



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-EC3SK

Stahlkonsole

Juli 2025

4H-EC3SK

Stahlkonsole

Copyright 2025

2. ergänzte Auflage, Juli 2025

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 *EC3SK*, Stahlkonsole, berechnet an Stützen angeschlossene Stahlkonsolen.

Konsolen sind kurze Trägerenden, die zur Aufnahme und exzentrischen Einleitung von Lasten aus aufliegenden Trägern in eine Stütze dienen.

Es wird sowohl eine statische als auch dynamische Belastung nachgewiesen.

Es werden nur Doppel-T-Profile betrachtet, die über ihre starke Achse beansprucht sind.

Der Anschluss der Konsole an die Stütze erfolgt entweder geschraubt über eine Stirnplattenverbindung oder geschweißt. Intern wird das Programm *EC3BT*, Biegesteifer Trägeranschluss, angesteuert, das für Schnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) die Verbindung Konsole-Stütze mit der Komponentenmethode n. EC 3 nachweist.

Am Konsolende ist die lokale Beanspruchung durch den Lastträger nachzuweisen. Hier wird intern das Programm *EC3LK*, Lasteinleitung, angesteuert. Ebenfalls im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) wird für eine Trägerkreuzung die Tragfähigkeit des Konsolprofils nachgewiesen.

Häufig werden Konsolen dynamisch belastet, z.B. wenn sie als Auflager von Kranbahnträgern dienen. Die Ermüdungstragfähigkeit wird intern mit dem Programm *EC3EM*, Ermüdungsnachweis, an zwei Stellen nachgewiesen: am Ort der Verbindung Konsole-Stütze und am Ort der Lasteinleitung.

Leistungsmerkmale

- Konsolen können ein- oder beidseitig an die Stütze angeschlossen sein
- ein einseitiger Anschluss kann links- oder rechtsseitig erfolgen
- bei beidseitig angesetzten Konsolen kann je Seite eine beliebige Anschlussart gewählt werden. Die Konsolen können gegeneinander versetzt angeordnet sein.
- die Konsole kann mit einer Voute oder einer Dreieckrippe verstärkt werden. Es wird davon ausgegangen, dass zwischen der Anschlussebene an der Stütze und dem Voute-Trägeranschluss keine äußeren Lasten eingetragen werden.
- die Stütze kann durch Stegbleche oder Stegsteifen verstärkt werden
- die Konsole kann im Bereich des Lastträgers durch Stegsteifen verstärkt werden
- die Steifen werden bezüglich ihrer Querschnittstragfähigkeit und Anschlussschweißnähte nachgewiesen. Für die Drucksteifen wird der Beulnachweis geführt.
- der Anschluss der Konsole an die Stütze kann entweder geschweißt oder über eine geschraubte Stirnblechverbindung erfolgen
- im Stirnblech können beliebig viele Schraubenreihen (zwei Schrauben je Reihe) mit frei definierbaren Abständen angeordnet werden
- der Nachweis der Anschlussfähigkeit erfolgt nach EC 3-1-8
- die Schweißnähte zwischen Träger und Stütze bzw. Stirnblech werden mit dem Linienmodell nach dem vereinfachten oder richtungsbezogenen Verfahren nachgewiesen
- die Querschnittstragfähigkeit des Trägers kann nach den Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* oder *Elastisch-Plastisch* nachgewiesen werden
- für die Lasteinleitung erfolgt der Nachweis der Querbewertung (rippenlose Lasteinleitung) nach EC 3-1-5, Kap. 6
- der Ermüdungsnachweis wird nach EC 3-1-9 geführt
- in jeweils eigenen Eingaberegistern werden die Bemessungslasten im GZT und GZE eingegeben. Sie können entweder als Belastung der Konsole, resultierend aus dem Lastträger, zzgl. der Stützenschnittgrößen oder als Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen eingegeben werden. Die Bemessungsschnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen werden im Statik-Koordinatensystem (ein positives Moment erzeugt unten Zug) erwartet.
- die Schnittgrößen können aus einem *pcae*-Stabwerksprogramm und über eine Text-Importschnittstelle importiert werden
- Stützen- und Trägerprofile können entweder dem *pcae*-eigenen Profilmanager entnommen oder als typisierter Querschnitt parametrisiert eingegeben werden
- die Parameter der Schrauben und Stahlsorten können entweder über deren Bezeichnungen einer *pcae*-eigenen Listbox entnommen oder vom Anwender vorgegeben werden
- die Materialsicherheit kann entweder normenkonform vorgelegt oder vom Anwender eingegeben werden
- die Eingabedaten können über eine Copy-Paste-Funktion gesichert und wieder geladen werden

- Exportfunktionen zu den intern verwendeten EC3-*##*-Programmen (s.o.)
- die Verbindung wird maßstäblich sowohl am Bildschirm als auch in der Druckliste dargestellt. Die Bildschirmgrafik kann in einem separaten Fenster oder in der Programmoberfläche angezeigt werden.
- im Ausgabeprotokoll wird bei Bedarf der Rechenweg in ausführlicher Form dargestellt, so dass jeder Zahlenwert nachvollzogen werden kann. Natürlich kann das Statikdokument auch wesentlich reduziert werden
- Export der Konstruktionszeichnung im DXF-Format zur Weiterbearbeitung in einem CAD-System
- englischsprachige Druckdokumentenausgabe

Die Programmentwicklung erfolgt nahezu ausschließlich durch Bauingenieure.

Die interaktiven Steuermechanismen des Programms sind aus anderen Windows- Anwendungen bekannt. Wir haben darüber hinaus versucht, weitestgehend in der Terminologie des Bauingenieurs zu bleiben und *##*-EC3SK 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 *##*-EC3SK -Dokumentation gehört neben diesem Manual das Handbuch

DTE[®]-DeskTopEngineering.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit *##*-EC3SK.

pcae GmbH

Hannover, im Juli 2025

Abkürzungen und Begriffe

Um die Texte zu straffen, werden folgende Abkürzungen benutzt:

Maustasten	RMT	rechte Maustaste drücken
	LMT	linke Maustaste drücken
	LF	Lastfall (Teileinwirkung)
	Nwtyp	Nachweistyp
	GZT, ULS	Grenzzustand der Tragfähigkeit
	GZG, SLS	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit



signalisiert Anmerkungen

Buttons

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



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

Index

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

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

Doppelklick

zweimaliges schnelles Betätigen der LMT

blank

Leerzeichen

Cursor

Schreibmarke in Texten, Zeigesymbol bei Mausbedienung

icon

oder Ikon, Piktogramm, Bildsymbol

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

Inhaltsverzeichnis

1	Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten	5
2	Bauteil erzeugen	7
3	Eingabeoberfläche	9
3.1	Rechenlaufsteuerung	11
3.2	Profile und Verstärkungen	13
3.3	Anschlussparameter	16
3.3.1	Anschlusskonfigurationen	16
3.3.2	geschweißter Anschluss	17
3.3.3	geschraubter Stirnblechanschluss	17
3.3.4	Besonderheiten bei Vouten	19
3.3.5	Lastträger	20
3.3.6	Ermüdung	20
3.3.7	Druckausgabe	21
3.4	Schnittgrößen	23
3.4.1	Schnittgrößen importieren	24
3.4.2	Schnittgrößenimport bei Träger-Stützenanschlüssen	25
3.5	Ergebnisübersicht	28
4	Anschluss Träger-Stütze	29
4.1	Komponentenmethode	30
4.1.1	geschraubte Stirnblechverbindung	30
4.1.2	geschweißte Verbindung	34
4.1.3	Besonderheiten bei Vouten	35
4.1.4	Besonderheiten bei überwiegend normalkraftbeanspruchten Verbindungen	35
4.2	Nachweise	36
4.2.1	Querschnittsnachweis	36
4.2.2	Nachweis der Anschluss Tragfähigkeit mit der Komponentenmethode	36
4.2.3	Nachweis der Schweißnähte als Linienquerschnitt	37
4.2.4	Nachweis der Stegsteifen	39
4.2.5	Grundkomponenten eines Anschlusses	40
4.3	Lasteinleitung in einen Biegeträger	41
4.3.1	Allgemeines	41
4.3.2	Spannungsnachweis im GZG	41
4.3.3	Spannungsnachweis im GZT	42
4.3.4	Nachweis der Stegsteifen	43
4.3.5	Nachweis Querlastbeulen	44
4.3.6	Nachweisführung Querlastbeulen	44
4.4	Theorie Ermüdung EC 3-1-9	46
4.4.1	Allgemeines	46
4.4.2	Bemessungskonzept	47
4.4.3	Beanspruchungen	47
4.4.4	Ermüdungsnachweis	48
4.4.5	Kerbfalltabellen	49
4.4.6	Beispiel	49
4.5	Berechnungsbeispiel - Beschreibung der Ergebnisse	52
4.5.1	Konsole-Stützenverbindung	52
4.5.2	Nachweis der Lasteinleitung	55
4.5.3	Nachweis der Ermüdung	57
4.5.4	Endergebnis	59
4.5.5	Hinweise zu einer Schraubenverbindung	59
5	Basisverbindungen	61
6	Sonstiges	61
6.1	Stahlsorten	61

6.2	Ausdrucksteuerung	62
6.3	Nationale Anhänge zu den Eurocodes.....	63
7	Literaturverzeichnis	64
8	Index	67

1 Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten

Die Installation des DTE®-Systems und das Überspielen des Programms #EC3SK auf Ihren Computer erfolgt über einen selbsterläuternden Dialog.

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.

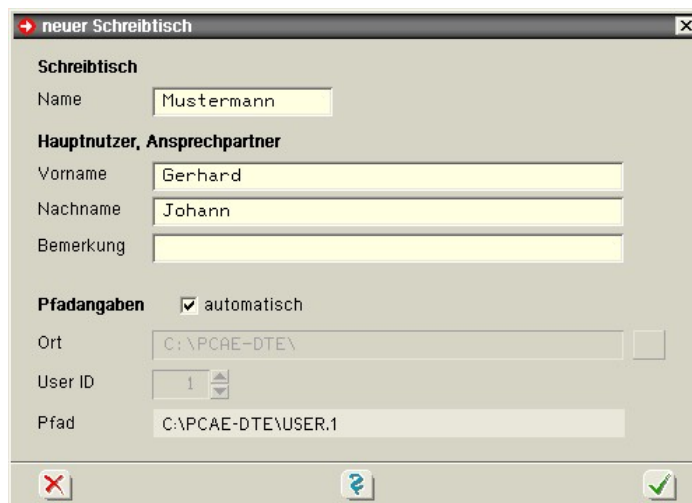


Nach erfolgreicher Installation befindet sich das DTE®-**Startsymbol** auf Ihrer Windowsoberfläche. Führen Sie bitte darauf den Doppelklick aus.

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.

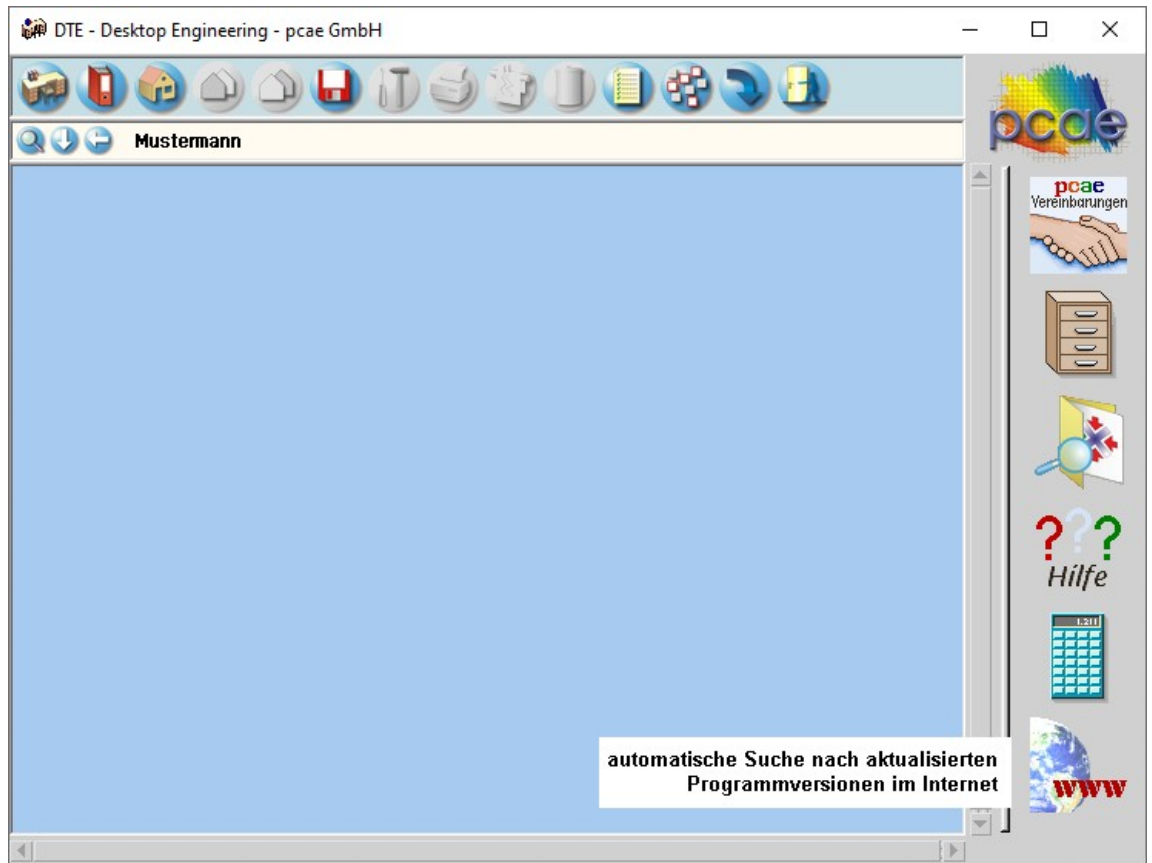


Nach Bestätigen über das **Hakensymbol** erscheint wieder die Schreibtischauswahl, in die der neue Name bereits eingetragen ist. Drücken Sie auf **Start** und die DTE®-Schreibtischoberfläche erscheint auf dem Bildschirm.

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



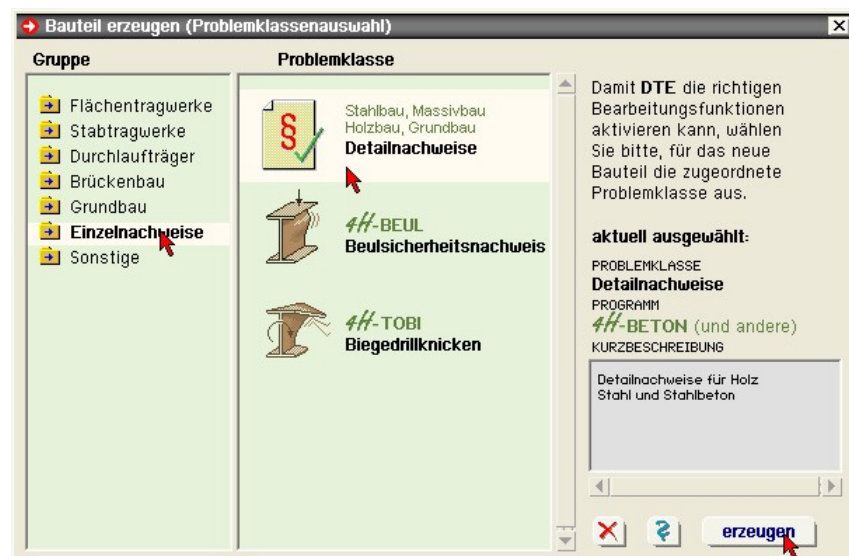
Aus dem Eintrag in der Schreibtischkopfzeile ist zu erkennen, in welchem Ordner sich die Aktion aktuell befindet.



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



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



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



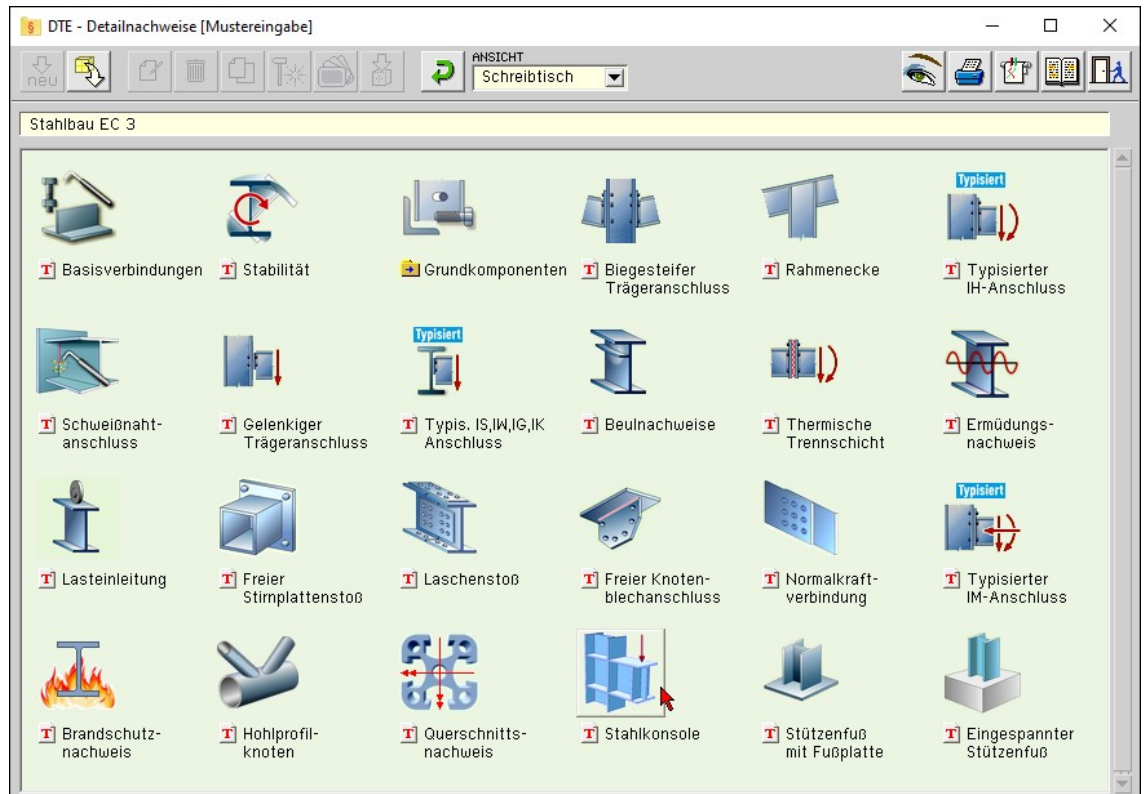
Überschreiben Sie den Begriff "Detailnachweise" zur Identifikation durch einen sinnvollen Text. Nach **Bestätigen** ist das Bauteil mit dem neuen Namen eingerichtet.

Durch Doppelklicken des neuen Symbols wird die Verwaltung der DTE®-Detailnachweise geöffnet.

Übersicht Detailnachweise



Übersicht EC 3- Programme



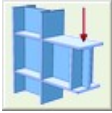
Klicken Sie im folgenden Übersichtblatt den Nachweistyp mit der LMT doppelt an. Im daraufhin erscheinenden nächsten Eigenschaftsblatt können der Position eine beliebige Nummer und ein kennzeichnender Text zugewiesen werden.

neue Position



Im rechten Bereich des Auswahlblatts erscheint die neue Position in einem Verzeichnis. Klicken Sie hier bitte doppelt auf den neuen Schriftzug. Daraufhin erscheint die Eingabeoberfläche von ##-EC3SK.

Eingabeoberfläche



Mit dem Programm 4H-EC3SK, Stahlkonsole, können an Stützen angeschlossene Konsolen mit Doppel-T-Querschnitten nach Eurocode 3 nachgewiesen werden.

Die Eingabeoberfläche enthält sieben Registerblätter, in denen die Eingabe der erforderlichen Parameter erfolgt und die Ausnutzungen dargestellt werden.

Dem Registerreiter entsprechend werden folgende Inhalte im Hauptfenster dargestellt



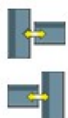
Rechenlaufsteuerung, s. Abs. 3.1, S. 11

Im ersten Registerblatt werden die Anordnung der Konsole an der Stütze, Stahlsorte und Materialsicherheitsbeiwerte sowie der Berechnungsablauf festgelegt. Die zu führenden Nachweise können ausgewählt werden. Es wird festgelegt, ob die Konstruktion im Registerblatt oder in einem separaten Fenster am Bildschirm dargestellt werden soll. Optional wird die Verbindung zur visuellen Kontrolle maßstäblich im Registerblatt dargestellt.



Profile, s. Abs. 3.2, S. 13

Im zweiten Registerblatt werden Stützen- und Konsolprofil ausgewählt. Es sind nur Doppel-T-Profile zugelassen; sie werden am Bildschirm maßstäblich visualisiert. Stützenprofile können durch Stegsteifen oder Stegbleche verstärkt werden. Im Konsolprofil können im Bereich der Lasteinleitung Stegsteifen angeordnet werden. Ist der Anschluss nicht gevoutet, können zur Verstärkung Dreieckrippen verwendet werden.



Anschlussparameter einer Seite, s. Abs. 3.3, S. 16

Im dritten und vierten Registerblatt wird die Verbindung Konsole-Stütze je Seite konstruiert, d.h. es wird festgelegt, ob ein geschraubter Stirnblech- oder ein geschweißter Anschluss vorliegt. Die zur Berechnung notwendigen Parameter zur Anordnung der Anschlussbleche bzw. -profile werden abgefragt. Des Weiteren können Vouten festgelegt werden. Je nach Anschlussart sind Schraubensorte und -abstände sowie die Schweißnahtdicken anzugeben. Optional wird die Verbindung zur visuellen Kontrolle maßstäblich im Registerblatt dargestellt.



Bemessungslasten, s. Abs. 3.4, S. 23

Die Schnittgrößen werden im fünften und sechsten Registerblatt festgelegt. Sie sind für den Nachweis der Träger-Stützen-Verbindung oder der Lasteinleitung auf den Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) oder für den Nachweis der Ermüdung auf den Grenzzustand der Ermüdung (GZE) bezogen. Die Schnittgrößen können entweder als Konsollasten aus dem Lastträger einwirken oder als Knotenschnittgrößen auf den Schnittpunkt der Systemachsen bezogen sein.



Ergebnisübersicht, s. Abs. 3.5, S. 28

Im siebten Registerblatt werden die Ergebnisse (Anschluss, Lasteinleitung und Ermüdung) lastfallweise und detailliert im Überblick dargestellt. Für die GZT-Nachweise ist die maßgebende Lastkombination gekennzeichnet und kann direkt am Bildschirm angezeigt werden.



nationaler Anhang, s. Abs. 6.3, S. 63

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. 6.2, S. 62

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

öffnet das Fenster der Druckvorschau



Druckliste einsehen

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



Statikausdruck

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



Planbearbeitung

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



Onlinehilfe

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



Eingabe beenden

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

3.1

Rechenlaufsteuerung



Im ersten Registerblatt werden die Anordnung der Konsole an der Stütze, Stahlsorte und Materialsicherheitsbeiwerte sowie der Berechnungsablauf festgelegt. Das Eigenschaftsblatt ist unter Abs. 3, S. 9, dargestellt.

Stahlsorte

Jedem Verbindungselement kann ein eigenes Material zugeordnet werden.

Der Übersichtlichkeit halber kann an dieser Stelle eine einheitliche Stahlgüte für die Verbindungsbleche (Stütze, Träger, Stirnblech, Stegbleche oder Stegsteifen, Futterbleche) gewählt werden.

☒ **einheitliche Stahlsorte**

Stahlsorte	<input type="text" value="S235"/>	<input type="checkbox"/> Vorgabe
Kennung	<input type="text"/>	

Da die Beschreibung der Stahlparameter für Verbindungen nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung der Stahlsorten verwiesen (s. Abs. 6.1, S. 61).

Materialsicherheitsbeiwerte

Der Nachweis der Verbindung der Konsole an die -Stütze erfolgt n. EC 3-1-8 mit folgenden Materialsicherheitsbeiwerten

Materialsicherheit (☒ genormt)

Beanspruchbarkeit von Querschnitten	γ _{M0}	<input type="text" value="1.00"/>
Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen	γ _{M1}	<input type="text" value="1.10"/>
Beanspruchbarkeit von Verbindungsmitteln	γ _{M2}	<input type="text" value="1.25"/>

Ist der Ermüdungsnachweis (s.u.) aktiviert, werden die Materialsicherheitsbeiwerte n. EC 3-1-9 verwendet.

