



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-EC3IS

Typisierter IS-IW-IG-IK-Anschluss

August 2022

4H-EC3IS

Typisierter IS-IW-IG-IK-Anschluss

Copyright 2015-2022

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 *##-EC3IS*, Typisierter IS,IW,IG,IK-Anschluss, berechnet gelenkige Trägeranschlüsse, die in dem Ringbuch *Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach DIN EN 1993-1-8, Kapitel IS, IW, IG, IK*, verzeichnet sind.

Es werden gelenkige Anschlüsse mit Stirnblech (IS), Winkeln (IW), Winkeln mit großem Spalt (IG) sowie Ausklinkungen (IK) berechnet.

Geometrie- und Materialparameter werden dem Ringbuch entnommen und nach dem ECCS-Standard ausgewertet. Der ECCS-Standard wird von einer europäischen Organisation aufgestellt, die Nachweisrichtlinien des Eurocode 3 kommentiert oder ergänzt (s. Literatur Abs. 9, S. 51). Damit lässt sich die Querkrafttragfähigkeit des gelenkigen Anschlusses bestimmen.

Beim Stirnblech- und Winkelanschluss wird außerdem die erforderliche Mindestdicke des lastaufnehmenden Blechs (Hauptträgersteg) ermittelt. Beim Stirnblechanschluss wird die erforderliche Schweißnahtdicke angegeben.

Im Endergebnis werden die maximale Querkrafttragfähigkeit und ggf. die minimalen Blech- und Schweißnahtdicken angegeben.

Bei Anschlüssen mit Ausklinkungen wird der Querschnittsnachweis für den ausgeklinkten Bereich durchgeführt.

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 *##-EC3IS* 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 *##-EC3GT*, Gelenkiger Trägeranschluss, übernommen und dort modifiziert werden.

Spezielle Leistungsmerkmale

- der Anschluss wird als geschraubte Stirnblech- oder Winkelverbindung ausgeführt, deren Geometrie- und Materialdaten dem Ringbuch *Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach EC 3-1-8* entsprechen
- die Eingabe erfolgt in Anlehnung an die Vorgehensweise zur Auswahl eines geeigneten Anschlusses aus dem Ringbuch
- es werden entweder nur die Tragfähigkeiten ermittelt oder es erfolgt der Nachweis der eingegebenen Lastkombinationen
- die Bemessungslasten müssen i.A. nicht umgerechnet werden. Die B. werden im Rotationspunkt (Gelenk, bei allen Anschlusstypen handelt sich hierbei um den Kontaktpunkt zwischen Nebenträgerachse und Hauptträgersteg) eingegeben.
Die Bemessungslasten können entweder 'per Hand' eingegeben oder importiert werden. Der Datenimport kann aus einem *pcae*-Programm oder über eine ASCII-Schnittstelle erfolgen.
- die Schweißnähte zwischen Nebenträger und Stirnblech werden als voll tragfähig angenommen und so bemessen, dass Blechversagen vor Nahtversagen eintritt
- die Querschnittstragfähigkeit des ausgeklinkten Trägers wird mit dem Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* nachgewiesen
- 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 jeder Zahlenwert nachvollzogen werden kann. Natürlich kann das Statikdokument auch wesentlich reduziert werden.
- Export der Konstruktionszeichnung im DXF-Format zur Weiterbearbeitung in einem CAD-System

Die Programmentwicklung erfolgt nahezu ausschließlich durch Bauingenieure.

Die interaktiven Steuermechanismen des Programms sind aus anderen Windows- Anwendungen

gen bekannt. Wir haben darüber hinaus versucht, weitestgehend in der Terminologie des Bauingenieurs zu bleiben und #-EC3IS 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 #-EC3IS-Dokumentation gehört neben diesem Manual das Handbuch
DTE®-DeskTopEngineering.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit #-EC3IS.

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.

Die in der Interaktion mit pcae-Programmen stehenden **Buttons** besitzen folgende Funktionen:



Bricht Eigenschaftsblätter ohne Änderung der Eingabewerte ab.



Lädt abgespeicherte Werte in das Eigenschaftsblatt bzw. speichert die aktuellen Werte zum späteren Abruf in anderen Eigenschaftsblättern.



Ruft das Online-Hilfesystem.



Bestätigt die Eingaben und schließt das Eigenschaftsblatt.



Löschen-Button vernichtet Eingaben mit Nachfrage.



Datenzustand
überprüfen

Wenn der Mauszeiger einen Moment auf einem Button verweilt, erscheint ein Fähnchen, das den zugehörigen Aufruf beschreibt.

Inhaltsverzeichnis

1	Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten	5
2	Bauteil erzeugen	7
3	Eingabeoberfläche	9
3.1	Anschlussparameter	10
3.1.1	Allgemeines	10
3.1.2	Material	11
3.1.3	Träger	11
3.1.4	Bildschirmgrafik	13
3.2	Tragfähigkeiten	13
3.3	Schnittgrößen	15
3.3.1	Schnittgrößenimport bei einseitigen Anschlüssen	16
4	Nachweise EC 3	18
4.1	Berechnung eines Punktequerschnitts	18
4.2	Berücksichtigung von Druckkontakt	18
4.3	ECCS- Modellvoraussetzungen	19
4.4	Nachweise	19
4.5	Nachweis des Stirnplattenanschlusses	23
4.6	Nachweis des Winkelanschlusses	24
5	Grundkomponenten	27
5.1	Stützenflansch mit Biegebeanspruchung	27
5.1.1	Anwendungsvoraussetzung	27
5.1.2	Tragfähigkeit einer geschweißten Verbindung	27
5.1.3	Tragfähigkeit einer geschraubten Verbindung	27
5.1.4	Verstärkungen des Stützenstegs	27
5.1.5	Schraubengruppe	28
5.2	Stirnblech mit Biegebeanspruchung	28
5.2.1	Anwendungsvoraussetzung	28
5.2.2	Tragfähigkeit	28
5.2.3	Schraubengruppe	29
5.3	Schrauben mit Zugbeanspruchung	29
5.3.1	Anwendungsgrenzen	29
5.4	Schrauben mit Abscherbeanspruchung	29
5.4.1	Anwendungsgrenzen	29
5.5	Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung	30
5.5.1	Anwendungsgrenzen	30
6	Basisverbindungen	31
6.1	Tragfähigkeit von Schraubenverbindungen	31
6.1.1	Schrauben	31
6.1.2	Berechnung der Tragfähigkeiten von Schrauben	32
6.1.3	Bolzen	34
6.1.4	Berechnung der Tragfähigkeiten massiver Rundbolzen	35
6.2	Tragfähigkeit von Schweißverbindungen	36
6.2.1	Kehlnähte	36
6.2.2	Stumpfnähte	37
6.2.3	Anordnung von Futterblechen	37
6.3	Äquivalenter T-Stummel mit Zugbeanspruchung	38
6.3.1	Berechnung der wirksamen Längen	39
6.3.2	Tragfähigkeit	41
6.4	T-Stummel mit vier Schrauben je Schraubenreihe	42
6.4.1	Berechnung der wirksamen Längen	43
6.4.2	Tragfähigkeit	45
7	Nachweis der Schweißnähte als Linienquerschnitt	47
8	Allgemeines	49
8.1	Stahlsorten	49
8.2	Ausdrucksteuerung	49

8.3	Nationale Anhänge zu den Eurocodes.....	50
9	Literaturverzeichnis	51
10	Index	54

1 Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten

Die Installation des DTE®-Systems und das Überspielen des Programms #EC3IS 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.

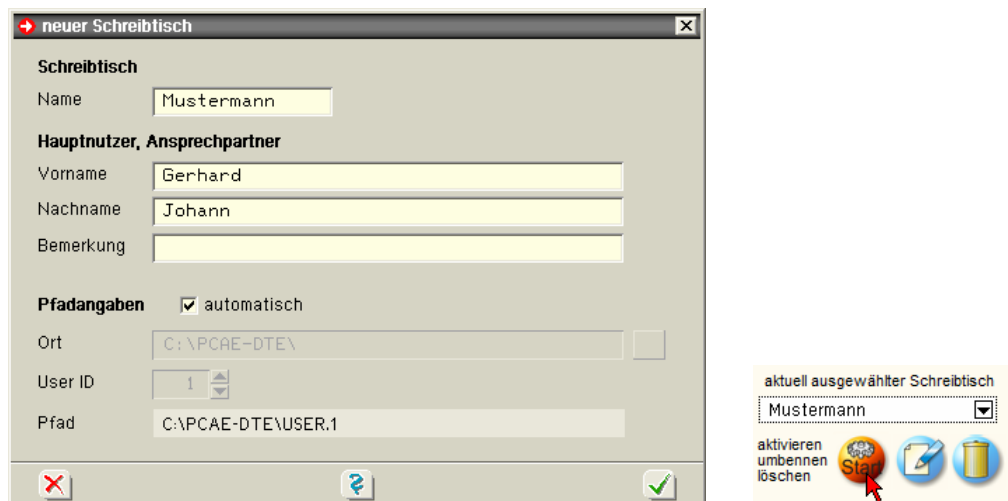


Nach erfolgreicher Installation befindet sich das DTE®-**Startsymbol** auf Ihrer Windowsoberfläche. Führen Sie bitte darauf den Doppelklick aus.

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



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

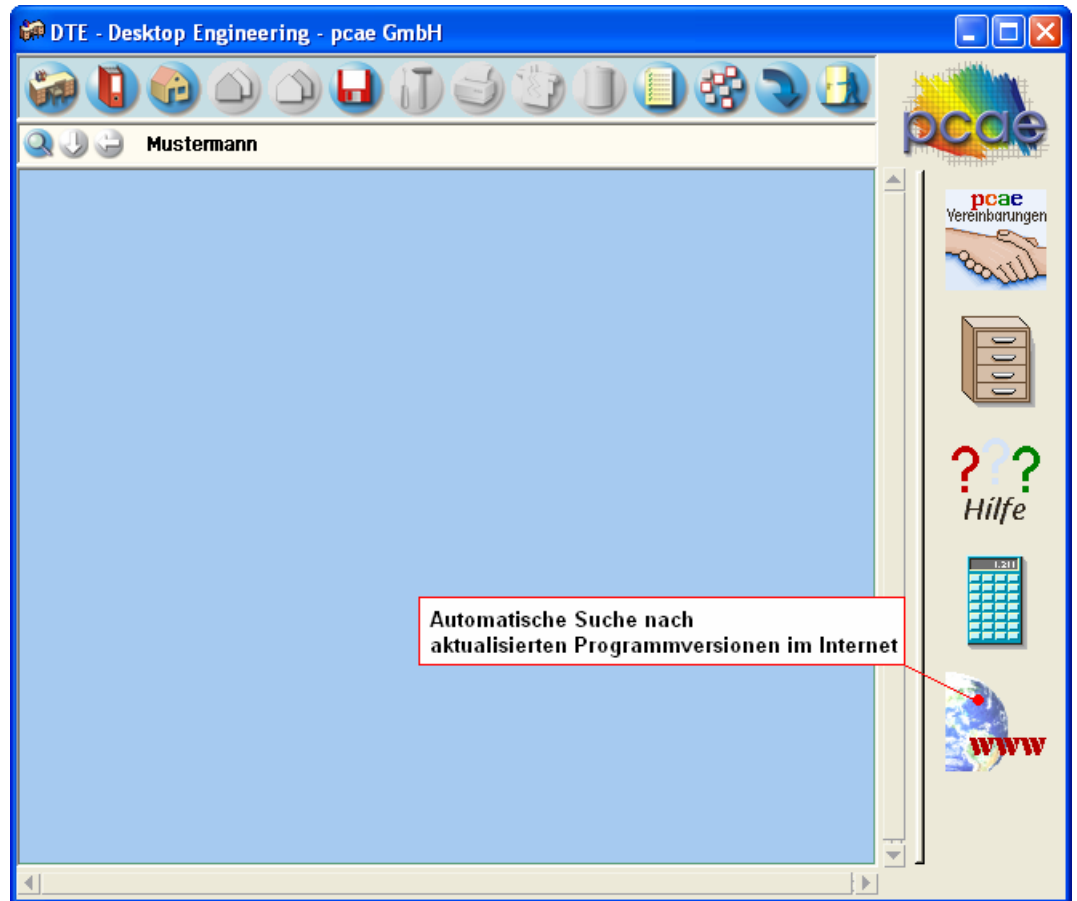


Nach Bestätigen über das **Hakensymbol** erscheint wieder die Schreibtischauswahl, in die der neue Name bereits eingetragen ist. Drücken Sie auf **Start** und die DTE®-Schreibtischoberfläche erscheint auf dem Bildschirm.

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



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



Steuerbuttons

Im oberen Bereich des Schreibtischs sind Interaktionsbuttons lokalisiert.

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

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

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

Bauteil erzeugen



Durch Erzeugung 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.



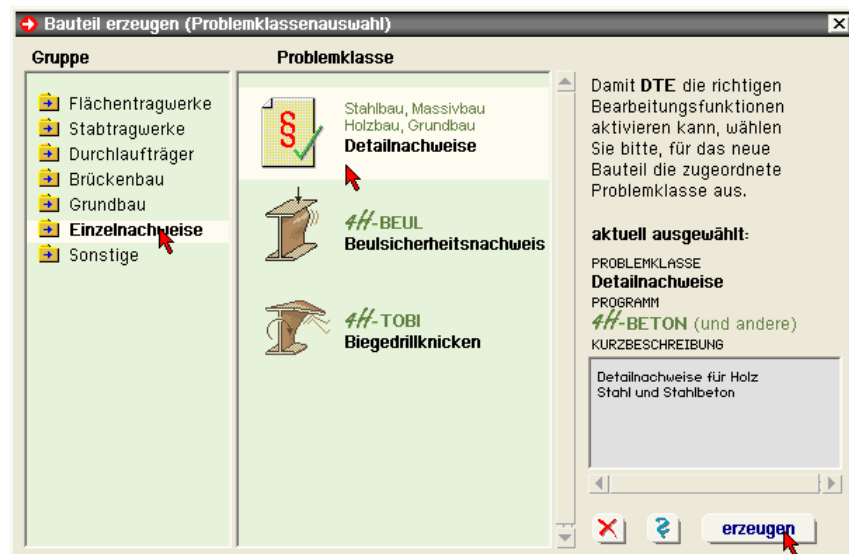
Aus dem Eintrag in der Schreibtischkopfzeile ist zu erkennen, in welchem Ordner sich die Aktion aktuell befindet.



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.

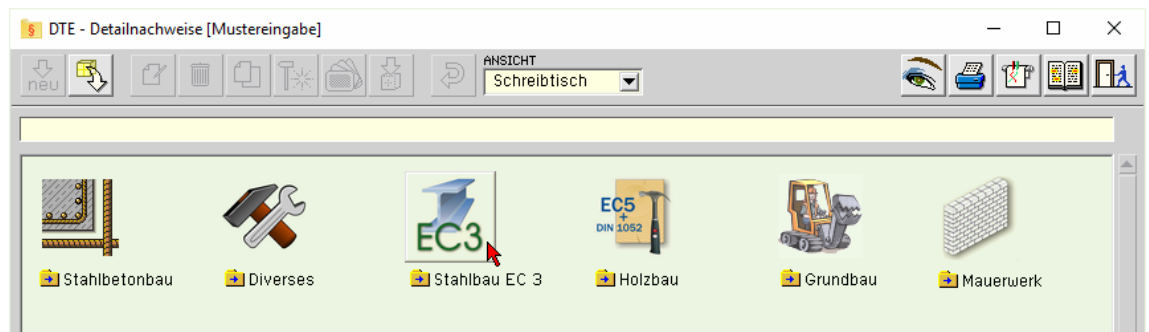


Nach Doppelklick auf das neue Bauteilicon erscheint die Übersicht der installierten Detailnachweisprogramme.

