



**4H-** STATIKPROGRAMME  
AUS HANNOVER

**DTE** Desktop®  
Engineering



pcae GmbH

Kopernikusstr. 4A

30167 Hannover

Tel 0511/70083-0

Fax 0511/70083-99

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

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



# **4H-EC3EM u. LK**

**Ermüdungsnachweis u. Lasteinleitung EC 3**

August 2022



# 4H-EC3EM u. LK

## Ermüdungsnachweis u. Lasteinleitung EC 3

Copyright 2017-2022

4. erweiterte Auflage, August 2022

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

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

Änderungen an Programm und Beschreibung vorbehalten.

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

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

Von dort können zudem aktualisierte Programmversionen herunter geladen werden.

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



# Produktbeschreibungen

Das Programm *##EC3EM*, Ermüdungsnachweis, weist die Tragfähigkeit gegen Materialermüdung für einen Doppel-T-Querschnitt unter zweiachsiger Beanspruchung mit lokaler Lasteinleitung entspr. Eurocode 3 nach.

## Spezielle Leistungsmerkmale

- der Ermüdungsnachweis wird nach EC 3-1-9 geführt
- ist eine Kranbahn vorhanden, werden EC 3-6 und EC 1-3 berücksichtigt
- der Trägerquerschnitt ist ein Doppel-T-Profil
- der Träger kann durch Quersteifen unterstützt sein
- es können bis zu fünf Längssteifen äquidistant angeordnet werden
- als Quer- oder Längssteifen kommen Flachstahl, U-, T-, L- oder Trapezprofile in Frage
- Profil- und Materialparameter können sowohl **pcae**-eigenen Tabellen (I-, L-, U-, T-Profil) entnommen als auch parametrisiert eingegeben werden
- die Materialsicherheit kann entweder normenkonform vorbelegt oder vom Anwender eingegeben werden
- Import- / Exportfunktionen zu anderen EC3-*##*-Programmen
- Kranbahn kann am Obergurt aufgesetzt oder am Untergurt als Hängekran / Unterflanschkatze angeordnet werden
- bei einem Obergurtkran kann die Exzentrizität der Radlast berücksichtigt werden
- die Schiene kann typisiert sein, eine freie Eingabe der entsprechenden Parameter ist ebenfalls möglich
- die Verbindung Träger/Schiene kann schubfest oder schwimmend erfolgen
- die für den Ermüdungsnachweis relevanten schadensäquivalenten Beiwerte können entweder in Abhängigkeit von der Kranklasse ermittelt oder vom Anwender vorgegeben werden
- die Kerbpunkte werden vom Programm vorgegeben. Die maßgebenden Kerbfälle können vom Programm vorgeschlagen oder vom Anwender bearbeitet 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.
- Schnittgrößenimport aus **pcae**-Stabwerksprogramm und über Text-Importschnittstelle
- Export der Konstruktionszeichnung im DXF-Format zur Weiterbearbeitung in einem CAD-System
- englischsprachige Druckdokumentenausgabe

Das Programm *##EC3LK*, Lasteinleitung aus Einzellast oder Kranbahn, weist die Tragfähigkeit eines Doppel-T-Querschnitts unter zweiachsiger Beanspruchung gegen die lokale Lasteinleitung aus konzentrierter Einzel- oder Kranbahnbelastung entspr. Eurocode 3 nach.

## Spezielle Leistungsmerkmale

- der Nachweis der Querbelaugung (rippenlose Lasteinleitung) erfolgt nach EC 3-1-5, 6
- der Nachweis der lokalen Lasteinleitung aus Kranbahnbelastung wird n. EC 3-6 geführt
- der Trägerquerschnitt ist ein Doppel-T-Profil
- im Träger können Quersteifen zur seitlichen Begrenzung des Beulfelds angeschweißt werden
- es können bis zu fünf Längssteifen äquidistant angeordnet werden
- als Längssteifen kommen Flachstahl, U-, T-, L- oder Trapezprofile in Frage
- bei Biegeträgern können Quersteifen (Rippen) zur Unterstützung der Lasteinleitung dienen
- die Rippen und Schweißnähte werden nachgewiesen
- Profil- und Materialparameter können sowohl **pcae**-eigenen Tabellen (I-, L-, U-, T-Profil) entnommen als auch parametrisiert eingegeben werden
- die Materialsicherheit kann entweder normenkonform vorbelegt oder vom Anwender eingegeben werden