Materialsicherheit für Ermüdung (☒ genormt)

Bemessungskonzept:	Schadensfolgen:	
<input checked="" type="radio"/> Schadenstoleranz	<input type="radio"/> niedrig	
<input type="radio"/> Versagen ohne Vorankündigung	<input checked="" type="radio"/> hoch	
Ermüdungsfestigkeit	γ _{Mf}	<input type="text" value="1.15"/>

Die Werte können entweder den entsprechenden Normen (s. Nationaler Anhang Abs. 6.3, S. 63) entnommen oder vom Anwender vorgegeben werden.

Anschlussstyp

Anschluss einer Konsole an eine Stütze ☒ rechtsseitig ☐ linksseitig ☐ beidseitig

Der Anschluss einer Konsole an eine durchlaufende Stütze kann rechts, links oder beidseitig erfolgen. Bei beidseitigen Anschlüssen können sich die Trägerprofile sowie die Verbindungsarten unterscheiden.

Da sich die Systemachsen der Konsolen und Stütze in einem Knotenpunkt treffen sollten, können die Konsolen versetzt angeordnet werden. Das kommt besonders bei gevouteten Konsolen zum Tragen.

Nachweise

Das Programm #/EC3SK weist die Tragfähigkeit einer Stahlkonsole nach, die an eine Stütze angeschlossen ist. Dabei werden je Anschlussgeometrie (s. Register 3,4 Abs. 3.3, S. 16) nur die relevanten Tragfähigkeiten ermittelt und entsprechenden Nachweise geführt.

Es gilt

- die Tragfähigkeit der Konsole-Stütze-Verbindung wird mit der Komponentenmethode n. EC 3-1-8 nachgewiesen
- die Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit aus Querkraftbeanspruchung ist nur für geschraubte Verbindungen relevant
- bei überwiegender Normalkraft (kommt i.A. nicht vor) wird die Verbindung mit Teilschnittgrößen (s. Online-Hilfe) nachgewiesen

- optional kann ein Schweißnahtnachweis (s. Abs. 4.2.3, S. 37) geführt werden. Dabei kann zwischen dem richtungsbezogenen und dem vereinfachten Verfahren unterschieden werden.
- die Stegsteifen (Rippen) werden nachgewiesen
- optional kann ein Querschnittsnachweis (s. Abs. 4.2.1, S. 36) des Trägers und der Stütze in der Anschlussebene durchgeführt werden. Die Querschnittstragfähigkeiten können mit dem *Elastisch-Plastischen* und *Elastisch-Elastischen* Verfahren berechnet werden.
- der Nachweis der Lasteinleitung erfolgt für eine Trägerkreuzung am Ende des Konsolträgers
- die Querschnittstragfähigkeit ist *Elastisch-Elastisch* nachzuweisen
- sind Quersteifen im Bereich der Lasteinleitung angeordnet, werden sie zusätzlich nachgewiesen
- der Ermüdungsnachweis wird n. EC 3-1-9 sowohl für die Konsole-Stütze-Verbindung als auch für die Lasteinleitungsstelle geführt
- optional kann bei Druckspannung der Mittelspannungseinfluss berücksichtigt werden

Nachweise

☒ Träger-Stützenanschluss

☒ Schweißnähte Nachweis über den Linienquerschnitt

☒ Nachweis mit dem richtungsbezogenen Verfahren

☐ Nachweis mit dem vereinfachten Verfahren

☒ Querschnittstragfähigkeit

☐ Nachweisverfahren 'Elastisch-Plastisch'

☒ Nachweisverfahren 'Elastisch-Elastisch'

☒ Lasteinleitung in die Konsole nur elastischer Querschnittsnachweis

☒ Ermüdung der Verbindung / des Profils

☐ Mittelspannungseinfluss bei Wechsellastung berücksichtigen

Verschiedenes

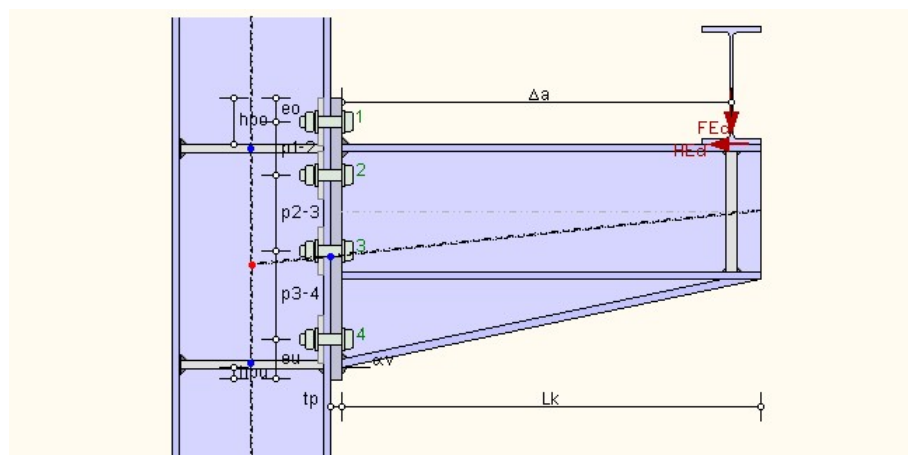
- Daten exportieren
- Daten importieren

Die Eingabedaten können über die **Copy-Paste-Funktion** exportiert bzw. temporär gesichert und wieder importiert bzw. geladen werden. Dazu ist der aktuelle Datenzustand im abgebenden Bauteil über den Button **Daten exportieren** in die Zwischenablage zu kopieren und anschließend über den Button **Daten importieren** in das aktuell geöffnete Bauteil aus der Zwischenablage zu übernehmen.

- ☒ Bildschirmgrafik im separaten Fenster anzeigen

Das Programm *##-EC3SK* bietet die Möglichkeit, die zur **visuellen Kontrolle** vorhandenen Bildschirmgraphiken entweder innerhalb des jeweiligen Eingabefensters anzuordnen oder in einem separaten Fenster anzuzeigen, um die Eingaberegister optimal für die Dateneingabe auszunutzen.

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





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

Profile

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

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

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

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

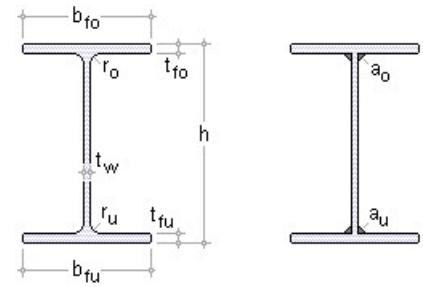
Andere Profilklassen sind in der Listbox farblich gekennzeichnet und können als Verbindungselement nicht verwendet werden.

Bei gewalzten Profilen werden die Ausrundungsradien, bei geschweißten Blechprofilen die Schweißnähte zwischen Flansch und Steg geometrisch berücksichtigt.

Bei geschweißten Profilen kann zwischen Kehlnähten und durchgeschweißten Stumpfnähten unterschieden werden. Diese Schweißnähte werden **nicht** nachgewiesen.

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

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



Verstärkungen

Stützenprofile können zur Verstärkung des Stegs mit **Stegblechen** und/oder **Stegsteifen** ausgeführt werden. Ebenso können Stegsteifen im Bereich der Lasteinleitung das Konsolprofil verstärken.

Außerdem bietet die Anordnung von Dreieckrippen zwischen Konsol- und Stützenflansch sowie von Zwischensteifen im Stützenprofil im Bereich des jeweiligen Trägers eine weitere Möglichkeit zur Verstärkung der Verbindung.

☒ **Verstärkung des Stützenprofils durch Stegbleche**

☒ ein Stegblech ☐ zwei Stegbleche

Blechedicke t_s mm $t_s = 0$: Stegdicke

Schweißnahtdicke a_s mm

$a_s = 0$: kein Nachweis, $a_s \geq t_s$: durchgeschweißt

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

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

Ist eine der Bedingungen nicht eingehalten, erfolgt der Abbruch des Programms mit entsprechender Fehlermeldung.

Im Programm **##-EC3SK** werden Länge, Breite und Stahlgüte des Stegblechs vorgelegt

- die Stegblechlänge l_s wird gleich der Gesamthöhe des angeschlossenen Profils gesetzt. Falls zusätzlich Stegsteifen angeordnet sind, wird die Stegblechlänge in die Steifen eingepasst.
- die Stegblechbreite b_s wird entsprechend der Steghöhe des Profils (ohne Ausrundung bzw. Schweißnahtschenkel) gesetzt
- die Stahlgüte des Stegblechs ist gleich der des Profils

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

- bei $t_s = 0$ entspricht die Stegblechdicke der Stegdicke des Profils

Die Schweißnahtdicke a_s beeinflusst den Schweißnahtnachweis

- $a_s = 0$ kein Nachweis
- $0 < a_s < t_s$ Nachweis einer umlaufenden Kehlnaht
- $a_s \geq t_s$ Nachweis einer durchgeschweißten Stumpfnah

☒ **Verstärkung des Profils durch Stegsteifen**

Blechdicke	t_{st}	13.0	mm
Schweißnahtdicke am Stützenflansch	$a_{st,f}$	6.0	mm
Schweißnahtdicke am Stützensteg	$a_{st,w}$	4.0	mm

Stegsteifen (Rippen) werden beidseitig an Flansche und Steg der Stütze bzw. der Konsole angeschweißt.

Das Stützenprofil kann durch Stegsteifen in Höhe des Konsolzug- und -druckflanschs ausgesteift werden. Sie beeinflussen den Nachweis der Träger-Stützenverbindung.

Bei geschweißter Verbindung sollte die Dicke der Stützensteifen mindestens der Trägerflanschdicke entsprechen.

Das Konsolprofil kann durch Stegsteifen im Einleitungsbereich der Einzellast ausgesteift werden. Hier entlasten sie den Konsolsteg beim Nachweis der Lasteinleitung, erzeugen jedoch beim Ermüdungsnachweis zusätzliche Kerbpunkte.

Die Abmessungen der Stegsteifen müssen aus konstruktiven Gründen den folgenden Anforderungen genügen

- die Länge der Steifen entspricht der lichten Steghöhe (einschl. Ausrundungen): $l_{st} = h - 2 \cdot t_f$
- die Breite der Steifen entspricht dem lichten Abstand des Flanscharms: $b_{st} = (b_f - t_w)/2$ abzgl. 5 mm Toleranz
- die Aussparung der Steifen entspricht dem 1.5-fachen Ausrundungsradius bzw. der 1.5-fachen Schenkellänge der Schweißnaht des geschweißten Profils

Die Stegsteifen (s. Abs. 4.2.4, S. 39) werden nachgewiesen.

☒ **Verstärkung der Verbindung durch eine Dreieckrippe**
nicht bei gevouteten Anschlüssen

Blechdicke	t_R	20.0	mm
Blechbreite	b_R	200.0	mm $b_R = 0$: wie Länge
Blechlänge	l_R	100.0	mm
Schweißnahtdicke	a_R	6.0	mm

Alternativ zu einer Voute kann eine **Dreieckrippe** in den Stegachsen zwischen Konsol- und Stützenflansch angebracht werden. Die Dreieckrippe dient dazu, die Drucktragfähigkeit des Konsolflanschs zu erhöhen.

3.3

Anschlussparameter



Register 3 und 4 enthalten Angaben zu den Parametern je Anschlussseite. Der rechte Anschluss wird in Register 3, der linke in Register 4 beschrieben.

4H-EC3 - Stahlkonsole [Position 16: Stahlkonsole (Hilfe)]

Anschluss rechts ▶ wie links [Längen in mm]

Länge der Konsole L_k
 -> Änderung der Voutenhöhe

Abstand der Last vom Stirnblech Δa

Versatz OK Konsole rechts - links Δv

☒ Voute

Höhe der Voute am Anschnitt h_v
 -> Änderung des Neigungswinkels

Neigungswinkel der Voute α_v °
 -> Änderung der Voutenhöhe

Stegblechdicke $t_{w,v}$

Flanschbreite $b_{f,v}$

Flanschdicke $t_{f,v}$

☒ gewalzt Voutenprofil
 Ausrundungsradius r_v

☐ geschweißtes Voutenprofil

☐ geschweißter Anschluss

☒ geschraubter Stirnblechanschluss

Stirnblech

Blechdicke t_p

Blechbreite b_p

Überstandshöhe oben $h_{p,o}$

Überstandshöhe unten $h_{p,u}$

Länge des Stirnblechs l_p

Schweißnähte

Konsolflansch oben a

Konsolsteg a

Konsolflansch unten a

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

Lastträger

☒ Profil aus Profilmanager

☐ parametrisiertes Stahlprofil

Profilname

Lasteinzugslänge s_s

Ermüdung

Schadensäquivalenzfaktoren λ_σ
 λ_τ

▶ Daten für Nachweisprogramme exportieren

3.3.1

Anschlusskonfigurationen

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

- geschweißter Träger-Stützen-Anschluss, s. Abs. 3.3.2, S. 17
- geschraubter Träger-Stützen-Anschluss, Anschluss über ein Stirnblech, s. Abs. 3.3.3, S. 17

Hintergründe und Erläuterungen zum Träger-Stütze-Anschluss finden Sie unter Abs. 4.1, S. 30.



Das Programm **4H-EC3SK** berechnet nur Träger-Stützenverbindungen mit durchlaufender Stütze. Es wird keine Rotationssteifigkeit ermittelt.

Zunächst sind die wesentlichen Abmessungen zur Berechnung der Konsole festzulegen.

Länge der Konsole	L_k	<input type="text" value="715.0"/>
Abstand der Last vom Stirnblech	Δa	<input type="text" value="665.0"/>
Abstand der Last von der Konsole	Δh	<input type="text" value="0.0"/>

Die Länge der Konsole bezieht sich bei geschraubtem Anschluss auf das Stirnblech, bei geschweißtem Anschluss auf den Stützenflansch. Analog wird der horizontale Abstand der Vertikallast Δa bestimmt.

Der vertikale Abstand der Horizontallast Δh wird vom oberen Konsolrand gemessen.

Mit den Abmessungen Δa und Δh können die Schnittgrößen in der Konsole bestimmt werden (s. Beschreibung der Ergebnisse Abs. 4.5, S. 52).

3.3.2

geschweißter Anschluss

☒ geschweißter Anschluss
☐ geschraubter Stirnblechanschluss

Schweißnähte

Konsolflansch oben	a	8.0
Konsolsteg	a	6.0
Konsolflansch unten	a	8.0

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

Die wirksamen Nahtdicken der Schweißnähte am oberen und unteren Flansch sowie am Steg beziehen sich auf eine einzelne Naht. Es werden i.A. voll ausgeführte Kehlnähte verwendet, die ober- und unterhalb der Flansche (jedoch nicht umlaufend), sowie rechts und links vom Steg angeordnet sind.

Die Ausrundungen zwischen Steg und Flanschen sind ausgespart.

Schweißnähte werden i.A. sowohl für Zug- als auch für Druckbeanspruchung nachgewiesen. Bei Drucknähten kann ein Teil der Druckspannung über Kontakt abgetragen werden.

Programmintern werden eine Reihe von Checks bzgl. der Schweißnaht und der zu verbindenden Bleche durchgeführt.

Hintergründe und Erläuterungen zum Nachweis der Schweißverbindung finden Sie unter Abs. 4.2.3, S. 37.

Die Konsole kann mittels einer Voute im Anschlussbereich verstärkt sein (s.u.).

3.3.3

geschraubter Stirnblechanschluss

☐ geschweißter Anschluss
☒ geschraubter Stirnblechanschluss

Stirnblech

Blechdicke t_p
 Blechbreite b_p
 Stahlsorte ☐ Vorgabe
 Kennung

Überstandshöhe oben $h_{p,o}$
 Überstandshöhe unten $h_{p,u}$
 Länge des Stirnblechs l_p

Schrauben

Schraubengröße ☐ Vorgabe
 Festigkeitsklasse ☐ Vorgabe
FK 8.8 oder 10.9: HV-Schraube

☐ Gewinde liegt in der Scherfuge
☒ Schaft liegt in der Scherfuge
☐ Futterblech (Flanschverstärkung)

Schraubenreihen

Anzahl der Schraubenreihen	n	4
Schraubenabstand zum seitt. Rand des Stirnblechs	e_2	50.0
Schraubenabstand (Endreihe) zum oberen Rand des Stirnblechs	e_o	40.0
Abstand von oben der Schraubenreihen voneinander	p_{1-2}	90.0
	p_{2-3}	130.0
	p_{3-4}	150.0

Schweißnähte

Konsolflansch oben	a	8.0
Konsolsteg	a	6.0
Konsolflansch unten	a	8.0

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

Stirnblech

Dicke und Breite des Blechs sind anzugeben, wobei die Stirnblechbreite größer als die Flanschbreite des Trägers sein muss.

Ist keine einheitliche Stahlsorte vereinbart (s. Register 1, Abs. 3.1, S. 11) wird an dieser Stelle diejenige für das Stirnblech festgelegt.

Des Weiteren muss die Lage der Konsole auf dem Stirnblech über die Überstandshöhen oberhalb und unterhalb der Konsolflansche definiert werden.

Das Stirnblech kann bündig mit der Konsole abschließen (Überstandshöhe = 0) oder auch im Bereich des Konsolflanschs enden (Überstandshöhe < 0), wobei mindestens 20% der Flanschdicke bedeckt sein müssen.

Die Stirnblechlänge setzt sich zusammen aus der gesamten Konsolhöhe (ggf. einschl. Voute) zzgl. der Überstandshöhen und wird im Eigenschaftsblatt angezeigt.

Schweißnähte

Zur Beschreibung der Schweißnahtparameter s. geschweißter Anschluss Abs. 3.3.2, S. 17.

Schrauben

Um eine Stirnblechverbindung nachzuweisen, sind Schraubengröße, Festigkeitsklasse sowie ggf. Futterblechdicken anzugeben. Bei beidseitiger Verbindung wird jeder Anschlussseite eine eigene Schraubengröße/-festigkeit zugeordnet.

Schrauben

Schraubengröße	M20	<input type="checkbox"/> Vorgabe
Festigkeitsklasse	10.9	<input type="checkbox"/> Vorgabe
FK 8.8 oder 10.9: HV-Schraube		
<input type="radio"/> Gewinde liegt in der Scherfuge		
<input checked="" type="radio"/> Schaft liegt in der Scherfuge		
<input checked="" type="checkbox"/> Futterblech (Flanschverstärkung)		
Blechdicke	t _{bp} 10.0	
Stahlsorte	S235	<input type="checkbox"/> Vorgabe
Kennung		

Da die Beschreibung der Schraubenparameter für Verbindungen nach EC3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung der Schrauben verwiesen (s. Online-Hilfe).

Bei Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 wird vorausgesetzt, dass es sich um vorgespannte Schrauben (HV) handelt.

Für die Abschertragfähigkeit der Schraube ist es von Belang, ob das Gewinde oder der Schaft in der Scherfuge liegt.

Futterbleche dienen der Verstärkung des Stützenflanschs und werden i.A. zwischen Flansch und Schraubenmutter angeordnet.

Ist keine einheitliche Stahlsorte vereinbart (s. Register 1, Abs. 3.1, S. 11), wird an dieser Stelle diejenige für die Futterbleche festgelegt.

Schraubenreihen

Es kann eine beliebige Anzahl an Schraubenreihen eingegeben werden, wobei die Nachweisregeln n. EC 3-1-8 nur zwei Schrauben je Reihe zulassen.

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

Ist der Abstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs kleiner als die Überstandshöhe des Stirnblechs oberhalb des Trägers, wird diese Reihe im Überstand angeordnet. Entsprechendes gilt für die Schraubenreihe im Überstand unterhalb des Trägers.

Es kann nur eine Schraubenreihe, die im Überstand unter Zugbelastung steht, berechnet werden. Die Schraubenreihen im Überstand des Druckflanschs werden ignoriert.

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

Die Schrauben sind jeweils einzeln als auch in einer Schraubengruppe zu untersuchen. Schraubengruppen werden - beginnend vom Zugrand - automatisch gebildet.

Die Schraubenabstände werden nach EC 3-1-8, Tab. 3.3, überprüft und dokumentiert.

Die Schweißnähte, die zur Bildung des Äquivalenten T-Stummels (zusammengesetzter Querschnitt) vorhanden sind, können traglastrelevant sein. Daher gehen sie in den Nachweis ein.

Die Tragfähigkeit des Äquivalenten T-Stummels wird mit dem alternativen Verfahren n. EC 3-1-8, Tab. 6.2 ermittelt.

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

Der Anschluss wird auf Blockversagen der Schrauben mit dem Stirnblech untersucht.

Ebenso wird die Tragfähigkeit des Stirnblechs bzgl. Schub in die Anschlusstragfähigkeit integriert.

Hintergründe und Erläuterungen zum Nachweis der Schraubenverbindung finden Sie in der On-line-Hilfe.

3.3.4

Besonderheiten bei Vouten

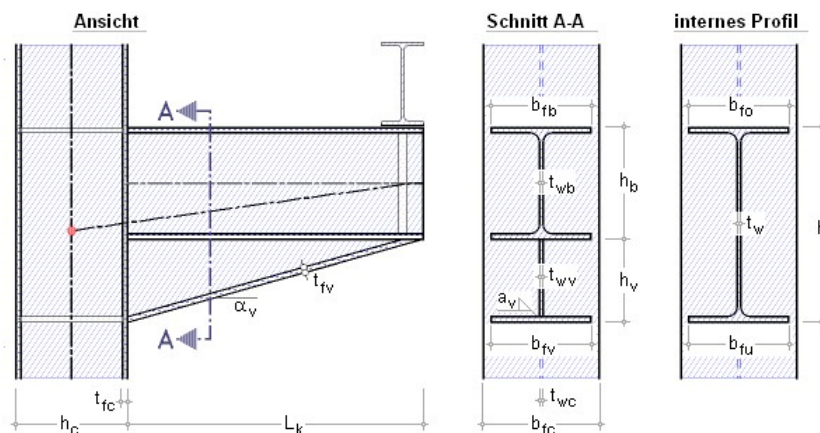
<input checked="" type="checkbox"/> Voute	
Höhe der Voute am Anschnitt -> Änderung des Neigungswinkels	h_v 150.0
Neigungswinkel der Voute -> Änderung der Voutenhöhe	α_v 11.85 °
Stegblechdicke	$t_{w,v}$ 8.0
Flanschbreite	$b_{f,v}$ 240.0
Flanschdicke	$t_{f,v}$ 13.0
<input checked="" type="radio"/> gewalztes Voutenprofil Ausrundungsradius	r_v 24.0
<input type="radio"/> geschweißtes Voutenprofil	

Die Konsole kann über ihre gesamte Länge eine Voute zur Verstärkung erhalten. Der Neigungswinkel α_v bezieht sich auf die Senkrechte zur Stütze (die horizontale Achse).

Die Voute wird als gewalztes oder geschweißtes T-Profil ausgeführt, wobei n. EC 3-1-8, 6.2.6.7(2) zu beachten ist

- die Flanschdicke der Voute darf nicht kleiner als die der Konsole sein
- die Flanschbreite der Voute darf nicht kleiner als die der Konsole sein
- die Stegdicke der Voute darf nicht kleiner als die der Konsole sein
- die Voutenneigung darf nicht größer als 45° sein

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



Bei Verwendung einer Voute wird der untere Querschnittsflansch ignoriert.

Bei geschweißtem Konsolprofil ist ein einheitlicher Blechträger vorhanden, wobei die Abmessungen der Voute denen der Konsole entsprechen.

Es wird programmintern mit einem Profil gerechnet, dessen Querschnittswerte wie folgt ermittelt werden

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

Sämtliche weiteren Querschnittswerte beziehen sich auf diese Größen.



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

Bei geschweißtem Konsolprofil wird die Tragfähigkeit der Schweißnähte **nicht** nachgewiesen.

3.3.5

Lastträger

☒ **Lastträger**

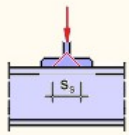
☒ Profil aus Profilmanager  

☐ parametrisiertes Stahlprofil

Profilname

☐ einschl. Rippen

Lasteinzugslänge s_s



Die Konsole dient zur Auflagerung eines (Last-) Trägers, der wiederum z.B. eine Kranbahn führt. Da der Lastträger i.A. ebenfalls ein Doppel-T-Profil ist, wird die Last aus dem Steg mit einer geringeren Lasteinzugslänge als die Flanscbreite des Profils an die Konsole übergeben.

Ist der Lastträger mit Rippen im Bereich der Lasteinleitung verstärkt, kann die Lasteinzugslänge vorgegeben werden.

Ohne Angabe eines Lastträgers ist die Lasteinzugslänge anzugeben.

