



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

Mail dte@pcae.de



4H-EC3IM

Typisierter IM-Anschluss

August 2022

4H-EC3IM

Typisierter IM-Anschluss

Copyright 2019-2022

2. erweiterte Auflage, August 2022

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**.

Von dort können zudem aktualisierte Programmversionen herunter geladen werden.

S. hierzu auch *automatische Patch-Kontrolle* im DTE[®]-System.

Produktbeschreibung

Das Programm *##-EC3IM*, Typisierter IM-Anschluss, berechnet momenten- und normalkrafttragfähige Trägerstöße und Träger-Stützenanschlüsse mit Stirnplatte, die im Ringbuch *Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach DIN EN 1993-1-8, Ergänzungsband 2018, Momententragfähige Anschlüsse IM*, verzeichnet sind.

Geometrie- und Materialparameter werden dem Ringbuch entnommen und nach der Komponentenmethode unter besonderer Beachtung der Momenten-Normalkraft-Querkraft-Interaktion ausgewertet.

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 ist. Daraus lassen sich die Momenten-, Normalkraft- und Querkrafttragfähigkeit des Anschlusses sowie seine Rotationssteifigkeit bestimmen.

Für geschraubte Stirnblechverbindungen sind die beteiligten Grundkomponenten im EC 3-1-8 aufgeführt und werden zur Berechnung verwendet. Da einzelne Grundkomponenten lastabhängig sind, werden für jede Bemessungsgröße die Grundkomponenten ausgewertet und die Tragfähigkeit und Rotationssteifigkeit des Anschlusses bestimmt.

Im Endergebnis werden die maximale Tragfähigkeit, die minimale Rotationstragfähigkeit sowie die maximale Verdrehung des Anschlussknotens angegeben.

Dem Ringbuch werden lediglich die Geometrie- und Materialparameter der Stirnblechverbindung entnommen; der Berechnungsablauf folgt der *pcae*-eigenen Vorgehensweise. Daher können Unterschiede zu den Ergebnissen aus dem Ringbuch auftreten, deren Ursachen auf Grund der unzureichenden Dokumentation des Ringbuchs nicht zu klären sind.

Mit dem Programm *##-EC3IM* besteht die Möglichkeit, dem Berechnungsablauf bis ins Detail zu folgen und die Tragfähigkeiten und Versagensmechanismen der Verbindung nachzuvollziehen.

Über den Datenexport kann der einfache Ringbuch-Anschluss in das wesentlich komplexere Programm *##-EC3BT*, Biegesteifer Trägeranschluss, übernommen und dort modifiziert werden.

Spezielle Leistungsmerkmale

- der Anschluss wird als geschraubte Stirnblechverbindung ausgeführt, deren Geometrie- und Materialdaten dem Ringbuch *Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach EC 3-1-8, Ergänzungsband 2018* entsprechen
- die Eingabe erfolgt in Anlehnung an die Vorgehensweise zur Auswahl eines geeigneten Anschlusses aus dem Ringbuch
- stehen mehrere Möglichkeiten zur Auswahl, kann die effizienteste Verbindung automatisch herausgesucht werden
- es werden entweder nur die maximalen Tragfähigkeiten / minimale Rotationssteifigkeit ermittelt oder es erfolgt der Nachweis der eingegebenen Lastkombinationen
- 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.
- die Schweißnähte zwischen Träger und Stirnblech werden über das Linienmodell mit dem richtungsbezogenen Verfahren nachgewiesen
- die Querschnittstragfähigkeit des Trägers wird mit dem Nachweisverfahren *Elastisch-Plastisch* nachgewiesen
- das Stützenprofil kann entweder dem *pcae*-eigenen Profilmanager entnommen oder als parametrisierter Querschnitt eingegeben werden. Es wird von einer durchlaufenden Stütze ausgegangen, die durch Stegsteifen verstärkt werden kann.
- die Ergebnisdarstellung am Bildschirm erfolgt sowohl in Kurzform in Anlehnung an das Ringbuch als auch lastfallweise in ausführlicherer Form zur besseren Einschätzung der Versagensform. In Kurzform werden die Tragfähigkeiten, in ausführlicher Form die Ausnutzungen je Lastfall angegeben.
- im Ausgabeprotokoll wird bei Bedarf der Rechenweg in ausführlicher Form dargestellt, so dass die Zahlenwerte nachvollzogen werden können. Natürlich kann das Statikdokument auch wesentlich reduziert werden.
- Export der Konstruktionszeichnung im DXF-Format zur Weiterbearbeitung in einem CAD-System

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 *##-EC3IM* 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 *##-EC3IM*-Dokumentation gehört neben diesem Manual das Handbuch

DTE[®]-DeskTopEngineering.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit *##-EC3IM*.

pcae GmbH

Hannover, im August 2022

Abkürzungen und Begriffe

Um die Texte zu straffen, werden folgende Abkürzungen benutzt:

RMT	rechte Maustaste drücken
LMT	linke Maustaste drücken
LF	Lastfall (Teileinwirkung)
Nwtyp	Nachweistyp
Gk	Grundkomponente
GZT	Grenzzustand der Tragfähigkeit
GZG	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit



signalisiert Anmerkungen

Buttons

Das Betätigen von Buttons wird durch Setzen des Buttoninhalts in **blaue Farbe** und die Auswahl eines Begriffs in einer Listbox durch diese **Farbe** symbolisiert.



Rot markierte Buttons bzw. Mauszeiger kennzeichnen erforderliche Eingaben bzw. anzuklickende Buttons.

Index

Indexstichworte werden im Text zum schnelleren Auffinden **grün markiert**.

Beim Verweis auf Eigenschaftsblätter wird deren *Bezeichnung kursiv gedruckt*.

Doppelklick

zweimaliges schnelles Betätigen der LMT

blank

Leerzeichen

Cursor

Schreibmarke in Texten, Zeigesymbol bei Mausbedienung

icon

oder Ikon, Piktogramm, Bildsymbol

Zur Definition der Begriffe **Lastbild**, **Lastfall**, **Einwirkung**, **Lastkollektiv** und **Extremalbildungsvorschrift** s. Handbuch das **pcae-Nachweiskonzept**, Theoretischer Teil.

Inhaltsverzeichnis

1	Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten	5
2	Bauteil erzeugen.....	7
3	Eingabeoberfläche.....	9
3.1	Anschlussparameter.....	11
3.1.1	Allgemeines.....	11
3.1.2	Material.....	11
3.1.3	Träger / Verbindung	11
3.1.4	Stütze	12
3.1.5	Verstärkungen	13
3.1.6	Bildschirmgrafik	13
3.2	Tragfähigkeiten.....	14
3.3	Schnittgrößen	16
3.3.1	Schnittgrößen importieren.....	17
3.3.1.1	Import bei Träger-Stützenanschlüssen.....	17
3.3.1.2	Import von einem Einzelschnitt bei Trägerstößen	21
3.4	Teilschnittgrößen	23
3.5	Ergebnisübersicht.....	24
3.6	Parameterbeschreibung	25
4	Biegesteifer Trägeranschluss	26
4.1	allgemeine Erläuterungen	26
4.2	Komponentenmethode	27
4.2.1	geschraubte Stirnblechverbindung.....	27
4.3	Nachweis der Schweißnähte.....	32
4.4	Nachweis der Stegsteifen.....	33
4.5	Rotationssteifigkeit	34
4.6	Rotationskapazität.....	36
5	Allgemeines zu Grundkomponenten	37
5.1	Grundidee.....	37
5.2	Anschlusskonfiguration	37
5.3	statisches Modell für Träger-Stützenanschlüsse	37
5.4	Berechnung allgemeiner Querschnittsgrößen.....	38
5.5	Klassifizierung von Querschnitten	38
5.6	Teilsicherheitsbeiwerte für Anschlüsse	38
5.7	Formelzeichen	39
6	Beschreibung der Grundkomponenten	40
6.1	Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung.....	40
6.1.1	Anwendungsvoraussetzung	40
6.1.2	Tragfähigkeit.....	40
6.1.3	Verstärkungen des Stützenstegs	40
6.2	Träger- oder Stützensteg mit Querdrukbeanspruchung.....	41
6.2.1	Anwendungsvoraussetzung	41
6.2.2	Tragfähigkeit.....	41
6.2.3	Verstärkungen des Stützenstegs	42
6.3	Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung.....	43
6.3.1	Anwendungsvoraussetzung	43
6.3.2	Tragfähigkeit.....	43
6.3.3	Verstärkungen des Stützenstegs	43
6.4	Stützenflansch mit Biegebeanspruchung.....	44
6.4.1	Anwendungsvoraussetzung	44
6.4.2	Tragfähigkeit einer geschweißten Verbindung.....	44
6.4.3	Tragfähigkeit einer geschraubten Verbindung	44
6.4.4	Verstärkungen des Stützenstegs	45
6.4.5	Schraubengruppe.....	45
6.4.6	Programmanwendung	46
6.5	Stirnblech mit Biegebeanspruchung	48
6.5.1	Anwendungsvoraussetzung	48

6.5.2	Tragfähigkeit.....	48
6.5.3	Schraubengruppe.....	48
6.5.4	Programmanwendung.....	49
6.6	Flanschwinkel mit Biegebeanspruchung.....	51
6.6.1	Anwendungsvoraussetzung.....	51
6.6.2	Tragfähigkeit.....	51
6.6.3	Flanschwinkel.....	51
6.6.4	Programmanwendung.....	52
6.7	Träger- oder Stützenflansch und -steg mit Druckbeanspruchung.....	53
6.7.1	Anwendungsvoraussetzung.....	53
6.7.2	Tragfähigkeit.....	53
6.8	Trägersteg mit Zugbeanspruchung.....	54
6.8.1	Anwendungsvoraussetzung.....	54
6.8.2	Tragfähigkeit.....	54
6.8.3	Träger.....	54
6.9	Schrauben mit Zugbeanspruchung.....	55
6.9.1	Anwendungsgrenzen.....	55
6.10	Schrauben mit Abscherbeanspruchung.....	55
6.10.1	Anwendungsgrenzen.....	55
6.11	Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung.....	55
6.11.1	Anwendungsgrenzen.....	55
6.12	Schweißnähte.....	56
6.12.1	Anwendungsgrenzen.....	56
6.12.2	Programmanwendung.....	56
7	Basisverbindungen.....	58
7.1	Tragfähigkeit von Schraubenverbindungen.....	58
7.1.1	Schrauben.....	58
7.1.2	Berechnung der Tragfähigkeiten von Schrauben.....	59
7.1.2.1	Rechenparameter Schrauben.....	61
7.2	Tragfähigkeit von Schweißverbindungen.....	62
7.2.1	Kehlnähte.....	62
7.2.2	Stumpfnähte.....	63
7.2.3	Anordnung von Futterblechen.....	63
7.3	Äquivalenter T-Stummel mit Zugbeanspruchung.....	64
7.3.1	Berechnung der wirksamen Längen.....	65
7.3.2	Tragfähigkeit.....	67
7.4	T-Stummel mit vier Schrauben je Schraubenreihe.....	68
7.4.1	B. Schmidt	68
7.4.1.1	Berechnung der wirksamen Längen.....	69
7.4.1.2	Tragfähigkeit.....	71
7.4.2	AIF-Bericht 15059.....	73
7.4.3	G. Wagenknecht.....	74
8	Allgemeines.....	75
8.1	Stahlsorten.....	75
8.2	Ausdrucksteuerung.....	75
8.3	nationale Anhänge zu den Eurocodes.....	76
9	Literaturverzeichnis.....	77
10	Index.....	80

1 Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten

Die Installation des DTE®-Systems und das Überspielen des Programms *##-EC3IM* 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. 7 weiter.

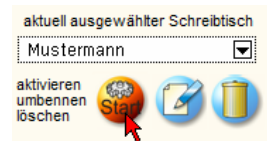


Nach erfolgreicher Installation befindet sich das DTE®-**Startsymbol** auf Ihrer Windowsoberfläche. Führen Sie bitte darauf den Doppelclick aus.

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.

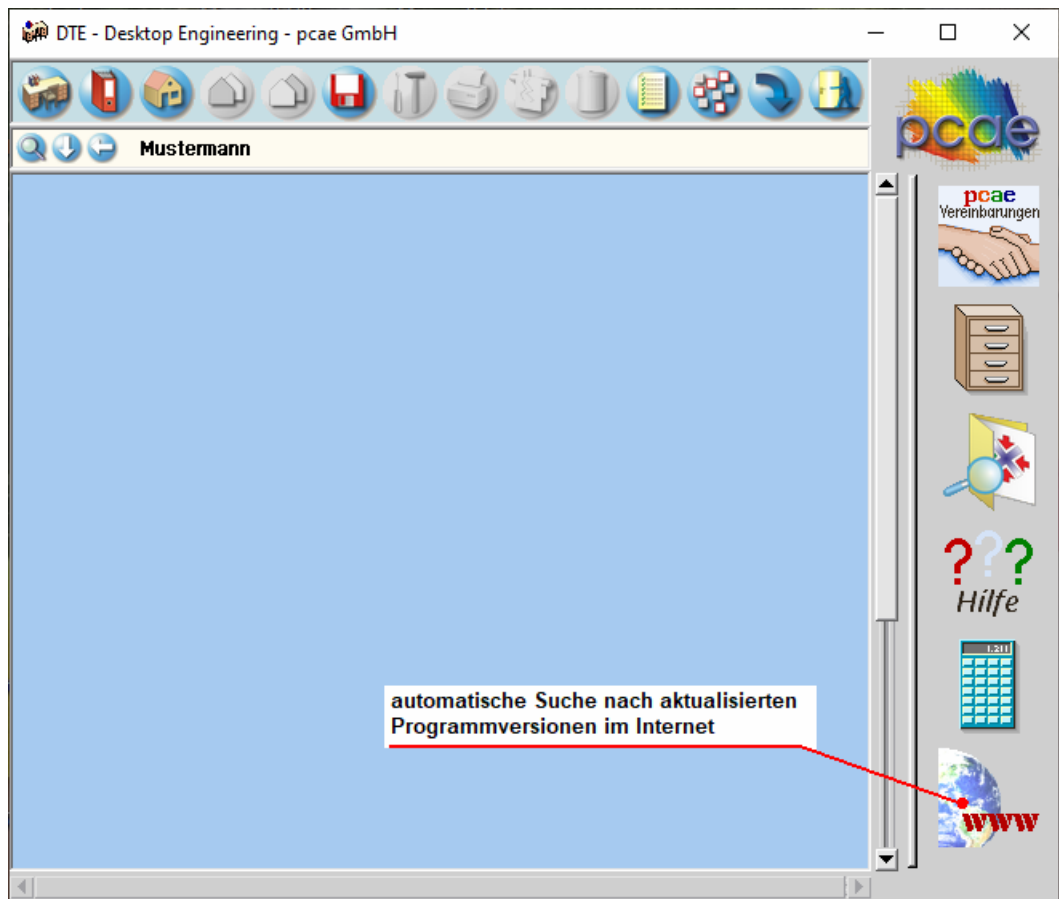


Nach Bestätigen über das **Hakensymbol** erscheint wieder die Schreibtischauswahl, in die der neue Name bereits eingetragen ist. Drücken Sie auf **Start** und die DTE®-Schreibtischoberfläche erscheint auf dem Bildschirm.

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 Schreibtisches 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 e-Mail-Dienst . |
|  | menügesteuerte Bearbeitung des aktivierten Bauteils |
|  | druckt die Datenkategorien des aktivierten Bauteils |
|  | ruft das Planerstellungsmodul 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.



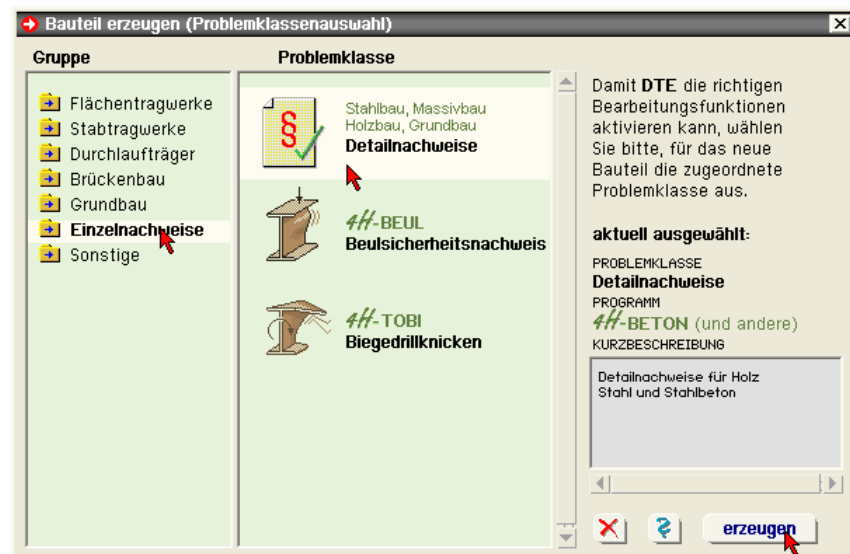
Aus dem Eintrag in der Schreibtischkopfzeile ist zu erkennen, in welchem Ordner sich die Aktion aktuell befindet.



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



Zur Erzeugung eines neuen Bauteils wird das Schnellstartsymbol in der Kopfleiste des DTE®-Schreibtisches 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.

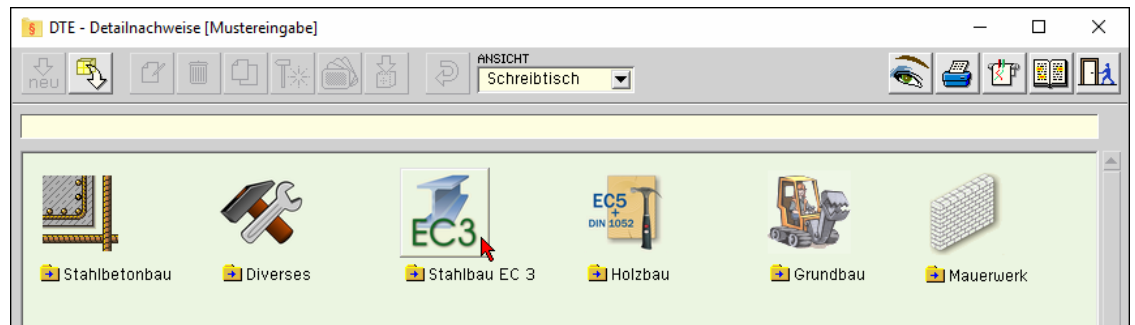


Nach Doppelklicken des neuen Bauteilicons erscheint die Übersicht der installierten Detailnachweisprogramme.

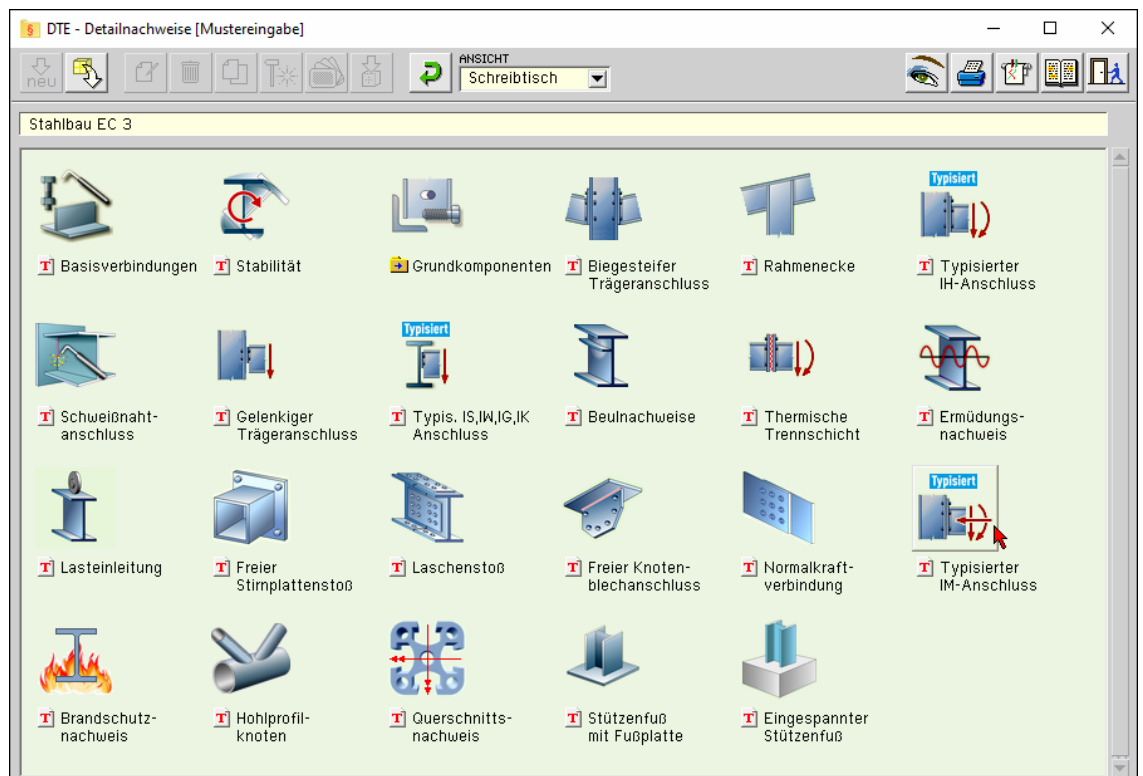


Überschreiben Sie den Begriff *Detailnachweise* zur Identifikation durch einen sinnvollen Text. Nach **Bestätigen** ist das Bauteil mit dem neuen Namen eingerichtet. Durch Doppelklicken des neuen Symbols wird die Verwaltung der DTE®-Detailnachweise geöffnet.

