$

• **Modi 2 und 3** s. Verfahren 1

Die Bemessungswerte der plastischen Momente in beiden Verfahren sind

$$\text{Modus 1} \quad \dots M_{pl,1,Rd} = \frac{0.25 \cdot I_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{2}$$

$$\text{Modus 2} \quad \dots M_{pl,2,Rd} = \frac{0.25 \cdot I_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{2}$$

$$\dots \text{ sowie } \dots M_{pl,2,st,Rd} = \frac{0.25 \cdot I_{eff,2} \cdot t_{st}^2 \cdot f_{y,st}}{2} \quad \dots \text{ bei IH2-Anschlüssen}$$

Die Tragfähigkeit ergibt sich damit zu

$$\max F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

wobei die maximale Zugtragfähigkeit der Steife (des Trägerflanschs) nicht überschritten werden darf.

$$\max F_{T,Rd} = (A_F + A_S) \cdot f_{y,st} / \gamma_{M0} \quad \dots \text{ mit } \dots \quad A_F = b_{st} \cdot t_{st}$$

$$A_S = l_{eff} \cdot \delta_S \cdot t_w \quad \dots \text{ im Überstand } A_S = 0$$

AIF-Bericht 15059: *Entwicklung eines Bemessungsmodells für geschraubte, momententragfähige Kopfplattenverbindungen mit 4 Schrauben in einer Schraubenreihe auf der Grundlage der prEN 1993-1-8:2003, Forschungsbericht zum Forschungsvorhaben AIF Nr. 15059, 2009*

Auch der Forschungsbericht behandelt nur die in Deutschland gebräuchlichen Stirnblechverbindungen mit vier Schrauben je Reihe

- IH2 (ohne Überstand) und
- IH4 (mit Überstand).

Jedoch kann die Methode auch auf allgemeinere Anschlusskonfigurationen angewendet werden (s. Weynand/Oerder, *Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach DIN EN 1993-1-8, Ergänzungsband 2018*).

Diese Vorgehensweise ist nur für den geschraubten Trägerstoß mit Stirnblech umgesetzt; sie gilt nicht für Träger-Stützenanschlüsse.



Achtung! Die Anwendung der Methode ist (gegenwärtig) nicht durch eine Norm eingeführt.

Generell folgt das Verfahren der Vorgehensweise von B. Schmidt, daher werden hier nur die wesentlichen Formeln dargestellt.

Die Tragfähigkeiten der verschiedenen Versagensmodi ergeben sich zu

$$\text{Modus 1} \quad F_{Rd,1} = \frac{(8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}}{2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m + n)}$$

$$\text{Modus 3} \quad F_{Rd,3} = \frac{\sum B_{t,Rd}}{2} \cdot (1 + 0.8) = 0.9 \cdot \sum B_{t,Rd}$$

$$\text{Modus 2} \quad F_{Rd,2,p} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + \frac{\sum B_{t,Rd}}{2} \cdot \left(\frac{n_1^2 + 2 \cdot n_2^2 + 2 \cdot n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2} \right)}{m + n_1 + n_2} \quad \dots \dots \dots \text{Abstützkräfte vorhanden}$$

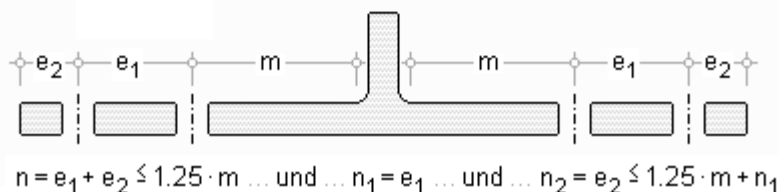
$$F_{Rd,2,np} = \frac{2 \cdot M_{pl,1,Rd} + \frac{\sum B_{t,Rd}}{2} \cdot n_1}{m + n_1} \quad \dots \dots \dots \text{Abstützkräfte nicht vorhanden}$$

