



**4H-** STATIKPROGRAMME  
AUS HANNOVER

**DTE** Desktop®  
Engineering



pcae GmbH

Kopernikusstr. 4A

30167 Hannover

Tel 0511/70083-0

Fax 0511/70083-99

Internet [www.pcae.de](http://www.pcae.de)

Mail [dte@pcae.de](mailto:dte@pcae.de)



**4H-EC3RE**

**Rahmenecke / T-Anschluss**

Oktober 2024







# 4H-EC3RE

## Rahmenecke / T-Anschluss

Copyright 2014-2024

9. erweiterte Auflage, Oktober 2024

**pcae** GmbH, Kopernikusstr. 4 A, 30167 Hannover

**pcae** versichert, dass Handbuch und Programm nach bestem Wissen und Gewissen erstellt wurden. Für absolute Fehlerfreiheit kann jedoch infolge der komplexen Materie keine Gewähr übernommen werden.

Änderungen an Programm und Beschreibung vorbehalten.

Korrekturen und Ergänzungen zum vorliegenden Handbuch sind ggf. auf der aktuellen Installations-CD enthalten. Ergeben sich Abweichungen zur Online-Hilfe, ist diese aktualisiert.

Ferner finden Sie **Verbesserungen und Tipps im Internet unter [www.pcae.de](http://www.pcae.de)**.

Von dort können zudem aktualisierte Programmversionen herunter geladen werden.

S. hierzu auch *automatische Patch-Kontrolle* im DTE<sup>®</sup>-System.







# Produktbeschreibung

Das Programm *##-EC3RE* berechnet Stützen-Endverbindungen wie Rahmenecken und T-Anschlüsse mit Doppel-T-Profilen nach der Komponentenmethode, die sich eignet für die Berechnung verformbarer, jedoch nicht gelenkiger Anschlüsse, bei denen die Momententragfähigkeit des Anschlusses unter der der angeschlossenen Bauteile liegt.

Bei der Komponentenmethode wird davon ausgegangen, dass ein Anschluss als eine Zusammenstellung von Grundkomponenten dargestellt werden kann, wobei das Tragverhalten einer Grundkomponente unabhängig von den anderen Gkn ist. Daraus lassen sich die Momententragfähigkeit des Anschlusses sowie seine Rotationssteifigkeit bestimmen.

Nach EC 3-1-8, 5.3, können zweiseitige Anschlüsse in Form von zwei getrennten einseitigen Anschlüssen modelliert werden. Bedingung ist jedoch, dass sich die Systemlinien in einem Knotenpunkt schneiden. Diese Vorgehensweise wird im Programm *##-EC3RE* verfolgt.

Für geschweißte und geschraubte Stirnblechverbindungen sind die beteiligten Grundkomponenten im EC 3-1-8 aufgeführt und werden vom Programm unterstützt.

Da einzelne Grundkomponenten lastabhängig sind, werden für jede Bemessungsgröße die Grundkomponenten ausgewertet sowie die Biegetragfähigkeit und Rotationssteifigkeit des Anschlusses bestimmt.

Im Endergebnis werden die maximale Biegetragfähigkeit, die minimale Rotationstragfähigkeit mit der zugehörigen Anfangsrotationssteifigkeit und Verdrehung des Anschlussknotens angegeben.

Neben der kompletten Berechnung können auch einzelne Grundkomponenten ausgewählt und nachgewiesen werden.

Nach EC 3-1-8, 6.2.7, können mit der Komponentenmethode biegebelastete Anschlüsse wirtschaftlich berechnet werden. Bei überwiegender Normalkraftbeanspruchung wird eine konservative Lösung vorgeschlagen.

Das Programm *##-EC3RE* verwendet ein aus der Optimierungstheorie bekanntes Verfahren zur günstigeren Bemessung.

## Spezielle Leistungsmerkmale

### Rahmenecken

- der Anschluss des Trägers an die Stütze kann vertikal (Var.1), horizontal (Var. 2) oder diagonal (Var. 3) erfolgen
- der Anschluss kann geschweißt (nicht Var. 3) oder als geschraubte Stirnblechverbindung ausgeführt werden
- die vertikale geschraubte Stirnblechverbindung kann durch eine geschraubt-geschweißte Zuglasche ergänzt werden
- aus Montagegründen kann bei einem vertikalen, geschweißten Anschluss ein Stirnblechstoß im Träger angeordnet werden
- ein diagonaler Anschluss wird als Stirnblechstoß 'über Eck' ausgeführt, wobei sowohl der Stoß *Träger-Träger* als auch derjenige *Stütze-Stütze* berechnet wird
- es kann eine Beuluntersuchung für das Stützenstegfeld und/oder das Trägerfeld erfolgen (nicht Var. 3)

### T-Anschlüsse

- der Anschluss des Trägers an die Stütze kann vertikal (Var.1) oder horizontal (Var. 2) erfolgen
- der Anschluss kann geschweißt oder als geschraubte Stirnblechverbindung ausgeführt werden
- bei einer beidseitigen Träger-Stützenverbindung (Var. 1) kann je Seite eine beliebige Anschlussart gewählt werden. Die Träger können gegeneinander versetzt angeordnet sein.

### Für alle gilt

- die Bemessungslasten müssen i.A. nicht umgerechnet werden. Sie können im Knotenpunkt der Systemachsen oder im Anschnitt der Verbindung bezogen auf die Systemachsen bzw. senkrecht zur Anschlussebene eingegeben werden. Es kann zwischen dem Statik- und dem EC 3-Koordinatensystem unterschieden werden.



- die Schweißnähte zwischen Träger und Stütze bzw. Träger/Stütze und Stirnblech werden mit dem Linienmodell nach dem vereinfachten oder richtungsbezogenen Verfahren nachgewiesen. Es handelt sich i.A. um beidseitig angeordnete Kehlnähte, deren Eingabewerte der wirksamen Nahtdicke jeweils für beide Seiten gelten.
- ein Träger kann geneigt sein und/oder mit einer Voute verstärkt werden. Rahmenecke: Die Voute kann nur bei Variante 1 angeordnet werden. T-Anschluss: Die Voute kann nur bei horizontaler, nicht geneigter Trägerachse angeordnet werden. Ist der Träger gevoutet, kann der Voute-Trägeranschluss zusätzlich nachgewiesen werden. In diesem Bereich können Trägersteifen angeordnet sein. Es wird davon ausgegangen, dass zwischen der Anschluss-ebene und dem Voute-Trägeranschluss keine äußeren Lasten eingetragen werden.
- die Stütze des vertikalen Anschlusses (Var. 1) kann durch Stegbleche und/oder Stegsteifen verstärkt werden; bei horizontalem Anschluss (Var. 2) können Stegsteifen im Träger angeordnet sein
- bei geschweißten Anschlüssen wird am Kopf der Stütze ein Zugblech angeordnet und nachgewiesen (Rahmenecke Var. 2 analog)
- die Zug- und Drucksteifen werden bezüglich ihrer Querschnittstragfähigkeit und Anschlussschweißnähte nachgewiesen. Für die Drucksteifen wird der Beulnachweis geführt.
- die Querschnittstragfähigkeiten von Träger und Stütze können nach den Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* oder *Elastisch-Plastisch* nachgewiesen werden
- es kann eine Beuluntersuchung für das Stützenstegfeld und/oder das Trägerfeld erfolgen (nicht Var. 3)
- für das Stützenstegfeld und/oder das Trägerstegfeld kann zusätzlich zur Komponentenmethode (Gk 1) ein elastischer Schubfeldnachweis durchgeführt werden (nicht Rahmenecke Var. 3)
- im Stirnblech können beliebig viele Schraubenreihen (2 Schrauben je Reihe) mit frei definierbaren Abständen angeordnet werden. Es kann gewählt werden, wie viele der Schraubenreihen zur Ermittlung der Biege- und Abschertragfähigkeit herangezogen werden sollen. Vereinfachend kann eingestellt werden, dass alle Schraubenreihen betrachtet werden.
- bei Stirnblechanschlüssen mit überwiegender Normalkraftbeanspruchung werden durch geeignete Optimierungsstrategien realitätsnahe Schraubentragfähigkeiten ermittelt
- Stützen- und Trägerprofil können entweder dem **pcae**-eigenen Profilmanager entnommen oder als typisierter Querschnitt parametrisiert eingegeben werden
- die Parameter der Schrauben und Stahlsorten können entweder über deren Bezeichnungen einer **pcae**-eigenen Listbox entnommen oder vom Anwender vorgegeben werden
- die Verbindung wird maßstäblich sowohl am Bildschirm als auch in der Druckliste dargestellt. Die Bildschirmgrafik kann in einem separaten Fenster oder in der Programmoberfläche angezeigt werden.
- im Ausgabeprotokoll wird bei Bedarf der Rechenweg in ausführlicher Form dargestellt, so dass jeder Zahlenwert nachvollzogen werden kann. Natürlich kann das Statikdokument auch wesentlich reduziert werden.
- Export der Konstruktionszeichnung im DXF-Format zur Weiterbearbeitung in einem CAD-System
- für Standard-Verbindungen kann eine reduzierte Eingabemaske gewählt werden
- die Eingabedaten können über eine Copy-Paste-Funktion in ein anderes Bauteil übertragen werden

Die Programmentwicklung erfolgt nahezu ausschließlich durch Bauingenieure.

Die interaktiven Steuermechanismen des Programms sind aus anderen Windows- Anwendungen bekannt. Wir haben darüber hinaus versucht, weitestgehend in der Terminologie des Bauingenieurs zu bleiben und *##-EC3RE* von detailliertem Computerwissen unabhängig zu halten.



Das vorliegende Handbuch beschreibt die Handhabung des Programms. Informationen zu dem jeweiligen Eigenschaftsblatt finden Sie zusätzlich über den lokalen Hilfebutton.

Zur *##-EC3RE*-Dokumentation gehört neben diesem Manual das Handbuch

*DTE®-DeskTopEngineering.*

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit *##-EC3RE*.

**pcae** GmbH

Hannover, im Oktober 2024



## Abkürzungen und Begriffe

Um die Texte zu straffen, werden folgende Abkürzungen benutzt:

LF	Lastfall (Teileinwirkung)
Nwtyp	Nachweistyp
Gk	Grundkomponente
GZT	Grenzzustand der Tragfähigkeit
GZG	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit



signalisiert Anmerkungen

<b>Buttons</b>	Das Betätigen von Buttons wird durch Setzen des Buttoninhalts in <b>blaue Farbe</b> und die Auswahl eines Begriffs in einer Listbox durch diese <b>Farbe</b> symbolisiert.
<b>Index</b>	Indexstichworte werden im Text zum schnelleren Auffinden <b>grün markiert</b> . Beim Verweis auf Eigenschaftsblätter wird deren <i>Bezeichnung kursiv gedruckt</i> .
<b>Doppelklick</b>	zweimaliges schnelles Betätigen der LMT
<b>blank</b>	Leerzeichen
<b>Cursor</b>	Schreibmarke in Texten, Zeigesymbol bei Mausbedienung
<b>icon</b>	oder Ikon, Piktogramm, Bildsymbol
	Zur Definition der Begriffe <b>Lastbild</b> , <b>Lastfall</b> , <b>Einwirkung</b> , <b>Lastkollektiv</b> und <b>Extremalbil-</b> <b>dungsvorschrift</b> s. Handbuch <b>das pcae-Nachweiskonzept</b> , Theoretischer Teil.







# Inhaltsverzeichnis

1	Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten .....	9
2	Bauteil erzeugen .....	11
3	Eingabeoberfläche .....	13
3.1	Rechenlaufsteuerung .....	15
3.1.1	Allgemeines .....	15
3.1.2	Materialsicherheitsbeiwerte .....	15
3.1.3	Stahlsorte .....	15
3.1.4	Schrauben .....	16
3.1.5	Anschlussstyp .....	16
3.1.6	Komponentenmethode .....	16
3.1.7	Nachweise .....	17
3.1.8	Verschiedenes .....	18
3.2	Profile und Verstärkungen .....	19
3.2.1	Profile .....	19
3.2.2	Verstärkungen .....	20
3.3	Anschlussparameter .....	23
3.3.1	Anschlusskonfiguration .....	23
3.3.2	geschweißte Rahmenecke .....	25
3.3.3	geschraubte Rahmenecke .....	26
3.3.4	Besonderheiten bei Trägerneigung und Vouten .....	28
3.3.5	Rahmenecke mit Zuglasche .....	29
3.3.6	Druckausgabe .....	30
3.4	Schnittgrößen .....	32
3.4.1	Schnittgrößen importieren .....	33
3.4.1.1	Schnittgrößenimport bei Träger-Stützenanschlüssen .....	34
3.5	Ergebnisübersicht .....	37
3.5.1	Bezeichnung der Eingabeparameter .....	38
4	allgemeine Erläuterungen .....	40
4.1	Komponentenmethode .....	41
4.1.1	geschraubte Stirnblechverbindung .....	41
4.1.2	geschweißte Verbindung .....	46
4.1.3	Besonderheiten bei Vouten .....	46
4.1.4	Besonderheiten bei überwiegend normalkraftbeanspruchten Verbindungen .....	47
4.2	Teilschnittgrößen .....	48
4.3	Nachweise .....	50
4.3.1	Querschnittsnachweis .....	50
4.3.2	Nachweis der Anschluss Tragfähigkeit mit der Komponentenmethode .....	50
4.3.3	Nachweis der Anschluss Tragfähigkeit mit Teilschnittgrößen .....	51
4.3.4	Nachweis der Schweißnähte .....	51
4.3.5	Nachweis der Stegsteifen .....	53
4.3.6	Nachweis des Zugblechs .....	54
4.3.7	Schubfeldnachweis .....	55
4.3.8	Rahmenecke mit Zuglasche .....	57
4.3.9	Beulnachweis .....	58
4.3.9.1	Plattenbeulen .....	58
4.3.9.2	Schubbeulen .....	59
4.3.9.3	Interaktion .....	59
4.3.9.4	Verfahren der wirksamen Querschnittsflächen .....	59
4.3.9.5	Methode der reduzierten Spannungen .....	61
4.4	Rotationssteifigkeit .....	62
4.5	Rotationskapazität .....	63
5	Allgemeines zu Grundkomponenten .....	64
5.1	Grundidee .....	64
5.2	Anschlusskonfiguration .....	64
5.3	statisches Modell für Träger-Stützenanschlüsse .....	64
5.4	Berechnung allgemeiner Querschnittsgrößen .....	65
5.5	Klassifizierung von Querschnitten .....	65
5.6	Teilsicherheitsbeiwerte für Anschlüsse .....	65



5.7	Formelzeichen .....	66
<b>6</b>	<b>Beschreibung der Grundkomponenten .....</b>	<b>67</b>
6.1	Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung .....	67
6.1.1	Anwendungsvoraussetzung .....	67
6.1.2	Tragfähigkeit .....	67
6.1.3	Verstärkungen des Stützenstegs .....	67
6.2	Träger- oder Stützensteg mit Querdruckbeanspruchung .....	68
6.2.1	Anwendungsvoraussetzung .....	68
6.2.2	Tragfähigkeit .....	68
6.2.3	Verstärkungen des Stützenstegs .....	69
6.3	Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung .....	70
6.3.1	Anwendungsvoraussetzung .....	70
6.3.2	Tragfähigkeit .....	70
6.3.3	Verstärkungen des Stützenstegs .....	70
6.4	Stützenflansch mit Biegebeanspruchung .....	71
6.4.1	Anwendungsvoraussetzung .....	71
6.4.2	Tragfähigkeit einer geschweißten Verbindung .....	71
6.4.3	Tragfähigkeit einer geschraubten Verbindung .....	71
6.4.4	Verstärkungen des Stützenstegs .....	72
6.4.5	Schraubengruppe .....	72
6.5	Stirnblech mit Biegebeanspruchung .....	73
6.5.1	Anwendungsvoraussetzung .....	73
6.5.2	Tragfähigkeit .....	73
6.5.3	Schraubengruppe .....	73
6.6	Flanschwinkel mit Biegebeanspruchung .....	74
6.6.1	Anwendungsvoraussetzung .....	74
6.6.2	Tragfähigkeit .....	74
6.6.3	Flanschwinkel .....	74
6.7	Träger- oder Stützenflansch und -steg mit Druckbeanspruchung .....	75
6.7.1	Anwendungsvoraussetzung .....	75
6.7.2	Tragfähigkeit .....	75
6.8	Trägersteg mit Zugbeanspruchung .....	76
6.8.1	Anwendungsvoraussetzung .....	76
6.8.2	Tragfähigkeit .....	76
6.8.3	Träger .....	76
6.9	Schrauben mit Zugbeanspruchung .....	77
6.9.1	Anwendungsgrenzen .....	77
6.10	Schrauben mit Abscherbeanspruchung .....	77
6.10.1	Anwendungsgrenzen .....	77
6.11	Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung .....	77
6.11.1	Anwendungsgrenzen .....	77
6.12	Schweißnähte .....	78
6.12.1	Anwendungsgrenzen .....	78
6.12.2	Programmanwendung .....	78
6.13	Vouten .....	79
6.13.1	Anwendungsgrenzen .....	79
6.13.2	Tragfähigkeit .....	79
6.13.3	Verbindung Voute-Träger n. Grundkomponente 7 .....	80
6.13.4	Verbindung Voute-Träger n. Grundkomponente 2 .....	80
<b>7</b>	<b>Basisverbindungen .....</b>	<b>81</b>
7.1	Tragfähigkeit von Schraubenverbindungen .....	81
7.1.1	Schrauben .....	81
7.1.2	Berechnung der Tragfähigkeiten von Schrauben .....	82
7.1.2.1	Rechenparameter Schrauben .....	84
7.2	Tragfähigkeit von Schweißverbindungen .....	85
7.2.1	Kehlnähte .....	85
7.2.2	Stumpfnähte .....	86
7.2.3	Anordnung von Futterblechen .....	86
7.3	Äquivalenter T-Stummel mit Zugbeanspruchung .....	87
7.3.1	Berechnung der wirksamen Längen .....	88
7.3.2	Tragfähigkeit .....	90



7.4	T-Stummel mit vier Schrauben je Schraubenreihe .....	91
7.4.1	Berechnung der wirksamen Längen .....	92
7.4.2	Tragfähigkeit.....	94
8	Allgemeines .....	96
8.1	Stahlsorten .....	96
8.2	Ausdrucksteuerung .....	96
8.3	ationale Anhänge zu den Eurocodes .....	97
9	Literaturverzeichnis .....	98
10	Index .....	101







# 1 Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten

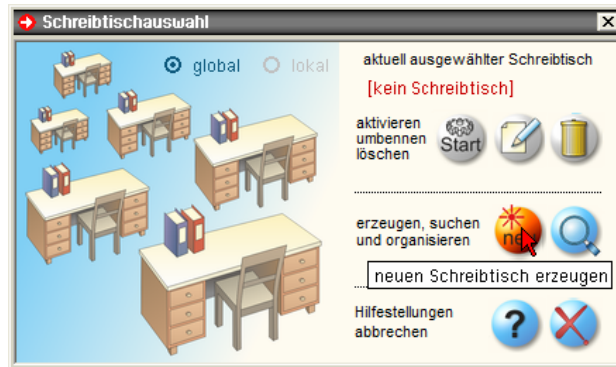
Die Installation des DTE®-Systems und das Überspielen des Programms #EC3RE auf Ihren Computer erfolgt über einen selbsterläuternden Installationsdialog.

Sofern Sie bereits im Besitz anderer #/-Programme sind und diese auf Ihrem Rechner installiert sind, lesen Sie bitte Abs. 2, Bauteil erzeugen, auf S. 11 weiter.

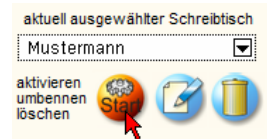
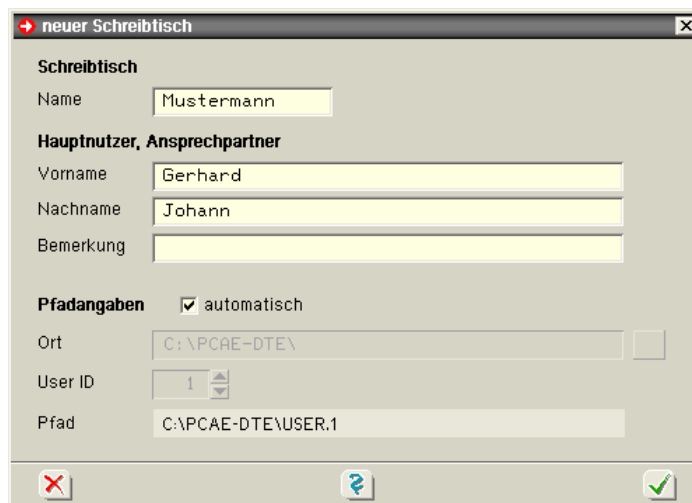


Nach erfolgreicher Installation befindet sich das DTE®-**Startsymbol** auf Ihrer Windowsoberfläche. Führen Sie bitte darauf den Doppelklick aus.

Daraufhin erscheint das Eigenschaftsblatt zur **Schreibtischauswahl**. Da noch kein Schreibtisch vorhanden ist, wollen wir einen neuen einrichten. Klicken Sie hierzu bitte auf den Button **neu**.



**Schreibtischname** Dem neuen Schreibtisch kann ein beliebiger Name zur Identifikation zugewiesen werden. Klicken Sie hierzu mit der LMT in das Eingabefeld. Hier ist *Mustermann* gewählt worden.



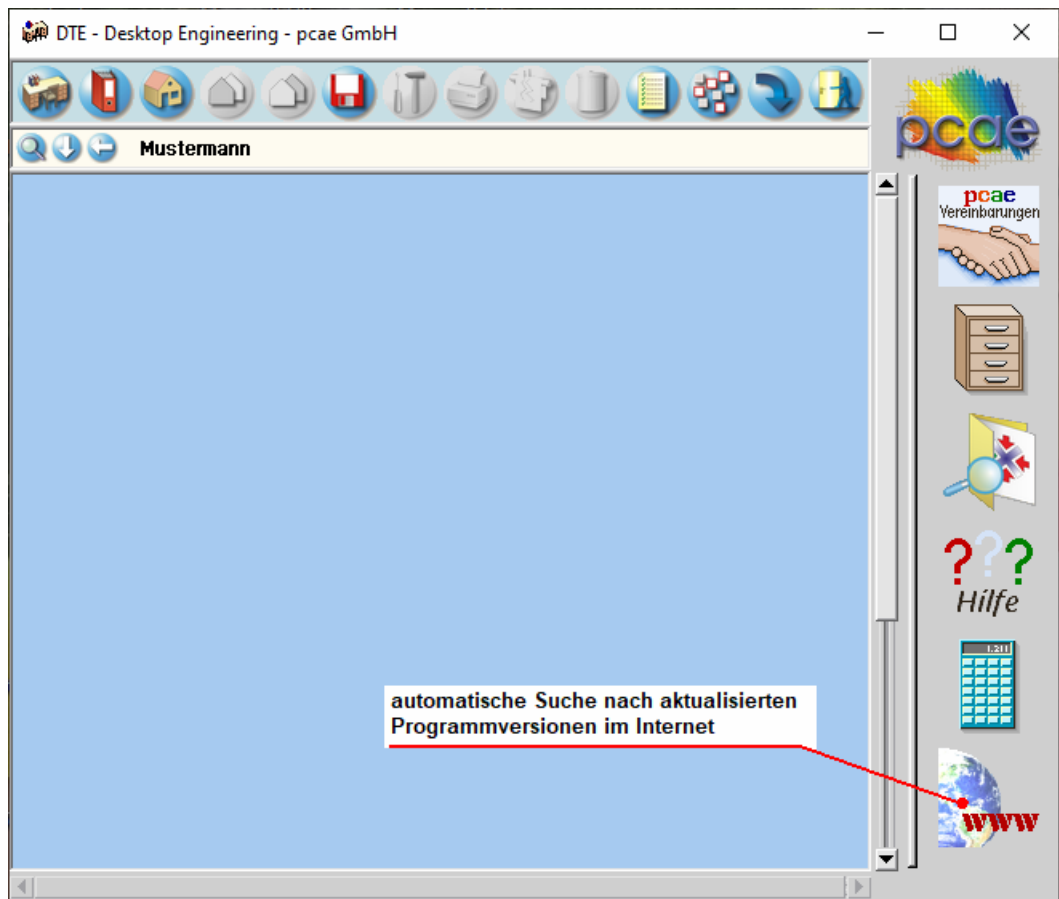
Nach Bestätigen über das **Hakensymbol** erscheint wieder die Schreibtischauswahl, in die der neue Name bereits eingetragen ist. Drücken Sie auf **Start** und die DTE®-Schreibtischoberfläche erscheint auf dem Bildschirm.

DTE® steht für *DeskTopEngineering* und stellt das "Betriebssystem" für **pcae**-Programme und die Verwaltungsoberfläche für die mit **pcae**-Programmen berechneten Bauteile dar.



Zur Beschreibung des DTE®-Systems und der zugehörigen Funktionen s. Handbuch *DTE®-DeskTopEngineering*.





## Steuerbuttons

Im oberen Bereich des Schreibtischs sind Interaktionsbuttons lokalisiert.

Die Funktion eines Steuerbuttons ergibt sich aus dem Fähnchen, das sich öffnet, wenn sich der Mauscursor über dem Button befindet.

Auf Grund der **Kontextsensitivität** des DTE®-Systems sind manche Buttons solange abgedunkelt und nicht aktiv bis ein Bauteil aktiviert wird.

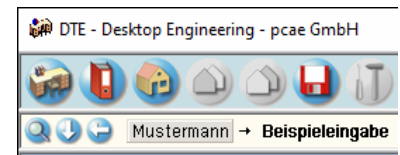
- |  |   |
|--|---|
|  | Die Buttons bewirken im Einzelnen   |
|  | öffnet die Schreibtischauswahl  |
|  | legt einen neuen Projektordner an   |
|  | erzeugt ein neues Bauteil   |
|  | kopiert das aktivierte Bauteil  |
|  | fügt die Bauteilkopie ein   |
|  | lädt/sichert Bauteile. Hier befindet sich auch der <b>e-Mail-Dienst</b> . |
|  | menügesteuerte Bearbeitung des aktivierten Bauteils                       |
|  | druckt die Datenkategorien des aktivierten Bauteils                       |
|  | ruft das Planerstellungsmodule des aktivierten Bauteils                   |
|  | löscht das aktivierte Bauteil/Ordner                                      |
|  | öffnet die Bearbeitung der Auftragsliste                                  |
|  | öffnet die Mehrfachauswahl zur gleichzeitigen Bearbeitung von Bauteilen   |
|  | eröffnet Verwaltungsfunktionen  |
|  | schließt den geöffneten Ordner/beendet die DTE®-Sitzung                   |



## Bauteil erzeugen



Durch Erzeugen eines **Ordners** besteht die Möglichkeit, Bauteile einem bestimmten Projekt zuzuordnen. Ein Ordner wird durch Anklicken des nebenstehenden Symbols erzeugt. Der Ordner erscheint auf dem DTE®-Desktop und kann, nachdem ihm eine Bezeichnung und eine Farbe zugeordnet wurden, per Doppelklick aktiviert (geöffnet) werden.



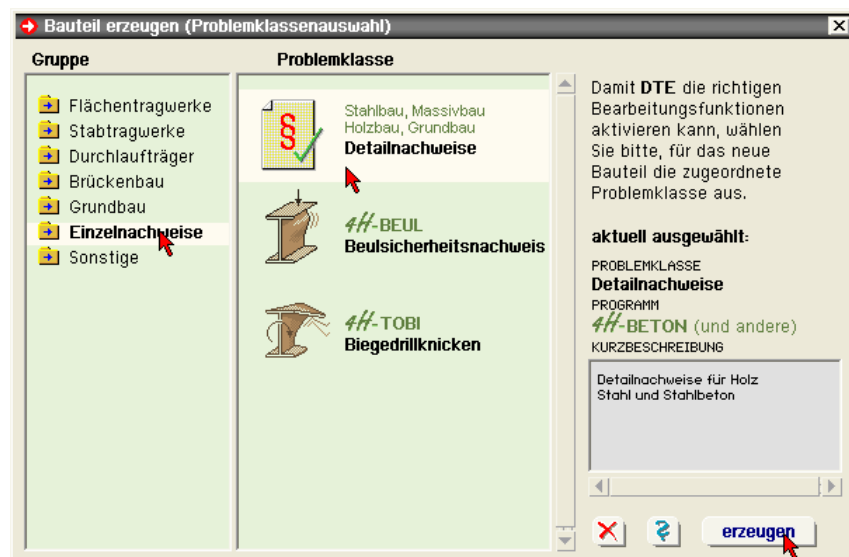
Aus dem Eintrag in der Schreibtischkopfzeile ist zu erkennen, in welchem Ordner sich die Aktion aktuell befindet.



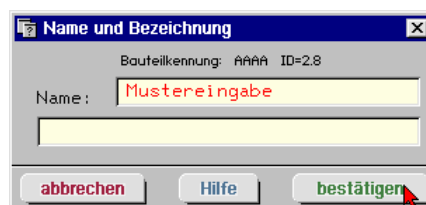
Der Ordner kann durch das **beenden**-Symbol wieder geschlossen werden.



Zur Erzeugung eines neuen Bauteils wird das Schnellstartsymbol in der Kopfleiste des DTE®-Schreibtischs angeklickt. Klicken Sie in dem folgenden Eigenschaftsblatt bitte mit der LMT auf die Gruppe **Einzelnachweise**, dann auf die Problemklasse **Detailnachweise** und abschließend auf den **erzeugen**-Button.



Der schwarze Rahmen der neuen Bauteilkone lässt sich mit der Maus über den Schreibtisch bewegen. Klicken Sie die LMT an der Stelle, an der das Bauteil auf dem Schreibtisch platziert werden soll. Das Eigenschaftsblatt **Name und Bezeichnung** erscheint.



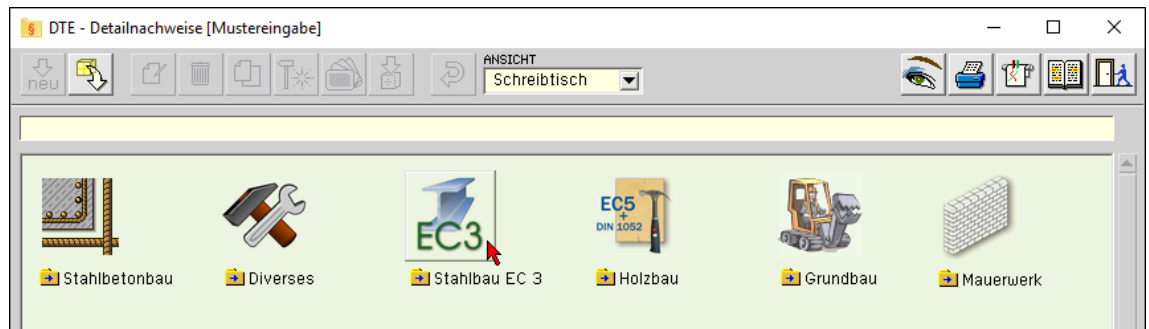
Nach Doppelklick auf das neue Bauteilicon erscheint die Übersicht der installierten Detailnachweisprogramme.



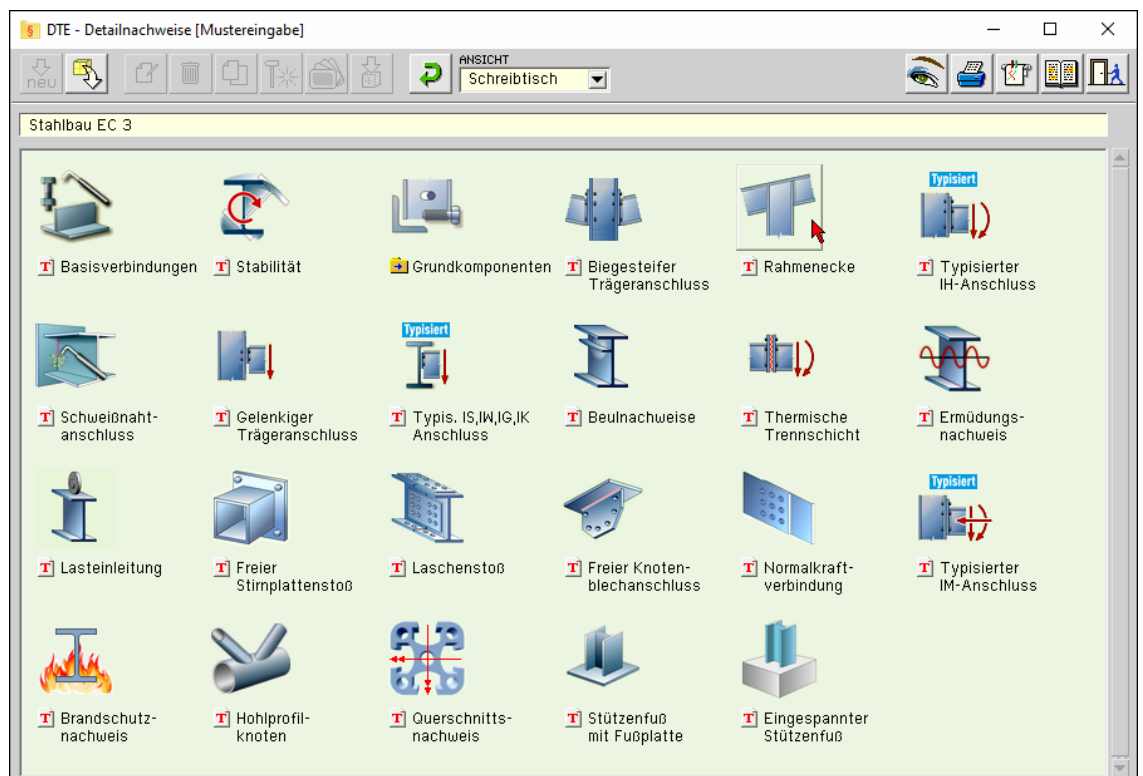


Überschreiben Sie den Begriff "Detailnachweise" zur Identifikation durch einen sinnvollen Text. Nach **Bestätigen** ist das Bauteil mit dem neuen Namen eingerichtet. Durch Doppelklicken des neuen Symbols wird die Verwaltung der DTE®-Detailnachweise geöffnet.

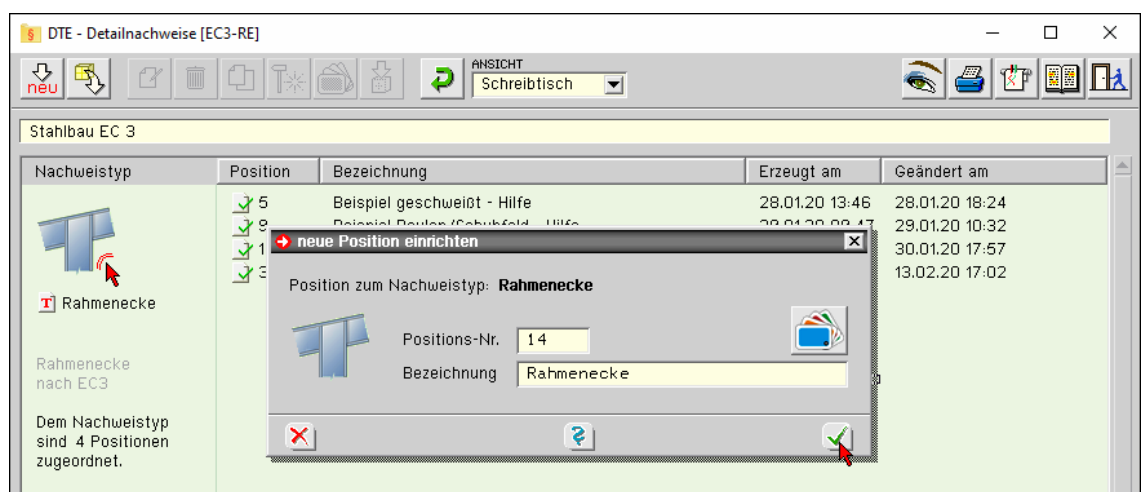
## Übersicht Detailnachweise



## Übersicht EC 3- Programme



## Rahmenecke



Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts *neue Position einrichten* erscheint die Eingabeoberfläche des Programms *Rahmenecke*.



## Eingabeoberfläche

Nachfolgend ist das Hauptfenster von *4H-EC3RE* dargestellt.

4H-EC3 - Rahmenecke [Position 32: Beispiel geschraubt - Hilfe]

☒ einheitliche Stahlorte

Stahlsorte: S235 ☐ Vorgabe

Kennung:

**Schrauben**

Schraubengröße: M20 ☐ Vorgabe

Festigkeitsklasse: 10.9 ☐ Vorgabe

☐ normale Schlüsselweite ☒ große Schlüsselweite

☐ Passschraube ☐ gleitfeste Verbindung

FK 8.8 oder 10.9: HU-Schraube planmäßig vorgespannt

**Materialsicherheit** (☒ genormt)

Beanspruchbarkeit von Querschnitten	γ <sub>M0</sub>	1.00
Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen	γ <sub>M1</sub>	1.10
Beanspruchbarkeit von Verbindungsmitteln	γ <sub>M2</sub>	1.25
Vorspannung hochfester Schrauben	γ <sub>M7</sub>	1.10

☒ Nachweise führen

☒ Nachweisverfahren 'Elastisch-Plastisch'

☐ Nachweisverfahren 'Elastisch-Elastisch'

☒ Komponentenmethode nach Eurocode 3

☐ MNV-Interaktion nach Cerfontaine (s. Jaspart/Weynand) nur bei geschraubtem Anschluss

☒ einschl. Querkraft nur bei geschraubtem Anschluss

☐ vereinfachte Berechnung der Querkrafttragfähigkeit

☐ Grundkomponenten mit Teilschnittgrößen (alternative Methode)

☒ Zusatznachweise (Variante 1: Träger, Variante 3: Stütze)

Nachweise am Voutenanschnitt, der Träger/Stützensteifen, des Stirnblechstoßes

☒ Stegsteifen (Rippen) / Zugblech (Kopfplatte)

☐ Beulnachweis

☐ elastischer Schubfeldnachweis (optional)

☒ Schweißnähte Nachweis über den Linienquerschnitt

☐ Nachweis mit dem richtungsbezogenen Verfahren

☒ Nachweis mit dem vereinfachten Verfahren

☒ Rahmenecke ☐ rechtsseitig ☐ linksseitig ☐ T-Anschluss

☒ komplette Berechnung

☐ Berechnung ausgewählter Grundkomponenten

☐ keine Berechnung der Grundkomponenten

Mit dem Programm *4H-EC3RE* können Rahmenecken und T-Anschlüsse als biegesteife Träger-Stützenverbindungen mit Doppel-T-Querschnitten entspr. Eurocode 3 nachgewiesen werden.

Die zugehörigen Verbindungsparameter werden in eigenen Registerblättern verwaltet, die über folgende Symbole die dahinter liegende Parametersauswahl kenntlich machen.



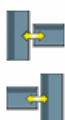
### Rechenlaufsteuerung (s. Abs. 3.1, S. 15)

Im ersten Registerblatt werden globale Parameter der Verbindung (Materialsicherheitsbeiwerte, Stahlgüte und Schraubengröße und -festigkeit) sowie der Berechnungsablauf festgelegt. Von zentraler Bedeutung ist die Wahl des Verbindungstyps, der sich auf die Steuerung der Eingabemasken auswirkt. Die zu führenden Nachweise können ausgewählt werden. Die Verbindung wird zur visuellen Kontrolle maßstäblich am Bildschirm dargestellt.



### Profile (s. Abs. 3.2, S. 19)

Im zweiten Registerblatt werden Stützen- und Trägerprofil ausgewählt. Es sind nur Doppel-T-Profile zugelassen; sie werden am Bildschirm maßstäblich visualisiert. Stützenprofile können durch Stegsteifen oder Stegbleche verstärkt werden. Ist der Anschluss gevoutet, können im Übergang von Voute zu Träger Stegsteifen angeordnet werden. Ist der Anschluss nicht gevoutet, können zur Verstärkung Dreieckrippen verwendet werden. Bei geschraubten Anschlüssen sind zusätzliche Angaben zur Verbindung erforderlich.



### Anschlussparameter einer Seite (s. Abs. 3.3, S. 23)

Im dritten und vierten Registerblatt wird der Anschluss je Seite konstruiert, d.h. es wird in Abhängigkeit des Anschlussstyps (Rahmenecke oder T-Anschluss) festgelegt, ob ein geschraubter Stirnblech- oder ein geschweißter Anschluss vorliegt. Die zur Berechnung notwendigen Parameter zur Anordnung der Anschlussbleche bzw. -profile werden abgefragt. Des Weiteren können Trägerneigung und Vouten festgelegt werden. Je nach Anschlussart sind die Schraubenabstände und die Schweißnahtdicken anzugeben. Die Verbindung wird zur visuellen Kontrolle maßstäblich am Bildschirm dargestellt.