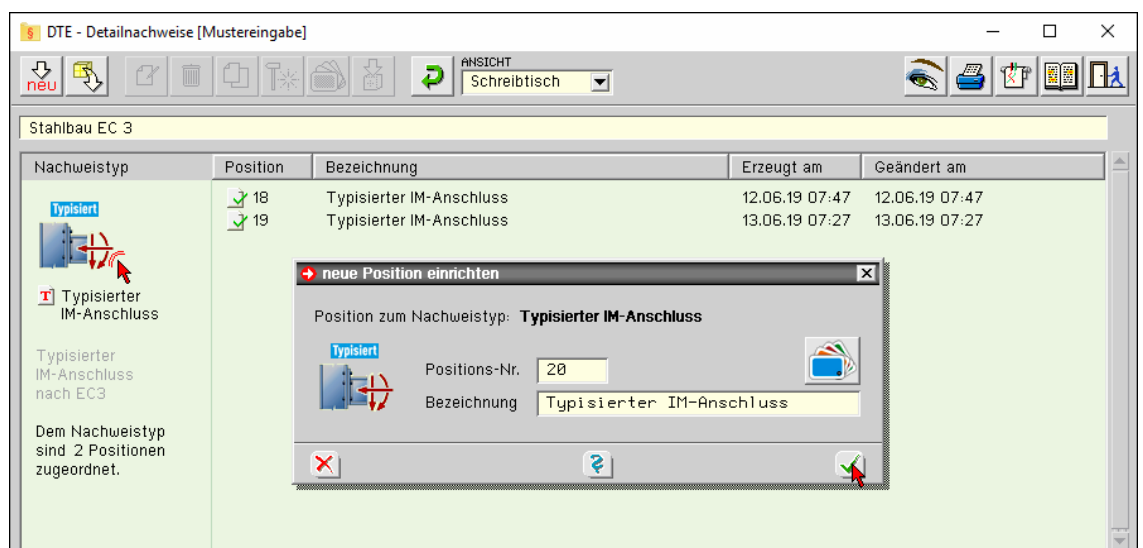
Übersicht Detailnachweise



Übersicht EC 3- Programme



Typisierter IM-Anschluss



Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts *neue Position einrichten* erscheint die Eingabeoberfläche des Programms *Typisierter IM-Anschluss*.

Eingabeoberfläche



Nachfolgend ist das Hauptfenster von *4H-EC3IM* dargestellt.

4H-EC3 - Typisierte IM-Verbindung [Position 1: 2 Schrauben (Träger-Stütze)]

Verbindung ☐ Trägerstop ☒ Träger-Stütze nur für Konfigurationen mit 2 Schrauben je Reihe

Stahlfestigkeit ☒ S 235 ☐ S 355

Schraubenfestigkeit ☐ Fk 8.8 ☒ Fk 10.9

effiziente Verbindung suchen aus aktueller Auswahl

Daten nach *4H-EC3BT²* exportieren

Gesamtangebot

Anschluss gespiegelt ☐

Maximale Ausnutzung aus allen Lastkombinationen $U_{max} = 1.670 > 1$ Fehler !!

Träger / Verbindung

Nr.	Profilreihe	Nennhöhe	Schraube	Anordnung	t _p	b _p	h _p	e ₁	p _{1,1}	p _{1,2}	p _{1,3}	u ₁	w	a _f	a _w
					mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
<input type="radio"/> 10759	HEA	240	M 24		30	240	350	55	110	110		105	130	6	4
<input checked="" type="radio"/> 10760					30	240	440	55	110	110	110	105	130	6	4
<input type="radio"/> 10761					25	240	350	55	110	110		105	130	6	4
<input type="radio"/> 10762					25	240	440	55	110	110	110	105	130	6	4
<input type="radio"/> 10763					20	240	350	55	110	110		105	130	6	4
<input type="radio"/> 10764					20	240	440	55	110	110	110	105	130	6	4
<input type="radio"/> 10768					20	240	260	75	110			15	130	4	4
<input type="radio"/> 10769					25	240	260	75	110			15	130	5	4

Stütze

☒ Profil aus Profilmanager

☐ parametrisiertes Stahlprofil

Profilname HE280A

☒ Verstärkung des Profils durch Stegsteifen

Mit dem Programm *Typisierter IM-Anschluss* können geschraubte Stirnblechverbindungen des Ringbuchs *Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach EC 3-1-8, Ergänzungsband 2018* als biegesteife Träger-Stützenanschlüsse oder Trägerstöße mit Doppel-T-Querschnitten nachgewiesen werden.

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



Bemessungsschnittgrößen (s. Abs. 3.3, S. 16)

Im ersten Registerblatt wird festgelegt, ob nur Tragfähigkeiten ermittelt oder Schnittgrößen ausgewertet werden sollen. Die Schn. 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.



Anschlussparameter (s. Abs. 3.1, S. 11)

Im zweiten Registerblatt werden aus der Ringbuch-Datenbank die Anschlussparameter ausgewählt und am Bildschirm dargestellt.

Die Anschlussart, die Stahl- und die Schraubengüte werden festgelegt. Die Verbindung wird zur visuellen Kontrolle maßstäblich am Bildschirm dargestellt. Die maximale Ausnutzung aus allen Lastkombinationen wird protokolliert.



Tragfähigkeiten (s. Abs. 3.2, S. 14)

Die Tragfähigkeiten der Verbindung werden im dritten Registerblatt für jede Lastkombination ausgewiesen.

Die Verbindung wird zur visuellen Kontrolle maßstäblich am Bildschirm dargestellt. Die maximale Ausnutzung aus allen Lastkombinationen wird protokolliert.



Ergebnisübersicht (s. Abs. 3.5, S. 24)

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



nationaler Anhang (s. Abs. 8.3, S. 76)

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. 75)

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 Anschlussparameter



Register 2 (Abb. s. S. 9) enthält Angaben zu den Anschluss- und Materialparametern.

3.1.1 Allgemeines

Das Programm *##-EC3IM* berechnet biegesteife Trägerstöße und Träger-Stützenanschlüsse von Doppel-T-Profilen, die im Ringbuch *Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau, Ergänzungsband 2018* verzeichnet sind.

► Daten nach *##-EC3BT*² exportieren Die Eingabedaten können in das Programm *##-EC3BT*, Biegesteifer Trägeranschluss, (ab V. 2019) übertragen werden.

Dazu ist der aktuelle Datenzustand über den Button **Daten exportieren** in die Zwischenablage zu kopieren. Diese Daten können anschließend über den Button **Daten importieren** aus der Zwischenablage in das aktuell geöffnete Bauteil des Programms *##-EC3BT* übernommen werden.

3.1.2 Material

Das Programm ist in direkter Anlehnung an die Vorgehensweise zur Anwendung des Ringbuchs konzipiert.

Dazu sind zunächst die Verbindungsart (**Trägerstoß** oder **Träger-Stütze**), die Stahlfestigkeit (**S 235** oder **S 355**) und die Schraubenfestigkeitsklasse (**Fk 8.8** oder **Fk 10.9**) festzulegen.

Verbindung	<input type="radio"/> Trägerstoß	<input checked="" type="radio"/> Träger-Stütze	nur für Konfigurationen mit 2 Schrauben je Reihe
Stahlfestigkeit	<input checked="" type="radio"/> S 235	<input type="radio"/> S 355	
Schraubenfestigkeit	<input type="radio"/> Fk 8.8	<input checked="" type="radio"/> Fk 10.9	

Träger-Stütze-Verbindungen können nur für Konfigurationen mit zwei Schrauben je Schraubenreihe berechnet werden. Es wird stets von HV-Schrauben ausgegangen. Jedem Verbindungselement wird dasselbe Material zugeordnet.

3.1.3 Träger / Verbindung

Bei der Eingabe des Trägers und der Anschlussparameter ist analog zum Ringbuch vorzugehen, wobei das Programm die Eingabemöglichkeiten farblich unterstützt.

Zunächst ist die Profilreihe vorzugeben. In blau sind Profile der IPE-Reihe, in grün die Profile der HE-Reihe aufgelistet.

Die Nennhöhe der Profile berücksichtigt die im Ringbuch aufgeführten Kombinationen. In schwarz sind die Nennhöhen dargestellt, die für beide Profilreihen gelten, in blau und grün diejenigen, die nur für die IPE- bzw. HE-Reihe gelten.

Die Schraubengrößen, die für die Anschlusskonfigurationen des ausgewählten Profils nicht verfügbar sind, werden in der Liste rot markiert und können nicht ausgewählt werden.

Ebenso berücksichtigt die Symbolliste der möglichen Schraubenbilder die bisher vorgegebenen Einstellungen. Die Anordnung, die in der Datenbank nicht vorhanden ist, ist rot markiert und kann nicht ausgewählt werden.

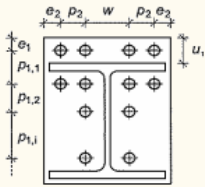
Nr.	Profilreihe	Nennhöhe	Schraube	Anordnung
<input type="radio"/> 10759	HEA	240	M 24	
<input checked="" type="radio"/> 10760	IPE	80	M 12	
<input checked="" type="radio"/> 10761	HEAA	100	M 16	
<input type="radio"/> 10762	HEA	120	M 20	
<input type="radio"/> 10763	HEB	140	M 22	
<input type="radio"/> 10764	HEM	160	M 24	
<input type="radio"/> 10765		180	M 27	
<input type="radio"/> 10766		200	M 30	
<input type="radio"/> 10767		220	M 36	
<input type="radio"/> 10768		240		
<input type="radio"/> 10769		260		
		270		
		280		



Eine Schraubenanordnung mit vier Schrauben in einer Reihe kann nur für Trägerstöße verwendet werden.

Alle Einträge der Ringbuchdatenbank, die zu der gewählten Konfiguration passen, werden mit Nummer und Parametern am Bildschirm dargestellt.

Nr.	t_p	b_p	h_p	e_1	$p_{1,1}$	$p_{1,2}$	$p_{1,3}$	u_1	w	a_f	a_w
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
○ 10759	30	240	350	55	110	110		105	130	6	4
⊙ 10760	30	240	440	55	110	110	110	105	130	6	4
○ 10761	25	240	350	55	110	110		105	130	6	4
○ 10762	25	240	440	55	110	110	110	105	130	6	4
○ 10763	20	240	350	55	110	110		105	130	6	4
○ 10764	20	240	440	55	110	110	110	105	130	6	4
○ 10768	20	240	260	75	110			15	130	4	4
○ 10769	25	240	260	75	110			15	130	5	4



mit t_p , b_p , h_p Dicke, Breite, Höhe der Stirnplatte und a_f , a_w Schweißnahticken am Flansch und Steg des Trägers

☐ einseit. Überstand
 ☒ ohne Überstand
 ☐ einseit. Überstand
 ☐ beidseit. Überstand
 ☐ Gesamtangebot

Aus der ggf. langen Liste möglicher Anschlusskonfigurationen können die Verbindungen bzgl. ihrer Überstände selektiert werden.

Es werden nur Konfigurationen angezeigt, die der gewählten Bedingung genügen.

☐ Anschluss gespiegelt

Für Anschlüsse mit nur einem Überstand oder mit unsymmetrischen Schraubenbildern wurde die Option vorgesehen, den Anschluss zu spiegeln.

Aus der am Bildschirm dargestellten Verbindungsauswahl ist eine passende Wahl zu treffen.

Das Programm bietet die Möglichkeit, die effiziente Verbindung (bzgl. der maximalen Ausnutzung) aus der aktuellen Auswahl zu suchen, wenn Schnittgrößen eingegeben wurden (s. Reg. 1, Abs. 3.3, S. 16).

☒ effiziente Verbindung suchen
aus aktueller Auswahl

Wird der Button **effiziente Verbindung suchen** betätigt, werden für die eingegebenen Lastkombinationen die maximalen Ausnutzungen jeder Verbindung aus der Auswahl-liste berechnet und verglichen. Die Verbindung mit $U_{\max} \leq 1$ wird als 'effiziente Verbindung' aktiviert.

☒ Tragfähigkeiten anzeigen
der gewählten Konfiguration

Sind keine Schnittgrößen vorgegeben, kann die Tragfähigkeit der gewählten Verbindung, die in Reg. 3 (Abs. 3.2, S. 14) explizit dargestellt ist, an dieser Stelle über den Button **Tragfähigkeit anzeigen** für die gewählte Konfiguration abgerufen werden.

Maximale Ausnutzung
aus allen Lastkombinationen
 $U_{\max} = 0.932 \leq 1$ o.k.

Sind Schnittgrößen vorgegeben, wird die maximale Ausnutzung für die gewählte Konfiguration am Bildschirm angezeigt.

3.1.4

Stütze

Wird eine Träger-Stütze-Verbindung nachgewiesen, können die Parameter des Stützenprofils ohne Einschränkungen eingegeben werden. Der Querschnitt kann entweder über den **pcae**-eigenen Profilmanager in das Programm importiert oder als parametrisiertes Stahlprofil eingegeben werden.

Um ein Profil aus dem Angebot des **Profilmanagers** zu wählen, ist der grün unterlegte Pfeil zu betätigen.

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

Das externe Programm wird aufgerufen und ein Profil kann aktiviert werden. Bei Verlassen des Profilmanagers werden die benötigten Daten übernommen und der Profilname protokolliert.

☒ Profil aus Profilmanager
☐ parametrisiertes Stahlprofil

I-Profil

Profilname HE400A

Zur Definition eines **parametrisierten Profils** sind Profilhöhe, Stegdicke, Flanschbreite und -dicke festzulegen.

Bei gewalzten Profilen wird der Ausrundungsradius r zwischen Flansch und Steg geometrisch berücksichtigt, während geschweißte Blechprofile mit Schweißnähten der Dicke a zusammengefügt sind.

Diese Schweißnähte werden **nicht** nachgewiesen.

☐ Profil aus Profilmanager
☒ typisiertes Stahlprofil

Profilklasse	H-Profil	
Profilhöhe	h	390.0 mm
Stegdicke	t_w	11.0 mm
Flanschbreite	b_f	300.0 mm
Flanschdicke	t_f	19.0 mm
<input checked="" type="radio"/> gewalztes Profil		
Ausrundungsradius	r	27.0 mm
<input type="radio"/> geschweißtes Profil		

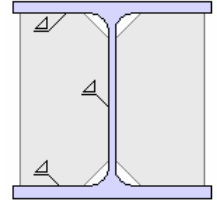
3.1.5

Verstärkungen

Stützenprofile können zur Verstärkung des Stegs mit Stegsteifen ausgeführt werden.

Stegsteifen (Rippen) werden beidseitig des Stegs zwischen die Flansche eingepasst und an Flansche und Steg der Stütze angeschweißt.

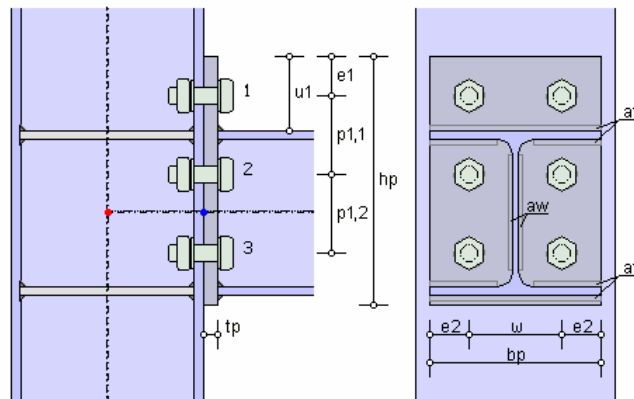
Zur Bemessung der Stegsteifen s. Abs. 4.4, S. 33.



3.1.6

Bildschirmgrafik

Am Bildschirm werden die geometrischen Daten ausgewertet und der Anschluss in einer maßstäblichen Grafik dargestellt. Die protokollierten Abstände sind bezeichnet.



Lastangriffspunkte, in denen die Schnittgrößen wirken (s. Reg. 1 Abs. 3.3, S. 16), sind in rot (Knotenlasten) und blau (Anschlusslasten) gekennzeichnet.



Im Register 3 werden die Tragfähigkeiten des Anschlusses tabellarisch dargestellt.

4H-EC3 - Typisierte IM-Verbindung [Position 1: 2 Schrauben (Träger-Stütze)]

Verbindung: Träger-Stütze Stützenprofil: HE280A
 Stahlfestigkeit: S 235 ☒ Verstärkung des Profils durch Stegsteifen
 Schraubenfestigkeit: 10.9

Maximale Ausnutzung
 aus allen Lastkombinationen
 $U_{\max} = 1.670 > 1$ Fehler !!

Tragfähigkeiten / Rotationssteifigkeit / Ausnutzung

Lk	Profilreihe	Nennhöhe	Schraube	Anordnung	$M_{o,Rd}$ kNm	$M_{j,Rd}$ kNm	$N_{jt,Rd}$ kN	$N_{jo,Rd}$ kN	$V_{j,Rd}$ kN	$S_{j,Rd}$ MNm/rad	U	
1	HEA	240	M 24		168.0	101.2	409.4	432.4	63.9	26.55	0.750	o.k.
2					166.7	100.2	403.2	432.4	79.1	7.69	1.184	Fehler
3					167.9	97.4	386.4	432.4	148.8	27.88	0.359	o.k.
4					168.2	101.5	411.3	432.4	96.3	27.88	0.421	o.k.
5					167.2	98.8	394.6	432.4	95.6	18.65	0.851	o.k.
6					168.5	99.8	400.9	432.4	56.1	27.88	0.140	o.k.
7					166.8	100.0	402.1	432.4	96.6	13.31	0.968	o.k.
8					164.8	100.1	402.5	432.4	88.0	3.90	1.525	Fehler
9					164.5	100.1	402.3	432.4	82.6	3.04	1.670	Fehler
10					168.5	109.1	457.6	432.4	5.4	27.88	0.152	o.k.
11					168.5	108.0	451.0	432.4	18.0	27.88	0.115	o.k.
12					168.1	101.2	409.4	432.4	66.0	27.88	0.684	o.k.
13					168.0	97.8	388.8	432.4	131.3	27.88	0.385	o.k.
14					168.2	101.4	410.6	432.4	86.5	27.88	0.465	o.k.
15					167.9	98.9	395.4	432.4	91.9	27.88	0.604	o.k.
16					168.5	99.5	398.8	432.4	67.7	27.88	0.104	o.k.
17					167.0	100.1	402.3	432.4	91.9	13.39	0.966	o.k.
18					166.4	100.2	403.3	432.4	77.8	6.02	1.296	Fehler
19					167.7	99.1	396.2	432.4	88.5	27.88	0.687	o.k.

Die Ausgabe erfolgt in direkter Anlehnung an das Kapitel *Momententragfähige Trägerstöße und Träger-Stützenanschlüsse mit Stirnplatte* des Ringbuchs *Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach EC 3-1-8, Ergänzungsband 2018*.

Die Berechnung hingegen basiert auf der Vorgehensweise, die im **pcae**-Modul **##-EC3BT** für biegesteife Träger-Stützenanschlüsse und Trägerstöße verwendet wird.

Der Rechenablauf für geschraubte Stirnblechanschlüsse wird im Kapitel *Komponentenmethode* (Abs. 4.2, S. 27) beschrieben.

Die Rotationssteifigkeit (Abs. 4.5, S. 34) der Verbindung wird ermittelt, und der Querschnittsnachweis des Trägers wird geführt.