... mit ... $e_w = d_w / 4$

$\sum B_{t,Rd}$ Summe der Schraubentragfähigkeiten

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$



Die wirksamen Längen ergeben sich für verschiedene Fließmuster zu

äußere Schraubenreihe

$$l_{\text{eff,c}} = \min [l_{\text{eff,I}}; l_{\text{eff,II}}; l_{\text{eff,III}}; l_{\text{eff,IV}}] \dots \text{mit } \dots$$

$$l_{\text{eff,I}} = 4 \cdot \pi \cdot m_x$$

$$l_{\text{eff,II}} = \pi \cdot m_x + w + 2 \cdot e_1$$

$$l_{\text{eff,III}} = 2 \cdot (\pi \cdot m_x + e_1)$$

$$l_{\text{eff,IV}} = \pi \cdot m_x + 2 \cdot (e_1 + e_2)$$

$$l_{\text{eff,nc}} = \min [l_{\text{eff,V}}; l_{\text{eff,VI}}; l_{\text{eff,VII}}; l_{\text{eff,VIII}}; l_{\text{eff,IX}}] \dots \text{mit } \dots$$

$$l_{\text{eff,V}} = 2 \cdot m_x + 0.625 \cdot e_x + (e_1 + e_2)$$

$$l_{\text{eff,VI}} = 4 \cdot m_x + 1.25 \cdot e_x + e_1$$

$$l_{\text{eff,VII}} = 2 \cdot m_x + 0.625 \cdot e_x + e_1 + 0.5 \cdot w$$

$$l_{\text{eff,VIII}} = 0.5 \cdot (2 \cdot e_1 + 2 \cdot e_2 + w)$$

$$l_{\text{eff,IX}} = 8 \cdot m_x + 2.5 \cdot e_x$$

innere Schraubenreihe neben einer Steife

$$l_{\text{eff,c}} = l_{\text{eff,X}} = 4 \cdot \pi \cdot m_1$$

$$l_{\text{eff,nc}} = l_{\text{eff,XI}} = \alpha \cdot m_1$$

Wirksame Längen innerer Schraubenreihen, die nicht neben einer Steife oder Trägerflansch liegen, werden nur für zwei Schrauben je Reihe ermittelt.

G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 3: Komponentenmethode, 2014

G. Wagenknecht verfeinert die Ausführungen des AIF-Berichts dahingehend, dass er konstatiert, dass i.A. vorgespannte Schrauben verwendet werden und damit stets Abstützkräfte erzeugt werden.

Er setzt voraus, dass bei Erreichen der Grenztragfähigkeit die am Steg liegenden Schrauben zu 100%, die äußeren Schrauben zu 80% ausgenutzt sind.

Die Tragfähigkeit der inneren Schraubenreihe ergibt sich zu

$$F_{T,1,Rd} = 4 \cdot M_{pl,1,Rd} / m$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot F_{t,Rd} \cdot (3.6 - 1.6 \cdot n_1/n)}{m + n} \leq 3.6 \cdot F_{t,Rd}$$

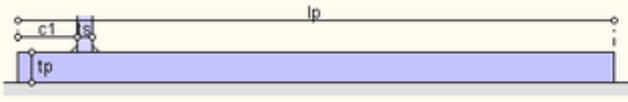
$$F_{T,3,Rd} = 3.6 \cdot F_{t,Rd}$$

$$F_{T,4,Rd} = \frac{3.6 \cdot M_{pl,1,Rd}}{1.8 \cdot m + 0.8 \cdot n_1}$$

äquivalenter T-Stummel mit Druckbeanspruchung

4H-EC3 - Basisverbindungen [Position 11: Basisverbindungen]

Nachweis eines T-Stummels unter Druckbeanspruchung:



Fußplatte

Blechdicke t_p	20.0	mm
Blecbreite b_p	250.0	mm
Blechlänge l_p	400.0	mm

Nachweisparameter

Anschlussbeiwert	β_j	0.6667
Lastausbreitungsfaktor	A_{c1}/A_{c0}	1.00
Beton-/Mörtelruckfestigkeit	f_{ck}	20.0 N/mm ²
zusätzliches Ausbreitungsmaß	c_1	40.0 mm
	c_2	0.0 mm
<small>= 0: wird berechnet</small>		
Dicke des Stützenblechs = Stegdicke des T-Stummels	t_s	10.0 mm
Breite des Stützenblechs	b_s	250.0 mm