- Import- / Exportfunktionen zu anderen EC3-Programmen
- Kranbahn kann am Obergurt aufgesetzt oder am Untergurt als Hängekran / Unterflanschkatze angeordnet werden
- bei einem Obergurtkran kann die Exzentrizität der Radlast berücksichtigt werden
- die Schiene kann typisiert sein, eine freie Eingabe der entsprechenden Parameter ist ebenfalls möglich
- die Verbindung Träger/Schiene kann schubfest oder schwimmend erfolgen
- die Schnittgrößen sind je nach Nachweisregel entweder Bemessungsgrößen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) oder der Tragfähigkeit (GZT)
- Schnittgrößenimport aus pcae-Stabwerksprogramm und über Text-Importschnittstelle
- 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 der Programme sind aus anderen Windows- Anwendungen bekannt. Wir haben darüber hinaus versucht, weitestgehend in der Terminologie des Bauingenieurs zu bleiben und EC3EM/LK von detailliertem Computerwissen unabhängig zu halten.



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

Zur EC3EM/LK -Dokumentation gehört neben diesem Manual das Handbuch

*DTE®-DeskTopEngineering.*

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit EC3EM und EC3LK.

pcae GmbH

Hannover, im August 2022

## Abkürzungen und Begriffe

Um die Texte zu straffen, werden folgende Abkürzungen benutzt

GZT	Grenzzustand der Tragfähigkeit
GZG	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit



signalisiert Anmerkungen

### Buttons

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



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

### Index

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

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

# Inhaltsverzeichnis

1	Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten .....	5
2	Bauteil erzeugen.....	7
3	##-EC3EM, Ermüdungsnachweis.....	9
3.1	Eingabeoberfläche .....	9
3.2	Geometrie und Material .....	11
3.2.1	Materialsicherheitsbeiwerte.....	11
3.2.2	Stahlsorte .....	11
3.2.3	Export / Import.....	11
3.2.4	Geometrie.....	11
3.3	Rechenlaufsteuerung .....	13
3.4	Kerbfälle .....	14
3.5	Schnittgrößen .....	15
3.5.1	Schnittgrößen importieren.....	16
3.5.2	Nachweisergebnisse .....	18
3.6	Theorie Ermüdung EC 3-1-9 .....	19
3.6.1	Allgemeines.....	19
3.6.2	Bemessungskonzept.....	20
3.6.3	Beanspruchungen .....	20
3.6.4	Ermüdungsnachweis .....	21
3.6.5	Kerbfalltabellen.....	22
3.6.6	Beispiel.....	22
3.7	Kranbahn.....	25
3.7.1	Kranbahn am Obergurt .....	25
3.7.2	Berechnung der effektiven Lastausbreitungslänge.....	26
3.7.3	lokale Spannungen .....	26
3.7.4	exzentrische Lasteinleitung.....	27
3.8	Kranbahn am Untergurt.....	27
3.8.1	wirksame Lasteinleitungslänge .....	27
3.8.2	lokale Spannungen .....	28
4	##-EC3LK, Lasteinleitung.....	29
4.1	Eingabeoberfläche .....	29
4.2	Geometrie und Material.....	31
4.2.1	Materialsicherheitsbeiwerte.....	31
4.2.2	Stahlsorte .....	31
4.2.3	Export / Import.....	31
4.2.4	Geometrie.....	31
4.3	Lasteinleitung .....	33
4.3.1	Kranbahn.....	33
4.3.2	Einzellast.....	33
4.3.3	Querlastbeulen .....	34
4.4	Schnittgrößen .....	35
4.5	Theorie Lasteinleitung EC 3-6.....	36
4.5.1	Allgemeines.....	36
4.5.2	Spannungsnachweis im GZG .....	36
4.5.3	Spannungsnachweis im GZT .....	36
4.5.4	Beispiel.....	37
4.5.5	Lasteinleitung in einen Biegeträger.....	38
4.5.5.1	Allgemeines.....	38
4.5.5.2	Spannungsnachweis im GZT .....	38
4.5.5.3	Spannungsnachweis im GZG .....	39
4.5.5.4	Nachweis der Stegsteifen .....	39
4.5.6	Kranbahn.....	40
4.6	Theorie Querlastbeulen .....	40
4.6.1	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit .....	40
4.6.2	Nachweis.....	41
5	Allgemeines .....	42
5.1	Stahlsorten .....	42

5.2	Ausdrucksteuerung .....	42
5.3	nationale Anhänge zu den Eurocodes .....	43
6	Literaturverzeichnis .....	44
7	Index .....	47



# 1 Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten

Die Installation des DTE®-Systems und das Überspielen der Programme *##-EC3EM* und *##-EC3LK* auf Ihren Computer erfolgt über einen selbsterläuternden Installationsdialog.

Sofern Sie bereits im Besitz anderer *##-Programme* sind und diese auf Ihrem Rechner installiert sind, lesen Sie bitte Abs. 2, Bauteil erzeugen, auf S. 7 weiter.