Voraussetzungen

- geschraubter Stirnblechanschluss
- Träger: keine Vouten, keine Neigung, typisiertes Profil der IPE- oder HE-Reihen
- Stütze: keine Stegblechverstärkung, kein Futterblech
- horizontale Steifen in Höhe des oberen und unteren Trägerflanschs als zwischenliegende Steifen, Dicke der Steifen entspricht der Flanschdicke des Trägers, Breite der Steifen entspricht mindestens der Flanschbreite des Trägers, Schweißnahtdicken entsprechen der Nahtdicke zwischen Trägerflansch und Kopfplatte
- Schnittgrößen: Druckspannung im Stützensteg $\sigma_{\text{com,wc}} \leq 0.7 \cdot f_{y,wc}$, Übertragungsbeiwert $\beta = 1$
- Schrauben: vorgespannt
- Querschnittsnachweis: *Elastisch-Plastisch*, Biege- und Querkrafttragfähigkeit mit der Komponentenmethode: Schraubengruppen nur bei Anschlüssen mit zwei Schrauben je Reihe, MN-Interaktion nach *Cerfontaine*, Querkrafttragfähigkeit mit vereinfachter Berechnung, Schweißnachweis: richtungsbezogenes Verfahren, Nachweis der Steifen
- Bedingung: $V_{Ed} \leq 0.5 \cdot V_{pl,Rd}$

Es wird unterschieden, ob lediglich Tragfähigkeiten ermittelt oder Nachweise für eingeegebene Schnittgrößenkombinationen (Abs. 3.3, S. 16) geführt werden.

Tragfähigkeiten / Rotationssteifigkeit							
Nr.	$M_{o,Rd}$	$M_{j1,Rd}$	$M_{j2,Rd}$	$N_{jt,Rd}$	$N_{jc,Rd}$	$V_{j,Rd}$	$S_{j,ini}$
	kNm	kNm	kNm	kN	kN	kN	MNm/rad
10106	82.9	35.6	24.3	186.2	267.9	129.9	12.39

Sind keine Schnittgrößen vorgegeben, werden neben der plastischen Momententragfähigkeit des Trägerquerschnitts $M_{o,Rd}$ der Bemessungswert der Momententragfähigkeit $M_{j1,Rd}$ bei positivem Moment, $M_{j2,Rd}$ bei negativem Moment, die Zugtragfähigkeit (ohne Biegung) $N_{jt,Rd}$, die Drucktragfähigkeit $N_{jc,Rd}$, die Querkrafttragfähigkeit $V_{j,Rd}$ und die Anfangsrotationssteifigkeit $S_{j,ini}$ angezeigt.

Tragfähigkeiten / Rotationssteifigkeit / Ausnutzung							
Lk	$M_{o,Rd}$	$M_{j,Rd}$	$N_{jt,Rd}$	$N_{jc,Rd}$	$V_{j,Rd}$	$S_{j,Rd}$	U
	kNm	kNm	kN	kN	kN	MNm/rad	-
1	82.9	34.1	126.2	156.9	129.9	11.00	0.122 o.k.
2	82.1	25.1	155.7	133.9	53.1	2.29	1.028 Fehler

Sind Schnittgrößen vorhanden, werden die zur betrachteten Lastkombination zugehörigen Tragfähigkeiten sowie - anstelle der Anfangsrotationssteifigkeit $S_{j,ini}$ - die vorhandene Rotationssteifigkeit $S_{j,Rd}$ angegeben.

Außerdem wird die Ausnutzung U je Lastkombination angezeigt. Fehler werden markiert.

Maximale Ausnutzung
aus allen Lastkombinationen
 $U_{max} = 1.028 > 1$ Fehler !!

Sind Schnittgrößen vorgegeben, wird die maximale Ausnutzung am Bildschirm angezeigt.

Zur Information wird der Anschluss in einer maßstäblichen Grafik dargestellt (s.a. Reg. 2 Abs. 3.1.6, S. 13).



Das erste Register beinhaltet die Masken zur Eingabe der **Bemessungsschnittgrößen**.

4H-EC3 - Typisierte IM-Verbindung [Position 1: 2 Schrauben (Träger-Stütze)]

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)

☐ Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung senkrecht zur Anschlussebene (EC3-KoS)

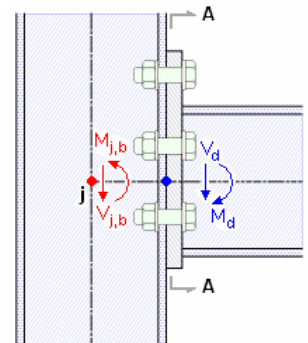
☐ keine Schnittgrößen, nur Tragfähigkeiten ermitteln

Schnittgrößen aus Bauteil importieren Schnittgrößen aus Text-Datei einlesen Tabelle löschen

Zeile löschen Zeile duplizieren neue Zeile anfügen

Träger, Knoten				Bezeichnung
	$N_{j,b,Ed}$ kN	$M_{j,b,Ed}$ kNm	$V_{j,b,Ed}$ kN	
1	-15.63	-76.27	43.37	
2	-31.39	-122.52	84.96	
3	-14.97	-39.91	48.47	
4	-8.00	-44.37	36.57	
5	-29.22	-89.61	73.99	
6	-4.02	-14.16	7.17	
7	-26.59	-102.02	84.67	
8	-41.23	-159.20	121.63	
9	-45.53	-173.45	125.19	
10	3.42	14.32	0.73	
11	1.92	10.68	1.85	
12	-14.23	-69.74	40.86	
13	-15.24	-42.10	45.95	
14	-9.14	-48.47	36.33	
15	-20.33	-63.37	50.48	
16	-3.17	-10.59	6.38	
17	-26.30	-101.25	80.43	
18	-34.22	-133.92	91.46	
19	-22.61	-71.81	55.26	

- Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen (Statik-KoS)**
 Vorzeichendefinition der Statik (positive Normalkraft bedeutet Zug, positives Biegemoment erzeugt unten Zug)
 Das Vorzeichen der Trägerquerkraft ist bei negativem Schnittufer zu invertieren
- Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung bezogen auf die Systemachsen (Statik-KoS)**
 Vorzeichendefinition der Statik (positive Normalkraft bedeutet Zug, positives Biegemoment erzeugt unten Zug)
 Das Vorzeichen der Trägerquerkraft ist bei negativem Schnittufer zu invertieren
- Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung senkrecht zur Anschlussebene**
 Vorzeichendefinition des EC 3-1-8 (positive Normalkraft bedeutet Druck, positives Biegemoment erzeugt oben Zug)
- ☐ keine Schnittgrößen, nur Tragfähigkeiten ermitteln



Das Programm *4H-EC3IM* 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. Das Vorzeichen der Querkraft ist in Abhängigkeit der Definition des **Schnittufers** in der Tragwerksbemessung ggf. zu invertieren!
- 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. Entspricht die Vorzeichendefinition der Statik, ist die Querkraft in Abhängigkeit der Definition des Schnittufers in der Tragwerksbemessung ggf. zu invertieren (s.o.)!

Es werden Trägerschnittgrößen eingegeben.

Bei einseitigem Anschluss wirken die T. rechts (s. Grafik Schnitt A-A, im EC 3-1-8 mit 1 bezeichnet) vom Anschlusspunkt.

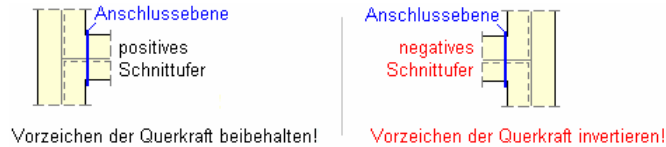
Zur Identifikation kann jeder Schnittgröße eine Bezeichnung (Kurzbeschreibung) zugeordnet werden, die im Ausdruck aufgeführt wird.

Träger, Anschnitt		
$N_{d,Ed}$ kN	$M_{d,Ed}$ kNm	$V_{d,Ed}$ kN
0.00	50.00	40.00
30.00	50.00	40.00

Die Schnittgrößen werden in die intern verwendeten Bemessungsgrößen (s. Abs. 3.4, S. 23) transformiert.

Vorzeichen der Querkraft

Bei negativem Schnittufer ist das Vorzeichen der Querkraft zu invertieren. Dies gilt z.B. bei einem Träger, der im Tragwerks-Programm von links nach rechts beschrieben wurde (gestrichelte Linie unterhalb der Systemlinie) und dessen Anschluss an die Stütze sich rechts befindet.



3.3.1

Schnittgrößen importieren

Detailnachweisprogramme zur Bemessung von Anschlüssen (Träger/Stütze, Träger/Träger), 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 an 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.



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[®]-Import-Werkzeugs ist, dass sich ein **pcae**-Programm auf dem Rechner befindet, das Ergebnisdaten exportieren kann.

Die Importschnittgrößen werden nur im Statik-Koordinatensystem übertragen (s.o.).

3.3.1.1

Import 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.

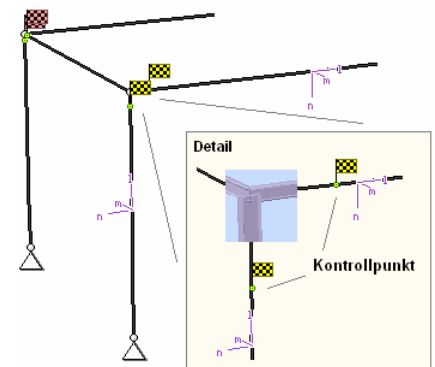
Zunächst sind im exportierenden *4H*-Programm (z.B. *4H*-FRAP, *4H*-NISI) die Stellen zu kennzeichnen, deren Schnittgrößen beim nächsten Rechenlauf exportiert, d.h. für den Import bereitgestellt, werden sollen.

Um sinnvoll einen Träger-Stützenanschluss nachzuweisen, 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 einen Träger-Stützenanschluss 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®-Handbuch.



Nach einer Neuberechnung des Rahmens stehen die Exportschnittgrößen dem aufnehmenden *4H*-Programm (z.B. *4H*-EC3BT, *4H*-EC3RE, *4H*-EC3IM ...) 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. Sind die Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen gegeben, werden sie programmintern in Anschnittschnittgrößen umgerechnet.



Aus dem aufnehmenden *4H*-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.

Träger (rechts)	😊	Schnitt 1: Stab 3 bei s = 0.18 m	🏗️ Stahlriegel, Anschl. 1 Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE240
nicht identifiziert	😞	Schnitt 2: Stab 5 bei s = 0.00 m	🏗️ Stahlriegel, Anschluss 2 Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE240
	😞	Schnitt 3: Stab 7 bei s = 2.00 m	🏗️ Stahlbetonriegel Material: Stahlbeton, Querschnitt: Plattenbalken (Unt)
nicht identifiziert	😞	Schnitt 4: Stab 9 bei s = 4.00 m	🏗️ Stahlstütze, Anschluss 2 Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE360
nicht identifiziert ➡	😞	Schnitt 5: Stab 10 bei s = 3.88 m	🏗️ Stahlstütze, Anschl. unten, Anschluss 1 Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE360

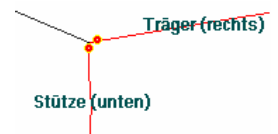
Nun werden die Schnitte den einzelnen Abteilungen in der Schnittgrößentabelle (hier *Träger*, *Stütze*) zugeordnet. Dazu wird der entsprechende Eintrag (hier *Schnitt 1*) angewählt und der zugehörigen Zeile in der dann folgenden Tabelle zugewiesen (hier *Träger (rechts)*).

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 (rechts)		Schnitt 1: Stab 3 bei s = 0.18 m					
		🏗️ Stahlriegel, Anschl. 1 Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE240					
		N	V _η	V _ζ	T	M _η	M _ζ
		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	0.00	-5.03	0.00	-38.81	4.03
⊕ Zusammenfassung Nachweis 3							
➡	min N	-21.38	0.00	-5.03	0.00	-38.81	4.03
➡	max N	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
➡	min V _η	-21.38	0.00	-5.03	0.00	-38.81	4.03
➡	max V _η	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
➡	min V _ζ	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
➡	max V _ζ	-21.38	0.00	-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	0.00	-5.03	0.00	-38.81	4.03
➡	min M _η	-21.38	0.00	-5.03	0.00	-38.81	4.03
➡	max M _η	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
➡	min M _ζ	-21.38	0.00	-5.03	0.00	-38.81	4.03
➡	max M _ζ	-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 (rechts)						Stütze (unten)					
N	V _η	V _ζ	T	M _η	M _ζ	N	V _η	V _ζ	T	M _η	M _ζ
-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?

Das aufnehmende Programm bestückt nun die Schnittgrößentabelle.

nein

ja

	Träger, Anschnitt			Stütze, Anschnitt unten			Bezeichnung
	N _{b,Ed} kN	M _{b,Ed} kNm	V _{b,Ed} kN	N _{c,Ed} kN	M _{c,Ed} kNm	V _{c1,Ed} kN	
	-20.61	8.60	12.95	3.91	5.09	-5.67	Lk1
	-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 bzw. bei Rahmenecken mit Kragarm

Träger-Stützenverbindungen mit durchlaufender Stütze benötigen i.A. Schnittgrößeninformationen in drei Schnitten: an Träger und Stütze (unten) wie beschrieben, sowie die Querkraft im Stützenschnitt oberhalb des Trägers.

Bei liegenden Rahmenecken (Variante 2) können zusätzlich zu den Schnitten an Träger (rechts) und Stütze die Schnittgrößen am Kragarm (Träger) links der Stütze eingegeben werden.

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

##-EC3BT (Träger-Stützenanschluss)

##-EC3RE (Rahmenecke)

Schnittgrößen aus ##- Programm importieren
☒ einschl. Stütze oben



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



Der weitere Ablauf erfolgt analog wie oben beschrieben.

Import von einem Einzelschnitt bei Trägerstößen

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

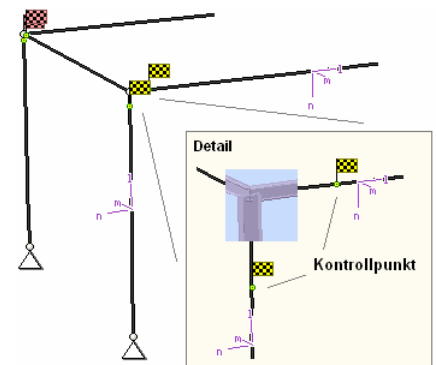
- zum einen können Tragwerks- und Detailprogramm fest miteinander verbunden sein, d.h. die Schnittgrößenübergabe erfolgt intern. Es sind i.A. keine weiteren Eingaben (z.B. Geometrie) notwendig, aber auch möglich (z.B. weitere Belastungen), die Programme bilden eine Einheit. Dies ist z.B. bei dem *##*-Programm *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.

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

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

Dazu ist an der entsprechenden Stelle ein Kontrollpunkt zu setzen.

Ausführliche Informationen zum Export entnehmen Sie bitte dem DTE[®]-Schnittgrößenexport im DTE[®]-Handbuch.



Nach einer Neuberechnung des Rahmens stehen die Exportschnittgrößen dem aufnehmenden *##*-Programm (z.B. *##*-BETON, *##*-EC3SA, *##*-EC3IM ...) zum Import zur Verfügung.



Aus dem aufnehmenden *##*-Programm wird nun über den **Import**-Button das Fenster zur DTE[®]-Bauteilauswahl aufgerufen. Hier werden alle berechneten Bauteile dargestellt, wobei diejenigen, die Schnittgrößen exportiert haben, dunkel gekennzeichnet sind.

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

+	Schnitt 1: Stab 3 bei s = 0.18 m	Stahlriegel, Anschl. 1
+	Schnitt 2: Stab 5 bei s = 0.00 m	Stahlriegel, Anschl. 2
+	Schnitt 3: Stab 7 bei s = 2.00 m	Stahlbetonriegel
+	Schnitt 4: Stab 9 bei s = 4.00 m	Stahlstütze, Anschl. 2
+	Schnitt 5: Stab 10 bei s = 3.88 m	Stahlstütze, Anschl. 1
+	Schnitt 6: Stab 11 bei s = 0.00 m	Stahlbetonstütze

In der Schnittgrößenauswahl werden die verfügbaren Schnittgrößenkombinationen aller im übergebenden Programm gekennzeichneten Schnitte angeboten. Dabei sind diejenigen Schnitte deaktiviert, deren Material nicht kompatibel mit dem Detailprogramm ist.

Es wird nun der Schnitt angeklickt und damit geöffnet, dessen Schnittgrößen eingelesen werden sollen.

DTE - Schnittgrößenauswahl

Es sind 2 Schnittgrößenkombinationen von maximal 10000 ausgewählt

Schnitt 1: Stab 3 bei s = 0.18 m
 Stahlriegel, Anschl. 1
 Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE240

	N kN	V _m kN	V _n kN	T kNm	M _m kNm	M _n 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	0.00	-5.03	0.00	-38.81	4.03
Zusammenfassung Nachweis 3						
min N	-21.38	0.00	-5.03	0.00	-38.81	4.03
max N	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
min V _m	-21.38	0.00	-5.03	0.00	-38.81	4.03
max V _m	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
min V _n	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
max V _n	-21.38	0.00	-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	0.00	-5.03	0.00	-38.81	4.03
min M _m	-21.38	0.00	-5.03	0.00	-38.81	4.03
max M _m	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
min M _n	-21.38	0.00	-5.03	0.00	-38.81	4.03
max M _n	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
min M _z	-21.38	0.00	-5.03	0.00	-38.81	4.03
max M _z	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
Schnitt 2: Stab 3 bei s = 4.00 m Stahlriegel, Stoß						
Schnitt 3: Stab 5 bei s = 0.00 m Stahlriegel, Anschluss 2						

In *44-EC3IM* wird für den Trägerstoß nur ein reduzierter Schnittgrößensatz benötigt, was durch gelbe Hinterlegung der für den Import vorgesehenen Spalten angezeigt wird.

Die Schnittgrößenkombinationen können beliebig zusammengestellt werden; *pcae* empfiehlt jedoch, nur diejenigen auszuwählen, die als Bemessungsgrößen für den zu führenden Detailnachweis relevant sind.



ein nützliches Hilfsmittel bietet dabei der dargestellte Button, mit dem die Anzahl zu übertragender Lastkombinationen durch Eliminierung doppelter Zeilen stark reduziert werden kann.

Wird nun die DTE®-Schnittgrößenauswahl bestätigt, bestückt das Importprogramm die Schnittgrößentabelle, wobei ggf. vorhandene Kombinationen erhalten bleiben.

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.



Die Kompatibilität der Querschnitts- und Nachweisparameter zwischen exportierendem und importierendem Programm ist zu gewährleisten.

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

3.4

Teilschnittgrößen

Die Schnittgrößen sind als Bemessungsgrößen bereits mit den Lastfaktoren für den Grenzzustand der Tragfähigkeit beaufschlagt und können auf zwei 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.
- Anschlitt-Schnittgrößen sind die senkrecht zur Anschlussebene wirkenden Bemessungsgrößen im EC 3-1-8-Koordinatensystem (positive Normalkraft = Druck, positives Biegemoment = Zug oben), die den Tragfähigkeitsnachweisen zu Grunde liegen.

Die Knoten-Schnittgrößen müssen auf die Bemessungsebene transformiert werden. Zu beachten ist, dass dabei keine äußeren Einwirkungen berücksichtigt werden!

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

Transformation der Schnittgrößen

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

Schnittgrößen im Anschluss bezogen auf die Schwerachsen

$$\begin{aligned} N_{d,Ed} &= -N_{j,b,Ed} \\ M_{d,Ed} &= -M_{j,b,Ed} - V_{j,b,Ed} \cdot e_1 \\ V_{d,Ed} &= V_{j,b,Ed} \end{aligned}$$

Die Schnittgrößenkombination ($N_{d,Ed}$, $M_{d,Ed}$, $V_{d,Ed}$) lässt sich auch direkt (Schnittgrößen im Anschlitt der Verbindung, s. Abs. 3.3, S. 16) eingeben.