Belastung

Bemessungswert der Druckkraft $F_{C,Ed}$ 0.0 kN

maximale Ausnutzung $U_{max} = \text{XXXXXX}$

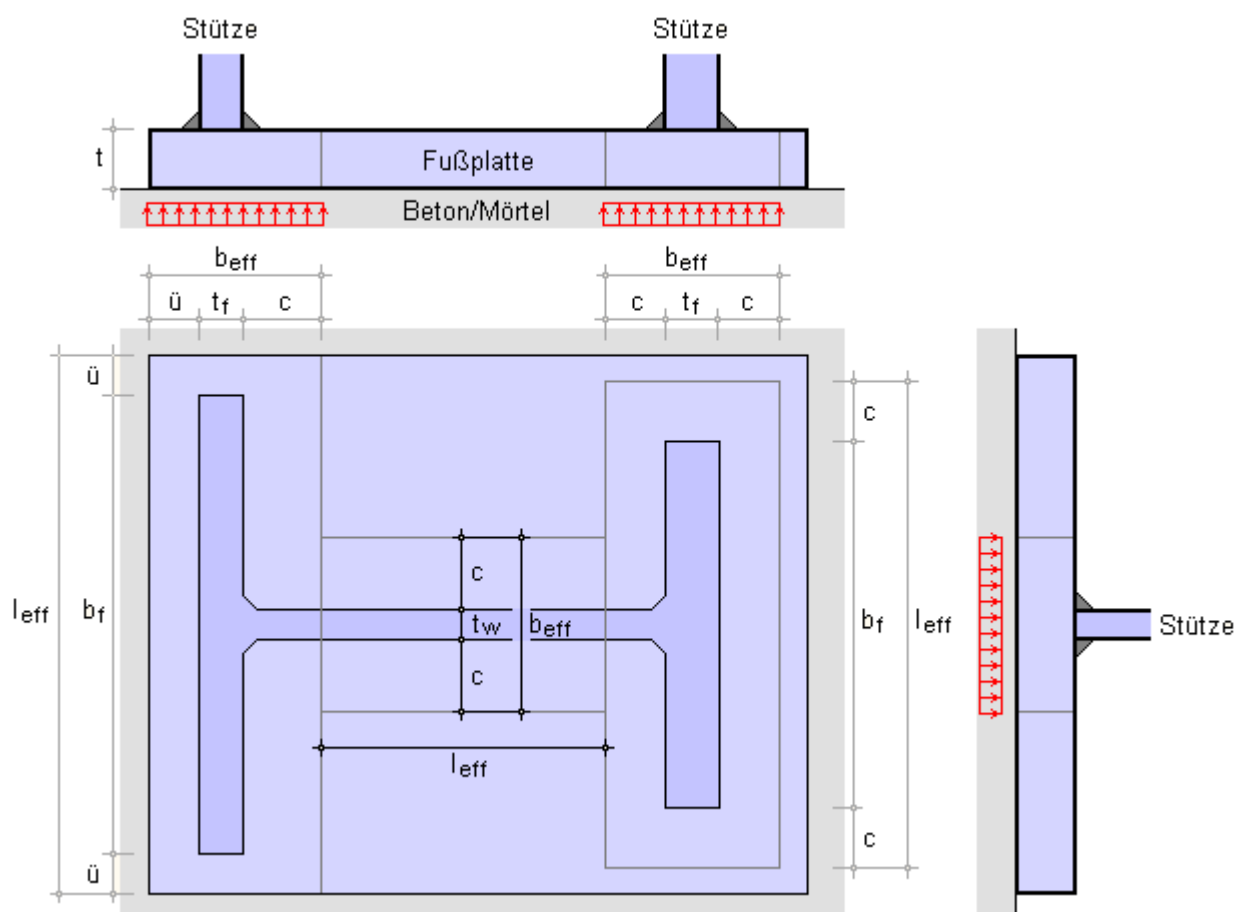
Bild vergrößern 



Das Modell eines äquivalenten T-Stummels mit Druckbeanspruchung kann zur Ermittlung der Tragfähigkeiten folgender geschraubter Grundkomponenten dienen

- Fußplatte mit Biegung aufgrund der Lagerpressung
- Beton und/oder Mörtelfüllung unter der Lagerpressung

T-Stummel sind Verbindungen zur Übertragung von Druckkräften aus dem T-Stummelsteg (Flansch oder Steg einer Stütze) über den T-Stummelflansch (Fußplatte) in die Beton- oder Mörtelschicht.