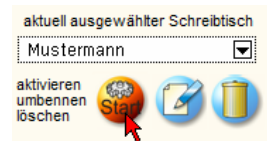


Nach erfolgreicher Installation befindet sich das DTE®-**Startsymbol** auf Ihrer Windowsoberfläche. Führen Sie bitte darauf den Doppelclick aus.

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



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

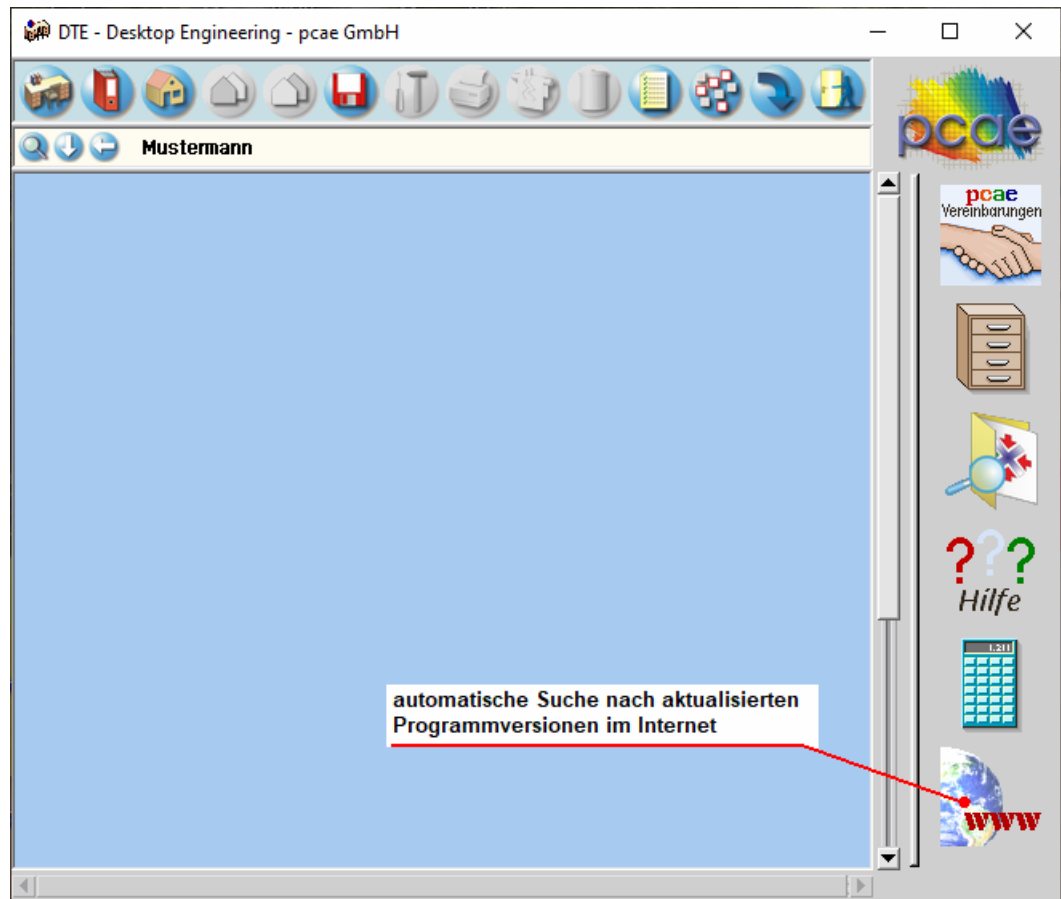


Nach Bestätigen über das **Hakensymbol** erscheint wieder die Schreibtischauswahl, in die der neue Name bereits eingetragen ist. Drücken Sie auf **Start** und die DTE®-Schreibtischoberfläche erscheint auf dem Bildschirm.

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



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



## Steuerbuttons

Im oberen Bereich des Schreibtischs sind Interaktionsbuttons lokalisiert.