### **Bemessungsschnittgrößen** (s. Abs. 3.4, S. 32)

Die Schnittgrößen werden im fünften Registerblatt festgelegt. Sie können entweder als Knotenschnittgrößen auf den Knotenpunkt der Systemachsen bezogen sein oder als Anschlussschnittgrößen im Anschnitt des Anschlusses wirken. Je nach Art der Schnittgröße bezieht sich die Eingabe auf das Koordinatensystem der Statik oder des Eurocode 3-1-8.



### **Ergebnisübersicht** (s. Abs. 3.5, S. 37)

Im sechsten Registerblatt werden die Ergebnisse (Ausnutzung, Rotationssteifigkeit und Verdrehung) lastfallweise und detailliert im Überblick dargestellt.



### **nationaler Anhang** (s. Abs. 8.3, S. 97)

Weiterhin ist zur vollständigen Beschreibung der Berechnungsparameter der dem Eurocode zuzuordnende nationale Anhang zu wählen. Über den **NA-Button** wird das entsprechende Eigenschaftsblatt aufgerufen.



### **Ausdrucksteuerung** (s. Abs. 8.2, S. 96)

Im Eigenschaftsblatt, das nach Betätigen des **Druckeinstellungs**-Buttons erscheint, wird der Ausgabeumfang der Druckliste festgelegt.



### **Druckliste einsehen**

Das Statikdokument kann durch Betätigen des **Visualisierungs**-Buttons am Bildschirm eingesehen werden.



### **Ausdruck**

Über den **Drucker**-Button wird in das Druckmenü gewechselt, um das Dokument auszudrucken. Hier werden auch die Einstellungen für die Visualisierung vorgenommen.



### **Planbearbeitung**

Über den **Pläne**-Button wird das **pcae**-Programm zur Planbearbeitung aufgerufen. Der aktuelle Anschluss wird im **pcae**-Planerstellungsmodule dargestellt, kann dort weiterbearbeitet, geplottet oder im **DXF**-Format exportiert werden.



### **Onlinehilfe**

Über den **Hilfe**-Button wird die kontextsensitive Hilfe zu den einzelnen Registerblättern aufgerufen.



### **Eingabe beenden**

Das Programm kann mit oder ohne Datensicherung verlassen werden. Bei Speicherung der Daten wird die Druckliste aktualisiert und in das globale Druckdokument eingefügt.



## 3.1 Rechenlaufsteuerung



Im Register 1 befinden sich die Angaben zur Rechenlaufsteuerung sowie zu den Baustoffen. Eigenschaftsblatt s. S. 13.

### 3.1.1 Allgemeines

Das Programm *##-EC3RE* stellt eine Vielzahl einstellbarer Parameter zur Verfügung, um beliebige Rahmenecken oder T-Anschlüsse abbilden zu können. Um den Eingabeaufwand für Standard-Verbindungen gering zu halten, besteht die Möglichkeit, die Anzahl an Einstellvariationen zu reduzieren.

Bei Deaktivierung des Buttons **weitere Einstellungen** werden einige Parameter nicht mehr auf der Eingabeoberfläche dargestellt und programmintern auf sinnvolle Werte gesetzt.

Daten exportieren  
Daten importieren  
☒ weitere Einstellungen

Zudem können die Eingabedaten über die Copy-Paste-Funktion von einem Bauteil in ein anderes exportiert bzw. gesichert werden. Dazu ist der aktuelle Datenzustand über den Button **Daten exportieren** in die Zwischenablage zu kopieren und anschließend über den Button **Daten importieren** aus der Zwischenablage in das aktuell geöffnete Bauteil zu übernehmen.

Diese Funktionalität ermöglicht es außerdem, die Eingabedaten aus dem Programm *##-EC3RE*, Rahmenecken, in die Programme *##-EC3BT*, biegesteifer Trägeranschluss, *##-EC3TT*, Stoß mit thermischer Trennschicht, *##-EC3LS*, Laschenstoß, etc. zu übertragen. Die Daten können i.A. zurücktransportiert werden.

### 3.1.2 Materialsicherheitsbeiwerte

Im Programm *##-EC3RE* werden für den Nachweis von Träger-Stützenanschlüssen nach EC 3-1-8 folgende Teilsicherheitsbeiwerte herangezogen

Materialsicherheitsbeiwerte für Anschlüsse ( <input checked="" type="checkbox"/> genormte Werte)		
Beanspruchbarkeit von Querschnitten	$\gamma_{M0}$	1.00
Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen	$\gamma_{M1}$	1.10
Beanspruchbarkeit von Verbindungsmitteln	$\gamma_{M2}$	1.25
Vorspannung hochfester Schrauben	$\gamma_{M7}$	1.10

Die Werte können entweder den entsprechenden Normen (s. Nationaler Anhang Abs. 8.3, S. 97) entnommen oder vom Anwender vorgegeben werden.

Bei **reduzierter Einstellung** (s. Abs. 3.1.1, S. 15) werden die genormten Teilsicherheitsbeiwerte für Anschlüsse übernommen.

### 3.1.3 Stahlsorte

Grundsätzlich kann jedem Verbindungselement ein eigenes Material zugeordnet werden. Der Übersichtlichkeit halber kann an dieser Stelle eine einheitliche **Stahlgüte** für die Verbindungsbleche (Stütze, Träger, Stirnblech, Stegbleche oder Stegsteifen, Futterbleche) gewählt werden.

☒ einheitliche Stahlsorte  
Stahlsorte  ☐ Vorgabe  
Kennung

Da die Beschreibung der Stahlparameter für Verbindungen nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung der Stahlsorten (s. Abs. 8.1, S. 96) verwiesen.

Bei **reduzierter Einstellung** (s. Abs. 3.1.1, S. 15) kann nur eine einheitliche Stahlsorte für alle Verbindungsbleche gewählt werden.



### 3.1.4

## Schrauben

Um eine Stirnblechverbindung nachzuweisen, sind Schraubengröße, Festigkeitsklasse sowie ggf. Futterblechdicken anzugeben.

Bei beidseitiger Verbindung (T-Anschluss) wird jeder Anschlussseite eine eigene Schraubengröße/-festigkeit zugeordnet.

Der Übersichtlichkeit halber kann an dieser Stelle eine einheitliche Schraubengröße/-festigkeit gewählt werden. Anschlussspezifische Parameter werden an entsprechender Stelle festgelegt.

Eine große Schlüsselweite setzt neben größeren Schraubenabmessungen bei Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 voraus, dass es sich um vorgespannte Schrauben (HV) handelt.

☒ **einheitliche Schrauben**

Schraubengröße  ☐ Vorgabe

Festigkeitsklasse  ☐ Vorgabe

☐ normale Schlüsselweite ☒ große Schlüsselweite  
FK 8.8 oder 10.9: HV-Schraube  
 kontrolliert voll vorgespannt

☐ Passschraube

☐ gleitfeste Verbindung

Da die Beschreibung der Schraubenparameter für Verbindungen nach EC3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung der Schrauben (s. Abs. 7.1.1, S. 81) verwiesen. Bei reduzierter Eingabe kann nur eine einheitliche Schraubensorte gewählt werden.

### 3.1.5

## Anschlussstyp

Es werden zwei Anschlusskonfigurationen unterschieden

☒ Rahmenecke ☒ rechtsseitig ☐ linksseitig ☐ T-Anschluss

Stützenkopfverbindungen können entweder einseitig als Rahmenecken oder beidseitig als T-Anschlüsse erfolgen, wobei eine Rahmenecke rechts- oder linksseitig angeschlossen werden kann. Bei beidseitigen Anschlüssen können sich die Trägerprofile sowie die Verbindungsarten unterscheiden. Horizontale Verbindungen (Variante 2) werden als einseitige Anschlüsse aufgefasst. Diese Einstellung wird bei der Parameterauswahl auf den nachfolgenden Registerblättern berücksichtigt.

### 3.1.6

## Komponentenmethode

Bei der Komponentenmethode (Abs. 4.1, S. 41) wird das komplexe Tragschema einer biege-steifen Verbindung in einfacher zu berechnende **Grundkomponenten** (s. EC 3-1-8, Tab. 6.1) zerlegt.

Je nach Anschlussgeometrie kommen teilweise unterschiedliche Grundkomponenten (Gk) zum Tragen. Im Programm werden nur diejenigen Gkn aufgeführt, die für die Bemessung einer Rahmenecke maßgebend werden können. Der Anwender kann wählen, ob er eine komplette Berechnung wünscht oder nur ausgewählte Grundkomponenten nachgewiesen haben möchte.

☐ komplette Berechnung

☒ Berechnung ausgewählter Grundkomponenten

☒ Gk 1: Stützenstegfeld mit Schub

☒ Gk 2: Stützensteg mit Querdruck

☒ Gk 3: Stützensteg mit Querkzug

☒ Gk 4: Stützenflansch mit Biegung

☒ Gk 5: Stirnblech mit Biegung

☒ Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druck

☒ Gk 8: Trägersteg mit Zug

☒ Gk 10: Schrauben mit Zug

☒ Gk 11: Schrauben mit Abscheren

☒ Gk 12: Blech mit Lochleibung

☒ Gk 20: Gevouteter Träger mit Druck

☐ keine Berechnung der Grundkomponenten

Bei **reduzierter Einstellung** (s. Abs. 3.1.1, S. 15) können keine benutzerspezifischen Grundkomponenten ausgewählt werden.



Das Programm #EC3RE weist die Tragfähigkeit einer Verbindung über die Komponentenmethode nach. Dabei werden je Anschlussgeometrie (s. Register 3 bzw. 4, Abs. 3.3, S. 23) nur die relevanten Tragfähigkeiten ermittelt und optional Nachweise geführt. Es gilt

- die Wahl des Nachweisverfahrens ist bei der Berechnung der Druckkomponenten Gk 2 und 20 relevant. Es geht ebenso in die Nachweise der Stegsteifen und der Querschnittstragfähigkeit ein. Außerdem wird es beim Beulnachweis berücksichtigt. Es kann zwischen *elastisch-plastischem* und *elastisch-elastischem* Verfahren unterschieden werden.
- die Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit aus Querkraft ist nur für geschraubte Verbindungen relevant. Auf der sicheren Seite liegend kann die Querkrafttragfähigkeit mit einem *vereinfachten Verfahren* ermittelt werden.
- zusätzlich oder alternativ zu den Nachweisen mit der Komponentenmethode nach EC 3-1-8, 6.2.2 und 6.2.7, können die berechneten Grundkomponenten auch mit Teilschnittgrößen (Abs. 4.2, S. 48) nachgewiesen werden
- ist eine Voute angeordnet, kann neben dem Anschluss der Voute an die Stütze zusätzlich der Anschluss der Voute an den Träger berücksichtigt werden. Ebenso kann bei einer geschweißten Ecke (Variante 1) der Stirnblechstoß im Träger zusätzlich nachgewiesen werden. Analog hierzu wird bei der diagonalen Rahmenecke (Var. 3) der Stirnblechstoß der Stütze nachgewiesen.
- Schweißnähte (s. Abs. 4.3.4, S. 51) werden bei geschweißten Verbindungen und Stirnblechverbindungen über den Linienquerschnitt nachgewiesen. Es kann zwischen dem *richtungsbezogenen* und dem *vereinfachten* Verfahren unterschieden werden.
- das Schweißverfahren geht in die Nachweise der Schweißnähte und der Stegsteifen ein
- Stegsteifen (Rippen), s. Abs. 4.3.5, S. 53, und Zugblech, s. Abs. 4.3.6, S. 54, können optional nachgewiesen werden
- das Schubfeld, s. Abs. 4.3.7, S. 55, kann optional sowohl in der Stütze als auch im Träger nachgewiesen werden
- bei besonders hoch belasteten Rahmenecken sowie bei sehr hohen Trägern muss ggf. die Beulsicherheit (s. Abs. 4.3.9, S. 58) nachgewiesen werden. Hierbei können entweder die *Methode der reduzierten Spannungen* od. das *Verfahren der wirksamen Fläche* verwendet werden, Abs. 4.3.9, S. 58.

☒ **Nachweise führen**

☒ Nachweisverfahren 'Elastisch-Plastisch'

☐ Nachweisverfahren 'Elastisch-Elastisch'

☒ Komponentenmethode nach Eurocode 3

☐ MNV-Interaktion nach Cerfontaine (s. Jaspart/Weynand)  
nur bei geschraubtem Anschluss

☒ einschl. Querkraft nur bei geschraubtem Anschluss

☐ vereinfachte Berechnung der Querkrafttragfähigkeit

☐ Grundkomponenten mit Teilschnittgrößen (alternative Methode)

☒ Zusatznachweise (Variante 1: Träger, Variante 3: Stütze)  
Nachweise am Voutenanschnitt, der Träger(Stützen)steifen, des Stirnblechstoßes

☒ Stegsteifen (Rippen) / Zugblech (Kopfplatte)

☒ Beulnachweis

☒ Methode der reduzierten Spannungen

☐ Verfahren der wirksamen Querschnittsflächen

☐ elastischer Schubfeldnachweis (optional)

---

☒ Schweißnähte Nachweis über den Linienquerschnitt

☒ Nachweis mit dem richtungsbezogenen Verfahren

☐ Nachweis mit dem vereinfachten Verfahren

---

☐ Rotationssteifigkeit

---

☐ Querschnittstragfähigkeit

Bei Bedarf kann die Rotationssteifigkeit (s. Abs. 4.4, S. 62) der Verbindung für die berechneten Grundkomponenten ermittelt werden. Dabei ist es nicht relevant, ob die **komplette Berechnung** aktiviert ist oder **benutzerdefinierte Grundkomponenten** ausgewählt sind.

Optional können Querschnittsnachweise (s. Abs. 4.3.1, S. 50) des Trägers und/oder der Stütze für die eingegebenen Schnittgrößenkombinationen in der Anschlussebene durchgeführt werden.

Bei **reduzierter Eingabe** (s. Abs. 3.1.1, S. 15) werden alle erforderlichen Nachweise geführt.

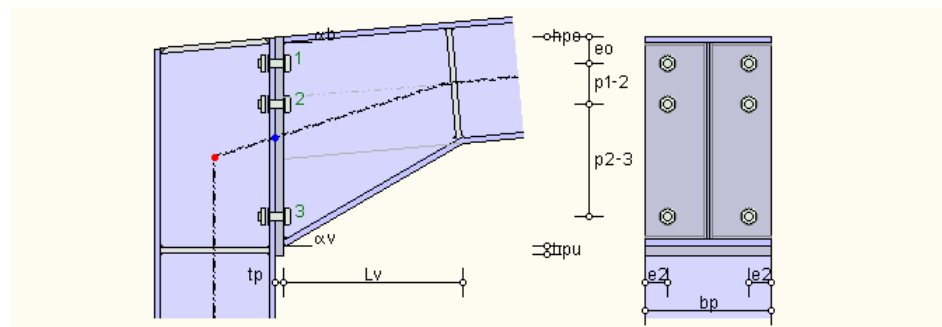


T-Anschlüsse: Zur Berechnung von Gleichgewichtssystemen und bei händischer Eingabe der Schnittgrößen empfiehlt es sich die Schnittgrößen einer Anschlussseite vom Programm berechnen zu lassen. Bei Aktivierung dieser Option werden die Schnittgrößen des Stützenanschnitts berechnet.

- ☐ Gleichgewicht (Schnittgrößen der Stütze werden berechnet)
- ☒ Bildschirmgrafik im separaten Fenster anzeigen

Das Programm *##EC3RE* bietet die Möglichkeit, die zur visuellen Kontrolle vorhandenen Bildschirmgrafiken entweder innerhalb des jeweiligen Eingabefensters anzuordnen oder in einem separaten Fenster anzuzeigen, um die Eingaberegister optimal für die Dateneingabe auszunutzen.

Der Anschluss wird zur visuellen Kontrolle bei der Eingabe am Bildschirm dargestellt; Schweißnähte, Schrauben, Profile und Abstände sind maßstabsgetreu visualisiert. Ebenso sind die wesentlichen Parameter der Abmessungen bezeichnet.







Im Register 2 befinden sich die Angaben zum Stützenprofil und zu den Trägerprofilen.

4H-EC3 - Rahmenecke [Position 32: Beispiel geschraubt - Hilfe]

**Stütze**

☒ Profil aus Profilmanager  
☐ parametrisiertes Stahlprofil

Profilname: IPE330

**Stütze**

☒ Verstärkung des Stützenprofils durch Stegbleche  
 nur bei Variante 1  
☒ ein Stegblech ☐ zwei Stegbleche  
 Blechdicke  $t_s$  0.0 mm  $t_s = 0$ : Stegdicke  
 Schweißnahtdicke  $a_s$  7.5 mm  
 $a_s = 0$ : kein Nachweis, sonst  $a_s = t_s$  (durchgeschweißt)  
☒ Kontrolle der Abmessungen

☒ Verstärkung des Stützenprofils durch Stegsteifen  
 nur bei Variante 1  
 Blechdicke  $t_{st}$  17.0 mm  
 Blechbreite  $b_{st}$  0.0 mm  $b_{st} = 0$ : Flanschrand - Steg  
 Aussparung an den Steifen  $c_{st}$  0.0 mm  $c_{st} = 0$ : 15xRundungsradius  
 Schweißnahtdicke an Stützenflansch  $a_{st,f}$  9.0 mm  
 Schweißnahtdicke an Stützensteg  $a_{st,w}$  4.0 mm

**Träger**

☒ Profil aus Profilmanager  
☐ parametrisiertes Stahlprofil

Profilname: IPE300

**Anschluss**

☒ Verstärkung des Trägerprofils durch Stegbleche  
 nur bei Variante 2  
☒ ein Stegblech ☐ zwei Stegbleche  
 Blechdicke  $t_s$  0.0 mm  $t_s = 0$ : Stegdicke  
 Blechlänge  $l_s$  0.0 mm  $l_s = 0$ : Stützhöhe  
 Schweißnahtdicke  $a_s$  0.0 mm  
 $a_s = 0$ : kein Nachweis, sonst  $a_s = t_s$  (durchgeschweißt)  
☒ Kontrolle der Abmessungen

☐ Verstärkung des Trägerprofils durch Stegsteifen  
☐ Verstärkung der Verbindung durch eine Dreieckskrippe

## 3.2.1

## Profile

Die Parameter der Anschlussprofile können entweder über den **pcae**-eigenen **Profilmanager** in das Programm importiert werden oder als **typisiertes Stahlprofil** parametrisiert eingegeben werden.

Um ein Profil aus dem Angebot des **Profilmanagers** zu wählen, ist der grün unterlegte Pfeil zu betätigen. Das externe Programm wird aufgerufen und ein Profil kann aktiviert werden. Bei Verlassen des Profilmanagers werden die benötigten Daten übernommen und der Profilname protokolliert.

Zur Definition eines parametrisierten Profils wird zunächst seine Klasse über eine Listbox festgelegt, anhand derer bestimmt wird, welche weiteren Parameter freigelegt werden.

Das Programm kann Rahmenecken oder T-Anschlüsse mit Doppel-T-Profilen berechnen, die als I, H-, DIL-, S-, W-Profile **pcae**-intern bekannt sind.

Andere Profilklassen sind in der Listbox farblich gekennzeichnet, können protokolliert und gezeichnet, jedoch als Verbindungselement nicht verwendet werden.

Bei gewalzten Profilen werden die Ausrundungsradien zwischen Flansch und Steg geometrisch berücksichtigt, während geschweißte Blechprofile mit Schweißnähten zusammengefügt sind. Es kann zwischen Kehlnähten und durchgeschweißten Stumpfnähten unterschieden werden. Diese Schweißnähte werden **nicht** nachgewiesen.

☒ Profil aus Profilmanager  
☐ parametrisiertes Stahlprofil

I-Profil

Profilname: HE400A

☐ Profil aus Profilmanager  
☒ parametrisiertes Stahlprofil

I-Profil

Profilhöhe	$h$	390.0	mm
Stegdicke	$t_w$	11.0	mm
Flanschbreite oben	$b_{fo}$	300.0	mm
Flanschdicke oben	$t_{fo}$	19.0	mm
Flanschbreite unten	$b_{fu}$	300.0	mm
Flanschdicke unten	$t_{fu}$	19.0	mm
<input checked="" type="radio"/> gewalztes Profil	Ausrundungsradius	$r$	27.0 mm
<input type="radio"/> geschweißtes Profil			

☐ gewalztes Profil  
☒ geschweißtes Profil

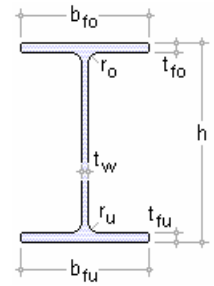
☒ Kehlnaht: Dicke  $a_o$  6.0 mm  
☐ Stumpfnah  
☒ Kehlnaht: Dicke  $a_u$  8.0 mm  
☐ Stumpfnah



Gewalzte Doppel-T-Profile haben einen einheitlichen Ausrundungswinkel ( $r_o = r_u$ ).

Bei **reduzierter Einstellung** (s. Abs. 3.1.1, S. 15) sind die Profilabmessungen symmetrisch, d.h. es gilt z.B. bei Doppel-T-Profilen  $b_{fu} = b_{fo}$ ,  $t_{fu} = t_{fo}$ .

Geschweißte Doppel-T-Profile weisen einheitliche Schweißnähte auf ( $a_u = a_o$ ).



## 3.2.2

### Verstärkungen

Stützenprofile können zur Verstärkung des Stegs mit **Stegblechen** und/oder **Stegsteifen** ausgeführt werden. Ebenso können bei gevouteten Anschlüssen am Übergang von Träger zur Voute Stegsteifen das Trägerprofil verstärken. Außerdem bietet die Anordnung von Dreieckrippen zwischen Träger- und Stützenflansch sowie von Zwischensteifen im Stützenprofil im Bereich des jeweiligen Trägers eine weitere Möglichkeit zur Verstärkung der Verbindung.

☒ **Verstärkung des Stützenprofils durch Stegbleche**

☒ ein Stegblech    ☐ zwei Stegbleche

Blechdicke  $t_s$   mm     $t_s = 0$ : Stegdicke

Blechlänge  $l_s$   mm     $l_s = 0$ : Trägerhöhe

Schweißnahtdicke  $a_s$   mm

☒ Kontrolle der Abmessungen

Stegbleche können ein- oder beidseitig angeordnet werden, wobei sie die gleiche Stahlgüte wie das Profil aufweisen (EC 3-1-8, 6.2.6.1 (8)) sollten. Weiterhin sollten ihre Abmessungen folgenden Bedingungen erfüllen

- die Breite  $b_s$  sollte mindestens so groß sein, dass die Schweißnähte  $a_s$  um das zusätzliche Stegblech an die Eckausrundung heranreichen (EC 3-1-8, 6.2.6.1 (9)), jedoch kleiner als  $40 \cdot \varepsilon \cdot t_s$  sein (EC 3-1-8, 6.2.6.1 (13)). Sie wird vom Programm berechnet und in der Druckliste protokolliert.
- die Länge  $l_s$  sollte so groß sein, dass sich das zusätzliche Stegblech über die effektive Breite des Stegs unter der Querkzugbeanspruchung und der Querkdruckbeanspruchung hinaus erstreckt (EC 3-1-8, 6.2.6.1 (10))
- die Dicke  $t_s$  des zusätzlichen Stegblechs sollte mindestens der Stützenstegdicke entsprechen (EC 3-1-8, 6.2.6.1 (11))

Ist eine der Bedingungen nicht eingehalten, erfolgt der Abbruch des Programms mit entsprechender Fehlermeldung. Ist jedoch die Kontrolle der Abmessungen unterdrückt, wird nur die Fehlermeldung ausgegeben, die Berechnung aber fortgesetzt.

Im Programm **##-EC3RE** werden Breite, Stahlgüte und Schweißnahtdicke des Stegblechs vorgebelegt

- die Stegblechbreite  $b_s$  wird entsprechend der Steghöhe des Profils (ohne Ausrundung bzw. Schweißnahtschenkel) gesetzt
- die Stahlgüte des Stegblechs ist gleich der des Profils
- die Dicke der Schweißnaht um das Stegblech herum wird angenommen zu  $a_s = t_s$ . Ist die Kontrolle der Abmessungen deaktiviert, kann die Schweißnahtdicke beliebig gesetzt werden.

Es besteht die Möglichkeit, die Abmessungen eines Blechs vom Programm sinnvoll belegen zu lassen, d.h.

- bei  $l_s = 0$  wird die Stegblechlänge gleich der Gesamthöhe des angeschlossenen Profils gesetzt. Falls zusätzlich Stegsteifen angeordnet sind, wird die Stegblechlänge in die Steifen eingepasst.
- bei  $t_s = 0$  entspricht die Stegblechdicke der Stegdicke des Profils

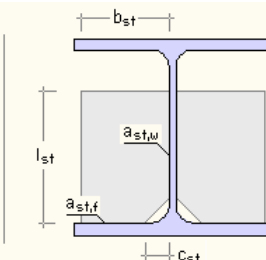


Sind keine zusätzlichen Stegsteifen angeordnet, besteht die Möglichkeit, die Länge eines Blechs vom Programm sinnvoll belegen zu lassen, d.h.

- bei  $l_s = 0$  wird die Stegblechlänge gleich der Gesamthöhe des angeschlossenen Profils gesetzt. Falls zusätzlich Stegsteifen angeordnet sind, wird die Stegblechlänge in die Steifen eingepasst und kann nicht gesetzt werden.

Bei **reduzierter Einstellung** (s. Abs. 3.1.1, S. 15) werden die Abmessungen der Stegbleche vom Programm gesetzt.

☑ Verstärkung des Stützenprofils durch Stegsteifen			
Blechdicke	$t_{st}$	15.0	mm
Blechbreite	$b_{st}$	130.0	mm $b_{st} = 0$ : Flanschrand - Steg
Blechlänge	$l_{st}$	200.0	mm $l_{st} = 0$ : Flansch - Flansch
Aussparung an den Steifen	$c_{st}$	40.0	mm $c_{st} = 0$ : 1.5xRundungsradius
Schweißnahtdicke am Stützenflansch	$a_{st,f}$	4.0	mm
Schweißnahtdicke am Stützensteg	$a_{st,w}$	4.0	mm



**Stegsteifen** (Rippen) werden beidseitig an Flansch und Steg der Stütze angeschweißt. Die Länge der Stegsteifen kann bei T-Anschlüssen verändert werden, muss aber aus konstruktiven Gründen den folgenden Anforderungen genügen

- die maximale Länge der Stegsteifen kann die Steghöhe (einschl. Ausrundungen) nicht überschreiten
- ist die Länge kleiner als die zweifache Aussparungslänge, wird sie zu Null gesetzt
- ist die Länge kleiner als die maximale Länge, wird sie auf eine Länge von Steghöhe reduziert um die Aussparung begrenzt

Bei Rahmenecken sind die Rippen stets zwischen die Flansche des Profils geschweißt.

Die Stegsteifen (Abs. 4.3.5, S. 53) können optional nachgewiesen werden.

Es besteht die Möglichkeit, die Abmessungen der Steifen vom Programm sinnvoll belegen zu lassen, d.h.

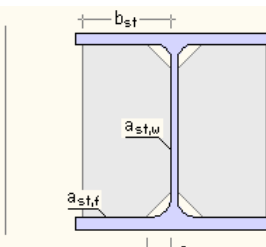
- bei  $b_{st} = 0$  wird die Breite einer Stegsteife entsprechend des Abstands vom Rand des Profilflanschs zum Steg gesetzt
- bei  $l_{st} = 0$  wird die Länge der Steifen gleich der Steghöhe des Profils (einschl. Ausrundung) gesetzt
- bei  $c_{st} = 0$  entspricht die Aussparung an den Steifen dem 1.5-fachen Ausrundungsradius bzw. der 1.5-fachen Schenkellänge der Schweißnaht des geschweißten Profils

Bei **reduzierter Einstellung** (s. Abs. 3.1.1, S. 15) werden die Abmessungen der Stegsteifen vom Programm gesetzt.

Zur Vergrößerung der Tragfähigkeit des Stützenstegs können bei Rahmenecken (Variante 1) zusätzlich Diagonalsteifen angeordnet werden. Sie verlaufen stets von rechts unten (positiver Druckpunkt) nach links oben.

Bei **Diagonalsteifen** kann nur die Blechdicke variiert werden, alle weiteren Abmessungen entsprechen denen der Quersteifen.

☑ Verstärkung des Trägerprofils durch Stegsteifen nur bei Vouten			
Blechdicke	$t_{st}$	10.0	mm
Blechbreite	$b_{st}$	90.0	mm $b_{st} = 0$ : Flanschrand - Steg
Aussparung an den Steifen	$c_{st}$	30.0	mm $c_{st} = 0$ : 1.5xRundungsradius
Schweißnahtdicke am Trägerflansch	$a_{st,f}$	4.0	mm
Schweißnahtdicke am Trägersteg	$a_{st,w}$	4.0	mm



Bei gevouteten Verbindungen (Variante 1) können zur Druckverstärkung des Trägerstegs am Anschluss Voute/Träger Stegsteifen angeordnet werden. Ebenso sind bei horizontalen Verbindungen (Variante 2) Trägersteifen sinnvoll, um das Stegfeld zu begrenzen.

Die Parameterbeschreibung entspricht derjenigen der Stützensteifen (s.o.), lediglich die Eingabe einer Steifenlänge ist unterbunden, da Drucksteifen nur als zwischenliegende, d.h. von



Flansch zu Flansch durchgehende Stegsteifen wirksam sind.

Alternativ zu Vouten können bei nicht geeigneten Trägern Dreieckrippen in der Achse des Stützen- bzw. Trägerstegs zwischen Träger- und Stützenflansch angebracht werden, die dazu dienen, die Drucktragfähigkeit des Trägerflanschs zu erhöhen.

Bei T-Anschlüssen der Variante 2 werden zwei Dreieckrippen rechts und links der Stütze angeschweißt.

☒ **Verstärkung der Verbindung durch Zwischensteifen**  
nur bei Variante 1

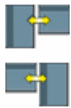
Abstand von der oberen Stützensteife	140.0	mm	
Blechdicke	12.0	mm	$t_{st,z} = 0$ : wie Stützensteifen
Blechlänge	90.0	mm	$l_{st,z} = 0$ : wie Stützensteifen b, c, d <sub>f</sub> , a <sub>0</sub> s. Stützensteifen

Sind Stützenstegsteifen aktiviert, können bei vertikalen Anschlüssen (Var. 1) Zwischensteifen zwischen die Stützenstegsteifen geschweißt werden. Sie können die Tragfähigkeit des Stützenflanschs erhöhen, sind jedoch für die Bemessung des Stegfelds selber belanglos. Daher dürfen sie als kurze Steifen ausgebildet werden.



### 3.3

## Anschlussparameter



Register 3 und 4 enthalten Angaben zu den Parametern je Anschlussseite. Der rechte Anschluss wird in R. 3, der linke in R. 4 beschrieben. Die Beschreibung einer Rahmenecke oder einer horizontalen Verbindung (Var. 2) erfolgt in R. 3. Farbig unterlegte Parameter gelten für rechts- und linksseitige Anschlüsse gleichermaßen.

4H-EC3 - Rahmenecke [Position 32: Beispiel geschraubt - Hilfe]

**Anschlussparameter** [Längen in mm]

- ☒ Variante 1: vertikale Träger-Stütze-Verbindung
- ☐ Variante 2: horizontale Träger-Stütze-Verbindung
- ☐ Variante 3: diagonale Träger-Stütze-Verbindung

☐ Trägerneigung

☐ Voute

☐ Kopfplatte

☐ geschweißter Anschluss

☒ geschraubter Stirnblechanschluss

**Stirnblech**

Blechdicke  $t_p$  20.0

Blechbreite  $b_p$  160.0

Überstandshöhe oben  $h_{p,o}$  0.0

Überstandshöhe unten  $h_{p,u}$  20.0

Länge des Stirnblechs  $l_p$  320.0

**Schweißnähte**

Trägerflansch oben  $a$  5.0

Trägersteg  $a$  5.0

Trägerflansch unten  $a$  7.0

% der Druckspannung über Kontakt abtragen  
gilt auch für Schweißnähte an Drucksteifen

☒ Schweißnähte überprüfen

**Schrauben**

- ☐ Gewinde liegt in der Scherfuge
- ☒ Schaft liegt in der Scherfuge
- ☒ Futterblech (Flanschverstärkung)  
nur bei Variante 1 / Variante 2

Blechdicke  $t_{bp}$  10.0

Blechbreite  $b_{bp}$  80.0

**Schraubenreihen**

Anzahl der Schraubenreihen  $n$  3

Schraubenabstand zum seittl. Rand des Stirnblechs  $e_2$  35.0

Schraubenabstand (Endreihe) zum oberen Rand des Stirnblechs  $e_o$  50.0

Abstand von oben der Schraubenreihen voneinander  $p_{1-2}$  70.0

$p_{2-3}$  130.0

- ☒ alle Schraubenreihen einzeln betrachten
- ☐ Zug-Schrauben aus elast. Spannungsverteilung  
nur bei der Komponentenmethode nach EC 3
- ☒ Schraubengruppen automatisch bilden  
Berücksichtigung ☐ der maßgeb. ☒ aller Gruppe(n)
- ☒ Schraubenabstände überprüfen
- ☒ T-Stummel: seittl. Abstände kontrollieren
- ☐ Schraubentragsfähigkeit beschränken  
immer beim Nachweis mit Teilschnittgrößen
- ☒ T-Stummel: Schweißnähte berücksichtigen
- ☒ T-Stummel: alternatives Verfahren
- ☒ T-Stummel: wenn Schraubenreihe im Überstand, auf korrespondierende Reihe prüfen
- ☐ Blockversagen nicht untersuchen
- ☒ Schubnachweis des Stirnblechs

### 3.3.1

## Anschlusskonfiguration

Folgende Anschlusskonfigurationen werden angeboten

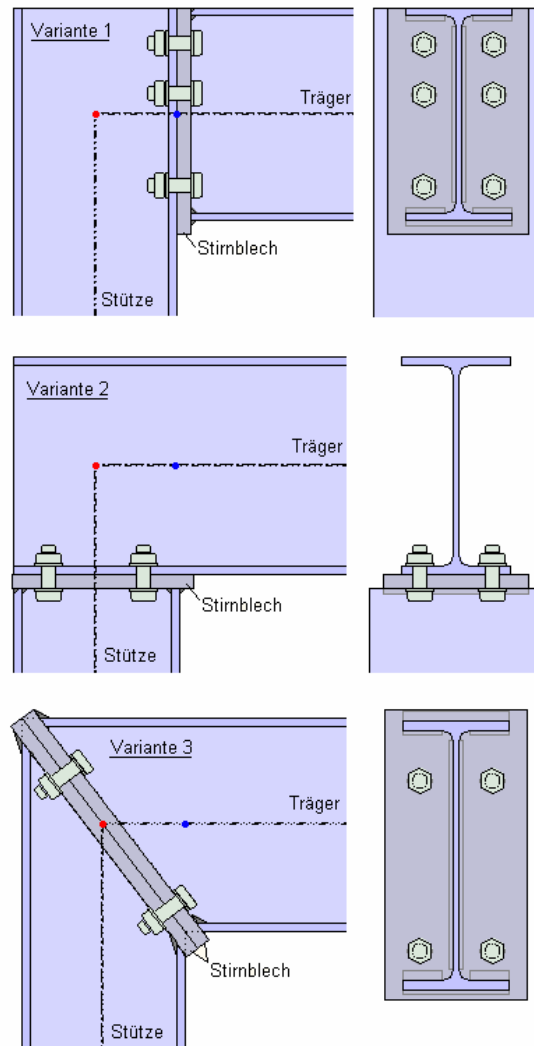
- geschweißte Rahmenecke
  - als vertikale Träger-Stützen-Verbindung (Variante 1) ggf. mit Stirnblechstoß im Träger
  - ... horizontale Träger-Stützen-Verbindung (Var. 2)
  - ... diagonale Träger-Stützen-Verbindung (Var. 3)
- geschraubte Rahmenecke
  - als vertikale Träger-Stützen-Verbindung (Var. 1)
  - ... horizontale Träger-Stützen-Verbindung (Var. 2)
  - ... diagonale Träger-Stützen-Verbindung (Var. 3)
- geschweißter T-Anschluss
  - als vertikale Träger-Stützen-Verbindung (Var. 1)
  - ... horizontale Träger-Stützen-Verbindung (Var. 2)
- geschraubter T-Anschluss
  - als vertikale Träger-Stützen-Verbindung (Var. 1)
  - ... horizontale Träger-Stützen-Verbindung (Var. 2)

Je nach Konfiguration werden die zur Berechnung des Anschlusses notwendigen Parameter freigelegt.

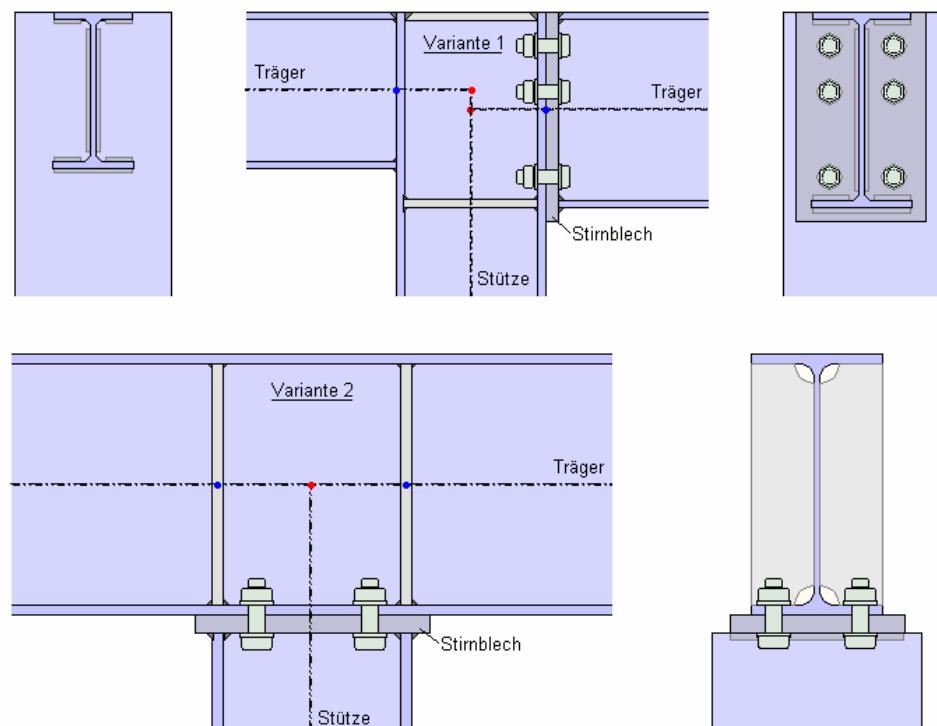
Der Anschluss wird zur visuellen Kontrolle während der Eingabe am Bildschirm dargestellt; Schweißnähte, Schrauben, Profile und Abstände sind maßstabsgetreu visualisiert.



## Rahmenecke



## T-Anschluss





Bei einer vertikalen Träger-Stützen-Verbindung (Variante 1) wird der Träger am Stützenflansch befestigt; bei einer liegenden Verbindung (Var. 2) liegt der Träger auf der Stütze auf.

Einseitige vertikale Verbindungen (Rahmenecke Var. 1) weisen den Anschluss rechts (unterer Stützenflansch) auf, bei beidseitigen Verbindungen (T-Anschluss Var. 1) wird ein zweiter Träger am linken (oberen) Stützenflansch angeordnet.

Wird die diagonale Verbindung (Var. 3) als geschraubter Anschluss ausgeführt, beziehen sich die Parameter auf die Mittelebene zwischen den beiden Stirnblechen. Wird sie hingegen geschweißt, gelten die Parameter für die Mittelebene des Zwischenblechs. Der Träger darf nicht gevoutet sein.

Im Folgenden wird die Rahmenecke Variante 1 beschrieben, da bei den Var. 2 und 3 sowie den T-Anschlüssen die Eingabeparameter analog gelten.

### 3.3.2

### geschweißte Rahmenecke

Zugblech		Schweißnähte	
Blechdicke $t_z$	<input type="text" value="12.0"/>	$t_z = 0$ : Flanschdicke des Trägers	Trägerflansch oben a <input type="text" value="6.0"/>
Blechbreite $b_z$	<input type="text" value="280.0"/>	$b_z = 0$ : Flanschbreite des Trägers	Trägersteg a <input type="text" value="4.0"/>
Schweißnähte zwischen Zugblech und Profil	$a_{z,f}$ <input type="text" value="8.0"/> $a_{z,w}$ <input type="text" value="4.0"/>		Trägerflansch unten a <input type="text" value="6.0"/>
<input type="checkbox"/> Stirnblechstoß			

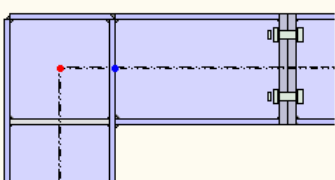
Die Zugkräfte im oberen Trägerflansch werden über ein an die Stütze geschweißtes Zugblech in Stützensteg und äußeren -flansch geleitet. Zugblechdicke und -breite sollten mindestens der des Trägerflanschs entsprechen; eine willkürliche Eingabe ist möglich.