Hintergründe und Erläuterungen zum Nachweis der Lasteinleitung finden Sie unter Abs. 4.3, S. 41.



Im Programm *##-EC3SK* ist die Kranbahn nicht Gegenstand der Betrachtung. Ist der Nachweis der Lasteinleitung aktiviert, wird im Programm *##-EC3SK* die Querschnittstragfähigkeit (s. Träger-Stützenverbindung) elastisch ermittelt. Dadurch entfällt der Nachweis im GZG.

3.3.6

Ermüdung

Ermüdung

Schadensäquivalenzfaktoren

λ_σ	<input type="text" value="0.315"/>
λ_τ	<input type="text" value="0.500"/>

Für den Ermüdungsnachweis sind Schadensäquivalenzfaktoren anzugeben. Sie resultieren aus der dynamischen Belastung (z.B. Kranfahrten) und reduzieren die Schwingbreiten infolge Normal- und Schubspannung. Bei $\lambda = 1$ erfolgt keine Reduktion.

Hintergründe und Erläuterungen zum Ermüdungsnachweis finden Sie unter Abs. 4.4, S. 46.



Im Programm *##-EC3SK* ist die Kranbahn nicht Gegenstand der Betrachtung. Der Mittelspannungseinfluss wird vernachlässigt. Die Begrenzung der Spannungsschwingbreiten infolge häufiger Lasten erfolgt nicht.

Optional kann ein Querschnittsnachweis (s. Abs. 4.2.1, S. 36) für die Anschlussprofile (Konsole, Stütze) folgen.

Danach werden die anschlusspezifischen Grundkomponenten (s. Abs. 4, S. 29) ausgewertet und die Gesamttragfähigkeit berechnet.

Sind Schweißnähte im Anschluss vorgesehen, werden die Schweißnähte (s. Abs. 4.2.3, S. 37) als eigenes Tragsystem (Linienquerschnitt) modelliert und deren Tragfähigkeit nachgewiesen.

Anschließend werden die Rippen (s. Abs. 4.2.4, S. 39) untersucht.

Die Ergebnisse werden lastfallweise und ggf. detailliert dargestellt.

Lastfallweise Berechnung der Lasteinleitung

An derjenigen Stelle der Konsole, an der der Lastträger aufliegt, ist die lokale Beanspruchung durch die ggf. hohe konzentrierte Belastung aus dem Lastträger zu untersuchen.

Zunächst erfolgt der Nachweis der Stegpressung. Sind Rippen zur Aussteifung der Konsole vorhanden, werden diese in dem Zuge mit untersucht. Sind jedoch keine Rippen vorhanden, wird anschließend Querlastbeulen untersucht.

Die Ergebnisse werden lastfallweise und ggf. detailliert dargestellt.

Berechnung der Ermüdungstragfähigkeit

Der Ermüdungsnachweis wird sowohl an der Stelle der Lasteinleitung als auch an der Anschlussstelle Konsole-Stütze geführt.

Aus den eingegebenen Lastkombinationen wird die maximale Schwingbreite an maßgebenden Kerbpunkten ermittelt und den Referenzgrößen gegenübergestellt.

Zunächst erfolgt der Nachweis an der Konsole-Stütze-Verbindung unter besonderer Beachtung der Kerbpunkte der Verbindungselemente Schrauben und Schweißnähte. Anschließend wird der Nachweis an der Lasteinleitungsstelle geführt.

Die Ergebnisse werden ggf. detailliert für alle Kerbpunkte dargestellt.

Ergebnis

Nach erfolgter Berechnung wird das Endergebnis aus den Nachweisen im GZT sowie aus dem Ermüdungsnachweis mit dem Hinweis auf den maßgebenden Nachweis protokolliert.

Maximale Ausnutzung:
Anschluss an die Stütze

max $U = 0.566 < 1$ ok

Nachweis erbracht



im fünften und sechsten Register sind die Masken zur Eingabe der Schnittgrößenkombinationen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (für die Nachweise der Konsole-Stützenverbindung und Lasteinleitung) sowie der Schnittgrößen im Grenzzustand der Ermüdung (für den Ermüdungsnachweis) eingegeben.

	Träger, Knoten			Stütze, Knoten			Bezeichnung
	rechts / links	rechts / links	rechts / links	rechts / links	rechts / links	rechts / links	
	$N_{j,b1,Ed}$ $N_{j,b2,Ed}$ kN	$M_{j,b1,Ed}$ $M_{j,b2,Ed}$ kNm	$V_{j,b1,Ed}$ $V_{j,b2,Ed}$ kN	$N_{j,c1,Ed}$ $N_{j,c2,Ed}$ kN	$M_{j,c1,Ed}$ $M_{j,c2,Ed}$ kNm	$V_{j,c1,Ed}$ $V_{j,c2,Ed}$ kN	
1	-0.16 -45.00	-69.07 -69.00	84.26 -150.00	-303.72 -41.72	62.08 54.49	19.25 -18.02	Import Lk 1
2	0.02 0.00	-1.22 0.00	1.49 0.00	-203.61 -121.51	12.59 13.78	-1.19 -2.21	Import Lk 2
3	-0.13 -36.00	-26.42 7.20	32.24 0.00	-106.20 -44.69	32.63 58.42	11.75 -17.97	Import Lk 3
4	0.02 0.00	-98.35 -62.40	119.94 -120.00	-436.53 -117.54	-11.98 23.97	-5.05 -5.64	Import Lk 4
5	0.01 0.00	-27.15 -78.00	33.11 -150.00	-381.78 -119.06	23.78 -24.73	4.92 4.45	Import Lk 5
6	-0.11 -36.00	-26.85 -55.20	32.76 -120.00	-394.92 -144.88	71.71 37.91	17.79 -12.84	Import Lk 6
7	-0.16 -45.00	-68.80 9.00	83.93 0.00	-157.09 -44.37	22.35 89.50	10.63 -26.35	Import Lk 7

Für den Nachweis der Konsole-Stützenverbindung sind die Schnittgrößen im GZT des Trägers b und der Stütze c anzugeben.

Für den Nachweis der Lasteinleitung sind nur die Schnittgrößen im GZT des Trägers b relevant.

Der Ermüdungsnachweis benötigt die Schnittgrößen im GZE des Trägers b.

Das Programm #/EC3SK bietet zwei Möglichkeiten zur Eingabe der Belastung an

- die Auflagerlast aus dem Lastträger wird als Belastung der Konsole eingegeben. Für den Nachweis der Konsole-Stützenverbindung sind zusätzlich die Stützenschnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen einzugeben.
- werden die Schnittgrößen aus einem Tragwerks-Programm übernommen, sind häufig nur die Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen von Konsole und Stütze verfügbar. Wird die Konsole durch eine Vouten verstärkt, können die Konsolschnittgrößen wahlweise auf die gevoutete oder ungevoutete Trägerachse bezogen werden.

Es wird die Vorzeichendefinition der Statik vorausgesetzt.

Da die Konsole ein statisch bestimmter Kragarm ist, können die Trägerschnittgrößen aus der Belastung der Konsole berechnet werden (und umgekehrt).

Konsole		Stütze, Knoten unten			Stütze, Knoten oben		
F_{Ed} kN	H_{Ed} kN	$N_{j,c1,Ed}$ kN	$M_{j,c1,Ed}$ kNm	$V_{j,c1,Ed}$ kN	$N_{j,c2,Ed}$ kN	$M_{j,c2,Ed}$ kNm	$V_{j,c2,Ed}$ kN
84.26	0.16	-303.72	62.08	19.25	-41.72	54.49	-18.02

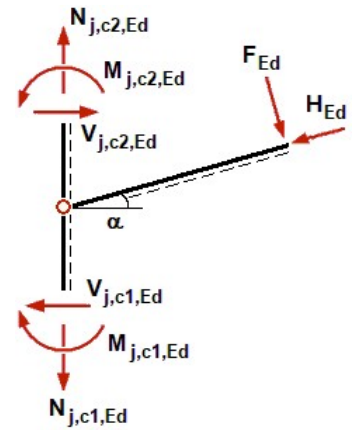
In Abhängigkeit des Eingabetyps werden die Masken für die Eingabe der Schnittgrößenkombinationen aktiviert.

Beim Lasttyp **Belastung der Konsole** werden die Auflagerkräfte aus dem Lastträger F_{Ed} und H_{Ed} erwartet, sowie die Stützenschnittgrößen im Knoten j .

- einseitiger Anschluss: Stütze unten c1, Stütze oben c2
- beidseitiger Anschluss: Stütze unten c1, Stütze oben c2

Beim Lasttyp **Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen** sind Schnittgrößen im Knoten j in allen Bemessungsschnitten einzugeben.

- einseitiger Anschluss: Träger b, Stütze unten c1, Stütze oben c2
- beidseitiger Anschluss: Träger rechts b1, Träger links b2, Stütze unten c1, Stütze oben c2



Zur Info ist die Wirkungsrichtung der Schnittgrößen im Register grafisch dargestellt (hier für eine rechtsseitige Konsole).

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

3.4.1

Schnittgrößen importieren

Detailnachweisprogramme zur Bemessung von Anschlüssen (Träger/Stütze, Trägerstöße), Fußpunkten (Stütze/Fundament) etc. benötigen Schnittgrößenkombinationen, die häufig von einem Tragwerksprogramm zur Verfügung gestellt werden.

Dabei handelt es sich i.d.R. um eine Vielzahl von Kombinationen, die im betrachteten Bemessungsschnitt des übergeordneten 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.

Schnittgrößen aus **##**-Programm importieren



Schnittgrößen aus Text-Datei einlesen



Import aus einem ##-Programm

Der Schnittgrößenimport aus einem ##-Programm kann nur erfolgen, wenn die Belastung als **Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen** eingegeben wird.

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

Da die Beschreibung des Schnittgrößenimports für Träger-Stützenanschlüsse programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung des Schnittgrößenimports verwiesen (S. Abs. 3.4.2, S. 25).



##-EC3SK berechnet nur Träger-Stützenverbindungen mit durchlaufender Stütze.

Import aus einer Text-Datei

Die Schnittgrößenkombinationen können aus einer Text-Datei im ASCII-Format eingelesen werden.

Die Datensätze müssen in der Text-Datei in einer bestimmten Form vorliegen; der entsprechende Hinweis wird bei Betätigen des **Einlese**-Buttons gegeben. Anschließend wird der Dateiname einschl. Pfad der entsprechenden Datei abgefragt.

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

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

Schnittgrößenimport bei Träger-Stützenanschlüssen

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

In der *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 auch 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.

Das folgende Beispiel einer Rahmenecke (Sonderform des Träger-Stützenanschlusses mit nicht-durchlaufender Stütze) erläutert diesen *4H*-Schnittgrößen-Export/Import.

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

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

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

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

Ausführliche Informationen zum Export entnehmen Sie bitte dem DTE[®]-Handbuch (auch als pdf-Dokument auf unserer Website pcae.de).

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

Nach einer Neuberechnung des Rahmens stehen die Exportschnittgrößen dem aufnehmenden *4H*-Programm (z.B. *4H*-EC3SK, *4H*-EC3BT, *4H*-EC3RE, *4H*-EC3IH) zum Import zur Verfügung.



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

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

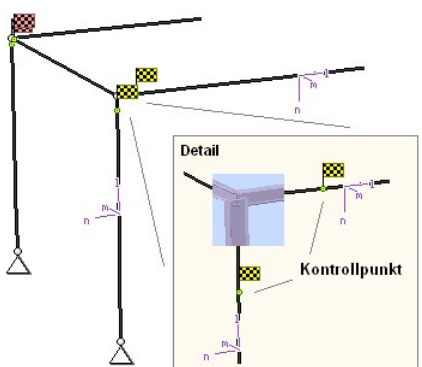
Bei Träger-Stützenverbindungen erfolgt der Nachweis im Anschnitt Träger/Stütze bzw. Stirnblech/Stütze. Daher werden die Schnittgrößen, die im Schnittpunkt der Systemachsen gegeben sind, programmintern in Anschnittschnittgrößen umgerechnet.



Aus dem aufnehmenden *4H*-Programm wird nun über den **Import**-Button das Fenster zur DTE[®]-Bauteilauswahl (s. auch DTE[®]-Handbuch) aufgerufen.

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

Es besteht die Möglichkeit, den Import an dieser Stelle abubrechen, um ggf. das exportierende Programm entsprechend vorzubereiten. Nach Bestätigen des Infofensters wird die DTE[®]-Bauteilauswahl aktiviert.



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

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

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


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

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


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

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

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

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

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

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



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

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

Die Kombinationen können beliebig zusammengestellt werden.



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

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



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



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

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

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

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

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

nein

ja

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

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

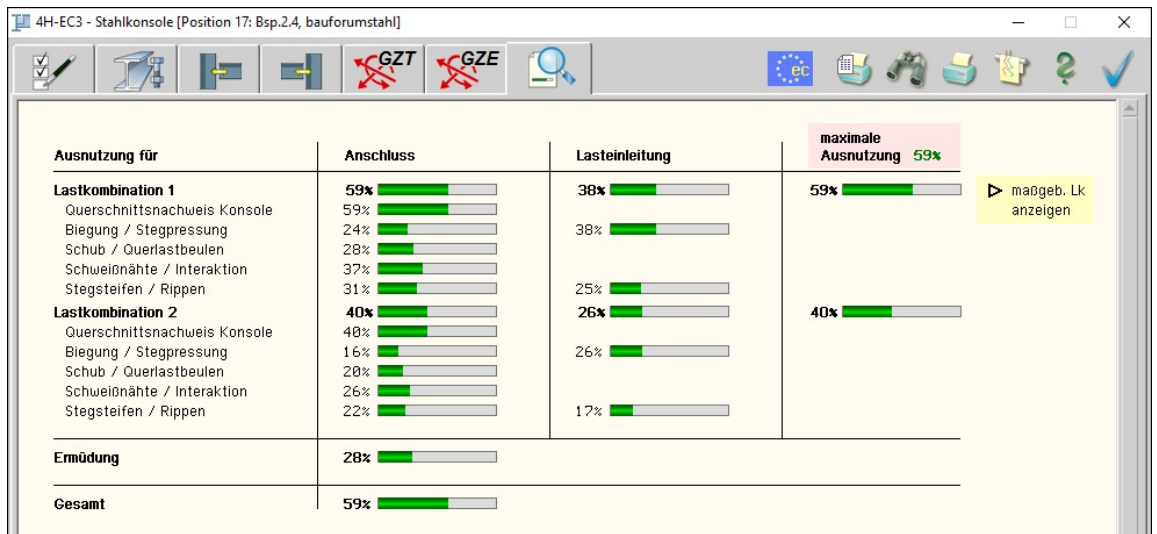
Bei der Übernahme erfolgen Plausibilitätschecks und ggf. Meldungen.



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



das siebte Register gibt einen sofortigen Überblick über die ermittelten Ergebnisse



Zur sofortigen Kontrolle werden die Ergebnisse übersichtlich zusammengestellt.

Die Tragfähigkeiten der Konsole-Stützverbindung bzw. Lasteinleitung werden im ersten Teil dieses Registers lastfallweise aufgelistet. Anschließend ist das Ergebnis des Ermüdungsnachweises angefügt.

Eine Box zeigt an, ob ein Fehler aufgetreten ist (rot ausgekreuzt), ob die Tragfähigkeit überschritten ist (roter Balken) oder wie viel Reserve noch vorhanden ist (grüner Balken).

Zur genaueren Fehleranalyse oder zur Einschätzung der Tragkomponenten werden Einzelberechnungsergebnisse ebenfalls protokolliert.

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

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

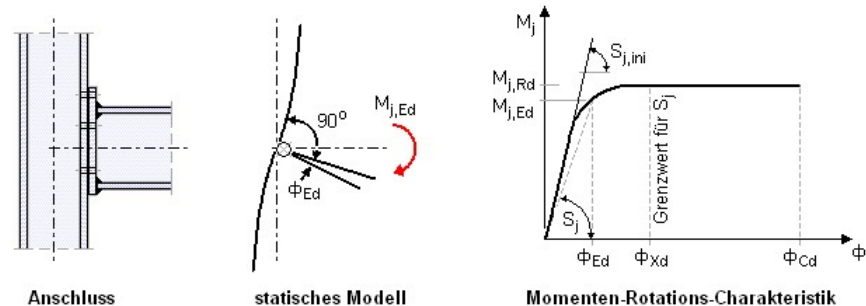
Die Lastkombination, die für das Gesamtergebnis maßgebend ist, wird markiert. Über den Link kann die Ausgabe direkt am Bildschirm eingesehen werden.

Wenn die Ursache des Fehlers nicht sofort ersichtlich ist, sollte die Druckliste in der ausführlichen Ergebnisdarstellung (s. Abs. 6.2, S. 62) geprüft werden.

Anschluss Träger-Stütze

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

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



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

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

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

Der mögliche Einfluss des Stützenstegfeldes wird durch den Übertragungsparameter β berücksichtigt. Bei einseitigen Träger-Stützenanschlüssen gilt stets $\beta \sim 1$.

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

- Gk 1: Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung
- Gk 2: Stützensteg mit Querdruckbeanspruchung
- Gk 3: Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung
- Gk 4: Stützenflansch mit Biegung
- Gk 5: Stirnblech mit Biegebeanspruchung
- Gk 6: Flanschwinkel mit Biegebeanspruchung
- Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung
- Gk 8: Trägersteg mit Zugbeanspruchung
- Gk 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung
- Gk 11: Schrauben mit Abscherbeanspruchung
- Gk 12: Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung
- Gk 19: Schweißnähte
- Gk 20: Gevouteter Träger mit Druck

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

- Momententragfähigkeit
- Rotationssteifigkeit
- Rotationskapazität

liefert.

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

- Tragfähigkeit
- Rotationssteifigkeit
- Rotationskapazität

s. Online-Hilfe.

4.1 Komponentenmethode

Die Komponentenmethode ermöglicht die Berechnung beliebiger Anschlüsse von Doppel-T-Profilen für Tragwerksberechnungen (EC 3-1-8, 6.1.1).

Die Voraussetzungen für das Verfahren sowie die zur Anwendung kommenden Grundkomponenten sind im Kapitel Komponentenmethode in der Online-Hilfe des Programms beschrieben.

Im Programm *##-EC3SK* werden Träger-Stützenanschlüsse berechnet.

Im EC 3-1-8, 5.3, ist geregelt, dass beidseitige Träger-Stützenanschlüsse vereinfachend je Seite betrachtet werden dürfen. Dementsprechend wird die Verbindung je Lastfall zweimal (rechter Anschluss, linker Anschluss) berechnet.

Es ergeben sich Tragfähigkeiten und Rotationssteifigkeiten je Seite. Im Folgenden wird der Rechenweg eines rechten Anschlusses dargelegt.

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

Für überwiegend normalkraftbeanspruchte Verbindungen werden aus der einwirkenden Belastung die einzelnen Traganteile für jede Grundkomponente extrahiert und den Tragfähigkeiten der einzelnen Grundkomponenten gegenübergestellt.

Es wird die Vorgehensweise zur Bemessung von geschraubten Stirnblech- (s. Abs. 4.1.1, S. 30) sowie geschweißten Verbindungen (s. Abs. 4.1.2, S. 34) mit der Komponentenmethode nach EC 3-1-8, 6.2.7, erläutert.

Die alternative Methode zur Berechnung der Grundkomponenten mit Teilschnittgrößen wird nicht behandelt.

4.1.1 geschraubte Stirnblechverbindung

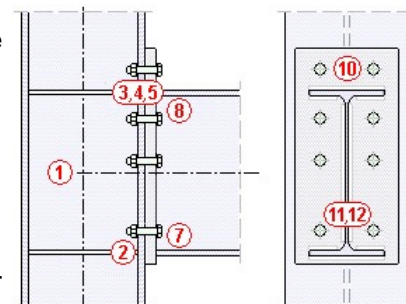
Die Biege- und Zugtragfähigkeit des Anschlusses auf Seite der

- Stütze wird mit den Grundkomponenten 1 bis 4
- des Trägers mit den Grundkomponenten 7, 8 und ggf. 20
- des Stirnblechs mit Grundkomponente 5

ermittelt.

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

Die Tragfähigkeit der Schweißnähte zwischen Träger und Stirnblech wird über den Linienquerschnitt mit einbezogen. Zur Bemessung der Schweißnähte s. Abs. 4.2.3, S. 37.



Biegetragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Nach EC 3-1-8, 6.2.7.2, wird die Biegetragfähigkeit von Träger-Stützenanschlüssen oder Trägerstößen mit geschraubten Stirnblechverbindungen bestimmt mit

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

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

h_r Abstand der Schraubenreihe vom Druckpunkt

r Nummer der Schraubenreihe

Im Überstand darf sich nur eine Schraubenreihe befinden.

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

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

Die wirksame Tragfähigkeit einer Schraubenreihe r sollte als Minimum der Tragfähigkeiten einer einzelnen Schraubenreihe der Gkn 3, 4, 5, 8 bestimmt werden, wobei ggf. noch Reduktionen aus den Gkn 1, 2, 7 vorzunehmen sind.

Anschließend ist die Tragfähigkeit der Schraubenreihe als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen der Gkn 3, 4, 5, 8 zu untersuchen; s. hierzu EC 3-1-8, 6.2.7.2(6-8).

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

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

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

h_x Abstand der Schraubenreihe x zum Druckpunkt

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

Es werden zunächst die minimalen Tragfähigkeiten aus den maßgebenden Grundkomponenten ermittelt (Beispielberechnung).

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

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$

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

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

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

Gruppe 1

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

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 194.6 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 142.4 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$ (aus Reihe 1)

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 142.1 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 89.9 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$

Gruppe 2

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

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 319.1 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 218.4 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$ (aus Reihe 1)

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 266.7 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 165.9 \text{ kN}$

Reihe 3: $\Sigma F_{tr,Rd} = 125.4 \text{ kN}$ (aus Reihen 1 bis 2)

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 193.7 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 93.0 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$

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

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

Gruppe 1Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$ Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 161.8 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$ Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 256.2 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$ Reihe 3: $\Sigma F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$ (aus Reihe 2)Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 88.8 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$ Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 183.3 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$

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

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$ Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$ Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$ $\Sigma F_{tr,Rd}^* = 198.4 \text{ kN}$

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

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

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$ Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 535.5 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$ Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 128.7 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$ Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 226.8 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$ Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$ (Reihe 1)Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 483.0 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$ Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 76.3 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$ Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 174.4 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$ Reihe 3: $\Sigma F_{tr,Rd} = 125.4 \text{ kN}$ (Reihen 1 bis 2)Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 410.0 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$ Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 3.3 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 3.3 \text{ kN}$ Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 101.4 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 3.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 3.3 \text{ kN}$

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

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

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{tx,Rd} = 52.4 \text{ kN}$, $h_x = 206.0 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 92.3 \text{ kN}$, keine AbminderungReihe 2: $F_{tx,Rd} = 73.0 \text{ kN}$, $h_x = 136.0 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 92.3 \text{ kN}$, keine Abminderung

Das Ergebnis wird schlussendlich protokolliert.

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$ Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$ Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 3.3 \text{ kN}$ $\Sigma F_{tr,Rd} = 128.7 \text{ kN}$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 2, 4, 5

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

Die Druck-Komponenten liefern die Tragfähigkeit bei reiner Druckbeanspruchung.

Tragfähigkeit der Flansche (Druck) $\Sigma F_{c,Rd}^* = 257.4 \text{ kN}$

Die Biegetragfähigkeit ergibt sich damit zu

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts $M_{j,Rd} = \Sigma (F_{tr,Rd} \cdot h_{tr}) = 20.8 \text{ kNm}$

und die Ausnutzung zu

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

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

Ist die einwirkende Normalkraft größer als 5% der plastischen Normalkrafttragfähigkeit

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

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

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

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

Die entsprechenden Normalkrafttragfähigkeiten ergeben sich zu

Zugtragfähigkeit
 $N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 198.4 \text{ kN}$
Drucktragfähigkeit
 $N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 257.4 \text{ kN}$

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

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

Tragfähigkeit je Schraubenreihe
 maßgebende Grundkomponenten: 11, 12
 Reihe 1: $F_{vr,Rd} = 86.9 \text{ kN}$
 Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 86.9 \text{ kN}$
 Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 86.9 \text{ kN}$

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

Abminderungen aufgrund der Zugkraft (bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit)
 maßgebende Grundkomponente: 10
 Reihe 1: $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 86.9 \text{ kN} = 53.4 \text{ kN}$ mit $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.614$
 Reihe 2: $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 86.9 \text{ kN} = 40.2 \text{ kN}$ mit $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.463$
 Reihe 3: $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 86.9 \text{ kN} = 84.8 \text{ kN}$ mit $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.976$

sodass sich die endgültigen Tragfähigkeiten je Schraubenreihe ergeben zu

Tragfähigkeit je Schraubenreihe
 Reihe 1: $F_{vr,Rd} = 53.4 \text{ kN}$
 Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 40.2 \text{ kN}$
 Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 84.8 \text{ kN}$
 $\Sigma F_{vr,Rd} = 178.4 \text{ kN}$

Die Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit ergibt sich damit zu

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit
 $V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 178.4 \text{ kN}$

und die Ausnutzung zu

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

Schubtragfähigkeit

Sowohl Stirnblech als auch Stützensteg sind für den Schub aus Querkraftbeanspruchung zu untersuchen.