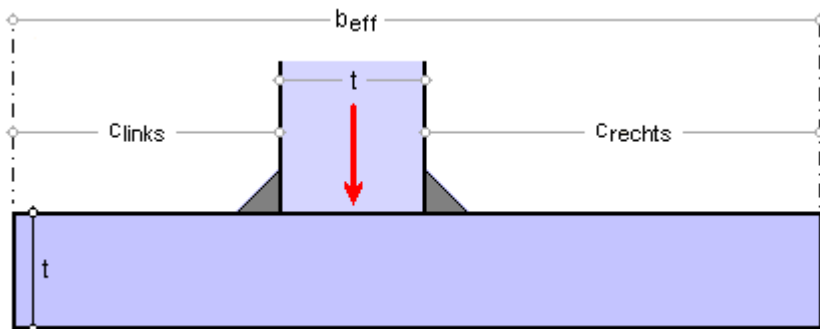


Die **Fußplatte** wird hier nicht bemessen!

Die wirksame Länge l_{eff} und die wirksame Breite b_{eff} des äquivalenten T-Stummels sind so anzusetzen, dass die Tragfähigkeiten der o.a. Grundkomponente des Anschlusses und des äquivalenten T-Stummels gleich groß sind.

Im Programm sind die wesentlichen Parameter des äquivalenten T-Stummels einzugeben mit

- den zusätzlichen Ausbreitungsbreiten c_{links} , c_{rechts} , wobei u.U. eine der beiden Ausbreitungsbreiten dem Überstand \bar{u} der Fußplatte entspricht
- der Dicke t und Länge $l_{\text{eff}} = b$ des T-Stummelflansches;
die Breite des T-Stummelflansches berechnet sich unter Angabe der Stegdicke t zu $b_{\text{eff}} = c_{\text{links}} + c_{\text{rechts}} + t$



Berechnung der wirksamen Breite

Die Spannungsverteilung unter dem T-Stummel wird gleichmäßig angenommen, wenn die zusätzliche Ausbreitungsbreite der Druckkraft aus der Stütze den folgenden Wert nicht überschreitet (EC3-1-8, 6.2.5(4))

$$c_{\text{max}} = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} \quad \dots \text{ mit } \dots$$

Bemessungswert der Beton-/Mörteldruckfestigkeit unter Lagerpressung $f_{jd} = \frac{\beta_j \cdot F_{Rdu}}{b_{\text{eff}} \cdot l_{\text{eff}}}$

Anschlussbeiwert β_j , i.A. $\beta_j = 2/3$

Tragfähigkeit unter konzentrierten Lasten (EC2, 6.7) $F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \leq 3.0 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0}$
 ... mit ... $A_{c0} = b_{\text{eff}} \cdot l_{\text{eff}}$

Bemessungswert der Beton-/Mörteldruckfestigkeit $f_{cd} = \frac{0.85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$... mit ... $\gamma_c = 1.5$

Die wirksame Breite ergibt sich damit zu

Stützenflansch $b_{\text{eff}} = \min(\bar{u}, c_{\text{max}}) + t_f + c$

Stützensteg $b_{\text{eff}} = 2 \cdot c + t_w$

Die wirksame Länge wird entsprechend gebildet.

Tragfähigkeit

Die Tragfähigkeit eines T-Stummelflansches unter Druck wird bestimmt mit

$$F_{C,Rd} = f_{jd} \cdot b_{\text{eff}} \cdot l_{\text{eff}}$$

nationale Anhänge zu den Eurocodes

Die Eurocode-Normen gelten nur in Verbindung mit ihren *nationalen Anhängen* in dem jeweiligen Land, in dem das Bauwerk erstellt werden soll.

Für ausgewählte Parameter können abweichend von den Eurocode-Empfehlungen (im Eurocode-Dokument mit 'ANMERKUNG' gekennzeichnet) landeseigene Werte bzw. Vorgehensweisen angegeben werden.

In **pcae**-Programmen können die veränderbaren Parameter in einem separaten Eigenschaftsblatt eingesehen und ggf. modifiziert werden.



Dieses Eigenschaftsblatt dient dazu, dem nach Eurocode zu bemessenden Bauteil ein nationales Anwendungsdokument (NA) zuzuordnen.