Das **Zugblech** wird beidseitig an Flanschen und Steg der Stütze angeschweißt. Es werden sowohl Querschnitts- als auch Schweißnahtnachweise geführt (s. Abs. 4.3.4, S. 51).

Die wirksamen Nahtdicken der Schweißnähte am oberen und unteren Flansch sowie am Steg beziehen sich auf eine einzelne Naht.

I.A. werden voll ausgeführte Kehlnähte verwendet, die ober- und unterhalb der Flansche (jedoch nicht umlaufend) sowie rechts und links vom Steg angeordnet sind. Die Ausrundungen zwischen Steg und Flanschen sind ausgespart. Der Träger kann geneigt und mittels einer Vou-te im Anschlussbereich verstärkt sein (s.u.). Ist der Träger nicht geneigt, kann alternativ ein Dreieckblech zur Verstärkung angeschweißt sein.

Stirnblechstoß bei		Schweißnähte	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Stirnblechstoß</b> bei	$L_p$ <input type="text" value="400.0"/>		
Blechdicke $t_p$	<input type="text" value="20.0"/>		
Schraubenabstand zum seittl. Rand des Stirnblechs	$e_2$ <input type="text" value="50.0"/>	Schweißnaht Flansch oben $a_1$ <input type="text" value="4.0"/>	
Schraubenabstand (Endreihe) zum oberen Rand des Stirnblechs (Trägers)	$e_o$ <input type="text" value="50.0"/>	Schweißnaht Steg $a_2$ <input type="text" value="4.0"/>	
Abstand der Schraubenreihen voneinander	$p_{1-2}$ <input type="text" value="150.0"/>	Schweißnaht Flansch unten $a_3$ <input type="text" value="4.0"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> Schraubenabstände überprüfen			
<input checked="" type="checkbox"/> T-Stummel: seittl. Abstände kontrollieren			
<input type="checkbox"/> Schraubentragfähigkeit beschränken <small>Immer beim Nachweis mit Teilschnittgrößen</small>			
<input checked="" type="checkbox"/> T-Stummel: Schweißnähte berücksichtigen			
<input checked="" type="checkbox"/> T-Stummel: alternatives Verfahren			



Außerdem kann bei Rahmenecken zur besseren Montage ein Stirnblechstoß im Träger angeordnet sein. Hierfür sind zwei Schraubenreihen ohne Stirnblechüberstand vorgesehen.

Zur Parameterbeschreibung s.u.



Stirnblech		Schraubenreihen	
Blechdicke	$t_p$ 20.0	Anzahl der Schraubenreihen	$n$ 3
Blechbreite	$b_p$ 200.0	Schraubenabstand zum seittl. Rand des Stirnblechs	$e_2$ 50.0
Überstandshöhe oben	$h_{p,o}$ 20.0	Schraubenabstand (Endreihe) zum oberen Rand des Stirnblechs	$e_o$ 70.0
Überstandshöhe unten	$h_{p,u}$ 20.0	Abstand von oben der Schraubenreihen voneinander	$\beta_{1-2}$ 70.0
Länge des Stirnblechs	$l_p$ 340.0		$\beta_{2-3}$ 130.0
<b>Schweißnähte</b> Trägerflansch oben $a$ 6.0 Trägersteg $a$ 4.0 Trägerflansch unten $a$ 6.0 <input type="text"/> % der Druckspannung über Kontakt abtragen <input checked="" type="checkbox"/> Schweißnähte überprüfen		<input type="checkbox"/> alle Schraubenreihen einzeln betrachten <input checked="" type="checkbox"/> Schraubengruppen automatisch bilden Berücksichtigung <input type="radio"/> der maßgeb. <input checked="" type="radio"/> aller Gruppe(n) Schraubenreihen für Zug oben $n_{zo}$ 2 gezählt von Zugrand Schraubenreihen f. Abscheren $n_{qo}$ 3 gezählt von Druckrand Schraubenreihen für Zug unten $n_{zu}$ 1 gezählt von Zugrand Schraubenreihen f. Abscheren $n_{qu}$ 2 gezählt von Druckrand <input checked="" type="checkbox"/> Schraubenabstände überprüfen <input checked="" type="checkbox"/> T-Stummel: seittl. Abstände kontrollieren <input type="checkbox"/> Schraubentragfähigkeit beschränken immer beim Nachweis mit Teilschnittgrößen <input checked="" type="checkbox"/> T-Stummel: Schweißnähte berücksichtigen <input checked="" type="checkbox"/> T-Stummel: alternatives Verfahren <input checked="" type="checkbox"/> T-Stummel: wenn Schraubenreihe im Überstand, auf korrespondierende Reihe prüfen <input type="checkbox"/> Blockversagen nicht untersuchen <input checked="" type="checkbox"/> Schubnachweis des Stirnblechs	
<b>Schrauben</b> <input type="radio"/> Gewinde liegt in der Scherfuge <input checked="" type="radio"/> Schaft liegt in der Scherfuge <input type="checkbox"/> Futterblech (Flanschverstärkung)			

**Stirnblech**

Dicke und Breite des Blechs sind anzugeben, wobei die Stirnblechbreite größer als die Flanschbreite des Trägers sein muss. Ist keine einheitliche Stahlsorte vereinbart (s. Reg. 1, S. 15) wird an dieser Stelle diejenige für das Stirnblech festgelegt.

Des Weiteren muss die Lage des Trägers auf dem Stirnblech über die Überstandshöhen oberhalb und unterhalb der Trägerflansche definiert werden. Schließt das Stirnblech nicht bündig mit dem Träger ab (Überstandshöhe > 0), wird die Stütze entsprechend verlängert.

Die Stirnblechlänge setzt sich zusammen aus der gesamten Trägerhöhe (ggf. einschl. Trägerneigung und Voute) zzgl. der Überstandshöhen. Sie wird zur Info im Eigenschaftsblatt angezeigt.

Bei Rahmeneck-Variante 3 wird die Neigung des Stirnblechs aus den Höhen von Stütze und Träger ermittelt und ebenfalls zur Info im Eigenschaftsblatt angezeigt.

**Schweißnähte**

Zur Beschreibung der Schweißnahtparameter s. geschweißte Rahmenecke (Abs. 3.3.2, S. 25).

**Schrauben**

Ist kein einheitlicher Schraubentyp vereinbart (s. Reg. 1, S. 15) wird an dieser Stelle derjenige für den Stirnblechanschluss festgelegt. Darüber hinausgehend befinden sich hier die Parameter, die nur diesen (bei T-Anschlüssen Var.1: den rechten oder linken) Anschluss betreffen.

gleitfest, Gleitflächenklasse C <input type="text"/>	
<input type="radio"/> Gewinde liegt in der Scherfuge <input checked="" type="radio"/> Schaft liegt in der Scherfuge	
<input checked="" type="checkbox"/> Futterblech (Flanschverstärkung)	
Blechdicke	$t_{bp}$ 10.0
Blechbreite	$b_{bp}$ 80.0
Blechlänge	$l_{bp}$ 80.0
Stahlsorte	S235 <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Vorgabe
Kennung	<input type="text"/>

Vorgespannte Schrauben können den Anschluss gleitfest verbinden. Dazu ist die Gleitfestigkeitsklasse der zu verbindenden Bleche festzulegen

Klasse A: Reibungszahl  $\mu = 0.5$ , Kl. B:  $\mu = 0.4$ , Kl. C:  $\mu = 0.3$ , Kl. D:  $\mu = 0.2$

Weiterhin ist es für die Abschertragfähigkeit der Schraube von Belang, ob das Gewinde oder



der Schaft in der Scherfuge liegt.

Futterbleche dienen der Verstärkung des Stützenflanschs und werden i.A. zwischen Flansch und Schraubenmutter angeordnet. Bei Trägerstößen wird kein Futterblech berücksichtigt.

Ist keine einheitliche Stahlsorte vereinbart (s. Reg. 1, S. 15) wird an dieser Stelle diejenige für die Futterbleche festgelegt.

**Schraubenreihen** Es kann eine beliebig große Anzahl an Schraubenreihen eingegeben werden, wobei die Norm nur zwei Schrauben je Reihe zulässt.

Zur Anordnung der Schrauben auf dem Stirnblech sind der Schraubenabstand zum seitlichen Rand des Stirnblechs sowie der Abstand der ersten Reihe zum oberen Rand des Stirnblechs anzugeben. Weiterhin sind bei mehr als einer Schraubenreihe die Abstände untereinander festzulegen.

Ist der Abstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs kleiner als die Überstandshöhe des Stirnblechs oberhalb des Trägers, wird diese Reihe im Überstand angeordnet. Entsprechendes gilt für die Schraubenreihe im Überstand unterhalb des Trägers. Es kann nur eine Schraubenreihe, die im Überstand unter Zugbelastung steht, berechnet werden.

Die Schrauben werden auf Zug/Biegung und Abscheren/Lochleibung bemessen. Dazu ist zu berücksichtigen, wie viele Schrauben die jeweilige Belastung aufnehmen sollen (ggf. Interaktion).

Die Schrauben sind auf Zug/Biegung und Schub nachzuweisen. Dabei darf festgelegt werden, welche Schrauben die Belastung senkrecht zur Anschlussebene (Zug/Biegung) und welche Schrauben die Belastung parallel zur Anschlussebene (Schub) aufnehmen.

Idealerweise übernehmen die Zugschrauben die Biegung, die Schrauben auf der Druckseite den Schub. Bei großer Belastung müssen jedoch Schrauben beide Belastungsformen über eine Interaktionsbeziehung tragen.

<input type="checkbox"/> alle Schraubenreihen einzeln betrachten	
<input checked="" type="checkbox"/> Schraubengruppen automatisch bilden	
Berücksichtigung <input type="radio"/> der maßgeb. <input checked="" type="radio"/> aller Gruppe(n)	
Schraubenreihen für Zug oben gezählt vom Zugrand	$n_{zo}$ <input type="text" value="3"/>
Schraubenreihen f. Abscheren gezählt vom Druckrand	$n_{qo}$ <input type="text" value="1"/>
Schraubenreihen für Zug unten gezählt vom Zugrand	$n_{zu}$ <input type="text" value="3"/>
Schraubenreihen f. Abscheren gezählt vom Druckrand	$n_{qu}$ <input type="text" value="1"/>

Da sowohl positive als auch negative Biegemomente auftreten können, sind die Anzahlen an Schrauben bei Schnittgrößenkombinationen mit positiven Momenten (Zug oben), negativen Momenten (Zug unten) sowie zur Untersuchung der Abscher-Lochleibungstragfähigkeit bei Schubbelastung festzulegen.

Die Schrauben sind jeweils einzeln als auch als Schraubengruppe zu untersuchen. Daher besteht alternativ die Möglichkeit, alle Schrauben einzeln zu betrachten.

Für die Untersuchung der Schraubengruppen können ebenfalls die Gruppen entweder vom Anwender bestimmt oder automatisch gebildet werden. Die angegebenen Schraubenreihen für Zug oben/unten werden als Schraubengruppe behandelt.

Bei automatischer Gruppenbildung werden zwei Verfahren unterschieden, wobei die Unterschiede besonders bei einer großen Anzahl an Schraubenreihen deutlich werden. Bei Berücksichtigung der maßgebenden Gruppe wird von der Zugseite beginnend die Gruppe mit der größten Tragfähigkeit gesucht, bei Berücksichtigung aller Gruppen werden auch Gruppen gebildet, deren erste Reihe nicht am Zugrand liegt.

Auf der sicheren Seite liegend können auch nur Schrauben, die auf der elastischen Zugspannungsseite liegen, verwendet werden.

Optional können die Schraubenabstände nach EC 3-1-8, Tab.3.3, überprüft und dokumentiert werden. Diese Kontrolle kann auf die seitlichen Abstände des Äquivalenten T-Stummels ausgedehnt werden.

Bei der Berechnung der Stirnplattenverbindung mit der Komponentenmethode ist für die endgültige Bildung des Tragmoments die maximale Tragkraft der Schrauben zu kontrollieren. Optional kann diese Kontrolle unterbunden werden, indem die Schraubentragfähigkeit auf 95% beschränkt wird.



Die Schweißnähte, die zur Bildung des **Äquivalenten T-Stummels** (zusammengesetzter Querschnitt) vorhanden sind, können traglastrelevant sein. Der Nachweis kann unterdrückt werden.

Die Tragfähigkeit des Äquivalenten T-Stummels kann optional mit dem alternativen Verfahren berechnet werden.

Die Anordnung einer Schraubenreihe im Überstand ohne korrespondierende Reihe zwischen den Trägerflanschen bedingt eine reduzierte Tragfähigkeit des Äquivalenten Stummels (L-Stummel). Diese Berechnung kann unterdrückt werden.

Der Anschluss kann optional auf Blockversagen der Schrauben mit dem Stirnblech untersucht werden.

Optional kann die Tragfähigkeit des Stirnblechs bzgl. Schub in die Anschlusstragfähigkeit integriert werden.

Bei reduzierter Eingabe wird ein Teil der o.a. Einstellungen von **pcae** sinnvoll vorgenommen.

## Kopfplatte

<input checked="" type="checkbox"/> Kopfplatte	$t_k$	15.0
<input checked="" type="checkbox"/> statisch wirksam (keine Zugstreifen)		
Schweißnahtdicke am Flansch	$a_{k,f}$	5.0
Schweißnahtdicke am Steg	$a_{k,w}$	4.0

Zur Abdeckung der Stütze kann eine Kopfplatte angeschweißt werden. Wird sie als statisch wirksam gekennzeichnet, entfallen die Zugstreifen und die Kopfplatte wird stattdessen bemessen (s. Stegstreifen Abs. 4.3.5, S. 51).

**Stützenstegfeld** Die Berechnung von stützenspezifischen Grundkomponenten basiert auf der Annahme des Übertragungsparameters  $\beta_j$ , der die Interaktion zwischen dem rechten und linken Anschluss beschreibt. Auch bei einseitigen Anschlüssen wird der Eingabewert berücksichtigt. Ist der Wert Null, wird der Übertragungsparameter vom Programm bestimmt.

Der Träger kann geneigt und/oder mittels einer Voute im Anschlussbereich verstärkt sein (s.u.).

## 3.3.4 Besonderheiten bei Trägerneigung und Vouten

<input checked="" type="checkbox"/> Trägerneigung	$\alpha_b$	7.00 °
<input checked="" type="checkbox"/> Voute		
Neigungswinkel ( $\alpha_v \geq \alpha_b$ ) -> Änderung der Voutenhöhe	$\alpha_v$	30.00 °
Länge der Voute -> Änderung der Voutenhöhe	$L_v$	500.0 mm
Höhe der Voute am Anschnitt -> Änderung des Neigungswinkels	$h_v$	227.3 mm
Stegblechdicke	$t_{w,v}$	8.0 mm
Flanschbreite	$b_{f,v}$	100.0 mm
Flanschdicke	$t_{f,v}$	12.0 mm
<input type="radio"/> gewalztes Voutenprofil		
<input checked="" type="radio"/> geschweißtes Voutenprofil		
Schweißnahtdicke	$a_v$	6.0 mm

Der Träger kann beliebig (bis maximal 85°) geneigt sein; zudem kann bei Rahmeneck-Varianten 1 und 2 eine Voute zur Verstärkung des Trägers im Anschlussbereich angeordnet werden.

Die Neigungswinkel  $\alpha_b$  und  $\alpha_v$  beziehen sich auf die Senkrechte zur Stütze (i.A. die horizontale Achse).

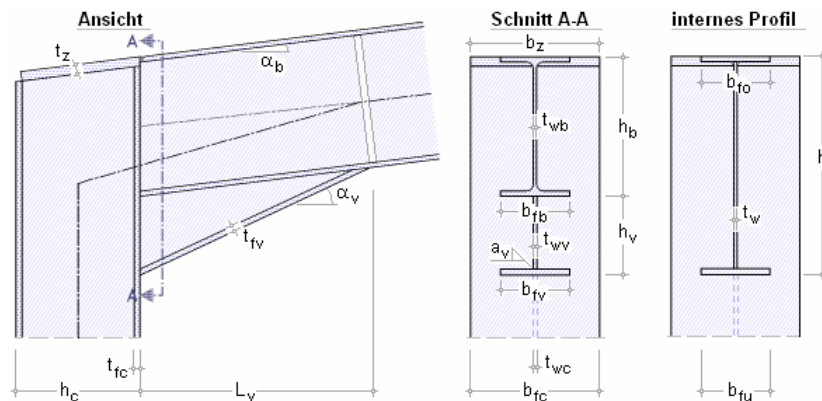
Die Voute kann als T-Träger ausgeführt werden, dessen Neigungswinkel größer als die Trägerneigung sein muss. Des Weiteren dürfen nach EC 3-1-8, 6.2.6.7(2),

- die Flanschdicke der Voute nicht kleiner als die Trägerflanschdicke
- die Flanschbreite der Voute nicht kleiner als die Trägerflanschbreite
- die Stegdicke der Voute nicht kleiner als die Trägerstegdicke
- die Differenzneigung zwischen Voute und Träger nicht größer als 45° sein



Bei geschweißten Vouten wird die Tragfähigkeit der Schweißnähte zwischen Voutenflansch und -steg **nicht** nachgewiesen.

Zur Verstärkung des Trägerprofils an der Kontaktstelle von Voute und Trägerflansch können Stegsteifen (Rippen) angeordnet werden (s. Verstärkungen Abs. 3.2.2, S. 20). Dies gilt nicht für die geschweißte Rahmeneck-Var. 1 mit Stirnblechstoß.



Die Profilkennwerte in der Anschluss- (Nachweis)-ebene werden über Winkelfunktionen angepasst. Weiterhin wird bei Verwendung einer Voute der untere Trägerflansch ignoriert.

Es wird programmintern mit einem Trägerprofil gerechnet, dessen Querschnittswerte wie nebenstehend ermittelt werden.

Profilhöhe im Anschluss	$h_b = h / \cos \alpha_b$
Voutenhöhe im Anschluss	$h_v = L_v \cdot (\tan \alpha_v - \tan \alpha_b)$
Gesamthöhe	$h = h_b + h_v$
Flanschdicke oben	$t_{fo} = t_{fb} / \cos \alpha_b$
Flanschdicke unten	$t_{fu} = t_{fv} / \cos \alpha_v$
Flanschbreite oben	$b_{fo} = b_{fb}$
Flanschbreite unten	$b_{fu} = b_{fv}$
Stegdicke	$t_w = t_{wb}$

Sämtliche weiteren Querschnittswerte beziehen sich auf diese Größen.

Das interne Profil übernimmt die Herstellungsmaße (gewalzt: Ausrundungsradius, geschweißt: Schweißnahtdicke) des Trägerprofils.

Bei geschweißtem Trägerprofil wird die Tragfähigkeit der Schweißnähte **nicht** nachgewiesen. Ebenso wird bei geschweißtem Trägerprofil der untere Profilflansch nicht dargestellt (s.u.).

### 3.3.5

#### Rahmenecke mit Zuglasche

<input checked="" type="checkbox"/> Kopfplatte	<input checked="" type="checkbox"/> als Zuglasche	$t_z$	15.0
Breite wie Trägerflanschbreite		$b_z$	300.0
Länge		$l_z$	490.0
Anzahl der Schraubenreihen		$n_z$	2
Schraubenabstand zum seitt. Rand der Zuglasche		$e_{z,2}$	60.0
Schraubenabstand (Endreihe)		$e_{z,1}$	63.0
Abstand von oben der Schraubenreihen voneinander		$p_{z,1-2}$	74.0
Schweißnahtdicke am Flansch		$a_{z,f}$	5.0
Schweißnahtdicke am Steg		$a_{z,w}$	4.0

Eine Sonderform der geschraubten Rahmenecke mit Stirnplatte ergibt sich, wenn die Kopfplatte als geschraubt-geschweißte Zuglasche ausgeführt wird.

Bei Anordnung einer Zuglasche wird der Stirnplattenüberstand oben zu Null gesetzt.

Wirken Zugkräfte im oberen Trägerflansch (negatives Moment), werden sie aus dem Träger über eine Schraubverbindung in die Zuglasche eingeleitet und mittels der Schweißverbindung in die Stütze übertragen. Die Stirnplattenverbindung ist dann lediglich für die Trägerquerkräfte nachzuweisen.

Zuglaschendicke und -länge sind einzugeben. Die Schraubenabstände beziehen sich auf den freien Rand der Lasche.

Ist kein einheitlicher Schraubentyp vereinbart (s. Reg. 1, Abs. 3.1, S. 15) wird an dieser Stelle derjenige für den Zuglaschenanschluss festgelegt.

Zur Bemessung einer Rahmenecke mit Zuglasche s. Abs. 4.3.8, S. 57.

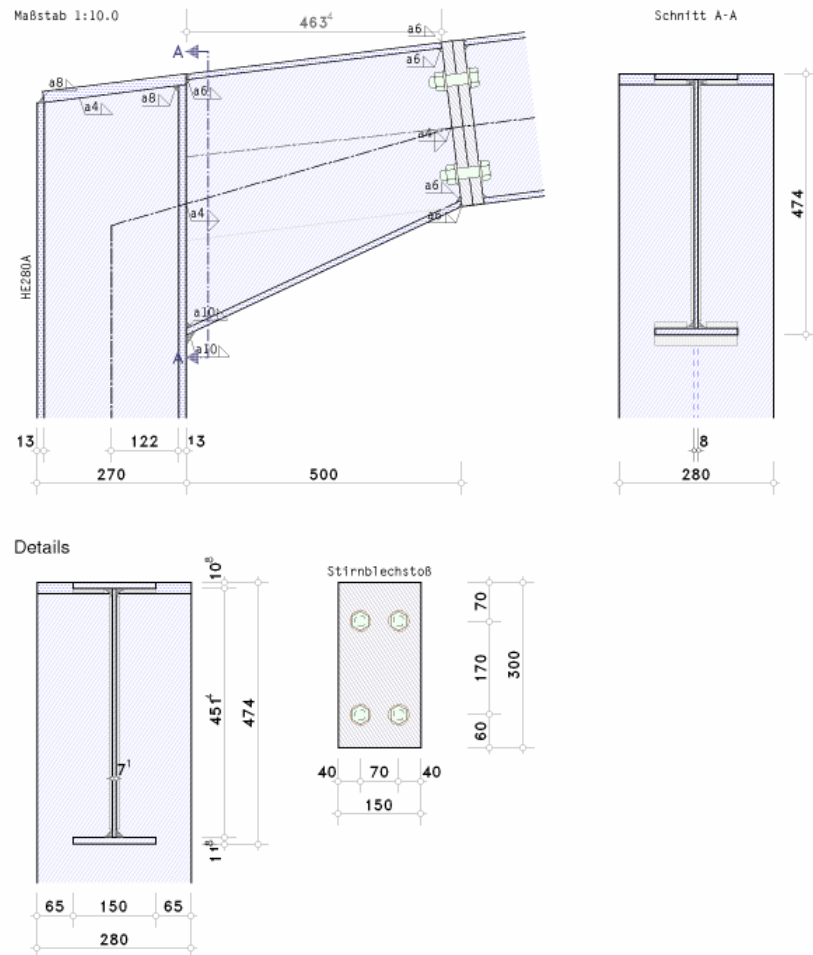


### 3.3.6

## Druckausgabe

Die Druckausgabe kann durch die Ausdrucksteuerung (Abs. 8.2, S. 96) beeinflusst werden.

**Eingabeparameter** Im Statikdokument wird zunächst eine maßstäbliche Darstellung der eingegebenen Verbindung angelegt. Die wesentlichen Abmessungen werden vermaßt. Ggf. werden Detailausschnitte hinzugefügt. Ist der Maßstab vom Anwender vorgegeben, wird er in der Grafik protokolliert (s. beispielhaft eine geschweißte Rahmenecke mit Stirnblechstoß).



Anschließend werden die Eingabeparameter ausgegeben. Optional können zusätzliche Informationen (z.B. die hinterlegten Rechenkennwerte der Profile, Stahlgüten, Verbindungsmittel etc.) hinzugefügt werden.

Die zu bemessenden Schnittgrößen werden mit Hinweis auf den Eingabetyp (s. Schnittgrößen (Abs. 3.4, S. 32)) lastfallweise ausgegeben. Nach Bedarf werden nun die der Bemessung zu Grunde liegenden Teilsicherheitsbeiwerte angefügt.

Es folgt ein Datencheck zur Kontrolle der Eingabedaten. Optional werden hier die Schraubenabstände überprüft.

Die Berechnung wird für jeden Lastfall durchgeführt. Bei einer beidseitigen Verbindung (T-Anschluss Var. 1) erfolgt die Berechnung je Seite. Die Ergebnisse werden im Endergebnis tabellarisch zusammengefasst.

**lastfallweise Berechnung** Da sich i.A. bei gegenläufigen Momenten das auf der Modellierung basierende System ändert, muss jeder Lastfall separat untersucht werden. Intern wird bei negativen Momenten das System an der Horizontalachse gespiegelt, so dass sich die Zugseite immer 'oben' befindet.

Außerdem wird stets vorausgesetzt, dass der Träger an der rechten Stützensseite befestigt ist.



Im Falle einer linksseitigen Verbindung (T-Anschluss Var. 1) wird das System daher an der Vertikalachse gespiegelt.

Wird eine Verbindung der Variante 2 (horizontal) berechnet, sind intern Stütze und Träger vertauscht.

Da die Ausgabe der Rechenwege und die sich daraus ergebenden Ergebnisse während des Berechnungsablaufs erfolgt, sind diese auch auf das ggf. gespiegelte/modifizierte System bezogen. Ein Hinweis erfolgt bei Ausgabe der Bemessungsgrößen zu Anfang der entsprechenden Lastfallberechnung.

Zunächst werden die Bemessungsgrößen (s. Abs. 4.2, S. 48) aus der Lastfallkombination entwickelt. Optional kann ein Querschnittsnachweis (s. Abs. 4.3.1, S. 50) für die Anschlussprofile geführt werden. Danach werden die anschlusspezifischen Grundkomponenten (s. Abs. 4, S. 40) ausgewertet und die Gesamttragfähigkeit berechnet.

Sind Schweißnähte (Abs. 4.3.4, S. 51) im Anschluss vorgesehen, werden sie als eigenes Tragssystem (Linienquerschnitt) modelliert und dessen Tragfähigkeit nachgewiesen. Anschließend werden das Zugblech (bei geschweißten Rahmenecken) (s. Abs. 4.3.6, S. 54), die Rippen (s. Abs. 4.3.5, S. 53), die Schubfelder (s. Abs. 4.3.7, S. 55) und das Beulen (s. Abs. 4.3.9, S. 58) untersucht.

Im Nachlauf kann die Rotationssteifigkeit (Abs. 4.4, S. 62), d.h. der Widerstand des Anschlusses gegen Verdrehen, sowie die Verdrehung der Verbindung unter der gegebenen Belastung berechnet werden.

## Ergebnis

Nach erfolgter Berechnung wird das Endergebnis - die maximale Ausnutzung der Verbindung sowie die minimale Rotationssteifigkeit (die minimalen Rotationssteifigkeiten je Anschlussseite bei T-Anschlüssen Var. 1) - aus allen Schnittgrößenkombinationen protokolliert.

Zusätzlich werden bei einer beidseitigen Verbindung (T-Anschluss Var. 1) lastfallweise die Ausnutzung sowie die Rotationssteifigkeiten je Anschlussseite tabellarisch angegeben. Die Gleichgewichtskontrolle wird durchgeführt.

Ausnutzung/Rotation der Verbindung										
Lk	rechts			links			U <sub>j</sub>	Gleichgewicht		
	S <sub>j,ini</sub> MNm/rad	S <sub>j</sub> MNm/rad	φ <sub>j</sub> °	S <sub>j,ini</sub> MNm/rad	S <sub>j</sub> MNm/rad	φ <sub>j</sub> °		ΣH kN	ΣV kN	ΣM kNm
1	41.1	41.1	0.084	∞	∞	0	0.909	0.00	0.00	0.00 ok
2	41.1	17.9	0.288	∞	∞	0	1.217*	0.00	0.00	0.00 ok

S<sub>j,ini</sub>: Anfangsrotationssteifigkeit; S<sub>j</sub>: Rotationssteifigkeit; φ<sub>j</sub>: Verdrehung; U<sub>j</sub>: Ausnutzung der Verbindung; Gleichgewichtstoleranzen 1 kN / 1 kNm  
\*) maximale Ausnutzung

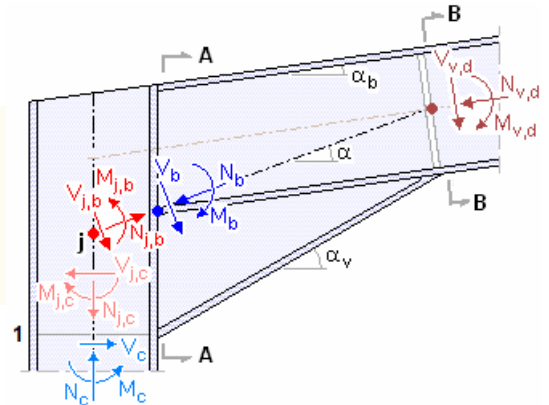
Maximale Ausnutzung [Lk 2]: max U = 1.217 > 1 **Fehler !!**  
Minimale Rotationssteifigkeit (rechts): min S<sub>j</sub> = 17.9 MNm/rad, S<sub>j,ini</sub> = 41.1 MNm/rad, φ<sub>j</sub> = 0.288°  
Rotationssteifigkeit (links): S<sub>j</sub> = ∞





das fünfte Register beinhaltet die Masken zur Eingabe der Schnittgrößenkombinationen

- **Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen** (Statik-KoS)  
Vorzeichendefinition der Statik (positive Normalkraft bedeutet Zug, positives Biegemoment erzeugt unten Zug)
- **Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung bezogen auf die Systemachsen** (Statik-KoS)  
Vorzeichendefinition der Statik (positive Normalkraft bedeutet Zug, positives Biegemoment erzeugt unten Zug)
- **Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung bezogen auf die Systemachsen** (EC3-KoS)  
Vorzeichendefinition des EC 3-1-8 (positive Normalkraft bedeutet Druck, positives Biegemoment erzeugt oben Zug)
- **Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung senkrecht zur Anschlussebene** (EC3-KoS)  
Vorzeichendefinition des EC 3-1-8 (positive Normalkraft bedeutet Druck, positives Biegemoment erzeugt oben Zug)



Das Programm *##-EC3RE* bietet verschiedene Möglichkeiten zur Eingabe der Schnittgrößen an

- werden die Schnittgrößen aus einem Tragwerks-Programm übernommen, sind häufig nur die Schnittgrößen im Knotenpunkt der Systemachsen von Träger und Stütze (s. Grafik Knoten j) verfügbar. Hier wird die Vorzeichendefinition der Statik vorausgesetzt.
- Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung: Da der Anschluss eines Trägers an eine Stütze bemessen werden soll, werden die Schnittgrößen direkt im Anschnitt (s. Grafik Schnitt A-A) bezogen auf die Systemachse erwartet.

Die Vorzeichendefinition kann entweder derjenigen der Statik oder derjenigen des EC 3-1-8 entsprechen.

Auch bei *horizontalen* Anschlüssen (Variante 2) sind die Schnittgrößen im Anschnitt zum Stützenrand (Schnitt A-A) gefordert.

Bei *diagonalen* Rahmenecken (Variante 3) sind die Schnittgrößen auf den Knotenpunkt der Systemachsen von Träger und Stütze bezogen. Dieser muss nicht zwangsläufig in der Mittelebene der geneigten Bleche liegen.

- des Weiteren können die Schnittgrößen senkrecht zur Anschlussebene (s. Grafik Schnitt A-A), an dieser Stelle also waagerecht und senkrecht wirkend, eingegeben werden (Darstellung s. unter Teilschnittgrößen Abs. 4.2, S. 48).

Zwischen *horizontalen* (Var. 2) und *vertikalen* (Var. 1) Anschlüssen wird auch hier kein Unterschied gemacht. Bei *diagonalen* Anschlüssen (Var. 3) beziehen sich die Schnittgrößen zwar auf den Knotenpunkt der Schwerachsen, wirken jedoch orthogonal zu den geneigten Stirnblechen.

	Träger, Knoten			Stütze, Knoten			Bezeichnung
	$N_{j,b1,Ed}$ $N_{j,b2,Ed}$ kN	$M_{j,b1,Ed}$ $M_{j,b2,Ed}$ kNm	$V_{j,b1,Ed}$ $V_{j,b2,Ed}$ kN	$N_{j,c1,Ed}$ kN	$M_{j,c1,Ed}$ kNm	$V_{j,c1,Ed}$ kN	
1.	-25.08	-53.71	61.01	-121.21	-7.58	-7.59	Import LK 1
	-17.20	-46.12	-60.20				

In Abhängigkeit des Anschlussstyps (Rahmenecke oder T-Anschluss) werden die Masken für die Eingabe der Schnittgrößenkombinationen aktiviert.

Bei T-Anschlüssen werden Schnittgrößen in allen Bemessungsschnitten (beidseitiger Anschluss: Träger rechts, Träger links, Stütze unten) erwartet.

Bei einer Rahmenecke werden nur die Trägerschnittgrößen rechts vom Anschlusspunkt (s. Grafik Schnitt A-A, im EC 3-1-8 mit 1 bezeichnet) angezeigt.

Da bei horizontalen Rahmenecken (Variante 2) der Träger häufig über die Stütze hinaus geführt wird, bildet sich ein kurzer Kragarm aus, dessen Kragmoment zur Bestimmung des Interaktionsbeiwerts von Bedeutung ist. Dieses Moment kann ebenfalls eingegeben werden.

Mit 'Anschnitt' wird die Stelle bezeichnet, an der der Träger mit den Anschlussmitteln (Stirnblech, Zwischenblech) an der Stütze befestigt ist (s. Grafik Schnitt A-A).

Analog handelt es sich bei dem Stützenanschnitt um die Stelle, an der der Verbindungsbereich in den eigentlichen Stützenbereich übergeht, hier die Lage der unteren Stegsteife bzw. die Höhe des untersten Trägerflanschs (s. Grafik Punkt 1).

Die Stützenschnittgrößen wirken unterhalb des Anschlussknotens in Höhe des unteren Träger-



flanschs (1). Bei Rahmenecken werden sie aus den Trägerschnittgrößen berechnet.

Bei Vouten bzw. beim Stirnblechstoß im Träger kann zusätzlich der entsprechende Trägeranschluss (s. Grafik Schnitt B-B) bemessen werden.

Die Schnittgrößen werden aus den eingegebenen Größen unter der Annahme berechnet, dass im Bereich zwischen Stützen- und Trägeranschluss keine äußeren Kräfte angreifen.

Zur Identifikation kann jeder Schnittgröße eine Bezeichnung (Kurzbeschreibung) zugeordnet werden, die im Ausdruck aufgeführt wird.

Die Schnittgrößen werden in die intern verwendeten Bemessungsgrößen (s. Abs. 4.2, S. 48) transformiert.

### 3.4.1

#### Schnittgrößen importieren

Detailnachweisprogramme zur Bemessung von Anschlüssen (Träger/Stütze, Trägerstöße), Fußpunkten (Stütze/Fundament) etc. benötigen Schnittgrößenkombinationen, die häufig von einem Tragwerksprogramm zur Verfügung gestellt werden. Dabei handelt es sich i.d.R. um eine Vielzahl von Kombinationen, die im betrachteten Bemessungsschnitt des übergeordneten Tragwerksprogramms vorliegen und in das Anschlussprogramm übernommen werden sollen.

**pcae** stellt neben der 'per Hand'-Eingabe zwei verschiedene Mechanismen zur Verfügung, um Schnittgrößen in das vorliegende Programm zu integrieren.

Schnittgrößen aus  Programm importieren



Schnittgrößen aus Text-Datei einlesen





## Import aus einer Text-Datei



Die Schnittgrößenkombinationen können aus einer Text-Datei im ASCII-Format eingelesen werden. Die Datensätze müssen in der Text-Datei in einer bestimmten Form vorliegen; der entsprechende Hinweis wird bei Betätigen des **Einlese**-Buttons gegeben.

Anschließend wird der Dateiname einschl. Pfad der entsprechenden Datei abgefragt.

Es werden sämtliche vorhandenen Datensätze eingelesen und in die Tabelle übernommen. Bereits bestehende Tabellenzeilen bleiben erhalten.

Wenn keine Daten gelesen werden können, erfolgt eine entsprechende Meldung am Bildschirm.

## Import aus einem **##**-Programm

Voraussetzung zur Anwendung des DTE<sup>®</sup>-Import-Werkzeugs ist, dass sich ein **pcae**-Programm auf dem Rechner befindet, das Ergebnisdaten exportieren kann.

Die zu importierenden Schnittgrößen werden nur im Statik-Koordinatensystem übertragen (s.o.).

### 3.4.1.1

#### Schnittgrößenimport bei Träger-Stützenanschlüssen

Die statische Berechnung eines Bauteils beinhaltet i.A. die Modellbildung mit anschließender Berechnung des Tragsystems sowie nachfolgender Einzelnachweise von Detailpunkten. Bei der Beschreibung eines Details sind die zugehörigen Schnittgrößen aus den Berechnungsergebnissen des Tragsystems zu extrahieren und dem Detailnachweis zuzuführen.

In der **##**-Programmorganisation gibt es hierzu verschiedene Vorgehensweisen

- zum einen können Tragwerks- und Detailprogramm fest miteinander verbunden sein, d.h. die Schnittgrößenübergabe erfolgt intern. Es sind i.A. keine weiteren Eingaben (z.B. Geometrie) notwendig, aber auch möglich (z.B. weitere Belastungen), die Programme bilden eine Einheit. Dies ist z.B. bei dem **##**-Programm *Stütze mit Fundament* der Fall.
- zum anderen können Detailprogramme Schnittgrößen von in Tragwerksprogrammen speziell festgelegten Exportpunkten über ein zwischengeschaltetes Export/Import-Tool einlesen. Das folgende Beispiel eines einfachen Rahmens erläutert diesen **##**-Schnittgrößen-Export/Import.

Das folgende Beispiel einer Rahmenecke (Sonderform des Träger-Stützenanschlusses mit nicht-durchlaufender Stütze) erläutert diesen **##**-Schnittgrößen-Export/Import.

Zunächst sind im exportierenden **##**-Programm (**##**-FRAP und **##**-NISI) die Stellen zu kennzeichnen, deren Schnittgrößen beim nächsten Rechenlauf exportiert, d.h. für den Import bereitgestellt, werden sollen.

Um das Anschlussprogramm sinnvoll einzusetzen zu können, sollte bereits bei der Modellbildung im Stabwerksprogramm darauf geachtet werden, dass die Profile nur über die starken Achsen abtragen.

In diesem Beispiel sollen die Schnittgrößen für eine Rahmenecke übergeben werden.

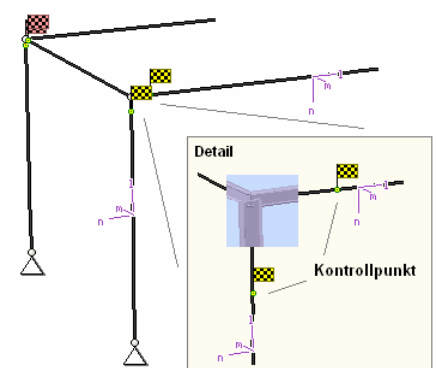
Dazu ist je ein Kontrollpunkt am Riegelanschnitt (vereinf. bei  $h_{\text{Stütze}}/2$ ) und am Stützenanschnitt (vereinf. bei  $h_{\text{Träger}}/2$ ) zu setzen.

Ausführliche Informationen zum Export entnehmen Sie bitte dem DTE<sup>®</sup>-Handbuch.

Für eine einseitige Träger-Stützenverbindungen mit durchlaufender Stütze sind mindestens drei Schnitte (*Träger*, *Stütze (unten)*, *Stütze (oben)*) festzulegen.

Bei Rahmenecken (Träger-Stützenverbindung am Stützenende) reichen i.A. zwei Schnitte (*Träger*, *Stütze (unten)*).

Nach einer Neuberechnung des Rahmens stehen die Exportschnittgrößen dem aufnehmenden **##**-Programm (z.B. **##**-EC3BT, **##**-EC3RE, **##**-EC3IH, **##**-EC3IM, **##**-EC3TT) zum Import zur Verfügung.







Dazu wird zunächst im Register zur Eingabe der Bemessungsgrößen festgelegt, ob die Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen (Knoten) oder im Anschnitt der Verbindung eingelesen werden. Das exportierende Programm liefert die Schnittgrößen stets im Statik-Koordinatensystem.

- ☐ Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen (Statik-KOS)
- ☒ Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung bezogen auf die Systemachsen (Statik-KOS)

Bei Träger-Stützenverbindungen erfolgt der Nachweis im Anschnitt Träger/Stütze bzw. Stirnblech/Stütze. Daher werden die Schnittgrößen, die im Schnittpunkt der Systemachsen gegeben sind, programmintern in Anschnittschnittgrößen umgerechnet.