Die Tragfähigkeit des Stirnblechs ergibt sich als Minimum der plastischen Tragfähigkeit des Blechs und der Tragfähigkeit der Stegnähte.

Stirnblech: $V_{ep,Rd} = \tau_{Rd} \cdot t \cdot l_{eff} = 198.09 \text{ kN}$, $\tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2$, $t = 10.0 \text{ mm}$, $l_{eff} = d_w = 146.0 \text{ mm}$
 Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$, $\beta_w = 0.80$
 Schweißnähte: $F_{w,Rd} = 2 \cdot a \cdot l_{eff} \cdot f_{1w,d} / 3^{1/2} = 182.07 \text{ kN}$, $a = 3.0 \text{ mm}$, $l_{eff} = d_w = 146.0 \text{ mm}$
 Schubtragfähigkeit des Stirnblechs: $V_{ep,Rd} = F_{w,Rd} = 182.07 \text{ kN}$

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

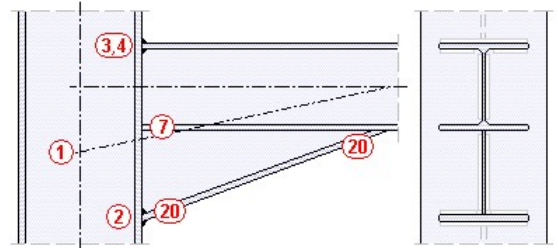
Schubtragfähigkeit des Stützenstegs
 maßgebende Grundkomponente: 1
 $V_{wp,Rd}/\beta_j = 535.5 \text{ kN}$

4.1.2

geschweißte Verbindung

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

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



Die Tragfähigkeit der Schweißnähte zwischen Träger und Stütze wird über den Linienquerschnitt mit einbezogen. Zur Bemessung der Schweißnähte s. Abs. 4.2.3, S. 37.

Biege- und Zugtragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Nach EC 3-1-8, 6.2.7.1(4), wird die Biegetragfähigkeit eines geschweißten Anschlusses bestimmt mit

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

F_{Rd} wirksame Tragfähigkeit der Verbindung
 z Abstand zwischen den Achsen der Mittelebenen von Zug- und Druckflansch des angeschlossenen Trägers

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

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

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

Tragfähigkeit
 maßgebende Grundkomponenten: 3, 4
 $F_{t,Rd} = 129.9 \text{ kN}$

Abminderungen aufgrund der Druck-/Schubtragfähigkeit der Profile

Abminderungen analog EC 3-1-8, 6.2.7.2(7)
 maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7
 Gk 1: $F_{Rd} = 129.9 \text{ kN} < V_{wp,Rd}/\beta_j = 672.9 \text{ kN} \Rightarrow F_{Rd} = 129.9 \text{ kN}$
 Gk 2: $F_{Rd} = 129.9 \text{ kN} > F_{c,w,Rd} = 117.9 \text{ kN} \Rightarrow F_{Rd} = 117.9 \text{ kN}$
 Gk 7: $F_{Rd} = 117.9 \text{ kN} < F_{c,f,Rd} = 226.8 \text{ kN} \Rightarrow F_{Rd} = 117.9 \text{ kN}$

führen zur wirksamen Tragfähigkeit

Tragfähigkeit (endgültig)
 $F_{Rd} = 117.9 \text{ kN}$

mit der die Biegetragfähigkeit des Anschlusses zu

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts
 $M_{j,Rd} = F_{Rd} \cdot z = 20.3 \text{ kNm}$

ermittelt wird. Die Tragfähigkeiten infolge reiner Normalkraftbeanspruchung werden analog der Stirnblech-Verbindung berechnet.

Bei geschweißten Trägerstößen ist die Tragfähigkeit der Verbindung nur durch die Tragfähigkeit der Schweißnähte gegeben.

4.1.3 Besonderheiten bei Vouten

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

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

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

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

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

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

4.1.4 Besonderheiten bei überwiegend normalkraftbeanspruchten Verbindungen

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

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

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

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

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

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

4.2

Nachweise

Folgende Nachweise können geführt werden

- Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode nach Eurocode 3
- ... Schweißnähte am Träger (Nachweis über den Linienquerschnitt)
- ... Stegsteifen (Rippen)
- ... Querschnitttragfähigkeit

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

4.2.1

Querschnittsnachweis

Der Tragsicherheitsnachweis der offenen, dünnwandigen Querschnitte kann nach den Nachweisverfahren

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

geführt werden.

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

Beim Nachweisverfahren *Elastisch-Plastisch* werden die Schnittgrößen (Beanspruchungen) ebenfalls auf Grundlage der Elastizitätstheorie bestimmt. Anschließend wird mit Hilfe des Teilschnittgrößenverfahrens (TSV) mit Umlagerung (s. Kindmann, R., Frickel, J.: *Elastische und plastische Querschnitttragfähigkeit, Grundlagen, Methoden, Berechnungsverfahren, Beispiele*, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2002) überprüft, ob die Schnittgrößen vom Querschnitt unter Ausnutzung der plastischen Reserven aufgenommen werden können (plastische Querschnitttragfähigkeit).

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

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

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

4.2.2

Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Es können die

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

der Verbindung ausgewertet werden.

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

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

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

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

Die Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit ergibt sich zu

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

4.2.3

Nachweis der Schweißnähte als Linienquerschnitt

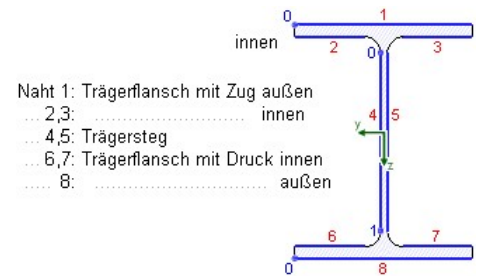
I.A. werden die Verbindungselemente (Träger und Stirnblech, Träger und Stütze) mit Kehlnähten verbunden, deren Schweißnaht konzentriert in der Wurzellinie angenommen wird.

Die Wurzellinien der Einzelnähte bilden den **Linienquerschnitt** (s. G. Wagenknecht: *Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 2*) 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:

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

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:

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

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

Damit werden die Spannungen in den maßgebenden Nachweispunkten berechnet.

Spannungen in den Endpunkten der Nähte:

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

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

Nachweis für Naht 1, Pkt. 0:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

oder dem *vereinfachten Verfahren* bemessen.

Nachweis für Naht 1, Pkt. 0:Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

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

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

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

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

Da die Beschreibung der Schweißnahtnachweise nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung des Schweißnahtnachweises verwiesen (s. Online-Hilfe *Basisverbindungen-Schweißverbindungen*).

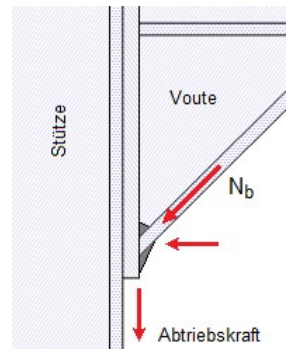
Nachweis der Umlenkkräfte bei geneigten Trägerflanschen

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

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

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

Beim richtungsbezogenen Verfahren ist die Flanschneigung zu beachten!

**Nachweis der Umlenkkräfte (richtungsbezogenes Verfahren)**

Schweißnähte Druckflansch

Druckkraft $N_{b,c} = 325.9 \text{ kN}$ Schweißnahtwinkel $\varphi = 135^\circ$:

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

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

Schweißnahtwinkel $\varphi = 45^\circ$:

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

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

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

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

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

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

Für den Nachweis gelten folgende Annahmen

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

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

zweiseitiger Anschluss

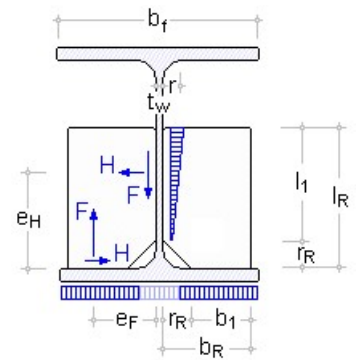
Bei zweiseitigem Anschluss (Teilrippe) wird eine dreiecksförmige Spannungsverteilung im Blech angenommen, der Hebelarm ergibt sich zu $e_H = l_R - l_1/3$.

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

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

Abmessungen, Hebelarme, Kräfte je Rippe

$$\left. \begin{aligned} b_1 &= b_R - r_R \quad \dots \quad e_F = b_R - 0.5 \cdot b_1 \quad \dots \quad l_1 = l_R - r_R \\ \text{für Walzprofile} \quad F &= 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f \\ \text{für geschweißte Profile} \quad F &= 0.5 \cdot F_{c,Ed} \end{aligned} \right\} \quad \dots \quad H = F \cdot e_F / e_H$$



Die Querschnittsnachweise erfolgen für folgende Bemessungsgrößen

Querschnitt am Flansch Qu. am Steg

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

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

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

richtungsbezogenes Verfahren

vereinfachtes Verfahren

• Schweißnähte am Flansch

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

• Schweißnähte am Steg

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

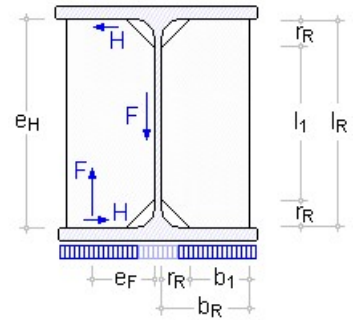
Da die Beschreibung der Schweißnahtnachweise nach EC3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung des Schweißnahtnachweises (s. Online-Hilfe) verwiesen.

dreiseitiger Anschluss

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

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

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



Bemessungsgrößen für Stegsteifen

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

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

wobei bei geschraubten Verbindungen der innere Hebelarm z dem äquivalenten Hebelarm z_{eq} entspricht. Zur Berechnung von z_{eq} s. Rotationssteifigkeit (in der Online-Hilfe des Programms).

4.2.5

Grundkomponenten eines Anschlusses

Zu den angewendeten Grundkomponenten 1 bis 8, 10 bis 12 und 19 bis 20 s. Handbuch zu #/EC3GK, Grundkomponenten, als pdf auf unserer Website pcae.de oder in der Online-Hilfe des Programms.

4.3 Lasteinleitung in einen Biegeträger

4.3.1 Allgemeines

Biegeträger wie z.B. die Auflagerkonsolen eines Kranbahnträgers werden ebenso wie der Kranbahnträger selbst beansprucht durch zweiachsige Biegung und Torsion.

Diese globale Belastung wird auf Grund der hohen konzentrierten Einzellasten im Einleitungsbereich überlagert mit erheblichen Zusatzbeanspruchungen aus lokaler Druck-, Biege- und Schubbelastung.

Die konzentrierte Lasteinleitung erfordert lokale Nachweise, um die Tragfähigkeit des Auflagerträgers zu gewährleisten.

Im Folgenden werden die Spannungsnachweise der Einzellasteinleitung anhand eines Beispiels für eine Trägerkreuzung erläutert.

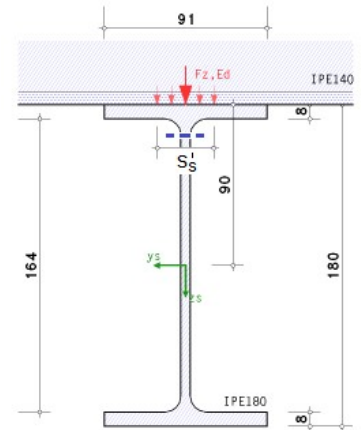
Ein Träger IPE 140 wird auf einen unversteiften Träger IPE180 gelagert. Die starre Lasteinleitungslänge auf den Trägerflansch in Längsrichtung des Trägers ergibt sich aus der Geometrie des Lastträgers $s_s = 26.7 \text{ mm}$.

In Querrichtung ergibt sich die Lasteinbreitungsweite aus der Trägergeometrie zu $s_s' = 31.8 \text{ mm}$.

Die Belastung wird mit $F_{z,Ed} = 75 \text{ kN}$ angegeben.

Da der Auflagerträger eine Konsole ist, wird im Träger an der Stelle der Lasteinleitung nur eine Querkraft in Höhe der Belastung erzeugt.

Optional können Stegsteifen (Rippen) angeordnet werden. In diesem Beispiel werden beidseitig des Stegs zwischenliegende Rippen der Dicke $t_{st} = 15 \text{ mm}$ gewählt.



4.3.2 Spannungsnachweis im GZG

Um das elastische Verhalten des Trägerprofils sicherzustellen, sollten die Spannungen aus der Lasteinleitung begrenzt werden mit

$$\begin{aligned}\sigma_{Ed,ser} &\leq f_y / \gamma_{M,ser} \quad \dots \quad \text{und} \quad \dots \quad \tau_{Ed,ser} \leq f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M,ser}) \\ \sqrt{(\sigma_{x,Ed,ser})^2 + 3 \cdot (\tau_{Ed,ser})^2} &\leq f_y / \gamma_{M,ser} \\ \sqrt{(\sigma_{x,Ed,ser})^2 + (\sigma_{y,Ed,ser})^2 - (\sigma_{x,Ed,ser}) \cdot (\sigma_{y,Ed,ser}) + 3 \cdot (\tau_{Ed,ser})^2} &\leq f_y / \gamma_{M,ser} \\ \sqrt{(\sigma_{x,Ed,ser})^2 + (\sigma_{z,Ed,ser})^2 - (\sigma_{x,Ed,ser}) \cdot (\sigma_{z,Ed,ser}) + 3 \cdot (\tau_{Ed,ser})^2} &\leq f_y / \gamma_{M,ser}\end{aligned}$$

Die Schnittgrößen werden aus der maßgebenden charakteristischen (= seltenen) Lastfallkombination ermittelt.

Dabei werden die globalen Spannungen $\sigma_{x,Ed,ser}$ und $\tau_{Ed,ser}$ mit den lokalen Spannungen $\sigma_{oz,Ed,ser}$ und $\tau_{o,Ed,ser}$ (für aufgesetzte Brückenlaufkrane im Steg) bzw. $\sigma_{ux,Ed,ser}$ und $\sigma_{uy,Ed,ser}$ (für Hängekrane/Unterflanschkatzen im Unterflansch, Nachweis der Unterflanschbiegung) überlagert.

Für aufgesetzte Brückenlaufkrane kann die Biegespannung $\sigma_{T,Ed}$ infolge Exzentrizität der Radlasten vernachlässigt werden.

Der Material Sicherheitsbeiwert wird i.A. mit $\gamma_{M,ser} = 1.0$ angenommen.



Wird der Nachweis der Querschnittstragfähigkeit als elastischer Spannungsnachweis ausgeführt, kann dieser Nachweis entfallen.

Spannungsnachweis im GZT

Der Nachweis der Stegpressung wird am Anschnitt des Stegs zur Flanschausrundung geführt.

Die Länge der starren Lasteinleitung in Längsrichtung vergrößert sich am Steganschnitt auf $s_w = 60.7 \text{ mm}$.

Zur Info wird die Lagerpressung angegeben, um sie ggf. separat überprüfen zu können.

Lasteinzugsbreite durch den Träger $s_s' = 2 \cdot t_f + t_w + 1.172 \cdot r = 31.8 \text{ mm}$, $t_f = 8.0 \text{ mm}$, $t_w = 5.3 \text{ mm}$
 Lasteinzugslänge durch den Lastträger $s_s = 2 \cdot t_f + t_w + 1.172 \cdot r = 26.7 \text{ mm}$, $t_f = 6.9 \text{ mm}$, $t_w = 4.7 \text{ mm}$
 Zur Info: Lagerpressung $F_{z,Ed,GZT}/(s_s \cdot s_s') = 61.51 \text{ N/mm}^2$
 wirksame Lasteinleitungslänge $l_{eff} = s_s + 2 \cdot t_f = 42.7 \text{ mm}$, $t_f = 8.0 \text{ mm}$

Länge der starren Lasteinleitung
 bezogen auf die Flanschaußenkante $s_s = l_{eff} - 2 \cdot t_f = 26.7 \text{ mm}$ / auf den Steganschnitt $s_w = l_{eff} + 2 \cdot r = 60.7 \text{ mm}$

Damit lässt sich die Spannung aus der lokalen Beanspruchung berechnen und nachweisen.

Einzellastpressung am Steganschnitt

lokale Normalspannung $\sigma_{oz,Ed} = -F_{z,Ed}/(t_w \cdot s_w) = -233.1 \text{ N/mm}^2$, $F_{z,Ed} = 75.0 \text{ kN}$, $s_w = 60.7 \text{ mm}$
 $|\sigma_{oz,Ed}| = 233.1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.992 < 1$ **ok**

Die maximale Stegpressung ergibt sich aus der Überlagerung der lokalen Einzellastspannung mit den Biegespannungen im GZT.

Für die Schnittgrößen aus der Längsbelastung des Trägers (hier nur Querkraft) wird der Vergleichsspannungsnachweis nach v. Mises geführt.

Platten- und Schubbeulen werden kontrolliert.

Spannungen am Steganschnitt

Querbelastung $F_{z,Ed} = 75.0 \text{ kN}$

Schubbeulen: $h_p/t_p = 30.94 \leq 72 \cdot \epsilon/\eta = 60.00$ **ok**

Lk 1: $V_{z,Ed} = 75.0 \text{ kN}$

Schubspannung $\tau_{xz,Ed} = 66.7 \text{ N/mm}^2$

$|\tau_{xz,Ed}| = 66.7 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.491 < 1$ **ok**

Vergleichsspannung $\sigma_v = (\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{oz,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{oz,Ed} + 3 \cdot \tau_{xz,Ed}^2)^{1/2} = 260.1 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_v = 260.1 \text{ N/mm}^2 > \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 1.107 > 1$ **nicht ok !!**

Ausnutzung am Steganschnitt $\max U_\sigma = 1.107 > 1$ **nicht ok !!**

Die maximale Ausnutzung wird protokolliert.

Maximale Ausnutzung: $\max U_{GZT} = 1.107 > 1$ **nicht ok !!**

4.3.4

Nachweis der Stegsteifen

Wenn der Nachweis nicht erfolgreich geführt werden kann, muss die Lasteinleitungsstelle verstärkt werden, um die lokalen Spannungen abzuführen.

Die Verstärkung kann mit zwischenliegenden Stegsteifen (dreiseitiger Anschluss an beiden Flanschen und Steg) erfolgen.

Zur Beschreibung der Nachweisführung von Stegsteifen / Rippen s. Abs. 4.2.4, S. 39.

Für das Beispiel ergibt sich folgender Berechnungsablauf

Lastübertragung durch Quersteifen (Rippen)

Die Schweißnähte werden mit dem richtungsbezogenen Verfahren nachgewiesen.

Abmessungen, Hebelarme, Kräfte je Rippe

$b_R = 42.9 \text{ mm}$ (maximale Breite), $b_1 = b_R - r_R = 29.4 \text{ mm}$, $e_F = b_R - 0.5 \cdot b_1 = 28.2 \text{ mm}$ mit $r_R = 13.5 \text{ mm}$

dreiseitiger Rippenanschluss:

$l_R = h - 2 \cdot t_f = 164.0 \text{ mm}$, $l_1 = l_R - 2 \cdot r_R = 137.0 \text{ mm}$, $e_H = l_R = 164.0 \text{ mm}$, $t_R = 15.0 \text{ mm}$

$F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f = 27.90 \text{ kN}$, $H = F \cdot e_F / e_H = 4.79 \text{ kN}$

Steglastanteil $F_{c,Ed} - 2 \cdot F = 19.20 \text{ kN}$

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet:

Q-Klasse 1 für $\alpha = 1.000$, $c/t = 2.86$ (einseitig gestützt) < 9.00 ; $\varepsilon = 9.00 \leq 3$ **ok**

Querschnitt am Flansch

Drucktragfähigkeit $N_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 103.46 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 29.11 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 29.11 \text{ kN} < F_{Rd} = 103.46 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.281 < 1$ **ok**

Querschnitt am Steg

Schubtragfähigkeit $V_{Rd} = (A_v \cdot f_y) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 278.82 \text{ kN}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed} = F = 27.90 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 27.90 \text{ kN} < F_{Rd} = 278.82 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.100 < 1$ **ok**

Schweißnähte am Flansch

Kehlnaht mit $a = 4.0 \text{ mm}$

Bemessungsgrößen: $F_{Ed}(\sigma_s) = F / (2 \cdot b_1) = 475.27 \text{ kN/m}$, $F_{Ed}(\tau_p) = H / (2 \cdot b_1) = 81.65 \text{ kN/m}$

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche: $\sigma_s = 118.82 \text{ N/mm}^2$, $\tau_p = 20.41 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{1,w,Ed} = (\sigma_s^2 + 3 \cdot (\tau_p^2 + \tau_p^2))^{1/2} = 123.97 \text{ N/mm}^2$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360.00 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{1,w,Ed} = 123.97 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.344 < 1$ **ok**

$\sigma_{2,w,Ed} = |\sigma_s| = 118.82 \text{ N/mm}^2$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.2): $f_{2w,d} = 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 259.20 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{2,w,Ed} = 118.82 \text{ N/mm}^2 < f_{2w,d} = 259.20 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.458 < 1$ **ok**

Schweißnähte am Steg

Kehlnaht mit $a = 4.0 \text{ mm}$

Bemessungsgröße: $F_{Ed}(\tau_p) = F / (2 \cdot l_1) = 101.82 \text{ kN/m}$

Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 3.7 \text{ mm}$ (Schweisstechnik, s. DIN 18800) **!!**

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche: $\tau_p = 25.45 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{1,w,Ed} = (\sigma_s^2 + 3 \cdot (\tau_p^2 + \tau_p^2))^{1/2} = 44.09 \text{ N/mm}^2$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360.00 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{1,w,Ed} = 44.09 \text{ N/mm}^2 < f_{1w,d} = 360.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.122 < 1$ **ok**

Gesamt: Ausnutzung der Rippen $U_R = 0.458 < 1$ **ok**

Die Spannungsnachweise können nun für eine reduzierte Querbelastung geführt werden.

Einzellastpressung am Steganschnitt

reduzierte Querbelastung $F_{z,Ed} = 19.2 \text{ kN}$

lokale Normalspannung $\sigma_{oz,Ed} = -F_{z,Ed} / (t_w \cdot s_w) = -59.7 \text{ N/mm}^2$, $F_{z,Ed} = 19.2 \text{ kN}$, $s_w = 60.7 \text{ mm}$

$|\sigma_{oz,Ed}| = 59.7 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.254 < 1$ **ok** 13.5 mm

Spannungen am Steganschnitt

reduzierte Querbelastung $F_{z,Ed} = 19.2 \text{ kN}$

Lk 1: $V_{z,Ed} = 75.0 \text{ kN}$

Schubspannung $\tau_{xz,Ed} = 66.7 \text{ N/mm}^2$

$|\tau_{xz,Ed}| = 66.7 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.491 < 1$ **ok**

Vergleichsspannung $\sigma_v = (\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{oz,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{oz,Ed} + 3 \cdot \tau_{xz,Ed}^2)^{1/2} = 130.0 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_v = 130.0 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.553 < 1$ **ok**

Ausnutzung am Steganschnitt $\max U_\sigma = 0.553 < 1$ **ok**

4.3.5

Nachweis Querlastbeulen

Werden keine Stegsteifen angeordnet ist Querlastbeulen nachzuweisen.

Zur Beschreibung der Nachweisführung des Querlastbeulens s. Abs. 4.3.6, S. 44.