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

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

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

## Bauteil erzeugen



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



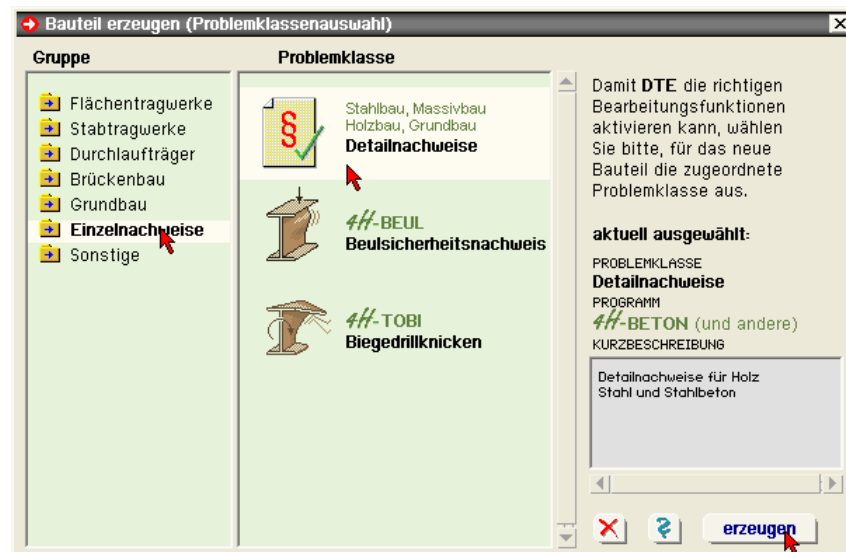
Aus dem Eintrag in der Schreibtischkopfzeile ist zu erkennen, in welchem Ordner sich die Aktion aktuell befindet.



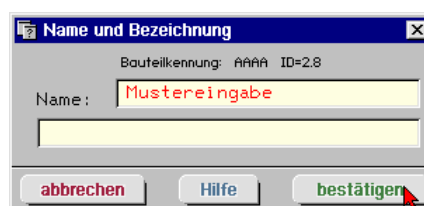
Der Ordner kann durch das **beenden**-Symbol wieder geschlossen werden.



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



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

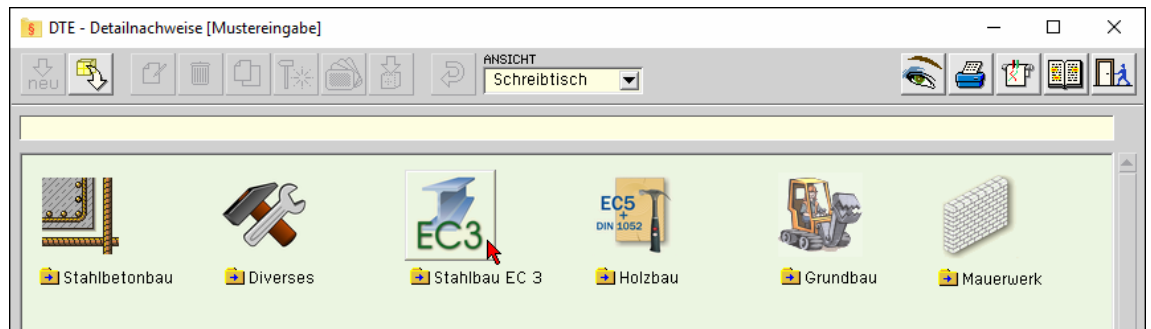


Nach Doppelklicken des neuen Bauteilicons erscheint die Übersicht der installierten Detailnachweisprogramme.