NAe enthalten die Parameter der nationalen Anhänge der verschiedenen Eurocodes (EC 0, EC 1, EC 2 ...) und ermöglichen den **pcae**-Programmen das Führen normengerechter Nachweise, obwohl sie von Land zu Land unterschiedlich gehandhabt werden.

Die EC-Standardparameter (Empfehlungen ohne nationalen Bezug) wie auch die Parameter des deutschen nationalen Anhangs (NA-DE) sind grundsätzlich Teil der **pcae**-Software.

Darüber hinaus stellt **pcae** ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem weitere NAe aus Kopien der bestehenden NAe erstellt werden können. Dieses Werkzeug, das über ein eigenes Hilfedokument verfügt, wird normalerweise aus der Schublade des DTE[®]-Schreibtischs heraus aufgerufen. Einen direkten Zugang zu diesem Werkzeug liefert die kleine Schaltfläche hinter dem **Schraubenziehersymbol**.

Anschlussbleche

Mit dem Programm *Basisverbindungen* können u.A. Schrauben- und Schweißverbindungen nachgewiesen werden.

Es wird jeweils ein Verbindungsmittel (eine Schraube, ein Niet, ein Bolzen oder eine Schweißnaht) hinsichtlich seiner wesentlichen Belastungsarten untersucht.

Die Anschlussbleche werden nur betrachtet, soweit sie die Bemessung des Verbindungsmittels betreffen.

Blech 1:	Blehdicke	t	<input type="text" value="26.0"/>	mm	
	Stahlsorte		<input type="text" value="S 235"/>	<input type="checkbox"/>	Vorgabe
Blech 2:	Blehdicke	t	<input type="text" value="20.0"/>	mm	<input type="checkbox"/> ohne Nachweis
	Stahlsorte		<input type="text" value="S 275"/>	<input type="checkbox"/>	Vorgabe
<input checked="" type="checkbox"/>	Futterblech mit Blehdicke	t	<input type="text" value="6.0"/>	mm	

Die Blech 1 betreffenden Nachweise werden grundsätzlich durchgeführt, während Blech 2 über die Aktivierung des Buttons **ohne Nachweis** ausgeschlossen werden kann.

Jedem Anschlussblech kann eine andere **Stahlsorte** zugeordnet werden, die wiederum über den **Vorgabe**-Button vom Anwender manipuliert werden kann.

Häufig wird bei Anschlüssen ein Futterblech angeordnet, das bei der Bemessung berücksichtigt werden muss.

Bei zweischnittigen Verbindungen mit Futterblechen auf beiden Seiten des Stoßes ist die Dicke des dickeren Futterblechs anzusetzen (EC 3-1-8, 3.6.1(13)).

Stahlsorten

In **pcae**-Programmen werden folgende typisierten Stahlsorten vorgehalten (s. EC3-1-1, 3.2.1, Tab.3.1):

- S 235 (auch W und H)
- S 275 (auch N/NL, M/ML, H, NH/NLH und MH/MLH)
- S 355 (auch N/NL, M/ML, W, H, NH/NLH und MH/MLH)
- S 450, S 460 (auch N/NL, M/ML, Q/QL/QL1, H, NH/NLH und MH/MLH)

Natürlich können die zur Bemessung in diesem Programm verwendeten Parameter verändert und an geeignete

Produktnormen angepasst werden.

<input checked="" type="checkbox"/> Vorgabe			
Kennung	S235JR gemäß EN 10025-2		
char. Streckgrenze	$f_{y,40}$	235.0	N/mm ²
char. Zugfestigkeit	$f_{u,40}$	360.0	N/mm ²
<small>für Blechdicke $\max t \leq 40$ mm</small>			
char. Streckgrenze	$f_{y,80}$	215.0	N/mm ²
char. Zugfestigkeit	$f_{u,80}$	360.0	N/mm ²
<small>für Blechdicke 40 mm $< \max t \leq 80$ mm</small>			
char. Streckgrenze	$f_{y,\infty}$	215.0	N/mm ²
char. Zugfestigkeit	$f_{u,\infty}$	360.0	N/mm ²
<small>für Blechdicke $\max t > 80$ mm</small>			
E-Modul	E	210000.0	N/mm ²
Korrelationsbeiwert	β_w	0.80	

Die 'Stahlsorte' steht somit als Synonym für die Festigkeiten f_y und f_u , die je nach Dicke des Bauteils variieren können, den Elastizitätsmodul E sowie den Korrelationsbeiwert β_w , der bei der Bemessung einer Schweißverbindung mit Kehlnähten oder einer Lochschweißung relevant ist.