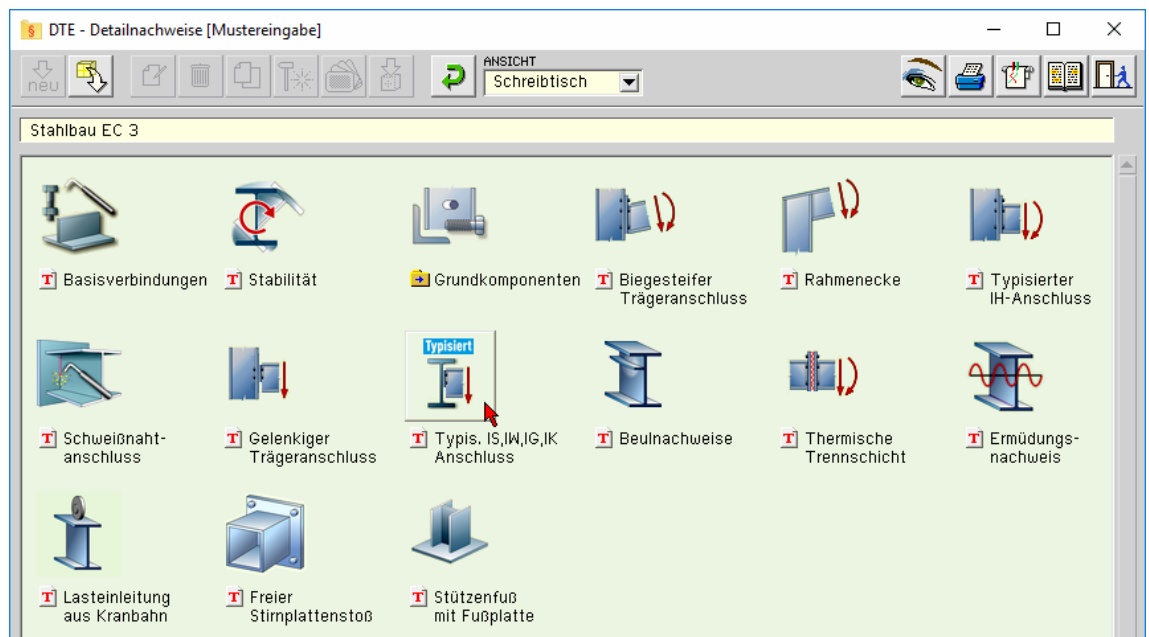


Überschreiben Sie den Begriff "Detailnachweise" zur Identifikation durch einen sinnvollen Text. Nach **Bestätigen** ist das Bauteil mit dem neuen Namen eingerichtet. Durch Doppelklicken des neuen Symbols wird die Verwaltung der DTE®-Detailnachweise geöffnet.

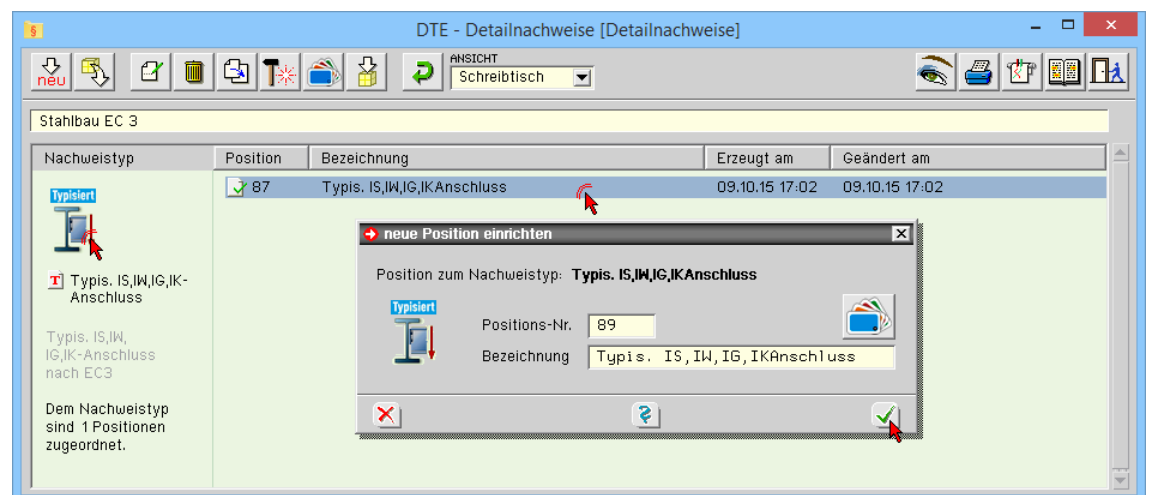
Übersicht Detailnachweise



Übersicht EC 3- Programme



Typisierter IS,IW,IG,IK-Anschluss



Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts *neue Position einrichten* und Doppelklicken der neuen Position erscheint die Eingabeoberfläche des Programms *Typisierter IS,IW,IG,IK-Anschluss*.

Eingabeoberfläche

Nachfolgend ist das Hauptfenster von *4H-EC3IS* dargestellt.



Nr.	Profilreihe	Nennhöhe Typ	Schraube	Anzahl Reihen	w	hp	ezHT	pzHT	exHT
					mm	mm	mm	mm	mm
123	IFE	400	M 20	3	100	220	40	70	40

Tragfähigkeit:			
Nr.	Vd,Rd	tu	a
	kN	mm	mm
123	256.7	3.7	4.0

Mit dem Programm *4H-EC3IS*, Typisierter IS,IW,IG,IK-Anschluss, können geschraubte Stirnblech- oder Winkelverbindungen des Ringbuchs *Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach EC 3-1-8* als gelenkige Trägeranschlüsse nachgewiesen werden.

Die zugehörigen Anschlussparameter werden in zwei Registerblättern verwaltet, die über folgende Symbole die jeweils dahinter liegende Parameterauswahl kenntlich machen.



Anschlussparameter und Ergebnisse (s. Abs. 3.1, S. 10)

Im ersten Registerblatt werden aus der Ringbuch-Datenbank die Anschlussparameter ausgewählt und am Bildschirm dargestellt. Der Anschlusscode, die Stahl- und die Schraubengüte werden festgelegt. Die Verbindung wird zur visuellen Kontrolle maßstäblich am Bildschirm dargestellt.



Bemessungsschnittgrößen (s. Abs. 3.3, S. 15)

Die Schnittgrößen werden im zweiten Registerblatt festgelegt. Sie wirken stets im Rotationspunkt der Verbindung, hier also im Kontaktpunkt von Nebenträgerachse zu Hauptträgersteg, und beziehen sich auf das Koordinatensystem der Statik.



nationaler Anhang (s. Abs. 8.3, S. 50)

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. 49)

Im Eigenschaftsblatt, das nach Betätigen des **Druckeinstellungen**-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 1 enthält Angaben zu den Anschluss- und Materialparametern sowie zu den Tragfähigkeiten (Eigenschaftsblatt s. Abs. 3, S. 9).

3.1.1

Allgemeines

Das Programm **##EC3IS** berechnet gelenkige Trägeranschlüsse von Doppel-T-Profilen, die in Deutschland gängig und in dem Ringbuch *Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau* verzeichnet sind.

Dazu wird ein Nebenträger (Last abgebendes Bauteil, im Folgenden als *Träger* bezeichnet) an einen Hauptträger (Last aufnehmendes Bauteil, ggf. Stütze) über ein Stirnblech oder beidseitig angeordnete Winkelprofile angeschlossen. Im Programm wird angenommen, dass die Befestigung an den Steg des Hauptträgers erfolgt.

► Daten exportieren

Die Eingabedaten können in das Programm **##EC3GT**, Gelenkige Trägeranschlüsse, 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 **##EC3GT** übernommen werden.

- Berechnung aktualisieren
- ⊗ nur Geometrie, ohne Berechnung

Da die Berechnung der Ergebnisse direkt während der Eingabe durchgeführt wird, kann es besonders bei hoher Anzahl an Lastkombinationen zu Verzögerungen im Eingabeprozess kommen. Um eine ungestörte Parametereingabe zu gewährleisten, kann die Berechnung temporär unterdrückt werden.

3.1.2

Material

Das Programm ist in direkter Anlehnung an die Vorgehensweise zur Anwendung des Ringbuchs konzipiert. Dazu sind zunächst festzulegen

- der Anschlusscode
 - **IS** - Stirnblech
 - **IW** - Winkel
 - **IG** - Winkel mit großem Spalt
 - **IK** - Ausklinkung
 - die Stahlfestigkeit (S 235 oder S 355)
 - die Schraubenfestigkeitsklasse (4.6 oder 10.9.)
- Es wird stets von nicht vorgespannten Schrauben ausgegangen.

Code	IS
Stahlfestigkeit	S 235
Schraubenfestigkeit	4.6

Grundsätzlich wird jedem Verbindungselement dasselbe Material zugeordnet.

3.1.3

Träger

Bei der Eingabe des Trägerprofils 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. Rote Profilnamen sind nicht verfügbar.

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

Der Anschlussstyp ist je nach Code unterschiedlich belegt. Für alle gilt jedoch: In der Liste werden die Typen rot markiert, die nicht anwendbar sind und nicht ausgewählt werden können.

Code IS besitzt keine Typunterscheidung

Code IW

- Typ 1 - eine vertikale Schraubenreihe am NT
- Typ 2 - zwei vertikale Schraubenreihen am NT

Code IG

- Typ 1 - Winkel L 200x100x12
- Typ 2 - Winkel L 250x90x12 (nicht mehr genormt)

Code IK

- Typ 1 - einseitige Ausklinkung mit Abbohrung
- Typ 2 - beidseitige Ausklinkung mit Abbohrung
- Typ 3 - einseitige Ausklinkung mit Ausrundung
- Typ 4 - beidseitige Ausklinkung mit Ausrundung

Nr.	Profilreihe	Nennhöhe	Typ	Schraube	Anzahl Reihen
18	HEA	200	2	M 16	2
	IPE	100	1	M 12	1
	IPEa	120	2	M 16	2
	IPEo	140	3	M 20	3
	IPEv	160	4	M 22	4
	HEAA	180		M 24	5
	HEA	200		M 27	
	HEB	220		M 30	
	HEM	240			
		260			
		270			
		280			
		300			
		320			
		330			
Für IS, IW, IG:					
93	HEA	200	2	30	60
				20	40
				25	60
				30	80
				35	100
				40	120
				45	150
				50	
				55	
				60	
				65	
				70	
Für IK:					

Abschließend sind aus den zug. Listen die Schraubengröße und die Anzahl an Schraubenreihen vorzugeben. Auch hier werden die nicht zum gewählten Anschluss passenden Größen rot gekennzeichnet.

Bei IK-Verbindungen sind anstelle der Schrauben Höhe und Länge der Ausklinkung aus Listen auszuwählen.

Bei IS-Verbindungen ist zusätzlich der horizontale Abstand w der vertikalen Schraubenreihen voneinander aus der entsprechenden Liste zu bestimmen.

Wird in der Ringbuchdatenbank ein entsprechender Eintrag gefunden, werden die zugehörige Nummer und die Anschlussparameter am Bildschirm dargestellt; sie variieren je nach Code.

Stirnblechanschluss IS

h_p	Stirnblechhöhe	h_p	$e_{z,HT}$	$p_{z,HT}$	$e_{x,HT}$
$e_{z,HT}$	vertikaler Abstand der ersten Schraubenreihe vom oberen Stirnblechrand	mm	mm	mm	mm
$p_{z,HT}$	vertikaler Abstand der Schraubenreihen untereinander	120	35	50	30
$e_{x,HT}$	horizontaler Abstand der ersten Schraubenreihe vom seitlichen Stirnblechrand				

Winkelanschluss IW

w_t	horizontaler Abstand der Schrauben am Hauptträger	w_t	h_{wi}	$e_{z,HT}$	$p_{z,HT}$	$e_{x,HT}$	$e_{z,NT}$	$p_{z,NT}$	$e_{x,NT}$	$p_{x,NT}$
h_{wi}	Länge des Winkels	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
$e_{z,HT}$	vertikaler Abstand der ersten Schraubenreihe vom oberen Stirnblechrand am Hauptträger	107	120	35	50	25	35	50	40	60
$p_{z,HT}$	vertikaler Abstand der Schraubenreihen untereinander am Hauptträger									
$e_{x,HT}$	horizontaler Abstand der ersten Schraubenreihe vom seitlichen Stirnblechrand am Hauptträger									
$e_{z,NT}$	vertikaler Abstand der ersten Schraubenreihe vom oberen Stirnblechrand am Nebenträger									
$p_{z,NT}$	vertikaler Abstand der Schraubenreihen untereinander am Nebenträger									
$e_{x,NT}$	horizontaler Abstand der ersten Schraubenreihe vom seitlichen Stirnblechrand am Nebenträger									
$p_{x,NT}$	nur bei Typ = 2, horizontaler Abstand der Schraubenreihen am Nebenträger untereinander									

Winkelanschluss IG

h_{wi}	Länge des Winkels	h_{wi}	$e_{z,HT}$	$p_{z,HT}$	$e_{x,HT}$	$e_{z,NT}$	$p_{z,NT}$	$e_{x,NT}$
$e_{z,HT}$	vertikaler Abstand der ersten Schraubenreihe vom oberen Stirnblechrand am Hauptträger	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
$p_{z,HT}$	vertikaler Abstand der Schraubenreihen untereinander am Hauptträger	120	35	50	40	35	50	50
$e_{x,HT}$	horizontaler Abstand der ersten Schraubenreihe vom seitlichen Stirnblechrand am Hauptträger							
$e_{z,NT}$	vertikaler Abstand der ersten Schraubenreihe vom oberen Stirnblechrand am Nebenträger							
$p_{z,NT}$	vertikaler Abstand der Schraubenreihen untereinander am Nebenträger							
$e_{x,NT}$	horizontaler Abstand der ersten Schraubenreihe vom seitlichen Stirnblechrand am Nebenträger							
$p_{x,NT}$	nur bei Typ = 2, horizontaler Abstand der Schraubenreihen am Nebenträger untereinander							

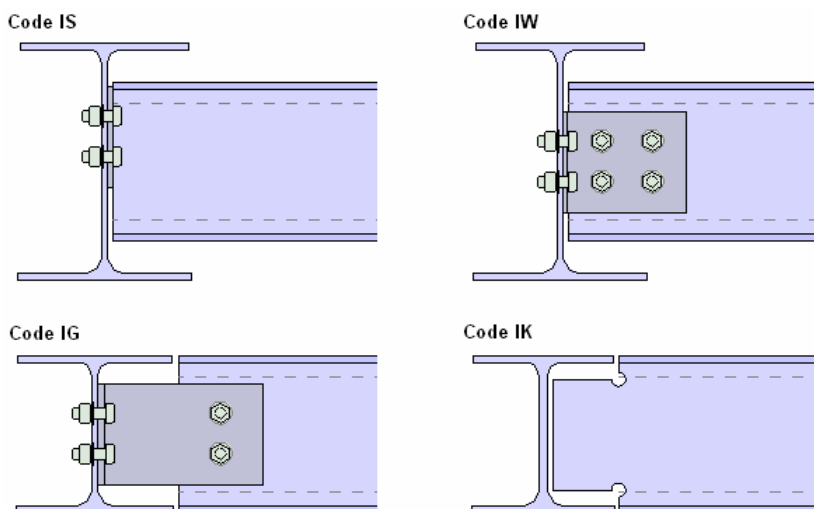
Ausklinkungen IK

h_a	Höhe des Trägerprofils ohne Aussparung	h_a
		mm
		130

3.1.4

Bildschirmgrafik

Am Bildschirm werden die geometrischen Daten ausgewertet und der Anschluss in einer maßstäblichen Grafik dargestellt.