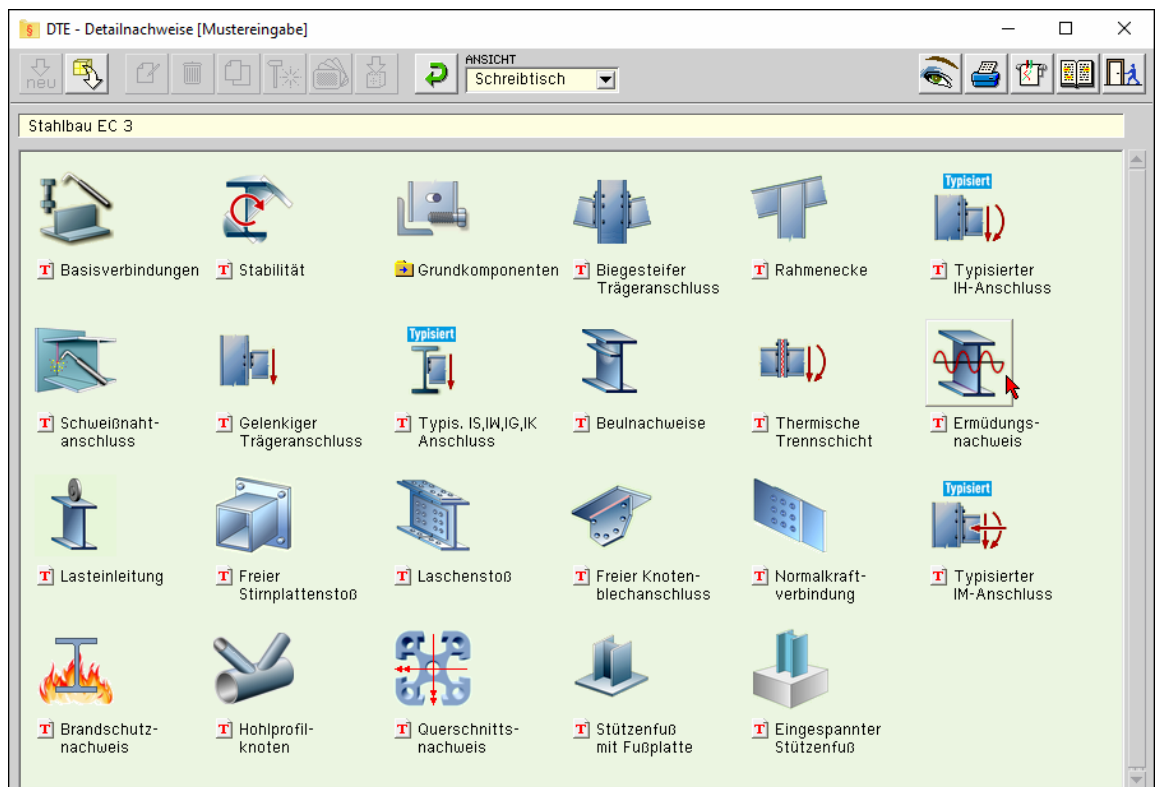


Überschreiben Sie den Begriff "Detailnachweise" zur Identifikation durch einen sinnvollen Text. Nach **Bestätigen** ist das Bauteil mit dem neuen Namen eingerichtet. Durch Doppelklicken des neuen Symbols wird die Verwaltung der DTE®-Detailnachweise geöffnet.

## Übersicht Detailnachweise



## Übersicht EC 3- Programme



## Ermüdung bzw. Lasteinleitung



Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts *neue Position einrichten* erscheint die Eingabeoberfläche des Programms *Ermüdungsnachweis*. Die Erzeugung eines Bauteils vom Typ *Lasteinleitung* erfolgt analog.

### 3

## 4H-EC3EM, Ermüdungsnachweis

### 3.1

### Eingabeoberfläche

Nachfolgend ist das Hauptfenster von 4H-EC3EM dargestellt.

The screenshot shows the main window of the 4H-EC3EM software. The title bar reads "4H-EC3 - Ermüdung [Position 22: Ermüdungsnachweis]". The interface is divided into several sections:

- Material:** Includes a dropdown for "Stahlsorte" (set to S235) and a checkbox for "Vorgabe". Below are buttons for "Daten exportieren" and "Daten importieren".
- Materialunsicherheit:** Includes a checkbox for "genormt", a section for "Bemessungskonzept" with radio buttons for "Schadenstoleranz" (selected) and "Versagen ohne Vorankündigung", and a section for "Schadensfolgen" with radio buttons for "niedrig" and "hoch" (selected). A value of "1.15" is shown next to "Ermüdungsfestigkeit".
- Träger:** Includes radio buttons for "Profil aus Profilmanager" (selected) and "parametrisiertes Stahlprofil". A button with a document icon and a green arrow is next to it. Below is a text field for "Profilname" (set to HE400A) and a 3D model of an I-beam cross-section.
- Querstreifen:** Includes a checkbox for "Querstreifen" (checked), radio buttons for "Profil aus Profilmanager" (selected) and "parametrisiertes Stahlprofil", and a button with a document icon and a green arrow. Below are input fields for "Ausparung" (C<sub>stA</sub> = 30.0 mm), "Schweißnahtdicke" (a<sub>st</sub> = 0.0 mm), and "Abstand der Querstreifen" (a = 300.0 cm). A note "≥ Trägerausrundung" is next to the C<sub>stA</sub> field.
- Längstreifen:** Includes a checkbox for "Längstreifen" (unchecked).

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



#### **Geometrie und Material** (s. Abs. 3.2, S. 11)

Im ersten Registerblatt werden das Trägerprofil beschrieben und die Stahlgüte festgelegt. Der Querschnitt wird zur visuellen Kontrolle maßstäblich am Bildschirm dargestellt.



#### **Kranbahn / Ermüdungsnachweis** (s. Abs. 3.3, S. 13)

Im zweiten Registerblatt werden die Kranbahn sowie die nachweisrelevanten Parameter für den Ermüdungsnachweis angegeben.



#### **Kerbfälle** (s. Abs. 3.4, S. 14)

Im dritten Registerblatt werden die Kerbpunkte und -spannungen definiert.



#### **Bemessungsschnittgrößen** (s. Abs. 3.5, S. 15)

Die Schnittgrößen werden im vierten Registerblatt festgelegt und können entweder 'per Hand' eingegeben oder aus einem **pcae**-Programm importiert werden. Um Schnittgrößen importieren zu können, muss das entsprechende 4H-Programm in der exportfähigen Version installiert sein.