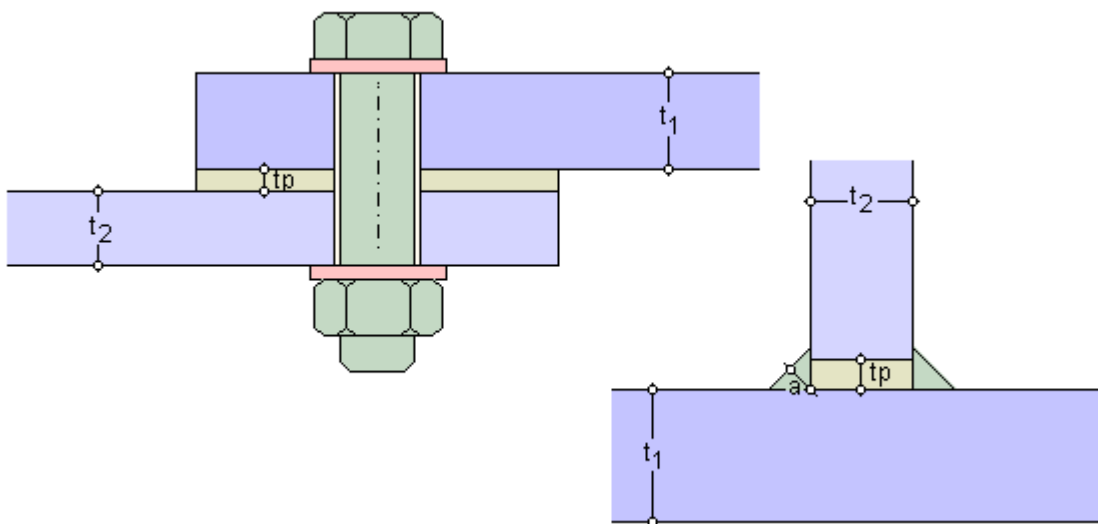
Zur genaueren Spezifikation der Stahlsorte steht ein Text-Eingabefeld zur Verfügung, das zusätzlich zur Sorte eine Kennung in der Druckliste angibt.

grafische Darstellung

Die wesentlichen Parameter der Anschlussmittel werden überprüft.

Sind Verbindungsmittel und Anschlussbleche sinnvoll eingegeben, wird die Verbindung zur optischen Kontrolle maßstabsgerecht dargestellt.

Änderungen an den Parametern werden sofort übernommen: die wesentlichen Abmessungen sind bezeichnet.



Tritt jedoch ein Fehler beim Datencheck auf, kann die Verbindung grafisch nicht dargestellt werden ('Fehler in den Eingabedaten').

Der bestehende Grund wird während der Berechnung am Bildschirm sowie anschließend in der Druckliste gemeldet.

Ausdrucksteuerung

Eingabeparameter und Ergebnisse werden in einer Druckliste ausgegeben, deren Umfang über die folgenden Optionen beeinflusst werden kann:

Eingabeprotokoll	
	Vorbemerkungen (3 Zeilen)
<input checked="" type="checkbox"/>	fotorealistische Darstellung nur 4H-EC3GT, HK
<input checked="" type="checkbox"/>	Grafik im Maßstab 1 : <input type="text" value="5.0"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Eingabeparameter
<input checked="" type="checkbox"/>	Materialsicherheitsbeiwerte
<input type="checkbox"/>	zusätzliche Informationen
<input type="checkbox"/>	Parameter des nationalen Anhangs
<input checked="" type="checkbox"/>	Vorschriften

Zunächst kann eine maßstäbliche **grafische Darstellung** des Anschlusses in die Liste eingefügt werden.

Der Maßstab kann entweder vorgegeben werden, oder die Zeichnung wird im Falle einer Eingabe von 0 größtmöglich in den dafür vorgesehenen Platz gesetzt.

Anschließend werden die **Eingabeparameter** und die **Materialsicherheitsbeiwerte** bzw. **Bemessungskräfte** ausgedruckt.

I.A. reicht die Ausgabe der Typbezeichnungen der Verbindungsmittel sowie der Stahlgüten aus; bei Aktivierung der **zusätzlichen Informationen** werden zudem die Rechenparameter ausgegeben.