3.2

Tragfähigkeiten

Die Ausgabe erfolgt in direkter Anlehnung an die Kapitel *Gelenkige Stirnplattenanschlüsse, Gelenkige Winkelanschlüsse, Gelenkige Winkelanschlüsse mit großem Spalt, Ausklinkungen des Ringbuchs Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach EC 3-1-8*.

Die Berechnung hingegen basiert auf der Vorgehensweise, die im **pcae**-Modul *#-EC3GT*, gelenkige Trägeranschlüsse (s. Kapitel Nachweise nach EC 3, Abs. 4, S. 18) verwendet wird.

Für IS-, IW-, IG-Anschlüsse wird die aufnehmbare Querkraft aus der Tragfähigkeit der Verbindung, für IK-Anschlüsse aus dem Querschnittsnachweis an der Ausklinkung ermittelt.

Voraussetzungen

- Vorschrift: Eurocode 3
- geschraubter Stirnblech- oder Winkelanschluss (nicht relevant bei Ausklinkungen)
- Anschluss des Nebenträgers an den Steg des Hauptträgers
- Gelenk wird am Steg des Hauptträgers angenommen, reiner Querkraftanschluss (kein Moment, keine Normalkraft)
- Schrauben: nicht vorgespannt, Schaft liegt in der Scherfuge
- Querkrafttragfähigkeit nach ECCS, kein separater Schweißnachweis, Querschnittsnachweis: *Elastisch-Elastisch*

Es wird unterschieden, ob lediglich Tragfähigkeiten ermittelt oder Nachweise für eingegebene Schnittgrößenkombinationen (s. Abs. 3.3, S. 15) geführt werden.

Tragfähigkeit:			
Nr.	$V_{j,Rd}$	t_u	a
	kN	mm	mm
22	105.8	3.4	3.0

Sind keine Schnittgrößen vorgegeben, werden der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit $V_{j,Rd}$, die erforderliche Stegdicke des Hauptträgers t_u , und die minimale Schweißnahtdicke a (nur bei Code IS) der ausgewählten Nr. angezeigt.

Tragfähigkeit:

<input type="radio"/> Lk	$V_{1,Ed}$	$V_{j,Rd}$	t_u	a	<input checked="" type="radio"/> U_j
	kN	kN	mm	mm	
6	62.1	105.8	3.4	3.0	0.587
2	60.2	105.8	3.4	3.0	0.569
4	52.8	105.8	3.4	3.0	0.499
5	4.2	105.8	3.4	3.0	0.040
1	1.4	105.8	3.4	3.0	0.013
3	0.5	105.8	3.4	3.0	0.005

▶ maßgeb. Lk anzeigen

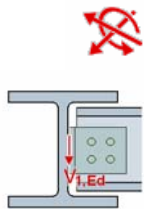
Sind jedoch Schnittgrößen vorhanden, werden die Ergebnisse entweder in aufsteigender Reihenfolge der Lastkollektivnummern oder nach der Größe der Ausnutzungen sortiert angezeigt.

Erfolgt die Sortierung nach Größe der Ausnutzungen, kann der Statikausdruck des maßgebenden Lastkollektivs (mit der größten Ausnutzung) über einen direkten Link sofort angezeigt werden.

Am Bildschirm werden dargestellt

- die einwirkende Querkraft $V_{1,Ed}$
- die Querkrafttragfähigkeit $V_{j,Rd}$
- die erforderliche Stegdicke des Hauptträgers t_u
- die minimale Schweißnahtdicke a (nur bei Code IS)
- die Ausnutzungen U_j der Lastkollektive

Da die Tragfähigkeit eines Anschlusses in Abhängigkeit der einwirkenden Schnittgrößenkombination variieren kann, können sich auch die Zahlenwerte für $V_{j,Rd}$ von derjenigen ohne Schnittgrößen unterscheiden.



Das zweite Register beinhaltet die Masken zur Eingabe der **Bemessungsschnittgrößen** (inkl. der relevanten Sicherheitsbeiwerte).

Es besteht die Möglichkeit, entweder Schnittgrößen (Bemessungsgrößen) vorzugeben oder nur die Tragfähigkeiten ermitteln zu lassen.

- ☒ **Schnittgrößen im Gelenk**
- ☐ keine Schnittgrößen, nur Tragfähigkeiten ermitteln

Wenn nur die **Tragfähigkeit** eines Anschlusses berechnet werden soll, wird intern die einwirkende Querkraft so lange iteriert, bis sie der resultierenden Querkraft entspricht.

Das Ergebnis (Querkraft und ggf. Schweißnahtdicke, Stegdicke des Hauptträgers) wird in Register 1 dargestellt.

	$V_{1,Ed}$ kN	Bezeichnung	
			Zeile löschen Zeile duplizieren neue Zeile anhängen
1	-1.38	min N	
2	68.20	max N	
3	8.58	min U_{η}	
4	52.77	max U_{η}	
5	-4.20	min U_{ζ}	
6	62.07	max U_{ζ}	

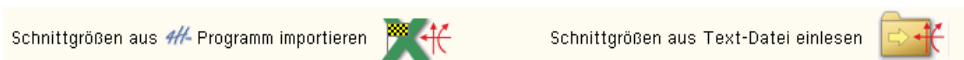
Alternativ können die im Gelenk wirkenden **Schnittgrößen** (Querkräfte, Anschluss rechtsseitig) angegeben werden.

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 von Kombinationen, die im betrachteten Bemessungsschnitt des übergeordneten Tragwerkprogramms 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 einem ##-Programm



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

Eine ausführliche Beschreibung zum Schnittgrößenimport aus einem **pcae**-Programm befindet sich für den Import von einem Einzelschnitt bei **Trägerverbindungen** unter Abs. 3.3.1, S. 16.

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.

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

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

Schnittgrößenimport bei einseitigen Anschlüssen

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 *4H*-Programmorganisation gibt es hierzu verschiedene Vorgehensweisen

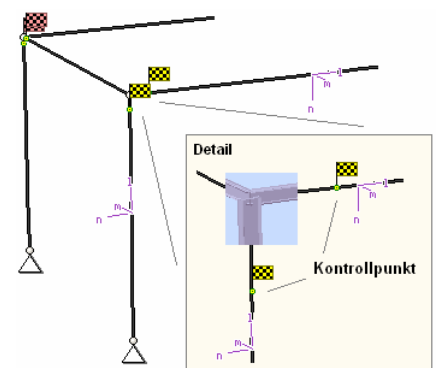
- zum einen können Tragwerks- und Detailprogramm fest miteinander verbunden sein, d.h. die Schnittgrößenübergabe erfolgt intern. Es sind i.A. keine weiteren Eingaben (z.B. Geometrie) notwendig, aber doch möglich (z.B. weitere Belastungen). Die Programme bilden eine Einheit. Dies ist z.B. bei dem *4H*-Programm 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 4H-Schnittgrößen-Export/Import.

Zunächst sind in dem exportierenden *4H*-Programm (z.B. *4H*-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 oder der Onlinehilfe.



Nach einer Neuberechnung des Rahmens stehen die Exportschnittgrößen dem aufnehmenden *4H*-Programm (z.B. *4H*-BETON, *4H*-EC3SA, *4H*-EC3IH, *4H*-EC3BT, *4H*-EC3GT, *4H*-EC3IS) zum Import zur Verfügung.



Aus dem aufnehmenden *4H*-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. Anschluss 1
☑	Schnitt 2: Stab 5 bei s = 0.00 m	Stahlriegel, Anschluss 2
☐	Schnitt 3: Stab 7 bei s = 2.00 m	Stahlbetonriegel
☑	Schnitt 4: Stab 9 bei s = 4.00 m	Stahlstütze, Anschluss 2
☑	Schnitt 5: Stab 10 bei s = 3.88 m	Stahlstütze, Anschl. Anschluss 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. Schnitt, Anschluss 1
 Material: Stahl, Querschnitt-Profil: IFE240

	N kN	Vm kN	Vn kN	T kNm	Mm kNm	Mn 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 Vn	-21.38	0.00	-5.03	0.00	-38.81	4.03
max Vn	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
min Vz	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
max Vz	-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 Mn	-21.38	0.00	-5.03	0.00	-38.81	4.03
max Mn	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
min Mz	-21.38	0.00	-5.03	0.00	-38.81	4.03
max Mz	-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 #EC3IS wird für den Trägeranschluss nur ein auf Querkkräfte reduzierter Schnittgrößensatz benötigt, was durch gelbe Hinterlegung der für den Import vorgesehenen Spalte 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!

Das Programm *##EC3IS*, Typisierter IS,IW,IG,IK-Anschluss, basiert auf den Grundlagen, die auch für das Programm *##EC3GT*, Gelenkiger Trägeranschluss, gelten.

Die weiterführenden Erläuterungen zur Berechnung von gelenkigen Stirnblech- oder Winkelverbindungen nach Eurocode 3 gelten für beide Programme gleichermaßen, wobei die die Normalkraft betreffenden Nachweise für *##EC3IS* ohne Bedeutung sind.

Die Bemessung gelenkiger Trägeranschlüsse nach EC 3 basiert ursprünglich auf den Vorgaben des ECCS, No.126 *European Recommendations for the Design of Simple Joints in Steel Structures* aus 2009.

Mittlerweile sind in Deutschland in einigen Punkten Anpassungen vorgenommen worden. Im Folgenden wird die konventionelle Methode vorgestellt, wobei jedoch die Abwandlungen vom ECCS gekennzeichnet sind. Im Programm können beide Methoden ausgewählt werden.

Zunächst werden einige Berechnungskapitel vorgestellt, die für mehrere Anschlussstypen bzw. Nachweisverfahren gelten. Anschließend werden die einzelnen Anschlussstypen vorgestellt.

4.1

Berechnung eines Punktequerschnitts

Bezogen auf ein Ursprungskoordinatensystem sind die Koordinaten beliebiger Punkte (z.B. ein Schraubenfeld im Anschlussblech) gegeben. Für jeden Punkt lassen sich zu einer einwirkenden Schnittgrößenkombination die resultierenden Kräfte in Richtung der Koordinatenachsen sowie der resultierenden Gesamtkraft berechnen.

Für einen Punkthaufen im y/z-Koordinatensystem gilt

$$A = n \quad \text{und} \quad I_p = \sum y_i^2 + \sum z_i^2$$

Damit ergibt sich für jeden Punkt bzw. jede Schraube i

$$T_{y,i} = \frac{V_y}{A} - \frac{M_x}{I_p} \cdot z_i \quad \text{und} \quad T_{z,i} = \frac{V_z}{A} + \frac{M_x}{I_p} \cdot y_i \quad \text{und} \quad T_i = \sqrt{T_{y,i}^2 + T_{z,i}^2}$$

$T_{y,i}, T_{z,i}$... Kräfte in den Koordinatenrichtungen

T_i resultierende Kraft der Schraube i

Im Programm kann die Berechnung des Punktequerschnitts eingesehen werden.

4.2

Berücksichtigung von Druckkontakt

Bei Winkelanschlüssen können sich die Winkelschenkel am Steg des Nebenträgers abstützen, so dass die Schrauben aufgrund des Druckkontakts eine geringere Belastung erfahren. Die Kontaktfläche muss geschätzt werden; im Programm wird die minimale Druckflächenhöhe ermittelt.

Die Breite errechnet sich aus dem Verteilungswinkel, der für eine einreihige Schraubenanordnung mit $\alpha = 45^\circ$, für eine mehrreihige mit $\alpha = 60^\circ$ angenommen wird

$$b_D = t_2 + \frac{t_1}{\tan \alpha} + \left(1 - \frac{1}{\sin \alpha} + \frac{1}{\tan \alpha}\right) \cdot s$$

Der Punktequerschnitt wird nun für die um $h_D/2$ reduzierten Schraubenabstände ausgewertet. Anschließend wird die Druckkraft kontrolliert. Ist der Nachweis nicht erfüllt, wird die Kontakthöhe h_D erhöht.

$$D = \sum T_{y,i} \quad \text{und} \quad U = \frac{D}{f_y \cdot A_D} \leq 1 \quad \text{und} \quad A_D = b_D \cdot h_D$$

4.3

ECCS- Modellvoraussetzungen

Anschluss an den Hauptträger

Eine ausreichende **Rotationskapazität** ist zu gewährleisten. U.a. muss die Länge des Anschlussblechs am Hauptträger kleiner oder gleich der Steghöhe ohne Ausrundung des Nebenträgers sein.

Zur Vermeidung vorzeitigen Ausfalls der Schrauben unter Zug ist eine der folgenden Bedingungen einzuhalten

$$d/t_p \geq 2.8 \cdot \sqrt{f_{yp}/f_{ub}} \quad \dots \text{oder} \quad d/t_w \geq 2.8 \cdot \sqrt{f_y/f_{ub}} \quad \dots \text{bzw.} \quad d/t_f \geq 2.8 \cdot \sqrt{f_y/f_{ub}}$$

Bei einem Stirnblechanschluss ist die Dicke der Doppelkehlnähte am Trägersteg zur Gewährleistung der vollen Tragfähigkeit mindestens anzusetzen mit

$$a_w = \frac{\beta_w}{\sqrt{2}} \cdot \frac{f_y}{f_u} \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}} \cdot t_w$$

Anschluss an den Nebenträger

Eine ausreichende Rotationskapazität ist zu gewährleisten. U.a. muss die Länge des Anschlussblechs am Nebenträger kleiner oder gleich der Steghöhe ohne Ausrundung des Nebenträgers sein.

Bei einem Fahnenblechanschluss ist zur Vermeidung vorzeitigen Ausfalls der Schweißnähte am Hauptträger die Nahtdicke mindestens anzusetzen mit

$$a_w = \frac{\beta_w}{\sqrt{2}} \cdot \frac{f_{yF}}{f_{uF}} \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}} \cdot t_F$$

Zur Sicherstellung der plastischen Umlagerungsfähigkeit sind einzuhalten

$$V_{Rd} < \min(V_{Rd,1} ; V_{Rd,7})$$

$$V_{Rd} > \min(V_{Rd,2} ; V_{Rd,8})$$

Die Schweißnahtbedingungen sind auch bei Anwendung der konventionellen Methode einzuhalten.