Aus dem aufnehmenden ##-Programm wird nun über den **Import**-Button das Fenster zur DTE®-Bauteilauswahl (s. auch DTE®-Handbuch) aufgerufen.

Zunächst erscheint ein Infofenster, das den Anwender auf die wesentlichen Punkte hinweist.

Es besteht die Möglichkeit, den Import an dieser Stelle abubrechen, um ggf. das exportierende Programm entsprechend vorzubereiten.

Nach Bestätigen des Infofensters wird die DTE®-Bauteilauswahl aktiviert.

Zur eindeutigen Beschreibung des Anschlusses sind zwei Schnitte (Träger, Stütze) festzulegen. Im exportierenden 4H-Programm müssen also **2 zugehörige Schnitte definiert sein**, um den vorliegenden Anschluss zu beschreiben. Diese sind im Folgenden anzugeben, damit Schnittgrößenimport und -transformation korrekt durchgeführt werden können.

In der Bauteilauswahl werden alle berechneten Bauteile nach Verzeichnissen sortiert dargestellt, wobei diejenigen, die Schnittgrößen exportiert haben, dunkel gekennzeichnet sind.

	Export Bsp.	3D-Stabtragwerk
	FRAP 2 EC3BT	Detailnachweise
	FRAP 2 EC3BT	3D-Stabtragwerk
	Gelenk-Anschl.	Detailnachweise
	Grundkomponenten	Detailnachweise
	Grundkomponenten Bsp.	Detailnachweise
	Grundkomponenten Bsp. L	Detailnachweise

Das gewünschte Bauteil kann nun markiert und über den **bestätigen**-Button ausgewählt werden. Alternativ kann durch Doppelklicken des Bauteils direkt in die DTE®-Schnittgrößenauswahl (s. auch DTE®-Handbuch) verzweigt werden.

In der *Identifizierungsphase* der Schnittgrößenauswahl werden alle verfügbaren Schnitte des ausgewählten Bauteils angezeigt, wobei diejenigen Schnitte deaktiviert sind, deren Material nicht kompatibel mit dem Detailprogramm ist.

<b>Träger (rechts)</b>		<b>Schnitt 1: Stab 3 bei s = 0.18 m</b>		Stahlriegel, Anschnitt, Anschluss 1 Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE240
nicht identifiziert		<b>Schnitt 2: Stab 5 bei s = 0.00 m</b>		Stahlriegel, Anschluss 2 Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE240
		<b>Schnitt 3: Stab 7 bei s = 2.00 m</b>		Stahlbetonriegel Material: Stahlbeton, Querschnitt: Plattenbalken (Unt)
nicht identifiziert		<b>Schnitt 4: Stab 9 bei s = 4.00 m</b>		Stahlstütze, Anschluss 2 Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE360
nicht identifiziert		<b>Schnitt 5: Stab 10 bei s = 3.88 m</b>		Stahlstütze, Anschnitt unten, Anschluss 1 Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE360

Nun werden die Schnitte den einzelnen Abteilungen in der Schnittgrößentabelle (hier *Träger, Stütze*) zugeordnet. Dazu wird der entsprechende Eintrag (hier *Schnitt 1*) angewählt und der zugehörigen Zeile in der dann folgenden Tabelle zugewiesen (hier *Träger (rechts)*).

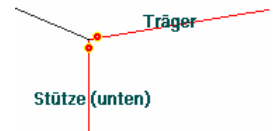
Ist eine Abteilung festgelegt, werden die in Frage kommenden möglichen Alternativen für die noch nicht festgelegte Abteilung mit einem Pfeil gekennzeichnet.



Sind nicht ausreichend Schnitte vorhanden, kann die DTE®-Schnittgrößenauswahl nur über den **abbrechen**-Button verlassen werden, ein Import ist dann nicht möglich.



Zur visuellen Kontrolle werden in einem nebenstehenden Fenster die definierten Schnitte angezeigt.



Erst wenn sämtliche Schnitte zugeordnet sind, ist die Identifizierungsphase abgeschlossen und die Schnittgrößenauswahl folgt.

Es werden die verfügbaren Schnittgrößenkombinationen der gewählten Schnitte angeboten, die über das '+'-Zeichen am linken Rand aufgeklappt werden können.

Träger		Schnitt 1: Stab 3 bei s = 0.18 m					
		Stahliegel, Anschnitt, Anschluss 1					
		Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE240					
		N	V <sub>η</sub>	V <sub>ζ</sub>	T	M <sub>η</sub>	M <sub>ζ</sub>
		kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
Lastfallergebnisse							
Nachweis 2: Schnittgrößenermittlung (Th. I. Ord.)							
Nachweis 3: EC 3 Tragfähigkeit (Th. I. Ord.)							
Lastkollektive							
Lastkollektiv 1: Lastkollektiv 1		-20.61	15.52	-12.95	0.00	-8.60	12.95
Lastkollektiv 2: Lastkollektiv 2		-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
Lastkollektiv 3: Lastkollektiv 3		-21.38	0.80	-5.03	0.00	-38.81	4.03
Zusammenfassung Nachweis 3							
min N		-21.38	0.80	-5.03	0.00	-38.81	4.03
max N		-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
min V <sub>η</sub>		-21.38	0.80	-5.03	0.00	-38.81	4.03
max V <sub>η</sub>		-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
min V <sub>ζ</sub>		-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
max V <sub>ζ</sub>		-21.38	0.80	-5.03	0.00	-38.81	4.03
min T		-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
max T		-21.38	0.80	-5.03	0.00	-38.81	4.03
min M <sub>η</sub>		-21.38	0.80	-5.03	0.00	-38.81	4.03
max M <sub>η</sub>		-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
min M <sub>ζ</sub>		-21.38	0.80	-5.03	0.00	-38.81	4.03
max M <sub>ζ</sub>		-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
Stütze (unten)		Schnitt 5: Stab 10 bei s = 3.88 m					

Die Kombinationen können beliebig zusammengestellt werden.



Über den nebenstehend dargestellten Button kann die Anzahl an Schnittgrößenkombinationen durch Abwahl doppelter Zeilen häufig stark reduziert werden.

Wenn eine Reihe von Anschlüssen gleichartig ausgeführt werden soll, können in einem Rutsch weitere Schnittgrößen anderer Schnitte aktiviert und so bis zu 10.000 Kombinationen übertragen werden.



Wird das Import-Modul über den **bestätigen**-Button verlassen, werden die Schnittgrößen übernommen und für das importierende Programm aufbereitet.



**pcae** gewährleistet durch geeignete Transformationen, dass die Schnittgrößen sowohl im KOS des importierenden Programms vorliegen, als auch - bei mehrschnittigen Verbindungen - einander zugehörig sind, d.h. dass Träger- und Stützenschnittgrößen aus derselben Faktorisierungsvorschrift entstanden sind.

In einem Infofenster werden die eigene Auswahl fett und die aus der Faktorisierungsvorschrift berechneten Schnittgrößen eines anderen Schnitts in normaler Schriftstärke dargestellt.

Träger						Stütze (unten)					
N	V <sub>η</sub>	V <sub>ζ</sub>	T	M <sub>η</sub>	M <sub>ζ</sub>	N	V <sub>η</sub>	V <sub>ζ</sub>	T	M <sub>η</sub>	M <sub>ζ</sub>
-20.61	15.52	-12.95	0.00	-8.60	12.95	3.91	3.24	-5.67	0.00	5.09	21.31
-21.38	0.80	-5.03	0.00	-38.81	4.03	-18.15	0.79	-2.57	0.00	35.19	-3.06
-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40	12.39	4.90	-9.76	0.00	-37.86	37.44

Auch an dieser Stelle besteht wieder die Möglichkeit, doppelt vorkommende Zeilen zu ignorieren.

Es wurden zu den ausgewählten Extremalwerten die jeweils zugehörigen Schnittgrößen ermittelt.  
Sollen doppelte Zeilen gelöscht werden?

nein

ja

Das aufnehmende Programm erweitert nun die Schnittgrößentabelle um die ausgewählten Lastkombinationen.

	Träger, Anschnitt			Stütze, Anschnitt unten			Bezeichnung
	N <sub>b,Ed</sub>	M <sub>b,Ed</sub>	V <sub>b,Ed</sub>	N <sub>c,Ed</sub>	M <sub>c,Ed</sub>	V <sub>c1,Ed</sub>	
	kN	kNm	kN	kN	kNm	kN	
	-20.61	8.60	12.95	3.91	5.09	-5.67	Lk 1
	-21.38	38.81	5.03	-18.15	35.19	-2.57	min N
	-15.77	-34.53	24.35	12.39	-37.86	-9.76	max N



Bei der Übernahme erfolgen Plausibilitätschecks und ggf. Meldungen.



Eine Aktualisierung der importierten Schnittgrößenkombinationen, z.B. aufgrund einer Neuberechnung des exportierenden Tragwerks, erfolgt nicht!

### Besonderheiten bei Verbindungen mit durchlaufender Stütze

Einseitige Träger-Stützenverbindungen mit durchlaufender Stütze benötigen Schnittgrößeninformationen in **drei** Schnitten: am Träger und an der Stütze unterhalb und oberhalb des Verbindungsknotens.

Beidseitige Träger-Stützenverbindungen mit durchlaufender Stütze benötigen Schnittgrößeninformationen in **vier** Schnitten: an den Trägern rechts und links sowie an der Stütze unterhalb und oberhalb des Verbindungsknotens.



##-EC3BT berechnet nur Träger-Stützenverbindungen mit durchlaufender Stütze.

### Besonderheiten bei Rahmenecken

Einseitige Träger-Stützenverbindungen am Stützenende benötigen Schnittgrößeninformationen in **zwei** Schnitten: am Träger und an der Stütze unterhalb des Verbindungsknotens.

Bei liegenden Rahmenecken (Variante 2) können zusätzlich zu den Schnitten am Träger und an der Stütze (s. Beschreibung oben) die Schnittgrößen an einem Kragarm importiert werden.

Um die Schnittgrößen des dritten Schnitts zu importieren, ist der entsprechende Button zu aktivieren.

Schnittgrößen aus ##-Programm importieren  
☒ einschl. Träger (Kragarm) f. Variante 2



Das Programm ##-EC3RE berechnet nur Träger-Stützenverbindungen an Stützenende.

## 3.5

### Ergebnisübersicht



Das sechste Register gibt einen sofortigen Überblick über die ermittelten Ergebnisse.

	Ausnutzung	Steifigkeit	Verdrehung
<b>Lastkombination 1</b>	<b>67%</b>	95441 kNm/rad	0,048°
Querschnitt Stütze	67%		
c/t-Verhältnis	34%		
Querschnitt Träger mit Voute	37%		
c/t-Verhältnis	26%		
Querschnitt Träger ohne Voute	37%		
c/t-Verhältnis	20%		
Biegung	48%		
Abscheren/Lochleibung	25%		
Schub im Stirnblech	18%		
Stützenstegfeld (Gk 1)	29%		
Schweißnähte am Träger	33%		
Stegsteifen / Zugblech	35%		
<b>Lastkombination 2</b>	<b>110%</b>	95441 kNm/rad	0,035°
Querschnitt Stütze	93%		
c/t-Verhältnis	64%		
Querschnitt Träger mit Voute	43%		
c/t-Verhältnis	59%		
Querschnitt Träger ohne Voute	38%		
c/t-Verhältnis	61%		
Biegung	110%		
Abscheren/Lochleibung	28%		
Schub im Stirnblech	18%		
Stützenstegfeld (Gk 1)	22%		
Schweißnähte am Träger	60%		
Stegsteifen / Zugblech	86%		
<b>Gesamt</b>	<b>110%</b>		
<b>Tragfähigkeit nicht gewährleistet (s. Druckliste) !!</b>			



Zur sofortigen Kontrolle und des besseren Überblicks halber werden die Ergebnisse in diesem Register lastfallweise übersichtlich zusammengestellt.

Eine Box zeigt an, ob ein Lastfall die Tragfähigkeit des Anschlusses überschritten hat (rot ausgekreuzt) oder wie viel Reserve noch vorhanden ist (grüner Balken). Zur besseren Fehleranalyse oder zur Einschätzung der Tragkomponenten werden zudem die Einzelberechnungsergebnisse protokolliert.

Rotationssteifigkeit und Verdrehung sind ebenfalls dargestellt.

Eine Meldung zeigt an, wenn ein Fehler aufgetreten oder die Tragfähigkeit überschritten ist.

Werden mehr als fünf Lastkombinationen berechnet, wird die Darstellung der Ergebnisse reduziert.

Die maximale Ausnutzung (= Gesamt) wird zusätzlich am oberen Fensterrand protokolliert.

Die Lastkombination, die für das Gesamtergebnis maßgebend ist, wird markiert.

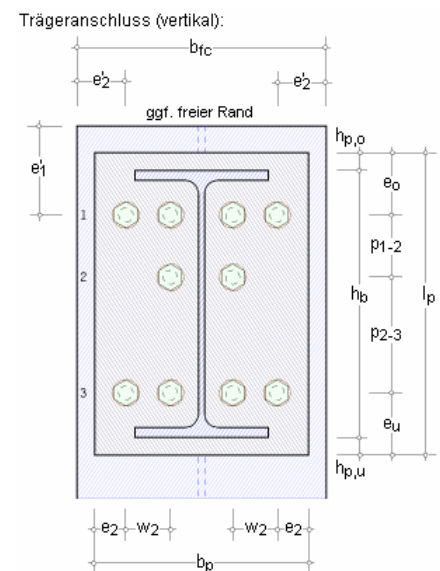
Über den Link kann die Ausgabe direkt am Bildschirm eingesehen werden.

Wenn die Ursache des Fehlers nicht sofort ersichtlich ist, sollte die Druckliste in der ausführlichen Ergebnisdarstellung (s. Abs. 8.2, S. 96) geprüft werden.

### 3.5.1

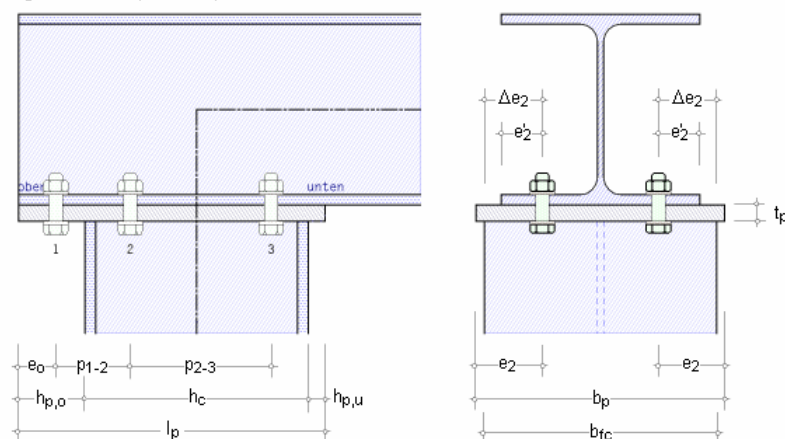
#### Bezeichnung der Eingabeparameter

In der nebenstehenden Grafik sind die Parameterbezeichnungen aufgeführt, auf die im Programm Bezug genommen wird, wenn eine *Rahmenecke der Variante 1* (vertikaler Träger-Stützenanschluss ohne  $e'_1$ ) berechnet werden soll.



Bei einer *Rahmenecke Var. 2* oder einem *T-Anschluss Var. 2* (liegender, horizontaler Träger-Stützenanschluss) sind die Bezeichnungen analog dem vertikalen Träger-Stützenanschluss gewählt, wobei hier die linke Seite dem Stützenkopf bzw. der Stütze oberhalb des Anschlussknotens ('oben') entspricht.

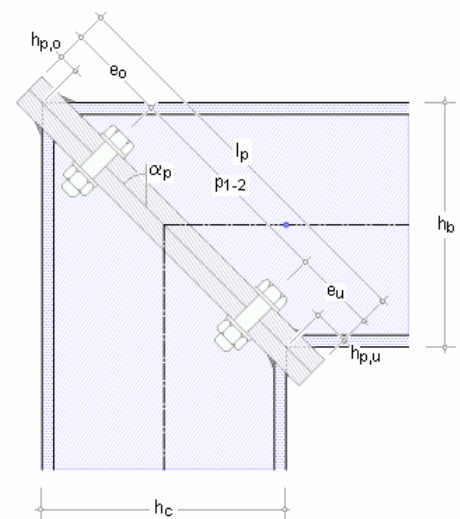
Trägeranschluss (horizontal):





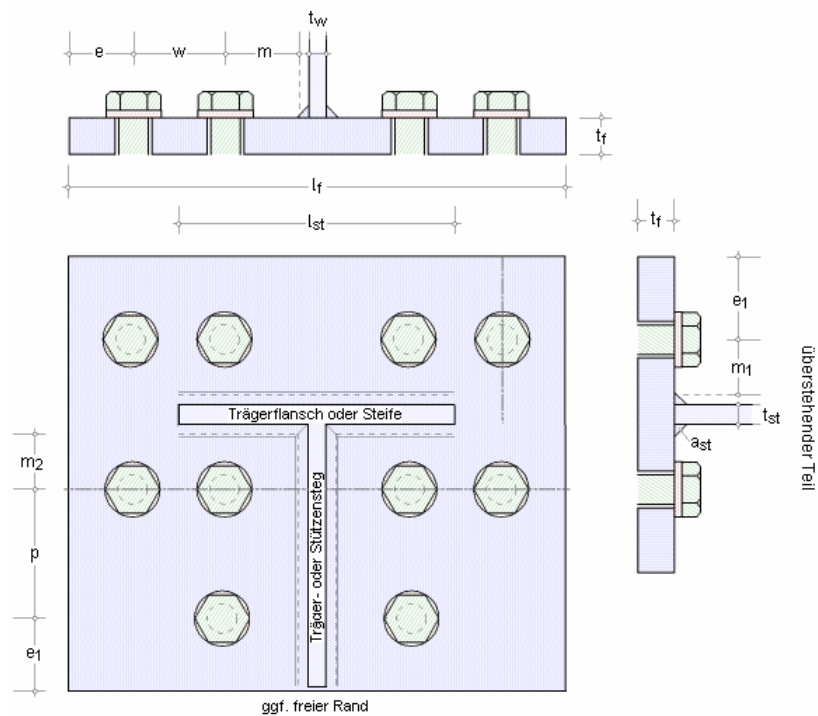
Die *Rahmenecke der Variante 3* (diagonaler Träger-Stützenanschluss) wird wie ein Trägerstoß (s. Trägeranschluss ohne  $b_{fc}$ ,  $e'_1$ ,  $e'_2$ ) behandelt, wobei jedoch Träger und Stütze unterschiedliche Abmessungen aufweisen können. Dementsprechend beziehen sich alle Abmessungen auf die Anschlussebene.

Trägeranschluss (diagonal):



Grundlage zur Bemessung diverser Schraubenverbindungen ist das Modell eines *äquivalenten T-Stummels*. Die Bezeichnung der Abstände ist in der folgenden Skizze beschrieben.

T-Stummel-Modell: zwischen den Trägerflanschen

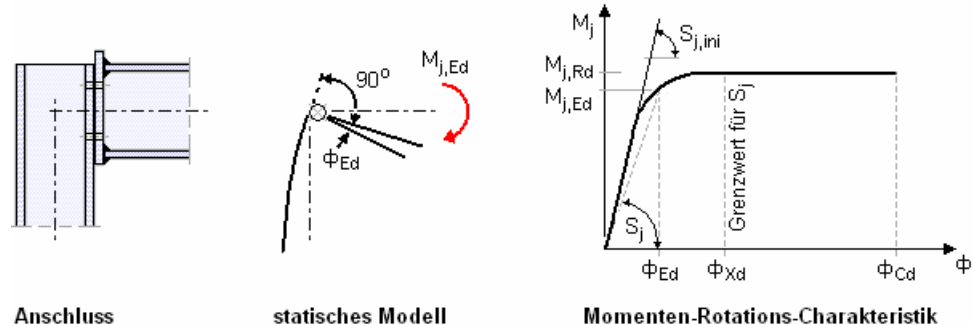




## allgemeine Erläuterungen

Nach EC 3-1-8, 5.1.4, sind die Anschlüsse bei elastisch-plastischer Tragwerksberechnung i.d.R. sowohl nach ihrer Steifigkeit (5.2.2) als auch nach der Tragfähigkeit (5.2.3) zu klassifizieren. Dazu müssen für Anschlüsse mit Doppel-T-Profilen die Momententragfähigkeit (6.2.7 und 6.2.8), die Rotationssteifigkeit (6.3.1) und die Rotationskapazität (6.4) berechnet werden.

Die Zusammenhänge zwischen **Momententragfähigkeit**, **Rotationssteifigkeit** und **Rotationskapazität** sind in EC 3-1-8, Bild 6.1, dargestellt.



IN EN 1993-1-8, Bild 6.1, Momenten-Rotations-Charakteristik eines Anschlusses

Im Programm #/EC3RE erfolgt keine Klassifizierung nach der Steifigkeit, da das Grenzkriterium bauwerksspezifisch zu ermitteln ist (Bild 5.4). In Analogie dazu wird ebenso die Klassifizierung nach der Tragfähigkeit (Bild 5.5) nicht durchgeführt.

Nach EC 3-1-8, 5.3, werden für eine wirklichkeitsnahe Berechnung des Anschlussverhaltens das Stützenstegfeld und die einzelnen Verbindungen unter Berücksichtigung der Schnittgrößen der Bauteile am Anschnitt des Stützenstegfeldes getrennt modelliert.

Der Einfluss des Stützenstegfeldes wird durch den Übertragungsparameter  $\beta$  berücksichtigt. Bei einseitigen Träger-Stützenanschlüssen (Rahmenecke, T-Anschluss Var. 2) gilt stets  $\beta \approx 1$ .

Nach EC 3-1-8, 6.1.1, wird ein Anschluss mit Doppel-T-Querschnitten als eine Zusammenstellung von **Grundkomponenten** (Gk) angesehen. Folgende Grundkomponenten (vgl. Tab. 6.1) werden verwendet

- Gk 1: Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung, Abs. 6.1, S. 67
- Gk 2: Stützensteg mit Querdruckbeanspruchung, Abs. 6.2, S. 68
- Gk 3: Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung, Abs. 6.3, S. 70
- Gk 4: Stützenflansch mit Biegung, Abs. 6.4, S. 71
- Gk 5: Stirnblech mit Biegebeanspruchung, Abs. 6.5, S. 73
- Gk 6: Flanschwinkel mit Biegebeanspruchung, Abs. 6.6, S. 74
- Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung, Abs. 6.7, S. 75
- Gk 8: Trägersteg mit Zugbeanspruchung, Abs. 6.8, S. 76
- Gk 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung, Abs. 6.9, S. 77
- Gk 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung, Abs. 6.10, S. 77
- Gk 12: Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung, Abs. 6.11, S. 77
- Gk 19: Schweißnähte, s. Abs. 6.12, S. 78
- Gk 20: Gevouteter Träger mit Druck, Abs. 6.13, S. 79

Die Verformbarkeit eines Anschlusses kann durch eine **Rotationsfeder** modelliert werden, die die verbundenen Bauteile im Kreuzungspunkt der Schwerpunktlinien verbindet (6.2.1.2). Die Kenngrößen dieser Feder können in Form einer Momenten-Rotations-Charakteristik (s.o.) dargestellt werden, die die drei wesentlichen Kenngrößen liefert

- Momententragfähigkeit
- Rotationssteifigkeit
- Rotationskapazität



Da die Rotationssteifigkeit nach EC 3-1-8, 6.3.1(4), ermittelt wird, dürfen einfache lineare Abschätzungen zur Anwendung kommen (5.1.1(4)). Die Rotationskapazität kann numerisch nicht bestimmt werden. Weiterführende Erläuterungen zur Ermittlung der

- Tragfähigkeit s. Abs. 4.1, S. 41
- Rotationssteifigkeit s. Abs. 4.4, S. 62
- Rotationskapazität s. Abs. 4.5, S. 63

## 4.1 Komponentenmethode

Die Komponentenmethode ermöglicht die Berechnung beliebiger Anschlüsse von Doppel-T-Profilen für Tragwerksberechnungen (EC 3-1-8, 6.1.1(1)). Die Voraussetzungen für das Verfahren sowie die zur Anwendung kommenden Grundkomponenten sind unter Abs. 4, S. 40, beschrieben.

Im Programm *EC3RE* werden biegesteife Rahmenecken und T-Anschlüsse berechnet.

Im EC 3-1-8, 5.3, ist geregelt, dass beidseitige Träger-Stützenanschlüsse (T-Anschlüsse Var. 1) vereinfachend je Seite betrachtet werden dürfen. Dementsprechend wird die Verbindung je Lastfall zweimal (rechter Anschluss, linker Anschluss) berechnet. Es ergeben sich Tragfähigkeiten und Rotationssteifigkeiten je Seite.

Nach EC3-1-8 wird die Biegetragfähigkeit des Anschlusses aus den Tragfähigkeiten der einzelnen Grundkomponenten ermittelt und der einwirkenden Bemessungsgröße gegenübergestellt.

Alternativ können die einzelnen Traganteile für jede Grundkomponente aus der einwirkenden Belastung extrahiert werden, die den Tragfähigkeiten der einzelnen Grundkomponenten gegenübergestellt werden.

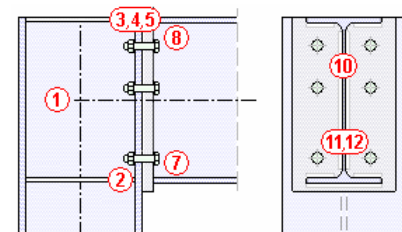
Im Folgenden wird die Vorgehensweise zur Bemessung einer Rahmenecke Var. 1 erläutert. Es wird eine geschraubte Stirnblech-Verbindung (Abs. 4.1.1) sowie eine geschweißte Verbindungen (Abs. 4.1.2, S. 46) mit der Komponentenmethode nach EC3-1-8, 6.2.7, nachgewiesen. Die alternative Methode wird hier nicht näher erläutert.

### 4.1.1 geschraubte Stirnblechverbindung

Biege- und Zugtragfähigkeiten des Anschlusses werden auf Seite der

- Stütze wird mit den Grundkomponenten 1 bis 4
- des Trägers mit den Gkn 7 (bzw. 20) und 8
- des Stirnblechs mit Gk 5

ermittelt.



Die Tragfähigkeit der Schrauben wird mit Gk 11 für Abscheren, Gk 12 für Lochleibung und ggf. Gk 10 für Zug ermittelt.

Die Tragfähigkeit der Schweißnähte zwischen Träger und Stirnblech wird über den Linienquerschnitt mit einbezogen. Zur Bemessung der Schweißnähte s. Abs. 4.3.4, S. 51.

**Biege- und Zugtragfähigkeit mit der Komponentenmethode** Nach EC 3-1-8, 6.2.7.2, wird die Biegetragfähigkeit von Träger- Stützenanschlüssen mit geschraubten Stirnblechverbindungen bestimmt mit

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

$F_{tr,Rd}$  wirksame Tragfähigkeit einer Schraubenreihe auf Zug

$h_r$  ..... Abstand der Schraubenreihe vom Druckpunkt

$r$  ..... Nummer der Schraubenreihe

Im Überstand darf sich nur eine Schraubenreihe befinden.

Der Druckpunkt einer Stirnplattenverbindung sollte im Zentrum des Spannungsblocks infolge der Druckkräfte liegen (EC 3-1-8, 6.2.7.1(9)), vereinfachend in der Achse der Mittelebene des Trägerdruckflanschs (EC 3-1-8, 6.2.7.2(2)).



Die Nummerierung der Schraubenreihen geht von der Schraubenreihe aus, die am weitesten vom Druckpunkt entfernt liegt (EC 3-1-8, 6.2.7.2(1)).

Die wirksame Tragfähigkeit einer Schraubenreihe  $r$  sollte als Minimum der Tragfähigkeiten einer einzelnen Schraubenreihe der Gkn 3, 4, 5, 8 bestimmt werden, wobei ggf. noch Reduktionen aus den Gkn 1, 2, 7 vorzunehmen sind. Anschließend ist die Tragfähigkeit der Schraubenreihe als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen der Gkn 3, 4, 5, 8 zu untersuchen; s. hierzu EC 3-1-8, 6.2.7.2(6-8).

Bei Trägerstößen werden die Grundkomponenten, die die Stütze betreffen, außer Betracht gelassen (EC 3-1-8, 6.2.7.2(10)).

Um ein mögliches Schraubenversagen auszuschließen, ist die Forderung nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(9), einzuhalten:

Wird die wirksame Tragfähigkeit einer zuerst berechneten Schraubenreihe  $x$  größer als  $1.9 \cdot F_{t,Rd}$ , ist die wirksame Tragfähigkeit aller weiteren Schraubenreihen  $r$  zu reduzieren, um folgender Bedingung zu genügen

$$F_{tr,Rd} \leq F_{tx,Rd} \cdot h_r / h_x$$

$h_x$ ..... Abstand der Schraubenreihe  $x$  zum Druckpunkt

Optional kann die Schraubentragfähigkeit vorab begrenzt werden, damit die o.a. Forderung nicht zum Tragen kommt.

Im Programm *##-EC3RE* werden zunächst die minimalen Tragfähigkeiten aus den maßgebenden Grundkomponenten ermittelt (Beispielberechnung).

#### Tragfähigkeiten nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(6) für Schraubenreihen einzeln betrachtet

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 239.3$  kN

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 234.9$  kN

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 240.8$  kN

Nun erfolgen reihenweise die Abminderungen für Schraubenreihen als Teil einer Schraubengruppe. Da die Schraubengruppen einer Stütze und eines Stirnblechs verschiedene Mitglieder haben können, erfolgt die Ausgabe in separaten Blöcken.

#### Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stütze)

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

##### Gruppe 1

Reihe 1:  $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0$  kN

Gk 3:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 540.8$  kN

Gk 4:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 453.3$  kN

Reihe 2:  $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3$  kN (aus Reihe 1)

Gk 3:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 301.5$  kN

Gk 4:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 214.0$  kN

$F_{tr,Rd} = 239.3$  kN <  $\Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3$  kN

$F_{tr,Rd} = 239.3$  kN <  $\Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3$  kN

$F_{tr,Rd} = 234.9$  kN <  $\Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 234.9$  kN

$F_{tr,Rd} = 234.9$  kN >  $\Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0$  kN

#### Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stirnblech)

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

##### Gruppe 1

Reihe 1:  $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0$  kN

Gk 5:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 530.1$  kN

Gk 8:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 455.4$  kN

Reihe 2:  $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3$  kN (aus Reihe 1)

Gk 5:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 290.8$  kN

Gk 8:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 216.1$  kN

$F_{tr,Rd} = 239.3$  kN <  $\Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3$  kN

$F_{tr,Rd} = 239.3$  kN <  $\Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3$  kN

$F_{tr,Rd} = 214.0$  kN <  $\Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0$  kN

$F_{tr,Rd} = 214.0$  kN <  $\Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0$  kN

Mit diesen Tragfähigkeiten der einzelnen Schraubenreihen wird die Tragfähigkeit des Anschlusses bei reiner Zugbelastung bestimmt.

#### Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 239.3$  kN

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 214.0$  kN

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 240.8$  kN

$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 694.1$  kN

Es folgen reihenweise die Abminderungen für einzelne Schraubenreihen der Druck-/Schub-Komponenten.



**Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(7)**

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

Reihe 1:  $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$ Gk 1:  $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 641.8 \text{ kN}$ Gk 2:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 581.1 \text{ kN}$ Gk 7:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 499.0 \text{ kN}$ Reihe 2:  $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$  (Reihe 1)Gk 1:  $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 402.5 \text{ kN}$ Gk 2:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 341.8 \text{ kN}$ Gk 7:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 259.7 \text{ kN}$ Reihe 3:  $\Sigma F_{tr,Rd} = 453.3 \text{ kN}$  (Reihen 1 bis 2)Gk 1:  $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN}$ Gk 2:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN}$ Gk 7:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 45.7 \text{ kN}$  $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$  $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$  $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$  $F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$  $F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$  $F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$  $F_{tr,Rd} = 240.8 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN}$  $F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN}$  $F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 45.7 \text{ kN}$ 

Für die jeweils kleinste Tragkraft je Reihe wird überprüft, ob die Annahme einer plastischen Schraubenkraftverteilung gerechtfertigt ist. Wird in einer Reihe die Grenztragfähigkeit von 95% der Zugtragfähigkeit einer Schraube überschritten, müssen die Tragfähigkeiten der nachfolgenden Schraubenreihen linearisiert werden.

**Kontrolle nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(9)**

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1:  $F_{tx,Rd} = 239.3 \text{ kN}$ ,  $h_x = 244.6 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 335.2 \text{ kN}$ , keine AbminderungReihe 2:  $F_{tx,Rd} = 214.0 \text{ kN}$ ,  $h_x = 174.6 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 335.2 \text{ kN}$ , keine Abminderung

Das Ergebnis wird schlussendlich protokolliert.

**Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)**Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$ Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$ Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 45.7 \text{ kN}$  $\Sigma F_{tr,Rd} = 499.0 \text{ kN}$ 

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 4, 7

Die Grundkomponente, die die Tragfähigkeit einer Schraubenreihe am meisten herabgesetzt hat (gekennzeichnet durch ein >-Zeichen), wird als mögliche Versagensquelle des Anschlusses protokolliert.

Die Druck-Komponenten liefern die Tragfähigkeit bei reiner Druckbeanspruchung.

**Tragfähigkeit der Flansche (Druck)** $\Sigma F_{c,Rd}^* = 997.9 \text{ kN}$ 

Die Biegetragfähigkeit ergibt sich damit zu

**Biegetragfähigkeit** bezüglich des Druckpunkts $M_{j,Rd} = \Sigma (F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 98.0 \text{ kNm}$ 

und die Ausnutzung zu

$$U = \frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \leq 1.0$$

wobei das einwirkende Moment auf den Druckpunkt in der Anschlussebene (bei Stirnblechverbindungen die Kontaktebene zwischen Stirnblech und Stütze bzw. bei Stößen zwischen den Stirnblechen) bezogen ist.

Ist die einwirkende Normalkraft größer als 5% der plastischen Normalkrafttragfähigkeit

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \dots \text{n. EC3-1-1, 6.2.3(2)a}$$

wird nach EC 3-1-8, 6.2.7.1(3), die konservative Näherung verwendet.

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

wobei sich nun das einwirkende Moment auf den Schwerpunkt (reines Moment ohne Normalkraft) bezieht.



Die Tragfähigkeiten bei reiner Normalkraft werden ebenfalls protokolliert.

**Zugtragfähigkeit**  
 $N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 694.1 \text{ kN}$   
**Drucktragfähigkeit**  
 $N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 997.9 \text{ kN}$

### Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Auch hier werden zunächst die minimalen Tragfähigkeiten aus den maßgebenden Grundkomponenten ermittelt.

**Tragfähigkeit je Schraubenreihe**  
 maßgebende Grundkomponenten: 11, 12  
 Reihe 1:  $F_{vr,Rd} = 301.6 \text{ kN}$   
 Reihe 2:  $F_{vr,Rd} = 301.6 \text{ kN}$   
 Reihe 3:  $F_{vr,Rd} = 301.6 \text{ kN}$

Nach EC 3-1-8, Tab. 3.4, reduziert sich die Tragfähigkeit bei gleichzeitiger Wirkung von Querkraft und Zugnormalkraft bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit zu

**Abminderungen aufgrund der Zugkraft** (bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit)  
 maßgebende Grundkomponente: 10  
 Reihe 1:  $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 155.5 \text{ kN}$  mit  $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.516$   
 Reihe 2:  $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 170.9 \text{ kN}$  mit  $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.567$   
 Reihe 3:  $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 273.7 \text{ kN}$  mit  $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.908$

so dass sich die endgültigen Tragfähigkeiten je Schraubenreihe ergeben zu

**Tragfähigkeit je Schraubenreihe**  
 Reihe 1:  $F_{vr,Rd} = 155.5 \text{ kN}$   
 Reihe 2:  $F_{vr,Rd} = 170.9 \text{ kN}$   
 Reihe 3:  $F_{vr,Rd} = 273.7 \text{ kN}$   
 $\Sigma F_{vr,Rd} = 600.1 \text{ kN}$

Die Abscher-Lochleibungstragfähigkeit ergibt sich damit zu

**Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit**  
 $V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 600.1 \text{ kN}$

und die Ausnutzung zu

$$U = \frac{V_{j,Ed}}{V_{j,Rd}} \leq 1.0$$

### Schubtragfähigkeit

Sowohl Stirnblech als auch Stützensteg sind für den Schub aus Querkraftbeanspruchung zu untersuchen. Die Tragfähigkeit des Stirnblechs ergibt sich als Minimum der plastischen Tragfähigkeit des Blechs und der Tragfähigkeit der Stegnähte.

**Schubtragfähigkeit des Stirnblechs**  
 Stirnblech:  $V_{ep,Rd} = \tau_{Rd} \cdot t \cdot l_{eff} = 674.59 \text{ kN}$ ,  $\tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2$ ,  $t = 20.0 \text{ mm}$ ,  $l_{eff} = d_w = 248.6 \text{ mm}$   
 Scherfestigkeit:  $f_{vw,d} = (f_u/3^{1/2}) / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 207.8 \text{ N/mm}^2$ ,  $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$ ,  $\beta_w = 0.80$   
 Schweißnähte:  $F_{w,Rd} = 2 \cdot a \cdot l_{eff} \cdot f_{vw,d} = 516.71 \text{ kN}$ ,  $a = 5.0 \text{ mm}$ ,  $l_{eff} = d_w = 248.6 \text{ mm}$   
 Schubtragfähigkeit des Stirnblechs:  $V_{ep,Rd} = F_{w,Rd} = 516.71 \text{ kN}$

Die Tragfähigkeit des Stützenstegfelds ist bereits in der Biegetragfähigkeit berücksichtigt. Für einen expliziten Nachweis der Schubtragfähigkeit wird sie hier noch einmal aufgeführt

**Schubtragfähigkeit des Stützenstegs**  
 maßgebende Grundkomponente: 1  
 $V_{wp,Rd}/\beta_j = 641.7 \text{ kN}$



## MNV-Interaktion

Die Komponentenmethode nach EC 3-1-8, 6.2.7, wurde für reine Biegeprobleme konzipiert. Eine Normalkraftbeanspruchung kann hierbei nur wirtschaftlich berücksichtigt werden, wenn die Normalkraft untergeordnet, d.h. kleiner als 5% der plastischen Beanspruchbarkeit ist. Bei höherer Normalkraftbeanspruchung wird eine konservative Näherung verwendet.

Eine Möglichkeit, auch normalkraftbehaftete Anschlüsse zu bemessen, besteht darin, die Komponenten über Teilschnittgrößen auszuwerten (alternative Methode). Leider kann bei dieser Methode die Traglastreduktion auf Grund der Gruppenbildung von Schrauben nicht hinreichend genau erfasst werden.

Daher wurde ein Verfahren implementiert, das über Optimierungsmethoden einen Gleichgewichtszustand zwischen der eingegebenen Belastung und den resultierenden Kräften in den Schraubenreihen (Zug) und den Flanschen (Druck) ermittelt. Diese Methode ist von der Art der Belastung (Biegung, Zug, Druck) unabhängig.

In Anlehnung an das Ringbuch *Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau, Ergänzungsband 2018* wird das Optimierungsverfahren nach *F. Cerfontaine (in Jaspart/Weynand: Design of Joints in Steel and Composite Structures)* zur Ermittlung der Ausnutzung verwendet.

Hierbei werden die Tragfähigkeiten der Grundkomponenten für jede Schraubenreihe einzeln sowie für Schraubengruppen und der Querkraft als Randbedingungen für das lineare Optimierungsproblem aufgefasst. Iterativ wird eine Lösung für den höchsten Laststeigerungsfaktor unter Momenten-, Normalkraft- und Querkraftbeanspruchung ermittelt. Der Laststeigerungsfaktor entspricht dem Kehrwert der Ausnutzung.

Es wird die optimale Verteilung der einwirkenden Kräfte auf die Traganteile der Verbindung berechnet (Gleichgewicht zwischen inneren und äußeren Kräften). Die Werte  $F_{tr,Rd}$ ,  $F_{c,Rd}$ ,  $F_{vr,Rd}$  sind daher keine Tragfähigkeiten sondern resultierende Kräfte aus der Verteilung. Maximal aufnehmbare Größen ( $M_{j,Rd}$ ,  $V_{j,Rd}$  etc.) werden nicht ermittelt.