Für das Beispiel ergibt sich folgender Berechnungsablauf

Beulfeld $h_w = 164.0 \text{ mm}$, $t_w = 5.3 \text{ mm}$
 Beulwert $k_F = 2 + 6 \cdot ((s_s + c)/h_w) = 6.64$ (Typ (c))
 kritische Beullast $F_{cr} = k_F \cdot \sigma_E \cdot t_w \cdot h_w = 1143.3 \text{ kN}$, $\sigma_E = \pi^2 \cdot E / (12 \cdot (1 - \mu^2) \cdot (t/b')^2) = 198.2 \text{ N/mm}^2$, $b' = 164.0 \text{ mm}$
 wirksame Lastausbreitungslänge $l_y = \min(l_{y,2}, l_{y,3}) = 159.9 \text{ mm}$ mit
 $l_{y,2} = l_e + t_f \cdot (m_1/2 + (l_e/t)^2)^{1/2} = 255.6 \text{ mm}$, $l_e = \min(k_F/2 \cdot E/t_f \cdot t_w^2/h_w, s_s + c) = 126.7 \text{ mm}$
 $l_{y,3} = l_e + t_f \cdot (m_1)^{1/2} = 159.9 \text{ mm}$, $m_1 = b/t_w = 17.17$
 Fließlast $F_y = f_y \cdot t_w \cdot l_y = 199.1 \text{ kN}$
 Schlankheitsgrad $\lambda_F = (F_y/F_{cr})^{1/2} = 0.417$
 Abminderungsfaktor $\chi_F = 0.5/\lambda_F = 1.198 > 1 \Rightarrow \chi_F = 1.000$
 wirksame Beullänge $L_{eff} = \chi_F \cdot l_y = 159.9 \text{ mm}$
 Beulwiderstand $F_{z,Rd} = f_y \cdot L_{eff} \cdot t_w / \gamma_{M1} = 180.99 \text{ kN}$
 Nachweis
 $F_{z,Ed}/F_{z,Rd} = 0.414 < 1$ ok

Der Interaktionsnachweis wird mit den Ausnutzungen aus Querlast und Vergleichsspannung geführt.

Interaktion (ohne Platten-/Schubbeulen)
 Querbelastung und Vergleichsspannung $(\eta_2 + 0.8 \cdot \eta_1) / 1.4 = 0.929 < 1$ ok
 mit $\eta_2 = F_{z,Ed}/F_{z,Rd} = 0.414$, $\eta_1 = \max U_o = 1.107$

4.3.6

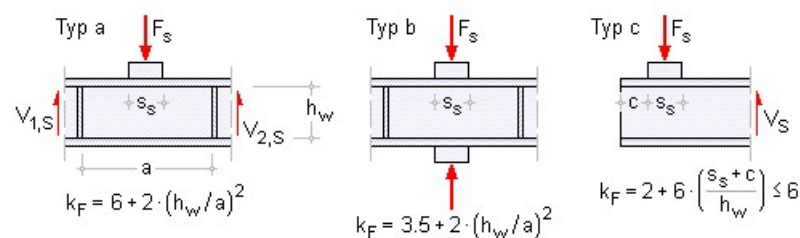
Nachweisführung Querlastbeulen

Der Nachweis der rippenlosen Lasteinleitung wird geführt, wenn keine zwischenliegenden Rippen im Bereich der Querlast angeordnet sind.

Voraussetzung: Der Trägerquerschnitt ist nicht beulgefährdet, d.h. Platten- und Schubbeulen sind ausgeschlossen bzw. werden nicht untersucht.

Querlasten werden über die Flansche in den Steg eingeleitet. Es werden drei Arten der Lasteinleitung (ohne Quersteifen) unterschieden, die zu unterschiedlichen Beulwerten führen.

EC 3-1-5, Bild 6.1 - Beulwerte für verschiedene Arten der Lasteinleitung



Bei einer Konsole ist nur Typ c (freies Trägerende ohne Steifen) relevant.

Bemessungswert der Beanspruchbarkeit

$$F_{Rd} = f_{yw} \cdot L_{eff} \cdot t_w / \gamma_{M1}$$

L_{eff} wirksame Lasteinleitungslänge unter Berücksichtigung des Stegbeulens bei Querlasten $L_{eff} = \chi_F \cdot l_y$

l_y wirksame Lasteinleitungslänge ohne Stegbeulen

$$l_y = s_s + 2 \cdot t_f \cdot (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) \leq a \quad \dots \text{für Typen (a) und (b)}$$

$$l_y = l_e + t_f \cdot \sqrt{0.5 \cdot m_1 + (l_e/t_f)^2 + m_2} \quad \text{für Typ (c)} \quad \dots \text{mit } \dots$$

$$l_e = (k_F \cdot E \cdot t_w^2) / (2 \cdot f_{yw} \cdot h_w) \leq s_s + c$$

$$m_1 = (f_{yf} \cdot b_f) / (f_{yw} \cdot t_w)$$

$$m_2 = 0.02 \cdot (h_w/t_f)^2 \quad \dots \text{für } \dots \bar{\lambda}_F > 0.5 \quad \dots \text{sonst } \dots m_2 = 0 \quad (\text{grundsätzlich empfohlen})$$

$$\chi_F = 0.5 / \bar{\lambda}_F \quad \text{Abminderungsfaktor infolge Stegbeulen bei Querlasten}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{l_y \cdot t_w \cdot f_{yw} / F_{cr}} \quad \text{Beulschlankheitsgrad}$$

$$F_{cr} = 0.9 \cdot k_F \cdot E \cdot t_w^3 / h_w \quad \text{Ersatzverzweigungslast}$$

k_F Beulwert für Stege ohne Längssteifen s. Bild 6.1

$$k_F = 6 + 2 \cdot (h_w/a)^2 + (5.44 \cdot b_1/a - 0.21) \cdot \sqrt{\gamma_s} \quad \text{Beulwert für Stege mit Längssteifen}$$

gilt für $0.05 \leq b_1/a \leq 0.3$ und $b_1/h_w \leq 0.3$ für Typ (a)

b_1 Höhe des belasteten Einzelfelds als lichter Abstand zwischen dem belasteten Flansch und der ersten Steife

$$\gamma_s = 10.9 \cdot I_{sl,1} / (h_w \cdot t_w^3) \leq 13 \cdot (a/h_w)^3 + 210 \cdot (0.3 - b_1/a)$$

$I_{sl,1}$ Flächenträgheitsmoment der zu dem belasteten Flansch am nächsten gelegenen Steife einschließlich der wirksamen Stegbreite, wobei $15 \cdot s \cdot t \leq$ lichter Abstand der Steifen

Der Abminderungsfaktor infolge Stegbeulen bei Querlasten wird nach NA-DE berechnet mit

$$\chi_F = 1 / \left(\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \bar{\lambda}_F} \right) \leq 1 \quad \dots \text{mit } \dots \varphi = 0.5 \cdot (1 + 0.21 \cdot (\bar{\lambda}_F - 0.80)) + \bar{\lambda}_F$$

Beulschlankheitsgrad $\bar{\lambda}_F$ (s.o.) mit $m_2 = 0$

Nachweis

$$\eta_2 = F_{Ed} / F_{Rd} \leq 1$$

Interaktion zwischen Querbelastung, Biegemoment und Normalkraft

$$\eta_2 + 0.8 \cdot \eta_1 \leq 1.4 \quad \dots \text{mit } \dots \eta_1 \text{ Ausnutzung aus Biegemoment und Normalkraft}$$

Wirkt eine Querlast auf den Zugflansch, ist der Interaktionsnachweis nicht zu führen. Allerdings ist ein elastischer Spannungsnachweis erforderlich.

Interaktion zwischen Querbelastung und Querkraft (nur NA-DE)

$$\left(\eta_3 \cdot (1 - F_{Ed} / (2 \cdot V_{Ed})) \right)^{1.6} + \eta_2 \leq 1 \quad \dots \text{mit } \dots \eta_3 \text{ Ausnutzung aus Querkraft}$$

4.4

Theorie Ermüdung EC 3-1-9

4.4.1

Allgemeines

Die Materialermüdung ist eine der grundlegenden Schadensursachen im Stahlbau.

Bei Tragwerken unter wiederkehrenden veränderlichen Einwirkungen können Schäden durch Rissbildung und Risswachstum entstehen, die im Laufe der Zeit zum Verlust des Bauteilwiderstands führen. Ermüdungsrisse entstehen meist im Bereich von Spannungsspitzen an geometrischen Diskontinuitäten (Verarbeitungs-, Schweiß- oder Verbindungsdetails).

Eine wiederholte veränderliche Belastung, die weit unterhalb der statischen Traglast liegen kann, führt zu Spannungswechseln, die zum vorzeitigen Versagen führen können. Die Anzahl der Spannungswechsel definiert die Lebensdauer eines Bauteils, die wiederum maßgeblich abhängig ist von

- der Spannungsschwingbreite, definiert als die Differenz der größten zur kleinsten Spannung an einer Stelle
- der Kerbwirkung, da Kerben (Diskontinuitäten) zu einer Störung des Kraftflusses innerhalb eines Bauteils und damit zu Spannungsspitzen führen
- den Werkstoffeigenschaften, da sich bei nicht geschweißten Bauteilen gezeigt hat, dass eine erhöhte Zugfestigkeit i.d.R. einen günstigen Einfluss auf die Lebensdauer hat

Bei der Bestimmung der Ermüdungsfestigkeit wird anstelle der vorhandenen Spannungsschwingbreite, die auf Grund der regellosen Beanspruchung nur schwer abzuschätzen ist, auf Grundlage der Theorie der Schadensakkumulation eine äquivalente Spannungsschwingbreite berechnet, die bei einer bestimmten Anzahl von Spannungsschwingspielen und bei gegebener Ermüdungsfestigkeitskurve den gleichen Gesamtschaden D ergibt.

$$\Delta\sigma_E = \left(\frac{(1/D) \cdot \sum_{i=1}^k \Delta\sigma_i^m \cdot n_i^{1/m}}{N_{\text{tot}}} \right)$$

$\Delta\sigma_E$	äquivalente Spannungsschwingbreite
D	Gesamtwert der Schädigung
$\Delta\sigma_i$	Spannungsschwingbreite i
n_i	Anzahl des Auftretens der Spannungsschwingbreiten i
N_{tot}	Gesamtzahl der Spannungsschwingspiele
m	Steigung der Ermüdungsfestigkeitskurve
k	Anzahl der Spannungsschwingbreiten

Diese Spannungsschwingbreite wird nach dem Konzept des Schadensäquivalenzfaktors in eine ingenieurmäßig praktikablere Form gebracht, indem für einen festgelegten Bezugswert $N_{\text{tot}} = 2 \cdot 10^6$ sich infolge einer normierten Ermüdungslast mittels des Schadensäquivalenzfaktors λ ergibt

$$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda \cdot \Delta\sigma(\gamma_{Ff} \cdot Q_k)$$

$\Delta\sigma_{E,2}$	äquivalente Spannungsschwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Schwingspielen
λ	Schadensäquivalenzfaktor
$\Delta\sigma(\gamma_{Ff} \cdot Q_k)$	Spannungsschwingbreite aus dem Ermüdungslastmodell infolge der normierten Ermüdungslast $\gamma_{Ff} \cdot Q_k$

Ermüdungslastmodell und Schadensäquivalenzfaktor sind in den zuständigen Normen geregelt. Im Folgenden wird sich auf EC 3-1-9, Ermüdung, und EC 3-6, Kranbahnen, bezogen (s. Literatur Abs. 7, S. 64).

Die Ermittlung der Ermüdungslasten erfolgt über Ermüdungslastmodelle, die sich normalerweise von den Grenzzuständen der Tragfähigkeit (GZT) und den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (GZG) unterscheiden.

Dementsprechend resultieren die verwendeten Schnittgrößenkombinationen aus dem Grenzzustand der Ermüdung (GZE), der entweder im EC 1, Einwirkungen, oder in speziellen Vorschriften (z.B. für Stahlbrücken EC 3-2, für Türme und Maste EC 3-3-1, für Schornsteine EC 3-3-2, für Silos EC 3-4-1, für Tankbauwerke EC 3-4-2, für Kranbahnen EC 3-6) bestimmt ist.

Für Kranbahnen ist kein separates Lastmodell definiert, es wird das statische Lastmodell mit den Ermüdungslasten nach EC 1-3, 2.12, verwendet.

Die ermüdungsrelevante Belastung setzt sich aus den vertikalen Eigengewichts- und Hublasten sowie den horizontalen Fahr- und Spurführungslasten zusammen.

Die schadensäquivalente Ermüdungslast aus der Kranbahn wird berechnet zu

$$Q_e = \varphi_{fat} \cdot \lambda \cdot Q_{max,i}$$

Q_e Ermüdungslast
 φ_{fat} schadensäquivalenter dynamischer Faktor
 $Q_{max,i}$ Maximalwert der charakteristischen vertikalen Radlast

Der schadensäquivalente dynamische Faktor kann angenommen werden zu

$$\varphi_{fat,1} = \frac{1+\varphi_1}{2} \dots \text{und} \dots \varphi_{fat,2} = \frac{1+\varphi_2}{2} \dots \text{mit} \dots$$

φ_1, φ_2 aus EC 1-3, Tab. 2.4

In Abhängigkeit der Gesamtzahl von Arbeitsspielen und der Lastkollektivklasse können die Ermüdungseinwirkungen von Kranen mit Hilfe von EC 1-3, Tab. 2.11, in Klassen S_0 bis S_9 eingeteilt werden. Für diese Kranklassen lassen sich die schadensäquivalenten Beiwerte λ aus EC 1-3, Tab. 2.12, ablesen.

Klassen	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9
Normalspg.	0.198	0.250	0.315	0.397	0.500	0.630	0.794	1.00	1.260	1.587
Schubspg.	0.379	0.436	0.500	0.575	0.660	0.758	0.871	1.00	1.149	1.320

Werden mehrere Krane eingesetzt, ist nach EC 3-6, 9.4.2, die Summe der Schädigungsanteile der unabhängig wirkenden Einzelkrane mit der Summe der zeitweise gemeinsam wirkenden Krane zu addieren.

$$\sum_i D_i + D_{dup} \leq 1$$

D_i Schädigung infolge eines einzelnen unabhängig wirkenden Krans i
 D_{dup} zusätzliche Schädigung infolge der Kombination von zwei oder mehr Krane, die zeitweise zusammenwirken

4.4.2

Bemessungskonzept

Der Ermüdungsnachweis ist entweder nach dem Konzept der Schadenstoleranz oder dem Konzept der ausreichenden Sicherheit gegen Ermüdungsversagen ohne Vorankündigung durchzuführen. Die geforderte Zuverlässigkeit kann durch Festlegung des Materialsicherheitsbeiwerts erreicht werden (s. EC 3-1-9, Tab. 3.1).

Bemessungskonzept	Schadensfolgen	
	niedrig	hoch
Schadenstoleranz	1.00	1.15
Sicherheit gg. Ermüdungsversagen ohne Vorankündigung	1.15	1.35

4.4.3

Beanspruchungen

Für den Ermüdungsnachweis können die Spannungen als Nennspannungen bzw. korrigierte Nennspannungen oder als Strukturspannungen ermittelt werden.

Die Bestimmung der Nennspannungen beruht auf dem elastischen Verhalten von Bauteilen. Sie werden auf Gebrauchsniveau an der Stelle der potentiellen Rissentstehung berechnet.

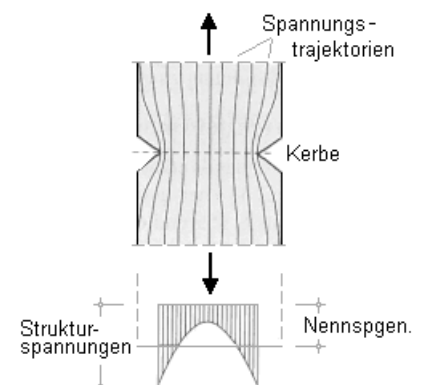
Die Spannungsschwingbreite der Nennspannungen wird bestimmt mit

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E,2} = \lambda \cdot \Delta \sigma (\gamma_{Ff} \cdot Q_k)$$

Um außerplanmäßige Spannungserhöhungen zu erfassen, wie sie z.B. bei abrupten Querschnittsänderungen in Nähe der Rissentstehung auftreten, werden korrigierte Nennspannungen verwendet.

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E,2} = k_f \cdot \lambda \cdot \Delta \sigma (\gamma_{Ff} \cdot Q_k)$$

k_f Spannungskonzentrationsfaktor zur Berücksichtigung der lokalen Spannungserhöhung in Bezug auf die Kerbfallsituation der Bezugs-Wöhlerlinie



Strukturspannungen sind realitätsnahe Kerbspannungen, die z.B. bei voll durchgeschweißten Stumpfnähten oder an Nahtübergängen von unbelasteten Kehlnähten zum Tragen kommen.

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E,2} = k_f (\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E,2})$$

Spannungskonzentrationsfaktoren (Kerbfaktoren) können der Literatur entnommen werden.

4.4.4

Ermüdungsnachweis

Das Nennspannungskonzept wird verwendet. Die Spannungsschwingbreiten werden im GZE, d.h. nach EC 3-1-9, 8(1), infolge der häufig auftretenden Lasten, ermittelt.

Die Spannungen werden je nach Kerbrichtung unterschieden in globale Längs- und Schubspannungen σ_x und τ_{xz} aus globaler Tragwirkung und lokale Längs- und Schubspannungen σ_{oz} und τ_o am Obergurt bzw. σ_{uz} und τ_u am Untergurt z.B. aus der Kranbahn.

Die Spannungsdifferenzen werden für die globale Tragwirkung gebildet mit

$$\Delta \sigma_{x,global} = \sigma_{x,max} - \sigma_{x,min} \dots \text{und} \dots \Delta \tau_{global} = \tau_{xz,max} - \tau_{xz,min}$$

$\sigma_{x,max}, \tau_{xz,max}$ Oberspannung aus Biegung mit/ohne Normalkraft, Querkraft mit/ohne Torsion
 $\sigma_{x,min}, \tau_{xz,min}$ Unterspannung ...

und für die lokale Tragwirkung mit

$$\Delta \sigma_{z,lokal} = \sigma_{oz} \pm \sigma_T \dots \text{und} \dots \Delta \tau_{lokal} = 2 \cdot \tau_o \dots \text{bzw.} \dots \Delta \sigma_{z,lokal} = \sigma_{uz} \dots \text{und} \dots \Delta \tau_{lokal} = 2 \cdot \tau_u$$

σ_{oz}, τ_o Normal- u. Schubspannung aus Kranbahn am Obergurt
 σ_{uz}, τ_u ... am Untergurt
 σ_T Stegbiegespannung aus exzentrischer Lasteinleitung

Bei nicht geschweißten oder geschweißten, spannungsarm geglähten Konstruktionen darf der Mittelspannungseinfluss bei Normalspannungen aus globaler Tragwirkung berücksichtigt werden, indem der Druckanteil der Spannungsschwingbreite auf 60 % reduziert wird.

$$\Delta \sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min} \dots \text{wenn } \sigma_{min} \geq 0$$

$$\Delta \sigma = 0.6 \cdot (\sigma_{max} - \sigma_{min}) \dots \text{wenn } \sigma_{max} \leq 0$$

$$\Delta \sigma = \sigma_{max} - 0.6 \cdot \sigma_{min} \dots \text{sonst}$$



Werden die Spannungsschwingbreiten nur aus veränderlichen Lasten ermittelt, darf der Mittelspannungseinfluss nicht berücksichtigt werden.

Die Spannungen sind zu begrenzen auf

$$\Delta \sigma \leq 1.5 \cdot f_y \quad \text{für Längsspannungen}$$

$$\Delta \tau \leq 1.5 \cdot f_y / \sqrt{3} \quad \text{für Schubspannungen}$$

Die Ermüdungsnachweise sind zu führen mit

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E,2}}{\Delta \sigma_C / \gamma_{Mf}} \leq 1.0 \dots \text{und} \dots \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_{E,2}}{\Delta \tau_C / \gamma_{Mf}} \leq 1.0$$

$\Delta \sigma_C, \Delta \tau_C$ Ermüdungsfestigkeit bei $2 \cdot 10^6$ Schwingspielen für Normal- bzw. Schubspannungen
 γ_{Ff} Last-Sicherheitsbeiwert für Nachweise im GZE, i.A. $\gamma_{Ff} = 1.0$
 γ_{Mf} Material-Sicherheitsbeiwert für Nachweise im GZE

Bei gleichzeitiger Wirkung von $\Delta \sigma_{E,2}$ und $\Delta \tau_{E,2}$ gilt die Interaktionsbeziehung

$$\left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E,2}}{\Delta \sigma_C / \gamma_{Mf}} \right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_{E,2}}{\Delta \tau_C / \gamma_{Mf}} \right)^5 \leq 1.0$$

Jedoch darf der Einfluss der Schubspannungen vernachlässigt werden, wenn gilt

$$\Delta \tau \leq 0.15 \cdot \Delta \sigma$$

Bei einem n_R -achsigen Kran wird der Steg während einer Kranüberfahrt infolge n_R Radlasten lokal durch n_R Spannungszyklen beansprucht. Deren gemeinsame Wirkung ist durch die Summe der Einzelschädigungen zu berücksichtigen.

$$n_R \cdot \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{z,lokal,E,2}}{\Delta \sigma_{z,C} / \gamma_{Mf}} \right)^3 \leq 1.0 \dots \text{bzw.} \dots n_R \cdot \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_{lokal,E,2}}{\Delta \tau_C / \gamma_{Mf}} \right)^5 \leq 1.0$$

n_R Anzahl der Kranachsen

Es kann gezeigt werden, dass eine Vervielfachung der Spannungsspiele durch eine Erhöhung der Beanspruchungsgruppe um $n_R/2$ kompensiert werden kann. Bei einem zweiachsigen Kran wird daher beispielsweise die Beanspruchungsgruppe S_i erhöht auf S_{i+1} .

Außerdem ist die Kerbwirkung zu beachten, d.h. in welcher Richtung der zu erwartende Riss verläuft. Z.B. erzeugen die lokalen Spannungen aus einer Kranbahn senkrecht verlaufende Risse, während aus den globalen Spannungen am Träger waagerechte Risse resultieren.

Daher sind an einigen Kerbpunkten Spannungsdifferenzen beider Normalspannungen zu berücksichtigen. Unter dieser Voraussetzung kann **pcae** der Interaktionsbeziehung von Seeßelberg (s. Literatur Abs. 7, S. 64) folgen mit

$$\left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{x,E,2}}{\Delta \sigma_C / \gamma_{Mf}} \right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{z,E,2}}{\Delta \sigma_C / \gamma_{Mf}} \right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_{E,2}}{\Delta \tau_C / \gamma_{Mf}} \right)^5 \leq 1,0$$

Alternativ schlagen Nussbaumer/Günther ohne Erhöhung der Beanspruchungsgruppe (s. Literatur) vor

$$\left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{x,E,2}}{\Delta \sigma_{x,C} / \gamma_{Mf}} \right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_{E,2}}{\Delta \tau_C / \gamma_{Mf}} \right)^5 + n_R \cdot \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{z, \text{lokal}, E, 2}}{\Delta \sigma_{z,C} / \gamma_{Mf}} \right)^3 + n_R \cdot \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_{\text{lokal}, E, 2}}{\Delta \tau_C / \gamma_{Mf}} \right)^5 \leq 1,0$$

4.4.5

Kerbfalltabellen

In den Tabellen 8.1 bis 8.10 des EC 3-1-9 werden die Ermüdungsfestigkeiten für wesentliche typisierte Kerbfälle angegeben. Die Bezeichnung der Kerbfälle richtet sich nach deren maximaler Ermüdungsfestigkeit.

Im Programm **EC3EM** werden folgende Kerbfälle verwendet

Tab. 8.1	160, 125, 100 und 90
Tab. 8.2	100
Tab. 8.4	80, 71, 56, 80 und 71
Tab. 8.5	80, 71, 63, 56, 50, 45, 40, 56*, 50, 45, 40, 36 und 80
Tab. 8.10	160, 71 und 36*

4.4.6

Beispiel

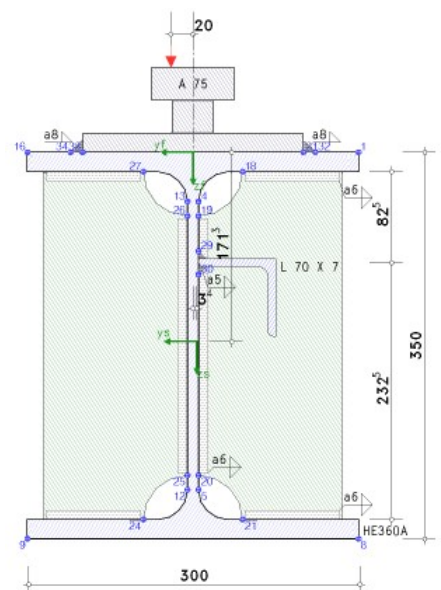
Für einen längsversteiften Kranbahnträger (HEA360, eine Steife L 70x7, Stahlgüte S 235) wird im Bereich des Mittelaufagers (Quersteife 130x7, Abstand $a = 3.0$ m) der Ermüdungsnachweis an den maßgebenden Kerbpunkten geführt.