Mit dem Verfahren nach ECCS können Stirnblech-, Fahnenblech- und geschraubte Winkelanschlüsse (als Kombination von Stirnblech- und Fahnenblechanschluss) berechnet werden.

4.4

Nachweise

Für Querkraftanschlüsse sind nachzuweisen

- Abscheren und Lochleibung der Schrauben
- Blockversagen der Schraubengruppe
- Anschlussblech und Steg des Nebenträgers mit Schub
- Anschlussblech mit Biegung aus Querkraft
- ECCS: Anschlussblech am Nebenträger mit Beulen; wird nicht durchgeführt

Für Zuganschlüsse sind nachzuweisen (ECCS: Nw. im Bruchzustand, d.h. $\gamma_{M0} = \gamma_{Mu}$ mit $\gamma_{Mu} = 1.1$ und $f_y = f_u$)

- Schrauben mit Zug
- Blockversagen der Schraubengruppe
- Anschlussblech und Steg des Nebenträgers mit Zug
- Anschlussblech und ggf. Flansch des Hauptträgers mit Biegung aus Zug

Dazu kommen ggf. noch

- Nachweis der Schweißnähte
- Querschnittsnachweis an der Ausklinkung des Nebenträgers
- Querschnittsnachweis des Nebenträgers ohne Ausklinkung

Es werden die minimale Schubtragfähigkeit bzw. Zugkrafttragfähigkeit ermittelt und den einwir-

kenden Größen gegenübergestellt. Schweißnaht- und Querschnittsnachweise werden separat geführt.

Abscheren

Es liegt Schraubenkategorie A und damit keine gleitfeste Verbindung vor. Bei Beanspruchung der Schrauben durch Querkraft und Zug wird die Interaktionsbedingung überprüft

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$$

Informationen zur Berechnung der Tragfähigkeit unter Gk 11, Schrauben mit Abscherbeanspruchung, Abs. 5.4, S. 29.

Die Abschertragfähigkeit wird je Schraube ermittelt; der Minimalwert ist maßgebend.

ECCS: Bei einer Stirnblech- bzw. Winkelverbindung wird die Abschertragfähigkeit am Hauptträger im Mittel auf 80% reduziert.

Lochleibung

Es werden nur Schrauben mit normalem Lochspiel ohne Senkung verwendet. Da für Anschlussblech und Trägersteg oder -flansch unterschiedliche Randabstände und Blechdicken gelten, wird die Tragfähigkeit separat ermittelt.

Nähere Informationen zur Berechnung der Tragfähigkeit unter Grundkomponente 12, Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung, Abs. 5.5, S. 30.

Die Lochleibungstragfähigkeit wird je Schraube und Lastrichtung ermittelt; der Minimalwert ist maßgebend.

ECCS: Die Gesamt-Lochleibungstragfähigkeit wird als Minimalwert der vektoriellen Addition der Kraftrichtungen gewonnen. Für den Winkelschenkel am Nebenträger wird stattdessen eine quadratische Interaktion durchgeführt.

Blockversagen von Schraubengruppen

Nach EC 3-1-8, 3.10.2, wird das Blockversagen einer Schraubengruppe durch das Schubversagen des Blechs entlang der schubbeanspruchten Schraubenreihe in Kombination mit dem Zugversagen des Blechs entlang der zugbeanspruchten Schraubenreihe am Kopf der Schraubengruppe verursacht.

Es wird unterschieden zwischen einer symmetrisch angeordneten Schraubengruppe unter zentrischer Belastung, wie sie bei Stirnblechanschlüssen vorkommt, und einer Schraubengruppe unter exzentrischer Belastung. Der Widerstand gegen Blockversagen ergibt sich zu

$$V_{Rd} = f_u \cdot \frac{A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{A_{nv}}{\gamma_{M0}} \quad \dots \text{symmetrisch + zentrisch}$$

$$V_{Rd} = \frac{f_u}{2} \cdot \frac{A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{A_{nv}}{\gamma_{M0}} \quad \dots \text{sonst}$$

A_{nt} zugbeanspruchte Nettoquerschnittsfläche

A_{nv} schubbeanspruchte Nettoquerschnittsfläche

ECCS: Anschluss an den Hauptträger: das Tragverhalten ist symmetrisch + zentrisch, wenn gilt

$$l_p \geq 1.36 \cdot p_x$$

Blech mit Schub

Die Tragfähigkeit eines Blechs mit Schub wird berechnet zu

$$V_{Rd,brut} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad \dots \text{brutto}$$

$$V_{Rd,net} = \frac{A_{v,net} \cdot f_u}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} \quad \dots \text{netto}$$

A_v Schubquerschnittsfläche

$A_{v,net}$ Netto-Schubfläche

ECCS: Die Brutto-Schubtragfähigkeit wird auf 1/1.27 reduziert.

Blech mit Biegung und Querkraft

Auf ein Anschlussblech können aus der einwirkenden Querkraft ein Biege- und ein Torsionsmoment resultieren. Der sich daraus ergebende Spannungsnachweis kann nach der einzigen Unbekannten V_{Rd} aufgelöst werden und man erhält die Tragfähigkeit des Blechs mit Biegung und Querkraft

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad \text{mit} \quad \sigma_x = \frac{M_y}{W_y} \quad \text{und} \quad \tau = \frac{V_z}{A_z} + \frac{M_x}{W_x} \quad \text{bzw.} \quad \tau = 1.5 \cdot \frac{V_z}{A_z}$$
$$\text{... und } M_y = V_z \cdot b_y \quad \text{und} \quad M_x = V_z \cdot b_x \quad \text{und} \quad \sigma_y = f_y / \gamma_{M0} \quad \text{ergibt sich}$$
$$V_{Rd} = V_z = \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{\left(\frac{b_y}{W_y}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{1}{A_z} + \frac{b_x}{W_x}\right)^2}}$$

ECCS: Anschluss an den Hauptträger, wenn gilt

$$l_p \geq 1.36 \cdot p_x$$

bzw. Anschluss an den Nebenträger, wenn gilt

$$b_F \geq 2.73 \cdot z \quad \text{mit} \quad z = s + e_{x,n}$$

wird die Schubtragfähigkeit unendlich.

Ist an der betrachteten Stelle neben der Querkraft V_z auch ein Biegemoment M_y vorhanden, muss der Lochabzug in der Biegezugzone berücksichtigt werden, wohingegen er im Druckbereich und bei Schub entfallen darf. Jedoch dürfen die Löcher auch in der zugbeanspruchten Fläche vernachlässigt werden, wenn folgende Bedingung eingehalten ist

$$\frac{A_{\text{net}} \cdot 0.9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \leq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Sind die Löcher nicht vernachlässigbar, werden die Netto-Querschnittswerte des Anschlussblechs verwendet.

Schrauben mit Zug

Es werden nur Schrauben ohne Senkung verwendet. Nähere Informationen zur Berechnung der Tragfähigkeit unter Gk 10, Schrauben mit Zug, Abs. 5.3, S. 29.

Blech mit Biegung aus Zug

Es liegt der Beanspruchungstyp einer Grundkomponente nach EC 3-1-8, Tab. 6.1, vor. Zur Berechnung wird für ein Stirnblech Gk 5 und für den Stützenflansch Gk 4 verwendet. Beide basieren auf dem Modell des äquivalenten T-Stummels.

Nähere Informationen unter Gk 4, Stützenflansch mit Biegung (Abs. 5.1, S. 27), bzw. Gk 5, Stirnblech mit Biegung (Abs. 5.2, S. 28).

Blech mit Zug

Die Tragfähigkeit eines Blechs mit Zug wird berechnet zu

$$N_{Rd, \text{brut}} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{brutto}$$
$$N_{Rd, \text{net}} = 0.9 \cdot \frac{A_{\text{net}} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{netto}$$

A Querschnittsfläche
 A_{net} Netto-Querschnittsfläche

Nachweis der Schweißnähte

Die Schweißnähte werden über den Linienquerschnitt nachgewiesen, s. Abs. 7, S. 47.

Querschnittsnachweis

Der Tragsicherheitsnachweis der offenen, dünnwandigen Querschnitte kann nach dem Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* (DIN EN 1993-1-1, Abs. 6.2.1(5)) oder nach dem Nachweisverfahren *Elastisch-Plastisch* geführt werden (DIN EN 1993-1-1, Abs. 6.2.1(6)).

Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch*

Beim Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* (E-E) werden die Schnittgrößen (Beanspruchungen) auf Grundlage der Elastizitätstheorie bestimmt. Der Spannungsnachweis erfolgt mit dem Fließkriterium aus DIN EN 1993-1-1, Abs. 6.2.1(5), Formel 6.1.

Nachweisverfahren *Elastisch-Plastisch*

Beim Nachweisverfahren *Elastisch-Plastisch* (E-P) werden die Schnittgrößen (Beanspruchungen) auf Grundlage der Elastizitätstheorie bestimmt. Anschließend wird mit Hilfe des Teilschnittgrößenverfahrens (TSV) mit Umlagerung nach R. Kindmann, J. Fricke: *Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit* überprüft, ob die Schnittgrößen vom Querschnitt unter Ausnutzung der plastischen Reserven aufgenommen werden können (plastische Querschnittstragfähigkeit).

Es können Dreiblechquerschnitte (I-, C-, U-, Z-, L-, T-Querschnitte) und Rohre als Profile oder typisierte Querschnitte unter zweiachsiger Beanspruchung einschl. St. Venant'scher Torsion und Wölbkrafttorsion nachgewiesen werden.

Dieses Berechnungsverfahren ist allgemeingültiger als die in DIN EN 1993 angegebenen Interaktionen für spezielle Schnittgrößenkombinationen.

Eine Begrenzung der Grenzbiegemomente wie in DIN 18800, EI. 755, ist in DIN EN 1993 nicht erforderlich.

Grenzwerte $\text{grenz } (c/t)$

Die Grenzwerte $\text{grenz } (c/t)$ werden je nach Nachweisverfahren aus DIN EN 1993-1-1, Abs. 5.5.2, Tab. 5.2, ermittelt. Dies entspricht der Überprüfung der erforderlichen Klassifizierung des Querschnitts.

Lässt die Klassifizierung keinen plastischen Nachweis zu, erfolgt eine Meldung und der Querschnitt wird elastisch nachgewiesen.

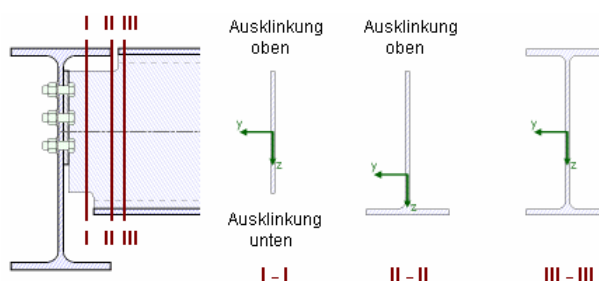
Ausklinkungen

Im Bereich von Ausklinkungen wird das Doppel-T-Profil geschwächt, d.h. es trägt nur noch ein T-Profil oder, bei zwei Ausklinkungen, ein Blech. Diese Bereiche müssen nachgewiesen werden. Maßgebende Schnitte liegen am Beginn der Ausklinkungen (s. Schnitte I-I oder II-II). Das maßgebende Moment ergibt sich aus der Querkraft zu

$$M = V \cdot \Delta x$$

Δx Abstand vom Gelenk zum Beginn der Ausklinkung

Der Nachweis des Gesamtquerschnitts wird dann in Schnitt III-III geführt.



4.5

Nachweis des Stirnplattenanschlusses

Der Momentennullpunkt (Gelenk) wird in Höhe der Nebenträgerachse im Anschnitt zum Hauptträger angenommen. Es können beliebig viele Schrauben mit je zwei Schrauben je Reihe (je eine links und rechts vom Nebenträgersteg) angeordnet werden.

Für drei Schraubenreihen ergibt sich folgender Punktequerschnitt

Berechnung des Punktequerschnitts:

Querschnittsfläche $A' = n_x \cdot n_z = 6$, polares Trägheitsmoment $I_p' = \sum y_i^2 + \sum z_i^2 = 196.00 \text{ cm}^2$

Schwerpunktskoordinaten $y_s' = 0.0 \text{ mm}$, $z_s' = 85.0 \text{ mm}$

Schnittgrößen im Schwerpunkt $V_y' = 0.0 \text{ kN}$, $V_z' = 80.0 \text{ kN}$, $M_x' = 0.0 \text{ kNm}$

Beanspruchung $T_{y,i} = V_y'/A' - M_x'/I_p' \cdot z_i$, $T_{z,i} = V_z'/A' + M_x'/I_p' \cdot y_i$, $T_i = (T_{y,i}^2 + T_{z,i}^2)^{1/2}$

Schraube 1 $T_1 = T_{z,1} = 13.33 \text{ kN}$

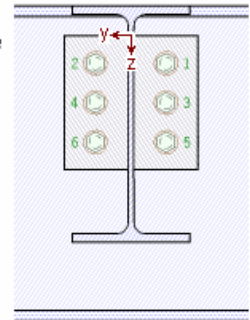
Schraube 2 $T_2 = T_{z,2} = 13.33 \text{ kN}$

Schraube 3 $T_3 = T_{z,3} = 13.33 \text{ kN}$

Schraube 4 $T_4 = T_{z,4} = 13.33 \text{ kN}$

Schraube 5 $T_5 = T_{z,5} = 13.33 \text{ kN}$

Schraube 6 $T_6 = T_{z,6} = 13.33 \text{ kN}$



Inf. der symmetrischen Belastung (nur V_z) ergibt sich eine gleichmäßige Beanspruchung der einzelnen Schrauben. Die Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit wird nun exemplarisch dargestellt

Schrauben mit Abscheren:

Schraubenkategorie A:

Schaft in der Scherfuge: $\alpha_v = 0.6$, $A = 2.01 \text{ cm}^2$

Abschertragfähigkeit je Scherfuge: $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 38.60 \text{ kN}$, $f_{ub} = 400.0 \text{ N/mm}^2$

Schraube 1: $U_1 = T_1 / F_{v,Rd} = 13.33 / 38.60 = 0.345$

Schraube 2:

max $U_i = 0.345$

Abschertragfähigkeit gesamt: $V_{Rd,1} = V_{1,Ed} / \max U_i = 231.6 \text{ kN}$

Stirnplatte mit Lochleibung:

Schraube 1: Lochleibungswiderstand: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 74.67 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 0.65$

vertikal: $U_{z,1} = T_{z,1} / F_{b,Rd} = 13.33 / 74.67 = 0.179$

Schraube 2:

max $U_i = 0.179$

Lochleibungstragfähigkeit gesamt: $V_{Rd,2} = V_{1,Ed} / \max U_i = 448.0 \text{ kN}$

Trägersteg mit Lochleibung: analog

max $U_i = 0.199$

Lochleibungstragfähigkeit gesamt: $V_{Rd,3} = V_{1,Ed} / \max U_i = 401.8 \text{ kN}$

Stirnplatte mit Zug und Schub (Blockversagen):

Zug: $A_{nt} = t_p \cdot b_{net} = 7.20 \text{ cm}^2$, $b_{net} = 2 \cdot e_{x,n} - (n_x - 1) \cdot d_0 = 72.0 \text{ mm}$