Für das o.a. Beispiel ergibt sich

**Zugkraft je Schraubenreihe (MNV-Interaktion)**  
Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 166.0 \text{ kN}$   
Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$   
Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

**Druckkraft in den Flanschen (MNV-Interaktion)**  
unten:  $F_{c,Rd} = 499.0 \text{ kN}$

**Querkraft je Schraubenreihe (MNV-Interaktion)**  
Reihe 1:  $F_{vr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$   
Reihe 2:  $F_{vr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$   
Reihe 3:  $F_{vr,Rd} = 221.9 \text{ kN}$

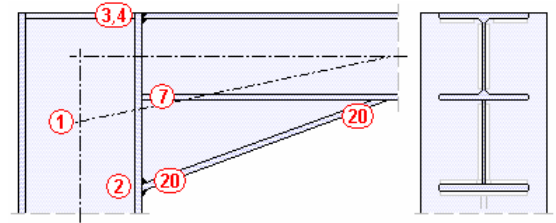


## 4.1.2

### geschweißte Verbindung

Die Biege- und Zugtragfähigkeit des Anschlusses wird ermittelt auf Seite der

- Stütze mit den Grundkomponenten 1 bis 4
- Trägers mit Gk 7 (bei Vouten alternativ mit Gk 20)



Die Tragfähigkeit der Schweißnähte zwischen Träger und Stütze wird über den Linienquerschnitt mit einbezogen.

Zur Bemessung der Schweißnähte (s. Abs. 4.3.4, S. 51).

**Biege- und Zugtragfähigkeit mit der Komponentenmethode** Nach EC 3-1-8, 6.2.7.1(4), wird die Biegetragfähigkeit eines geschweißten Anschlusses bestimmt mit

$$M_{j,Rd} = F_{Rd} \cdot z$$

$F_{Rd}$  wirksame Tragfähigkeit der Verbindung

$z$  ..... Abstand zwischen den Achsen der Mittelebenen von Zug- und Druckflansch des angeschlossenen Trägers

Der Druckpunkt der geschweißten Verbindung sollte im Zentrum des Spannungsbereichs infolge der Druckkräfte liegen (EC 3-1-8, 6.2.7.1(9)), vereinfachend in der Achse der Mittelebene des Druckflansches (EC 3-1-8, Bild 6.15a).

Bei Trägerstößen werden die Grundkomponenten, die die Stütze betreffen, außer Betracht gelassen (analog EC 3-1-8, 6.2.7.2(10)).

Die Zugtragfähigkeit ergibt sich aus den Gkn 3 und 4 (Gk 4 nur bei nicht ausgesteiften Stützenflanschen) für den Zugflansch zu (Beispielberechnung)

**Tragfähigkeit**  
maßgebende Grundkomponenten: 3, 4  
 $F_{t,Rd} = 570.3 \text{ kN}$

Abminderungen aufgrund der Drucktragfähigkeit der Profile

**Abminderungen analog EC 3-1-8, 6.2.7.2(7)**  
maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7  
Gk 1:  $F_{Rd} = 570.3 \text{ kN} < V_{wp,Rd}/\beta = 579.1 \text{ kN} \Rightarrow F_{Rd} = 570.3 \text{ kN}, \beta = 1.0$   
Gk 2:  $F_{Rd} = 570.3 \text{ kN} > F_{c,wc,Rd} = 518.4 \text{ kN} \Rightarrow F_{Rd} = 518.4 \text{ kN}$   
Gk 7:  $F_{Rd} = 518.4 \text{ kN} < F_{c,fb,Rd} = 1622.8 \text{ kN} \Rightarrow F_{Rd} = 518.4 \text{ kN}$

führen zur wirksamen Tragfähigkeit

**Tragfähigkeit (endgültig)**  
 $F_{Rd} = 518.4 \text{ kN}$

mit der die Biegetragfähigkeit des Anschlusses zu

$$M_{j,Rd} = F_{Rd} \cdot z_b = 192.3 \text{ kNm}$$

ermittelt wird.

Die Normalkrafttragfähigkeit wird analog der Stirnblech-Verbindung berechnet (s.o.).

## 4.1.3

### Besonderheiten bei Vouten

Beträgt die Höhe des Trägers einschließlich Voute mehr als 600 mm, ist nach EC 3-1-8, 6.2.6.7(1), i.d.R. der Beitrag des Trägerstegs zur Tragfähigkeit bei Druckbeanspruchung auf 20% zu begrenzen.

Programmintern wird die Stegdicke zur Berechnung von Grundkomponente 7 (Tragfähigkeit des Voutendruckflansches) auf 20% begrenzt.



Die Biegetragfähigkeit des Trägerquerschnitts wird unter Vernachlässigung des zwischenliegenden Flansches berechnet.

Nach EC 3-1-8, 6.2.6.7(2), gelten für Träger mit Vouten folgende Voraussetzungen

- die Stahlgüte der Voute sollte mindestens der Stahlgüte des Trägers entsprechen (programmintern gewährleistet)
- die Flanschabmessungen und die Stegdicke der Voute sollten nicht kleiner sein als die des Trägers
- der Winkel zwischen Voutenflansch und Trägerflansch sollte nicht größer sein als  $45^\circ$
- die Länge  $s_s$  der steifen Auflagerung darf mit der Schnittlänge des Voutenflanschs parallel zum Trägerflansch angesetzt werden

Am Anschluss Voute-Stütze ist die Tragfähigkeit von Voutenflansch und -steg mit Druck (Gk 7) maßgebend, am Anschluss Voute-Träger muss nach EC 3-1-8, 6.2.6.7(3), die Tragfähigkeit des Trägerstegs mit Querdruck (Gk 2) nachgewiesen werden. Beide Grundkomponenten werden in der speziellen Vouten-Grundkomponente 20 zusammengefasst.

#### 4.1.4

#### **Besonderheiten bei überwiegend normalkraftbeanspruchten Verbindungen**

(nicht bei MNV-Interaktion)

Bei überwiegend normalkraftbeanspruchten Verbindungen ist der *Trägerdruckflansch* nicht mehr gedrückt bzw. der *Zugflansch* nicht mehr gezogen, d.h. die Annahme, dass der Druckpunkt in der Mitte des Trägerflanschs liegt, ist nicht mehr akzeptabel (Zug-/Druckverbindungen).

Auch gilt die Komponentenmethode nach EC 3-1-8, 6.2.7, nur für biegebeanspruchte Verbindungen mit unbedeutender Normalkraft ( $N \leq 5\% N_{pl}$ ).

Jedoch darf nach EC 3-1-8, 6.2.7.1(3), eine Näherung verwendet werden, bei der Biege- und Normalkraftbeanspruchung voneinander unabhängig ausgewertet werden. Die Einzeltragfähigkeiten werden anschließend addiert.

Daher wird für das einwirkende Biegemoment eine Biegetragfähigkeit berechnet, die sich auf den unteren Trägerflansch (bzw. bei Flanschwinkelverbindungen auf den am unteren Trägerflansch anliegenden Winkelschenkel) bezieht, und für die einwirkende Normalkraft eine Normalkrafttragfähigkeit in der Systemachse (senkrecht zur Anschlussebene) ermittelt.

Bei geschraubten Anschlüssen mit einer Schraubenreihe im unteren Überstand (auf der Druckseite) wird diese letzte Reihe bei Ermittlung der Zugtragfähigkeit im Unterschied zur Biegetragfähigkeit berücksichtigt.

Die alternative Methode zur Berechnung der 'Grundkomponenten mit Teilschnittgrößen' liefert i.A. günstigere Ergebnisse und wird im Standardfall für überwiegend normalkraftbeanspruchte Lastkombinationen verwendet.



Die Schnittgrößen sind als Bemessungsgrößen bereits mit den Lastfaktoren für den Grenzzustand der Tragfähigkeit beaufschlagt und können auf drei verschiedene Arten in das Programm eingegeben werden.

- Knoten-Schnittgrößen beziehen sich auf den Knotenpunkt der Schwerachsen. Knoten-Schnittgrößen sind häufig das Resultat einer vorangegangenen Stabwerksberechnung und mit der Vorzeichenregel des *Statik*-Koordinatensystems (positive Normalkraft = Zug, pos. Biegemoment = Zug unten) definiert.
- Anschnitt-Schnittgrößen befinden sich in der Bemessungsebene, sind jedoch bei geneigten und gevouteten Trägern auf die Schwerachse des Trägers bezogen.  
Hier ist das *EC 3-1-8*-Koordinatensystem (positive Normalkraft = Druck, positives Biegemoment = Zug oben) zu beachten!
- Anschluss-Schnittgrößen sind die senkrecht zur Anschlussebene wirkenden Bemessungsgrößen im *EC 3-1-8*-Koordinatensystem, die den Tragfähigkeitsnachweisen zu Grunde liegen.

Sowohl Knoten-Schnittgrößen als auch Anschnitt-Schnittgrößen müssen in die Bemessungsebene transformiert werden. Zu beachten ist, dass dabei keine äußeren Einwirkungen berücksichtigt werden, so dass besonders bei längeren Vouten die für die Nachweise am Voutenanfang (Übergang des Trägers in die Voute, Voute-Träger-Anschnitt) berechneten Bemessungsgrößen zu überprüfen sind!

Dabei wird mit Bemessungsebene (Anschlussebene) die Kontaktebene zwischen Träger und Stütze (bei Stößen die Kontaktebene zwischen den Trägern) bezeichnet. Bei Stirnplattenverbindungen ist dies z.B. der Anschluss der Stirnplatte an die Stütze (bei Stößen die Mittelebene der beiden Stirnplatten).

Es wird stets vorausgesetzt, dass ein rechtsseitiger Anschluss (Rechenmodell) vorliegt.

**Schnittgrößentransformation** Sind die Schnittgrößen im Knotenpunkt der Schwerachsen gegeben (KOS *Statik*), werden sie zunächst in die **Anschlusschnittgrößen** (KOS *EC 3-1-8*) bezogen auf die Schwerachse des Trägers transformiert.

Schnittgrößen im Anschluss bezogen auf die Schwerachsen

- Anschnitt Träger (rechts, links analog)

$$N_{b,Ed} = -N_{j,b,Ed}$$

$$M_{b,Ed} = -M_{j,b,Ed} - V_{j,b,Ed} \cdot e_1 / \cos \alpha$$

$$V_{b,Ed} = V_{j,b,Ed}$$

- Anschnitt Voute-Träger

$$M_{b,v,Ed} = -M_{j,b,Ed} - V_{j,b,Ed} \cdot e_4 / \cos \alpha$$

- Anschnitt Stütze (unten)

$$N_{c,Ed} = -N_{j,c,Ed}$$

$$M_{c,Ed} = -M_{j,c,Ed} + V_{j,c,Ed} \cdot e_2$$

$$V_{c,Ed} = -V_{j,c,Ed}$$

Die Schnittgrößenkombination ( $N_{b,Ed}$ ,  $M_{b,Ed}$ ,  $V_{b,Ed}$ ) lässt sich auch direkt (s. Reg.4, Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung, s. Abs. 3.4, S. 32) eingeben.

Das Biegemoment am Anschnitt Voute-Träger wird nach der o.a. Formel berechnet, Normalkraft und Querkraft sind über die Voutenlänge konstant.

Die zur Transformation notwendigen Winkelinformationen sind mit

$$\alpha = (\alpha_b + \alpha_v) / 2, \quad \Delta \alpha = \alpha - \alpha_b, \quad \Delta \alpha_v = \alpha_v - \alpha_b$$

gegeben.

Die Abstände zur Bildung der Momente werden berechnet zu

$$e_1 = z_{cu} \dots e_2 = z_{bu} - t_{bfu} / 2 - (e_1 + t_{ep}) \cdot \tan \alpha \dots e_4 = L_v + t_{ep} \dots t_{ep} = 0 \dots \text{bei Schweißverbindungen}$$



Anschließend werden aus den Schnittgrößen im Anschluss die Schnittgrößen senkrecht zur Anslussebene ermittelt.

#### Schnittgrößen senkrecht zur Anslussebene

- Anschnitt Träger (rechts, links analog)

$$N_d = N_{b,Ed} \cdot \cos \alpha - V_{b,Ed} \cdot \sin \alpha$$

$$M_d = M_{b,Ed}$$

$$V_d = N_{b,Ed} \cdot \sin \alpha + V_{b,Ed} \cdot \cos \alpha$$

- Anschnitt Voute-Träger

$$N_{v,d} = N_{b,Ed} \cdot \cos \Delta \alpha - V_{b,Ed} \cdot \sin \Delta \alpha$$

$$M_{v,d} = M_{b,v,Ed}$$

$$V_{v,d} = N_{b,Ed} \cdot \sin \Delta \alpha + V_{b,Ed} \cdot \cos \Delta \alpha$$

Auch diese Schnittgrößenkombination ( $N_d$ ,  $M_d$ ,  $V_d$ ) lässt sich direkt (Schnittgrößen senkrecht zur Anslussebene, Abs. 3.4, S. 32) eingeben.

Bei T-Anschlüssen mit der Option **Gleichgewicht** (s. Reg. 1, Abs. 3.1.1, S. 15) und bei Rahmenecken generell werden die Stützenschnittgrößen aus den Schnittgrößen senkrecht zur Anslussebene berechnet.

Soll die Biege- und/oder Abschertragfähigkeit mit den Grundkomponenten mit Teilschnittgrößen (alternative Methode, s. Reg. 1, Abs. 3.1.1, S. 15) nachgewiesen werden oder sind spezielle Nachweise z.B. der Stegsteifen zu führen, sind die Teilschnittgrößen in den Flanschen und Stegen zu ermitteln.

Die Teilschnittgrößen im Träger ergeben sich zu

#### Teilschnittgrößen

$$N_{b,t} = (-N_d \cdot z_{bu} / z_b + M'_d / z_b) / \cos \alpha_b$$

$$N_{b,c} = (N_d \cdot z_{bo} / z_b + M'_d / z_b) / \cos \alpha_v$$

$$V_{b,w} = V_d + N_{b,c} \cdot \sin \alpha_v - N_{b,t} \cdot \sin \alpha_b$$

- Anschnitt Voute-Träger

$$N_{b,v,c} = (N_{v,d} \cdot z_{bo} / z_b + M_{v,d} / z_b) / \cos \Delta \alpha_v$$

- nur bei geschraubten Anschlüssen

$$N'_{b,t} = (-N_d \cdot z_{bu} + M_d) / z \dots \dots \dots \text{Zugkraft in den Schraubenreihen}$$

$$N'_{b,c} = (N_d \cdot z_{bo} + M_d) / z \dots \dots \dots \text{Druckkraft bezogen auf } N'_{b,t}$$

- bei Stirnblechanschluss

$$M'_d = M_d - V_d \cdot t_{ep} + N_d \cdot t_{ep} \cdot \tan \alpha$$

- bei Winkelanschluss

$$M'_d = M_d - V_d \cdot g_a$$

- sonst

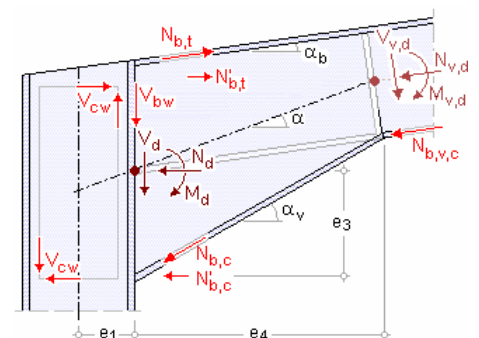
$$M'_d = M_d$$

Die Teilschnittgrößen im Stützenstegfeld ergeben sich zu

- Schubkraft im Stützensteg

$$V_{wp,Ed} = (M_{d1,w} - M_{d2,w}) / z - (V_{c1} - V_{c2}) / 2 \dots \text{mit} \dots M_{d1,w} = M_d + V_d \cdot t_{cf} - N_d \cdot t_{cf} \cdot \tan \alpha \dots M_{d2,w} \text{ analog}$$

wobei bei geschraubten Verbindungen der innere Hebelarm  $z$  dem äquivalenten Hebelarm  $z_{eq}$  entspricht. Zur Berechnung von  $z_{eq}$  s. Rotationssteifigkeit (Abs. 4.4, S. 62).





## 4.3

### Nachweise

Folgende Nachweise können geführt werden

- Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode
- ... Anschlusstragfähigkeit mit Teilschnittgrößen (alternative Methode)
- ... Schweißnähte am Träger (Nachweis über den Linienquerschnitt)
- ... Stegsteifen (Rippen) und/oder des Zugblechs (nur bei geschweißtem Anschluss)
- ... Querschnittstragfähigkeit
- elastischer Schubfeldnachweis
- Beulnachweise

Die Ausnutzungen aus den durchgeführten Nachweisen werden extremiert und anschließend sowohl lastfallweise als auch im Gesamtergebnis ausgegeben.

### 4.3.1

#### Querschnittsnachweis

Der Tragsicherheitsnachweis der offenen, dünnwandigen Querschnitte kann nach den Nachweisverfahren

- Elastisch-Elastisch (E-E) (EC 3-1-1, 6.2.1(5))
- Elastisch-Plastisch (E-P) (EC 3-1-1, 6.2.1(6))

geführt werden.

Beim **Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch** werden die Schnittgrößen (Beanspruchungen) auf Grundlage der Elastizitätstheorie bestimmt. Der Spannungsnachweis erfolgt mit dem Fließkriterium aus EC 3-1-1, 6.2.1(5), Gl. 6.1.

Beim Nachweisverfahren *Elastisch-Plastisch* werden die Schnittgrößen (Beanspruchungen) ebenfalls auf Grundlage der Elastizitätstheorie bestimmt. Anschließend wird mit Hilfe des Teilschnittgrößenverfahrens (TSV) mit Umlagerung (s. Lit. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) überprüft, ob die Schnittgrößen vom Querschnitt unter Ausnutzung der plastischen Reserven aufgenommen werden können (plastische Querschnittstragfähigkeit).

Dieses Berechnungsverfahren ist allgemeingültiger als die in EC 3 angegebenen Interaktionen für spezielle Schnittgrößenkombinationen.

Die Grenzwerte  $\text{grenz}(c/t)$  werden je nach Nachweisverfahren aus EC 3-1-1, 5.5.2, Tab.5.2, ermittelt. Dies entspricht der Überprüfung der erforderlichen Klassifizierung des Querschnitts.

Ist das Nachweisverfahren *Elastisch-Plastisch* gewählt und lässt die Klassifizierung keinen plastischen Nachweis zu, wird eine Fehlermeldung ausgegeben; dann sollte der elastische Nachweis geführt werden.

### 4.3.2

#### Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Es können die

- Biegetragfähigkeit
- Zugtragfähigkeit
- ggf. die kombinierte Biege-/Zugtragfähigkeit
- Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

der Verbindung ausgewertet werden.

Nach EC 3-1-8, 6.2.7.1(1), gilt für den Bemessungswert des einwirkenden Moments

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

Überschreitet jedoch die einwirkende Normalkraft in dem angeschlossenen Bauteil 5% der plastischen Beanspruchbarkeit, wird nach EC 3-1-8, 6.2.7.1(3), die folgende Näherung benutzt, wobei sich die Momente auf den Druckpunkt und die Normalkräfte auf die Systemachse beziehen.

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



Die Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit ergibt sich zu

$$\frac{V_{j,Ed}}{V_{j,Rd}} \leq 1.0$$

#### 4.3.3

### Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit Teilschnittgrößen

Zusätzlich oder alternativ zu der Ermittlung der Tragfähigkeit mit der Komponentenmethode können die Grundkomponenten auch separat mit den Teilschnittgrößen (Abs. 4.2, S. 48) nachgewiesen werden.

Zu weiterführenden Informationen führt die Beschreibung der einzelnen Grundkomponenten Abs. 4, S. 40.

#### 4.3.4

### Nachweis der Schweißnähte

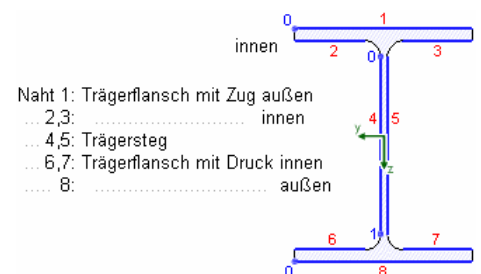
I.A. werden die Verbindungselemente (Träger und Stirnblech, Träger und Stütze) mit Kehlnähten verbunden, deren Schweißnaht konzentriert in der Wurzellinie angenommen wird.

Die Wurzellinien der Einzelnähte bilden den **Linienquerschnitt** (s. Lit. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) zur Aufnahme bzw. Weiterleitung der Schnittgrößen.

Beispielhaft sind nebenstehend die Einzelnähte, die den Linienquerschnitt bilden, für einen einachsigt belasteten Doppel-T-Querschnitt dargestellt.

Die Nummerierung in rot kennzeichnet die Naht, die Zahlenangaben in blau bezeichnen die maßgebenden Nachweispunkte auf der jeweiligen Naht.

Stumpfnähte (Trägerstoß) werden an den Flanschen nur einseitig (außen) angeordnet, Nähte 2, 3, 6, 7 entfallen.



Es ist zu unterscheiden zwischen den Schwerpunkten des Querschnitts und des Linienquerschnitts. Da die Einzelnähte beliebig lang und dick sein können, kann der Schwerpunkt des Linienquerschnitts mehr oder weniger stark vom Querschnittsschwerpunkt abweichen.

Bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts werden die Querschnittsfläche  $\Sigma A_w$ , ggf. die Querschnittsfläche in z-Richtung  $A_{w,z}$ , die gesamte Nahtlänge  $\Sigma l_w$ , das Trägheitsmoment  $I_{w,y}$  und der Differenzabstand zum Querschnittsschwerpunkt  $\Delta z_w$  ermittelt.

#### Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$\Sigma A_w = 94.98 \text{ cm}^2$ ,  $\Sigma l_w = 128.1 \text{ cm}$   
 $I_{w,y} = 26428.86 \text{ cm}^4$ ,  $\Delta z_w = -0.0 \text{ mm}$

Über eine Interaktionsbeziehung (Theorie mehrteiliger Querschnitte) können den Einzelnähten Schnittgrößen zugeordnet werden, die im Schwerpunkt der Naht wirken. Die lokalen Normalkräfte und Biegemomente werden über diese Beziehung ermittelt.

#### Schnittgrößenverteilung auf die Einzelnähte:

Naht 1:	$N_w = 76.38 \text{ kN}$	$M_{y,w} = -0.00 \text{ kNm}$
Naht 2:	$N_w = 27.23 \text{ kN}$	
Naht 4:	$N_w = 4.42 \text{ kN}$	$M_{y,w} = -1.99 \text{ kNm}$
Naht 6:	$N_w = -22.58 \text{ kN}$	
Naht 8:	$N_w = -64.52 \text{ kN}$	$M_{y,w} = -0.00 \text{ kNm}$

Die Querkraftaufteilung erfolgt nach der *konventionellen Methode* (Stegnähte übernehmen  $V_z$ ).

Damit werden die Spannungen in den maßgebenden Nachweispunkten berechnet.

#### Spannungen in den Endpunkten der Einzelnähte:

Naht 1, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 31.83 \text{ N/mm}^2$	
Pkt. 1:	$\sigma_{w,x} = 31.83 \text{ N/mm}^2$	
Naht 2, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 28.97 \text{ N/mm}^2$	
Pkt. 1:	$\sigma_{w,x} = 28.97 \text{ N/mm}^2$	
Naht 4, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 24.90 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 39.15 \text{ N/mm}^2$
Pkt. 1:	$\sigma_{w,x} = -19.96 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 39.15 \text{ N/mm}^2$
Naht 6, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = -24.02 \text{ N/mm}^2$	
Pkt. 1:	$\sigma_{w,x} = -24.02 \text{ N/mm}^2$	
Naht 8, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = -26.88 \text{ N/mm}^2$	
Pkt. 1:	$\sigma_{w,x} = -26.88 \text{ N/mm}^2$	



Sowohl Druck- als auch Zugnähte werden entweder nach dem *richtungsabhängigen*

**Nachweis für Naht 1, Pkt. 0:**

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $\sigma_w = \sigma_{w,x}$ ):

$$\sigma_s = \sigma_w \cdot \cos(\alpha) = 22.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_s = \sigma_w \cdot \sin(\alpha) = 22.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = (\sigma_s^2 + 3 \cdot (\tau_s^2 + \tau_p^2))^{1/2} = 4.50 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Tragfähigkeit der Schweißnaht (Bed.1): } f_{1,w,Rd} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 36.00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = 4.50 \text{ kN/cm}^2 < f_{1,w,Rd} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow \text{Ausnutzung } U = 0.125 < 1 \text{ ok.}$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = \sigma_s = 2.25 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Tragfähigkeit der Schweißnaht (Bed.2): } f_{2,w,Rd} = 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 25.92 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = 2.25 \text{ kN/cm}^2 < f_{2,w,Rd} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow \text{Ausnutzung } U = 0.087 < 1 \text{ ok.}$$

oder dem *vereinfachten Verfahren* bemessen.

**Nachweis für Naht 1, Pkt. 0:**

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ( $\alpha = 45^\circ$ ):

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x}^2 = 31.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft: } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 2.55 \text{ kN/cm}$$

$$\text{Tragfähigkeit der Schweißnaht: } F_{w,Rd} = f_{w,d} \cdot a = 16.63 \text{ kN/cm}, a = 8.0 \text{ mm}, f_{w,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{w,Ed} = 2.55 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 16.63 \text{ kN/cm} \Rightarrow \text{Ausnutzung } U = 0.153 < 1 \text{ ok.}$$

Da die Beschreibung der Schweißnahtnachweise nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung des Schweißnahtnachweises verwiesen (Abs. 7.2, S. 85).

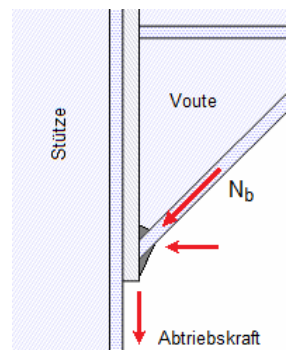
**Nachweis der Umlenkkräfte bei geneigten Trägerflanschen**

Das Linienmodell zur Bemessung der Schweißnähte geht davon aus, dass die einwirkenden Kräfte senkrecht zur Anschlussebene wirken.

Bei Vouten oder geneigten Trägern entspricht das allerdings nur der Horizontalkomponente der Flanschkraft, die Vertikalkomponente (Abtriebskraft) wird nicht berücksichtigt.

Daher sind die Schweißnähte an geneigten Vouten- oder Trägerflanschen für die (gesamte) Flanschnormalkraft  $N_b$  zu bemessen.

Beim richtungsbezogenen Verfahren ist die Flanschneigung zu beachten!



**Nachweis der Umlenkkräfte (richtungsbezogenes Verfahren)**

Schweißnähte Druckflansch

Druckkraft  $N_{b,c} = 325.9 \text{ kN}$

Schweißnahtwinkel  $\varphi = 135^\circ$ :

$$\sigma_{1,w,Ed} = 18.71 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.520 < 1 \text{ ok.}$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = 15.20 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.587 < 1 \text{ ok.}$$

Schweißnahtwinkel  $\varphi = 45^\circ$ :

$$\sigma_{1,w,Ed} = 27.07 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.752 < 1 \text{ ok.}$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = 6.30 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.243 < 1 \text{ ok.}$$



Stegsteifen können zur Verstärkung sowohl des Profilstegs als auch des Druckflanschs eingesetzt werden. Sie werden beidseitig des Stegs entweder an einen (zweiseitiger Anschluss) oder beide (dreiseitiger Anschluss) Flansche angeschweißt.

Sind die Stegsteifen als zwischenliegende Steifen (dreiseitiger Anschluss, Rippen) ausgeführt, begrenzen sie außerdem das Schub- und Beulfeld im Profilsteg und können dadurch die Tragfähigkeit der Verbindung wesentlich erhöhen.

Voraussetzung zur Wirksamkeit der Rippen ist, dass sie selbst nicht beulgefährdet sind.

Je nach Nachweisverfahren wird die Querschnittsklasse der Bleche über das  $c/t$ -Verhältnis bestimmt. Ist die zulässige Q-Klasse 2 (*Elastisch-Plastisch*) oder 3 (*Elastisch-Elastisch*) überschritten, wird die Verbindung als unausgesteift betrachtet.

Für den Nachweis gelten folgende Annahmen

- die aus dem Flansch in die Steifen einzuleitende Kraft verteilt sich gleichmäßig über die Breite  $2 \cdot b_R + t_w$
- bei Walzprofilen wird der im Bereich von Steg und Ausrundungen ( $2 \cdot r + t_w$ ) wirkende Teil der Kraft unmittelbar in den Steg eingeleitet. Bei geschweißten Profilen wird die gesamte Kraft über die Rippen gelenkt.

Die Querschnitte der Bleche und die Schweißnähte werden jeweils am Steg und am Flansch nachgewiesen.

### zweiseitiger Anschluss

Bei zweiseitigem Anschluss (**Teilrippe**) wird eine dreiecksförmige Spannungsverteilung im Blech angenommen, der Hebelarm ergibt sich zu  $e_H = l_R - l_1/3$ .

Bei dreiseitigem Rippenanschluss (Vollrippe) ist der Hebelarm  $e_H = l_R$ .

Die Bemessungslast auf dem Flansch  $F_{c,Ed}$  wird in die Bemessungsgrößen  $F$  und  $H$  transformiert.

Abmessungen, Hebelarme, Kräfte je Rippe

$$b_1 = b_R - r_R \quad e_F = b_R - 0.5 \cdot b_1 \quad l_1 = l_R - r_R$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{für Walzprofile} \quad F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f \\ \text{für geschweißte Profile} \quad F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \end{array} \right\} \quad H = F \cdot e_F / e_H$$

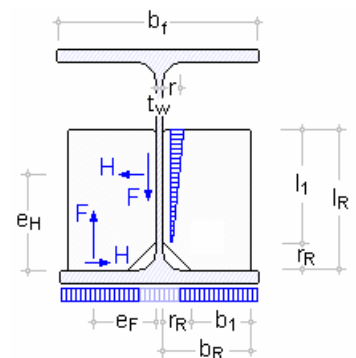
Die Querschnittsnachweise erfolgen für folgende Bemessungsgrößen

Querschnitt am Flansch

$$F_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} \quad \dots \quad F_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} \quad \dots \quad \text{Drucktragfähigkeit}$$

$$F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{0.5} \quad \dots \quad F_{Ed} = (H^2 + 3 \cdot F^2)^{0.5} \quad \dots \quad \text{Bemessungsgröße}$$

Qu. am Steg



Die Schweißnähte können entweder nach dem vereinfachten oder dem richtungsbezogenen Verfahren nachgewiesen werden. Dazu werden die Bemessungsgrößen je nach Verfahren berechnet mit

richtungsbezogenes Verfahren

vereinfachtes Verfahren

• Schweißnähte am Flansch

$$F_{Ed}(\sigma_s) = F / (2 \cdot b_1) \quad \dots \quad F_{Ed}(\tau_p) = H / (2 \cdot b_1) \quad \dots \quad F_{Ed} = (F^2 + H^2)^{0.5} / (2 \cdot b_1) \quad \dots \quad \text{Bemessungsgrößen}$$

• Schweißnähte am Steg

$$F_{Ed}(\sigma_s) = H / (2 \cdot l_1) \quad \dots \quad F_{Ed}(\tau_p) = F / (2 \cdot l_1) \quad \dots \quad F_{Ed} = (F^2 + H^2)^{0.5} / (2 \cdot l_1) \quad \dots \quad \text{Bemessungsgrößen}$$

Da die Beschreibung der Schweißnahtnachweise nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung des Schweißnahtnachweises (Abs. 7.2, S. 85) verwiesen.

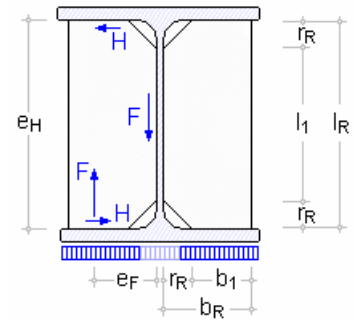


### dreiseitiger Anschluss

Bei dreiseitigem Rippenanschluss (**Vollrippe**) ergibt sich der Hebelarm zu  $e_H = l_R$ .

Die Bemessungslast auf dem Flansch  $F_{c,Ed}$  wird in die Bemessungsgrößen  $F$  und  $H$  (s.o.) transformiert.

Querschnitts- und Schweißnahtnachweise folgen ebenfalls der o.a. Vorgehensweise.



### Bemessungsgrößen für Stegsteifen

Die Stützensteifen werden in Höhe der Trägerflansche angeordnet, die Trägersteifen befinden sich am Voutenanfang (Übergang der Voute zum Träger). Die aufzunehmenden Druckkräfte auf die Stützensteifen  $F_{c,Ed} = N_{R,c}$  bzw. Trägersteifen  $F_{c,Ed} = N_{R,b}$  werden berechnet mit

$$N_{R,c} = (N_d \cdot z_0 + M_d) / z \quad \dots \text{ und } \dots \quad N_{R,b} = V_{v,d} + N_{b,v,c} \cdot \sin(\Delta\alpha_v)$$

wobei bei geschraubten Verbindungen der innere Hebelarm  $z$  dem äquivalenten Hebelarm  $z_{eq}$  entspricht. Zur Berechnung von  $z_{eq}$  s. Rotationssteifigkeit Abs. 4.4, S. 62.

### 4.3.6

### Nachweis des Zugblechs

Bei geschweißten Rahmenecken ist zur Übertragung der Zugkraft aus dem Träger- in den Stützenszugflansch ein Zugblech an Stützenkopf und Trägerflansch angeschweißt.

Bei Rahmenecken mit liegendem Anschluss (Variante 2) befindet sich das Zugblech entsprechend an der Trägeroberkante. Blechquerschnitt und Schweißnähte werden jeweils am Steg und am Flansch nachgewiesen.

Der Querschnittsnachweis erfolgt mit Grundkomponente 9.

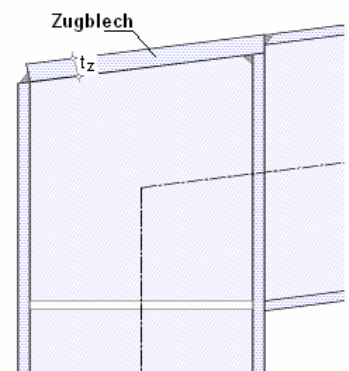
Tragfähigkeit eines Blechs mit Zugbeanspruchung

$$N_{pl,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} \quad \dots \text{ mit } \dots \quad A = b_z \cdot l_z$$

$$N_{u,Rd} = (0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u) / \gamma_{M2} \quad \dots \text{ mit } \dots \quad A_{net} = A$$

$$F_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}, N_{u,Rd})$$

$$F_{t,Ed} = (-N_d \cdot z_{bu} + M_d) / (z \cdot \cos \alpha_b) \quad \dots \text{ Bemessungsgröße}$$



Die Bemessungsgröße entspricht der Zugkraft im Trägerflansch (s. Abs. 4.2, S. 48).

Die Schweißnähte können entweder nach dem *vereinfachten* oder dem *richtungsbezogenen Verfahren* nachgewiesen werden.

Da die Beschreibung der Schweißnahtnachweise nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung des Schweißnahtnachweises verwiesen (Abs. 7.2, S. 85).



Schubfelder sind Stegbereiche mit großer Querkraft, die bei einer Rahmenecke in dem Bereich auftreten, in dem die Kräfte aus dem Träger in die Stütze umgesetzt werden.

Ein weiteres Schubfeld kann bei kurzen Vouten im Träger entstehen, da die Schubspannungen am Übergang vom Träger zur Voute meist höher sind als am Voute-Stütze-Anschluss.

Ebenso entstehen Schubfelder im Stützenstegfeld von zweiseitigen Verbindungen (T-Anschluss Var. 1), wenn eine Trägerseite höher ist als die andere und dementsprechend die Schubspannung auf einer Seite stark von der anderen abweicht.

Das Schubfeld muss allseitig von Steifen bzw. Flanschen umschlossen sein, die jedoch - ebenso wie das Schubfeld selbst - nicht beulgefährdet sein dürfen.

Der vereinfachte Beulnachweis (s. Abs. 4.3.9, S. 58) ist erbracht, wenn sich der zu untersuchende Querschnittsteil noch in Klasse 3 (Elastisch-Elastisch) bzw. Klasse 2 (Elastisch-Plastisch) befindet.

Der Nachweis des Schubfelds erfolgt grundsätzlich mit dem Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch*. In dem Berechnungsmodell des idealen Schubfelds übernehmen die Steifen/Flansche die Normalspannungen und das Schubfeld die Schubspannungen.

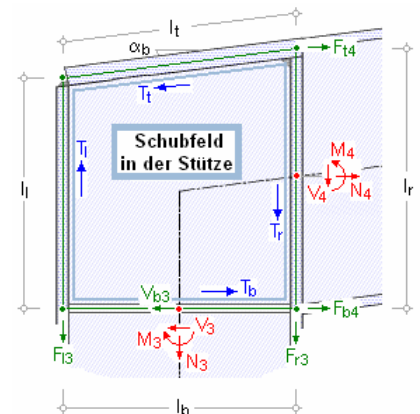
### Rahmenecke Schubfeld in der Stütze

Im Folgenden wird die Berechnung für eine Rahmenecke beschrieben. Für T-Anschlüsse Var. 1 (beidseitig beanspruchte Schubfelder) s. nächste Seite.

Wird das Schubfeld durch Diagonalsteifen ausgesteift, ist kein Schubfeldnachweis erforderlich.

Die im Schubfeld wirkenden Schnittgrößen werden aus den Anschnittgrößen berechnet (s. Abs. 4.2, S. 48).

$$\begin{aligned} N_3 &= -N_c \dots M_3 = -M_c \dots V_3 = -V_c \\ N_4 &= -N_d \dots M_4 = -(M_d + V_d \cdot t_{fc}/2) \dots V_4 = V_d \end{aligned}$$



Daraus ergeben sich die Knotenkräfte am Schubfeld und in den Randsteifen sowie die Schubfeldkräfte

$$\begin{aligned} F_{b4} &= M_4/l_r + N_4/2 \dots N_b = F_{b4} \dots T_b = -V_{b3} + N_b \\ F_{t4} &= -M_4/l_r + N_4/2 \dots N_t = F_{t4}/\cos \alpha_b \dots T_t = -N_t \\ F_{r3} &= M_3/l_b + N_3/2 \dots N_l = F_{l3} \dots T_l = -N_l \\ F_{l3} &= -M_3/l_b + N_3/2 \dots N_{r1} = F_{r3} \dots T_r = V_4 + N_r \\ V_{b3} &= V_3 \dots N_{r2} = -F_{t4} \cdot \tan \alpha_b \dots \tau_i = \frac{T_i}{h_i \cdot t} \\ N_r &= N_{r1} - N_{r2} \end{aligned}$$

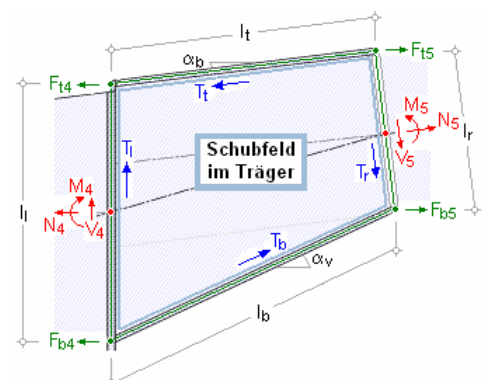
aus denen die Schubspannungen berechnet und am Anschnitt der Steifen (Längen  $h_i$ ) nachgewiesen werden.

Bei geschraubten Verbindungen wird die Zugbelastung über die Schrauben und nicht über den Trägerflansch in das Schubfeld eingetragen. Daher gilt hier  $l_r = l_i = z_{eq}$  (zur Berechnung von  $z_{eq}$  s. Abs. 4.4, S. 62).

### Rahmenecke Schubfeld im Träger

Wird das Schubfeld durch den unteren Trägerflansch ausgesteift, ist kein Schubfeldnachweis erforderlich.

Die im Schubfeld wirkenden Schnittgrößen werden aus den Anschnittgrößen berechnet (s. Abs. 4.2, S. 48).





Daraus ergeben sich die Knotenkräfte am Schubfeld und in den Randsteifen sowie die Schubfeldkräfte

$$\begin{array}{lcl}
 F_{b4} = M_4/l_t + N_4/2 & \dots\dots N_{b1} = F_{b4}/\cos \alpha_v & \left. \begin{array}{l} N_b = N_{b1} - N_{b2} \\ T_b = -N_b \end{array} \right\} \\
 F_{t4} = -M_4/l_t + N_4/2 & \dots\dots N_{b2} = F_{b5}/\cos(\alpha_v - \alpha_b) & \left. \begin{array}{l} T_t = N_t \\ T_l = V_4 - N_l \\ T_r = V_5 + N_r \end{array} \right\} \\
 F_{b5} = M_5/l_r + N_5/2 & \dots\dots N_{t1} = F_{t4}/\cos \alpha_b & \\
 F_{t5} = -M_5/l_r + N_5/2 & \dots\dots N_{t2} = F_{t5} & \left. \begin{array}{l} N_l = N_{l1} - N_{l2} \\ \tau_i = \frac{T_i}{h_i \cdot t} \end{array} \right\} \\
 & N_{l1} = -F_{b4} \cdot \tan \alpha_v & \\
 & N_{l2} = F_{t4} \cdot \tan \alpha_b & \\
 & N_r = F_{b5} \cdot \tan(\alpha_v - \alpha_b) &
 \end{array}$$

aus denen die Schubspannungen berechnet und am Anschnitt der Steifen nachgewiesen werden.