Der Abstand zur Bildung des Moments wird berechnet zu

$$e_1 = z_{cu}$$

Die Teilschnittgrößen im Träger ergeben sich zu

Teilschnittgrößen

$$\begin{aligned} N_{b,t} &= (-N_d \cdot z_{bu} / z_b + M_d' / z_b) \\ N_{b,c} &= (N_d \cdot z_{bo} / z_b + M_d' / z_b) \\ V_{bw} &= V_d \end{aligned}$$

• bei geschraubten Anschlüssen

$$\begin{aligned} N_{b,t}' &= (-N_d \cdot z_{bu} + M_d) / z \dots \dots \dots \text{Zugkraft in den Schraubenreihen} \\ N_{b,c}' &= (N_d \cdot z_{bo} + M_d) / z \dots \dots \dots \text{Druckkraft bezogen auf } N_{b,t}' \end{aligned}$$

• bei Stirnblechanschluss

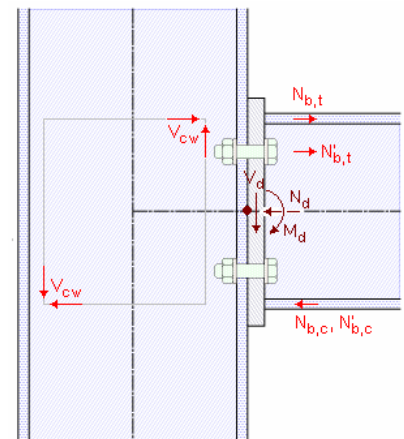
$$M_d' = M_d - V_d \cdot t_{ep} + N_d \cdot t_{ep} \cdot \tan \alpha$$

Die Teilschnittgrößen im Stützenstegfeld ergeben sich zu

• Schubkraft im Stützenstegfeld

$$V_{wp,Ed} = M_{d,w} / z \dots \text{mit} \dots M_{d,w} = M_d + V_d \cdot t_{cf}$$

wobei bei geschraubten Verbindungen der innere Hebelarm z dem äquivalenten Hebelarm z_{eq} entspricht. Zur Berechnung von z_{eq} s. Rotationssteifigkeit Abs. 4.5, S. 34.





Das vierte Register gibt einen Überblick über die ermittelten Ergebnisse.

4H-EC3 - Typisierte IM-Verbindung [Position 1: 2 Schrauben (Träger-Stütze)]				
Lastkombination	Ausnutzung	Steifigkeit	Verdrehung	maximale Ausnutzung aus allen Lastkombinationen
Lastkombination 1	75%	26549 kNm/rad	0.148°	U_{max} = 1.670 > 1 Fehler !!
Querschnitt Träger	42%			
c/t-Verhältnis	37%			
Biegung	68%			
Schub Trägersteg	25%			
Stützenstegfeld	75%			7690 kNm/rad
Schweißnähte am Träger	50%			
Stegsteifen	61%			
Lastkombination 2	118%		0.802°	
Querschnitt Träger	66%			
c/t-Verhältnis	47%			
Biegung	107%			
Schub Trägersteg	50%			
Stützenstegfeld	118%			
Schweißnähte am Träger	79%			
Stegsteifen	97%			
Lastkombination 3	36%	27881 kNm/rad	0.065°	27881 kNm/rad
Querschnitt Träger	22%			
c/t-Verhältnis	26%			
Biegung	33%			
Schub Trägersteg	28%			
Stützenstegfeld	36%			27881 kNm/rad
Schweißnähte am Träger	25%			
Stegsteifen	30%			
Lastkombination 4	42%		0.079°	
Querschnitt Träger	24%			
c/t-Verhältnis	28%			
Biegung	38%			
Schub Trägersteg	21%			
Stützenstegfeld	42%			18649 kNm/rad
Schweißnähte am Träger	28%			
Stegsteifen	34%			
Lastkombination 5	85%		0.235°	
Querschnitt Träger	48%			

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 die Einzelberechnungsergebnisse protokolliert.

Rotationssteifigkeit und Verdrehung sind ebenfalls dargestellt.

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

Wenn die Ursache des Fehlers nicht sofort ersichtlich ist, sollte die Druckliste in der ausführlichen Ergebnisdarstellung (s. Abs. 8.2, S. 75) geprüft werden.

▶ maßgeb. Lk anzeigen

Die maßgebende Lastkombination, die entweder zur maximalen Ausnutzung oder zu einem Fehler führt, wird gekennzeichnet. Über den dreieckigen **Action**-Button kann das Druckdokument in der **Standard**-Darstellung (Abs. 8.2, S. 75) direkt abgerufen werden.

Maximale Ausnutzung
aus allen Lastkombinationen

U_{max} = 1.028 > 1 Fehler !!

Zur Info wird die maximale Ausnutzung am oberen Bildschirmrand wiederholt.

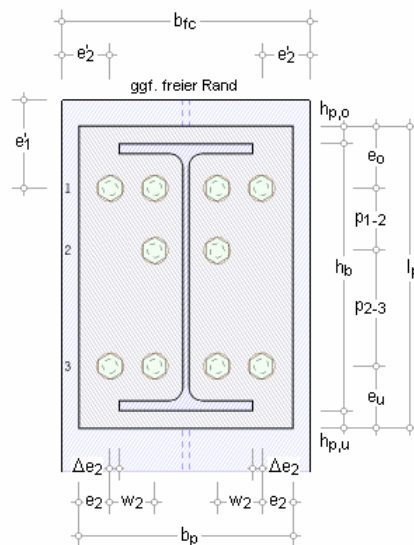
3.6

Parameterbeschreibung

In der nachfolgenden Grafik sind die Parameterbezeichnungen aufgeführt, auf die im Programm **##-EC3IM** Bezug genommen wird, wenn ein (vertikaler) Träger-Stützenanschluss berechnet werden soll.

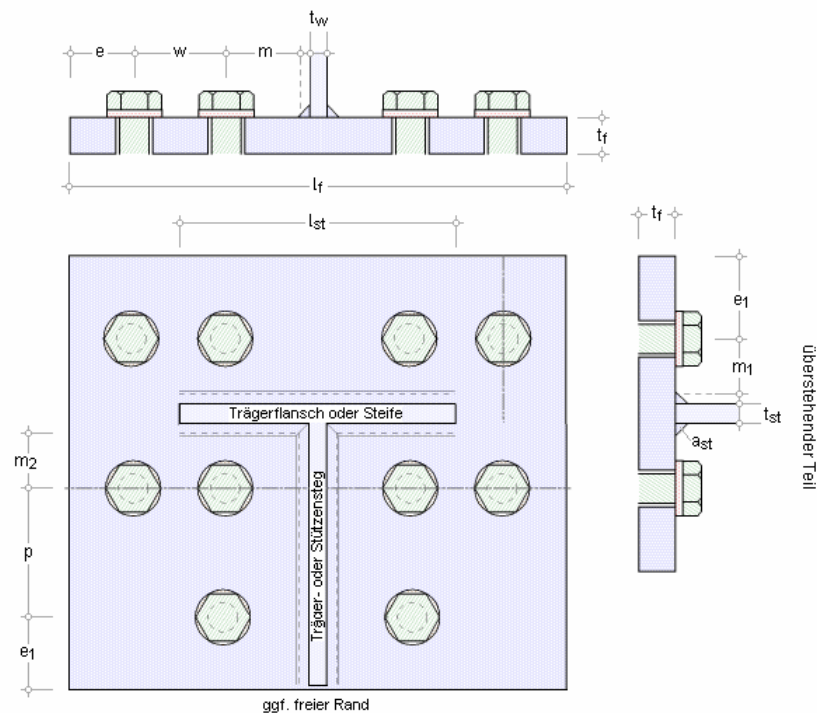
Bei einem Trägerstoß gelten die Parameterbezeichnungen ebenso (ohne b_{fc} , e'_1 , e'_2).

Trägeranschluss (vertikal)



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

T-Stummel-Modell - zwischen den Trägerflanschen



Biegesteifer Trägeranschluss

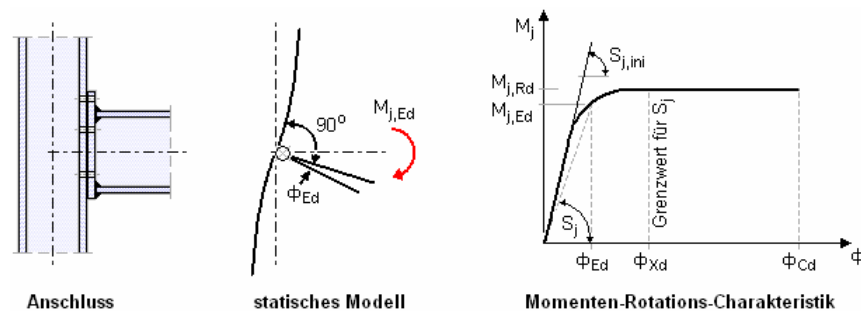
Das Programm *##EC3IM*, Typisierter IM-Anschluss, basiert auf den Grundlagen, die auch für das Programm *##EC3BT*, Biegesteifer Trägeranschluss, gelten. Die weiterführenden Erläuterungen zur Berechnung von geschraubten Stirnblechverbindungen gelten für beide Programme gleichermaßen.

4.1

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.



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

Im Programm *##EC3IM* 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, sollten für eine wirklichkeitsnahe Berechnung des Anschlussverhaltens das Stützenstegfeld und die einzelnen Verbindungen unter Berücksichtigung der Schnittgrößen der Bauteile am Anschnitt des Stützenstegfeldes getrennt modelliert werden.

Es sollte der mögliche Einfluss des Stützenstegfeldes durch Übertragungsparameter β berücksichtigt werden. Da im Programm *##EC3IM* nur einseitige Träger-Stützenanschlüsse untersucht werden, 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. 40
- Gk 2: Stützensteg mit Querdruckbeanspruchung, Abs. 6.2, S. 41
- Gk 3: Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung, Abs. 6.3, S. 43
- Gk 4: Stützenflansch mit Biegung, Abs. 6.4, S. 44
- Gk 5: Stirnblech mit Biegebeanspruchung, Abs. 6.5, S. 48
- Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung, Abs. 6.7, S. 53
- Gk 8: Trägersteg mit Zugbeanspruchung, Abs. 6.8, S. 54
- Gk 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung, Abs. 6.9, S. 55
- Gk 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung, Abs. 6.10, S. 55
- Gk 12: Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung, Abs. 6.11, S. 55
- Gk 19: Schweißnähte, s. Abs. 6.12, S. 56

Die Verformbarkeit eines Anschlusses kann durch eine **Rotationsfeder** modelliert werden, welche 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, Abs. 4.2, S. 27
- Rotationssteifigkeit, Abs. 4.5, S. 34
- Rotationskapazität, Abs. 4.6, S. 36

4.2 Komponentenmethode

Die Komponentenmethode ermöglicht die Berechnung beliebiger Anschlüsse von Doppel-T-Profilen für Tragwerksberechnungen (EC 3-1-8, 6.1.1). Die Voraussetzungen für das Verfahren sowie die zur Anwendung kommenden Grundkomponenten sind unter Abs. 4.1, S. 26, beschrieben.

Im Programm *EC3IM* werden Träger-Stützenanschlüsse und Trägerstöße berechnet.

Nach EC 3-1-8 wird die Biegetragfähigkeit des Anschlusses aus den Tragfähigkeiten der einzelnen Grundkomponenten ermittelt und der einwirkenden Bemessungsgröße gegenübergestellt.

Im Folgenden wird die Vorgehensweise zur Bemessung von geschraubten Stirnblech-Verbindungen mit der Komponentenmethode nach EC3-1-8, 6.2.7, erläutert.

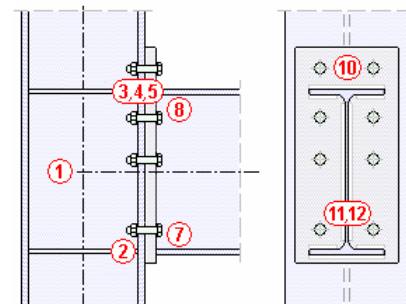
4.2.1 geschraubte Stirnblechverbindung

Die Biege- und Normalkrafttragfähigkeit des Anschlusses auf Seite der

- Stütze wird mit den Grundkomponenten 1 bis 4
- des Trägers mit den Grundkomponenten 7, 8
- des Stirnblechs mit Grundkomponente 5

ermittelt.

Bei der Tragfähigkeit der Schrauben wirken für die Abscher-Lochleibungstragfähigkeit die Grundkomponenten 11 und 12, für die Zugtragfähigkeit Grundkomponente 10. Die Tragfähigkeit der Schweißnähte zwischen Träger und Stirnblech wird über den Linienquerschnitt mit einbezogen. Zur Bemessung der Schweißnähte s. Abs. 4.3, S. 32.



Biege- und Normalkrafttragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Nach EC 3-1-8, 6.2.7.2, wird die Biegetragfähigkeit von Träger-Stützenanschlüssen und Trägerstößen mittels geschraubter 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

Die Berechnung der Normalkrafttragfähigkeit wird im EC 3-1-8 nicht näher beschrieben. Eine konservative Interaktion zwischen Biegung und Normalkraft erfolgt nach EC 3-1-8, 6.2.7.1(3) über die Beziehung

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} + \frac{N_{j,Ed}}{N_{j,Rd}} \leq 1.0 \quad \dots \text{ mit } \dots$$

$M_{j,Rd}$ Biegetragfähigkeit des Anschlusses ohne gleichzeitig wirkende Normalkraft

$N_{j,Rd}$ Normalkrafttragfähigkeit des Anschlusses ohne gleichzeitig wirkendes Moment

und kann mit den Tragfähigkeiten, die ohne Eingabe der Schnittgrößen berechnet wurden, durchgeführt werden.

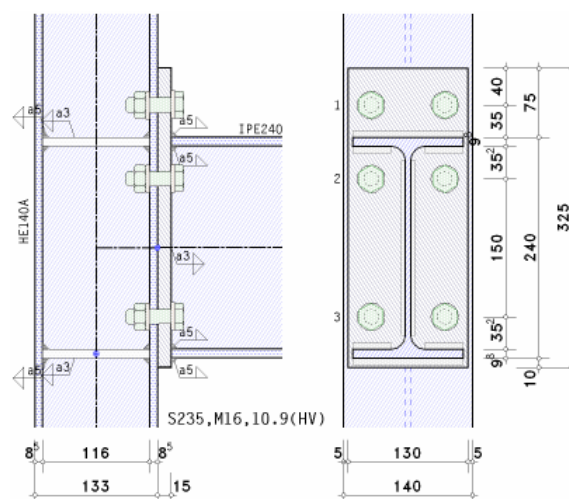
Sind jedoch Schnittgrößen vorgegeben, wird in Anlehnung an das Ringbuch *Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau, Ergänzungsband 2018* das Optimierungsverfahren nach *F. Cerfontaine* (in *Jaspart/Weynand: Design of Joints in Steel and Composite Structures*) zur Ermittlung der Ausnutzung verwendet.

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.

Das Programm *##-EC3IM* verfolgt zwei Berechnungszweige

- sind keine Schnittgrößen vorgegeben bzw. sollen nur Tragfähigkeiten ermittelt werden (s. Reg. 1 Abs. 3.3, S. 16), wird die 'Original'-Komponentenmethode angewandt und die Tragfähigkeiten für reine Biegung mit Querkraft sowie reine Normalkraft (Angriffspunkt in der Systemachse) ermittelt
- ist hingegen die maximale Ausnutzung aus einer Reihe von Schnittgrößen gesucht, wird zur M-N-V-Interaktion das wirtschaftlichere Optimierungsverfahren verwendet

Anhand des folgenden Beispiels einer Träger-Stützenverbindung wird der Rechengang zur Ermittlung der Anschlusstragfähigkeit verdeutlicht.



Berechnung der Tragfähigkeit (Original-Komponentenmethode)

Zunächst werden die minimalen Tragfähigkeiten aus den zugehörigen Grundkomponenten ermittelt.

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

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 126.2 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 126.0 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 126.0 \text{ kN}$

Dann werden die Tragfähigkeiten je Reihe abgemindert, damit die Gruppentragfähigkeit eingehalten wird.

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 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 186.2 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 126.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 126.0 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 253.6 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 126.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 126.0 \text{ kN}$

Reihe 3: $\Sigma F_{tr,Rd} = 126.0 \text{ kN}$ (aus Reihe 2)

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 60.1 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 126.0 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 60.1 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 127.5 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 60.1 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 60.1 \text{ kN}$

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 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 346.6 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 126.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 126.0 \text{ kN}$

Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 494.5 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 126.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 126.0 \text{ kN}$

Reihe 3: $\Sigma F_{tr,Rd} = 126.0 \text{ kN}$ (aus Reihe 2)

Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 220.5 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 60.1 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 60.1 \text{ kN}$

Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 368.4 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 60.1 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 60.1 \text{ kN}$

Aus der Summe dieser Werte wird die reine Zugtragfähigkeit gebildet. Die Drucktragfähigkeit ergibt sich aus der Tragfähigkeit der Flansche.

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 312.3 \text{ kN}$

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$F_{c,Rd} = 133.9 \text{ kN}$

Anschließend erfolgen die Abminderungen für die Druck- und Schubtragfähigkeiten.

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: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta - \Sigma F_{tr,Rd} = 133.9 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 126.2 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 126.2 \text{ kN}$

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 251.2 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 126.2 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 126.2 \text{ kN}$

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 374.7 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 126.2 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 126.2 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 126.2 \text{ kN}$ (Reihe 1)

Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta - \Sigma F_{tr,Rd} = 7.8 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 126.0 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 7.8 \text{ kN}$

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 125.1 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 7.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 7.8 \text{ kN}$

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 248.5 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 7.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 7.8 \text{ kN}$

Reihe 3: $\Sigma F_{tr,Rd} = 133.9 \text{ kN}$ (Reihen 1 bis 2)

Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta - \Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 60.1 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 117.3 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 240.7 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Für die Tragkraft jeder Reihe wird die Kontrolle durchgeführt

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

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{tx,Rd} = 126.2 \text{ kN}$, $h_x = 270.1 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 214.8 \text{ kN}$, keine Abminderung

Reihe 2: $F_{tx,Rd} = 7.8 \text{ kN}$, $h_x = 190.1 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 214.8 \text{ kN}$, keine Abminderung

und das Ergebnis schlussendlich protokolliert.

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 126.2 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 7.8 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd} = 133.9 \text{ kN}$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 1, 3, 4

Jede der Grundkomponenten, die die Tragfähigkeit einer Schraubenreihe begrenzt hat (gekennzeichnet durch ein >-Zeichen), wird als mögliche Versagensquelle des Anschlusses protokolliert.

Die Anschlusstragfähigkeiten ergeben sich zu

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts
 $M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 35.6 \text{ kNm}$
Zugtragfähigkeit
 $N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd} = 312.3 \text{ kN}$
Drucktragfähigkeit
 $N_{j,c,Rd} = F_{c,Rd} = 133.9 \text{ kN}$

Mit ihnen kann die Ausnutzung bestimmt werden zu

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

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

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Die Vorgehensweise wird anhand der Beispielberechnung erläutert.

Zunächst werden auch hier die minimalen Tragfähigkeiten aus den maßgebenden Grundkomponenten ermittelt.

Tragfähigkeit je Schraubenreihe
 maßgebende Grundkomponenten: 11, 12
 Reihe 1: $F_{vR,Rd} = 171.5 \text{ kN}$
 Reihe 2: $F_{vR,Rd} = 171.5 \text{ kN}$
 Reihe 3: $F_{vR,Rd} = 171.5 \text{ kN}$

Nach EC 3-1-8, Tab. 3.4, reduziert sich die Tragfähigkeit bei gleichzeitiger Wirkung von Querkraft und Zugnormalkraft bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit. Vereinfachend wird hier der maximale Abminderungsfaktor verwendet.

Abminderungen aufgrund der Zugkraft (vereinfacht)
 maßgebende Grundkomponente: 10
 Reihe 1: $F_{vR,Rd} = (1 - 1/1.4) \cdot 171.5 \text{ kN} = 49.0 \text{ kN}$
 Reihe 2: $F_{vR,Rd} = (1 - 1/1.4) \cdot 171.5 \text{ kN} = 49.0 \text{ kN}$
 Reihe 3: $F_{vR,Rd} = (1 - 1/1.4) \cdot 171.5 \text{ kN} = 49.0 \text{ kN}$

so dass sich die endgültigen Tragfähigkeiten je Schraubenreihe ergeben zu

Tragfähigkeit je Schraubenreihe
 Reihe 1: $F_{vR,Rd} = 49.0 \text{ kN}$
 Reihe 2: $F_{vR,Rd} = 49.0 \text{ kN}$
 Reihe 3: $F_{vR,Rd} = 49.0 \text{ kN}$
 $\Sigma F_{vR,Rd} = 147.0 \text{ kN}$

Die Abscher-Lochleibungstragfähigkeit kann damit berechnet werden

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit
 $V_{j,Rd} = \Sigma F_{vR,Rd} = 147.0 \text{ kN}$

Die Ausnutzung wird berechnet mit

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

Schubtragfähigkeit

Weiterhin ist die Tragfähigkeit des Stirnblechs selbst zu untersuchen. Es wird die Tragfähigkeit des Blechs einschl. Schweißnähte für die Anschlusslänge (= Stegblechhöhe) ermittelt.