Schub: $A_{nv} = t_p \cdot h_{net} = 9.00 \text{ cm}^2$, $h_{net} = l_p - e_{z,1} - (n_z - 0.5) \cdot d_0 = 90.0 \text{ mm}$, $e_{z,1} = 35.0 \text{ mm}$

symmetrisch angeordnete Schraubengruppe unter zentrischer Belastung:

Schubwiderstand $V_{eff,Rd} = (A_{nt} \cdot f_u) / \gamma_{M2} + (A_{nv} \cdot f_y / 3^{1/3}) / \gamma_{M0} = 329.47 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $f_y = 235.0 \text{ N/mm}^2$

Schubtragfähigkeit gesamt: $V_{Rd,4} = 329.5 \text{ kN}$

Stirnplatte mit Biegung und Schub:

$b' = (w' \cdot t_w) / 2 = 41.5 \text{ mm}$, $w' = 2 \cdot e_{x,n} + (n_x / 2 - 1) \cdot p_x = 90.0 \text{ mm}$, $A = l_p \cdot t_p \cdot 2 / 3 = 11.33 \text{ cm}^2$

Schubtragfähigkeit $V_{Rd} = f_y / \gamma_{M0} + ((b' / W_{el})^2 + 3 \cdot (1 / A)^2)^{1/2} = 133.99 \text{ kN}$

mit $W_{el} = 48.17 \text{ cm}^3$, $b' = 41.5 \text{ mm}$, $A = 11.33 \text{ cm}^2$

Schubtragfähigkeit gesamt: $V_{Rd,5} = 2 \cdot 133.99 = 268.0 \text{ kN}$

Trägersteg mit Schub (neben der Schweißnaht):

Schubtragfähigkeit $V_{Rd} = (A_v \cdot f_y) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 163.76 \text{ kN}$ mit $A_v = h \cdot t = 12.07 \text{ cm}^2$, $h = 170.0 \text{ mm}$

Schubtragfähigkeit gesamt: $V_{Rd,6} = 163.8 \text{ kN}$

Schubtragfähigkeit: $\min V_{Rd,p} = V_{Rd,6} = 163.8 \text{ kN}$

Nachweis des Winkelanschlusses

Der Momentennullpunkt (Gelenk) wird Höhe der Nebenträgerachse im Anschnitt zum Hauptträger angenommen. Der Nachweis wird getrennt für den Anschluss am Hauptträger und am Nebenträger geführt.

Der Winkelschenkel am Hauptträger verhält sich wie das Stirnblech (s.o.).

Der Winkelschenkel am Nebenträger kann entweder geschraubt oder geschweißt ausgeführt werden. Wird der Winkelschenkel angeschraubt, verhält er sich wie das Fahnenblech (s.o.).

Winkelschenkel am Hauptträger

Am Hauptträger können beliebig viele Schraubenreihen mit einer Schraube je Reihe je Winkel angeordnet werden. Bei symmetrisch angeordneten Winkeln kann durch Kontaktpressung die Schraubenbelastung reduziert werden.

Es ergibt sich je Winkel bei drei Schraubenreihen folgender Punktequerschnitt

Kontaktpressung

Abmessungen der Kontaktfläche $h_D = 20.0 \text{ mm}$, $b_D = 10.8 \text{ mm}$, $A_D = h_D \cdot b_D = 2.17 \text{ cm}^2$.

Druckkraft in der Kontaktfläche $D = \sum T_{y,i} = 1.70 + 5.65 + 9.61 = 16.96 \text{ kN}$

Kontrolle: $D / (A_D \cdot f_{yD}) = 16.96 / (2.17 \cdot 23.5) = 0.333 < 1$ ok. \Rightarrow Kontaktpressung vorhanden

Berechnung des Punktequerschnitts:

Querschnittsfläche bzgl. Kontaktpunkt $A' = n_x \cdot n_z = 3$,

polares Trägheitsmoment $I_{p'} = \sum y_i^2 + \sum z_i^2 = 398.00 \text{ cm}^2$

Schwerpunktskoordinaten bzgl. Kontaktpunkt $y_{s'} = 63.5 \text{ mm}$, $z_{s'} = 110.0 \text{ mm}$

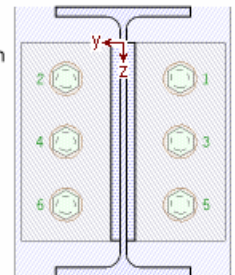
Schnittgrößen im Schwerpunkt $V_{y'} = 0.0 \text{ kN}$, $V_{z'} = -37.5 \text{ kN}$, $M_{x'} = 2.3 \text{ kNm}$

Beanspruchung $T_{y,i} = V_{y'}/A' - M_{x'}/I_{p'} \cdot z_i$, $T_{z,i} = V_{z'}/A' + M_{x'}/I_{p'} \cdot y_i$, $T_i = (T_{y,i}^2 + T_{z,i}^2)^{1/2}$

Schraube 1 $T_{y,1} = -1.70 \text{ kN}$, $T_{z,1} = -12.50 \text{ kN}$, $T_1 = 12.61 \text{ kN}$

Schraube 2 $T_{y,2} = -5.65 \text{ kN}$, $T_{z,2} = -12.50 \text{ kN}$, $T_2 = 13.72 \text{ kN}$

Schraube 3 $T_{y,3} = -9.61 \text{ kN}$, $T_{z,3} = -12.50 \text{ kN}$, $T_3 = 15.77 \text{ kN}$



Die Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit wird nun exemplarisch dargestellt

Schrauben mit Abscheren:

Schraubenkategorie A:

Schaft in der Scherfuge: $\alpha_v = 0.6$, $A = 3.14 \text{ cm}^2$

Abschertragfähigkeit je Scherfuge: $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 60.32 \text{ kN}$, $f_{ub} = 400.0 \text{ N/mm}^2$

Schraube 1: $U_1 = T_1 / F_{v,Rd} = 12.61 / 60.32 = 0.209$

Schraube 2: $U_2 = T_2 / F_{v,Rd} = 13.72 / 60.32 = 0.227$

Schraube 3: $U_3 = T_3 / F_{v,Rd} = 15.77 / 60.32 = 0.261$

max $U_i = 0.261$

Abschertragfähigkeit gesamt: $V_{Rd,1} = V_{1,Ed} / \max U_i = 286.9 \text{ kN}$

Winkelschenkel 2 mit Lochleibung:

Schraube 1: Lochleibungswiderstand: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 87.27 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 0.61$

vertikal: $U_{z,1} = T_{z,1} / F_{b,Rd} = 12.50 / 87.27 = 0.143$

Lochleibungswiderstand: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 109.09 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 0.76$

horizontal: $U_{y,1} = T_{y,1} / F_{b,y,Rd} = 16.07 / 109.09 = 0.147$

Schraube 2:

max $U_i = 0.147$

Lochleibungstragfähigkeit gesamt: $V_{Rd,2} = V_{1,Ed} / \max U_i = 509.1 \text{ kN}$

Stützenflansch mit Lochleibung: analog Winkelschenkel 2

max $U_i = 0.079$

Lochleibungstragfähigkeit gesamt: $V_{Rd,3} = V_{1,Ed} / \max U_i = 945.5 \text{ kN}$

Schubtragfähigkeit: min $V_{Rd,a2} = V_{Rd,1} = 286.9 \text{ kN}$

Winkelschenkel am Nebenträger (geschraubt)

Es ergibt sich je Winkel bei 2 x 3 Schraubenreihen folgender Punktequerschnitt

Berechnung des Punktequerschnitts:

Querschnittsfläche $A' = n_x \cdot n_z = 6$,

polares Trägheitsmoment $I_{p'} = \sum y_i^2 + \sum z_i^2 = 250.00 \text{ cm}^2$

Schwerpunktskoordinaten $y_{s'} = 70.0 \text{ mm}$, $z_{s'} = 110.0 \text{ mm}$

Schnittgrößen im Schwerpunkt $V_{y'} = 0.0 \text{ kN}$, $V_{z'} = -75.0 \text{ kN}$, $M_{x'} = -6.0 \text{ kNm}$

Beanspruchung $T_{y,i} = V_{y'}/A' - M_{x'}/I_{p'} \cdot z_i$, $T_{z,i} = V_{z'}/A' + M_{x'}/I_{p'} \cdot y_i$, $T_i = (T_{y,i}^2 + T_{z,i}^2)^{1/2}$

Schraube 1 $T_{y,1} = -16.80 \text{ kN}$, $T_{z,1} = -5.30 \text{ kN}$, $T_1 = 17.62 \text{ kN}$

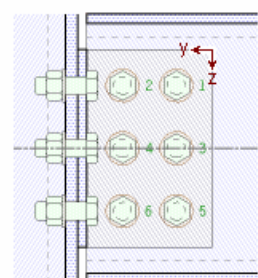
Schraube 2 $T_{y,2} = -16.80 \text{ kN}$, $T_{z,2} = -19.70 \text{ kN}$, $T_2 = 25.89 \text{ kN}$

Schraube 3 $T_{y,3} = 0.00 \text{ kN}$, $T_{z,3} = -5.30 \text{ kN}$, $T_3 = 5.30 \text{ kN}$

Schraube 4 $T_{y,4} = 0.00 \text{ kN}$, $T_{z,4} = -19.70 \text{ kN}$, $T_4 = 19.70 \text{ kN}$

Schraube 5 $T_{y,5} = 16.80 \text{ kN}$, $T_{z,5} = -5.30 \text{ kN}$, $T_5 = 17.62 \text{ kN}$

Schraube 6 $T_{y,6} = 16.80 \text{ kN}$, $T_{z,6} = -19.70 \text{ kN}$, $T_6 = 25.89 \text{ kN}$



Die Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit wird nun exemplarisch dargestellt

Schrauben mit Abscheren:

Schraubenkategorie A:

Schaft in der Scherfuge: $\alpha_v = 0.6$, $A = 3.14 \text{ cm}^2$

Abschertragfähigkeit je Scherfuge: $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 60.32 \text{ kN}$, $f_{ub} = 400.0 \text{ N/mm}^2$

Schraube 1: $U_1 = T_1 / (2 \cdot F_{v,Rd}) = 17.62 / 120.64 = 0.146$

Schraube 2:

$\max U_i = 0.215$

Abschertragfähigkeit gesamt: $V_{Rd,1} = V_{1,Ed} / \max U_i = 349.5 \text{ kN}$

Winkelschenkel 1 mit Lochleibung:

Schraube 1: Lochleibungswiderstand: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 73.94 \text{ kN}$, $k_1 = 2.12$, $\alpha_b = 0.61$

vertikal: $U_{z,1} = T_{z,1} / (2 \cdot F_{b,Rd}) = 5.30 / 147.89 = 0.036$

Lochleibungswiderstand: $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 87.27 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 0.61$

horizontal: $U_{y,1} = T_{y,1} / (2 \cdot F_{b,y,Rd}) = 16.80 / 174.55 = 0.096$

Schraube 2:

$\max U_i = 0.133$

Lochleibungstragfähigkeit gesamt: $V_{Rd,2} = V_{1,Ed} / \max U_i = 563.0 \text{ kN}$

Winkelschenkel 1 mit Zug und Schub (Blockversagen):

Zug: $A_{nt} = t_p \cdot b_{net} = 6.70 \text{ cm}^2$, $b_{net} = 67.0 \text{ mm}$

Schub: $A_{nv} = t_p \cdot h_{net} = 12.50 \text{ cm}^2$, $h_{net} = 125.0 \text{ mm}$

Schraubengruppe unter exzentrischer Belastung:

Schubwiderstand $V_{eff,Rd} = (0.5 \cdot A_{nt} \cdot f_u) / \gamma_{M2} + (A_{nv} \cdot f_y / 3^{1/3}) / \gamma_{M0} = 266.08 \text{ kN}$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $f_y = 235.0 \text{ N/mm}^2$

Schubtragfähigkeit gesamt: $V_{Rd,3} = 266.1 \text{ kN}$

Winkelschenkel 1 mit Biegung und Schub:

$(A_{f,net} \cdot 0.9 \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 228.1 \text{ kN} < (A_{f,net} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 258.5 \text{ kN} \Rightarrow$ der Lochabzug wird berücksichtigt.

mit $A_f = 11.00 \text{ cm}^2$, $A_{f,net} = 8.80 \text{ cm}^2$

Schubtragfähigkeit $V_{Rd} = f_y / \gamma_{M0} / ((b' / W_{el})^2 + 3 \cdot (1/A)^2)^{1/2} = 137.88 \text{ kN}$

mit $W_{el} = 65.09 \text{ cm}^3$, $b' = 80.0 \text{ mm}$, $A = 14.67 \text{ cm}^2$

Schubtragfähigkeit gesamt: $V_{Rd,4} = 2 \cdot 137.88 = 275.8 \text{ kN}$

Trägersteg mit Lochleibung: analog Winkelschenkel 1

$\max U_i = 0.281$

Lochleibungstragfähigkeit gesamt: $V_{Rd,5} = V_{1,Ed} / \max U_i = 267.3 \text{ kN}$

Trägersteg mit Zug und Schub (Blockversagen): analog Winkelschenkel 1

Schubtragfähigkeit gesamt: $V_{Rd,6} = 227.4 \text{ kN}$

Schubtragfähigkeit: $\min V_{Rd,5,1} = V_{Rd,6} = 227.4 \text{ kN}$

Winkelschenkel am Nebenträger (geschweißt)

Der Vorteil, den Winkelschenkel 1 am Nebenträger anzuschweißen statt anzuschrauben, liegt darin, dass dadurch der Schenkel als Stegverstärkung (Stegblech) wirken kann. Dies ist besonders bei ausgeklinkten Trägern mit schwachem Steg sinnvoll.

Der Winkelschenkel muss allerdings die Bedingungen, die an eine Stegverstärkung gestellt werden, erfüllen. Diese sind vor allen Dingen, dass

- der Winkelschenkel einschließlich Schweißnähte die gesamte Steghöhe des Nebenträgerprofils bis zur Ausrundung bzw. Ausklinkung bedeckt, d.h.
 $b_a \geq d_w - 2 \cdot a_w$
- die Länge des Winkelschenkels den Steg im gesamten Bereich der Ausklinkung verstärkt, d.h.
 $l_1 > s + \max \{a_{0j}, a_u\} + r_b$
- die Dicke des Winkelschenkels mindestens der Stegdicke des Profils entspricht, d.h.
 $t_1 \geq t_w$

Des Weiteren sind aus konstruktiven Gründen folgende Bedingungen einzuhalten

- Stirnnaht $a_{w,s} \leq t_w / 2$ des Nebenträgerprofils
- Abstand $s \geq t_w / 2$... und ... $s \geq \sqrt{2} \cdot a_{w,s}$... und ... $s \leq t_2$

Die Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit beschränkt sich auf den Nachweis der Schweißnähte. Bei Ausklinkungen ist die Schweißnaht nur wirksam im nicht geschwächten Bereich, d.h. die Nahtlänge oberhalb und unterhalb des Winkelschenkels ergibt sich zu

$$l_{eff} = l_1 - s - \max \{a_{0j}, a_u\} - r_b$$

Unterschreitet die Nahtlänge den nach Norm vorgeschriebenen Grenzwert, erfolgt eine Fehlermeldung und der Nachweis wird nicht geführt.