### Schubfeld T-Anschlüsse Variante 1

Schubfelder sind Stegbereiche mit Schubbeanspruchung, die im Stützenstegfeld z.B. entstehen, wenn bei einer beidseitigen Verbindung eine Trägerseite höher ist als die andere und dementsprechend die Schubspannung auf einer Seite stark von der anderen abweicht.

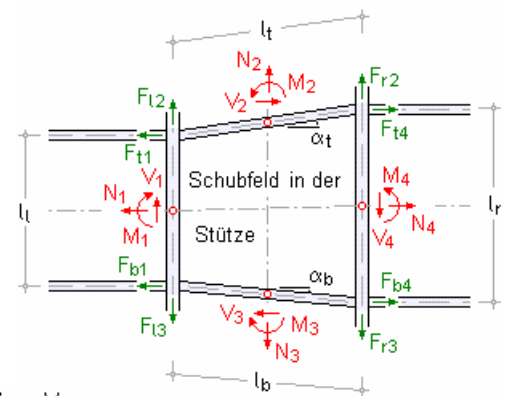
Das Schubfeld muss allseitig von Steifen bzw. Flanschen umschlossen sein, die jedoch - ebenso wie das Schubfeld selbst - nicht beulgefährdet sein dürfen.

Der vereinfachte Beulnachweis ist erbracht, wenn sich der zu untersuchende Querschnittsteil noch in Klasse 3 (Elastisch-Elastisch) bzw. Klasse 2 (Elastisch-Plastisch) befindet.

Der Nachweis des Schubfelds erfolgt grundsätzlich mit dem Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch*. In dem Berechnungsmodell des idealen Schubfelds übernehmen die Steifen/Flansche die Normalspannungen und das Schubfeld die Schubspannungen.

Wird das Schubfeld durch Diagonalsteifen ausgesteift, ist kein Schubfeldnachweis erforderlich.

Die im Schubfeld wirkenden Schnittgrößen werden aus den Anschnittgrößen berechnet (s. Schnittgrößen Abs. 3.4, S. 32).



$$\begin{array}{lcl}
 N_1 = -N_{d2} & \dots\dots M_1 = -(M_{d2} + (V_{d2} - N_{d2} \cdot \tan \alpha_2) \cdot t_{fc}/2) & \dots\dots V_1 = V_{d2} \\
 N_3 = -N_c & \dots\dots M_3 = -M_c & \dots\dots V_3 = -V_c \\
 N_4 = -N_d & \dots\dots M_4 = -(M_d + (V_d - N_d \cdot \tan \alpha) \cdot t_{fc}/2) & \dots\dots V_4 = V_d \\
 N_2 = -N_{c2} & \dots\dots M_2 = -M_{c2} & \dots\dots V_2 = V_{c2}
 \end{array}$$

Bei beidseitigen Verbindungen wird vereinfachend angenommen, dass die Stützensteifen das Schubfeld im Bereich der Trägerflansche von der einen zur anderen Seite begrenzen, so dass sich die Neigungswinkel  $\alpha_b$  und  $\alpha_t$  ergeben.

Es ergeben sich die Knotenkräfte am Schubfeld und in den Randsteifen sowie die Schubfeldkräfte

$$\begin{array}{lcl}
 F_{b1} = M_1/h_1 + N_1/2 & \dots\dots N_b = F_{b4}/\cos \alpha_b - F_{b1}/\cos \alpha_b & \\
 F_{t1} = -M_1/h_1 + N_1/2 & \dots\dots N_t = F_{t4}/\cos \alpha_t - F_{t1}/\cos \alpha_t & \\
 F_{b4} = M_4/h_4 + N_4/2 & \dots\dots N_l = F_{l3} + F_{b1} \cdot \tan \alpha_b - F_{l2} + F_{t1} \cdot \tan \alpha_t & \\
 F_{t4} = -M_4/h_4 + N_4/2 & \dots\dots N_r = F_{r3} + F_{b4} \cdot \tan \alpha_b - F_{r2} + F_{t4} \cdot \tan \alpha_t & \\
 F_{r3} = M_3/h_3 + N_3/2 + V_3/2 \cdot \tan \alpha_b & & \\
 F_{l3} = -M_3/h_3 + N_3/2 + V_3/2 \cdot \tan \alpha_b & & \\
 V_{b3} = V_3/\cos \alpha_b & \dots\dots T_b = -V_{b3} + N_b & \\
 F_{r2} = M_2/h_2 + N_2/2 + V_2/2 \cdot \tan \alpha_t & \dots\dots T_t = -V_{t2} - N_t & \\
 F_{l2} = -M_2/h_2 + N_2/2 + V_2/2 \cdot \tan \alpha_t & \dots\dots T_l = V_l - N_l & \\
 V_{t2} = V_2/\cos \alpha_t & \dots\dots T_r = V_4 + N_r &
 \end{array}$$

aus denen die Schubspannungen berechnet und am Anschnitt der Steifen (Längen  $h_i$ ) nachgewiesen werden.



Bei geschraubten Verbindungen wird die Zugbelastung über die Schrauben und nicht über den Trägerflansch in das Schubfeld eingetragen. Daher gilt hier  $l_r = l_l = z_{eq}$  (zur Berechnung von  $z_{eq}$  s. Rotationssteifigkeit Abs. 4.4, S. 62). Diese Annahme wird bei beidseitigen Verbindungen nicht verfolgt, hier gilt  $l_r = z_{b,r}$  und  $l_l = z_{b,l}$ .

#### 4.3.8

### Rahmenecke mit Zuglasche

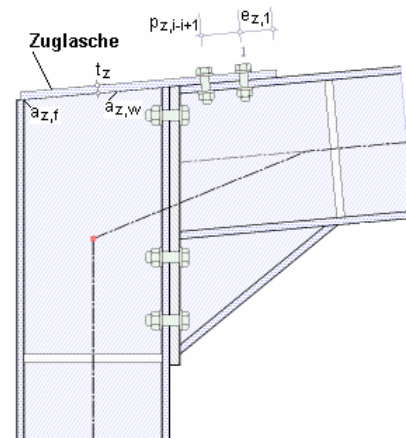
Rahmenecken mit Stirnblechverbindungen in Variante 1 können alternativ mit einer geschraubten Zuglasche am Obergurt des Trägers ausgeführt werden.

Die Zuglasche überträgt - analog dem Zugblech bei geschweißter Verbindung - die Zugkräfte im Obergurt des Trägers in die Stütze. Sie wird also nur bei negativer Momentenbeanspruchung (Zug oben, Druck unten) wirksam.

Die Stirnblechverbindung dient in dem Fall einzig zur Übertragung der Querkräfte.

Bei positiver Momentenbelastung (Zug unten, Druck oben) wird ein klassischer Stirnblechanschluss berechnet. Die Zuglasche ist in diesem Fall wirkungslos.

Die Berechnung erfolgt mit der Komponentenmethode, s. Abs. 4.1, S. 41.



### Berechnung der Zuglaschenverbindung

Die Zuglasche wird mit Schrauben (2-reihig) am Trägerflansch und mit beiseitigen Kehlnähten am Stützenprofil befestigt. Laschenquerschnitt, Schrauben- und Schweißverbindung sind nachzuweisen.

Der Querschnittsnachweis erfolgt mit Grundkomponente 9.

Tragfähigkeit eines Blechs mit Zugbeanspruchung

$$N_{pl,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} \quad \text{mit} \quad A = b_z \cdot l_z$$

$$N_{u,Rd} = (0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u) / \gamma_{M2} \quad \text{mit} \quad A_{net} = A$$

$$F_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}, N_{u,Rd})$$

$$F_{t,Ed} = (-N_d \cdot z_{bu} + M_d) / (z \cdot \cos \alpha_b) \quad \text{Bemessungsgröße}$$

Die Bemessungsgröße entspricht der Zugkraft im Trägerflansch (s. Schnittgrößen Abs. 4.2, S. 48).

Die Schrauben werden auf Abscheren (Grundkomponente 11) und Lochleibung (Grundkomponente 12) nachgewiesen.

Da die Beschreibung der Schraubennachweise nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung des Schraubennachweises (Abs. 7.1, S. 81) verwiesen.

Die Schweißnähte können entweder nach dem vereinfachten oder dem richtungsbezogenen Verfahren nachgewiesen werden.

Da die Beschreibung der Schweißnahtnachweise nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung des Schweißnahtnachweises (Abs. 7.2, S. 85) verwiesen.

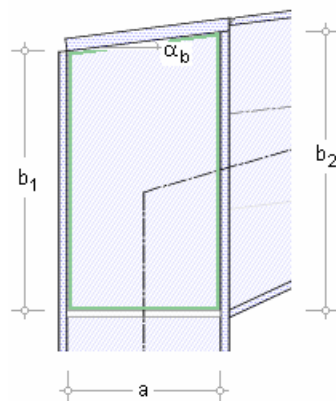


#### 4.3.9

### Beulnachweis

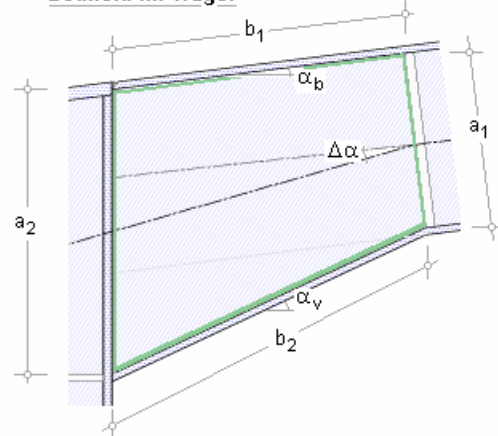
Werden dünnwandige Querschnittsteile durch Druckkräfte beansprucht, ist für sie ein Nachweis gegen Plattenbeulen zu führen. Wirken hohe Querkkräfte, ist Schubbeulen, ggf. mit Interaktion zwischen Platten- und Schubbeulen, zu untersuchen.

**Beulfeld in der Stütze**



$$\begin{aligned} \text{für } \alpha_b > 10^\circ \dots b &= \max(b_1, b_2) \\ &\leq 10^\circ \dots b = \min(b_1, b_2) \end{aligned}$$

**Beulfeld im Träger**



$$\begin{aligned} \text{für } \Delta \alpha > 10^\circ \dots b &= \max(b_1, b_2) \dots a = \max(a_1, a_2) \\ &\leq 10^\circ \dots \text{für } \alpha_b > 10^\circ \dots b = \max(b_1, b_2) \dots a = \min(a_1, a_2) \\ &\leq 10^\circ \dots b = \min(b_1, b_2) \dots a = \min(a_1, a_2) \end{aligned}$$

Bei geschraubten Verbindungen wird die Zugbelastung über die Schrauben und nicht über den Trägerflansch in das Beulfeld der Stütze eingetragen. Daher gilt hier  $b_1 = b_2 = z_{eq} - t_{st}/2$  (zur Berechnung von  $z_{eq}$  s. Abs. 4.4, S. 62).

#### 4.3.9.1

### Plattenbeulen

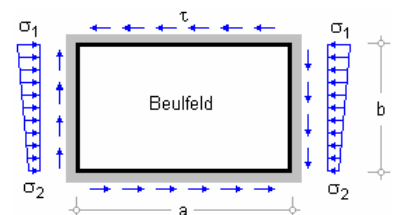
Für dünnwandige druckbeanspruchte Querschnittsteile ist dann ein Beulnachweis zu führen, wenn bei ihnen örtliches Beulen vor Erreichen der Streckgrenze auftritt. Nach EC 3-1-1, 5.5, werden sie in Querschnittsklasse 4 eingeordnet.

Ein typisches Beulfeld entsteht bei Rahmenecken in dem Bereich, in dem die Kräfte aus dem Träger in die Stütze umgeleitet werden müssen. Des Weiteren ist das Beulfeld im gevouteten Träger zu untersuchen, da aufgrund der Aufweitung des unversteiften Trägerstegs der vereinfachte Beulnachweis versagt.

Beim vereinfachten Beulnachweis wird in Abhängigkeit des Nachweisverfahrens überprüft, ob sich das zu untersuchende Querschnittsteil noch in Klasse 3 (*Elastisch-Elastisch*) bzw. Klasse 2 (*Elastisch-Plastisch*) befindet. Ist der vereinfachte Nachweis erbracht, kann auf den Nachweis gegen Plattenbeulen verzichtet werden.

Das Beulfeld muss allseitig von Steifen bzw. Flanschen umschlossen sein, die jedoch selbst nicht beulgefährdet sein dürfen.

Wird das Beulfeld durch **Diagonalsteifen** ausgesteift, ist kein Nachweis erforderlich, da sie mit den Randsteifen ein Fachwerk bilden, durch das die Kräfte abfließen können.



Sind ein oder zwei Stegbleche zur Verstärkung des Stützenstegs angeschweißt, wird die Stegdicke des Beulfelds analog Gk 2 um jeweils die halbe Stegblechdicke vergrößert.

Die Beulsicherheit kann über zwei Methoden nachgewiesen werden, die auf denselben Grundlagen beruhen

- die Methode der reduzierten Spannungen (EC 3-1-5, 10)
- das Verfahren der wirksamen Querschnittsflächen (EC 3-1-5, 4.3)

Dabei wird im Programm beim *Verfahren der wirksamen Querschnittsflächen* der gesamte Querschnitt betrachtet, während sich die Methode der reduzierten Spannungen nur auf den Steg als Beulfeld bezieht.

Die theoretischen Hintergründe der Verfahren sind der Literatur zu entnehmen; an dieser Stelle wird die Vorgehensweise des Programms erläutert.



#### 4.3.9.2

#### Schubbeulen

Nach EC 3-1-1, 6.2.6(5), ist die Tragfähigkeit gegen Schubbeulen nachzuweisen. Der Nachweis erfolgt zunächst über den vereinfachten Beulnachweis mit

$$h_p/t_p \leq 72/(\eta \cdot \varepsilon) \dots \text{mit} \dots h_p \text{ max. Beulfeldlänge} \dots \text{und} \dots \eta \text{ s. EC 3-1-5, 5.1(2)}$$

Ist der vereinfachte Nachweis erbracht, kann auf den Nachweis gegen Schubbeulen verzichtet werden.

#### 4.3.9.3

#### Interaktion

Bei gleichzeitiger Wirkung von Schub, Biegemoment und Normalkraft ist nach EC 3-1-5, 7, die Interaktion zwischen den Kräften zu berücksichtigen.

#### 4.3.9.4

#### Verfahren der wirksamen Querschnittsflächen

Beim Verfahren der wirksamen Querschnittsflächen wird davon ausgegangen, dass einzelne Querschnittsteile ausbeulen und sich die Spannungen auf steifere oder weniger beanspruchte Querschnittsteile umlagern.

Auf diesen reduzierten Querschnitt werden die wirksame Fläche  $A_{\text{eff}}$  und das wirksame Widerstandsmoment  $W_{\text{eff}}$  bezogen. Der Nachweis entspricht dem Spannungsnachweis für den wirksamen Querschnitt (Klasse 4).

##### Verfahren der wirksamen Querschnittsflächen (EC 3-1-5, 4)

Annahme: Schubverzerrungen können vernachlässigt werden!

##### • Plattenbeulen

###### • Druckflansch

Druckblech  $a = h, b = c_f, t = t_f, \sigma_1 = \sigma_2 = \text{Druckspannung}$

einseitig gestütztes Blechfeld - Spannungsverhältnis  $\psi = \sigma_2/\sigma_1 = 1.00$

$\Rightarrow$  Beulwert  $k_\sigma = 0.43$  (s. EC 3-1-5, Tab. 4.2)

kritische Beulspannung  $\sigma_{cr,p} = k_\sigma \cdot \sigma_E \dots \text{mit} \dots \sigma_E = (\pi^2 \cdot E \cdot t^2)/(12 \cdot (1 - \mu) \cdot b^2)$

Beulslankheitsgrad  $\lambda_p = (f_y/\sigma_{cr,p})^{0.5}$

Abminderungsfaktor für  $\lambda_p < 0.748 \Rightarrow \rho = 1 \dots \text{und} \dots \lambda_p > 0.748 \Rightarrow \rho = (\lambda_p - 0.188)/\lambda_p^2 \leq 1$

wenn  $a/b < 1 \dots$  Interaktion zwischen plattenartigem und knickstabähnlichem Verhalten

kritische Knickspannung  $\sigma_{cr,c} = (\pi^2 \cdot E \cdot t^2)/(12 \cdot (1 - \mu) \cdot a^2)$

Trägheitsradius des Blechs  $i = (I_p/A_p)^{0.5}$

Knicklänge des Blechs  $L_{cr} = a$

Slankheitsgrad  $\lambda = (A_{\text{eff}}/A_p)^{0.5} \cdot L_{cr}/(i \cdot \lambda_1) \dots \text{mit} \dots \lambda_1 = \pi \cdot (E_p/f_{yp})^{0.5}$

für  $\lambda \leq 0.2 \Rightarrow$  keine Abminderung ( $\chi = 1.0$ )

$\lambda > 0.2 \Rightarrow$  Abminderungsfaktor für die maßgebende Biegeknickrichtung  $\chi = 1/(\Phi + (\Phi^2 - \lambda^2)^{0.5}) \leq 1$

$\dots \text{mit} \dots \Phi = 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2) \dots \text{und} \dots \alpha = 0.49 \dots \text{für Knicklinie 'c'}$

endgültiger Abminderungsfaktor  $\rho = \rho_c = (\rho - \chi_c) \cdot \xi \cdot (2 - \xi) + \chi_c \dots \text{mit} \dots \xi = \sigma_{cr,p}/\sigma_{cr,c} - 1 \dots \text{und} \dots 0 \leq \xi \leq 1$

wirksame Breite  $b_{c,\text{eff}} = \rho \cdot b$

###### • Zugflansch

wirksame Breite  $b_{t,\text{eff}} = b$

###### • Steg

Beulfeld  $a = h, b = d_w, t = t_w, \sigma_1, \sigma_2$  (EC 3-KOS)

zweiseitig gestütztes Blechfeld - Spannungsverhältnis  $\psi = \sigma_2/\sigma_1 \Rightarrow$  Beulwert  $k_\sigma$  aus EC 3-1-5, Tab. 4.1

kritische Beulspannung  $\sigma_{cr,p} = k_\sigma \cdot \sigma_E \dots \text{mit} \dots \sigma_E = (\pi^2 \cdot E \cdot t^2)/(12 \cdot (1 - \mu) \cdot b^2)$

Beulslankheitsgrad  $\lambda_p = (f_y/\sigma_{cr,p})^{0.5}$

Abminderungsfaktor für  $\lambda_p \leq 0.5 + (0.085 - 0.055 \cdot \psi)^{0.5} \Rightarrow \rho = 1$

$\lambda_p > 0.5 + (0.085 - 0.055 \cdot \psi)^{0.5} \Rightarrow \rho = (\lambda_p - 0.055 \cdot (3 + \psi))/\lambda_p^2 \leq 1$

wirksame Breite für  $\psi \geq 0 \Rightarrow b_{c,\text{eff}} = \rho \cdot b$

$\psi < 0 \Rightarrow b_{c,\text{eff}} = (\rho \cdot b)/(1 - \psi) \dots \text{mit} \dots b_{e1}, b_{e2} \text{ s. EC 3-1-5, Tab. 4.1}$



Vermeidung von flanschinduziertem Stegbeulen

$$h_w/t_w \leq (k \cdot E)/(f_y \cdot (A_w/A_{fc}))^{0.5}$$

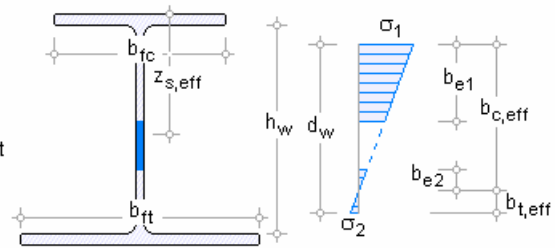
... mit  $k$  aus EC 3-1-5, 8, ... und ...  $A_w = h_w \cdot t_w$   
 ... und ...  $A_{fc} = b_{fc} \cdot t_{fc}$

Traglasten bezogen auf den reduzierten Querschnitt

$$N_{Rd} = (f_y \cdot A_{eff})/\gamma_{M0}$$

$$M_{Rd} = (f_y \cdot W_{eff})/\gamma_{M0}$$

$$\text{Nachweis } N_{Ed}/N_{Rd} + M_{Ed}/M_{Rd} \leq 1$$



Beim Nachweis gegen Schubbeulen werden starre Auflagersteifen vorausgesetzt. Das Beulfeld selbst ist unversteift.

#### Verfahren der wirksamen Querschnittsflächen (EC 3-1-5, 4)

##### • Schubbeulen (EC 3-1-5, 5)

• Beitrag des Stags

$$\text{Schubbeulwert für } a/h_w > 1 \Rightarrow k_{\tau} = 5.34 + 4/(a/h_w)^2$$

$$a/h_w \leq 1 \Rightarrow k_{\tau} = 4 + 5.34/(a/h_w)^2$$

$$\text{kritische Schubbeulspannung } \tau_{cr,p} = k_{\tau} \cdot \sigma_E \quad \text{mit } \sigma_E = (\pi^2 \cdot E \cdot t^2)/(12 \cdot (1-\mu) \cdot b^2)$$

$$\text{modifizierte Schlankheit } \lambda_w = 0.76 \cdot (f_{yw}/\tau_{cr,p})$$

$$\text{Abminderungsfaktor für } \lambda_w < 0.83/\eta \Rightarrow \chi_w = \eta \quad \text{s. EC 3-1-5, 5.1(2)}$$

$$\lambda_w \geq 1.08 \Rightarrow \chi_w = 1.37/(0.7 + \lambda_w) \quad (\text{starre Auflagersteife})$$

$$\chi_w = 0.83/\lambda_w \quad (\text{verformbare Auflagersteife})$$

$$0.83/\eta \leq \lambda_w < 1.08 \quad \chi_w = 0.83/\lambda_w$$

$$\text{Beanspruchbarkeit } V_{bw,Rd} = (\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t_w)/(3^{0.5} \cdot \gamma_{M1})$$

• Beitrag der Flansche

$$\text{aufnehmbares Moment alleine der eff. Flächen der Flansche } M_{f,Rd} = M_{f,k}/\gamma_{M0}$$

$$\text{... mit } M_{f,k} = \min(A_{f1}, A_{f2}) \cdot (h_w + (t_{f1} + t_{f2})/2) \cdot f_y \quad \text{und } A_{f1} = b_{f1} \cdot t_{f1}$$

$$N_{Ed} > 0 \quad f_{N,f} = 1 - N_{Ed}/((A_{f1} + A_{f2}) \cdot f_y/\gamma_{M0}) \leq 1 \Rightarrow M_{f,Rd} = M_{f,Rd} \cdot f_{N,f}$$

wenn  $M_{Ed} < M_{f,Rd}$

$$c = a \cdot (0.25 + (1.6 \cdot b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf})/(t_w \cdot h_w^2 \cdot f_{yw})) \quad \text{mit } b_f \leq 2 \cdot 15 \cdot t_f \cdot \varepsilon$$

$$\text{Beanspruchbarkeit } V_{bf,Rd} = (b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf})/(c \cdot \gamma_{M1}) \cdot (1 - (M_{Ed}/M_{f,Rd})^2)$$

sonst  $V_{bf,Rd} = 0$

$$\text{Bemessungswert der Beanspruchbarkeit } V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \lim V_{b,Rd}$$

$$\text{... mit } \lim V_{b,Rd} = (\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t_w)/(3^{0.5} \cdot \gamma_{M1})$$

$$\text{Nachweis } V_{Ed}/V_{b,Rd} \leq 1$$

##### • Interaktion (EC 3-1-5, 7)

$$\text{Ausnutzung aus Schubbeulen des Stags } \eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd}$$

wenn  $\eta_3 > 0.5$

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_y/\gamma_{M0}$$

$$M_{f,Rd} = \min(A_{f1}, A_{f2}) \cdot (h - (t_{f0} + t_{fu})/2) \cdot f_y/\gamma_{M0} \quad \text{mit } A_{f1} = b_{f0} \cdot t_{f0} \quad \text{und } A_{f2} = b_{fu} \cdot t_{fu}$$

$$N_{Ed} > 0 \quad f_{N,f} = 1 - N_{Ed}/((A_{f1} + A_{f2}) \cdot f_y/\gamma_{M0}) \leq 1 \Rightarrow M_{f,Rd} = M_{f,Rd} \cdot f_{N,f}$$

$$\text{Ausnutzung aus Plattenbeulen } \eta_1 = M_{Ed}/M_{pl,Rd}$$

wenn  $\eta_1 > \eta_{1,lim} = M_{f,Rd}/M_{pl,Rd}$

$$\text{Nachweis } \eta_1 + (1 - \eta_{1,lim}) \cdot (2 \cdot \eta_3 - 1)^2 \leq 1$$



Die Methode der reduzierten Spannungen wird zur Bestimmung der Grenzspannungen einzelner Blechfelder eines Querschnitts benutzt und vornehmlich für die Stegblechuntersuchung verwendet. Beim Nachweis des Schubbeulens werden starre Auflagersteifen vorausgesetzt. Das Beulfeld selbst ist unversteift.

#### Methode der reduzierten Spannungen (EC 3-1-5, 10)

Annahme: Schubverzerrungen können vernachlässigt werden

Beulfeld  $a = h, b = d_w, t = t_w, \sigma_1, \sigma_2, \tau$  (EC 3-KOS)

Beulspannungen  $\sigma_{Ed} = \max(\sigma_1, \sigma_2) \dots$  und  $\dots \tau_{Ed} = \tau$

##### • Plattenbeulen

zweiseitig gestütztes Blechfeld Spannungsverhältnis  $\psi = \sigma_2 / \sigma_1 \Rightarrow$  Beulwert  $k_\sigma$  aus EC 3-1-5, Tab. 4.1

kritische Beulspannung  $\sigma_{cr,p} = k_\sigma \cdot \sigma_E \dots$  mit  $\dots \sigma_E = (\pi^2 \cdot E \cdot t^2) / (12 \cdot (1 - \mu) \cdot b^2)$

Beulschlankheitsgrad  $\lambda_p = (f_y / \sigma_{cr,p})^{0.5}$

Abminderungsfaktor für  $\lambda_p \leq 0.5 + (0.085 - 0.055 \cdot \psi)^{0.5} \Rightarrow \rho = 1$

$\lambda_p > 0.5 + (0.085 - 0.055 \cdot \psi)^{0.5} \Rightarrow \rho = (\lambda_p - 0.055 \cdot (3 + \psi)) / \lambda_p^2$

Grenzbeulspannung  $\sigma_{Rd} = \rho \cdot f_y / \gamma_{M1}$

Nachweis  $\sigma_{Ed} / \sigma_{Rd} \leq 1$

##### • Schubbeulen

Schubbeulwert für  $a/h_w > 1 \Rightarrow k_\tau = 5.34 + 4 / (a/h_w)^2$

$a/h_w \leq 1 \Rightarrow k_\tau = 4 + 5.34 / (a/h_w)^2$

kritische Schubbeulspannung  $\tau_{cr,p} = k_\tau \cdot \sigma_E \dots$  mit  $\dots \sigma_E = (\pi^2 \cdot E \cdot t^2) / (12 \cdot (1 - \mu) \cdot b^2)$

modifizierte Schlankheit  $\lambda_w = 0.76 \cdot (f_y / \tau_{cr,p})$

Abminderungsfaktor für  $\lambda_w < 0.83 / \eta \Rightarrow \chi_w = \eta$  s. EC 3-1-5, 5.1(2)

$\lambda_w \geq 1.08 \Rightarrow \chi_w = 1.37 / (0.7 + \lambda_w)$  (starre Auflagersteife)

$\chi_w = 0.83 / \lambda_w$  ..... (verformbare Auflagersteife)

$0.83 / \eta \leq \lambda_w < 1.08 \Rightarrow \chi_w = 0.83 / \lambda_w$

Grenzbeulspannung  $\tau_{Rd} = \chi_w \cdot f_y / (3^{0.5} \cdot \gamma_{M1})$

Nachweis  $\tau_{Ed} / \tau_{Rd} \leq 1$

##### • Interaktion

Laststeigerungsfaktor für Spannungen  $\alpha_{ult} = 1 / ((\sigma_{Ed} / f_y)^2 + 3 \cdot (\tau_{Ed} / f_y)^2)^{0.5}$

Laststeigerungsfaktor für Stabilität  $\alpha_{cr} = 1 / ((1 + \psi) / (4 \cdot \alpha_{cr,x}) + (((1 + \psi) / (4 \cdot \alpha_{cr,x}))^2 + (1 - \psi) / (2 \cdot \alpha_{cr,x}^2 + 1 / \alpha_{cr,\tau}^2))^{0.5})$

$\dots$  mit  $\dots \alpha_{cr,x} = \sigma_{cr,p} / \sigma_{Ed} \dots$  und  $\dots \alpha_{cr,\tau} = \tau_{cr,p} / \tau_{Ed}$

bezogener Schlankheitsgrad  $\lambda_p = \lambda_w = (\alpha_{ult} / \alpha_{cr})^{0.5}$

Abminderungsfaktor für  $\lambda_p$  s. Plattenbeulen

Abminderungsfaktor für  $\lambda_w$  s. Schubbeulen

Grenzbeulspannungen  $\sigma_{Rd} = \rho \cdot f_y / \gamma_{M1} \dots$  und  $\dots \tau_{Rd} = \chi_w \cdot f_y / \gamma_{M1}$

Nachweis  $(\sigma_{Ed} / \sigma_{Rd})^2 + 3 \cdot (\tau_{Ed} / \tau_{Rd})^2 \leq 1$



Nach EC 3-1-8, 6.3.1, ist die Rotationssteifigkeit eines Anschlusses i.d.R. anhand der Verformbarkeiten der einzelnen Grundkomponenten zu berechnen. Die Gkn sind über ihre Steifigkeitskoeffizienten gekennzeichnet, die in EC 3-1-8, Tab. 6.11, angegeben sind.

Die Ermittlung der Rotationssteifigkeit wird für das Knotenmoment durchgeführt; ggf. wird es aus den gegebenen Schnittgrößen berechnet.

Die zu berücksichtigenden Grundkomponenten sind in EC 3-1-8, Tab. 6.9, für geschweißte Verbindungen und in EC 3-1-8, Tab. 6.10, für geschraubte Stirnblechverbindungen angegeben.

Im Programm *4#-EC3RE* werden folgende Steifigkeitskoeffizienten zur Ermittlung der Rotationssteifigkeit einseitig belasteter Verbindungen herangezogen

- geschweißte Verbindungen -  $k_1, k_2, k_3$
- Träger-Stützenanschluss mit Stirnblech bei einer Schraubenreihe mit Zugbelastung -  $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_{10}$
- Träger-Stützenanschluss mit Stirnblech bei mehreren Schraubenreihen mit Zugbelastung -  $k_1, k_2, k_{eq}$

Der äquivalente Steifigkeitskoeffizient  $k_{eq}$  ergibt sich nach EC 3-1-8, 6.3.3, zu

$$k_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} \cdot h_r}{z_{eq}} \quad \dots \text{mit} \dots \quad k_{eff,r} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{k_{i,r}}} \quad \dots \text{und} \dots \quad z_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} \cdot h_r^2}{\sum_r k_{eff,r} \cdot h_r}$$

$r$     Zähler der Schraubenreihen

Die beteiligten Steifigkeitskoeffizienten sind

- bei einem Träger-Stützenanschluss mit Stirnblech -  $k_3, k_4, k_5, k_{10}$

Wenn die Normalkraft im angeschlossenen Träger nicht mehr als 5% der plastischen Beanspruchbarkeit des Querschnitts beträgt, wird die Rotationssteifigkeit nach EC 3-1-8, 6.3.1(4), genügend genau ermittelt mit

$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{\mu} \quad \dots \text{wobei} \dots \quad S_{j,ini} = \frac{E \cdot z^2}{\sum_i \frac{1}{k_i}}$$

Das lastabhängige Steifigkeitsverhältnis berechnet sich nach EC 3-1-8, 6.3.1(6)

$$\begin{aligned} \dots \text{wenn } M_{j,Ed} \leq 2/3 \cdot M_{j,Rd} \dots \mu &= 1 \\ \dots \text{wenn } 2/3 \cdot M_{j,Rd} < M_{j,Ed} < M_{j,Rd} \dots \mu &= (1.5 \cdot M_{j,Ed} / M_{j,Rd})^\psi \end{aligned}$$

Der Beiwert  $\psi$  hat nach EC 3-1-8, Tab.6.8, für geschweißte Verbindungen und geschraubte Stirnblechverbindungen den Wert 2.7.

Über die Momenten-Rotations-Charakteristik lässt sich für ein gegebenes Moment die Verdrehung des Anschlusses bestimmen über

$$\varphi_{Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd}$$



Im Folgenden ist die Berechnung der Rotationssteifigkeit einer geschraubten Rahmenecke mit Stirnblech und drei Schraubenreihen unter Zugbelastung dargestellt (Berechnungsbeispiel).

#### Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 3 Zug-Schraubenreihen:

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 1:

$$k_5 = 0.9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_p^3 / m^3 = 22.69 \text{ mm}, \quad l_{\text{eff}} = 144.5 \text{ mm}, \quad m = 35.8 \text{ mm}$$

$$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}, \quad L_b = t_{\text{ges}} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m)/2 = 63.8 \text{ mm}, \quad t_{\text{ges}} = 41.5 \text{ mm}$$

$$k_3 = 0.7 \cdot b_{\text{eff},t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 3.26 \text{ mm}, \quad b_{\text{eff},t,wc} = 168.4 \text{ mm}$$

$$k_4 = 0.9 \cdot l_{\text{eff},t,tc}^3 / m^3 = 9.04 \text{ mm}, \quad l_{\text{eff}} = 127.8 \text{ mm}, \quad m = 26.9 \text{ mm}$$

$$\Sigma(1/k_{i,1}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.624 \Rightarrow k_{\text{eff},1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 1.603 \text{ mm}$$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 2:

...

$$k_{\text{eff},2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 1.467 \text{ mm}$$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 3:

...

$$k_{\text{eff},3} = 1 / \Sigma(1/k_{i,3}) = 1.713 \text{ mm}$$

äquivalenter innerer Hebelarm:  $z_{\text{eq}} = \Sigma(k_{\text{eff},i} \cdot h_i^2) / \Sigma(k_{\text{eff},i} \cdot h_i) = 198.8 \text{ mm}$

$$k_{\text{eq}} = \Sigma(k_{\text{eff},i} \cdot h_i) / z_{\text{eq}} = 3.646 \text{ mm}$$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 1:

$$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 9.77 \text{ mm}, \quad A_{vc} = 51.1 \text{ cm}^2, \quad \beta = 1.0, \quad z = 198.8 \text{ mm}$$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 2:

$$k_2 = \infty \text{ (ausgesteift)}$$

$$\text{Summe der Steifigkeitskoeffizienten } \Sigma(1/k_i) = 1/k_1 + 1/k_2 + 1/k_{\text{eq}} = 0.377$$

#### Rotationssteifigkeit

Anfangsrotationssteifigkeit:  $S_{j,\text{ini}} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 22037.8 \text{ kNm/rad}, \quad z = z_{\text{eq}} = 198.8 \text{ mm}$

Biegemomente im Anschluss bzgl. des Druckpunkts:  $M_{j,\text{Ed}} = 80.00 \text{ kNm}, \quad M_{j,\text{Rd}} = 97.96 \text{ kNm}$

$$|M_{j,\text{Ed}}| = 80.00 \text{ kNm} > 2/3 M_{j,\text{Rd}} = 65.3 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = ((1.5 \cdot M_{j,\text{Ed}}) / M_{j,\text{Rd}})^{1/2} = 1.730, \quad \Psi = 2.7$$

Rotationssteifigkeit:  $S_{j,\text{Rd}} = S_{j,\text{ini}} / \mu = 12741.2 \text{ kNm/rad}$

$$\text{Verdrehung: } \varphi_{j,\text{Ed}} = M_{j,\text{Ed}} / S_{j,\text{Rd}} = 0.360^\circ$$

## 4.5

### Rotationskapazität

Nach EC 3-1-8, 6.4.1(1), müssen die Anschlüsse bei starr-plastischer Berechnung an den Stellen, an denen plastische Gelenke entstehen können, über ausreichende Rotationskapazität verfügen.

Bei einem Träger-Stützenanschluss, dessen Biegetragfähigkeit durch die Schubtragfähigkeit des Stützenstegfeldes bestimmt wird, kann davon ausgegangen werden, dass genügend Rotationskapazität vorhanden ist, wenn gilt

$$d_{wc} / t_w \leq 69$$

Bei Stirnblech- oder Flanschwinkelverbindungen kann davon ausgegangen werden, dass genügend Rotationskapazität vorhanden ist, wenn

- die Biegetragfähigkeit des Anschlusses bestimmt wird durch die Tragfähigkeit des Stützenflanschs oder von Stirnblech/Flanschwinkel
- die Dicke des Stützenflanschs, Stirnblechs oder Flanschwinkels folgende Bed. erfüllt

$$t \leq 0.36 \cdot d \cdot \sqrt{f_{ub} / f_y}$$

$d$  Nenndurchmesser der Schraube

$f_{ub}$  Bruchfestigkeit des Schraubenwerkstoffs

$f_y$  Streckgrenze der maßgebenden Grundkomponente

Bei einem geschraubten Anschluss, dessen Biegetragfähigkeit durch die Abschertragfähigkeit der Schrauben bestimmt wird, darf **nicht** davon ausgegangen werden, dass genügend Rotationskapazität vorhanden ist.

Bei einem geschweißten Träger-Stützenanschluss, bei dem der Stützensteg nur in der Druckzone ausgesteift ist und die Biegetragfähigkeit nicht durch die Schubtragfähigkeit des Stützenstegfeldes bestimmt wird, kann die Rotationskapazität bestimmt werden mit

$$\Phi_{Cd} = 0.025 \cdot h_c / h_b$$

$h_c$  Profilhöhe des Trägers

$h_b$  ... der Stütze

Bei einem nicht ausgesteiften Träger-Stützenanschluss kann eine Rotationskapazität angenommen werden von mindestens

$$\Phi_{Cd} = 0.015$$



## 5 Allgemeines zu Grundkomponenten

### 5.1 Grundidee

Mit Einführung des Eurocode 3-1-8 wurde die Komponentenmethode zur Bemessung von Stahlbauanschlüssen vorgestellt. Der Kräfteverlauf innerhalb eines Anschlusses wird in seine grundlegenden Komponenten zerlegt, die unabhängig voneinander einzeln nachgewiesen werden können.

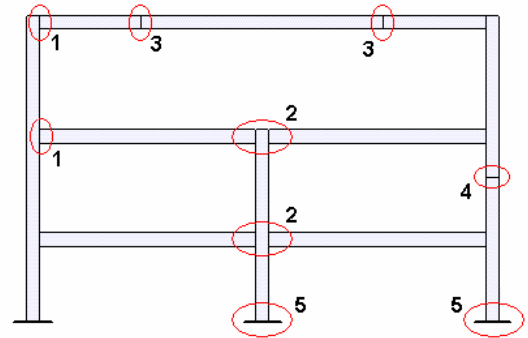
### 5.2 Anschlusskonfiguration

Ein Anschluss mit H- oder I-Profilen wird als eine Zusammenstellung von Grundkomponenten betrachtet. Die Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Momententragfähigkeit beruhen auf einer Verteilung der inneren Kräfte und Momente, die zu folgenden Anschlusskonfigurationen gehört

- 1 einseitiger Träger-Stützenanschluss
- 2 zweiseitiger Träger-Stützenanschluss
- 3 Trägerstoß
- 4 Stützenstoß
- 5 Fußplatte

Anschlusskonfigurationen um die schwache Achse gelten nur für ausgeglichene Momente

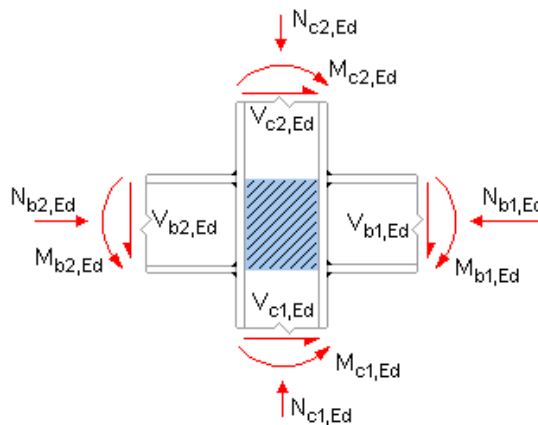
$$M_{b1,Ed} \approx M_{b2,Ed}$$



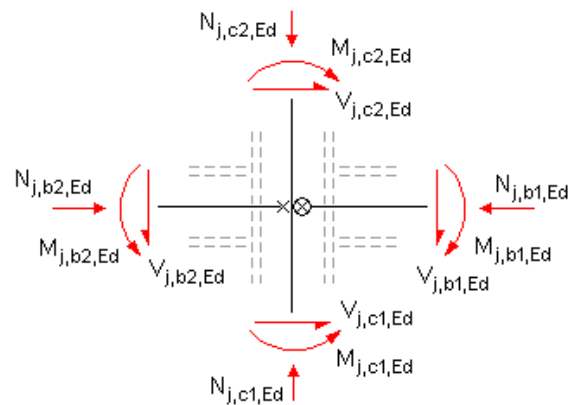
### 5.3 statisches Modell für Träger-Stützenanschlüsse

Die Anschlüsse sind für die durch die angeschlossenen Bauteile eingetragenen Schnittgrößen zu bemessen.