Die Kranbahn (Kranklasse S3) läuft auf einer Schiene A 75, die schubfest an den Träger angeschweißt ist.

Die Last wird exzentrisch eingeleitet.

Die relevanten Kerbpunkte des Trägerprofils sind seine äußeren Ecken (Pkte. 1, 8, 9, 16) und die Ausrundungen am Steg (Pkte. 4, 5, 12, 13).

Weitere Kerbpunkte ergeben sich infolge der Schweißnähte der Quersteife (Pkte. 18, 21, 24, 27 an den Flanschen, Pkte. 19, 20, 25, 26 am Steg), der Längssteife (Pkte. 29, 30) sowie durch die Befestigung der Kranbahnschiene am Trägerflansch (Pkte. 31, 32, 33, 34).



Bei normenkonformer Berechnung sind für die zulässigen Kerbspansnungen $\Delta \sigma_{Rd}$, $\Delta \tau_{Rd}$ die zuständigen Abschnitte des EC 3-1-9 angegeben.

Pkt	yf mm	zf mm	$\Delta\sigma_{x,Rd}$ N/mm ²	$\Delta\tau_{Rd}$ N/mm ²	$\Delta\sigma_{z,Rd}$ N/mm ²	Kerbpunkt	EC 3-1-9, Tab.
1	-150.0	0.0	160.0	0.0	0.0	am Obergurt	8.1(2)
4	-5.0	44.5	160.0	100.0	160.0	am Trägersteg	8.1(2) 8.1(6) 8.10(1)
5	-5.0	305.5	160.0	100.0	0.0	am Trägersteg	8.1(2) 8.1(6)
8	-150.0	350.0	160.0	0.0	0.0	am Untergurt	8.1(2)
9	150.0	350.0	160.0	0.0	0.0	am Untergurt	8.1(2)
12	5.0	305.5	160.0	100.0	0.0	am Trägersteg	8.1(2) 8.1(6)
13	5.0	44.5	160.0	100.0	160.0	am Trägersteg	8.1(2) 8.1(6) 8.10(1)
16	150.0	0.0	160.0	0.0	0.0	am Obergurt	8.1(2)
18	-45.0	17.5	80.0	0.0	0.0	infolge Quersteife	8.4(7)
19	-5.0	57.5	80.0	100.0	100.0	infolge Quersteife	8.4(7) 8.1(6) 8.2(7)
20	-5.0	292.5	80.0	100.0	0.0	infolge Quersteife	8.4(7) 8.1(6)
21	-45.0	332.5	80.0	0.0	0.0	infolge Quersteife	8.4(7)
24	45.0	332.5	80.0	0.0	0.0	infolge Quersteife	8.4(7)
25	5.0	292.5	80.0	100.0	0.0	infolge Quersteife	8.4(7) 8.1(6)
26	5.0	57.5	80.0	100.0	100.0	infolge Quersteife	8.4(7) 8.1(6) 8.2(7)
27	45.0	17.5	80.0	0.0	0.0	infolge Quersteife	8.4(7)
29	-5.0	89.4	56.0	100.0	0.0	infolge Längssteife	8.4(1) 8.1(6)
30	-5.0	110.6	56.0	100.0	0.0	infolge Längssteife	8.4(1) 8.1(6)
* 31	-100.0	0.0	36.0	80.0	0.0	infolge Kranbahn	8.5(3) 8.5(8)
32	-107.0	0.0	100.0	0.0	0.0	infolge Kranbahn	8.2(7)
* 33	100.0	0.0	36.0	80.0	0.0	infolge Kranbahn	8.5(3) 8.5(8)
34	107.0	0.0	100.0	0.0	0.0	infolge Kranbahn	8.2(7)

*) Nachweis der Schweißnaht

Für die mit * gekennzeichneten Kerbpunkte sind die Spannungen bezogen auf die Schweißnähte (z.B. wegen eines Wurzelrisses) zu ermitteln; alle anderen Kerbpunktspannungen beziehen sich auf das Trägerprofil.

Die Schadensäquivalenzfaktoren werden für die Kranklassen S3 (vorgegeben) und S4 (Erhöhung wegen zweier Überfahrten) angegeben mit

$$\text{Krankklasse S3: } \lambda_{\sigma} = 0.397, \lambda_{\tau} = 0.575$$

$$\text{S4: } \lambda_{\sigma*} = 0.500, \lambda_{\tau*} = 0.660$$

Das Sicherheitsniveau liegt für das Bemessungskonzept der Schadenstoleranz bei hoher Schadensfolge bei $\gamma_{Mf} = 1.15$.

Zunächst werden die Querschnittswerte für die lineare Spannungsberechnung bereitgestellt.

Querschnittswerte

$$A = 152.20 \text{ cm}^2, z_s = 171.3 \text{ mm}, I_y = 33439.16 \text{ cm}^4, y_s = 3.4 \text{ mm}, I_z = 8198.64 \text{ cm}^4$$

Die wirksame Lasteinleitungslänge und die lokalen Spannungen aus der Kranbahn werden berechnet

wirksame Lasteinleitungslänge aus der Kranbahn

$$\text{effektive Breite } b_{\text{eff}} = b_r + h_r + t_{f0} = 294.5 \text{ mm} \leq b_{r0}$$

$$\text{Trägheitsmoment Schiene mit Trägerflansch } I_{rf} = 1059.39 \text{ cm}^4$$

$$\text{effektive Länge } l_{\text{eff}} = 3.25 \cdot (I_{rf}/t_w)^{1/3} = 331.3 \text{ mm}$$

lokale Spannungen aus der Kranbahn

wirksame Lasteinleitungslänge bezogen ...

$$\text{... auf die Flanschaußenkante } s_s = l_{\text{eff}} - 2 \cdot t_f = 296.3 \text{ mm} / \text{... auf den Steg } s_w = l_{\text{eff}} + 2 \cdot r = 385.3 \text{ mm}$$

lokale Spannungen ...

$$\text{... an der Schiene } \sigma_{\sigma z} = -27.0 \text{ N/mm}^2, \tau_0 = 5.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{... am Trägersteg } \sigma_{\sigma z} = -20.8 \text{ N/mm}^2, \tau_0 = 4.2 \text{ N/mm}^2$$

Stegbiegespannung

$$M_{T,Ed} = F_{z,Ed} \cdot e_y = 1.60 \text{ kNm} \Rightarrow \sigma_T = (6 \cdot M_{T,Ed}) / (a \cdot t_w^2) \cdot \eta \cdot \tanh(\eta) = 36.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{mit } \eta = ((0.75 \cdot a \cdot t_w^3) / I_t \cdot \sinh^2(\pi \cdot h_w / a) / (\sinh^2(2 \cdot \pi \cdot h_w / a) - 2 \cdot \pi \cdot h_w / a))^{0.5} = 1.323, I_t = 296.59 \text{ cm}^4$$

Zur Ermittlung der globalen Spannungen sind ggf. die Biegemomente auf den versteiften Querschnitt zu beziehen. An jedem aktiven Kerbpunkt werden die Normal- und Schubspannungen σ_x und τ_{xz} aller Lastkollektive (s. Schnittgrößen Abs. 3.4, S. 23) berechnet.

Mit den lokalen Spannungen $\sigma_{\sigma z}$, τ_0 und σ_T (s.o.) ergeben sich die Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_{x,Ed}$, $\Delta\tau_{Ed}$, $\Delta\sigma_{z,Ed}$.

Im Folgenden wird der Berechnungsablauf exemplarisch für zwei Lastkollektive im Kerbpunkt 26 (Quersteife am Steg oben) gezeigt. Da sich die eingegebenen Schnittgrößen im GZE auf den unversteiften Querschnitt beziehen, sind die Biegemomente zu transformieren.

Biegemomente bezogen auf den versteiften Querschnitt

$$M_{y,Ed'} = M_{y,Ed} - N_{Ed} \cdot \Delta z_s \quad (\Delta z_s = -3.7 \text{ mm}), \quad M_{z,Ed'} = M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot \Delta y_s \quad (\Delta y_s = -3.4 \text{ mm})$$

$$\text{Lk 1: } M_{y,Ed'} = -30.2 \text{ kNm} \quad M_{z,Ed'} = 3.5 \text{ kNm}$$

$$\text{Lk 2: } M_{y,Ed'} = -145.8 \text{ kNm} \quad M_{z,Ed'} = -1.3 \text{ kNm}$$

Die Spannungsschwingbreiten ergeben sich damit zu

elastische Spannungen / Spannungsschwingbreiten

$$\Delta\sigma_{x,Ed} = \sigma_{x,max} - \sigma_{x,min}, \quad \tau_{Ed} = \tau_{xz,max} - \tau_{xz,min} + 2 \cdot \tau_{0}, \quad \Delta\sigma_{z,Ed} = -\sigma_{0z} \pm \sigma_I$$

Pkt. 26: $y_I = 5.0 \text{ mm}$, $z_I = 57.5 \text{ mm}$

Lk 1: $\sigma_x = 10.0 \text{ N/mm}^2$

$\tau_{xz} = 9.0 \text{ N/mm}^2$

2: $\sigma_x = 49.1 \text{ N/mm}^2$

$\tau_{xz} = 39.1 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\sigma_{x,Ed} = 39.0 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\tau_{Ed} = 38.4 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\sigma_{z,Ed} = 57.5 \text{ N/mm}^2$

mit

$$\Delta\sigma_{x,Ed} = 49.1 - 10.0 \approx 39.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\tau_{Ed} = (39.1 - 9.0) + 2 \cdot 4.2 \approx 38.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_{z,Ed} = -(-20.8) + 36.7 = 57.5 \text{ N/mm}^2$$

Mit den entsprechenden Schadensäquivalenzfaktoren für Normal- und Schubspannung ergeben sich die Spannungsschwingbreiten infolge Ermüdung zu

Spannungsschwingbreiten infolge Ermüdung

$$\Delta\sigma_{x,I} = \Delta\sigma_{x,Ed} \lambda_{\sigma}, \quad \Delta\tau_I = \Delta\tau_{Ed} \lambda_{\tau}, \quad \Delta\sigma_{z,I} = \Delta\sigma_{z,Ed} \lambda_{\sigma}$$

Pkt. 26: $y_I = 5.0 \text{ mm}$, $z_I = 57.5 \text{ mm}$

($\lambda_{\sigma I+}$) $\Delta\sigma_{x,I} = 15.5 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\tau_I = 25.3 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\sigma_{z,I} = 28.7 \text{ N/mm}^2$

wobei an diesem Kerbpunkt die Schadensäquivalenzfaktoren für die höhere Kranklasse ($\lambda_{\sigma I+}$) zu verwenden sind. Mit den zulässigen Kerbspannungen kann der Ermüdungsnachweis geführt werden.

zul. Kerbspannungen

$$\Delta\sigma_{x,Rd,I} = \Delta\sigma_{x,Rd} \gamma_{MI}, \quad \Delta\tau_{Rd,I} = \Delta\tau_{Rd} \gamma_{MI}, \quad \Delta\sigma_{z,Rd,I} = \Delta\sigma_{z,Rd} \gamma_{MI}$$

Pkt. 26: $y_I = 5.0 \text{ mm}$, $z_I = 57.5 \text{ mm}$

$\Delta\sigma_{x,Rd,I} = 69.6 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\tau_{Rd,I} = 87.0 \text{ N/mm}^2$

$\Delta\sigma_{z,Rd,I} = 87.0 \text{ N/mm}^2$

Nachweis der Kerbspannungen

Pkt. 26: $y = 5.0 \text{ mm}$, $z = 57.5 \text{ mm}$

$$\Delta\sigma_{x,I} = 15.5 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{x,Rd,I} = 69.6 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.223 \text{ ok.}$$

$$\Delta\tau_I = 25.3 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{Rd,I} = 87.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\tau} = 0.291 \text{ ok.}$$

$$\Delta\sigma_{z,I} = 28.7 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{z,Rd,I} = 87.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma z} = 0.331 \text{ ok.}$$

$$\text{Interaktion } U_I = U_{\Delta\sigma x}^3 + U_{\Delta\sigma z}^3 + U_{\Delta\tau}^5 = 0.049 < 1 \text{ ok.}$$

Neben den Nachweisen der einzelnen Spannungsschwingbreiten ist das Zusammenwirken von Normal- und Schubspannungen mittels Interaktion sicherzustellen, da

$$\Delta\tau_{Ed} = 38.4 \text{ N/mm}^2 > 5.9 \text{ N/mm}^2 = 0.15 \cdot \Delta\sigma_{Ed}$$

Im Endergebnis werden die maximale Ausnutzung max U sowie der maßgebende Kerbpunkt ausgegeben.

Endergebnis

Ermüdungsnachweis [Pkt. 33]: $\max U = 0.804 < 1 \text{ ok.}$

Nachweise erbracht

4.5

Berechnungsbeispiel - Beschreibung der Ergebnisse

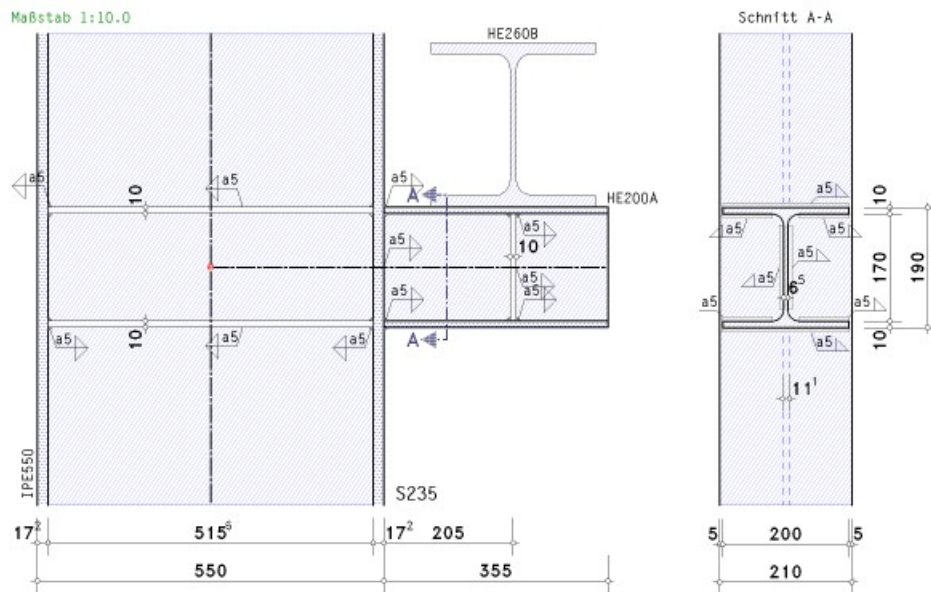
Im Folgenden wird die Berechnung einer Stahlkonsole anhand des Beispiels 2.4: Kranbahnträgerauflager (aus Beispiele zur Bemessung von Stahltragwerken nach DIN EN 1993 Eurocode 3, bauforumstahl e.V. (s. Literatur, Abs. 7, S. 64) vorgestellt.

Es werden die Nachweise der Tragfähigkeit (Lasteinleitung und Träger-Stützenverbindung) und Betriebsfestigkeit (Ermüdung) für eine einachsige Belastungssituation geführt.

Der Lastträger (hier: ein Kranbahnträger) wird nicht nachgewiesen.

Hintergründe zur dargestellten Berechnung finden Sie unter Abs 3.1, S. 11, Nachweise.

Konsole HE200A, Stütze IPE500, S235, $F_{s+v,Ed} = 89 \text{ kN}$, $F_{a,Ed} = 61,5 \text{ kN}$, $F_{Ed,GZE} = 56.91 \text{ kN} / 0.0$, $\Delta a = 205 \text{ mm}$



Die Konsole ist mit 5 mm Kehlnähten an die Stütze geschweißt. In Höhe der Flansche sind Stützensteifen angeordnet. Der Lastträger ist auf der Konsole mit Schrauben befestigt. Da bei einachsiger Beanspruchung die Schraubenverbindung nicht belastet ist, wird sie nicht dargestellt und nachgewiesen.

Die Lasteinleitung in die Konsole erfolgt über eine Quersteife.

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit werden die ständig und veränderliche ($F_{s+v,Ed}$) sowie die außergewöhnliche Bemessungssituation ($F_{a,Ed}$) untersucht. Der Ermüdungsnachweis erfolgt für die Schwingbreite aus $F_{Ed,GZE}$ vorhanden / nicht vorhanden.

4.5.1

Konsole-Stützenverbindung

Die Berechnung wird beispielhaft für Lk 1: $F_{s+v,Ed} = 89 \text{ kN}$ gezeigt.

Die Bemessungskräfte aus dem Lastträger werden in Anschlusschnittgrößen umgerechnet. Mit dem Abstand $(h_c - z_c) + \Delta a = 225 + 205 = 430 \text{ mm}$ ergeben sich zunächst für die Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen von Konsole und Stütze

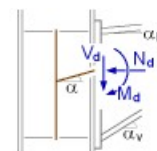
Umrechnung Konsollasten -> Knotenschnittgrößen:
 $M_{j,b1,Ed} = -42.72 \text{ kNm}$, $V_{j,b1,Ed} = 89.00 \text{ kN}$

aus denen die Anschlussgrößen (Hebelarm $(h_c - z_c) = 225 \text{ mm}$) berechnet werden.

Es ist zu beachten, dass der Nachweis der Träger-Stützenverbindung im EC3- Koordinatensystem erfolgt. In diesem Beispiel liegt keine Horizontallast vor, die mit $z_b + \Delta h$ in die Berechnung des Moments einfließt.

Die Bemessungsgrößen wirken senkrecht zur Anschlussebene.

Transformation Statik-KoS -> EC3-KoS
 $M_{j,b,Ed} = 42.72 \text{ kNm}$, $V_{j,b,Ed} = 89.00 \text{ kN}$
 Transformation Knotengrößen -> Anschlussgrößen
 $M_{b,Ed} = 18.24 \text{ kNm}$, $V_{b,Ed} = 89.00 \text{ kN}$
 Transformation Anschlussgrößen -> Bemessungsgrößen
 $M_d = 18.24 \text{ kNm}$, $V_d = 89.00 \text{ kN}$



Querschnittsnachweis

Zunächst wird das Konsolprofil an der Anschlussstelle elastisch nachgewiesen.

Das c/t-Verhältnis gilt als vereinfachter Beulnachweis.

elastischer Spannungsnachweis für $M_y = -18.24 \text{ kNm}$, $V_z = 89.00 \text{ kN}$
Nachweis: $\sigma_v = 137.61 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{v,Rd} = 235.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\sigma} = 0.586 < 1$ **ok**
c/t-Verhältnis: einseitig gestützt: Ausnutzung $U_{c/t} = 0.249 < 1$ **ok**
beidseitig gestützt: Ausnutzung $U_{c/t} = 0.063 < 1$ **ok**

Bei Angabe von Stützenschnittgrößen (hier nicht vorhanden) wird das Stützenprofil ebenfalls nachgewiesen.

Komponentenmethode

Die Berechnung der Verbindung erfolgt über die Komponentenmethode n. EC 3-1-8. Bei einem geschweißten Anschluss sind die Grundkomponenten Gk1, Gk2, Gk3 und Gk7 von Belang.

Die Schweißverbindung selber wird über den Linienquerschnitt nachgewiesen (s.u.).

Die Grundkomponenten beschreiben separate Beanspruchungssituationen, für die Tragfähigkeiten ermittelt werden. Aus ihnen ergeben sich die Biege- und Schubtragfähigkeit, die den einwirkenden Schnittgrößen gegenübergestellt werden.

Auf eine ausführliche Darstellung der Berechnung wird an dieser Stelle verzichtet.

Gk 1: Stützenstegfeld mit Schub
Schlankheit des Stützenstegs $d_0/t_{wc} = 42.13 < 69 \cdot \epsilon = 69.00 \Rightarrow$ Verfahren anwendbar
plastische Schubtragfähigkeit mit Querstreifen $V_{wp,Rd} = 936.9 \text{ kN}$
Gk 2: Stützensteg mit Querdruck
unterer Trägerflansch:
Tragfähigkeit ohne Querstreifen:
Tragfähigkeit eines Stegs mit Querdruckbeanspruchung:
 $F_{c,w,Rd} = \phi \cdot (k_w \cdot \rho \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M1} = 430.18 \text{ kN}$ (maßgebend)
Verstärkung des Stegs durch Querstreifen:
Q-Klasse der Streifen 2 **ok**
Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Streifen:
 $I_{st,min} = 867.87 \text{ cm}^4 > 771.75 \text{ cm}^4 = I_{st}$ **nicht ok !!** \Rightarrow Querstreifen nicht wirksam!
Gk 3: Stützensteg mit Querzug
 $F_{t,wc,Rd} = 493.5 \text{ kN}$
Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druck
unterer Trägerflansch:
plastisches Widerstandsmoment $W_{pl} = 429.448 \text{ cm}^3$
Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck
 $F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 560.67 \text{ kN}$

Für die Biegetragfähigkeit wird die maßgebende Zugtragfähigkeit im oberen Flansch ermittelt. Sie darf nicht größer sein, als die Tragfähigkeit aller Grundkomponenten. Die Biegetragfähigkeit ergibt sich aus der Multiplikation der Zugtragfähigkeit mit dem Hebelarm z.

Abstand der Zugkraft vom Druckpunkt: $z = 180.0 \text{ mm}$

Tragfähigkeit (Zug)
maßgebende Grundkomponenten: 3
 $F_{t,Rd} = 493.5 \text{ kN}$

Abminderungen analog EC 3-1-8, 6.2.7.2(7)

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

Gk 1: $F_{Rd} = 493.5 \text{ kN} < V_{wp,Rd}/\beta_j = 936.9 \text{ kN} \Rightarrow F_{Rd} = 493.5 \text{ kN}$

Gk 2: $F_{Rd} = 493.5 \text{ kN} > F_{c,w,Rd} = 430.2 \text{ kN} \Rightarrow F_{Rd} = 430.2 \text{ kN}$

Gk 7: $F_{Rd} = 430.2 \text{ kN} < F_{c,f,Rd} = 560.7 \text{ kN} \Rightarrow F_{Rd} = 430.2 \text{ kN}$

Tragfähigkeit (endgültig)

$F_{Rd} = 430.2 \text{ kN}$

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts

$M_{j,Rd} = F_{Rd} \cdot z = 77.4 \text{ kNm}$

Die Schubtragfähigkeit wird im Stützenflansch und -steg berechnet.

Schubtragfähigkeit des Stützenflanschs

$V_{cf,Rd} = \tau_{Rd} \cdot t_{fu} \cdot l_{eff} = 312.71 \text{ kN}$, $\tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2$, $t_{fu} = 17.2 \text{ mm}$, $l_{eff} = d_w = 134.0 \text{ mm}$

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

maßgebende Grundkomponente: 1

$V_{wp,Rd} = 936.9 \text{ kN}$

Die Nachweise erfolgen für die Bemessungsgrößen.

Biegemoment: $M_{Ed} = M_d = 18.24 \text{ kNm}$
 senkr. z. Anschlussebene
 Querkraft: $V_{Ed} = |V_d| = 89.00 \text{ kN}$
 paral. z. Anschlussebene
 Schubkraft: $V_{c,w,Ed} = M_d/z - (V_{c1} - V_{c2})/2 = 101.36 \text{ kN}$, $z = 180.0 \text{ mm}$
 im Stützensteg
 Schubkraft: $V_{b,w,Ed} = 89.00 \text{ kN}$
 im Trägersteg

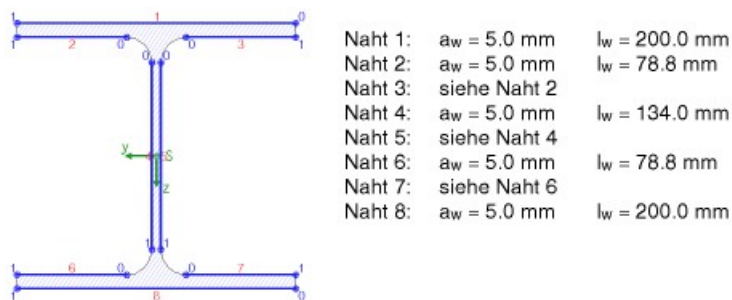
Biegetragfähigkeit
 $M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.236 < 1$ ok

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs
 $V_{c,w,Ed}/V_{wp,Rd} = 0.108 < 1$ ok

Schubtragfähigkeit des Stützenflanschs
 $V_{b,w,Ed}/V_{cf,Rd} = 0.285 < 1$ ok

Schweißnahtnachweis

Die Schweißverbindung wird über den Linienquerschnitt nachgewiesen. Dafür bilden die Schweißnähte ein eigenes dünnwandiges Profil, das die Schnittgrößen überträgt. Vereinfachend und auf der sicheren Seite liegend werden die Schweißnähte in den Ausrundungen und an den Flanschenden nicht berücksichtigt.