Im Anschluss an die Ergebnisse sind die zur Bemessung des Anschlusses maßgebenden **Parameter des nationalen Anhangs** angeordnet.

Zum Schluss kann eine Liste der verwendeten **Vorschriften** (Normen) abgedruckt werden.

Ergebnisse	
<input type="radio"/>	ausführlich
<input checked="" type="radio"/>	standard
<input type="radio"/>	minimal

Der Umfang der Ergebnisdarstellung kann **ausführlich**, **standard** oder **minimal** sein.

- eine ausführliche Ergebnisausgabe beinhaltet die Ausgabe sämtlicher verwendeter Formeln, um Schritt für Schritt den Lösungswert nachzuvollziehen
- ist dagegen die Ergebnisausgabe minimal, wird nur das Endergebnis ohne weiteren Kommentar ausgedruckt
- im Normalfall reicht die Standardausgabe, bei der nur die wichtigsten Zwischenwerte zusätzlich zum Endergebnis ausgegeben werden

<input checked="" type="radio"/>	tabellarisch
<input type="radio"/>	maßgebendes Lastkollektiv detailliert
<input checked="" type="radio"/>	Lastkollektiv detailliert: Nr. <input type="text" value="7"/>
<input type="radio"/>	keine detaillierte Ausgabe

Bei einer großen Anzahl an Lastkombinationen ist es sinnvoll, die Ergebnisse in sehr kompakter Form **tabellarisch** auszugeben.

Optional kann das **maßgebende Lastkollektiv**, das zur maximalen Ausnutzung geführt hat, in der Standard-Form angefügt werden.

Alternativ kann es sinnvoll sein, den Berechnungsablauf eines frei wählbaren Lastkollektivs ausgeben zu lassen. Es kann auch **keine detaillierte Ausgabe** erfolgen.

<input checked="" type="radio"/>	maßgebendes Lastkollektiv
----------------------------------	---------------------------

Neben der tabellarischen Ausgabe kann auch nur das **maßgebende Lastkollektiv** protokolliert werden.

- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> optimierte Tabelle (FEM-Ergebnisse) | nur 4H-EC3FS, FK, QN |
| <input checked="" type="checkbox"/> Bemessungsgrößen | nur 4H-EC3BT - Familie
4H-EC3GT - Familie |
| <input checked="" type="checkbox"/> Zwischenergebnisse | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Erläuterungsskizzen | |

In den FE-Programmen 4H-EC3FS, freier Stirnplattenstoß, 4H-EC3FK, freier Knotenblechanschluss, und 4H-EC3QN, Querschnittsnachweis, können die **FEM-Ergebnisse in einer optimierten Tabelle** ausgegeben werden.

In den Programmen der 4H-EC3BT-Familie (4H-EC3BT, Biegesteifer Trägeranschluss, 4H-EC3RE, Rahmenecke, 4H-EC3TT, Thermische Trennschicht, 4H-EC3IH, Typisierter IH-Anschluss, 4H-EC3IM, Typisierter IM-Anschluss) und der 4H-EC3GT-Familie (4H-EC3GT, Gelenkiger Trägeranschluss, 4H-EC3IS, Typis. IS,IW,IG,IK-Anschluss) wird die Herleitung der **Bemessungsgrößen** protokolliert.

Um den Umfang des Berechnungsprotokolls zu reduzieren, kann die Ausgabe von **Zwischenergebnissen** und/oder **Erläuterungsskizzen** unterdrückt werden.

Das Abschalten der Erläuterungsskizzen betrifft nicht die Ausgabe der Übersichtsgrafik (s.o.).

Abschnittsnummerierung unterdrücken

Das Statikdokument wird in strukturierter Form durchnummeriert, die auch mit dem **pcae**-eigenen Verwaltungsprogramm **PROLOG** korrespondiert. Optional kann die **Abschnittsnummerierung unterdrückt** werden.

Toleranz im Endergebnis %

Bei Ausgabe des Endergebnis' wird deutlich vermerkt, ob der der Nachweis erbracht wurde. Um geringfügige Ausnutzungsüberschreitungen abzufangen, kann ein **Toleranzwert** gesetzt werden.

zur Hauptseite [4H-EC3BV](#), Basisverbindungen