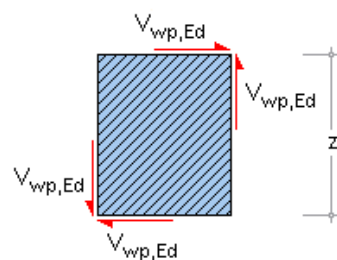
Die angegebenen Berechnungsverfahren sind allgemein gültig und können auf ähnliche Komponenten in anderen Anschlusskonfigurationen mit vergleichbarer Verteilung der inneren Kräfte und Momente übertragen werden.



Werte am Anschnitt des Stegfeldes



Werte am Knotenpunkt der Schwerachsen



Schubkräfte im Stützenstegfeld

$$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}) / z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}) / 2$$



## 5.4

### Berechnung allgemeiner Querschnittsgrößen

#### wirksame Schubfläche

- gewalzte Profile mit I- und H-Querschnitt, Lastrichtung parallel zum Steg

$$A_V = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w \quad \dots \text{vereinfachend} \quad \dots \quad \eta = 1$$

- geschweißte Profile mit I- und H-Querschnitt, Lastrichtung parallel zum Steg

$$A_V = \eta \cdot h_w \cdot t_w \quad \dots \text{vereinfachend} \quad \dots \quad \eta = 1$$

Bei zusätzlicher Anordnung von Stegblechen wird die wirksame Schubfläche vergrößert um

$$\Delta A_V = b_s \cdot t_w$$

#### plastisches Widerstandsmoment eines Blechs

$$W_{pl} = 0.25 \cdot I \cdot t^2 \quad \dots \text{bzw.} \quad \dots \quad W_{pl} = 0.25 \cdot I^2 \cdot t$$

## 5.5

### Klassifizierung von Querschnitten

Mit der Klassifizierung von Querschnitten soll die Begrenzung der Beanspruchbarkeit und Rotationskapazität durch lokales Beulen von Querschnittsteilen festgelegt werden (EC 3-1-1, 5.5).

- Klasse 1 Querschnitte können die plastische Momententragfähigkeit und ausreichend Rotationskapazität für die plastische Berechnung entwickeln
- Klasse 2 Querschnitte können die plastische Momententragfähigkeit entwickeln, haben aber nur eine begrenzte Rotationskapazität
- Klasse 3 Querschnitte können keine plastische Momententragfähigkeit entwickeln, erreichen aber die Streckgrenze in der ungünstigsten Querschnittsfaser
- Klasse 4 Querschnitte, bei denen örtliches Beulen vor Erreichen der Streckgrenze auftritt

Die Klassifizierung ist vom  $c/t$ -Verhältnis abhängig (s. EC 3-1-1, Tab. 5.2) und steuert die Berechnung der Tragfähigkeit druckbeanspruchter Bauteile.

## 5.6

### Teilsicherheitsbeiwerte für Anschlüsse

Für die Berechnung der Tragfähigkeiten der Grundkomponenten werden folgende **Materialsicherheitsbeiwerte** verwendet.

Beanspruchbarkeit von

- ... Querschnitten  $\gamma_{M0}$  (EC 3-1-1, 6.1)
- ... Bauteilen bei Stabilitätsversagen  $\gamma_{M1}$  (EC 3-1-1, 6.1)
- ... Querschnitten bei Bruchversagen infolge Zugbeanspruchung  $\gamma_{M2}$  (EC 3-1-1, 6.1) bzw.
- ... Schrauben, Schweißnähten, Blechen auf Lochleibung  $\gamma_{M2}$  (EC 3-1-8, 2.2, Tab. 2.1)

Materialsicherheitsbeiwerte	$\gamma_{M0}$	1.00
	$\gamma_{M1}$	1.10
	$\gamma_{M2}$	1.25

Die Zahlenwerte der Teilsicherheitsbeiwerte können im nationalen Anhang zum Eurocode 3 eingesehen und ggf. verändert werden.



$h_w$	Stegblechhöhe
$d_c$	Höhe des Stegs zwischen den Ausrundungen (Höhe des geraden Stegteils)
$t_w$	Blechdicke des Stegs
$r$	Ausrundungsradius (gewalzte Profile)
$g$	Spalt zwischen Trägerende und Stützenflansch bei Verbindungen mit Flanschwinkeln
$t$	Blechdicke
$A$	Bruttoquerschnittsfläche
$A_v$	Schubfläche
$A_s$	Spannungsfläche (Schrauben)
$b$	Breite
$h$	Höhe
$d_{st}$	Abstand der Stegsteifen
$f_y$	Streckgrenze
$f_u$	Zugfestigkeit
$z$	Hebelarm vom Druckpunkt zur resultierenden Zugkraft

**Indices**

$c$	Stütze (column), Druck (compression)
$b$	Träger (beam), Lochleibung (bearing)
$w$	Steg (web)
$f$	Flansch (flange)
$a$	Winkel (angle)
$t$	Zug (tension)
$p$	Platte (plate)
$ep$	Stirnplatte (end plate)
$st$	Stegsteifen
$s$	Stegbleche
$1$	rechter Trägeranschluss
$2$	linker Trägeranschluss
$j$	Knotenpunkt der Schwerachsen
$R_d$	Bemessungswiderstand
$E_d$	Bemessungslast



## 6 Beschreibung der Grundkomponenten

### 6.1 Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung

EC 3-1-8, 6.2.6.1, Grundkomponente 1, nur bei Träger-Stützenverbindungen

#### 6.1.1 Anwendungsvoraussetzung

- geschweißte oder geschraubte Verbindungen können bemessen werden
- der Stützensteg kann mit Stegblechen oder Stegsteifen ausgesteift sein
- die Schlankheit des Stützenstegs ist begrenzt auf  $d_c/t_w \leq 69 \cdot \epsilon$  mit  $\epsilon = \sqrt{235/f_y}$  (EC 3-1-1, 5.6, Tab. 5.2)
- bei beidseitigen Träger-Stützenanschlüssen wird angenommen, dass beide Träger die gleiche Höhe besitzen

#### 6.1.2 Tragfähigkeit

Die plastische Schubtragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegfeldes ergibt sich zu

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{y,wc} \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$A_{vc}$  s. *Berechnung allgemeiner Querschnittsgrößen*, Abs. 5.4, S. 65.

#### 6.1.3 Verstärkungen des Stützenstegs

##### Stegsteifen

Werden zusätzliche Stegsteifen in der Druck- und Zugzone der Stütze eingesetzt, wird die plastische Schubtragfähigkeit des Stützenstegfeldes erhöht um

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

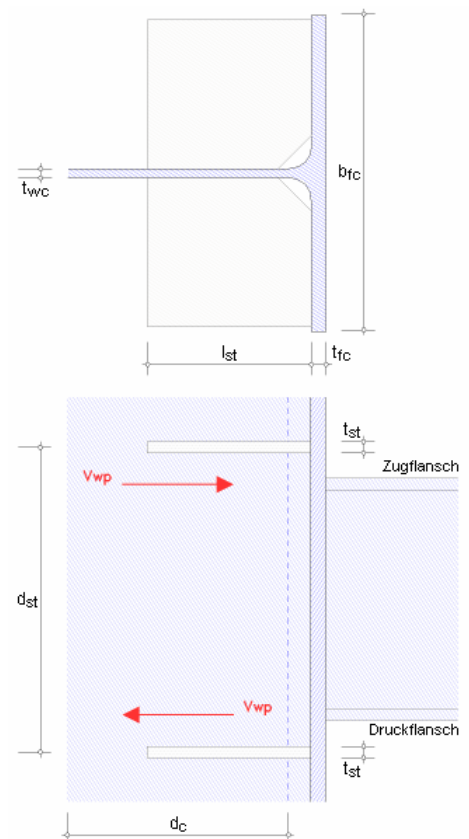
Die **plastischen Biegetragfähigkeiten** ergeben sich nach EC 3-1-1, 6.2.5, zu

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \dots \text{ mit } \dots$$

$$\text{Stütze} \quad W_{pl,fc} = 0,25 \cdot b_{fc} \cdot t_{fc}^2$$

$$\text{Steife} \quad W_{pl,st} = 0,25 \cdot t_{st} \cdot l_{st}^2$$

Dabei wird bei zweiseitigen Träger- Stützenanschlüssen angenommen, dass beide Träger etwa die gleiche Höhe haben. Bei geschweißten Anschlüssen sollten die Stegsteifen der Stütze in den Achsen der Trägerflansche liegen.





## Stegbleche

Wird der Stützensteg durch zusätzliche Stegbleche verstärkt, vergrößert sich die wirksame Schubfläche (s. *Berechnung allgemeiner Querschnittsgrößen*, Abs. 5.4, S. 65).

Voraussetzungen

- Stegbleche sollten die gleiche Stahlgüte haben wie die Stütze

- Abmessungen

$$b_s + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_s \geq d_c$$

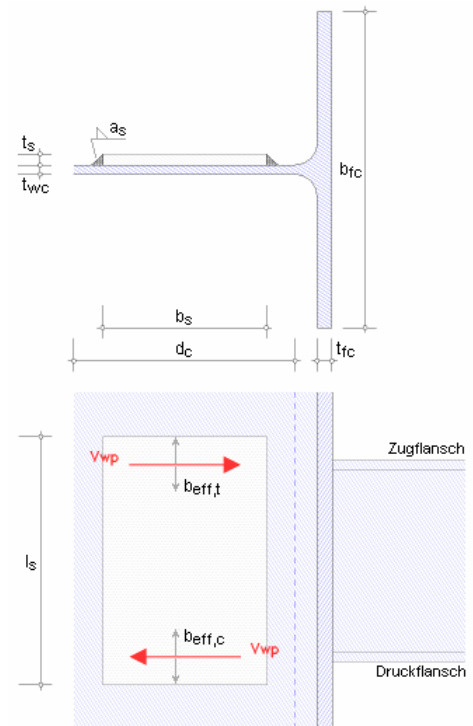
bei einer Kehlnaht mit  $a_s \geq t_s / \sqrt{2}$  bzw.  $b_s \geq d_c$

bei einer durchgeschweißten Stumpfnah

$$b_s < 40 \cdot \varepsilon \cdot t_s$$

$$t_s \geq t_{wc}$$

$$l_s > b_{eff,t} + b_{eff,c}$$



## 6.2

### Träger- oder Stützensteg mit Querdruckbeanspruchung

EC 3-1-8, 6.2.6.2, Grundkomponente 2, nur bei Träger-Stützenverbindungen

## 6.2.1

### Anwendungsvoraussetzung

- geschweißte oder geschraubte Verbindungen (mit Stirnblech oder Flanschwindeln) können bemessen werden
- der Stützensteg kann mit Stegblechen ausgesteift sein

## 6.2.2

### Tragfähigkeit

Die Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs ergibt sich zu

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega \cdot k_{wc} \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \leq \frac{\omega \cdot k_{wc} \cdot \rho \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}}{\gamma_{M1}} \quad \dots \text{ mit } \dots$$

- dem Abminderungsbeiwert  $\omega$  (s. Tab.6.3), um mögliche Interaktionseffekte mit der Schubbeanspruchung im Stützenstegfeld zu erfassen.

Der Abminderungsbeiwert ist abhängig vom Übertragungsparameter  $\beta$  (s. 5.3 (7)) und der Schubfläche  $A_{vc}$  (s. *Berechnung allgemeiner Querschnittsgrößen*, Abs. 5.4, S. 65).

Dabei ist  $\beta$  abhängig von der Ausführung des Anschlusses (einseitig oder zweiseitig) und der Momentenbelastung. Der Beiwert kann entweder näherungsweise Tab. 5.4 entnommen oder mit den angreifenden Knotenmomenten berechnet werden zu

$$\text{rechts } \beta_1 = \left| 1 - M_{j,b2,Ed} / M_{j,b1,Ed} \right| \leq 2$$

$$\text{links } \beta_2 = \left| 1 - M_{j,b1,Ed} / M_{j,b2,Ed} \right| \leq 2$$

- der wirksamen Breite  $b_{eff,c,wc}$  des Stützenstegs für Querdruck, die berechnet wird

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_b + 5 \cdot (t_{fc} + s) \quad \dots \text{ für einen geschweißten Anschluss}$$

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_p + 5 \cdot (t_{fc} + s) + s_p \quad \text{für eine geschraubte Stirnblechverbindung}$$

$$b_{eff,c,wc} = 2 \cdot t_a + 0.6 \cdot r_a + 5 \cdot (t_{fc} + s) \quad \dots \text{ für eine geschraubte Verbindung mit Flanschwindeln}$$



Dabei sind

- $s$  der Radius der Ausrundung bzw. die Länge des Schweißnahtschenkels am Steg,
- $s_p$  das Ausbreitungsmaß der Druckkraft durch das Stirnblech (Ann.: 45° Lastausbreitung) mit  $t_p < s_p < 2 \cdot t_p$
- Abminderungsbeiwert  $\rho$  für Plattenbeulen

$$\text{für } \bar{\lambda}_p \leq 0.72 \dots \rho = 1.0$$

$$\text{für } \bar{\lambda}_p > 0.72 \dots \rho = (\bar{\lambda}_p - 0.2) / \bar{\lambda}_p^2$$

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

- Abminderungsbeiwert  $k_{wc}$  in Abhängigkeit der maximalen Längsdruckspannung im Stützensteg

$$\text{falls } \sigma_{\text{com,Ed}} \leq 0.7 \cdot f_{y,wc} \dots k_{wc} = 1$$

$$\text{falls } \sigma_{\text{com,Ed}} > 0.7 \cdot f_{y,wc} \dots k_{wc} = 1.7 - \sigma_{\text{com,Ed}} / f_{y,wc}$$

## 6.2.3

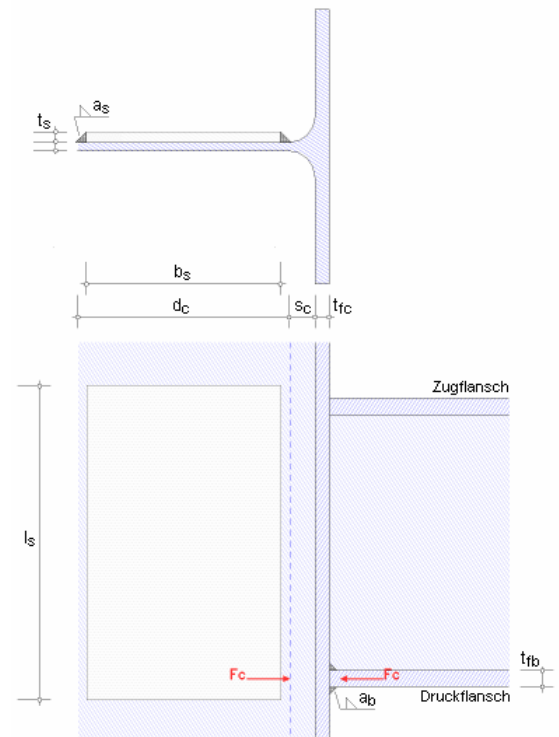
### Verstärkungen des Stützenstegs

Wird der Stützensteg durch zusätzliche **Stegbleche** verstärkt, vergrößert sich die wirksame Stegdicke. Dann darf die effektive Dicke des Stützenstegs

bei einem einseitigen Stegblech zu  $t_{w,\text{eff}} = 1.5 \cdot t_{wc}$

bei beidseitigen Stegblechen zu  $t_{w,\text{eff}} = 2.0 \cdot t_{wc}$

angesetzt werden.



Voraussetzungen

- Stegbleche sollten die gleiche Stahlgüte haben wie die Stütze
- Abmessungen

$$b_s + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_s \geq d_c \quad \text{bei einer Kehlnaht mit } a_s \leq t_s / \sqrt{2} \quad \text{bzw.}$$

$$b_s \geq d_c \quad \text{bei einer durchgeschweißten Stumpfnah}$$

$$b_s < 40 \cdot \varepsilon \cdot t_s$$

$$t_s \geq t_{wc}$$

$$l_s > b_{\text{eff},t} + b_{\text{eff},c}$$

Die Stützenstegverstärkung wirkt sich damit auch auf die Schubfläche der Stütze aus (s. *Berechnung allgemeiner Querschnittsgrößen*, Abs. 5.4, S. 65).







Die effektive Dicke des Stützenstegs darf vergrößert werden bei Verwendung von

durchgeschweißten Stumpfnähten der Nahtdicke  $a_s \geq t_s$   
 bei einem einseitigen Stegblech auf  $t_{w,eff} = 1.5 \cdot t_{wc}$   
 bei beidseitigen Stegblechen auf  $t_{w,eff} = 2.0 \cdot t_{wc}$   
 Kehlnähten der Nahtdicke  $a_s \geq t_s / \sqrt{2}$   
 für Stahlgüten S 235, S 275, S 355 auf  $t_{w,eff} = 1.4 \cdot t_{wc}$   
 für Stahlgüten S 420, S 460 auf  $t_{w,eff} = 1.3 \cdot t_{wc}$

Voraussetzungen

- Stegbleche sollten die gleiche Stahlgüte haben wie die Stütze
- Abmessungen

$b_s + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_s \geq d_c$   
 bei einer Kehlnaht mit  $a_s \geq t_s / \sqrt{2}$  bzw.  $b_s \geq d_c$  bei einer durchgeschweißten Stumpfnah  
 $b_s < 40 \cdot \epsilon \cdot t_s$   
 $t_s \geq t_{wc}$   
 $l_s > b_{eff,t} + b_{eff,c}$  (diese Bedingung wird nicht überprüft)

Die Stützenstegverstärkung wirkt sich damit auch auf die Schubfläche der Stütze aus (s. *Berechnung allgemeiner Querschnittsgrößen*, Abs. 5.4, S. 65).

## 6.4 Stützenflansch mit Biegebeanspruchung

EC 3-1-8, 6.2.6.4, Grundkomponente 4, nur bei Träger-Stützenverbindungen

### 6.4.1 Anwendungsvoraussetzung

- geschweißte oder geschraubte Verbindungen können bemessen werden
- bei geschraubten Verbindungen kann der Stützenflansch durch Quersteifen verstärkt sein

### 6.4.2 Tragfähigkeit einer geschweißten Verbindung

Die Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenflansches ergibt sich zu

$F_{fc,Rd} = b_{eff} \cdot t_{fb} \cdot f_{y,fb} / \gamma_{M0}$   
 mit der wirksamen Breite  $b_{eff}$  des Stützenflanschs für Biegung, die berechnet wird mit (s. 4.10)  
 $b_{eff} = t_w + 2 \cdot s + 7 \cdot k \cdot t_f \leq b_p$  ... und ...  $k = (t_f / t_p) \cdot (f_{y,t} / f_{y,p}) \leq 1$   
 s ist der Radius der Ausrundung bzw. die Länge des Schweißnahtschenkels am Steg

Voraussetzung

$b_{eff} \geq (f_{y,p} / f_{u,p}) \cdot b_p$ , ansonsten ist der Anschluss auszusteifen  
 Schweißnähte sind zu bemessen für  $F = b_p \cdot t_p \cdot f_{y,p} / \gamma_{M0}$

### 6.4.3 Tragfähigkeit einer geschraubten Verbindung

Die Tragfähigkeit eines ausgesteiften oder nicht ausgesteiften Stützenflansches wird mit Hilfe des äquivalenten **T-Stummelflansches** ermittelt.

Das Modell des T-Stummelflansches ist für eine beliebige Anzahl Schraubenreihen mit allerdings nur zwei Schrauben je Reihe entwickelt worden. Daher können mit dieser Grundkomponente nur Anschlusskonfigurationen mit zwei Schrauben je Reihe nachgewiesen werden.

Es kann sowohl jede einzelne Schraubenreihe als auch jede Gruppe von Schraubenreihen für die Übertragung der Zugkräfte maßgebend sein.

Eine allgemeine Beschreibung zur Berechnung des äquivalenten T-Stummels finden Sie in der *Beschreibung der Basisverbindungen*, Abs. 7.3, S. 87.



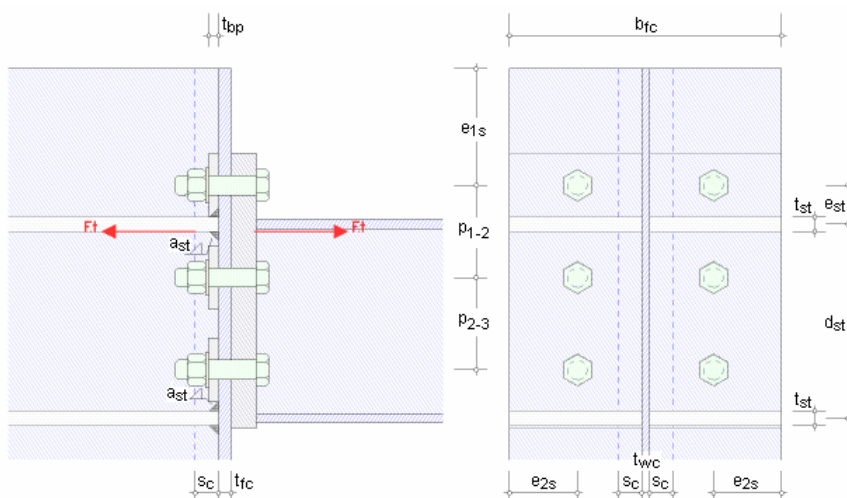
Um die Tragfähigkeit von Grundkomponente 4, *Stützenflansch mit Biegebeanspruchung*, zu ermitteln, muss zunächst die wirksame Länge des äquivalenten T-Stummels bestimmt werden. Dazu ist die genaue Anordnung der zugbelasteten Schrauben im Stützenflansch einzugeben.

Annahme: Die Breite des Stützenflansches ist geringer als die Breite des Anschlussblechs (Stirnblech oder Flanschwinkel), d.h. der Achsabstand der außen liegenden Schrauben vom seitlichen Rand des Stützenflansches  $e_{2s}$  entspricht  $e_{min}$ .

Anschließend wird die Zugtragfähigkeit des T-Stummelflansches für jede einzelne Schraubenreihe sowie für eine Gruppe von Schraubenreihen bestimmt und die zugehörige wirksame Länge protokolliert. Die wirksame Länge aus Grundkomponente 4 kann auch in Grundkomponente 3, *Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung* (Abs. 6.3, S. 70), eingehen.

Zur Bildung von Schraubengruppen s.u. *Verstärkungen des Stützenstegs*.

#### 6.4.4 Verstärkungen des Stützenstegs



##### Quersteifen

Am Stützenflansch angeschweißte Quersteifen erhöhen die Biegetragfähigkeit der Verbindung. Dabei wird bei zweiseitigen Träger-Stützenanschlüssen angenommen, dass beide Träger etwa die gleiche Höhe besitzen. Bei geschweißten Anschlüssen sollten die Quersteifen der Stütze in den Achsen der Trägerflansche liegen. Es werden maximal zwei Quersteifen betrachtet.

#### 6.4.5 Schraubengruppe

Ist der Stützenflansch nicht ausgesteift, werden alle zugbeanspruchten Schrauben einer Schraubengruppe zugewiesen. Werden jedoch Quersteifen angeordnet, ist die Lage einer Quersteife in Bezug auf die erste Schraubenreihe entscheidend.

Befindet sich die erste Schraubenreihe oberhalb der Steife ( $e_{st} > 0$ ), wird diese Reihe nur einzeln betrachtet. Die Schraubenreihen zwischen den Quersteifen bilden dann eine Schraubengruppe. Befinden sich dagegen alle Schraubenreihen innerhalb der Quersteifen ( $e_{st} < 0$ ), sind alle Schrauben in der Schraubengruppe vertreten.



## 6.5 Stirnblech mit Biegebeanspruchung

EC 3-1-8, 6.2.6.5, Grundkomponente 5, bei Träger-Stützenverbindungen und Trägerstößen

### 6.5.1 Anwendungsvoraussetzung

- geschraubte Verbindungen können bemessen werden

### 6.5.2 Tragfähigkeit

Die Tragfähigkeit eines Stirnblechs wird mit Hilfe des äquivalenten **T-Stummelflansches** ermittelt. Das Modell des T-Stummelflansches ist für eine beliebige Anzahl Schraubenreihen mit allerdings nur zwei Schrauben je Reihe entwickelt worden. Daher können mit dieser Grundkomponente nur Anschlusskonfigurationen mit zwei Schrauben je Reihe nachgewiesen werden.

Es kann sowohl jede einzelne Schraubenreihe als auch jede Gruppe von Schraubenreihen für die Übertragung der Zugkräfte maßgebend sein.

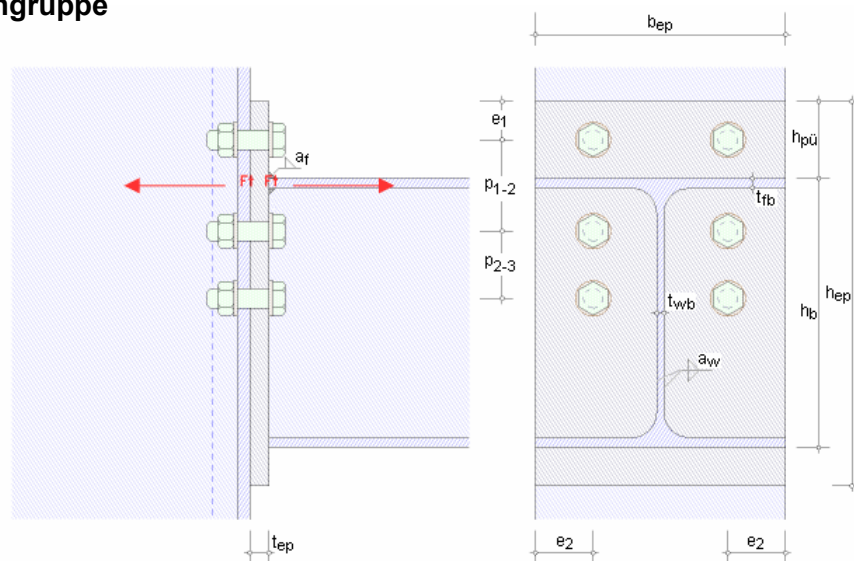
Eine allgemeine Beschreibung zur Berechnung des äquivalenten T-Stummels finden Sie in der *Beschreibung der Basisverbindungen*, Abs. 7.3, S. 87.

Um die Tragfähigkeit von Grundkomponente 5, *Stirnblech mit Biegebeanspruchung*, zu ermitteln, muss zunächst die wirksame Länge des äquivalenten T-Stummels bestimmt werden. Dazu ist die genaue Anordnung der zugbelasteten Schrauben im Stützenflansch einzugeben.

Annahme: Die Breite des Stirnblechs ist geringer als die Breite oder gleich der Breite des Anschlussblechs (Stützenflansch), d.h. der Achsabstand der außen liegenden Schrauben vom seitlichen Rand des Stützenflansches  $e_2$  entspricht  $e_{\min}$ .

Anschließend wird die Zugtragfähigkeit des T-Stummelflansches für jede einzelne Schraubenreihe sowie für eine Gruppe von Schraubenreihen bestimmt und die zugehörige wirksame Länge protokolliert. Die wirksame Länge aus Grundkomponente 5 kann auch in Grundkomponente 8, *Trägersteg mit Zugbeanspruchung* (Abs. 6.8, S. 76), eingehen.

### 6.5.3 Schraubengruppe



Die Trägerflansche gelten als Quersteifen der Stirnblechverbindung.

Wird ein Überstand des Stirnblechs über dem Trägerzugflansch angegeben, befindet sich die erste Schraubenreihe in dem Überstand; ansonsten werden alle Schraubenreihen zwischen Zug- und Druckflansch des Trägers angeordnet.

Befindet sich die erste Schraubenreihe oberhalb des Trägerzugflansches, wird diese Reihe nur einzeln betrachtet. Die Schraubenreihen zwischen den Flanschen bilden dann eine Schraubengruppe.

Befinden sich dagegen alle Schraubenreihen innerhalb der Trägerflansche, sind alle Schrauben in der Schraubengruppe vertreten.



## 6.6 Flanschwinkel mit Biegebeanspruchung

EC 3-1-8, 6.2.6.6, Grundkomponente 6, bei Träger-Stützenverbindungen

### 6.6.1 Anwendungsvoraussetzung

- geschraubte Verbindungen können bemessen werden

### 6.6.2 Tragfähigkeit

Die Tragfähigkeit einer Verbindung mit Flanschwinkeln wird mit Hilfe des äquivalenten T-Stummelflansches ermittelt. Das Modell des T-Stummelflansches ist für eine beliebige Anzahl Schraubenreihen mit allerdings nur zwei Schrauben je Reihe entwickelt worden. Daher können mit dieser Grundkomponente nur Anschlusskonfigurationen mit zwei Schrauben je Reihe nachgewiesen werden.

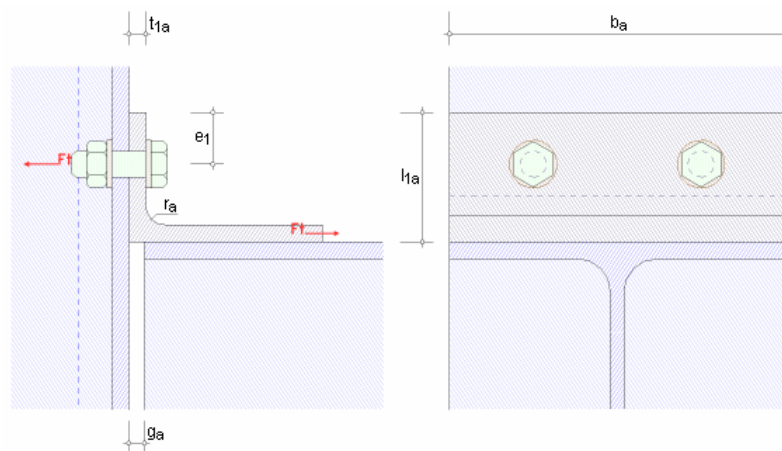
Bei Verbindungen mit Flanschwinkeln wird nur eine einzelne Schraubenreihe zwischen Winkel und Stützenflansch für die Übertragung der Zugkräfte angenommen.

Eine allgemeine Beschreibung zur Berechnung des äquivalenten T-Stummels finden Sie in der *Beschreibung der Basisverbindungen*, Abs. 7.3, S. 87.

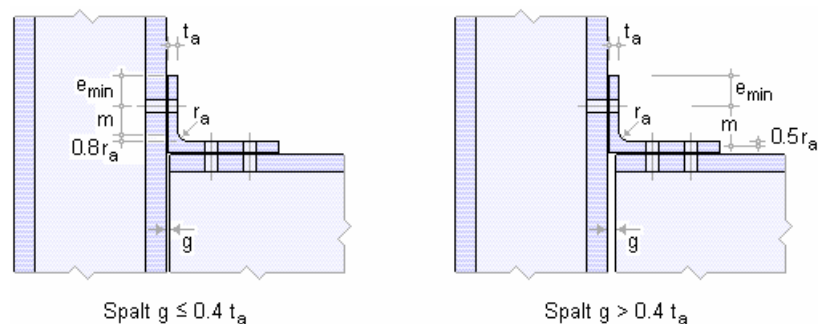
Zwischen Winkel und Trägerflansch können mehrere Schraubenreihen auftreten, die jedoch hier nicht bemessungsrelevant sind.

Die wirksame Länge des äquivalenten T-Stummelflansches einer Flanschwinkel-Verbindung ist mit  $l_{\text{eff}} = 0.5 \cdot b_a$  anzusetzen, wobei die Länge des Winkels  $b_a$  nicht identisch mit der Breite des Träger- oder Stützenflansches zu sein braucht.

### 6.6.3 Flanschwinkel



Die Breite des offenen Spalts zwischen Träger und Stützenflansch beeinflusst die Größe des Abstands  $m$  zwischen Schraubenachse und T-Stummelsteg (Winkelschenkel 2).





## 6.7 Träger- oder Stützenflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

EC 3-1-8, 6.2.6.7, Grundkomponente 7, bei Träger-Stützenverbindungen und Trägerstößen

### 6.7.1 Anwendungsvoraussetzung

- sowohl Trägerflansch und -steg als auch Stützenflansch und -steg können bemessen werden
- der Querschnitt kann gevoutet sein
- die Beanspruchung setzt sich aus Biegung mit Querkraft zusammen
- es liegt keine Torsion vor

### 6.7.2 Tragfähigkeit

Die Tragfähigkeit von Trägerflansch und -steg bei Druckbeanspruchung ergibt sich zu

$$F_{c,fb,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_{fb})$$

$M_{c,Rd}$  Biegetragfähigkeit des Trägerquerschnitts unter Berücksichtigung der Querkraftinteraktion

Die **plastische Querkrafttragfähigkeit** ergibt sich zu

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$A_v$  wirksame Schubfläche

(s. *Berechnung allgemeiner Querschnittsgrößen*, Abs. 5.4, S. 65).

Unterschreitet die einwirkende Querkraft die Hälfte der plastischen Querkraftbeanspruchbarkeit, muss die Momententragfähigkeit nicht abgemindert werden. Die Abminderung erfolgt durch eine Reduzierung der Streckgrenze auf

$$(1 - \rho) \cdot f_y \quad \text{mit} \quad \rho = \left( \frac{2 \cdot V_{Rd}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

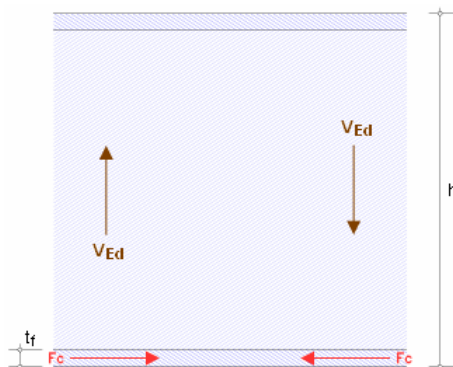
Die Biegetragfähigkeit ergibt sich zu

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 1 oder 2}$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{... der Klasse 3}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{... der Klasse 4}$$

wobei sich  $W_{el,min}$  und  $W_{eff,min}$  auf die Querschnittsfaser mit der maximalen Normalspannung beziehen. Annahme:  $W_{eff,min} = W_{el,min}$ .





## 6.8 Trägersteg mit Zugbeanspruchung

EC 3-1-8, 6.2.6.8, Grundkomponente 8, bei Träger-Stützenverbindungen und Trägerstößen

### 6.8.1 Anwendungsvoraussetzung

- Tragfähigkeitsberechnung eines Trägerstegs mit Zugbelastung bei geschraubten Stirnblechverbindungen

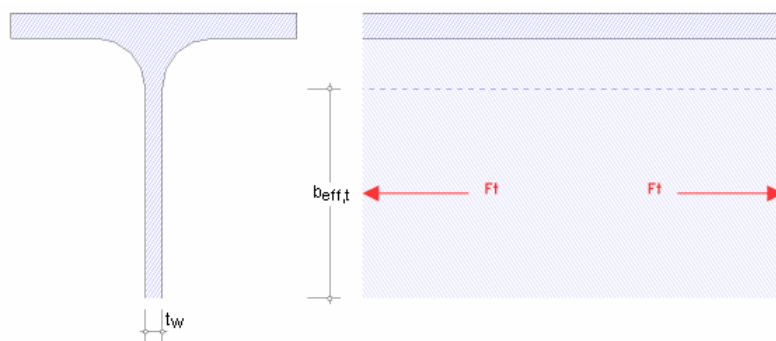
### 6.8.2 Tragfähigkeit

Die Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung ergibt sich zu

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

mit der wirksamen Breite  $b_{eff,t,wb}$  des Trägerstegs mit Zug, die für eine Stirnblechverbindung mit der wirksamen Länge des äquivalenten T-Stummel-Modells für das Stirnblech mit Biegebelastung (s. Grundkomponente 5, Abs. 6.4, S. 71) gleichzusetzen ist.

### 6.8.3 Träger





## 6.9 Schrauben mit Zugbeanspruchung

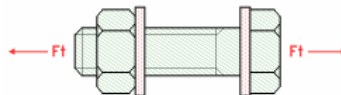
EC 3-1-8, 6.2.6.4 bis 6, Grundkomponente 10, bei Träger-Stützenverbindungen und Trägerstößen

### 6.9.1 Anwendungsgrenzen

Schrauben sind die Verbindungsmittel der Grundkomponenten 4 (*Stützenflansch mit Biegebeanspruchung*, Abs. 6.4, S. 71), 5 (*Stirnblech mit Biegebeanspruchung*, Abs. 6.5, S. 73) und 6 (*Flanschwinkel mit Biegebeanspruchung*, Abs. 6.6, S. 74).

In dieser Grundkomponente wird die Zugtragfähigkeit normaler und Edelstahl-Schrauben nach Kategorie D ermittelt.

Nähere Informationen finden Sie in der Programmbeschreibung der *Basisverbindungen*, Abs. 7.1, S. 81, zur Berechnung der Zugtragfähigkeit von Schrauben.



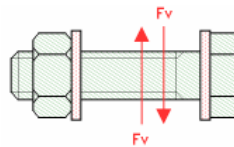
## 6.10 Schrauben mit Abscherbeanspruchung

EC 3-1-8, 3.6, Grundkomponente 11, bei Träger-Stützenverbindungen und Trägerstößen

### 6.10.1 Anwendungsgrenzen

In dieser Grundkomponente wird die Abschertragfähigkeit von normalen und Edelstahl-Schrauben nach Kategorie A ermittelt.

Nähere Informationen finden Sie in der Programmbeschreibung der *Basisverbindungen*, Abs. 7.1, S. 81, zur Berechnung der Abschertragfähigkeit von Schrauben.



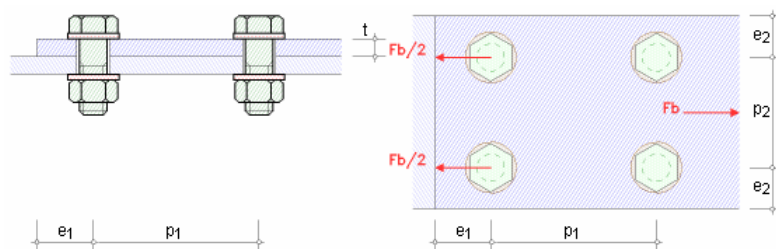
## 6.11 Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung

EC 3-1-8, 3.6, Grundkomponente 12, bei Träger-Stützenverbindungen und Trägerstößen

### 6.11.1 Anwendungsgrenzen

In dieser Grundkomponente wird die Lochleibungstragfähigkeit normaler und Edelstahl-Schrauben nach Kategorie A ermittelt.

Nähere Informationen finden Sie in der Programmbeschreibung der *Basisverbindungen*, Abs. 7.1, S. 81, zur Berechnung der Lochleibungstragfähigkeit von Schrauben.





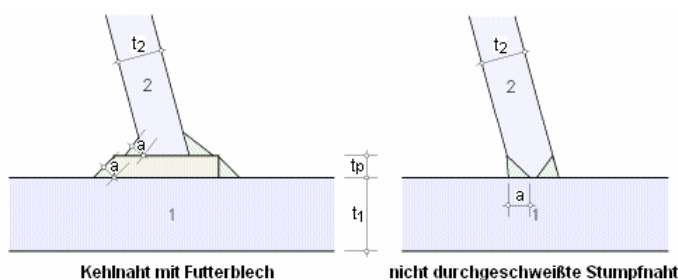
## 6.12 Schweißnähte

EC 3-1-8, 4, Grundkomponente 19, bei Träger-Stützenverbindungen und Trägerstößen

### 6.12.1 Anwendungsgrenzen

In dieser Grundkomponente wird die Tragfähigkeit einer doppelseitigen Schweißnaht ermittelt.

Nähere Informationen finden Sie in der Programmbeschreibung der *Basisverbindungen*, Abs. 7.2, S. 85, zur Berechnung der Schweißnähte.