Die Schnittgrößen beziehen sich auf den Schwerpunkt des ggf. ausgesteiften Profils und das Koordinatensystem der Statik (x-y-z bzw. l-m-n).



### **automatische Onlineberechnung**

Dieser Schalter kann **an** oder **aus** sein. Ist er **an**, wird das Berechnungsergebnis online während der Eingabe aktualisiert und am Bildschirm protokolliert.



### **nationaler Anhang** (s. Abs. 5.3, S. 43)

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. 5.2, S. 42)

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



### **Druckliste einsehen**

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



### **Ausdruck**

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



### **Planbearbeitung**

Über den **Pläne**-Button wird das **pcae**-Programm zur Planbearbeitung aufgerufen. Der aktuelle Querschnitt wird im **pcae**-Planerstellungsmodul 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 Speichern der Daten wird die Druckliste aktualisiert und in das globale Druckdokument eingefügt.

## 3.2

## Geometrie und Material



Im Register 1 (s. S. 9) werden die Material- und Geometrie-Parameter festgelegt.

### 3.2.1

#### Materialsicherheitsbeiwerte

Im Programm *##-EC3EM* werden nach EC 3-1-8 folgende Materialsicherheitsbeiwerte herangezogen.

**Materialsicherheitsbeiwert** (☒ genormter Wert)

Bemessungskonzept:	Schadensfolgen:
<input checked="" type="radio"/> Schadentoleranz	<input type="radio"/> niedrig
<input type="radio"/> Versagen ohne Vorankündigung	<input checked="" type="radio"/> hoch
Ermüdungsfestigkeit	$\gamma_{Mf}$ <input type="text" value="1.15"/>

Die Werte können entweder den entsprechenden Normen (s. Nationaler Anhang Abs. 5.3, S. 43) entnommen oder vom Anwender vorgegeben werden.

### 3.2.2

#### Stahlsorte

Es wird eine einheitliche Stahlgüte für die Einzelelemente (Trägerprofil, Längssteifen, Kran-schiene) festgelegt.

Stahlsorte  ☐ Vorgabe

Da die Beschreibung der Stahlparameter nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung der Stahlsorten verwiesen, s. Abs. 5.1, S. 42.

### 3.2.3

#### Export / Import

- ▷ Daten exportieren (copy)
- ▷ Daten importieren (paste)

Die Eingabedaten können über die Copy-Paste-Funktion von einem Bauteil in ein anderes übertragen 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.

Diese Funktionalität ermöglicht es außerdem, die Eingabedaten aus dem Programm *##-EC3EM*, Ermüdungsnachweis, in die Programme *##-EC3BL*, Beulen, oder *##-EC3LK*, Lasteinleitung aus Kranbahn, zu übertragen. Die Daten können natürlich auch zurücktransportiert werden.

### 3.2.4

#### Geometrie

Das Programm *##-EC3EM* weist die Ermüdungstragfähigkeit eines typisierten Doppel-T-Profiles nach. Die Parameter des Trägerprofils können dabei entweder über den **pcae**-eigenen Profilmanager in das Programm importiert oder als **typisiertes Stahlprofil** parametrisiert eingegeben werden.

**Träger**

☒ Profil aus Profilmanager 

☐ parametrisiertes Stahlprofil

Profilname

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 berechnet Träger mit Doppel-T-Profilen (I, H-, DIL-, S-, W-Profile).

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

☐ Profil aus Profilmanager **neu**  
☒ parametrisiertes Stahlprofil

Profilkategorie I-Profil

Profilhöhe	h	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3080.0</span>	mm
Stegdicke	t <sub>w</sub>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">15.0</span>	mm
Flanschbreite oben	b <sub>fo</sub>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">800.0</span>	mm
Flanschdicke oben	t <sub>fo</sub>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">40.0</span>	mm
Flanschbreite unten	b <sub>fu</sub>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">800.0</span>	mm
Flanschdicke unten	t <sub>fu</sub>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">40.0</span>	mm

☐ gewalztes Profil  
☒ geschweißtes Profil

Schweißnahtdicke	a <sub>o</sub>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6.0</span>	mm
	a <sub>u</sub>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6.0</span>	mm

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

Das Trägerprofil kann mittels vertikaler Quersteifen unterstützt werden. Die St. können ebenso entweder aus dem Profilmanager ausgewählt oder parametrisiert eingegeben werden.

Als **Quersteifen** stehen Winkel-, U- bzw. C-, T- bzw. 1/2I-, Trapez-Profile und Flachstähe zur Verfügung, wobei Trapezprofil und Flachstahl nur parametrisiert eingegeben werden können.