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs
 Blech: $V_{ep,Rd} = \tau_{Rd} \cdot t \cdot l_{eff} = 387.49 \text{ kN}$, $t = 15.0 \text{ mm}$, $l_{eff} = d_w = 190.4 \text{ mm}$
 Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $\beta_w = 0.80$
 Schweißnähte: $F_{w,Rd} = 2 \cdot a \cdot l_{eff} \cdot f_{1w,d} / \sqrt{3} = 237.44 \text{ kN}$, $a = 3.0 \text{ mm}$, $l_{eff} = d_w = 190.4 \text{ mm}$
 Schubtragfähigkeit des Stirnblechs: $V_{ep,Rd} = F_{w,Rd} = 237.44 \text{ kN}$

Außerdem darf die Schubtragfähigkeit des Stützenstegs nicht überschritten werden.

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs
 maßgebende Grundkomponente: 1
 $V_{wp,Rd}/\beta = 133.9 \text{ kN}$

Nach EC 3-1-1, 6.2.8 reduziert sich die Tragfähigkeit bei Beanspruchung aus Biegung mit Querkraft, wenn die halbe plastische Schubtragfähigkeit überschritten wird. Dieser Wert wird daher abgeprüft.

plastische Schubtragfähigkeit

$$V_{pl,Rd} = 0.5 \cdot A_v \cdot (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 129.9 \text{ kN}, \quad A_v = 19.14 \text{ cm}^2 \quad (\text{Bedingung, s. 'Typisierte Anschlüsse'})$$

Die Ausnutzung wird berechnet mit

$$U = \frac{V_{Ed}}{V_{ep,Rd}} \leq 1.0 \quad U = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1.0 \quad U = \frac{V_{Ed}}{V_{wp,Rd} / \beta} \leq 1.0$$

Berechnung der Ausnutzung (M-N-V-Interaktion)

Die Tragfähigkeiten der zugehörigen Grundkomponenten bilden die Randbedingungen für das lineare Optimierungsproblem. Iterativ wird eine Lösung gefunden, bei der sich die Zugtragfähigkeiten der einzelnen Schraubenreihen und die Drucktragfähigkeit der Flansche ergeben

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (MNV-Interaktion)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 126.0 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 31.0 \text{ kN}$

$$\Sigma F_{tr,Rd} = 157.0 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit der Flansche (MNV-Interaktion)

$$F_{c,Rd} = 133.9 \text{ kN}$$

Die Anschlusstragfähigkeiten ergeben sich nun zu

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts

$$M_{j,Rd} = \Sigma (F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 25.2 \text{ kNm}$$

Zugtragfähigkeit

$$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd} = 157.0 \text{ kN}$$

Drucktragfähigkeit

$$N_{j,c,Rd} = F_{c,Rd} = 133.9 \text{ kN}$$

und

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$$V_{j,Rd} = 77.9 \text{ kN}$$

Die mittels MNV-Interaktion ermittelte Ausnutzung ergibt sich zu

Gesamttragfähigkeit (MNV-Interaktion):

$$U_{MNV} = 0.923 < 1 \quad \text{o.k.}$$

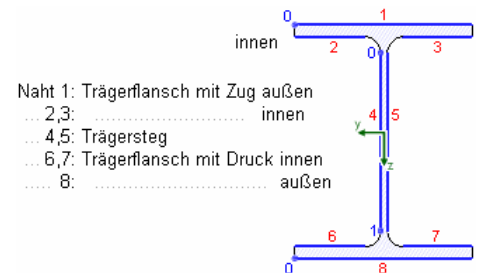
I.A. werden die Verbindungselemente (Träger und Stirnblech, Träger und Stütze) mit Kehlnähten verbunden, deren Schweißnaht konzentriert in der Wurzellinie angenommen wird.

Die Wurzellinien der Einzelnähte bilden den **Linienquerschnitt** (s. Lit. /9/) zur Aufnahme bzw. Weiterleitung der Schnittgrößen.

Beispielhaft sind nebenstehend die Einzelnähte, die den Linienquerschnitt bilden, für einen einachsig 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 ΣA_w , ggf. die Querschnittsfläche in z-Richtung $A_{w,z}$, die gesamte Nahtlänge Σl_w , das Trägheitsmoment $I_{w,y}$ und der Differenzabstand zum Querschnittsschwerpunkt Δz_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*, d.h. die 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 ($\alpha = 45^\circ$, $\sigma_w = \sigma_{w,x}$):

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

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

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

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

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

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

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. 62).

4.4

Nachweis der Stegsteifen

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 $e_H = l_R - l_1/3$.

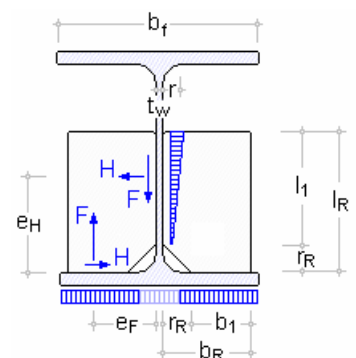
Bei dreiseitigem Rippenanschluss (Vollrippe) ist der Hebelarm $e_H = l_R$.

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

Abmessungen, Hebelarme, Kräfte je Rippe

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

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



Die Querschnittsnachweise erfolgen für folgende Bemessungsgrößen

Querschnitt am Flansch Qu. am Steg

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

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

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

richtungsbezogenes 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

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

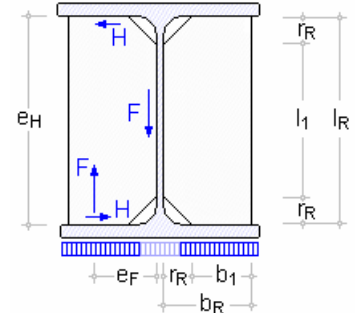
Da die Beschreibung der Schweißnahtnachweise nach EC3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung des Schweißnahtnachweises (Abs. 7.2, S. 62) verwiesen.

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

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

wobei bei geschraubten Verbindungen der innere Hebelarm z dem äquivalenten Hebelarm z_{eq} entspricht. Zur Berechnung von z_{eq} s. Rotationssteifigkeit.

4.5

Rotationssteifigkeit

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 geschraubte Flanschwinkelverbindungen und in EC 3-1-8, Tab. 6.10, für geschraubte Stirnblechverbindungen angegeben.

Im Programm *44-EC3BT* werden folgende Steifigkeitskoeffizienten zur Ermittlung der Rotationssteifigkeit einseitig belasteter Verbindungen herangezogen.

- geschweißte Verbindungen - k_1, k_2, k_3
- Flanschwinkelverbindungen - $k_1, k_2, k_3, k_4, k_6, k_{10}, k_{11}, k_{12}$
- 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}
- Trägerstoß mit Stirnblech bei einer Schraubenreihe mit Zugbelastung - k_5, k_{10}
- Trägerstoß mit Stirnblech bei mehreren Schraubenreihen mit Zugbelastung - k_{eq}

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

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

r Zähler der Schraubenreihen

Die beteiligten Steifigkeitskoeffizienten sind

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

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

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

$$\text{... wenn } M_{j,Ed} \leq 2/3 \cdot M_{j,Rd} \quad \mu = 1$$

$$\text{... wenn } 2/3 \cdot M_{j,Rd} < M_{j,Ed} < M_{j,Rd} \quad \mu = (1.5 \cdot M_{j,Ed} / M_{j,Rd})^\Psi$$

Der Beiwert Ψ hat nach EC 3-1-8, Tab.6.8, für geschweißte Verbindungen und geschraubte Stirnblechverbindungen den Wert 2.7 und für geschraubte Flanschwinkelverbindungen den Wert 3.1.

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

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

Beispielhaft ist im Folgenden als Druckdokument die Berechnung der Rotationssteifigkeit eines unausgesteiften Träger-Stützenanschlusses mit Stirnblech und zwei Schraubenreihen unter Zugbelastung dargestellt.

Steifigkeitskoeffizienten

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 1:

$$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 3.21 \text{ mm}, \quad \beta = 1.0, \quad z = 561.0 \text{ mm}$$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 2:

$$k_2 = 0.7 \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 11.91 \text{ mm}, \quad b_{eff,c,wc} = 321.8 \text{ mm}$$

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 2 Schraubenreihen:

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 1:

$$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 17.25 \text{ mm}, \quad \min l_{eff} = 302.5 \text{ mm}, \quad m = 62.7 \text{ mm}$$

$$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 3.96 \text{ mm}, \quad L_b = 63.5 \text{ mm}$$

$$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 8.61 \text{ mm}, \quad b_{eff,t,wc} = 232.7 \text{ mm}$$

$$k_4 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_c^3 / m^3 = 13.07 \text{ mm}, \quad \min l_{eff} = 232.7 \text{ mm}, \quad m = 47.9 \text{ mm}$$

$$\Sigma(1/k_{i,1}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.503 \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 1.987 \text{ mm}$$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 2:

$$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 14.96 \text{ mm}, \quad \min l_{eff} = 262.3 \text{ mm}, \quad m = 62.7 \text{ mm}$$

$$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 3.96 \text{ mm}, \quad L_b = 63.5 \text{ mm}$$

$$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} / d_c = 8.61 \text{ mm}, \quad b_{eff,t,wc} = 232.7 \text{ mm}$$

$$k_4 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_c^3 / m^3 = 13.07 \text{ mm}, \quad \min l_{eff} = 232.7 \text{ mm}, \quad m = 47.9 \text{ mm}$$

$$\Sigma(1/k_{i,2}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.512 \Rightarrow k_{eff,2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 1.952 \text{ mm}$$

äquivalenter Hebelarm für 2 Schraubenreihen: $z_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r^2) / \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) = 561.0 \text{ mm}$

$$k_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) / z_{eq} = 3.835 \text{ mm}$$

$$\text{Summe der Steifigkeitskoeffizienten } \Sigma(1/k_i) = 1/k_1 + 1/k_2 + 1/k_{eq} = 0.656$$

Rotationssteifigkeit

$$\text{Anfangsrotationssteifigkeit: } S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 100760.0 \text{ kNm}, \quad z = z_{eq} = 561.0 \text{ mm}$$

$$M_{j,Ed} = 200.00 \text{ kNm} > 2/3 M_{j,Rd} = 145.0 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = ((1.5 \cdot M_{j,Ed}) / M_{j,Rd})^\Psi = 2.384, \quad \Psi = 2.7$$

$$\text{Rotationssteifigkeit: } S_{j,Rd} = S_{j,ini} / \mu = 42262.4 \text{ kNm}$$

$$\text{Verdrehung: } \varphi_{Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.271^\circ$$

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 Stützenflansches 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

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

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.

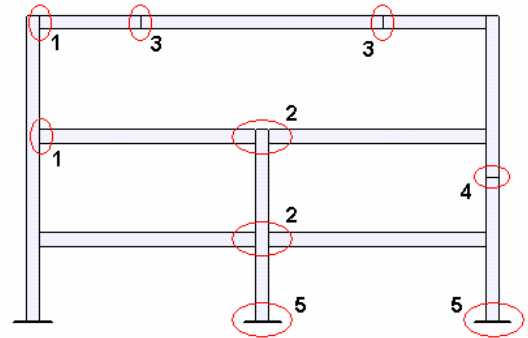
5.2 Anschlusskonfiguration

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

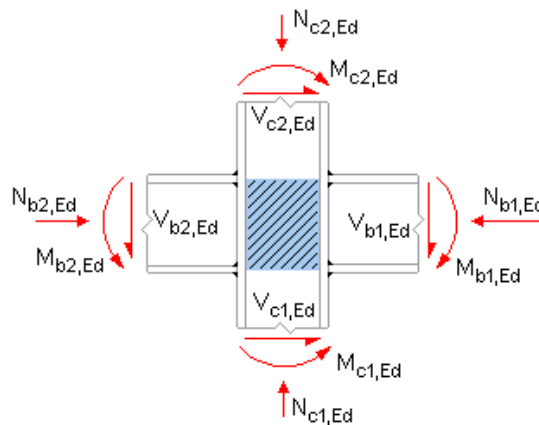
$$M_{b1,Ed} \approx M_{b2,Ed}$$



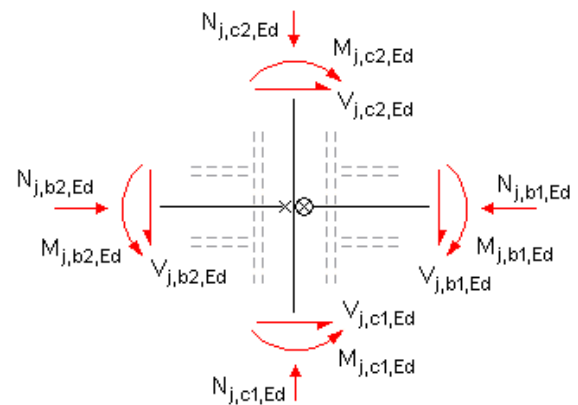
5.3 statisches Modell für Träger-Stützenanschlüsse

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

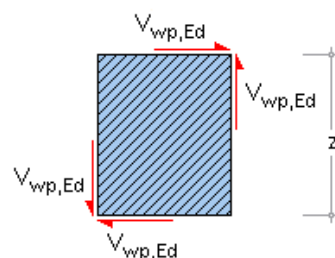
Die angegebenen Berechnungsverfahren sind allgemein gültig und können auf ähnliche Komponenten in anderen Anschlusskonfigurationen mit vergleichbarer Verteilung der inneren Kräfte und Momente übertragen werden.



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 γ_{M0} (EC 3-1-1, 6.1)
- ... Bauteilen bei Stabilitätsversagen γ_{M1} (EC 3-1-1, 6.1)
- ... Querschnitten bei Bruchversagen infolge Zugbeanspruchung γ_{M2} (EC 3-1-1, 6.1) bzw.
- ... Schrauben, Schweißnähten, Blechen auf Lochleibung γ_{M2} (EC 3-1-8, 2.2, Tab. 2.1)

Materialsicherheitsbeiwerte	γ_{M0}	1.00
	γ_{M1}	1.10
	γ_{M2}	1.25

Die Zahlenwerte der Teilsicherheitsbeiwerte können im nationalen Anhang zum Eurocode 3 eingesehen und ggf. verändert werden.

5.7

Formelzeichen

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. 38.

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

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

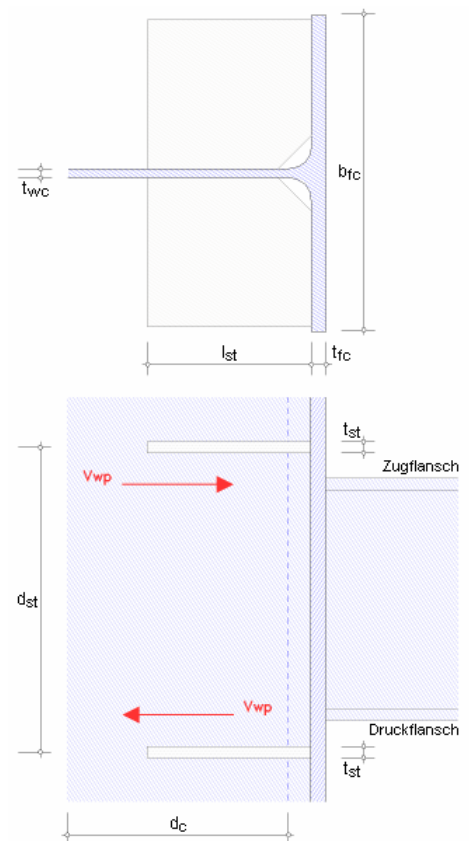
Die **plastischen Biegetragfähigkeiten** ergeben sich nach EC 3-1-1, 6.2.5, zu

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \dots \text{ mit } \dots$$

$$\text{Stütze} \quad W_{pl,fc} = 0,25 \cdot b_{fc} \cdot t_{fc}^2$$

$$\text{Steife} \quad W_{pl,st} = 0,25 \cdot t_{st} \cdot l_{st}^2$$

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. 38).

Voraussetzungen

- Stegbleche sollten die gleiche Stahlgüte haben wie die Stütze
- Abmessungen

$$b_s + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_s \geq d_c$$

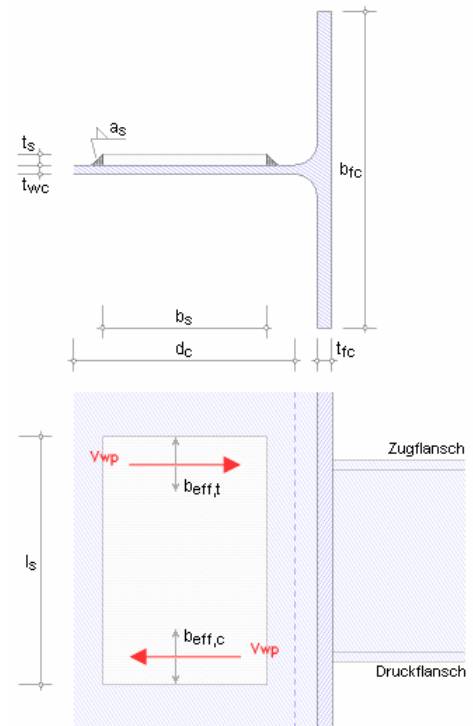
bei einer Kehlnaht mit $a_s \geq t_s / \sqrt{2}$ bzw. $b_s \geq d_c$

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 ω (s. Tab.6.3), um mögliche Interaktionseffekte mit der Schubbeanspruchung im Stützenstegfeld zu erfassen.

Der Abminderungsbeiwert ist abhängig vom Übertragungsparameter β (s. 5.3 (7)) und der Schubfläche A_{vc} (s. *Berechnung allgemeiner Querschnittsgrößen*, Abs. 5.4, S. 38).

Dabei ist β 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 ρ für Plattenbeulen

für $\bar{\lambda}_p \leq 0.72$ $\rho = 1.0$

für $\bar{\lambda}_p > 0.72$ $\rho = (\bar{\lambda}_p - 0.2) / \bar{\lambda}_p^2$

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

- Abminderungsbeiwert k_{wc} in Abhängigkeit der maximalen Längsdruckspannung im Stützensteg

falls $\sigma_{\text{com},Ed} \leq 0.7 \cdot f_{y,wc}$ $k_{wc} = 1$

falls $\sigma_{\text{com},Ed} > 0.7 \cdot f_{y,wc}$ $k_{wc} = 1.7 - \sigma_{\text{com},Ed} / f_{y,wc}$

6.2.3

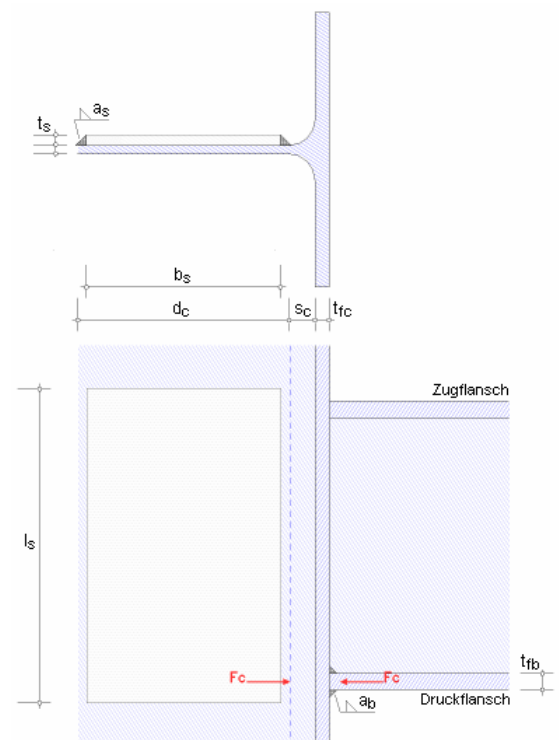
Verstärkungen des Stützenstegs

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

$b_s + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_s \geq d_c$ bei einer Kehlnaht mit $a_s \leq t_s / \sqrt{2}$ bzw.

$b_s \geq d_c$ bei einer durchgeschweißten Stumpfnah

$b_s < 40 \cdot \varepsilon \cdot t_s$

$t_s \geq t_{wc}$

$l_s > b_{\text{eff},t} + b_{\text{eff},c}$

Die Stützenstegverstärkung wirkt sich damit auch auf die Schubfläche der Stütze aus (s. *Berechnung allgemeiner Querschnittsgrößen*, Abs. 5.4, S. 38).

6.3 Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung

EC 3-1-8, 6.2.6.3, Grundkomponente 3, nur bei Träger-Stützenverbindungen

6.3.1 Anwendungsvoraussetzung

- geschweißte oder geschraubte Verbindungen können bemessen werden
- der Stützensteg kann mit Stegblechen ausgesteift sein

6.3.2 Tragfähigkeit

Die Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs ergibt sich zu

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \quad \dots \text{mit } \dots$$

- dem Abminderungsbeiwert ω (s. Tab.6.3), um mögliche Interaktionseffekte mit der Schubbeanspruchung im Stützenstegfeld zu erfassen.