Aus den Bemessungsgrößen ergeben sich für die Nähte des Linienquerschnitts Schnittgrößen und daraus zugehörige Spannungen.

Schnittgrößenverteilung:
 Naht 1: $N_w = 55.14 \text{ kN}$
 Naht 2: $N_w = 19.43 \text{ kN}$
 Naht 3: siehe Naht 2
 Naht 4: $M_{y,w} = -0.58 \text{ kNm}$
 Naht 5: siehe Naht 4
 Naht 6: $N_w = -19.43 \text{ kN}$
 Naht 7: siehe Naht 6
 Naht 8: $N_w = -55.14 \text{ kN}$
 aus konventioneller Querkraftaufteilung: $V_{z,w} = 89.00 \text{ kN}$

Extremale Spannungen:
 $\sigma_{w,x,max} = 55.1 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{w,x,min} = -55.1 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z,max} = 66.4 \text{ N/mm}^2$

Die Spannungen werden mit dem vereinfachten Verfahren nachgewiesen.

Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

Naht	Pkt.	$\sigma_{w,x}$ [N/mm ²]	$\tau_{w,z}$ [N/mm ²]	U_w
Naht 1,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 55.14 \text{ N/mm}^2$		$\Rightarrow U_w = 0.265 < 1$ ok
Naht 2,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 49.34 \text{ N/mm}^2$		$\Rightarrow U_w = 0.237 < 1$ ok
Naht 4,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 38.89 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 66.42 \text{ N/mm}^2$	$\Rightarrow U_w = 0.370 < 1$ ok
	Pkt. 1:	$\sigma_{w,x} = -38.89 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 66.42 \text{ N/mm}^2$	$\Rightarrow U_w = 0.370 < 1$ ok
Naht 6,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = -49.34 \text{ N/mm}^2$		$\Rightarrow U_w = 0.237 < 1$ ok
Naht 8,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = -55.14 \text{ N/mm}^2$		$\Rightarrow U_w = 0.265 < 1$ ok

Ergebnis:
 Naht 4, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 38.89 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z} = 66.42 \text{ N/mm}^2$
 Max: $F_{w,Ed} = 384.82 \text{ kN/m} < F_{w,Rd} = 1039.23 \text{ kN/m} \Rightarrow U_w = 0.370 < 1$ ok

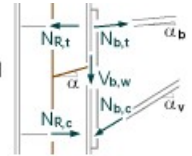
Nachweis der Stegsteifen

Gerade bei hoch belasteten Konsolen ist es sinnvoll und z.T. notwendig, den Steg und das Schubfeld der Stütze durch zwischenliegende Steifen (Rippen) zu entlasten.

Am Beispiel der Drucksteife wird der Rechenweg aufgezeigt.

Die Beanspruchung der Steife ergibt sich aus der Teilschnittgröße $N_{b,c}$ zzgl. dem Anteil aus Querkraft

$$\begin{aligned} N_{b,t} &= -N_d \cdot z_{bu}/z_b + M_d/z_b = 101.36 \text{ kN}, \quad z_b = 180.0 \text{ mm}, \quad z_{bu} = 90.0 \text{ mm} \\ N_{b,c} &= N_d \cdot z_{bo}/z_b + M_d/z_b = 101.36 \text{ kN}, \quad z_b = 180.0 \text{ mm}, \quad z_{bo} = 90.0 \text{ mm} \\ V_{b,t} &= -N_{b,t} \sin(\alpha_b) = 0.00 \text{ kN}, \quad V_{b,c} = N_{b,c} \sin(\alpha_v) = 0.00 \text{ kN}, \quad V_{b,w} = V_d - V_{b,t} - V_{b,c} = 89.00 \text{ kN} \\ N_{R,t} &= N_{b,t} + (V_d \cdot \Delta s)/z_b = 105.61 \text{ kN}, \quad z_b = 180.0 \text{ mm}, \quad \Delta s = t_{fc}/2 = 8.6 \text{ mm} \\ N_{R,c} &= N_{b,c} + (V_d \cdot \Delta s)/z_b = 105.61 \text{ kN}, \quad z_b = 180.0 \text{ mm}, \quad \Delta s = t_{fc}/2 = 8.6 \text{ mm} \end{aligned}$$



Für das dreiseitig angeschweißte Blech werden zunächst der Querschnitt

$$\begin{aligned} F_{c,Ed} &= N_{R,c} = 105.61 \text{ kN} \\ \text{Kräfte je Rippe} \\ F &= 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w)/b_f = 37.95 \text{ kN}, \quad H = F \cdot e_F/e_H = 4.98 \text{ kN} \\ \text{Voraussetzung: Steifen nicht beuggefährdet: Q-Klasse } 2 \leq 3 \quad \text{ok} \\ \text{Querschnitt am Flansch} \\ \text{Drucktragfähigkeit } N_{c,Rd} &= (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 149.11 \text{ kN} \\ \text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} &= (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 38.91 \text{ kN} \\ F_{Ed} = 38.91 \text{ kN} < F_{Rd} = 149.11 \text{ kN} &\Rightarrow U = 0.261 < 1 \quad \text{ok} \\ \text{Querschnitt am Steg} \\ \text{Schubtragfähigkeit } V_{Rd} &= (A_v \cdot f_y) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 601.86 \text{ kN} \\ \text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} &= F = 37.95 \text{ kN} \\ F_{Ed} = 37.95 \text{ kN} < F_{Rd} = 601.86 \text{ kN} &\Rightarrow U = 0.063 < 1 \quad \text{ok} \end{aligned}$$

und dann die Schweißnähte an Flansch und Steg nachgewiesen.

$$\begin{aligned} \text{Schweißnähte am Flansch} \\ \text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} &= 1039.23 \text{ kN/m} \\ \text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} &= (F^2 + H^2)^{1/2} / (2 \cdot b_f) = 301.59 \text{ kN/m}, \quad b_f = 63.4 \text{ mm} \\ F_{Ed} = 301.59 \text{ kN/m} < F_{Rd} = 1039.23 \text{ kN/m} &\Rightarrow U = 0.290 < 1 \quad \text{ok} \\ \text{Schweißnähte am Steg} \\ \text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} &= 1039.23 \text{ kN/m} \\ \text{dreiseitiger Rippenanschluss:} \\ \text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} &= F / (2 \cdot l_1) = 42.77 \text{ kN/m}, \quad l_1 = 443.6 \text{ mm} \\ F_{Ed} = 42.77 \text{ kN/m} < F_{Rd} = 1039.23 \text{ kN/m} &\Rightarrow U = 0.041 < 1 \quad \text{ok} \end{aligned}$$

Die maximale Ausnutzung dieses Nachweispaketes ergibt

$$\text{Maximale Ausnutzung: max } U = 0.586 < 1 \quad \text{ok}$$

4.5.2

Nachweis der Lasteinleitung

Die Berechnung wird beispielhaft für Lk 1: $F_{s+v,Ed} = 89 \text{ kN}$ gezeigt.

Die Belastung fließt aus dem Steg des Lastträgers in den Steg der Konsole, so dass sich die starre Lasteinzugslänge bezogen auf den Steganschnitt ergibt von

$$\begin{aligned} \text{Lasteinzugslänge durch den Lastträger } s_s &= 2 \cdot t_f + t_w + 1.172 \cdot r = 73.1 \text{ mm}, \quad t_f = 17.5 \text{ mm}, \quad t_w = 10.0 \text{ mm} \\ \text{wirksame Lasteinleitungslänge } l_{eff} &= s_s + 2 \cdot t_f = 93.1 \text{ mm}, \quad t_f = 10.0 \text{ mm} \\ \text{Länge der starren Lasteinleitung bezogen auf den Steganschnitt } s_w &= l_{eff} + 2 \cdot r = 129.1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Nachweis der Stegpressung

Die Einzellast wirkt lokal auf den Konsolflansch und -steg, wobei sich am Steganschnitt die größten Querspannungen ergeben.

$$\begin{aligned} \text{Einzellastpressung am Steganschnitt} \\ \text{lokale Normalspannung } \sigma_{oz,Ed} &= -F_{z,Ed}/(t_w \cdot s_w) = -106.0 \text{ N/mm}^2, \quad F_{z,Ed} = 89.0 \text{ kN}, \quad s_w = 129.1 \text{ mm} \\ |\sigma_{oz,Ed}| = 106.0 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 &\Rightarrow U = 0.451 < 1 \quad \text{ok} \end{aligned}$$

Diese sind mit den Schnittgrößen in der Konsole zu überlagern und nachzuweisen.

Analog dem Nachweis der Konsole-Stützeverbindung werden die Bemessungskräfte aus den Anschlusschnittgrößen umgerechnet. Da die Konsole ein Kragarm ist, ergibt sich für dieses Beispiel nur eine Querkraft

$$\begin{aligned} \text{Bemessungsgrößen} \\ V_{z1,Ed} &= 89.00 \text{ kN} \end{aligned}$$

Der Vergleichsspannungsnachweis enthält hier nur Anteile aus Querlast- und Schubspannung im Steg.

Spannungen am Steganschnitt
 Querbelastung $F_{z,Ed} = 89.0 \text{ kN}$
 Schubbeulen: $h_p/t_p = 26.15 \leq 72 \cdot c/\eta_1 = 60.00$ ok
Lk 1: $V_{z,Ed} = 89.0 \text{ kN}$
 Schubspannung $\tau_{xz,Ed} = 49.2 \text{ N/mm}^2$
 $|\tau_{xz,Ed}| = 49.2 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.363 < 1$ ok
 Vergleichsspannung $\sigma_v = (\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{oz,Ed}^2 + \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{oz,Ed} + 3 \cdot \tau_{xz,Ed}^2)^{1/2} = 136.1 \text{ N/mm}^2$
 $\sigma_v = 136.1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.579 < 1$ ok
 Ausnutzung am Steganschnitt $\max U_\sigma = 0.579 < 1$ ok

Nachweis des Querlastbeulens

Sind keine Stegsteifen angeordnet, ist nachzuweisen, dass der Konsolsteg unter der rippenlosen Lasteinleitung nicht ausbeult.

Das Beulfeld ist der Steg (lichte Steghöhe h_w). Der Beulwert wird berechnet für Lasten, die in der Nähe des Trägers ohne Quersteifen eingeleitet werden und mit der Querkraft im Gleichgewicht stehen (Typ c).

Beulfeld $h_w = 170.0 \text{ mm}$, $t_w = 6.5 \text{ mm}$
 Beulwert $k_F = 2 + 6 \cdot ((s_s + c)/h_w) = 9.87$ (Typ c))
 kritische Beullast $F_{cr} = k_F \cdot \sigma_E \cdot t_w \cdot h_w = 3027.7 \text{ kN}$, $\sigma_E = \pi^2 \cdot E / (12 \cdot (1 - \mu^2)) \cdot (t/b')^2 = 277.5 \text{ N/mm}^2$, $b' = 170.0 \text{ mm}$
 wirksame Lastausbreitungslänge $l_y = \min(l_{y,2}, l_{y,3}) = 278.6 \text{ mm}$ mit
 $l_{y,2} = l_e + t_r \cdot (m_1/2 + (l_e/t_r)^2)^{1/2} = 449.7 \text{ mm}$, $l_e = \min(k_F/2 \cdot E / f_y \cdot t_w^2 / h_w, s_s + c) = 223.1 \text{ mm}$
 $l_{y,3} = l_e + t_r \cdot (m_1)^{1/2} = 278.6 \text{ mm}$, $m_1 = b/t_w = 30.77$
 Fließlast $F_y = f_y \cdot t_w \cdot l_y = 425.5 \text{ kN}$
 Schlankheitsgrad $\lambda_{Fy} = (F_y / F_{cr})^{1/2} = 0.375$
 Abminderungsfaktor $\chi_F = 0.5 / \lambda_{Fy} = 1.334 > 1 \Rightarrow \chi_F = 1.000$
 wirksame Beullänge $l_{eff} = \chi_F \cdot l_y = 278.6 \text{ mm}$
 Beulwiderstand $F_{z,Rd} = l_y \cdot l_{eff} \cdot t_w / M_1 = 386.86 \text{ kN}$
 Nachweis
 $F_{z,Ed} / F_{z,Rd} = 0.230 < 1$ ok

Lässt sich der Nachweis der Stegpressung oder des Querlastbeulens nicht erbringen, sind Quersteifen erforderlich, die einen Teil der Querlast übernehmen.

Nachweis der Quersteifen

Der Nachweis der Quersteifen wird analog dem Nachweis der Stegsteifen (s.o.) geführt.

Wenn die Quersteifen nicht versagen ($U_R \leq 1$), ist nur der Anteil der Querlast, der direkt in den Steg geht, bei der Stegpressung zu berücksichtigen. Versagen hingegen die Quersteifen bei der vollen Last ($U_R > 1$), können sie immerhin einen Teil aufnehmen. Der Steg ist für die Restlast nachzuweisen.

Im Beispiel wurden Quersteifen angeordnet, die die volle Querlast aufnehmen können, sodass der Steg nur für die geringe Querlast $F_{z,Ed} = 18.9 \text{ kN}$ nachzuweisen ist. Berechnungsweg s.o.

Einzellastpressung am Steganschnitt:
 reduzierte Querbelastung $F_{z,Ed} = 18.9 \text{ kN}$
 lokale Spannungen $\sigma_{oz,Ed} = -22.5 \text{ N/mm}^2$
 $|\sigma_{oz,Ed}| = 22.5 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.096 < 1$ ok
 Spannungen am Steganschnitt:
 reduzierte Querbelastung $F_{z,Ed} = 18.9 \text{ kN}$
Lk 1: $V_{z,Ed} = 89.0 \text{ kN}$
 Spannungen $\tau_{xz,Ed} = 49.2 \text{ N/mm}^2$
 $|\tau_{xz,Ed}| = 49.2 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.363 < 1$ ok
 $\sigma_v = 88.2 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.375 < 1$ ok
 Ausnutzung am Steganschnitt $\max U_\sigma = 0.375 < 1$ ok

Die maximale Ausnutzung dieses Nachweises ergibt

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.375 < 1$ ok

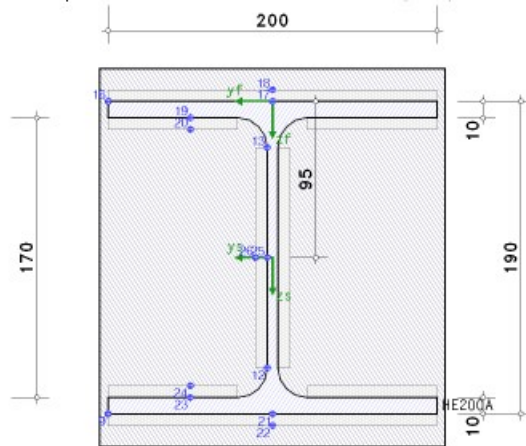
4.5.3

Nachweis der Ermüdung

Die Konsole wird durch den Lastträger dynamisch beansprucht. Daher ist ein Ermüdungsnachweis erforderlich. Er wird an der Lasteinleitungsstelle direkt unter dem Lastträger und für die Verbindung Konsole-Stütze geführt.

Ermüdung der Verbindung Konsole-Stütze

An ausgewählten Stellen der Verbindung erzeugen Kerbpunkte einen möglichen Versagensfall. Da die Belastung einachsig und der Anschluss symmetrisch sind, werden nur die linksseitigen Kerbpunkte betrachtet. Sie befinden sich am Profil, am Blech (hier Stützenflansch) und an den Verbindungselementen (hier Schweißnaht).



Kerbfälle / zul. Kerbspannungen bei $N = 2 \cdot 10^6$ Schwingspielen:

Pkt	y _F mm	z _F mm	$\Delta\sigma_{x,Rd}$ N/mm ²	$\Delta\tau_{Rd}$ N/mm ²	$\Delta\sigma_{z,Rd}$ N/mm ²	Kerbpunkt	EC 3-1-9, Tab.
9	100.0	190.0	160.0	0.0	0.0	am Untergurt	8.1(2)
12	3.2	162.0	160.0	100.0	0.0	am Trägersteg	8.1(2) 8.1(6)
13	3.2	28.0	160.0	100.0	160.0	am Trägersteg	8.1(2) 8.1(6) 8.10(1)
16	100.0	0.0	160.0	0.0	0.0	am Obergurt	8.1(2)
° 17	0.0	0.0	36.0	0.0	0.0	am Blech (Obergurt)	8.5(3)
18	0.0	-7.1	80.0	0.0	0.0	am Blech (Obergurt)	8.5(1)
° 19	50.0	10.0	36.0	0.0	0.0	am Blech (Obergurt)	8.5(3)
20	50.0	17.1	80.0	0.0	0.0	am Blech (Obergurt)	8.5(1)
° 21	0.0	190.0	36.0	0.0	0.0	am Blech (Untergurt)	8.5(3)
22	0.0	197.1	80.0	0.0	0.0	am Blech (Untergurt)	8.5(1)
° 23	50.0	180.0	36.0	0.0	0.0	am Blech (Untergurt)	8.5(3)
24	50.0	172.9	80.0	0.0	0.0	am Blech (Untergurt)	8.5(1)
° 25	3.2	95.0	36.0	80.0	0.0	am Blech (Steg)	8.5(3) 8.5(8)
26	10.3	95.0	0.0	100.0	0.0	am Blech (Steg)	8.2(5)

°: Nachweis der Schweißnaht

Es werden zwei Lastkombinationen untersucht

Umrechnung Konsollasten -> Knotenschnittgrößen:

$$N_{1,Ed} = M_{y1,Ed} = V_{z1,Ed} = 0$$

$$M_{j,b2,Ed} = -27.32 \text{ kNm}, V_{j,b2,Ed} = 56.91 \text{ kN}$$

Bemessungsgrößen

$$N_{1,Ed} = M_{y1,Ed} = V_{z1,Ed} = 0$$

$$M_{y2,Ed} = -11.67 \text{ kNm}, V_{z2,Ed} = 56.91 \text{ kN}$$

Die weitere Berechnung wird beispielhaft für Pkt. 21 (maßgebender Kerbpunkt) gezeigt.

Für jede Lastkombination werden aus den elastischen Spannungen die Spannungsschwingbreiten berechnet

elastische Spannungen / Spannungsschwingbreiten:

$$\Delta\sigma_{x,Ed} = \sigma_{x,max} - \sigma_{x,min}, \quad \tau_{Ed} = \tau_{x,max} - \tau_{x,min}$$

$$\text{Pkt. 21: } y_F = 0.0 \text{ mm}, z_F = 190.0 \text{ mm}$$

$$\text{Lk 1: } \sigma_x = 0.0 \text{ N/mm}^2$$

$$2: \sigma_x = -38.1 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_{x,Ed} = 38.1 \text{ N/mm}^2$$

Mit den Schadensäquivalenzfaktoren werden die Spannungsschwingbreiten für den Nachweis der Ermüdung berechnet,

Spannungsschwingbreiten infolge Ermüdung:

$$\Delta\sigma_{x,i} = \Delta\sigma_{x,Ed} \lambda_{\sigma_i}, \quad \Delta\tau_i = \Delta\tau_{Ed} \lambda_{\tau_i}$$

$$\text{Pkt. 21: } y_F = 0.0 \text{ mm}, z_F = 190.0 \text{ mm}$$

$$\Delta\sigma_{x,f} = 12.0 \text{ N/mm}^2$$

die den zulässigen Bemessungskerbspannungen

zul. Kerbspannungen:

$$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = \Delta\sigma_{x,Rd,f}/M_0, \quad \Delta\tau_{Rd,f} = \Delta\tau_{Rd,f}/M_0$$

Pkt. 21: $y_f = 0.0 \text{ mm}$, $z_f = 190.0 \text{ mm}$

$$\Delta\sigma_{x,Rd,f} = 31.3 \text{ N/mm}^2$$

gegenübergestellt werden.

Nachweis der Kerbspannungen:

Pkt. 21: $y = 0.0 \text{ mm}$, $z = 190.0 \text{ mm}$

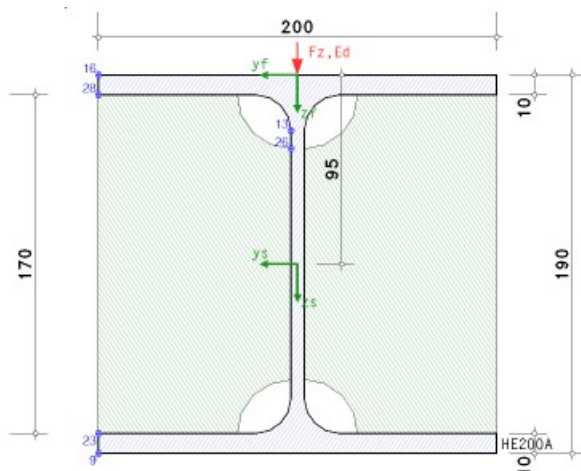
$$\Delta\sigma_{x,f} = 12.0 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 31.3 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.384 \text{ ok}$$

Die maximale Ausnutzung des maßgebenden Kerbpunkts ergibt

$$\text{Ermüdungsnachweis [Pkt. 21]:} \quad \max U = 0.384 < 1 \text{ ok}$$

Ermüdung des Konsolprofils

An der Lasteinleitungsstelle wird das Konsolprofil durch Quersteifen verstärkt. Daher werden neben den Kerbpunkten am Profil die Ansatzpunkte der Schweißnähte der Quersteifen betrachtet.



Kerbfälle / zul. Kerbspannungen bei $N = 2 \cdot 10^6$ Schwingspielen:

Pkt	y_f mm	z_f mm	$\Delta\sigma_{x,Rd}$ N/mm ²	$\Delta\tau_{Rd}$ N/mm ²	$\Delta\sigma_{z,Rd}$ N/mm ²	Kerbpunkt	EC 3-1-9, Tab.
9	100.0	190.0	160.0	0.0	0.0	am Untergurt	8.1(2)
13	3.2	28.0	160.0	100.0	160.0	am Trägersteg	8.1(2) 8.1(6) 8.10(1)
16	100.0	0.0	160.0	0.0	0.0	am Obergurt	8.1(2)
23	100.0	180.0	80.0	0.0	0.0	infolge Quersteife	8.4(7)
26	3.2	37.0	0.0	100.0	0.0	infolge Quersteife	8.1(6)
28	100.0	10.0	80.0	0.0	0.0	infolge Quersteife	8.4(7)

Es ergeben sich zwei Lastkombinationen, die nur die Querkraft V_z enthalten

Bemessungsgrößen

$$N_{1,Ed} = M_{y1,Ed} = V_{z1,Ed} = 0$$

$$V_{z2,Ed} = 56.91 \text{ kN}$$

Am Ort der Lasteinleitung wirkt bzgl. einer Lasteinzugslänge s_w die lokale Einzellast, die am Steganschnitt (Pkt. 13) die Querspannung $\Delta\sigma_{oz}$ und τ_o erzeugt

$$\text{wirksame Lasteinleitungslänge } l_{eff} = s_s + 2 \cdot t_f = 93.1 \text{ mm}, \quad s_s = 73.1 \text{ mm}, \quad t_f = 10.0 \text{ mm}$$

$$\text{wirksame Lasteinleitungslänge bezogen auf den Steganschnitt } s_w = l_{eff} + 2 \cdot r = 129.1 \text{ mm}$$

$$\text{lokale Spannungen am Trägersteg } \sigma_{oz} = -106.0 \text{ N/mm}^2, \quad \tau_o = 21.2 \text{ N/mm}^2$$

Die weitere Berechnung erfolgt analog.