☒ **Quersteifen**

☒ Profil aus Profilmanager  
☐ parametrisiertes Stahlprofil

Profilname 1/2 IPE270

Aussparung	C <sub>st,q</sub>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">40.0</span>	mm	2 Trägerschweissnaht
Schweißnahtdicke	a <sub>st</sub>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6.0</span>	mm	
Abstand der Quersteifen	a	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">300.0</span>	cm	

Zur Bestimmung der **Kerbfälle** sind die Aussparung der Quersteife an der Verbindung zwischen Trägerflansch und -steg (Trägerschweissnaht oder Trägerschweißnaht) sowie die Schweißnahtdicke zwischen Quersteife und Trägerprofil anzugeben. Außerdem ist der Abstand der Quersteifen voneinander für die Berechnung erforderlich.

Der Trägersteg kann längs ausgesteift sein. Dazu können bis zu fünf **Längssteifen** mit äquidistantem Abstand voneinander angeordnet werden.

Zunächst ist die Anzahl an Steifen festzulegen, anschließend der Abstand der ersten Steife von Oberkante Träger bzw. vom oberen Blechrand sowie der Abstand der Steifen voneinander. Es ist darauf zu achten, dass die Steifen sich nicht berühren bzw. überschneiden!

Das Steifenprofil wird dann analog zu den Quersteifen definiert.

☒ **Längssteifen**

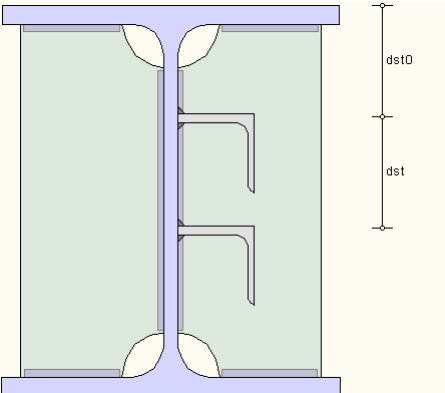
Anzahl	n <sub>st</sub>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</span>
Abstand der ersten Steife von Oberkante Träger	d <sub>st,0</sub>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">100.0</span> mm
Abstand der Steifen voneinander	d <sub>st</sub>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">80.0</span> mm

☒ Profil aus Profilmanager  
☐ parametrisiertes Stahlprofil

Profilname L 100 X 65 X 7

Schweißnahtdicke	a <sub>st</sub>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">5.0</span>	mm
------------------	-----------------	---	----

Anordnung der Längssteifen:
   
☒ einseitig rechts
   
☐ einseitig links
   
☐ beidseitig



Zur Bestimmung der **Kerbfälle** sind Schweißnahtdicke sowie die Lage der Längssteifen am Trägersteg anzugeben.

Zur optischen Kontrolle wird das ausgewählte Profil einschl. Längs- und Quersteifen maßstäblich am Bildschirm angezeigt. Die Abstände der Längssteifen sind bezeichnet (s.o.).





Im Register 2 befinden sich die Angaben zur Belastung des Trägers durch eine Kranbahn sowie nachweispezifische Einstellungen.

Der Ermüdungsnachweis wird für einen Doppel-T-Träger ggf. mit Kranbahnbelastung am Ober- oder Untergurt geführt.

4H-EC3 - Ermüdung [Position 22: Ermüdungsnachweis]

☒ **Kranbahnträger**

**Belastung aus der Kranbahn**

Radlast am Obergurt ☒  $F_{z,Ed}$  79.6 kN  
 Exzentrizität  $e_y$  0.0 mm  
erf. bei Kranklassen  $\geq$  S4

**Schiene**

Typ Flachstahl  
 Breite  $b$  50.0 mm  
 Höhe  $h$  30.0 mm  
 Abnutzung 25%  
 Höhe (abgenutzt)  $h'$  22.5 mm  
 Fläche (abgenutzt)  $A'$  1125.0 cm<sup>2</sup>  
 Trägheitsmomente (abgenutzt)  $I_y$  47460.9 cm<sup>4</sup>  
 $I_t$  141813.3 cm<sup>4</sup>

**Verbindung der Schiene mit dem Träger**

☒ schubfest

☒ Verbindung mit Kehlnähten nur Flachstahl bzw. Sonderform  
 Schweißnahtdicke  $a_w$  5.0 mm

☐ durchlaufende Nähte  
☐ unterbrochene Nähte

☐ Verbindung mit HV-Schrauben  
☐ schwimmend

**Ermüdungsnachweis**

schadensäquivalente Beiwerte (☒ genormt):

Krankklasse S2  
 Schadensäquivalenzfaktoren  $\lambda_\sigma$  0.315 für Krankklasse S2  
 $\lambda_\tau$  0.500  
 $\lambda_{\sigma+}$  0.397 für Krankklasse S3  
 $\lambda_{\tau+}$  0.575

Die Beschreibung der Rechenparameter der Kranbahn s. Abs. 3.7, S. 25.