Der Abminderungsbeiwert ist abhängig vom Übertragungsparameter β (s. 5.3 (7)) und der wirksamen Schubfläche A_{vc} (s. *Berechnung allgemeiner Querschnittsgrößen*, Abs. 5.4, S. 38). Dabei ist β 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

$$\text{rechts } \beta_1 = \left| 1 - M_{j,b2,Ed} / M_{j,b1,Ed} \right| \leq 2$$

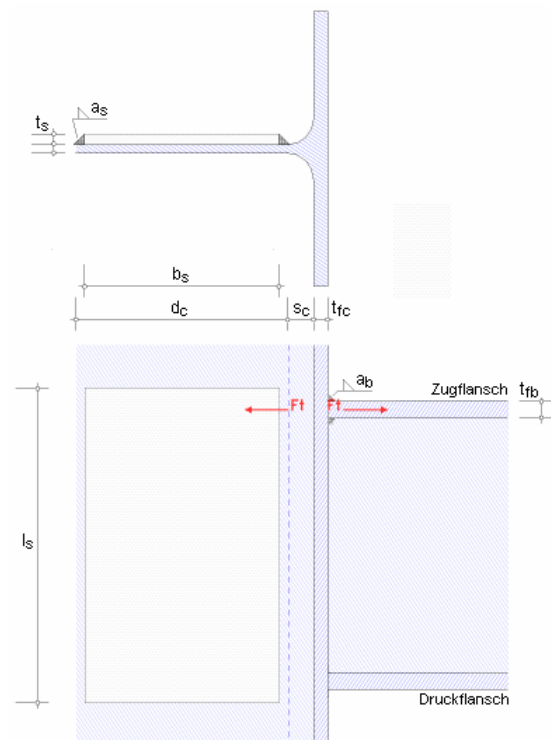
$$\text{links } \beta_2 = \left| 1 - M_{j,b1,Ed} / M_{j,b2,Ed} \right| \leq 2$$

- der wirksamen Breite $b_{eff,t,wc}$ des Stützenstegs für Querkzug, die berechnet wird

- $b_{eff,t,wc} = t_{fb} + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_b + 5 \cdot (t_{fc} + s)$ für einen geschweißten Anschluss mit
s als Radius der Ausrundung bzw. Länge des Schweißnahtschenkels am Steg

- für eine geschraubte Verbindung: wirksame Länge des äquivalenten T-Stummels für den Stützenflansch (s. Grundkomponente 4, Abs. 6.4, S. 44).

6.3.3 Verstärkungen des Stützenstegs Stegbleche



Wird der Stützensteg durch zusätzliche **Stegbleche** verstärkt, hängt die Tragfähigkeit für Querkzug von der Dicke der Längsnähte entlang der Stegbleche ab.

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. 38).

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 Stützenflanschs ergibt sich zu

$$F_{t,Rd} = b_{eff} \cdot t_{fb} \cdot f_{y,fb} / \gamma_{M0}$$

mit der wirksamen Breite b_{eff} des Stützenflanschs für Biegung, die berechnet wird mit (s. 4.10)

$$b_{eff} = t_w + 2 \cdot s + 7 \cdot k \cdot t_f \leq b_p \quad \text{... und ...} \quad k = (t_f / t_p) \cdot (f_{y,f} / f_{y,p}) \leq 1$$

s ist der Radius der Ausrundung bzw. die Länge des Schweißnahtschenkels am Steg

Voraussetzung

$$b_{eff} \geq (f_{y,p} / f_{u,p}) \cdot b_p, \text{ ansonsten ist der Anschluss auszusteifen}$$

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. 64.

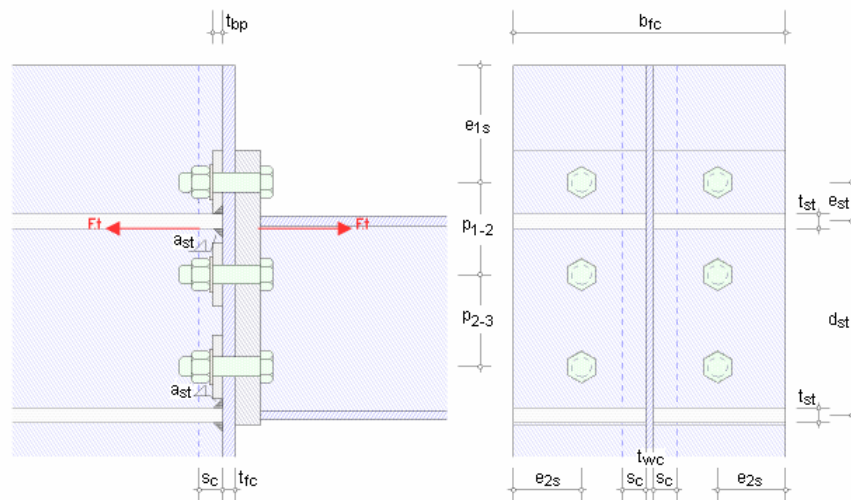
Um die Tragfähigkeit von Grundkomponente 4, *Stützenflansch mit Biegebeanspruchung*, zu ermitteln, muss zunächst die wirksame Länge des äquivalenten T-Stummels bestimmt werden. Dazu ist die genaue Anordnung der zugbelasteten Schrauben im Stützenflansch einzugeben.

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. 43), 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. 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 Schraubengruppen zugewiesen. Werden jedoch Quersteifen angeordnet, ist die Lage der obersten Quersteife in Bezug auf die erste Schraubenreihe entscheidend.

Da nach EC 3-1-8 ein positives Moment oben Zug erzeugt, wird der Druckpunkt in der Mitte der unteren Quersteife angenommen. Es werden nur Schraubenreihen berücksichtigt, die oberhalb des Druckpunkts liegen.

Die Schraubenreihen werden beginnend mit der Reihe, die am weitesten vom Druckpunkt entfernt liegt, durchnummeriert.

Befindet sich die erste Schraubenreihe oberhalb der Steife ($e_{st} > 0$), wird diese Reihe einzeln betrachtet. Die Schraubenreihen zwischen den Quersteifen können dann in Schraubengruppen zusammenwirken. Befinden sich dagegen alle Schraubenreihen innerhalb der Quersteifen ($e_{st} < 0$), können alle Schrauben in den Schraubengruppen vertreten sein.

Zunächst wird die Tragfähigkeit jeder einzelnen Reihe ermittelt, anschließend werden Schraubengruppen untersucht. Eine beliebige Anzahl Reihen zwischen den Flanschen können zu einer Schraubengruppe zusammengefasst werden.

Eine Schraubengruppe besteht aus n beieinander liegenden Schraubenreihen, wobei davon ausgegangen wird, dass die erste Reihe unterhalb des oberen Flansches die erste Reihe der Gruppe ist.

Der Abstand der Reihen innerhalb einer Schraubengruppe sollte gleich groß sein. Ist die Differenz zweier Reihen größer als $1,5 \cdot \min p_i$, wird die Gruppe geschlossen. Die folgende Reihe ist nun die Anfangsreihe der weiteren Gruppen.

6.4.6

Programmanwendung

geschraubter Anschluss

Grundkomponente 4: Stützenflansch mit Biegung
grün gekennzeichnete Angaben sind nicht nachweisrelevant (grafische Darstellung)

☒ geschraubter Anschluss
☐ geschweißter Anschluss

Stütze:
☒ Eingabe der benötigten Parameter
☐ Parameter aus I-Profil ermitteln

Stützenflansch:

Blechdicke t_{fc} mm
 Blechbreite b_{fc} mm
 Stahlsorte ☐ Vorgabe

Dicke des Stützenstegs t_{wc} mm
 Ausrundungsradius / Länge des Schweißnahtschenkels am Steg s_c mm

☐ Verstärkung des Stützenprofils durch Stegsteifen

Trägerflansch:

Blechdicke t_{fb} mm
 Blechbreite b_{fb} mm

Stimblech oder Flanschwinkel:

Blechbreite b_{ep} mm
 Blechdicke t_{ep} mm

Es werden nur die wesentlichen Parameter zur Berechnung der Tragfähigkeit der Grundkomponente 4 angefordert. Weitere Werte, die ggf. zur grafischen Darstellung benötigt werden, sind im Eingabeblatt gekennzeichnet und werden weder überprüft noch protokolliert.

Die Parameter des Stützenprofils können einem typisierten Profil entnommen werden. Dazu kann der Querschnitt entweder über den **pcae**-eigenen Profilmanager in das Programm importiert oder als parametrisiertes Stahlprofil eingegeben werden.

Um ein Profil aus dem Angebot des **Profilmanagers** zu wählen, ist der grün unterlegte Pfeil zu betätigen.

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

☒ Profil aus Profilmanager
☐ parametrisiertes Stahlprofil

I-Profil



Profilname

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 Stahlprofils** sind Profilhöhe, Stegdicke, Flanschbreite und -dicke festzulegen.

Bei gewalzten Profilen wird der Ausrundungsradius r zwischen Flansch und Steg geometrisch berücksichtigt, während geschweißte Blechprofile mit Schweißnähten der Dicke a zusammengefügt sind.

Diese Schweißnähte werden **nicht** nachgewiesen.

☐ Profil aus Profilmanager
☒ typisiertes Stahlprofil

Profilklasse

Profilhöhe h mm
 Stegdicke t_w mm
 Flanschbreite b_f mm
 Flanschdicke t_f mm

☒ gewalztes Profil
 Ausrundungsradius r mm

☐ geschweißtes Profil

Die Stahlsorte ebenso wie die Schraubengüte und -größe können Listen der gängigen Typen entnommen werden oder per Hand in das Eigenschaftsblatt eingegeben werden (s. *Allgemeines zur Programmeingabe*).

Schrauben:

Schraubengröße ☐ Vorgabe
 Festigkeitsklasse ☐ Vorgabe

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

Futterbleche unter den Schraubenmuttern erhöhen die Tragfähigkeit.

☒ Flanschverstärkung (Futterblech)
 Blechdicke t_{bp} 10.0 mm
 Stahlsorte S 235 ☐ Vorgabe

Die Tragfähigkeit des Stützenflansches kann durch Quersteifen verstärkt werden.

Die Abmessungen und Lage der Stegsteifen (grafische Erläuterung s.o.) werden abgefragt und vor der Ermittlung der Tragfähigkeit überprüft.

☒ Verstärkung des Stützenprofils durch Stegsteifen
 Blechdicke t_{st} 17.5 mm
 Stahlsorte S 235 ☐ Vorgabe
 Abstand der obersten Quersteife von der ersten Schraubenreihe e_{st} 48.8 mm
 $e_{st} < 0$: Schraubenreihe liegt unterhalb der Quersteife
 Anzahl an Zwischensteifen $n_{st,z}$ 0
 Abstand der Quersteifen d_{st} 242.5 mm
 Schweißnaht Steife - Stützenflansch a_{st} 7.0 mm

Wird eine Zwischensteife angeordnet, vergrößert sich die Tragfähigkeit der Komponente, da die Ausbreitung des Rissmusters begrenzt wird (s. äquivalenter T-Stummel Abs. 7.3, S. 64). Auch kann über Steifen hinweg keine Gruppenwirkung eintreten. Unterhalb von Zwischensteifen werden keine Schraubengruppen mehr gebildet.

In Abhängigkeit zur eingegebenen Anzahl an Schraubenreihen unter Zugbelastung müssen die Abstände der Schraubenreihen voneinander angegeben werden (d.h. Abstand zwischen den Schraubenreihen 1 und 2: p_{1-2} , zwischen Schraubenreihen 2 und 3: p_{2-3}).

☒ Schraubengruppen automatisch bilden
 Berücks. ☐ der maßgebenden ☒ aller Gruppe(n)

Da die Bemessungsgrundlagen innerhalb einer Schraubengruppe einen gleichmäßigen Abstand der Schraubenreihen erfordern, wird der mittlere Abstand zwischen den Schraubenreihen einer Gruppe angesetzt.

Ist die Anzahl an Schraubenreihen zur Gruppenbildung größer als 1 (mind. zwei Reihen gehören einer Gruppe an), kann die Bildung der Gruppen vom Anwender vorgegeben oder vom Programm automatisch durchgeführt werden.

Der Anwender legt die Gruppe über die vorgegebene Anzahl an Mitgliedern fest.

Bei automatischer Gruppenbildung können entweder die maßgebende Gruppe oder alle Gruppen protokolliert bzw. nachgewiesen werden.

geschweißter Anschluss

Grundkomponente 4: Stützenflansch mit Biegung
☐ geschraubter Anschluss
☒ geschweißter Anschluss
 Stützenflansch:
 Blechdicke t_{fc} 13.0 mm
 Blechbreite b_{fc} 280.0 mm
 Stahlsorte S 275 ☐ Vorgabe
 Dicke des Stützenstegs t_{wc} 8.0 mm
 Ausrundungsradius / Länge des Schweißnahtschenkels am Steg s_c 24.0 mm
 Trägerflansch:
 Blechdicke t_{tb} 10.0 mm
 Blechbreite b_{tb} 280.0 mm
 Stahlsorte S 275 ☐ Vorgabe

Es werden nur die wesentlichen Parameter zur Berechnung der Tragfähigkeit der Grundkomponente 4 angefordert. Die Stahlsorte kann einer Liste der gängigen Typen entnommen werden oder per Hand in das Eigenschaftsblatt eingegeben werden (s. *Allgemeines zur Programmeingabe*).

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 zwei Schrauben je Reihe entwickelt worden. Eine Erweiterung auf vier Schrauben je Schraubenreihe wurde nach verschiedenen Verfahren umgesetzt.

Sind nur zwei Schrauben je Reihe vorhanden, kann sowohl jede einzelne Schraubenreihe als auch eine Gruppe von Schraubenreihen für die Übertragung der Zugkräfte maßgebend sein.

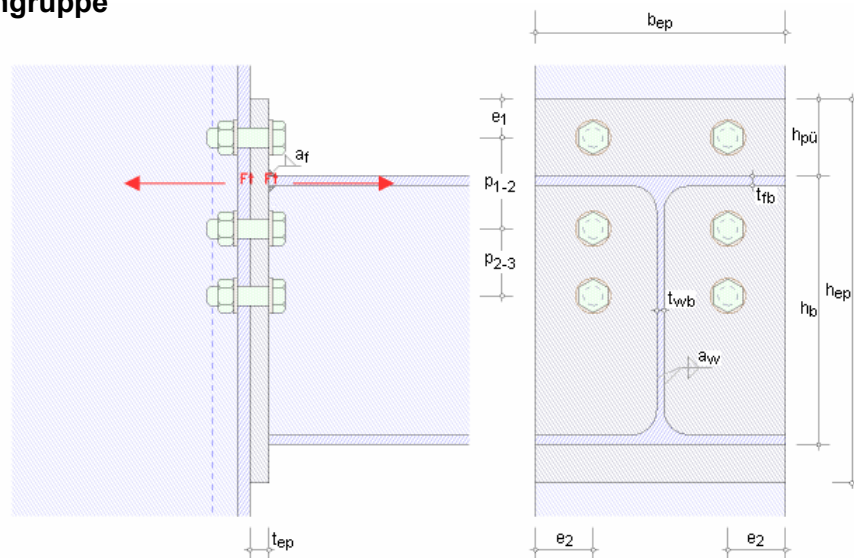
Bei Verbindungen mit vier Schrauben je Reihe werden Schraubengruppen nicht berücksichtigt.

Eine allgemeine Beschreibung zur Berechnung des äquivalenten T-Stummels finden Sie in der *Beschreibung der Basisverbindungen*, Abs. 7.3, S. 64.

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.

Anschließend wird die Zugtragfähigkeit des T-Stummelflansches für jede einzelne Schraubenreihe sowie für Schraubengruppen 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. 54), eingehen.

6.5.3 Schraubengruppe



Da nach EC 3-1-8 ein positives Moment oben Zug erzeugt, wird der Druckpunkt in Mitte des unteren Trägerflanschs angenommen. Es werden nur Schraubenreihen berücksichtigt, die oberhalb des Druckpunkts liegen.

Die Schraubenreihen werden beginnend mit der Reihe, die am weitesten vom Druckpunkt entfernt liegt, durchnummeriert.

Die Trägerflansche wirken wie Quersteifen der Stirnblechverbindung.

Wird ein Überstand des Stirnblechs über dem Trägerzugflansch angegeben, kann sich die erste Schraubenreihe in dem Überstand befinden.

Zunächst wird die Tragfähigkeit jeder einzelnen Reihe ermittelt, anschließend werden Schraubengruppen untersucht.

Eine beliebige Anzahl Reihen zwischen den Flanschen können zu einer Schraubengruppe zusammengefasst werden. Eine Schraubengruppe besteht aus n beieinander liegenden Schraubenreihen, wobei davon ausgegangen wird, dass die erste Reihe unterhalb des oberen Flansches die erste Reihe der Gruppe ist.

Der Abstand der Reihen innerhalb einer Schraubengruppe sollte gleich groß sein. Ist die Differenz zweier Reihen größer als $1,5 \cdot \min p_i$, wird die Gruppe geschlossen. Die folgende Reihe ist nun die Anfangsreihe der weiteren Gruppen.

6.5.4

Programmanwendung

Grundkomponente 5: Stirnblech mit Biegung

Stirnblech:

Blechdicke	t_{ep}	<input type="text" value="20.0"/>	mm
Blechlänge	l_{ep}	<input type="text" value="400.0"/>	mm
Blechbreite	b_{ep}	<input type="text" value="260.0"/>	mm
Stahlsorte	<input type="text" value="S 235"/>	<input type="checkbox"/> Vorgabe	

Stützenflansch:

Blechbreite	b_{fc}	<input type="text" value="280.0"/>	mm
Blechdicke	t_{fc}	<input type="text" value="13.0"/>	mm

Anschlussprofil (Träger):

Höhe	h_b	<input type="text" value="240.0"/>	mm
Flanschdicke	t_{fb}	<input type="text" value="17.0"/>	mm
Stegdicke	t_{wb}	<input type="text" value="10.0"/>	mm
Dicke der Schweißnaht zwischen Stirnblech und Trägerflansch	a_f	<input type="text" value="7.0"/>	mm
Dicke der Schweißnaht zwischen Stirnblech und Trägersteg	a_w	<input type="text" value="4.0"/>	mm

Schrauben:

Schraubengröße	<input type="text" value="20"/>	<input type="checkbox"/> Vorgabe
Festigkeitsklasse	<input type="text" value="8.8"/>	<input type="checkbox"/> Vorgabe
<input checked="" type="radio"/> normale Schlüsselweite <input checked="" type="radio"/> große Schlüsselweite <small>FK 8.8 oder 10.9: HV-Schraube</small>		

Es werden die wesentlichen Parameter zur Berechnung der Tragfähigkeit der Grundkomponente 5 angefordert.

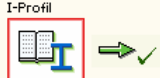
Die Parameter des Trägerprofils können einem typisierten Profil entnommen werden. Dazu kann der Querschnitt entweder über den **pcae**-eigenen Profilmanager in das Programm importiert oder als parametrisiertes Stahlprofil eingegeben werden.

Um ein Profil aus dem Angebot des **Profilmanagers** zu wählen, ist der grün unterlegte Pfeil zu betätigen.

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

☒ Profil aus Profilmanager
☐ parametrisiertes Stahlprofil

I-Profil



Profilname

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 Stahlprofils** sind Profilhöhe, Stegdicke, Flanschbreite und -dicke festzulegen.

Bei gewalzten Profilen wird der Ausrundungsradius r zwischen Flansch und Steg geometrisch berücksichtigt, während geschweißte Blechprofile mit Schweißnähten der Dicke a zusammengefügt sind.

Diese Schweißnähte werden **nicht** nachgewiesen.

☐ Profil aus Profilmanager
☒ typisiertes Stahlprofil

Profilklasse	<input type="text" value="H-Profil"/>
Profilhöhe	h <input type="text" value="390.0"/> mm
Stegdicke	t_w <input type="text" value="11.0"/> mm
Flanschbreite	b_f <input type="text" value="300.0"/> mm
Flanschdicke	t_f <input type="text" value="19.0"/> mm
<input checked="" type="radio"/> gewalztes Profil Ausrundungsradius r <input type="text" value="27.0"/> mm	
<input type="radio"/> geschweißtes Profil	

Die Stahlsorte ebenso wie die Schraubengüte und -größe können Listen der gängigen Typen entnommen werden oder per Hand in das Eigenschaftsblatt eingegeben werden (s. *Allgemeines zur Programmeingabe*).