Für den maßgebenden Kerbpunkt 13 ergibt sich

elastische Spannungen / Spannungsschwingbreiten:

$$\Delta\sigma_{x,Ed} = \sigma_{x,max} - \sigma_{x,min}, \quad \tau_{Ed} = \tau_{x2,max} - \tau_{x2,min} + 2 \cdot \tau_{o1}, \quad \Delta\sigma_{z,Ed} = -\sigma_{oz}$$

Pkt. 13: $y_f = 3.2 \text{ mm}$, $z_f = 28.0 \text{ mm}$

$$\text{Lk 1: } \tau_{xz} = 0.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{2: } \tau_{xz} = 47.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\tau_{Ed} = 74.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_{z,Ed} = 67.8 \text{ N/mm}^2$$

Spannungsschwingbreiten infolge Ermüdung:

$$\Delta\sigma_{x,f} = \Delta\sigma_{x,Ed} \cdot \lambda_{\sigma}, \quad \Delta\tau_f = \Delta\tau_{Ed} \cdot \lambda_{\tau}, \quad \Delta\sigma_{z,f} = \Delta\sigma_{z,Ed} \cdot \lambda_{\sigma}$$

Pkt. 13: $y_f = 3.2 \text{ mm}$, $z_f = 28.0 \text{ mm}$

$$\Delta\tau_f = 37.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_{z,f} = 21.4 \text{ N/mm}^2$$

und damit

Nachweis der Kerbspannungen:
Pkt. 13: $y = 3.2 \text{ mm}$, $z = 28.0 \text{ mm}$

$$\Delta\tau_t = 37.2 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{Rd,t} = 87.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\tau} = 0.427 \text{ ok}$$

$$\Delta\sigma_z = 21.4 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{z,Rd,t} = 139.1 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma z} = 0.154 \text{ ok}$$

Daraus folgt die maximale Ausnutzung des maßgebenden Kerbpunkts für diesen Nachweisort

Ermüdungsnachweis [Pkt. 13]: $\max U = 0.427 < 1 \text{ ok}$

4.5.4

Endergebnis

Das Ergebnis aller Nachweise wird ausgegeben, der maßgebende Nachweis ist gekennzeichnet.

Maximale Ausnutzung:
Anschluss an die Stütze $\max U = 0.586 < 1 \text{ ok}$

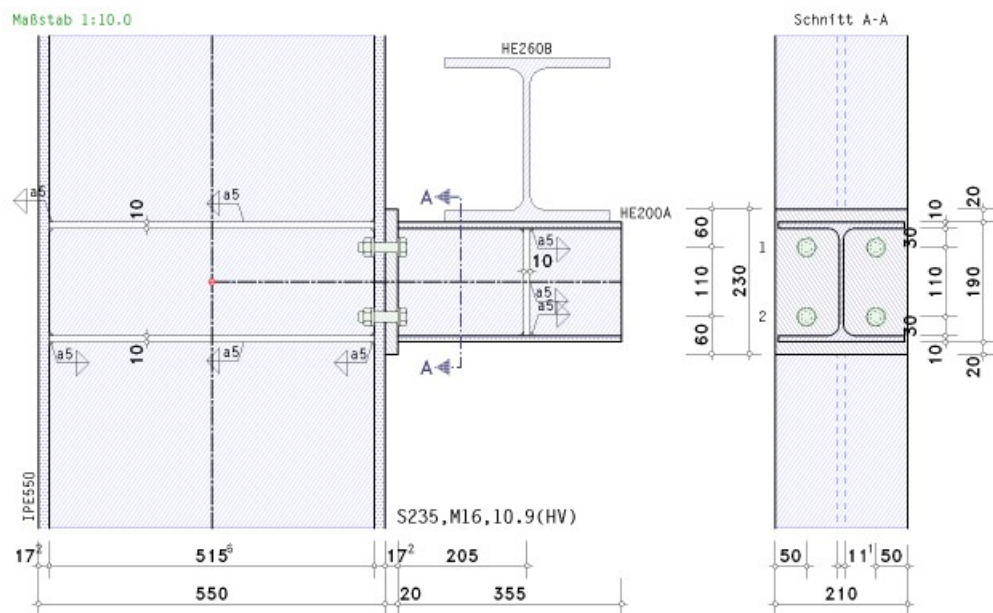
Nachweis erbracht

4.5.5

Hinweise zu einer Schraubenverbindung

Bei Bedarf (z.B. bei nachträglichem Einbau) kann die Konsole mittels einer Stirnblechverbindung an die Stütze angeschraubt werden.

Das Beispiel wurde modifiziert, indem ein 20 mm Stirnblech mit 2 x 2 Schrauben M20 angebracht wird.



Für die **Konsole-Stützenverbindung** sind dann die Grundkomponenten 1,2,3,4,5,7,8,10,11,12 auszuwerten.

Es sind nur Zug-Schrauben relevant. Die Biegetragfähigkeit wird beeinflusst von deren Anordnung bezogen auf den Druckpunkt in Mitte des Druckflanschs

Abstand der Zug-Schraubenreihen vom Druckpunkt: $h_1 = 145.0 \text{ mm}$, $h_2 = 35.0 \text{ mm}$

Die Auswertung der Grundkomponenten ergibt unter Einhaltung der Regeln n. EC 3-1-8, 6.2.7.2 die Tragfähigkeiten je Schraubenreihe, mit denen die Biegetragfähigkeit ermittelt wird, sowie die Schubtragfähigkeiten von Stirnblech und Stützensteg,

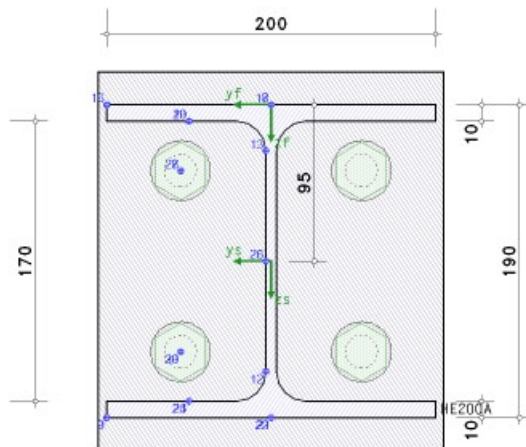
Biegetragfähigkeit
 $M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 50.0 \text{ kNm}$
Schubtragfähigkeit des Stirnblechs
Stirnblech: $V_{ep,Rd} = 363.62 \text{ kN}$
Schubtragfähigkeit des Stützenstegs
maßgebende Grundkomponente: 1
 $V_{wp,Rd} = 936.9 \text{ kN}$

die den einwirkenden Schnittgrößen gegenübergestellt werden

Biegemoment: $M_{Ed} = M_d = 20.02 \text{ kNm}$
 Querkraft: $V_{Ed} = |V_d| = 89.00 \text{ kN}$
 Schubkraft: $V_{c,w,Ed} = M_d/z - (V_{c1} - V_{c2})/2 = 162.00 \text{ kN}$, $z = 123.6 \text{ mm}$
 Schubkraft: $V_{b,w,Ed} = 89.00 \text{ kN}$

$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.400 < 1$ ok
 Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit bei nur 40.0%-iger Ausnutzung der Biegetragfähigkeit $V_{j,Rd} = 492.5 \text{ kN}$
 $V_{Ed}/V_{j,Rd} = 0.181 < 1$ ok
 $V_{c,w,Ed}/V_{wp,Rd} = 0.173 < 1$ ok
 $V_{b,w,Ed}/V_{ep,Rd} = 0.245 < 1$ ok

Für den **Ermüdungsnachweis der Verbindung Konsole-Stütze** sind die Spannungen in Stirnblech, Schweißnähten und Schrauben zu bestimmen.



Die Bemessungsgrößen werden am Stirnblech ermittelt.

Bemessungsgrößen
 $N_{1,Ed} = M_{y1,Ed} = V_{z1,Ed} = 0$
 $M_{y2,Ed} = -12.80 \text{ kNm}$, $V_{z2,Ed} = 56.91 \text{ kN}$

Die Berechnung der Spannungen in den Kerbpunkten von Blech und Schweißnähten erfolgt analog der Schweißverbindung (s.o.).

Die Schraubenverbindung generiert Kerbpunkte im Stirnblech / Stützenflansch und in der Schraube selber (z.B. Pkt. 27 und 28).

Kerbfälle / zul. Kerbspannungen bei $N = 2 \cdot 10^6$ Schwingspielen:

Pkt.	yf mm	zf mm	$\Delta\sigma_{x,Rd}$ N/mm ²	$\Delta\tau_{Rd}$ N/mm ²	$\Delta\sigma_{z,Rd}$ N/mm ²	Kerbpunkt	EC 3-1-9, Tab.
x 27	55.0	40.0	50.0	100.0	0.0	am Blech	8.1(14) 8.1(15)
28	55.0	40.0	90.0	0.0	0.0	am Blech	8.1(10)
x 29	55.0	150.0	50.0	100.0	0.0	am Blech	8.1(14) 8.1(15)
30	55.0	150.0	90.0	0.0	0.0	am Blech	8.1(10)

x: Nachweis der Schraube

Die Schraubenkräfte $F_{sc,i}$ werden unter der Annahme berechnet, dass sich der Drehpunkt des Moments im Druckpunkt (Mittelpunkt des Druckflanschs) befindet.

Spannungen in den Schrauben:
 $N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$, $M_{y,Ed} = -12.80 \text{ kNm}$
 Reihe 1: $\Delta z_1 = 145.0 \text{ mm}$, $F_{sc,1} = 57.31 \text{ kN}$, $\sigma = 116.95 \text{ N/mm}^2$, $\tau = 45.29 \text{ N/mm}^2$
 Reihe 2: $\Delta z_2 = 35.0 \text{ mm}$, $F_{sc,2} = 13.83 \text{ kN}$, $\sigma = 28.23 \text{ N/mm}^2$, $\tau = 45.29 \text{ N/mm}^2$

Der weitere Berechnungsablauf erfolgt analog dem der geschweißten Verbindung und ergibt für den maßgebenden Kerbpunkt

Nachweis der Kerbspannungen:
 Pkt. 27: $y = 55.0 \text{ mm}$, $z = 40.0 \text{ mm}$ $\Delta\sigma_{x,f} = 36.8 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 43.5 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.847$ ok
 $\Delta\tau_f = 22.6 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{Rd,f} = 87.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\tau} = 0.260$ ok
 Ermüdungsnachweis [Pkt. 27]: $\max U = 0.847 < 1$ ok

5 Basisverbindungen

Den Verfahren zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Stahlbauanschlüssen liegt Folgendes zugrunde (zur umfangreichen Erläuterung s. jeweils in der Online-Hilfe des Programms)

- Schrauben, Niete, Bolzen
- Schweißnähte
- T-Stummelflansch mit Zugbeanspruchung

Zu den angewendeten Basisverbindungen s. Handbuch zu #EC3BV, Basisverbindungen, als pdf auf unserer Website pcae.de oder in der Online-Hilfe des Programms.

Das Eurocode-Dokument enthält Parameter, die national veränderbar sind. Die im Programm verwendeten veränderbaren Parameter können im Nationalen Anhang (s. Abs. 6.3, S. 63) eingesehen und verändert werden.

Die verwendeten Vorschriften können der Literaturliste (s. Abs. 7, S. 64) entnommen werden.

Der Umfang des Statikausdrucks kann angepasst werden (s. Abs. 6.2, S. 62).

6 Sonstiges

6.1 Stahlsorten

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

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

Natürlich können die zur Bemessung in diesem Programm verwendeten Parameter verändert und an geeignete Produktnormen angepasst werden.

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

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

<input checked="" type="checkbox"/> Vorgabe			
Kennung	S235JR gemäß EN 10025-2		
char. Streckgrenze	$f_{y,40}$	235,0	N/mm ²
char. Zugfestigkeit	$f_{u,40}$	360,0	N/mm ²
<small>für Blechdicke max $t \leq 40$ mm</small>			
char. Streckgrenze	$f_{y,80}$	215,0	N/mm ²
char. Zugfestigkeit	$f_{u,80}$	360,0	N/mm ²
<small>für Blechdicke $40 \text{ mm} < \text{max } t \leq 80$ mm</small>			
char. Streckgrenze	$f_{y,w}$	215,0	N/mm ²
char. Zugfestigkeit	$f_{u,w}$	360,0	N/mm ²
<small>für Blechdicke max $t > 80$ mm</small>			
E-Modul	E	210000,0	N/mm ²
Korrelationsbeiwert	β_w	0,80	

Ausdrucksteuerung

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

Zunächst kann eine maßstäbliche **grafische Darstellung** der Basisverbindung in die Liste eingefügt werden.

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

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

I.A. reicht die Ausgabe der Typbezeichnungen der Schrauben, Niete, Bolzen sowie der Stahlgüten aus; bei Aktivierung der **zusätzlichen Infos** werden zudem die Rechenparameter ausgegeben.

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

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

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

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

Ergebnisse

- ☐ ausführlich
☒ standard
☐ minimal

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

- ☒ tabellarisch
☐ maßgebendes Lastkollektiv detailliert
☒ Lastkollektiv detailliert: Nr.
☐ keine detaillierte Ausgabe

Optional kann das maßgebende Lastkollektiv, das zur maximalen Ausnutzung geführt hat, in der Standard-Form angefügt werden. Alternativ kann es sinnvoll sein, den Berechnungsablauf eines frei wählbaren Lastkollektivs ausgeben zu lassen. Es kann auch **keine detaillierte Ausgabe** erfolgen.

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

- ☒ maßgebendes Lastkollektiv

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

- ☒ optimierte Tabelle (FEM-Ergebnisse) nur 4H-EC3FS, FK, QN
☒ Bemessungsgrößen nur 4H-EC3BT - Familie
4H-EC3GT - Familie
☒ Zwischenergebnisse
☒ Erläuterungsskizzen

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

Um den Umfang des Berechnungsprotokolls zu reduzieren, kann die Ausgabe von **Zwischenergebnissen** und/oder **Erläuterungsskizzen** unterdrückt werden. Das Abschalten der Erläuterungsskizzen betrifft nicht die Ausgabe der Übersichtsgrafik (s.o.).

Das Statikdokument wird in strukturierter Form durchnummeriert, die auch mit dem **pcae**-eigenen Verwaltungspro-

- ☐ Abschnittsnummerierung unterdrücken

gramm PROLOG korrespondiert. Optional kann die **Ab-schnittsnummerierung unterdrückt** werden.

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

Toleranz im Endergebnis %



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

6.3

Nationale Anhänge zu den Eurocodes

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

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

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

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

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



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

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

Normen

- /1/ DIN EN 1990, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /2/ DIN EN 1990/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /3/ DIN EN 1991-1-2, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung EN 1991-1-2, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /4/ DIN EN 1991-1-2/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe September 2015
- /5/ DIN EN 1993-1-1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dez. 2010
- /6/ DIN EN 1993-1-1/A1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005/A1:2014, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Juli 2014
- /7/ DIN EN 1993-1-1/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dez. 2018
- /8/ DIN EN 1993-1-2, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung EN 1993-1-2, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /9/ DIN EN 1993-1-2/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /10/ DIN EN 1993-1-3, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-3: Allgemeine Regeln - Ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche; Deutsche Fassung EN 1993-1-3:2006 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /11/ DIN EN 1993-1-3/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-3: Allgemeine Regeln - Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /12/ DIN EN 1993-1-5, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile; Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017 + A2:2019, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Oktober 2019
- /13/ DIN EN 1993-1-5 Berichtigung 1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile; Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017 + A2:2019, Berichtigung 1, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Juli 2020
- /14/ DIN EN 1993-1-5/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /15/ DIN EN 1993-1-8, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /16/ DIN EN 1993-1-8/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe November 2020
- /17/ DIN EN 1993-1-9, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung; Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005 + AC:2009, Deutsches Institut für Nor-

mung e.V., Ausgabe Dezember 2010

- /18/ DIN EN 1993-1-9/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /19/ DIN EN 1993-6, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 6: Kranbahnen; Deutsche Fassung EN 1993-6:2007 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /20/ DIN EN 1993-6/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 6: Kranbahnen; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /21/ DIN EN 1999-1-1, Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln; Deutsche Fassung EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 + A2:2013, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe März 2014
- /22/ DIN EN 1999-1-1/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /23/ DIN 18800-1, Stahlbauten - Teil 1: Bemessung und Konstruktion; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe November 2008

Bemessung

- /24/ E. Kahlmeyer, K. Hebestreit, W. Vogt: Stahlbau nach EC3, Bemessung und Konstruktion, Träger - Stützen - Verbindungen, 6. Auflage, Werner-Verlag, 2012
- /25/ R. Kindmann, M. Stracke: Verbindungen im Stahl- und Verbundbau, 3. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 2012
- /26/ R. Kindmann, M. Krüger: Stahlbau Teil 1: Grundlagen, 5. Aufl., Verl. Ernst & Sohn, 2013
- /27/ R. Kindmann: Stahlbau Teil 2: Stabilität und Theorie II. Ordnung, 4. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 2008
- /28/ R. Kindmann, J. Frickel: Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit, Grundlagen, Methoden, Berechnungsverfahren, Beispiele, Verlag Ernst & Sohn, 2002
- /29/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 1: Tragwerksplanung, Grundlagen, 5. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014
- /30/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 2: Verbindungen und Konstruktionen, 3. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2011
- /31/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 3: Komponentenmethode, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014
- /32/ D. Ungermann, K. Weynand, J.-P. Jaspart, B. Schmidt: Momententragfähige Anschlüsse mit und ohne Steifen, Stahlbau Kalender 2005, Verlag Ernst & Sohn, 2005
- /33/ D. Ungermann, S. Schneider: Stahlbaunormen DIN EN 1993-1-8: Bemessung von Anschlüssen, Stahlbau Kalender 2013, Verlag Ernst & Sohn, 2013
- /34/ D. Ungermann, M. Feldmann, O. Oberegge et.al.: Entwicklung eines Bemessungsmodells für geschraubte, momententragfähige Kopfplattenverbindungen mit 4 Schrauben in einer Schraubenreihe auf der Grundlage der prEN 1993-1-8:2003: Forschungsbericht zum Forschungsvorhaben AiF Nr. 15059, Deutscher Ausschuss für Stahlbau (DASt), Stahlbau Verlags- und Service GmbH, 2009
- /35/ Björn Schmidt: Zum Tragverhalten von geschraubten momententragfähigen Stirnplattenverbindungen mit 4 Schrauben in jeder Schraubenreihe, Dissertation, TU Dortmund, 2008
- /36/ Beispiele zur Bemessung von Stahltragwerken nach DIN EN 1993 Eurocode 3, bauforumstahl e.V., Verlag Ernst & Sohn GmbH & Co. KG
- /37/ K. Weynand, R. Oerder: Typisierte Anschlüsse im Stahlnhochbau nach DIN EN 1993-1-8, Stahlbau Verlag- und Service GmbH, Gesamtausgabe 2013
- /38/ L. Nasdala, B. Hohn, R. Rühl: Bemessung von Stirnplattenanschlüssen mit elastomerer Zwischenschicht, Bauingenieur, Bd. 80, Dezember 2005
- /39/ Y. Ciupack, H. Pasternak: Thermisch getrennte Stirnplattenstöße, Bauingenieur, Bd. 88,

- /40/ Druckschrift Kerncompactlager, Calenberg Ingenieure GmbH, Salzhemmendorf, www.calenberg-ingenieure.de
- /41/ ECCS Document No. 126: European Recommendations for the Design of Simple Joints in Steel Structures. ECCS TC10 - Structural Connections, 2009. J.P. Jaspart, J.F. Démonceau, S. Renkin, M.L. Guillaume
- /42/ D. Ungermann, R. Puthli, Th. Ummenhofer, K. Weynand: Eurocode 3, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Band 2: Anschlüsse, DIN EN 1993-1-8 mit Nationalem Anhang, Kommentar und Beispiele, 2015
- /43/ B. Braun, U. Kuhlmann: Bemessung und Konstruktion von aus Blechen zusammengesetzten Bauteilen nach DIN EN 1993-1-5, Stahlbau-Kalender 2009, Verlag Ernst & Sohn, 2009
- /44/ U. Kuhlmann, A. Zizza, B. Braun: Stahlbaunormen DIN EN 1993-1-5: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Plattenförmige Bauteile, Stahlbau Kalender 2012, Verlag Ernst & Sohn, 2012
- /45/ R. Timmers, G. Lener, F. Sinur, B. Kövesdi, R. Chacon: Stabilitätsnachweise nach EN 1993-1-5 - Theorie und Beispiele, Stahlbau-Kalender 2015, Verlag Ernst & Sohn, 2015
- /46/ M. Feldmann, U. Kuhlmann, M. Mensinger: Entwicklung und Aufbereitung wirtschaftlicher Bemessungsregeln für Stahl- und Verbundträger mit schlanken Stegblechen im Hoch- und Brückenbau: Forschungsbericht zum Forschungsvorhaben AiF Nr. 14771, Deutscher Ausschuss für Stahlbau (DASt), Stahlbau Verlag GmbH, 2008
- /47/ C. Seeßelberg: Kranbahnen, 4. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014
- /48/ A. Steurer: Das Tragverhalten und Rotationsvermögen geschraubter Stirnplattenverbindungen, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Zürich, Dezember 1999
- /49/ T. Laufs, C. Radlbeck: Aluminiumbau-Praxis nach Eurocode 9, Berechnung und Konstruktion, Bauwerk, Bauwerk, Beuth-Verlag GmbH, 2015
- /50/ J.-M. Franssen, P. Vila Real: Fire Design of Steel Structures, 2nd Edition, ECCS - European Convention for Constructional Steelwork, 2015
- /51/ DASt-Richtlinie 027: Ermittlung der Bauteiltemperatur feuerverzinkter Stahlbauteile im Brandfall, Ausgabe Nov. 2020
- /52/ M. Mensinger, M. Stadler: Brandschutznachweise, Workshop Eurocode 3 - Rechenbeispiele, 8. November 2008, München
- /53/ Berechnungsrichtlinie für die Querschnitts- und Stabbemessung nach Eurocode 3 mit Schwerpunkt auf semi-kompakten Querschnitten; TU Graz Institut für Stahlbau, Lessingstr. 25/38010 Graz
- /54/ W. Martin: ζ -Werte für den Biegedrillknicknachweis von I-Profilen
- /55/ J. Lindner, J. Scheer, H. Schmidt: Stahlbauten, Erläuterungen zu DIN 18800 Teil 1 bis Teil 4, Beuth-Kommentare
- /56/ J. Lindner: Stabilisierung von Trägern durch Trapezbleche, Stahlbau 56 (1987), S. 9-15
- /57/ R. Puthli: Hohlprofilkonstruktionen im Geschossbau - Ausblick auf die europäische Normung, Stahlbau-Kalender 2002, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2002
- /58/ R. Puthli, R. Ummenhofer, J. Wardenier, I. Pertermann: Anschlüsse mit Hohlprofilen nach DIN EN 1993-1-8, Stahlbau-Kalender 2011, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2011
- /59/ J. Wardenier, Y. Kurobane, J.A. Packer, G.J. van der Vegte, X.-L. Zhao: Berechnung + Bemessung von Verbindungen aus Rundhohlprofilen unter vorwiegend ruhender Belastung, CIDECT 1, 2. Aufl. 2008/2011
- /60/ J.A. Packer, J. Wardenier, X.-L. Zhao, G.J. van der Vegte, Y. Kurobane: Anschlüsse mit rechteckigen Hohlprofilen unter vorwiegend ruhender Belastung, CIDECT 3, 2. Aufl. 2009/2012

8 Index

Abkürzungen	2	Lastträger	20
Abschertragfähigkeit	33	Linienquerschnitt	37
Anhang nationaler	63	Lochleibungstragfähigkeit	33
Anschlussstragfähigkeit	36	Materialermüdung	46
Anschlusstyp	11	Materialsicherheitsbeiwert	11
Ausdrucksteuerung	62	Momententragfähigkeit	29
Basisverbindungen	61	Nachweis	11, 36
Bauteil erzeugen	7	Nachweisverfahren	36
Biegetragfähigkeit	31, 34	Ordner	7
blank	2	Profil parametrisiertes	13
Copy-Paste-Funktion	12	Profilmanager	13
Cursor	2	Querlastbeulen	44
Dreieckrippe	15	Querlastbeulen Nachweisführung	44
Druckliste	62	Querschnittsnachweis	36
Einwirkung	2	Rotationsfeder	29
e-Mail	6	Rotationskapazität	29
Englisch	63	Rotationssteifigkeit	29
Ergebnisübersicht	28	Schnittgrößen	23
Ermüdung	20, 46	Schnittgrößenimport	24
Ermüdungsnachweis	48	Schraubenparameter	18
Extremalbildungsvorschrift	2	Schraubenreihen	18
Fremdsprache	63	Schreibtisch	6
Grundkomponente	29	Schreibtischauswahl	5
Grundkomponenten	40	Schubtragfähigkeit	33
Installation	5	Schweißnaht	37
Kerfalltabellen	49	Stahlsorte	11, 61
Komponentenmethode	30	Startsymbol	5
Kontextsensitivität	6	Stegblech	14
Kontrolle visuelle	12	Stegsteife	14, 39, 43
Lastbild	2	Steuerbutton	6
Lasteinleitung	41	Stirnblech	17
Lastfall	2	Verstärkung	14
Lastkollektiv	2	Route	19, 35