Im Folgenden wird der Schweißnahtnachweis exemplarisch dargestellt

Berechnungsquerschnitt:



Naht 1:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 41.5 \text{ mm}$
Naht 2:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 211.7 \text{ mm}$
Naht 3:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 41.5 \text{ mm}$

Bemessungsgrößen:

$$V_{z,Ed} = -37.50 \text{ kN}, \quad V_{y,Ed} = -26.58 \text{ kN}$$

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$$\Sigma A_w = 14.73 \text{ cm}^2, \quad A_{w,y} = 4.15 \text{ cm}^2, \quad A_{w,z} = 10.58 \text{ cm}^2, \quad \Sigma l_w = 29.5 \text{ cm}$$

$$I_{w,y} = 859.96 \text{ cm}^4, \quad I_{w,z} = 19.01 \text{ cm}^4, \quad \Delta y_w = -14.9 \text{ mm}, \quad \Delta z_w = 0.0 \text{ mm}$$

Nachweise in den Endpunkten der Einzelnähte:

Naht 1,	Pkt. 0:	$\tau_{w,y} = 64.04 \text{ N/mm}^2$	$\Rightarrow U_w = 0.308 < 1$	ok.
	Pkt. 1:	$\tau_{w,y} = 64.04 \text{ N/mm}^2$	$\Rightarrow U_w = 0.308 < 1$	ok.
Naht 2,	Pkt. 0:	$\tau_{w,z} = 35.43 \text{ N/mm}^2$	$\Rightarrow U_w = 0.170 < 1$	ok.
	Pkt. 1:	$\tau_{w,z} = 35.43 \text{ N/mm}^2$	$\Rightarrow U_w = 0.170 < 1$	ok.
Naht 3,	Pkt. 0:	$\tau_{w,y} = 64.04 \text{ N/mm}^2$	$\Rightarrow U_w = 0.308 < 1$	ok.
	Pkt. 1:	$\tau_{w,y} = 64.04 \text{ N/mm}^2$	$\Rightarrow U_w = 0.308 < 1$	ok.

Ergebnis:

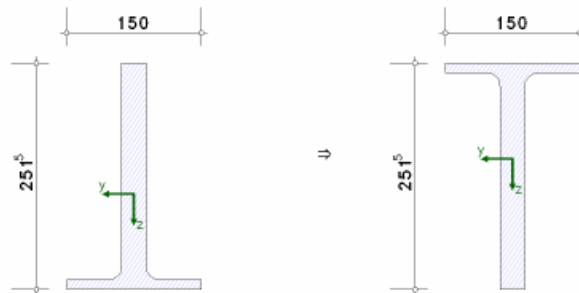
Naht 1,	Pkt. 0:	$\tau_{w,y} = 64.04 \text{ N/mm}^2$
		$F_{w,Ed} = 3.20 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 10.39 \text{ kN/cm} \Rightarrow U_w = 0.308 < 1$

Stirnschweißnaht:

Tragfähigkeit der Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 6.24 \text{ kN/cm}$ je Seite, $f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$, $a = 3.0 \text{ mm}$
 $F_{w,Ed} = 0.75 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 6.24 \text{ kN/cm} \Rightarrow U_w = 0.120 < 1$ ok.

Die Verstärkung wird beim Querschnittsnachweis durch eine Vergrößerung der Stegdicke des Trägerprofils berücksichtigt. Der Nachweis wird hier geführt für Schnitt II-II (s.o.)

Stegverstärkung durch angeschweißte Winkelschenkel $t_1 = 27.1 \text{ mm}$
 Nachweis bei $\Delta x = 104.3 \text{ mm}$ (bez. auf die HT-Achse) mit Ausklinkung



$$M_{Ed} = M_{1,Ed} + V_{1,Ed} \cdot \Delta x = -7.50 \text{ kNm}, \quad \Delta x = 104.3 \text{ mm}$$

Profilquerschnitt an der y-Achse gespiegelt \Rightarrow

Schnittgrößen bezogen auf den Schwerpunkt

elastischer Querschnittsnachweis für $M_y = 7.50 \text{ kNm}$, $V_z = 75.00 \text{ kN}$

elastische Spannungen: $\max \sigma_x = 2.10 \text{ kN/cm}^2$, $\min \sigma_x = -1.54 \text{ kN/cm}^2$, $\max \tau = 1.05 \text{ kN/cm}^2$, $\max \sigma_v = 2.63 \text{ kN/cm}^2$

$$\max \sigma_x \quad \text{bei } y = 0.0 \text{ mm}, z = 145.2 \text{ mm:} \quad \sigma_x = 2.10 \text{ kN/cm}^2, \tau = -0.00 \text{ kN/cm}^2, \sigma_v = 2.10 \text{ kN/cm}^2$$

$$\min \sigma_x \quad \text{bei } y = 75.0 \text{ mm}, z = -106.3 \text{ mm:} \quad \sigma_x = -1.54 \text{ kN/cm}^2, \tau = 0.00 \text{ kN/cm}^2, \sigma_v = 1.54 \text{ kN/cm}^2$$

$$\max \tau \quad \text{bei } y = 0.0 \text{ mm}, z = -100.9 \text{ mm:} \quad \sigma_x = -1.46 \text{ kN/cm}^2, \tau = 1.05 \text{ kN/cm}^2, \sigma_v = 2.33 \text{ kN/cm}^2$$

$$\max \sigma_v \quad \text{bei } y = 0.0 \text{ mm}, z = -2.5 \text{ mm:} \quad \sigma_x = -0.04 \text{ kN/cm}^2, \tau = -1.52 \text{ kN/cm}^2, \sigma_v = 2.63 \text{ kN/cm}^2$$

zul. Vergleichsspannung: $\text{zul } \sigma_v = 23.50 \text{ kN/cm}^2$

$$\text{Nachweis: } \sigma_v = 2.63 \text{ kN/cm} < \text{zul } \sigma_v = 23.50 \text{ kN/cm} \Rightarrow U_{\sigma v} = 0.112 < 1$$
 ok.

Ausnutzungen: Tragfähigkeit $U_{\sigma} = 0.112 < 1$ ok.

Der Querschnittsnachweis im Schnitt III-III (ohne Ausklinkung) wird grundsätzlich ohne Verstärkung geführt.

5 Grundkomponenten

5.1 Stützenflansch mit Biegebeanspruchung

EC 3-1-8, 6.2.6.4, Grundkomponente 4, nur bei Träger-Stützenverbindungen

5.1.1 Anwendungsvoraussetzung

- geschweißte oder geschraubte Verbindungen können bemessen werden
- bei geschraubten Verbindungen kann der Stützenflansch durch Quersteifen verstärkt sein

5.1.2 Tragfähigkeit einer geschweißten Verbindung

Die Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenflanschs ergibt sich zu

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

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

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

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 $F = b_p \cdot t_p \cdot f_{y,p} / \gamma_{M0}$

5.1.3 Tragfähigkeit einer geschraubten Verbindung

Die Tragfähigkeit eines ausgesteiften oder nicht ausgesteiften Stützenflanschs wird mit Hilfe des äquivalenten **T-Stummelflanschs** ermittelt.

Das Modell des T-Stummelflanschs 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. 6.3, S. 38.

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

Annahme: Die Breite des Stützenflanschs ist geringer als die Breite des Anschlussblechs (Stirnblech oder Flanschwinkel), d.h. der Achsabstand der außen liegenden Schrauben vom seitlichen Rand des Stützenflanschs e_{2s} entspricht e_{min} .

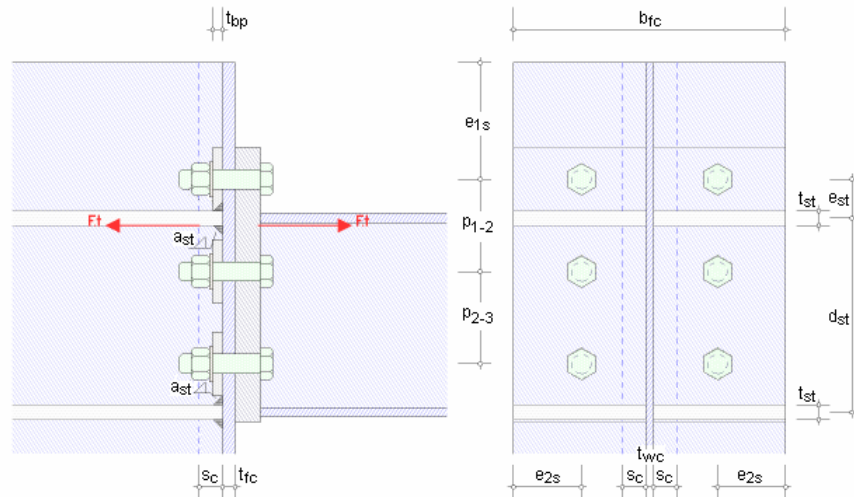
Anschließend wird die Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs für jede einzelne Schraubenreihe sowie für eine Gruppe von Schraubenreihen bestimmt und die zugehörige wirksame Länge protokolliert. Die wirksame Länge aus Grundkomponente 4 kann auch in Grundkomponente 3, *Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung*, eingehen.

Zur Bildung von Schraubengruppen s.u. *Verstärkungen des Stützenstegs*.

5.1.4 Verstärkungen des Stützenstegs

Quersteifen

Am Stützenflansch angeschweißte Quersteifen erhöhen die Biegetragfähigkeit der Verbindung. Dabei wird bei zweiseitigen Träger-Stützenanschlüssen angenommen, dass beide Träger etwa die gleiche Höhe besitzen. Bei geschweißten Anschlüssen sollten die Quersteifen der Stütze in den Achsen der Trägerflansche liegen. Es werden maximal zwei Quersteifen betrachtet.



5.1.5

Schraubengruppe

Ist der Stützenflansch nicht ausgesteift, werden alle zugbeanspruchten Schrauben einer Schraubengruppe zugewiesen. Werden jedoch Quersteifen angeordnet, ist die Lage einer Quersteife in Bezug auf die erste Schraubenreihe entscheidend.

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

5.2

Stirnblech mit Biegebeanspruchung

EC 3-1-8, 6.2.6.5, Grundkomponente 5, bei Träger-Stützenverbindungen und Trägerstößen

5.2.1

Anwendungsvoraussetzung

- geschraubte Verbindungen können bemessen werden

5.2.2

Tragfähigkeit

Die Tragfähigkeit eines Stirnblechs wird mit Hilfe des äquivalenten **T-Stummelflanschs** ermittelt. Das Modell des T-Stummelflanschs 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. 6.3, S. 38.

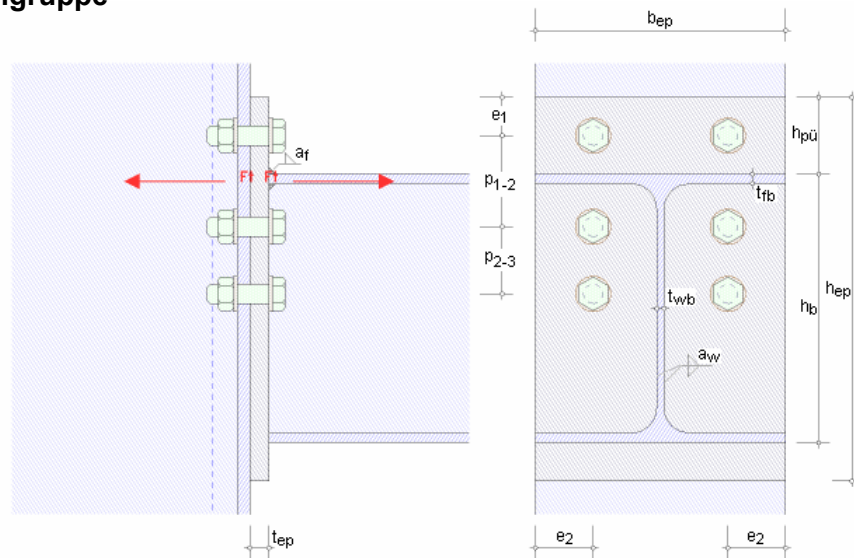
Um die Tragfähigkeit von Grundkomponente 5, *Stirnblech mit Biegebeanspruchung*, zu ermitteln, muss zunächst die wirksame Länge des äquivalenten T-Stummels bestimmt werden. Dazu ist die genaue Anordnung der zugbelasteten Schrauben im Stützenflansch einzugeben.

Annahme: Die Breite des Stirnblechs ist geringer als die Breite oder gleich der Breite des Anschlussblechs (Stützenflansch), d.h. der Achsabstand der außen liegenden Schrauben vom seitlichen Rand des Stützenflanschs e_2 entspricht e_{min} .

Anschließend wird die Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs für jede einzelne Schraubenreihe sowie für eine Gruppe von Schraubenreihen bestimmt und die zugehörige wirksame Länge protokolliert. Die wirksame Länge aus Grundkomponente 5 kann auch in Grundkomponente 8, *Trägersteg mit Zugbeanspruchung*, eingehen.

5.2.3

Schraubengruppe



Die Trägerflansche gelten als Quersteifen der Stirnblechverbindung.

Wird ein Überstand des Stirnblechs über dem Trägerzugflansch angegeben, befindet sich die erste Schraubenreihe in dem Überstand; ansonsten werden alle Schraubenreihen zwischen Zug- und Druckflansch des Trägers angeordnet.

Befindet sich die erste Schraubenreihe oberhalb des Trägerzugflanschs, wird diese Reihe nur einzeln betrachtet. Die Schraubenreihen zwischen den Flanschen bilden dann eine Schraubengruppe.

Befinden sich dagegen alle Schraubenreihen innerhalb der Trägerflansche, sind alle Schrauben in der Schraubengruppe vertreten.

5.3

Schrauben mit Zugbeanspruchung

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

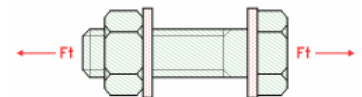
5.3.1

Anwendungsgrenzen

Schrauben sind die Verbindungsmittel der Grundkomponenten 4 (*Stützenflansch mit Biegebeanspruchung*, Abs. 5.1, S. 27), 5 (*Stirnblech mit Biegebeanspruchung*, Abs. 5.2, S. 28) und 6 (*Flanschwinkel mit Biegebeanspruchung*).

In dieser Grundkomponente wird die Zugtragfähigkeit normaler und Edelstahl-Schrauben nach Kategorie D ermittelt.

Nähere Informationen finden Sie in der Programmbeschreibung der *Basisverbindungen*, Abs. 6.1, S. 31, zur Berechnung der Zugtragfähigkeit von Schrauben.



5.4

Schrauben mit Abscherbeanspruchung

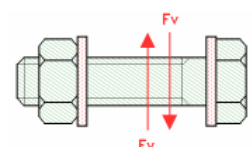
EC 3-1-8, 3.6, Grundkomponente 11, bei Träger-Stützenverbindungen und Trägerstößen

5.4.1

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. 6.1, S. 31, zur Berechnung der Abschertragfähigkeit von Schrauben.