### 6.12.2 Programmanwendung

#### Grundkomponente 19: Schweißnaht

Schweißnaht: ☒ Kehlnaht / Hohlkehlnaht  
☐ Stumpfnah

Nahtlänge  $l_w$   mm  
wirksame Nahtdicke  $a$   mm  
Öffnungswinkel der Naht  $\varphi$   °

Blech 1: Blechdicke  $t_1$   mm  
Stahlsorte  ☐ Vorgabe

Blech 2: Blechdicke  $t_2$   mm  
Stahlsorte  ☐ Vorgabe

☒ Futterblech  $t_p$   mm

Es werden nur die wesentlichen Parameter zur Berechnung der Tragfähigkeit der Grundkomponente 19 angefordert. Die Stahlgüten können Listen der gängigen Güten entnommen werden oder per Hand in das Eigenschaftsblatt eingegeben werden (s. *Allgemeines zur Programmeingabe*, Abs. 5, S. 64).

Die Schweißnaht kann als Kehl- oder Stumpfnah ausgeführt sein.

Die wirksame Nahtlänge und der Öffnungswinkel der Naht sowie die Blechdicken der zu verschweißenden Bauteile müssen angegeben werden.

Bei der Ermittlung der Tragfähigkeit von Kehlnähten können Futterbleche berücksichtigt werden.

#### Grundkomponente 19: Schweißnaht

Schweißnaht: ☐ Kehlnaht / Hohlkehlnaht  
☒ Stumpfnah

☒ durchgeschweiß  
☐ nicht durchgeschweiß

bzw. ☒ durchgeschweiß  
☐ nicht durchgeschweiß

Nahtlänge  $l_w$   mm  $l_w$   mm  
wirksame Nahtdicke  $a$   mm  $a = t_2$   
Öffnungswinkel der Naht  $\varphi$   °  $\varphi$   °  
 $\varphi = 0^\circ$ : geschweißter Stoß

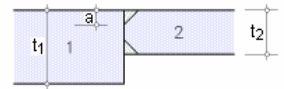
Blech 1: Blechdicke  $t_1$   mm  
Stahlsorte  ☐ Vorgabe

Blech 2: Blechdicke  $t_2$   mm  
Stahlsorte  ☐ Vorgabe



Ist die Stumpfnah durchgeschweißt, braucht keine Nahtdicke vorgegeben zu werden, da sie der Blechdicke  $t_2$  entspricht.

Wird der Öffnungswinkel einer Stumpfnah mit  $\varphi = 0^\circ$  angegeben, wird in den Darstellungen ein geschweißter Trägerstoß gezeichnet; die Berechnung ändert sich jedoch nicht.



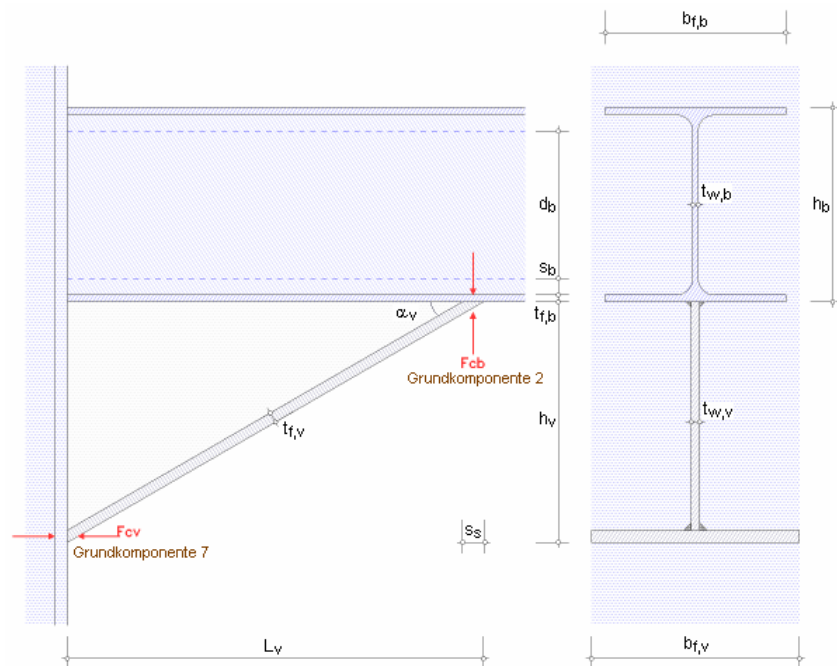
## 6.13 Vouten

EC 3-1-8, 6.2.6.7, Grundkomponente 20, bei Träger-Stützenverbindungen und Trägerstößen

### 6.13.1 Anwendungsgrenzen

Mit dieser Grundkomponente wird die Tragfähigkeit einer Trägervoute ermittelt. Dazu werden für die Voute-Stützen-Verbindung der gevoutete Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung (Grundkomponente 7, Abs. 6.7, S. 75) und für die Voute-Träger-Verbindung der Trägersteg mit Querdruckbeanspruchung (Grundkomponente 2, Abs. 6.2, S. 68) untersucht.

Da die Tragfähigkeiten einer Trägervoute an zwei verschiedenen Stellen (Anschnitt Voute-Stütze und Lagerung Träger-Voute) ermittelt werden, sind auch für die beiden Stellen zwei i.A. voneinander unabhängige Beanspruchungsgrößen vorzugeben.



### 6.13.2 Tragfähigkeit

Die Ermittlung der Tragfähigkeit erfolgt

- für die Verbindung der Voute an die Stütze nach Grundkomponente 7 und
- für die Verbindung der Voute an den Träger nach Grundkomponente 2

Dafür gelten folgende Voraussetzungen, die stets abgeprüft werden

- die Stahlgüte der Voute entspricht der Stahlgüte des Trägers
- es muss gelten:  $t_{f,v} \geq t_{f,b}$  und  $b_{f,v} \geq b_{f,b}$  und  $t_{w,v} \geq t_{w,b}$
- Winkel  $\alpha_v \leq 45^\circ$

Beträgt die Höhe des Trägers einschließlich Voute mehr als 600 mm, ist der Beitrag des Trägerstegs zur Tragfähigkeit bei Druckbeanspruchung auf 20 % zu begrenzen.



### 6.13.3

#### Verbindung Voute-Träger n. Grundkomponente 7

... *Voutenflansch u. -steg mit Druckbeanspruchung*, Abs. 6.7, S. 75.

Die Querkraft zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion wird ignoriert.

Die Profilhöhe entspricht der Trägerhöhe einschließlich Voute  $h = h_b + h_v$  mit  $h_v = L_v \cdot \tan \alpha_v$ , die Flanschdicke ist  $t_f = t_{fv}$ .

Die Widerstandsmomente sind für den Gesamtquerschnitt (Träger mit Voute) zu ermitteln.

Weitere Informationen zur Berechnung der Tragfähigkeit unter Abs. 6.7, S. 75.

### 6.13.4

#### Verbindung Voute-Träger n. Grundkomponente 2

... *Trägersteg mit Querdruckbeanspruchung*, Abs. 6.2, S. 68.

Die Längsdruckspannung im Trägersteg zur Berechnung des Abminderungsbeiwerts  $k_w$  wird ignoriert.

Zur Berechnung der Steghöhe zwischen den Ausrundungen wird  $t_{fo} = t_{fu} = t_{f,b}$  angenommen, daraus ergibt sich  $d_b = h_b - 2 \cdot (t_{f,b} + s_b)$ .

Stegverstärkungen werden nicht unterstützt.

Weitere Informationen zur Berechnung der Tragfähigkeit unter Abs. 6.2, S. 68.



## Basisverbindungen

Den Verfahren zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Stahlbauanschlüssen liegt Folgendes zu Grunde

- Schrauben, Abs. 7.1, S. 81
- Schweißnähte, Abs. 7.2, S. 85
- T-Stummelflansch mit Zugbeanspruchung, Abs. 7.3, S. 87

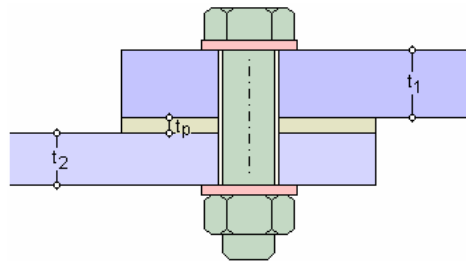
Das Eurocode-Dokument enthält Parameter, die national veränderbar sind. Die im Programm verwendeten veränderbaren Parameter können im Nationalen Anhang (Abs. 8.3, S. 97) eingesehen und verändert werden.

### 7.1 Tragfähigkeit von Schraubenverbindungen



Schrauben können auf Abscheren (EC 3-1-8, 3.6+3.7+3.9) und Zug (EC 3-1-8, 3.6) beansprucht werden.

#### 7.1.1 Schrauben



Zur Ermittlung der Tragfähigkeit sind Schraubenverbindungen in Kategorien einzuteilen.

##### 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
- Kategorie C: Gleitfeste Verbindung (GZT) für hochfeste vorgespannte Schrauben
  - Bemessungswert des Gleitwiderstands im GZT
  - Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit
  - bei Zugverbindungen: Bemessungswert des plastischen Widerstands des Nettoquerschnitts im kritischen Schnitt durch die Schraubenlöcher

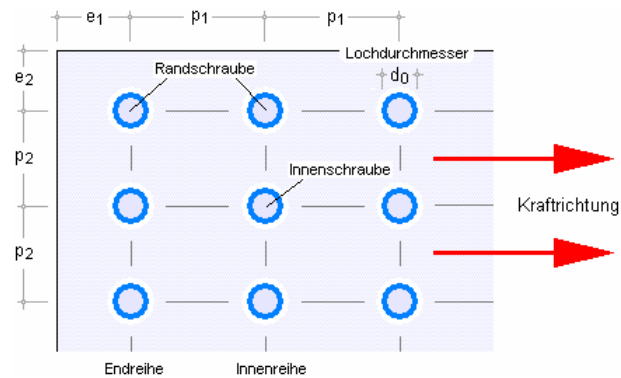
##### Zugbeanspruchung

- 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

Die Schraubenabstände sind folgendermaßen definiert



### Abscheren je Scherfuge

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

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

Übertragen Schrauben Scherkräfte über Futterbleche, ist die Schertragfähigkeit abzumindern mit

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

### Lochleibung

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

Beiwert  $\alpha_d$  in Kraftrichtung

- 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 Kraftrichtung

- 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 Kraftrichtung 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

$$\Rightarrow k_1 \cdot \alpha_b \leq 1.5.$$

### Zug

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



## Durchstanzen

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

## 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)

$\mu$  ..... 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)

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



## Rechenparameter Schrauben

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.

Es 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.

Hochfeste Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 oder 10.9 werden programmintern als vorgespannt angesehen (EC 3-1-8, 3.1.2).

Wird die Schraube als **Senkschraube** verwendet, reduzieren sich infolge der um die Senkung  $\Delta s$  verringerten Blechdicke der Lochleibungswiderstand und die Zugtragfähigkeit.

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	$f_{b, \text{resin}}$	240.0 N/mm <sup>2</sup>



## 7.2

## Tragfähigkeit von Schweißverbindungen

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.

### 7.2.1

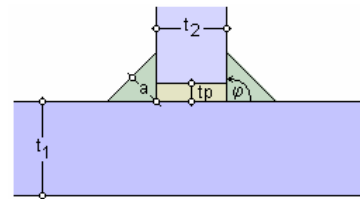
#### Kehlnähte

⊙ Kehlnaht / Hohlkehlnaht

☑ einseitige Naht

wirksame Nahtdicke  $a$  4.0 mm

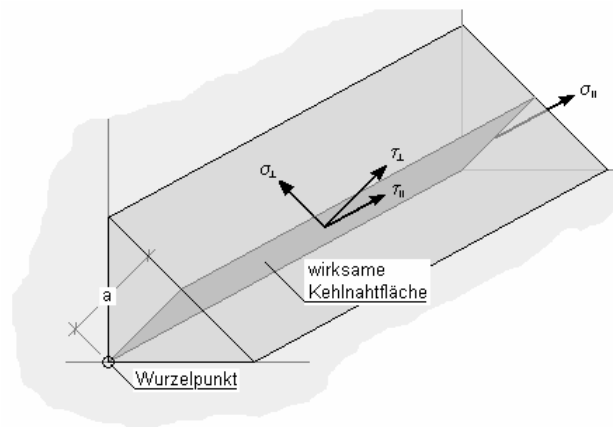
Öffnungswinkel der Naht  $\varphi$  90°



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

$$\begin{aligned} \sigma_{\perp} &= \frac{F_{Ed}(\sigma_{\perp})}{a} && \text{Normalspannung senkrecht zur Schweißnahtachse} \\ \sigma_{\parallel} &= 0 && \text{Normalspannung parallel zur Schweißnahtachse} \\ \tau_{\parallel} &= \frac{F_{Ed}(\tau_{\parallel})}{a} && \text{Schubspannung in der Ebene der Kehlnahtfläche senkrecht zur Schweißnahtachse} \\ \tau_{\perp} &= \frac{F_{Ed}(\tau_{\perp})}{a} && \text{Schubspannung in der Ebene der Kehlnahtfläche parallel zur Schweißnahtachse} \end{aligned}$$

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 folgende Bedingung erfüllen

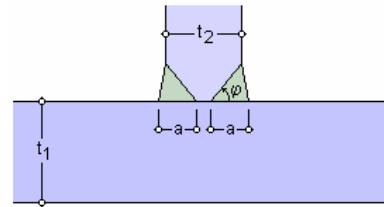
$$\begin{aligned} F_{w,Ed} &\leq F_{w,Rd} \quad \text{mit} \quad F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a \quad \text{und} \quad \text{Scherfestigkeit } f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{mit} \quad f_u \text{ s.o.} \\ F_{w,Ed} &= \sqrt{F_{Ed}^2(\sigma_{\perp}) + F_{Ed}^2(\tau_{\perp}) + F_{Ed}^2(\tau_{\parallel})} \end{aligned}$$



## 7.2.2

### Stumpfnähte

<input checked="" type="radio"/> Stumpfnah	
<input type="radio"/> durchgeschweißt	
<input checked="" type="radio"/> nicht durchgeschweißt	
<input type="checkbox"/> einseitige Naht	
wirksame Nahtdicke	a
Öffnungswinkel der Naht	$\varphi$



Stumpfnähte können durchgeschweißt oder nicht durchgeschweißt ausgeführt werden.

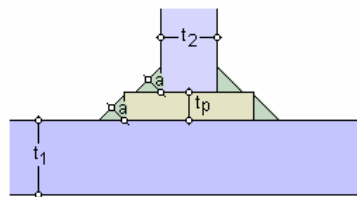
Eine durchgeschweißte Stumpfnah ist eine Schweißnah mit vollständigem Einbrand und vollständiger Verschmelzung des Schweißwerkstoffs mit dem Grundmaterial über die gesamte Dicke der Verbindung (EC 3-1-8, 4.3.4(1)), d.h.  $a = t_2/2$  bei beidseitiger Schweißung bzw.  $a = t_2$  bei einseitiger Schweißung.

Bei einer nicht durchgeschweißten Stumpfnah 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).

## 7.2.3

### Anordnung von Futterblechen



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

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

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



## Äquivalenter T-Stummel mit Zugbeanspruchung

Das Modell eines äquivalenten T-Stummels mit Zugbeanspruchung dient zur Ermittlung der Tragfähigkeiten folgender geschraubter Grundkomponenten

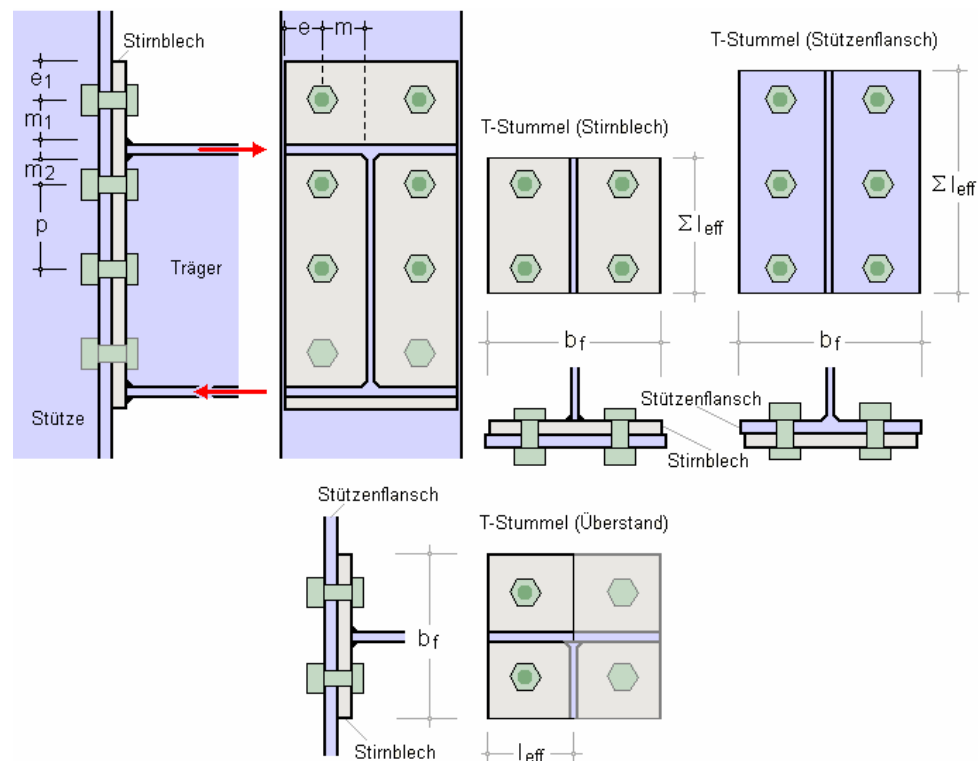
- Stützenflansch mit Biegebeanspruchung - Abs. 6.4, S. 71
- Stirnblech mit Biegebeanspruchung - Abs. 6.5, S. 73
- Flanschwinkel mit Biegebeanspruchung - Abs. 6.6, S. 74
- Fußplatte mit Biegebeanspruchung infolge Zugbeanspruchung

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. 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

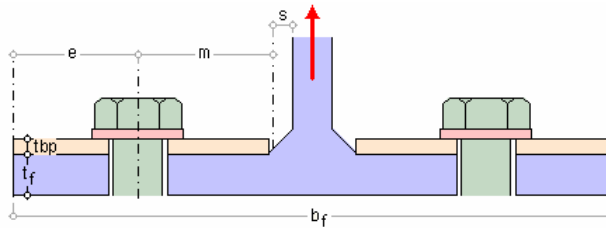
- Abstand  $e$  der Schraube vom Flanschrand
- Abstand  $m$  der Schraube vom Steganschnitt

Der Steganschnitt befindet sich im Abstand  $s = 0.8 \cdot a \cdot \sqrt{2}$

(geschweißtes Profil  $a$  = Schweißnahtdicke) bzw.  $s = 0.8 \cdot r$  (gewalztes Profil  $r$  = 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 Flansches ist abhängig von der wirksamen T-Stummellänge  $\Sigma l_{eff}$ , 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.

### 7.3.1

## Berechnung der wirksamen Längen

Es wird zwischen der Berechnung der wirksamen Längen für ausgesteifte oder nicht ausgesteifte Stützenflansche (EC 3-1-8, Tab. 6.5 oder Tab. 6.4) und für Stirnbleche (EC 3-1-8, 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  $l_{eff,1} = l_{eff,nc} \leq l_{eff,cp}$  ... und ... Modus 2  $l_{eff,2} = l_{eff,nc}$  ... mit ...

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



## ▪ Schraubenreihe als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen

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

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

Der Beiwert  $\alpha$  wird EC 3-1-8, 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 (2 Schrauben je Reihe)  $n_b$   = 1: einzeln betrachtet  
☒ 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  $l_{eff,1} = l_{eff,nc} \leq l_{eff,cp}$  ... und ... Modus 2  $l_{eff,2} = l_{eff,nc}$  ... mit ...

- \* äußere Schraubenreihe  $l_{eff,cp} = \min(2 \cdot \pi \cdot m, \pi \cdot m_x + w, \pi \cdot m_x + 2 \cdot e)$   
 $l_{eff,nc} = \min(4 \cdot m_x + 1.25 \cdot e_x, e + 2 \cdot m_x + 0.625 \cdot e_x, 0.5 \cdot b_p, 0.5 \cdot w + 2 \cdot m_x + 0.625 \cdot e_x)$



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

$$L_b \leq L_b^* \quad \dots \text{mit} \quad L_b^* = \frac{8,8 \cdot m^3 \cdot A_s \cdot n_b}{\Sigma I_{\text{eff},1} \cdot t_f^3}$$

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

treten Abstützkräfte auf.

Wenn Abstützkräfte auftreten können, sind in EC 3-1-8, 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 .....  $F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}}{m + n}$
- Modus 3 .....  $F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd}$

### Verfahren 2 (alternativ)

- Modus 1 ohne Futterplatten  $F_{T,1,Rd} = \frac{(8 \cdot n - 2 \cdot e_{ww}) \cdot M_{pl,1,Rd}}{2 \cdot m \cdot n - e_{ww} \cdot (m + n)}$
- Modus 1 mit Futterplatten  $F_{T,1,Rd} = \frac{(8 \cdot n - 2 \cdot e_{ww}) \cdot M_{pl,1,Rd} + 4 \cdot n \cdot M_{bp,Rd}}{2 \cdot m \cdot n - e_{ww} \cdot (m + n)}$
- 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  $M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot \Sigma I_{\text{eff},1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$
- Modus 2  $M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot \Sigma I_{\text{eff},2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$
- Futterplatten  $M_{bp,Rd} = \frac{0,25 \cdot \Sigma I_{\text{eff},1} \cdot t_{f,bp}^2 \cdot f_{y,bp}}{\gamma_{M0}}$



## T-Stummel mit vier 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

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

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

Diese Vorgehensweise ist im vorliegenden Programm für den geschraubten Trägerstoß mit Stirnblech umgesetzt; sie gilt ebenso für Stützenflansche, die aus Wirtschaftlichkeitsgründen stets auszusteifen sind.

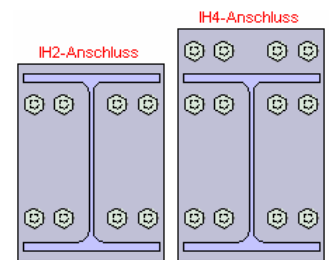


**Achtung! Die Anwendung der Methode ist (gegenwärtig noch) nicht durch Norm eingeführt.**

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)



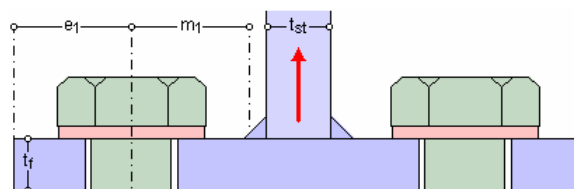
Analog zu den Anschlussgeometrien mit zwei Schrauben je Schraubenreihe werden die äquivalenten T-Stummel für vier Schrauben je Reihe gebildet.

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

$$s = 0,8 \cdot a_{st} \cdot \sqrt{2} \quad (\text{geschweißter T-Stummel})$$

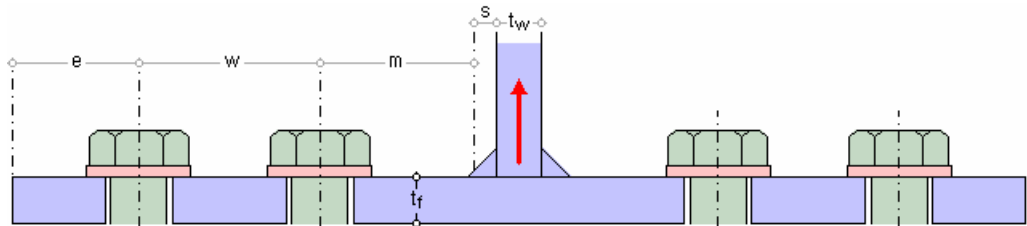
- Schweißnahtdicke  $a_{st}$  zwischen Steife (Trägerzugflansch) und Stirnblech
- Dicke  $t_{st}$  und Länge  $l_{st}$  der Zugsteife (Dicke und Breite des Trägerflanschs)
- Dicke  $t_f$  und Länge  $l_f$  des T-Stummelflanschs (Dicke  $t_p$  und Breite  $b_p$  des Stirnblechs bzw. des Stützenflanschs)





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  $\Sigma l_{eff}$ , 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.

## 7.4.1

### 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  $w_3 = e$ ,  $w_2 = w$ ,  $w_1 = b_p - 2 \cdot (w + e)$ ,  $m_s = m_2$ .

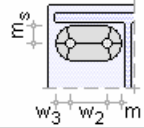
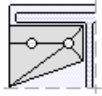
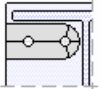
- Schraubenreihe einzeln betrachtet

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:*

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

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

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

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

### 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  $w_1 = b_p - 2 \cdot (w + e)$ ,  $w_3 = e$ ,  $w_2 = w$ ,  $m_x = m_1$ ,  $e_x = e_1$ .

- 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		$\pi \cdot m_x + w_2 + 2 \cdot e$			

## 7.4.2

### 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

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

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

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

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

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

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

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

$$\text{im Überstand} \quad F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m_x}$$

$$\text{in Flanschrichtung} \quad F_{T,1,F,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd} \cdot \delta_F}{m_s}$$

$$\leq \frac{2 \cdot (M_{pl,1,Rd} + M_{pl,1,st,Rd}) \cdot \delta_F}{m_s} \quad \dots \text{bei IH2-Anschlüssen}$$

$$\text{in Stegrichtung} \quad F_{T,1,S,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd} \cdot \delta_S}{m}$$

$$\Rightarrow F_{T,1,Rd} = F_{T,1,F,Rd} + F_{T,1,S,Rd}$$



- Modus 2

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

- Modus 3

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

### Verfahren 2 (alternativ)

- Modus 1

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

- Modi 2 und 3 s. Verfahren 1

Die Bemessungswerte der plastischen Momente in beiden Verfahren sind

$$\begin{aligned} \text{Modus 1} \quad \dots M_{pl,1,Rd} &= \frac{0.25 \cdot I_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{2} \\ \text{Modus 2} \quad \dots M_{pl,2,Rd} &= \frac{0.25 \cdot I_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{2} \\ &\dots \text{sowie} \quad \dots M_{pl,2,st,Rd} = \frac{0.25 \cdot I_{eff,2} \cdot t_{st}^2 \cdot f_{y,st}}{2} \quad \dots \text{bei IH2-Anschlüssen} \end{aligned}$$

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.

$$\begin{aligned} \max F_{T,Rd} &= (A_F + A_S) \cdot f_{y,st} / \gamma_{M0} \quad \dots \text{mit} \quad \dots A_F = b_{st} \cdot t_{st} \\ A_S &= I_{eff} \cdot \delta_S \cdot t_w \quad \dots \text{im Überstand} \quad A_S = 0 \end{aligned}$$



## 8 Allgemeines

### 8.1 Stahlsorten

In **pcae**-Programmen werden folgende typisierten Stahlsorten vorgehalten (s. EC 3-1-1, 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.

Stahlsorte	S 275	<input checked="" type="checkbox"/>	Vorgabe
char. Streckgrenze	$f_y$	275.0	N/mm <sup>2</sup>
char. Zugfestigkeit	$f_u$	430.0	N/mm <sup>2</sup>
E-Modul	E	210000	N/mm <sup>2</sup>
Korrelationsbeiwert	$\beta_w$	0.85	

Der E-Modul wird nur bei der Bemessung einer Schraubverbindung mit Bolzen, der Korrelationsbeiwert nur bei der Bemessung einer Schweißverbindung mit Kehlnähten relevant.

### 8.2 Ausdrucksteuerung

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

Zunächst kann eine maßstäbliche **grafische Darstellung** der Basisverbindung 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 Schrauben, Niete, Bolzen sowie der Stahlgüten aus; bei Aktivierung der **zusätzlichen Infos** werden zudem die Rechenparameter ausgegeben.

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

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

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

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

#### Ergebnisse

- ☐ ausführlich
- ☒ standard
- ☐ minimal

#### tabellarisch

- ☐ maßgebendes Lastkollektiv detailliert
- ☒ Lastkollektiv detailliert: Nr.
- ☐ keine detaillierte Ausgabe

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.

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

maßgebendes Lastkollektiv

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.

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

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.).

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

☐ Abschnittsnummerierung unterdrücken

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

Toleranz im Endergebnis  %



Zum Druckmanager und den dortigen Interaktionsmöglichkeiten sowie zu der zum Lieferumfang gehörenden **englischsprachigen** Druckdokumentenausgabe s. **DTE®-Handbuch**.

Beispielausdrucke finden Sie im Internet unter [www.pcae.de](http://www.pcae.de).

## 8.3

### ationale 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 (Beschreibung s. Handbuch **DTE®-DeskTopEngineering**). Einen direkten Zugang zu diesem Werkzeug liefert die kleine Schaltfläche hinter dem **Schraubenziehersymbol**.



**Normen**

- /1/ DIN EN 1990, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /2/ DIN EN 1990/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /3/ DIN EN 1991-1-2, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung EN 1991-1-2, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /4/ DIN EN 1991-1-2/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe September 2015
- /5/ DIN EN 1993-1-1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dez. 2010
- /6/ DIN EN 1993-1-1/A1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005/A1:2014, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Juli 2014
- /7/ DIN EN 1993-1-1/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dez. 2018
- /8/ DIN EN 1993-1-2, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung EN 1993-1-2, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /9/ DIN EN 1993-1-2/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /10/ DIN EN 1993-1-3, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-3: Allgemeine Regeln - Ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche; Deutsche Fassung EN 1993-1-3:2006 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /11/ DIN EN 1993-1-3/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-3: Allgemeine Regeln - Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /12/ DIN EN 1993-1-5, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile; Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017 + A2:2019, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Oktober 2019
- /13/ DIN EN 1993-1-5 Berichtigung 1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile; Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017 + A2:2019, Berichtigung 1, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Juli 2020
- /14/ DIN EN 1993-1-5/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /15/ DIN EN 1993-1-8, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /16/ DIN EN 1993-1-8/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe November 2020
- /17/ DIN EN 1993-1-9, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung; Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005 + AC:2009, Deutsches Institut für Nor-



mung e.V., Ausgabe Dezember 2010

- /18/ DIN EN 1993-1-9/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /19/ DIN EN 1993-6, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 6: Kranbahnen; Deutsche Fassung EN 1993-6:2007 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /20/ DIN EN 1993-6/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 6: Kranbahnen; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /21/ DIN EN 1999-1-1, Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln; Deutsche Fassung EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 + A2:2013, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe März 2014
- /22/ DIN EN 1999-1-1/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /23/ DIN 18800-1, Stahlbauten - Teil 1: Bemessung und Konstruktion; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe November 2008

### **Bemessung**

- /24/ E. Kahlmeyer, K. Hebestreit, W. Vogt: Stahlbau nach EC3, Bemessung und Konstruktion, Träger - Stützen - Verbindungen, 6. Auflage, Werner-Verlag, 2012
- /25/ R. Kindmann, M. Stracke: Verbindungen im Stahl- und Verbundbau, 3. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 2012
- /26/ R. Kindmann, M. Krüger: Stahlbau Teil 1: Grundlagen, 5. Aufl., Verl. Ernst & Sohn, 2013
- /27/ R. Kindmann: Stahlbau Teil 2: Stabilität und Theorie II. Ordnung, 4. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 2008
- /28/ R. Kindmann, J. Frickel: Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit, Grundlagen, Methoden, Berechnungsverfahren, Beispiele, Verlag Ernst & Sohn, 2002
- /29/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 1: Tragwerksplanung, Grundlagen, 5. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014
- /30/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 2: Verbindungen und Konstruktionen, 3. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2011
- /31/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 3: Komponentenmethode, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014
- /32/ D. Ungermann, K. Weynand, J.-P. Jaspart, B. Schmidt: Momententragfähige Anschlüsse mit und ohne Steifen, Stahlbau Kalender 2005, Verlag Ernst & Sohn, 2005
- /33/ D. Ungermann, S. Schneider: Stahlbaunormen DIN EN 1993-1-8: Bemessung von Anschlüssen, Stahlbau Kalender 2013, Verlag Ernst & Sohn, 2013
- /34/ D. Ungermann, M. Feldmann, O. Oberegge et.al.: 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, Deutscher Ausschuss für Stahlbau (DASt), Stahlbau Verlags- und Service GmbH, 2009
- /35/ Björn Schmidt: Zum Tragverhalten von geschraubten momententragfähigen Stirnplattenverbindungen mit 4 Schrauben in jeder Schraubenreihe, Dissertation, TU Dortmund, 2008
- /36/ Beispiele zur Bemessung von Stahltragwerken nach DIN EN 1993 Eurocode 3, bauforumstahl e.V., Verlag Ernst & Sohn GmbH & Co. KG
- /37/ K. Weynand, R. Oerder: Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach DIN EN 1993-1-8, Stahlbau Verlag- und Service GmbH, Gesamtausgabe 2013
- /38/ L. Nasdala, B. Hohn, R. Rühl: Bemessung von Stirnplattenanschlüssen mit elastomerer Zwischenschicht, Bauingenieur, Bd. 80, Dezember 2005
- /39/ Y. Ciupack, H. Pasternak: Thermisch getrennte Stirnplattenstöße, Bauingenieur, Bd. 88,



- /40/ Druckschrift Kerncompactlager, Calenberg Ingenieure GmbH, Salzhemmendorf, [www.calenberg-ingenieure.de](http://www.calenberg-ingenieure.de)
- /41/ ECCS Document No. 126: European Recommendations for the Design of Simple Joints in Steel Structures. ECCS TC10 - Structural Connections, 2009. J.P. Jaspart, J.F. Démonceau, S. Renkin, M.L. Guillaume
- /42/ D. Ungermann, R. Puthli, Th. Ummenhofer, K. Weynand: Eurocode 3, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Band 2: Anschlüsse, DIN EN 1993-1-8 mit Nationalem Anhang, Kommentar und Beispiele, 2015
- /43/ B. Braun, U. Kuhlmann: Bemessung und Konstruktion von aus Blechen zusammengesetzten Bauteilen nach DIN EN 1993-1-5, Stahlbau-Kalender 2009, Verlag Ernst & Sohn, 2009
- /44/ U. Kuhlmann, A. Zizza, B. Braun: Stahlbaunormen DIN EN 1993-1-5: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Plattenförmige Bauteile, Stahlbau Kalender 2012, Verlag Ernst & Sohn, 2012
- /45/ R. Timmers, G. Lener, F. Sinur, B. Kövesdi, R. Chacon: Stabilitätsnachweise nach EN 1993-1-5 - Theorie und Beispiele, Stahlbau-Kalender 2015, Verlag Ernst & Sohn, 2015
- /46/ M. Feldmann, U. Kuhlmann, M. Mensinger: Entwicklung und Aufbereitung wirtschaftlicher Bemessungsregeln für Stahl- und Verbundträger mit schlanken Stegblechen im Hoch- und Brückenbau: Forschungsbericht zum Forschungsvorhaben AiF Nr. 14771, Deutscher Ausschuss für Stahlbau (DASt), Stahlbau Verlag GmbH, 2008
- /47/ C. Seeßelberg: Kranbahnen, 4. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014
- /48/ A. Steurer: Das Tragverhalten und Rotationsvermögen geschraubter Stirnplattenverbindungen, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Zürich, Dezember 1999
- /49/ T. Laufs, C. Radlbeck: Aluminiumbau-Praxis nach Eurocode 9, Berechnung und Konstruktion, Bauwerk, Bauwerk, Beuth-Verlag GmbH, 2015
- /50/ J.-M. Franssen, P. Vila Real: Fire Design of Steel Structures, 2nd Edition, ECCS - European Convention for Constructional Steelwork, 2015
- /51/ DASt-Richtlinie 027: Ermittlung der Bauteiltemperatur feuerverzinkter Stahlbauteile im Brandfall, Ausgabe Nov. 2020
- /52/ M. Mensinger, M. Stadler: Brandschutznachweise, Workshop Eurocode 3 - Rechenbeispiele, 8. November 2008, München
- /53/ Berechnungsrichtlinie für die Querschnitts- und Stabbemessung nach Eurocode 3 mit Schwerpunkt auf semi-kompakten Querschnitten; TU Graz Institut für Stahlbau, Lessingstr. 25/38010 Graz
- /54/ W. Martin:  $\zeta$ -Werte für den Biegedrillknicknachweis von I-Profilen
- /55/ J. Lindner, J. Scheer, H. Schmidt: Stahlbauten, Erläuterungen zu DIN 18800 Teil 1 bis Teil 4, Beuth-Kommentare
- /56/ J. Lindner: Stabilisierung von Trägern durch Trapezbleche, Stahlbau 56 (1987), S. 9-15
- /57/ R. Puthli: Hohlprofilkonstruktionen im Geschossbau - Ausblick auf die europäische Normung, Stahlbau-Kalender 2002, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2002
- /58/ R. Puthli, R. Ummenhofer, J. Wardenier, I. Pertermann: Anschlüsse mit Hohlprofilen nach DIN EN 1993-1-8, Stahlbau-Kalender 2011, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2011
- /59/ J. Wardenier, Y. Kurobane, J.A. Packer, G.J. van der Vegte, X.-L. Zhao: Berechnung + Bemessung von Verbindungen aus Rundhohlprofilen unter vorwiegend ruhender Belastung, CIDECT 1, 2. Aufl. 2008/2011
- /60/ J.A. Packer, J. Wardenier, X.-L. Zhao, G.J. van der Vegte, Y. Kurobane: Anschlüsse mit rechteckigen Hohlprofilen unter vorwiegend ruhender Belastung, CIDECT 3, 2. Aufl. 2009/2012



Abkürzungen.....	3
Abscheren.....	77
Anhang nationaler.....	97
Anschlusskonfiguration.....	23, 64
Anschlussschnittgrößen.....	48
Anschlusstragfähigkeit.....	50
Äquivalenter T-Stummel.....	28
Basisverbindungen.....	81
Bauteil erzeugen.....	11
Beulnachweis.....	58
Biegetragfähigkeit plastische.....	67
blank.....	3
Cursor.....	3
Datenexport.....	15
Datenimport.....	15
Diagonalsteife.....	21, 58
Druckausgabe.....	30
Druckliste.....	96
DXF.....	14
Einwirkung.....	3
e-Mail.....	10
Englisch.....	97
Ergebnisübersicht.....	37
Export.....	15
Extremalbildungsvorschrift.....	3
Festigkeitsklasse.....	84
Flanschwinkel.....	74
Fließen.....	88
Fremdsprache.....	97
Futterblech.....	86
geschweißte Verbindung.....	46
Grundkomponente.....	16, 40
IH2.....	91
IH4.....	91
Import.....	15
Installation.....	9
Interaktion.....	59
Kehlnaht.....	85
Komponentenmethode.....	16, 41
Kontextsensitivität.....	10
Länge wirksame.....	88
Lastbild.....	3
Lastfall.....	3
Lastkollektiv.....	3
Linienquerschnitt.....	51
Lochleibung.....	77
Materialsicherheitsbeiwert.....	65
Modell statisches.....	64
Momententragfähigkeit.....	40
Nachweis.....	17, 50
Nachweisverfahren.....	50
Ordner.....	11
Plattenbeulen.....	58
Profil.....	19
Profilmanager.....	19
Querkrafttragfähigkeit plastische.....	75
Querschnittsflächen wirksame.....	59
Querschnittsklassifizierung.....	65
Querschnittsnachweis.....	50
Quersteife.....	72
Rahmenecke geschraubte.....	26
Rahmenecke geschweißte.....	25
Rotationsfeder.....	40
Rotationskapazität.....	40, 63
Rotationssteifigkeit.....	40, 62
Scherbeanspruchung.....	81
Schnittgrößenimport.....	33
Schnittgrößentransformation.....	48
Schraube.....	77, 84
Schraubengruppe.....	72, 73
Schraubenreihen.....	27
Schraubenverbindung.....	81
Schreibtisch.....	10
Schreibtischauswahl.....	9
Schubbeulen.....	59
Schubfeld.....	55
Schubfläche wirksame.....	65
Schweißnaht.....	51, 78
Schweißverbindung.....	85
Senkschraube.....	84
Spannungen reduzierte.....	61
Stahlgüte.....	15
Stahlsorte.....	15, 96
Startsymbol.....	9
Stegblech.....	20, 68, 69, 70
Stegsteife.....	20, 21, 53, 67
Steuerbutton.....	10
Stirnblech.....	26, 73, 89
Stirnblechverbindung geschraubte.....	41
Stumpfnah.....	86
Stützenflansch.....	71, 75
Stützensteg.....	68, 70
Stützenstegfeld.....	67
Teilrippe.....	53
Teilschnittgrößen.....	48
Teilsicherheitsbeiwert.....	15, 65
Trägerflansch.....	75
Trägersteg.....	68, 76
Tragfähigkeit Schraube.....	82
T-Stummel Zug.....	87
T-Stummel Zug Tragfähigkeit.....	90
T-Stummelflansch.....	71, 73
Verbindung geschweißte.....	46
Verfahren richtungsbezogenes.....	85
Verfahren vereinfachtes.....	85
Verstärkung.....	20
Vollrippe.....	54
Voute.....	46, 79
Widerstandsmoment plastisches.....	65
Zugbeanspruchung.....	81
Zugblech.....	25, 54