Schrauben:

Schraubengröße	<input type="text" value="M20"/>	<input type="checkbox"/> Vorgabe
Festigkeitsklasse	<input type="text" value="8.8"/>	<input type="checkbox"/> Vorgabe
<input type="radio"/> normale Schlüsselweite <input checked="" type="radio"/> große Schlüsselweite <small>FK 8.8 oder 10.9: HV-Schraube planmäßig vorgespannt</small>		

Die Tragfähigkeit des T-Stummelflanschs kann durch die Schweißnähte zwischen Träger und Stirnblech begrenzt sein.

Optional kann die Berücksichtigung der Schweißnahttragfähigkeit unterdrückt werden.

Wird zwischen den Trägerflanschen eine Zwischensteife angeordnet, vergrößert sich die Tragfähigkeit der Komponente, da die Ausbreitung des Rissmusters begrenzt wird (s. äquivalenter T-Stummel Abs. 7.3, S. 64).

Auch kann über Steifen hinweg keine Gruppenwirkung eintreten. Unterhalb von Zwischensteifen werden keine Schraubengruppen mehr gebildet.

Schweißnähte:

Dicke der Schweißnaht zwischen Stirnblech und Trägerflansch	a_f	<input type="text" value="7.0"/>	mm
Dicke der Schweißnaht zwischen Stirnblech und Trägersteg	a_w	<input type="text" value="4.0"/>	mm

☒ Zwischensteife

Dicke der Steife	t_{st}	<input type="text" value="12.0"/>	mm
Abstand der Steife vom oberen Trägerflansch	p_{st}	<input type="text" value="80.0"/>	mm
Dicke der Schweißnaht	a_{st}	<input type="text" value="4.0"/>	mm

Es können beliebig viele Schraubenreihen angeordnet werden, von denen ggf. nur ein Teil Schraubengruppen bildet.

Sind vier Schrauben je Reihe vorhanden, werden Schraubengruppen nicht untersucht.

Der Überstand des Stirnblechs befindet sich auf der Zugseite, d.h. oben.

Für alle Schraubenreihen müssen die Abstände der Schraubenreihen voneinander angegeben werden (d.h. Abstand zwischen den Schraubenreihen 1 und 2: p_{1-2}).

Anzahl Schraubenreihen insgesamt	<input type="text" value="4"/>	
Anzahl Schraubenreihen zur Gruppenbildung gezählt vom Zugrand	<input type="text" value="3"/>	
Anzahl Schrauben je Schraubenreihe	n_{sr} <input type="text" value="2"/>	
Überstand des Stirnblechs	h_{pu} <input type="text" value="80.0"/>	mm
Abstand der Schrauben vom seitlichen Rand des Stirnblechs	e_2 <input type="text" value="60.0"/>	mm
Abstand der ersten Schraubenreihe vom Zugrand des Stirnblechs	e_1 <input type="text" value="40.0"/>	mm
Abstand der Schraubenreihen voneinander	p_{1-2} <input type="text" value="95.0"/>	mm
	p_{2-3} <input type="text" value="70.0"/>	mm
	p_{3-4} <input type="text" value="85.0"/>	mm

Da die Bemessungsgrundlagen innerhalb einer Schraubengruppe einen gleichmäßigen Abstand der Schraubenreihen erfordern, wird der mittlere Abstand zwischen den Schraubenreihen einer Gruppe angesetzt.

Ist die Anzahl an Schraubenreihen zur Gruppenbildung größer als 1 (mindestens zwei Reihen gehören einer Gruppe an), kann die Bildung der Gruppen vom Anwender vorgegeben oder vom Programm automatisch durchgeführt werden.

☒ Schraubengruppen automatisch bilden
 Berücks. ☐ der maßgebenden ☒ aller Gruppe(n)
☐ letzte Schraubenreihe liegt am freien Rand (z.B. T-Profil)

Der Anwender legt die Gruppe über die vorgegebene Anzahl an Mitgliedern fest.

Bei automatischer Gruppenbildung können entweder die maßgebende Gruppe oder alle Gruppen protokolliert bzw. nachgewiesen werden.

Werden vier Schrauben je Reihe angeordnet, sind zusätzlich die Angaben der Breite und Stahlgüte des Trägerflanschs sowie der Abstand der äußeren zur inneren Schraube erforderlich.

Anzahl Schrauben je Schraubenreihe	n_{sr}	<input type="text" value="4"/>	
Berechnungsmethode		<input checked="" type="radio"/> Wagenknecht <input type="radio"/> ALF-Bericht <input type="radio"/> B. Schmidt <input type="radio"/> Wagenknecht	
Überstand des Stirnblechs		<input type="text" value="80.0"/>	mm
Abstand der Schrauben vom seitlichen Rand des Stirnblechs		<input type="text" value="60.0"/>	mm
Schraubenabstand der Außenschraube von der Innenschraube	w_2	<input type="text" value="50.0"/>	mm
Abstand der ersten Schraubenreihe vom Zugrand des Stirnblechs	e_1	<input type="text" value="40.0"/>	mm
Abstand der Schraubenreihen voneinander	p_{1-2}	<input type="text" value="95.0"/>	mm
	p_{2-3}	<input type="text" value="70.0"/>	mm
	p_{3-4}	<input type="text" value="85.0"/>	mm

Die Berechnungsmethode kann aus verschiedenen Veröffentlichungen (s. äquivalenter T-Stummel Abs. 7.3, S. 64) gewählt werden.

Die Anzahl an Schrauben kann je Reihe variieren (4 - 4 Schrauben je Reihe, 2i - 2 Schrauben am Steg, 2a - 2 Schrauben am Stirnblechrand), jedoch wird die Ermittlung der Tragfähigkeit an die Erfordernisse der jeweiligen Berechnungsmethode angepasst.

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.

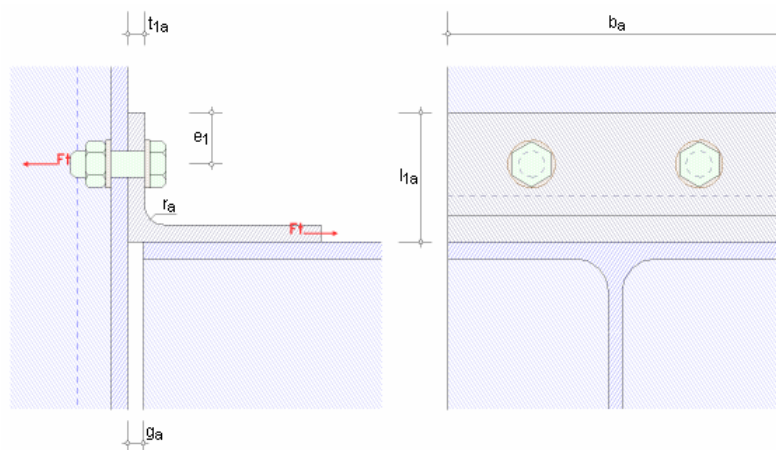
Bei Verbindungen mit Flanschwinkeln wird nur eine einzelne Schraubenreihe zwischen Winkel und Stützenflansch für die Übertragung der Zugkräfte angenommen.

Eine allgemeine Beschreibung zur Berechnung des äquivalenten T-Stummels finden Sie in der *Beschreibung der Basisverbindungen*, Abs. 7.3, S. 64.

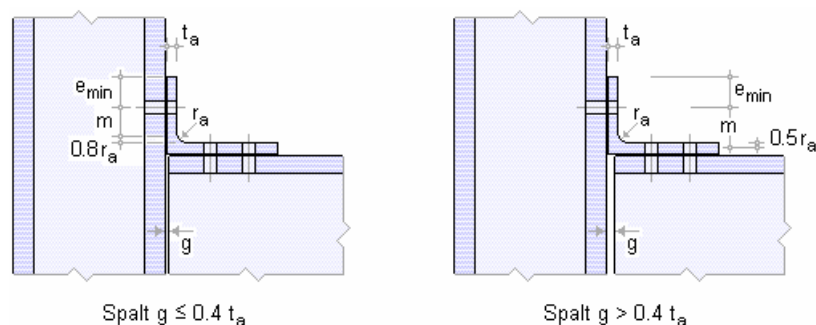
Zwischen Winkel und Trägerflansch können mehrere Schraubenreihen auftreten, die jedoch hier nicht bemessungsrelevant sind.

Die wirksame Länge des äquivalenten T-Stummelflansches einer Flanschwinkel-Verbindung ist mit $l_{\text{eff}} = 0.5 b_a$ 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).



Grundkomponente 6: Flanschwinkel mit Biegung

Flanschwinkel:

Dicke des Winkelschenkels t_a mm

Länge des Winkelschenkels der am Stützenflansch anliegt l_{1a} mm

Ausrundung zwischen den Winkelschenkeln r_a mm

Stahlsorte ☐ Vorgabe

Schrauben:

Schraubengröße ☐ Vorgabe

Festigkeitsklasse ☐ Vorgabe

☒ normale Schlüsselweite ☐ große Schlüsselweite
FK 8.8 oder 10.9: HV-Schraube (vorgespannt)

Es werden nur die wesentlichen Parameter zur Berechnung der Tragfähigkeit der Grundkomponente 6 angefordert. Die Stahlsorte ebenso wie die Schraubengüte und -größe können Listen der gängigen Typen entnommen werden oder per Hand in das Eigenschaftsblatt eingegeben werden (s. *Allgemeines zur Programmeingabe*).

Abstand des Trägerkopfs vom Stützenflansch g_a mm

Abstand der ersten Schraubenreihe vom Rand des Flanschwinkels e_1 mm

Zwischen Träger und Stützenflansch kann ein Spalt entstehen, der das Tragverhalten der Verbindung beeinflusst. Die Spaltbreite sowie der Abstand der Schraubenachse vom Zugrand des Winkels sind anzugeben.

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
- 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. 38).

Unterschreitet die einwirkende Querkraft die Hälfte der plastischen Querkraftbeanspruchbarkeit, muss die Momententragfähigkeit nicht abgemindert werden. Die Abminderung erfolgt durch eine Reduzierung der Streckgrenze auf

$$(1 - \rho) \cdot f_y \quad \text{mit} \quad \rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Rd}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

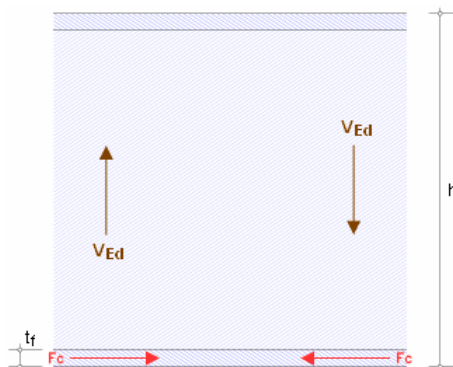
Die Biegetragfähigkeit ergibt sich zu

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 1 oder 2}$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{... der Klasse 3}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{... der Klasse 4}$$

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

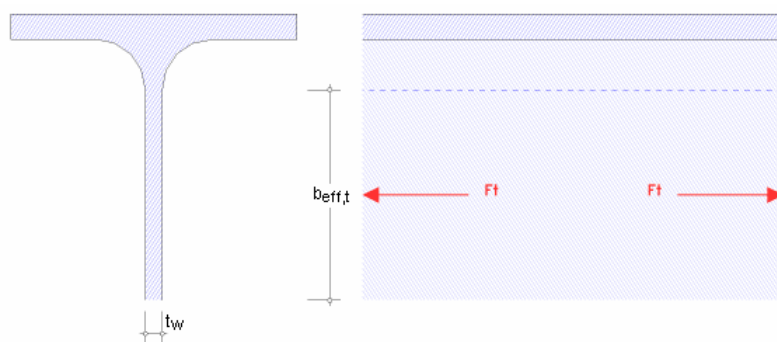
6.8.2 Tragfähigkeit

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. 44) gleichzusetzen ist.

6.8.3 Träger



6.9 Schrauben mit Zugbeanspruchung

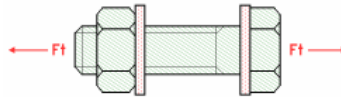
EC 3-1-8, 6.2.6.4 bis 6, Grundkomponente 10, bei Träger-Stützenverbindungen und Trägerstößen

6.9.1 Anwendungsgrenzen

Schrauben sind die Verbindungsmittel der Grundkomponenten 4 (*Stützenflansch mit Biegebeanspruchung*, Abs. 6.4, S. 44) und 5 (*Stirnblech mit Biegebeanspruchung*, Abs. 6.5, S. 48).

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. 58, zur Berechnung der Zugtragfähigkeit von Schrauben.



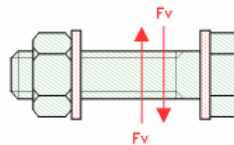
6.10 Schrauben mit Abscherbeanspruchung

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. 58, zur Berechnung der Abschertragfähigkeit von Schrauben.



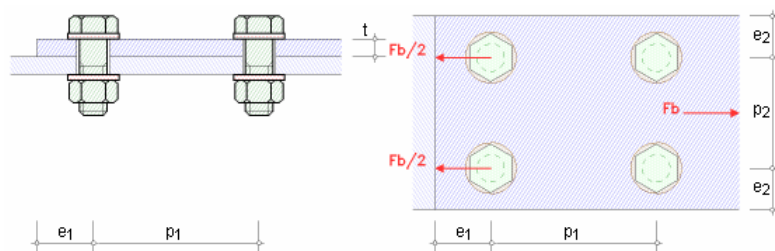
6.11 Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung

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. 58, zur Berechnung der Lochleibungstragfähigkeit von Schrauben.



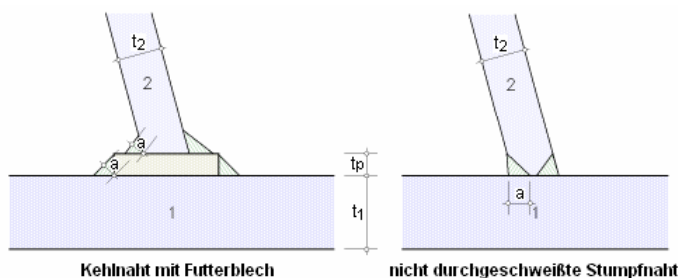
6.12 Schweißnähte

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. 62, zur Berechnung der Schweißnähte.



6.12.2 Programmanwendung

Grundkomponente 19: Schweißnaht

Schweißnaht: ☒ Kehlnaht / Hohlkehlnaht

☐ Stumpfnah

Nahtlänge l_w 140.0 mm

wirksame Nahtdicke a 4.0 mm

Öffnungswinkel der Naht φ 75 °

Blech 1: Blechdicke t_1 20.0 mm

Stahlsorte S 275 ☐ Vorgabe

Blech 2: Blechdicke t_2 12.0 mm

Stahlsorte S 275 ☐ Vorgabe

☒ Futterblech t_p 6.0 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. 37).

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

☐ durchgeschweißt

☒ nicht durchgeschweißt

bzw. ☒ durchgeschweißt

☐ nicht durchgeschweißt

Nahtlänge l_w 140.0 mm

wirksame Nahtdicke a 6.0 mm

Öffnungswinkel der Naht φ 75 °

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

l_w 140.0 mm

$a = t_2$

φ 75 °

Blech 1: Blechdicke t_1 20.0 mm

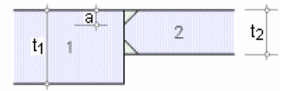
Stahlsorte S 275 ☐ Vorgabe

Blech 2: Blechdicke t_2 12.0 mm

Stahlsorte S 275 ☐ Vorgabe

Ist die Stumpfnahht durchgeschweißt, braucht keine Nahtdicke vorgegeben zu werden, da sie der Blechdicke t_2 entspricht.

Wird der Öffnungswinkel einer Stumpfnahht mit $\varphi = 0^\circ$ angegeben, wird in den Darstellungen ein geschweißter Trägerstoß gezeichnet; die Berechnung ändert sich jedoch nicht.



Basisverbindungen

Den Verfahren zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Stahlbauanschlüssen liegt Folgendes zu Grunde

- Schrauben, Abs. 7.1, S. 58
- Schweißnähte, Abs. 7.2, S. 62
- T-Stummelflansch mit Zugbeanspruchung, Abs. 7.3, S. 64

Das Eurocode-Dokument enthält Parameter, die national veränderbar sind. Die im Programm verwendeten veränderbaren Parameter können im Nationalen Anhang (Abs. 8.3, S. 76) eingesehen und verändert werden.

7.1

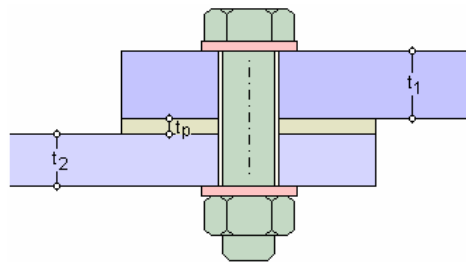
Tragfähigkeit von Schraubenverbindungen



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

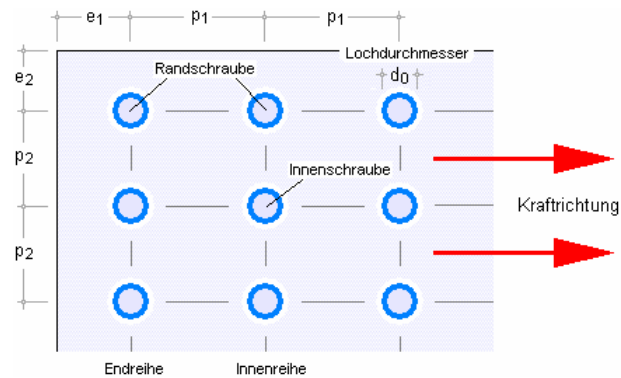
Zugbeanspruchung

- 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

7.1.2

Berechnung der Tragfähigkeiten von Schrauben

Die Schraubenabstände sind folgendermaßen definiert



Abscheren je Scherfuge

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

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 α_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

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

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)

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

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

im GZT

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

im GZG

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

Querschnittsversagen bei Zugverbindungen

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

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

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 Δs 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 ²

7.2

Tragfähigkeit von Schweißverbindungen



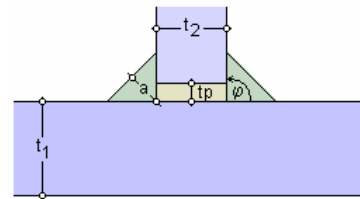
Schweißverbindungen können nach EC 3-1-8, 4, bemessen werden, wenn die zu verschweißenden Blechdicken 4 mm bzw. bei Hohlprofilen 2.5 mm oder mehr aufweisen.

Die Norm behandelt Kehlnähte, Schlitznähte, Stumpfnähte und Lochschweißungen.

7.2.1

Kehlnähte

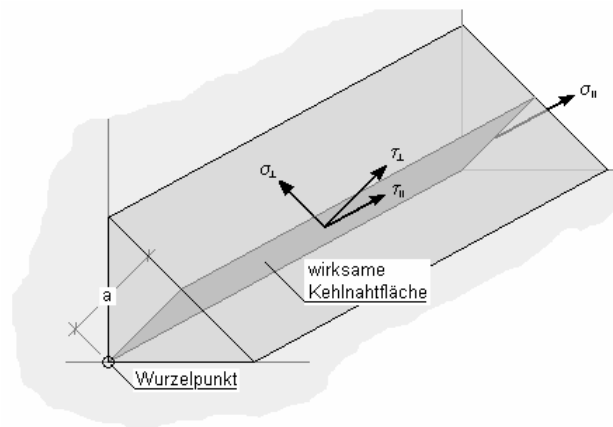
<input type="radio"/> Kehlnaht / Hohlkehlnaht			
<input checked="" type="checkbox"/> einseitige Naht			
wirksame Nahtdicke	a	4,0	mm
Öffnungswinkel der Naht	φ	90	°



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

$$\begin{aligned} \sigma_I &= \frac{F_{Ed}(\sigma_I)}{a} && \text{Normalspannung senkrecht zur Schweißnahtachse} \\ \sigma_{II} &= 0 && \text{Normalspannung parallel zur Schweißnahtachse} \\ \tau_{II} &= \frac{F_{Ed}(\tau_{II})}{a} && \text{Schubspannung in der Ebene der Kehlnahtfläche senkrecht zur Schweißnahtachse} \\ \tau_I &= \frac{F_{Ed}(\tau_I)}{a} && \text{Schubspannung in der Ebene der Kehlnahtfläche parallel zur Schweißnahtachse} \end{aligned}$$

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

$$\sqrt{\sigma_I^2 + 3 \cdot (\tau_I^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{... und ...} \quad \sigma_I \leq \frac{0.9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{... mit ...} \quad f_u = \min(f_u(\text{Blech 1}), f_u(\text{Blech 2}))$$

vereinfachtes Verfahren

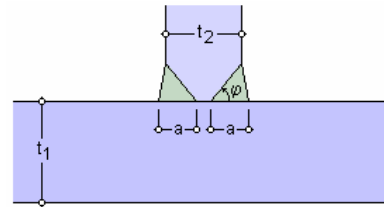
Die Resultierende aller auf die Kehlnaht einwirkenden Kräfte muss folgende Bedingung erfüllen

$$\begin{aligned} F_{w,Ed} &\leq F_{w,Rd} \quad \text{... mit ...} \quad F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a \quad \text{... und ...} \quad \text{Scherfestigkeit } f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{... mit ...} \quad f_u \text{ s.o.} \\ F_{w,Ed} &= \sqrt{F_{Ed}^2(\sigma_I) + F_{Ed}^2(\tau_I) + F_{Ed}^2(\tau_{II})} \end{aligned}$$

7.2.2

Stumpfnähte

<input checked="" type="radio"/> Stumpfnah	
<input type="radio"/> durchgeschwei	
<input checked="" type="radio"/> nicht durchgeschwei	
<input type="checkbox"/> einseitige Naht	
wirksame Nahtdicke	a
Öffnungswinkel der Naht	φ



Stumpfnähte können durchgeschweißt oder nicht durchgeschweißt ausgeführt werden.