5.5

Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung

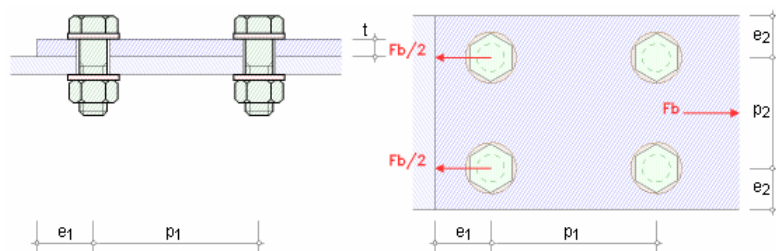
EC 3-1-8, 3.6, Grundkomponente 12, bei Träger-Stützenverbindungen und Trägerstößen

5.5.1

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. 6.1, S. 31, zur Berechnung der Lochleibungstragfähigkeit von Schrauben.



6 Basisverbindungen

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

- Schrauben, Abs. 6.1, S. 31
- Schweißnähte, Abs. 6.2, S. 36
- T-Stummelflansch mit Zugbeanspruchung, Abs. 6.3, S. 38

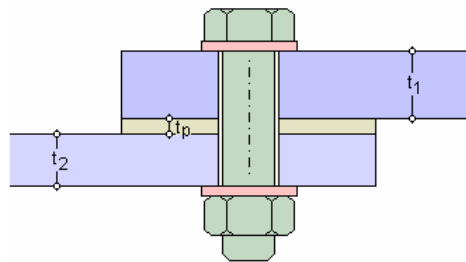
Das Eurocode-Dokument enthält Parameter, die national veränderbar sind. Die im Programm verwendeten veränderbaren Parameter können im Nationalen Anhang (Abs. 8.3, S. 50) eingesehen und verändert werden.

6.1 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.

6.1.1 Schrauben



Zur Ermittlung der Tragfähigkeit sind Schraubenverbindungen in Kategorien einzuteilen.

Scherbeanspruchung

Kategorie A: Scher-/Lochleibungsverbindung für Schrauben aller Festigkeitsklassen ohne Vorspannung

- Bemessungswert der Schertragfähigkeit
- Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit

Kategorie B: Gleitfeste Verbindung (GZG) für hochfeste vorgespannte Schrauben

- Bemessungswert des Gleitwiderstands im GZG
- Bemessungswert der Schertragfähigkeit
- Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit

Kategorie C: Gleitfeste Verbindung (GZT) für hochfeste vorgespannte Schrauben

- Bemessungswert des Gleitwiderstands im GZT
- Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit
- bei Zugverbindungen: Bemessungswert des plastischen Widerstands des Nettoquerschnitts im kritischen Schnitt durch die Schraubenlöcher

Zugbeanspruchung

Kategorie D: Zugbeanspruchung für Schrauben aller Festigkeitsklassen ohne Vorspannung

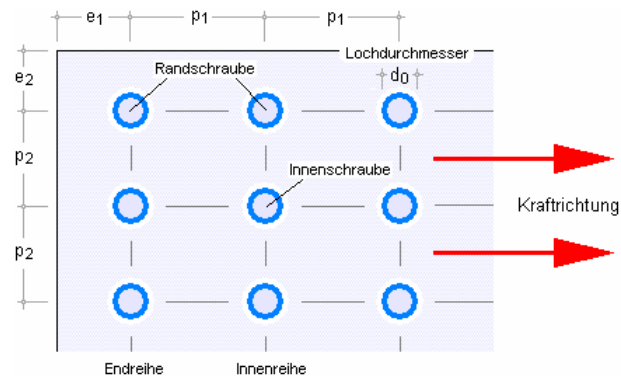
- Bemessungswert der Zugtragfähigkeit
- Bemessungswert der Durchstanztragfähigkeit

Kategorie E: Zugbeanspruchung für hochfeste vorgespannte Schrauben

- Bemessungswert der Zugtragfähigkeit
- Bemessungswert der Durchstanztragfähigkeit

Berechnung der Tragfähigkeiten von Schrauben

Die Schraubenabstände sind folgendermaßen definiert



Abscheren je Scherfuge

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot \bar{A}}{\gamma_{M2}} \quad \text{mit} \quad \begin{cases} \text{Gewinde in der Scherfuge} & \left\{ \begin{array}{l} \alpha_v = 0.6 \quad \text{für FK 4,6,5,6,8,8} \\ \alpha_v = 0.5 \quad \text{für FK 4,8,5,8,6,8,10,9} \end{array} \right\} \quad \text{und} \quad \bar{A} = A_s \\ \text{Schaft in der Scherfuge} & \alpha_v = 0.6 \quad \text{und} \quad \bar{A} = A \end{cases}$$

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

Übertragen Schrauben Scherkräfte über Futterbleche, ist die Schertragfähigkeit abzumindern mit

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

Lochleibung

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

Beiwert 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

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

Durchstanzen

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

Kombination von Scher-/Lochleibung und Zug

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

Gleiten

im GZT

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

im GZG

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

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

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

$k_s = 0.85$ übergroßen Löchern

$k_s = 0.85$ kurzen Langlöchern \perp Krafrichtung

$k_s = 0.7$ großen Langlöchern \perp Krafrichtung

$k_s = 0.76$ kurzen Langlöchern \parallel Krafrichtung

$k_s = 0.63$ großen Langlöchern \parallel Krafrichtung

n Anzahl Reiboberflächen (=1 bei einschnittigen Verbindungen)

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)

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

6.1.2.1

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 (Schraubenkopfgroße) 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.

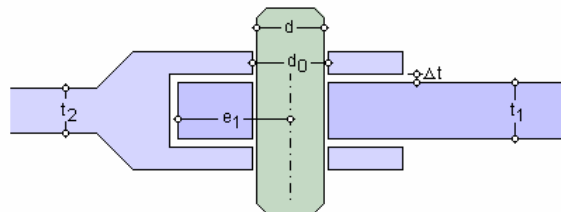
Das Nennlochspiel bestimmt die Lochleibungstragfähigkeit und den Gleitwiderstand.

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

6.1.3

Bolzen

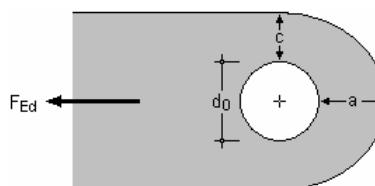


Die als Augenstäbe ausgeführten **Anschlussbleche** müssen zur sinnvollen Kraftübertragung geometrischen Anforderungen genügen, die bei Bedarf überprüft werden.

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

Möglichkeit A

Blechdicke t und Bolzenlochdurchmesser d_0 sind vorgegeben

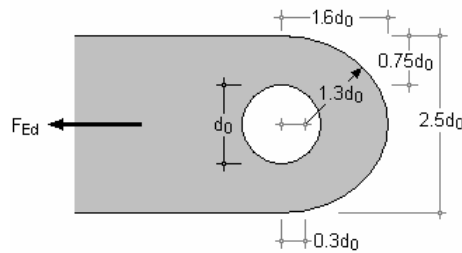


Die geometrischen Parameter a und c müssen dann folgenden Bedingungen genügen

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

Möglichkeit B

Die Geometrie des Augenstabs in Abhängigkeit vom Bolzenlochdurchmesser ist vorgegeben.



Blechdicke t und Bolzenlochdurchmesser d_0 müssen dann den folgenden Bedingungen genügen

$$t \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} \quad \dots \text{ und } \dots \quad d_0 \leq 2,5 \cdot t$$

6.1.4

Berechnung der Tragfähigkeiten massiver Rundbolzen

Lochspiel zw. den Anschlussblechen	Δt	3,0	mm
Abstand der Bolzenachse vom Zugrand	e_1	50,0	mm
zum seittl. Rand	e_2	30,0	mm

Abscheren

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{up} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

Lochleibung von Augenblech und Bolzen

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot \bar{f}_y}{\gamma_{M0}}$$

bei austauschbaren Bolzen zusätzlich

$$F_{b,Rd,ser} = \frac{0,6 \cdot t \cdot d \cdot \bar{f}_y}{\gamma_{M6,ser}} \quad \dots \text{ mit } \dots \quad \bar{f}_y = \min(f_{yp}, f_y)$$

Ist der Bolzen austauschbar, muss außerdem gelten

$$\sigma_{h,Ed} \leq f_{h,Rd} \quad \dots \text{ mit } \dots \quad \sigma_{h,Ed} = 0,591 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F_{b,Ed,ser} \cdot (d_0 - d)}{d^2 - t}} \quad \dots \text{ und } \dots \quad f_{h,Rd} = \frac{2,5 \cdot f_y}{\gamma_{M6,ser}}$$

Biegung des Bolzens

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}}$$

bei austauschbaren Bolzen zusätzlich

$$M_{Rd,ser} = \frac{0,8 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M6,ser}} \quad \dots \text{ mit } \dots \quad W_{el} = \pi \cdot d^3 / 32 \quad \dots \text{ und } \dots \quad M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} \cdot (t_1 + 4 \cdot \Delta t + t_2)$$

Kombination von Abscheren und Biegung des Bolzens

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$

6.2

Tragfähigkeit von Schweißverbindungen



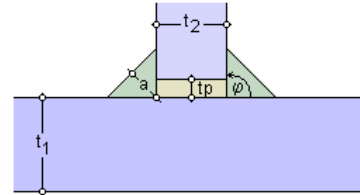
Schweißverbindungen können nach EC 3-1-8, 4, bemessen werden, wenn die zu verschweißenden Blechdicken 4 mm bzw. bei Hohlprofilen 2.5 mm oder mehr aufweisen.

Die Norm behandelt Kehlnähte, Schlitznähte, Stumpfnähte und Lochschweißungen.

6.2.1

Kehlnähte

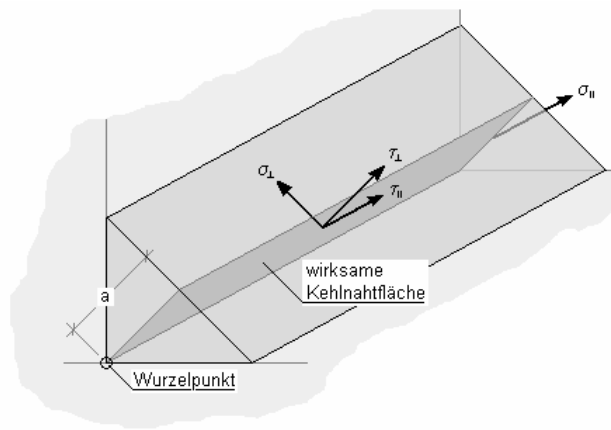
<input checked="" type="checkbox"/> Kehlnaht / Hohlkehlnaht	
<input checked="" type="checkbox"/> einseitige Naht	
wirksame Nahtdicke	a 4,0 mm
Öffnungswinkel der Naht	φ 90°



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

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

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

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

vereinfachtes Verfahren

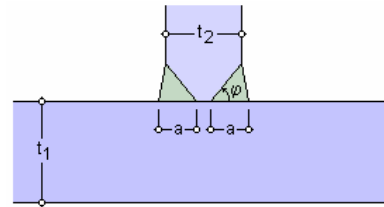
Die Resultierende aller auf die Kehlnaht einwirkenden Kräfte muss folgende Bedingung erfüllen

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

6.2.2

Stumpfnähte

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



Stumpfnähte können durchgeschweißt oder nicht durchgeschweißt ausgeführt werden.

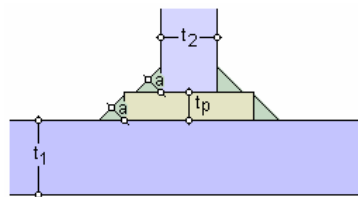
Eine durchgeschweißte Stumpfnahrt ist eine Schweißnaht mit vollständigem Einbrand und vollständiger Verschmelzung des Schweißwerkstoffs mit dem Grundmaterial über die gesamte Dicke der Verbindung (EC 3-1-8, 4.3.4(1)), d.h. $a = t_2/2$ bei beidseitiger Schweißung bzw. $a = t_2$ bei einseitiger Schweißung.

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).

6.2.3

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

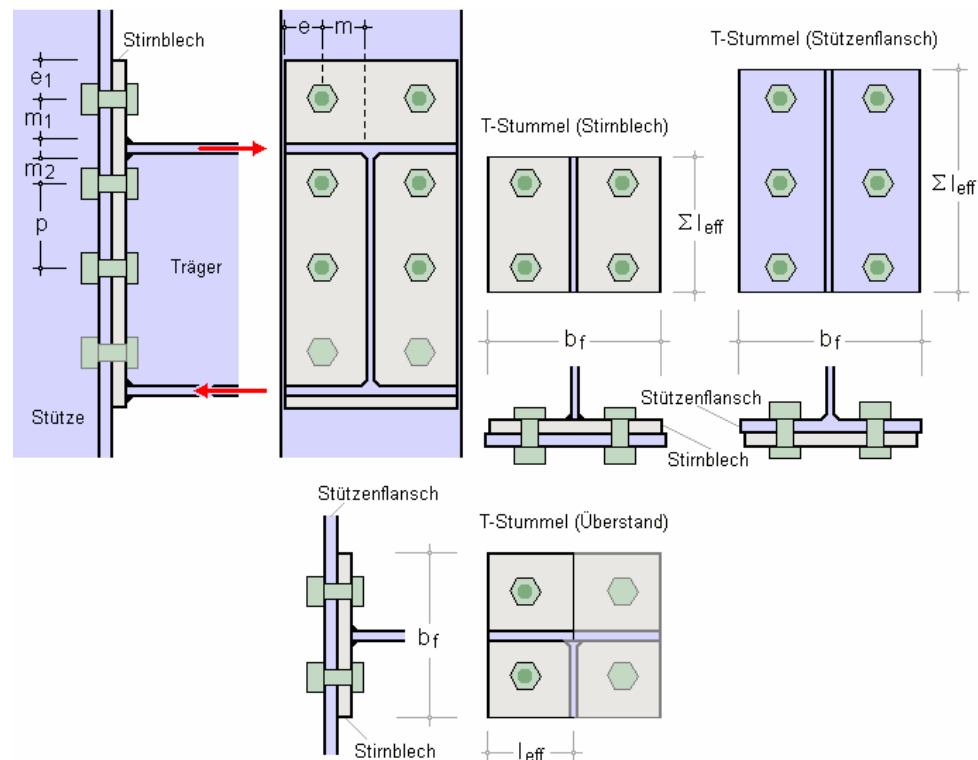
- Stützenflansch mit Biegebeanspruchung
- Stirnblech mit Biegebeanspruchung
- Flanschwinkel mit Biegebeanspruchung
- Fußplatte mit Biegebeanspruchung infolge Zugbeanspruchung

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Versagensarten des Flanschs 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.

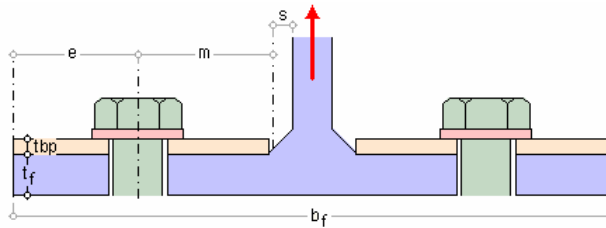
Für den überstehenden Teil des Stirnblechs ist das Stirnblech der Stummelflansch und der Trägerflansch der Stummelsteg des äquivalenten T-Stummels.

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-Stummelflanschs

- Dicke t_{bp} der Flanschverstärkung (Futterblech)



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 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.

6.3.1

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

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

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-Stummelflanschs 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 Modus 1 und 2 berechnet zu (Modus 3 s. Verfahren 1)

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

Die Bemessungswerte der plastischen Momente sind

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

T-Stummel mit vier Schrauben je Schraubenreihe

Die Komponentenmethode des EC3-1-8 regelt u.A. geschraubte Verbindungen mit **nur zwei** Schrauben je Schraubenreihe. Eine Erweiterung auf die in Deutschland gebräuchlichen Stirnblechverbindungen mit vier Schrauben je Reihe

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

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

Diese Vorgehensweise ist im vorliegenden Programm für den geschraubten Trägerstoß mit Stirnblech umgesetzt; sie gilt ebenso für Stützenflansche, die aus Wirtschaftlichkeitsgründen stets auszusteifen sind.

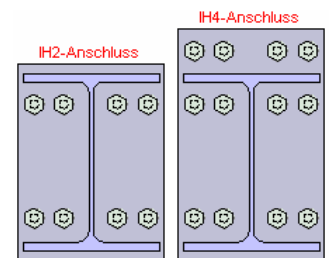


Achtung! Die Anwendung der Methode ist (gegenwärtig noch) nicht durch Norm eingeführt.

Das Verfahren wird anhand der Stirnblechverbindung erläutert.

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

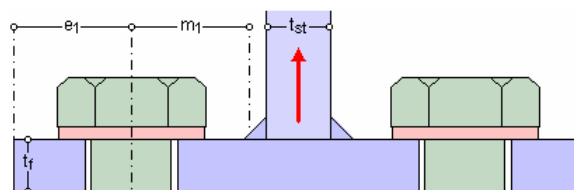
- **IH2-Anschluss:** Stirnblech ohne Überstand mit einer Schraubenreihe unter Zugbelastung
- **IH4-Anschluss:** Stirnblech mit Überstand mit zwei Schraubenreihen unter Zugbelastung (eine Reihe befindet sich im Überstand, die zweite Reihe unterhalb des Trägerflanschs)



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

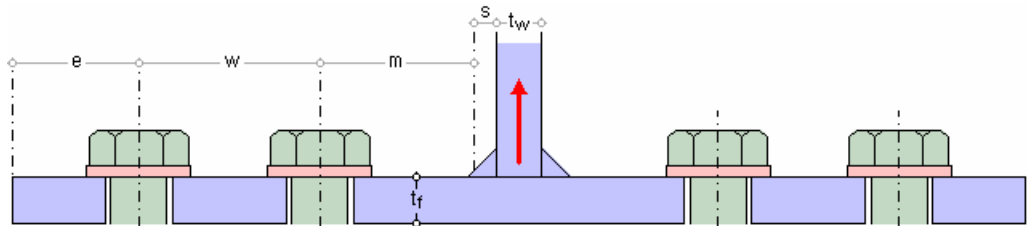
Für den **überstehenden Teil** des Stirnblechs ist das Stirnblech der Stummelflansch und der Trägerflansch der Stummelsteg des äquivalenten T-Stummels. Wesentliche Parameter zur Berechnung der Fließlinien bzw. der effektiven Länge des T-Stummels sind

- Abstand e der äußeren Schraube vom seitlichen Flanschrand
- Abstand w der äußeren von der inneren Schraube
- Abstand e_1 der Schrauben (Endreihe) vom freien Flanschrand
- Abstand m_1 der Schraubenreihe vom Anschnitt der Steife (des Trägerflanschs)
Der Anschnitt der Steife befindet sich im Abstand s von der Steife, wobei gilt
 $s = 0.8 \cdot a_{st} \cdot \sqrt{2}$ (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.

6.4.1

Berechnung der wirksamen Längen

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

Stirnblech - zwischen den Trägerflanschen

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

Es wird hier nur die 'innere Schraubenreihe' neben dem Trägerzugflansch (bzw. der Zugsteife) betrachtet. Die Berechnung unterscheidet sich je nachdem, ob es sich um einen IH2- oder IH4-Anschluss handelt.

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

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

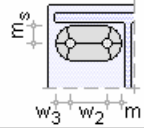
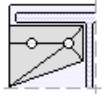
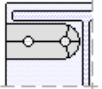
Schraubenreihe einzeln betrachtet

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Stirnblech - überstehender Teil

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

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

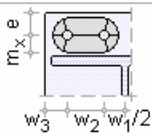
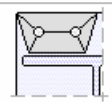
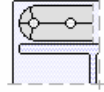
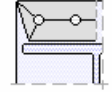
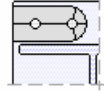
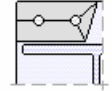
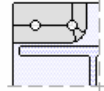
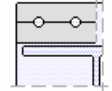
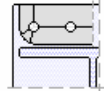
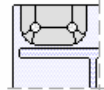
Schraubenreihe einzeln betrachtet

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

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

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

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

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

6.4.2

Tragfähigkeit

Bei der Ermittlung der Tragfähigkeiten von ausgesteiften T-Stummelflanschen unter Zug mit vier Schrauben in einer Reihe spielt die Lage der Schrauben sowie die Lastabtragsrichtung eine wesentliche Rolle. Die effektive Fließlänge wird dementsprechend gewichtet für den Anteil

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

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

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

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

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

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

Im Stirnplattenüberstand braucht die effektive Fließlänge nicht reduziert zu werden.

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

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

Nachweis der Schweißnähte als Linienquerschnitt

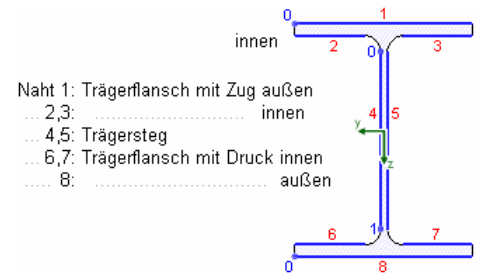
I.A. werden die Verbindungselemente (Träger und Stirnblech, Träger und Stütze) mit Kehlnähten verbunden, deren Schweißnaht konzentriert in der Wurzellinie angenommen wird.

Die Wurzellinien der Einzelnähte bilden den **Linienquerschnitt** (s. Lit. /10/) 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:

$$\Sigma A_w = 94.98 \text{ cm}^2, \quad \Sigma l_w = 128.1 \text{ cm}$$

$$I_{w,y} = 26428.86 \text{ cm}^4, \quad \Delta z_w = -0.0 \text{ mm}$$

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 ($\alpha = 45^\circ$, $\sigma_w = \sigma_{w,x}$):

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

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

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

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

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

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

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

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

oder dem *vereinfachten Verfahren* bemessen.

Nachweis für Naht 1, Pkt. 0:

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

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

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

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

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

Da die Beschreibung der Schweißnahtnachweise nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung des Schweißnahtnachweises verwiesen (Abs. 6.2, S. 36).

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.

Der E-Modul wird nur bei der Bemessung einer Schraubverbindung mit Bolzen, der Korrelationsbeiwert nur bei der Bemessung einer Schweißverbindung mit Kehlnähten relevant.

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

Ausdrucksteuerung

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

Eingabeprotokoll

- ☒ Grafik im Maßstab 1: 2.5
- ☒ Eingabeparameter
- ☒ Materialsicherheitsbeiwerte
- ☐ zusätzliche Infos
- ☒ Parameter des nationalen Anhangs
- ☒ Vorschriften

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** 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.

Ergebnisse

- ☐ ausführlich
- ☒ standard
- ☐ 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



Zum Druckmanager und den dortigen Interaktionsmöglichkeiten sowie zu der zum Lieferumfang gehörenden **englischsprachigen** Druckdokumentenausgabe s. **DTE®**-Handbuch.

Nationale Anhänge zu den Eurocodes

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

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

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

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

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

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

Darüber hinaus stellt **pcae** ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem weitere NAe aus Kopien der bestehenden NAe erstellt werden können. Dieses Werkzeug, das über ein eigenes Hilfedokument verfügt, wird normalerweise aus der Schublade des DTE®-Schreibtischs heraus aufgerufen (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 1999-1-1, Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln; Deutsche Fassung EN 1999-1-1:2007 +

- /18/ 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
- /19/ DIN 18800-1, Stahlbauten - Teil 1: Bemessung und Konstruktion; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe November 2008

Bemessung

- /20/ E. Kahlmeyer, K. Hebestreit, W. Vogt: Stahlbau nach EC3, Bemessung und Konstruktion, Träger - Stützen - Verbindungen, 6. Auflage, Werner-Verlag, 2012
- /21/ R. Kindmann, M. Stracke: Verbindungen im Stahl- und Verbundbau, 3. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 2012
- /22/ R. Kindmann, M. Krüger: Stahlbau Teil 1: Grundlagen, 5. Aufl., Verl. Ernst & Sohn, 2013
- /23/ R. Kindmann: Stahlbau Teil 2: Stabilität und Theorie II. Ordnung, 4. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 2008
- /24/ R. Kindmann, J. Frickel: Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit, Grundlagen, Methoden, Berechnungsverfahren, Beispiele, Verlag Ernst & Sohn, 2002
- /25/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 1: Tragwerksplanung, Grundlagen, 5. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014
- /26/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 2: Verbindungen und Konstruktionen, 3. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2011
- /27/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 3: Komponentenmethode, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014
- /28/ D. Ungermann, K. Weynand, J.-P. Jaspart, B. Schmidt: Momententragfähige Anschlüsse mit und ohne Steifen, Stahlbau Kalender 2005, Verlag Ernst & Sohn, 2005
- /29/ D. Ungermann, S. Schneider: Stahlbaunormen DIN EN 1993-1-8: Bemessung von Anschlüssen, Stahlbau Kalender 2013, Verlag Ernst & Sohn, 2013
- /30/ 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
- /31/ Björn Schmidt: Zum Tragverhalten von geschraubten momententragfähigen Stirnplattenverbindungen mit 4 Schrauben in jeder Schraubenreihe, Dissertation, TU Dortmund, 2008
- /32/ Beispiele zur Bemessung von Stahltragwerken nach DIN EN 1993 Eurocode 3, bauforumstahl e.V., Verlag Ernst & Sohn GmbH & Co. KG
- /33/ K. Weynand, R. Oerder: Typisierte Anschlüsse im Stahlnhochbau nach DIN EN 1993-1-8, Stahlbau Verlag- und Service GmbH, Gesamtausgabe 2013
- /34/ L. Nasdala, B. Hohn, R. Rühl: Bemessung von Stirnplattenanschlüssen mit elastomerer Zwischenschicht, Bauingenieur, Bd. 80, Dezember 2005
- /35/ Y. Ciupack, H. Pasternak: Thermisch getrennte Stirnplattenstöße, Bauingenieur, Bd. 88, Dezember 2013
- /36/ Druckschrift Kerncompactlager, Calenberg Ingenieure GmbH, Salzhemmendorf, www.calenberg-ingenieure.de
- /37/ 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. Demonceau, S. Renkin, M.L. Guillaume
- /38/ 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
- /39/ 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

- /40/ 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
- /41/ 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
- /42/ 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
- /43/ C. Seeßelberg: Kranbahnen, 4. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014
- /44/ A. Steurer: Das Tragverhalten und Rotationsvermögen geschraubter Stirnplattenverbindungen, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Zürich, Dezember 1999
- /45/ T. Laufs, C. Radlbeck: Aluminiumbau-Praxis nach Eurocode 9, Berechnung und Konstruktion, Bauwerk, Bauwerk, Beuth-Verlag GmbH, 2015
- /46/ J.-M. Franssen, P. Vila Real: Fire Design of Steel Structures, 2nd Edition, ECCS - European Convention for Constructional Steelwork, 2015
- /47/ DAST-Richtlinie 027: Ermittlung der Bauteiltemperatur feuerverzinkter Stahlbauteile im Brandfall, Ausgabe Nov. 2020
- /48/ M. Mensinger, M. Stadler: Brandschutznachweise, Workshop Eurocode 3 - Rechenbeispiele, 8. November 2008, München
- /49/ Berechnungsrichtlinie für die Querschnitts- und Stabbemessung nach Eurocode 3 mit Schwerpunkt auf semi-kompakten Querschnitten; TU Graz Institut für Stahlbau, Lessingstr. 25/38010 Graz
- /50/ W. Martin: ζ -Werte für den Biegedrillknicknachweis von I-Profilen
- /51/ J. Lindner, J. Scheer, H. Schmidt: Stahlbauten, Erläuterungen zu DIN 18800 Teil 1 bis Teil 4, Beuth-Kommentare
- /52/ J. Lindner: Stabilisierung von Trägern durch Trapezbleche, Stahlbau 56 (1987), S. 9-15
- /53/ R. Puthli: Hohlprofilkonstruktionen im Geschossbau - Ausblick auf die europäische Normung, Stahlbau-Kalender 2002, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2002
- /54/ 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
- /55/ 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
- /56/ 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	Material	11
Abscheren.....	20, 29	Materialparameter.....	10
Anhang nationaler.....	50	Materialsicherheitsbeiwerte	49
Anschlussblech.....	34	Nachweis	19
Anschlussparameter	10	Nachweis EC 3	18
Ausklinkung.....	22	Ordner	7
Basisverbindungen	31	Punktequerschnitt	18
Bauteil erzeugen	7	Querschnittsnachweis.....	22
Bemessungsschnittgrößen	15	Quersteife	27
Bildschirmgrafik.....	13	Rotationskapazität	19
blank	2	Scherbeanspruchung.....	31
Blech mit Schub.....	20	Schnittgrößen.....	15
Blockversagen	20	Schnittgrößenimport.....	15
Bolzen	34	Schraube.....	29, 34
Buttons	2	Schraubengruppe	28, 29
Cursor	2	Schraubenverbindung.....	31
Datenexport	10	Schreibtisch	6
Druckkontakt.....	18	Schreibtischauswahl	5
Druckliste	49	Schweißnaht	21, 47
ECCS Modellvoraussetzungen.....	19	Schweißverbindung	36
Einwirkung	2	Senkschraube	34
e-Mail	6	Stahlsorte	49
Englisch	49	Startsymbol	5
Extremalbildungsvorschrift.....	2	Steuerbutton	6
Festigkeitsklasse.....	34	Stirnblech	28, 40
Fließen	39	Stirnblechanschluss	23
Fremdsprache.....	49	Stumpfnah.....	37
Futterblech.....	37	Stützenflansch	27
IH2	42	Trägerprofil.....	11
IH4	42	Tragfähigkeit Bolzen	35
Import einseitig.....	16	Tragfähigkeit Schraube.....	32
Installation.....	5	Tragfähigkeiten	13
Kehlnaht.....	36	T-Stummel Zug	38
Kontextsensitivität.....	6	T-Stummel Zug Tragfähigkeit	41
Länge wirksame.....	39	T-Stummelflansch	27, 28
Lastbild.....	2	Verfahren richtungsbezogenes.....	36
Lastfall.....	2	Verfahren vereinfachtes.....	36
Lastkollektiv	2	Winkelanschluss	24
Linienquerschnitt.....	47	Winkelschenkel geschweißt.....	25
Lochleibung.....	20, 30	Zugbeanspruchung.....	31