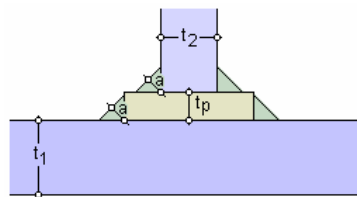
Eine durchgeschweißte Stumpfnahrt ist eine Schweißnaht mit vollständigem Einbrand und vollständiger Verschmelzung des Schweißwerkstoffs mit dem Grundmaterial über die gesamte Dicke der Verbindung (EC 3-1-8, 4.3.4(1)), d.h. $a = t_2/2$ bei beidseitiger Schweißung bzw. $a = t_2$ bei einseitiger Schweißung.

Bei einer nicht durchgeschweißten Stumpfnahrt 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

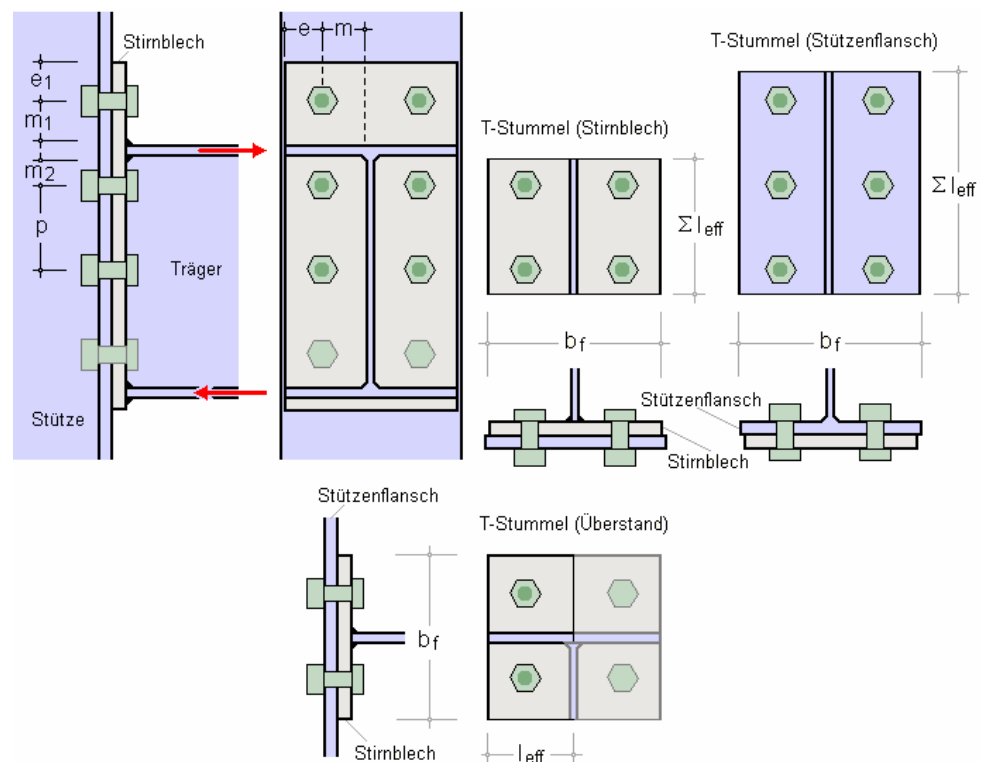
- Stützenflansch mit Biegebeanspruchung
- Stirnblech mit Biegebeanspruchung
- Fußplatte mit Biegebeanspruchung infolge Zugbeanspruchung

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

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

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

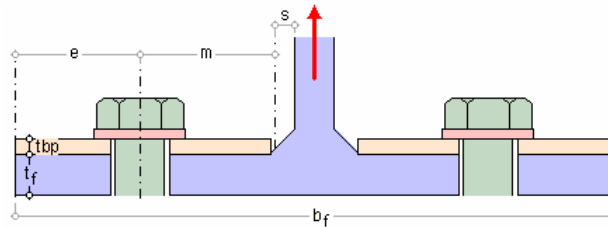
Wesentliche Parameter sind

- 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 Σl_{eff} , die u.U. für Modus 1 und 2 unterschiedlich ist (Modus 3 ist unabhängig von der wirksamen T-Stummellänge). Die wirksame T-Stummellänge kann entweder vom Programm berechnet oder direkt eingegeben werden.

Obwohl die Kräfte in jeder Schraubenreihe gleich groß angenommen werden, ist außerdem zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Kräfte in den verschiedenen Schraubenreihen auftreten können. Daher sind u.U. einzelne Schraubenreihen oder Gruppen von Schraubenreihen zu untersuchen.

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 α 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 n_b = 1: einzeln betrachtet
(2 Schrauben je Reihe)
☒ innere Schraubenreihe
☐ äußere Schraubenreihe

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

Wird eine Gruppe von $n_b > 1$ Schraubenreihen betrachtet, berechnet sich die gesamte wirksame Länge als Summe der wirksamen Längen der einzelnen Schraubenreihen. Dabei wirken immer eine äußere Schraubenreihe und optional eine innere Schraubenreihe neben dem Trägerzugflansch mit.

Stirnblech - überstehender Teil

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

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

- Schraubenreihe einzeln betrachtet

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

$$L_b \leq L_b^* \quad \dots \text{mit} \dots \quad L_b^* = \frac{8,8 \cdot m^3 \cdot A_s \cdot n_b}{\sum l_{\text{eff},1} \cdot t_f^3}$$

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 $F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n}$
- Modus 3 $F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$

Verfahren 2 (alternativ)

- Modus 1 ohne Futterplatten $F_{T,1,Rd} = \frac{(8 \cdot n - 2 \cdot e_{ww}) \cdot M_{pl,1,Rd}}{2 \cdot m \cdot n - e_{ww} \cdot (m + n)}$
- 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 Modi 1 und 2 berechnet zu (Modus 3 s. Verfahren 1)

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

Die Bemessungswerte der plastischen Momente sind

- Modus 1 $M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{\text{eff},1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$
- Modus 2 $M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{\text{eff},2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$
- Futterplatten $M_{bp,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{\text{eff},1} \cdot t_{f,bp}^2 \cdot f_{y,bp}}{\gamma_{M0}}$

Die Komponentenmethode des EC3-1-8 regelt u.A. geschraubte Verbindungen mit nur zwei Schrauben je Schraubenreihe. Eine Erweiterung auf die in Deutschland gebräuchlichen Stirnblechverbindungen mit vier Schrauben je Reihe wurde von verschiedenen Autoren veröffentlicht. **pcae** hat drei Methoden in ihren Programmen umgesetzt.

B. Schmidt ...

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

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

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

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

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

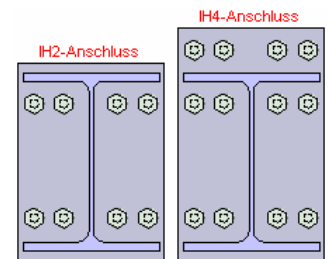


Achtung! Die Anwendung der Methode ist (gegenwärtig noch) nicht durch Norm eingeführt.

Das Verfahren wird anhand der Stirnblechverbindung erläutert.

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

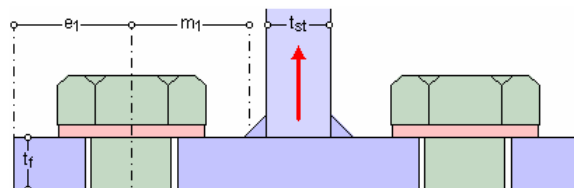
- **IH2-Anschluss**: Stirnblech ohne Überstand mit einer Schraubenreihe unter Zugbelastung
- **IH4-Anschluss**: Stirnblech mit Überstand mit zwei Schraubenreihen unter Zugbelastung (eine Reihe befindet sich im Überstand, die zweite Reihe unterhalb des Trägerflanschs)



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

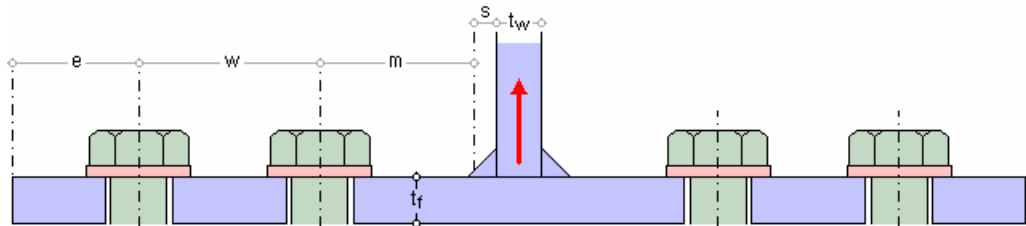
Für den **überstehenden Teil** des Stirnblechs ist das Stirnblech der Stummelflansch und der Trägerflansch der Stummelsteg des äquivalenten T-Stummels. Wesentliche Parameter zur Berechnung der Fließlinien bzw. der effektiven Länge des T-Stummels sind

- 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
 $s = 0,8 \cdot a_{st} \cdot \sqrt{2}$ (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
 $s = 0.8 \cdot a \cdot \sqrt{2}$ (geschweißter T-Stummel a = Schweißnahtdicke) bzw.
 $s = 0.8 \cdot r$ (gewalzter T-Stummel r = 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-Stummelflanschs unter Zugbelastung unterschieden.

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

Das Fließen des Flanschs ist abhängig von der wirksamen T-Stummellänge Σl_{eff} , die u.U. für die Modi 1 und 2 unterschiedlich sein kann (Modus 3 ist nur abhängig von der Schraubengüte). Die wirksame T-Stummellänge kann entweder vom Programm berechnet oder direkt eingegeben werden.

Obwohl die Kräfte in jeder Schraubenreihe gleich groß angenommen werden, ist zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Kräfte in den verschiedenen Schraubenreihen auftreten können. Daher sind i.A. sowohl die einzelne Schraubenreihe als auch Gruppen von Schraubenreihen zu untersuchen.

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

7.4.1.1

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

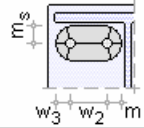
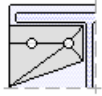
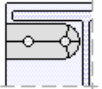
- Schraubenreihe einzeln betrachtet

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 $w_1 = b_p - 2(w + e)$, $w_3 = e$, $w_2 = w$, $m_x = m_1$, $e_x = e_1$.

- 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		$\pi \cdot m_x + w_2 + 2 \cdot e$			

7.4.1.2

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
 \text{Modus 1} \quad M_{pl,1,Rd} &= \frac{0.25 \cdot I_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{2} \\
 \text{Modus 2} \quad M_{pl,2,Rd} &= \frac{0.25 \cdot I_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{2} \\
 &\dots \text{sowie} \quad M_{pl,2,st,Rd} = \frac{0.25 \cdot I_{eff,2} \cdot t_{st}^2 \cdot f_{y,st}}{2} \quad \dots \text{bei IH2-Anschlüssen}
 \end{aligned}$$

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.

$$\begin{aligned}
 \max F_{T,Rd} &= (A_F + A_S) \cdot f_{y,st} / \gamma_{M0} \quad \dots \text{mit} \quad A_F = b_{st} \cdot t_{st} \\
 &A_S = I_{eff} \cdot \delta_S \cdot t_w \quad \dots \text{im Überstand} \quad A_S = 0
 \end{aligned}$$

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

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

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

Jedoch kann die Methode auch auf allgemeinere Anschlusskonfigurationen angewendet werden (s. Weynand/Oerder, *Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach DIN EN 1993-1-8, Ergänzungsband 2018*). Diese Vorgehensweise ist nur für den geschraubten Trägerstoß mit Stirnblech umgesetzt; sie gilt nicht für Träger-Stützenanschlüsse.

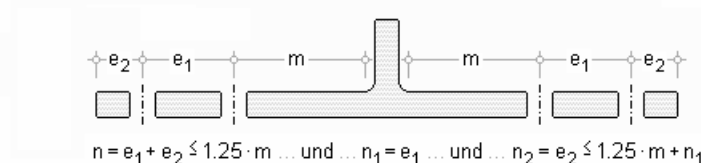


Achtung! Die Anwendung der Methode ist (gegenwärtig noch) nicht durch Norm eingeführt.

Generell folgt das Verfahren der Vorgehensweise von B. Schmidt, daher werden hier nur die wesentlichen Formeln dargestellt. Die Tragfähigkeiten der verschiedenen Versagensmodi ergeben sich zu

$$\begin{aligned} \text{Modus 1} \quad F_{Rd,1} &= \frac{(8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}}{2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m + n)} \\ \text{Modus 3} \quad F_{Rd,3} &= \frac{\sum B_{t,Rd}}{2} \cdot (1 + 0.8) = 0.9 \cdot \sum B_{t,Rd} \\ \text{Modus 2} \quad F_{Rd,2,p} &= \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + \frac{\sum B_{t,Rd}}{2} \cdot \left(\frac{n_1^2 + 2 \cdot n_2^2 + 2 \cdot n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2} \right)}{m + n_1 + n_2} \quad \dots \text{Abstützkräfte vorhanden} \\ F_{Rd,2,np} &= \frac{2 \cdot M_{pl,1,Rd} + \frac{\sum B_{t,Rd}}{2} \cdot n_1}{m + n_1} \quad \dots \text{Abstützkräfte nicht vorhanden} \end{aligned}$$

... mit ... $e_w = d_w / 4$
 $\sum B_{t,Rd}$ Summe der Schraubentragfähigkeiten
 $M_{pl,1,Rd} = 0.25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$
 $M_{pl,2,Rd} = 0.25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$



Die wirksamen Längen ergeben sich für verschiedene Fließmuster zu

äußere Schraubenreihe

$$\begin{aligned} l_{eff,c} &= \min [l_{eff,I}, l_{eff,II}, l_{eff,III}, l_{eff,IV}] \quad \dots \text{mit} \dots \\ l_{eff,I} &= 4 \cdot \pi \cdot m_x \\ l_{eff,II} &= \pi \cdot m_x + w + 2 \cdot e_1 \\ l_{eff,III} &= 2 \cdot (\pi \cdot m_x + e_1) \\ l_{eff,IV} &= \pi \cdot m_x + 2 \cdot (e_1 + e_2) \\ l_{eff,nc} &= \min [l_{eff,V}, l_{eff,VI}, l_{eff,VII}, l_{eff,VIII}, l_{eff,IX}] \quad \dots \text{mit} \dots \\ l_{eff,V} &= 2 \cdot m_x + 0.625 \cdot e_x + (e_1 + e_2) \\ l_{eff,VI} &= 4 \cdot m_x + 1.25 \cdot e_x + e_1 \\ l_{eff,VII} &= 2 \cdot m_x + 0.625 \cdot e_x + e_1 + 0.5 \cdot w \\ l_{eff,VIII} &= 0.5 \cdot (2 \cdot e_1 + 2 \cdot e_2 + w) \\ l_{eff,IX} &= 8 \cdot m_x + 2.5 \cdot e_x \end{aligned}$$

innere Schraubenreihe neben einer Steife

$$\begin{aligned} l_{eff,c} &= l_{eff,X} = 4 \cdot \pi \cdot m_1 \\ l_{eff,nc} &= l_{eff,XI} = \alpha \cdot m_1 \end{aligned}$$

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

7.4.3

G. Wagenknecht ...

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

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

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

Die Tragfähigkeit der inneren Schraubenreihe ergibt sich zu

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

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

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

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

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 ²
char. Zugfestigkeit	f_u	430.0 N/mm ²
E-Modul	E	210000 N/mm ²
Korrelationsbeiwert	β_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.

Eingabeprotokoll	
<input checked="" type="checkbox"/>	Grafik im Maßstab 1: 0.0
<input checked="" type="checkbox"/>	Eingabeparameter
<input checked="" type="checkbox"/>	Materialsicherheitsbeiwerte / Bemessungskräfte
<input type="checkbox"/>	zusätzliche Informationen
<input type="checkbox"/>	Parameter des nationalen Anhangs
<input checked="" type="checkbox"/>	Vorschriften

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

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

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

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

- ☒ 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

Im Programm *4H-EC3FS*, freier Stirnplattenstoß, können die FEM-Ergebnisse in einer optimierten Tabelle ausgegeben werden.

- ☒ optimierte Tabelle (FEM-Ergebnisse) nur 4H-EC3FS
- ☒ Bemessungsgrößen nur 4H-EC3BT - Familie
4H-EC3GT - Familie
- ☒ Zwischenergebnisse
- ☒ 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.).



Zum Druckmanager und den dortigen Interaktionsmöglichkeiten s. *DTE®*-Handbuch.

Beispielausdrucke finden Sie im Internet unter www.pcae.de.

8.3

nationale Anhänge zu den Eurocodes

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

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

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

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

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



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

Darüber hinaus stellt *pcae* ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem weitere NAe aus Kopien der bestehenden NAe erstellt werden können. Dieses Werkzeug, das über ein eigenes Hilfedokument verfügt, wird normalerweise aus der Schublade des *DTE®*-Schreibtisches 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 Normung 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, Dezember 2013
- /40/ Druckschrift Kerncompactlager, Calenberg Ingenieure GmbH, Salzhemmendorf, 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. Desmonceau, 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: ζ -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

10 Index

Abkürzungen	2	Quersteife	45
Abscheren	55	Rotationsfeder	26
Anhang nationaler	76	Rotationskapazität	26, 36
Anschlusskonfiguration	37	Rotationssteifigkeit	26, 34
Basisverbindungen	58	Scherbeanspruchung	58
Bauteil erzeugen	7	Schnittgrößen	16
Bemessungsschnittgrößen	16	Schnittgrößenimport	17
Biegetragfähigkeit plastische	40	Schnittgrößentransformation	23
blank	2	Schnittufer	16
Cursor	2	Schraube	55, 61
Druckliste	75	Schraubenverbindung	58
DXF	10	Schreibtisch	6
Einwirkung	2	Schreibtischauswahl	5
e-Mail	6	Schubfläche wirksame	38
Ergebnisübersicht	24	Schweißnaht	32, 56
Extremalbildungsvorschrift	2	Schweißverbindung	62
Festigkeitsklasse	61	Senkschraube	61
Flanschwinkel	51	Stahlsorte	75
Fließen	65	Startsymbol	5
Futterblech	63	Stegblech	41, 42, 43
Grundkomponente	26	Stegsteife	33, 40
IH2	68, 73	Steuerbutton	6
IH4	68, 73	Stirnblech	48, 66
Installation	5	Stirnblechverbindung geschraubte	27
Kehlnaht	62	Stumpfnah	63
Komponentenmethode	27	Stützenflansch	44, 53
Kontextsensitivität	6	Stützensteg	41, 43
Länge wirksame	65	Stützenstegfeld	40
Lastbild	2	Teilschnittgrößen	23
Lastfall	2	Teilsicherheitsbeiwert	38
Lastkollektiv	2	Trägerflansch	53
Linienquerschnitt	32	Trägersteg	41, 54
Lochleibung	55	Tragfähigkeit Schraube	59
Material	11	T-Stummel Zug	64
Materialsicherheitsbeiwert	38	T-Stummel Zug Tragfähigkeit	67
Modell statisches	37	T-Stummelflansch	44, 48
Momententragfähigkeit	26	Verfahren richtungsbezogenes	62
Ordner	7	Verfahren vereinfachtes	62
Profilmanager	12	Verstärkung	13
Querkrafttragfähigkeit plastische	53	Widerstandsmoment plastisches	38
Querschnittsklassifizierung	38	Zugbeanspruchung	58