Falls keine Angaben zur Kranbahn vorliegen, kann auch eine Einzellast auf den Obergurt mit zugehöriger **Lasteinleitungslänge** definiert werden.

☐ **Kranbahn**

**Querbelastung**

Einzellast oben  $F_{z,Ed}$  9.23 kN  
 starre Lasteinleitungslänge  $s_s$  252.3 mm  
auf Außenkante des Obergurts

Für den Ermüdungsnachweis sind schadensäquivalente Beiwerte der Normalspannungs- und der Schubspannungsdifferenz festzulegen. Ist eine Kranbahn definiert, können die Werte über die Kranklasse normentsprechend gesetzt werden; andernfalls sind sie vorzugeben.

Da die Überfahrt einer Kranbahn stets zu zwei Spannungsspitzen führt, sind die Beiwerte für eine um 1 höhere Krankklasse ebenfalls anzugeben (nur bei Definition einer Kranbahn).

**Ermüdungsnachweis**

schadensäquivalente Beiwerte (☒ genormte Werte):

Krankklasse S2  
 Schadensäquivalenzfaktoren  $\lambda_\sigma$  0.315 für Krankklasse S2  
 $\lambda_\tau$  0.500  
 $\lambda_{\sigma+}$  0.397 für Krankklasse S3  
 $\lambda_{\tau+}$  0.575

☒ Mittelspannungseinfluss berücksichtigen

Außerdem kann optional der Mittelspannungseinfluss berücksichtigt werden. Hintergründe und Erläuterungen der Eingabewerte finden Sie unter Abs. 3.6, S. 19.

Der Querschnitt wird einschl. Kranbahn und Belastung maßstäblich am Bildschirm angezeigt. Änderungen in diesem Register werden direkt umgesetzt.

### 3.4

### Kerbfälle



Register 3 enthält Angaben zu den Kerbfällen.

4H-EC3 - Ermüdung [Position 123: Seeßelberg 11.9.3]

Kerbfälle (☒ genormte Werte) ☐ maßgebende Kerbpunkte

Kerbpunkte ☐ linksseitig ☒ rechtsseitig ☐ beidseitig

Pkt.	$y_f / z_f$	$\Delta\sigma_{x,f,Rd}$	$\Delta\tau_{f,Rd}$	$\Delta\sigma_{z,f,Rd}$	
1	-150.0 / 0.0	160.0	0.0	0.0	<input type="checkbox"/>
2	-150.0 / 19.0	160.0	0.0	0.0	<input type="checkbox"/>
3	-32.5 / 19.0	160.0	0.0	0.0	<input type="checkbox"/>
4	-5.5 / 46.0	160.0	100.0	160.0	<input type="checkbox"/>
5	-5.5 / 254.0	160.0	100.0	0.0	<input type="checkbox"/>
6	-32.5 / 281.0	160.0	0.0	0.0	<input type="checkbox"/>
7	-150.0 / 281.0	160.0	0.0	0.0	<input type="checkbox"/>
8	-150.0 / 300.0	160.0	0.0	0.0	<input type="checkbox"/>
17	-130.3 / 19.0	80.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/> aktiv
18	-32.5 / 19.0	80.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/> aktiv
19	-5.5 / 46.0	80.0	100.0	100.0	<input checked="" type="checkbox"/> aktiv
20	-5.5 / 254.0	80.0	100.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/> aktiv
21	-32.5 / 281.0	80.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/> aktiv
22	-130.3 / 281.0	80.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/> aktiv
* 29	-25.0 / 0.0	0.0	80.0	36.0	<input checked="" type="checkbox"/> aktiv
30	-32.0 / 0.0	100.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/> aktiv

\* Nachweis der Schweißnaht

Unter Ermüdungsbelastung ist ein Querschnitt an den Stellen besonders empfindlich gegen Versagen, an denen sein äußeres Gefüge infolge von Kerben gestört ist. Eine Störung erfolgt an Schweißnähten (sowohl in der Wurzel als auch am Schenkelende), an Schraubenlöchern, bei Abrundungen und an Querschnittskanten allgemein.

Die ermüdungsempfindlichen Stellen eines Querschnitts werden als Kerbfälle bezeichnet, an denen die Ermüdungsspannung vorgegebene Kerbspannungen nicht überschreiten darf.

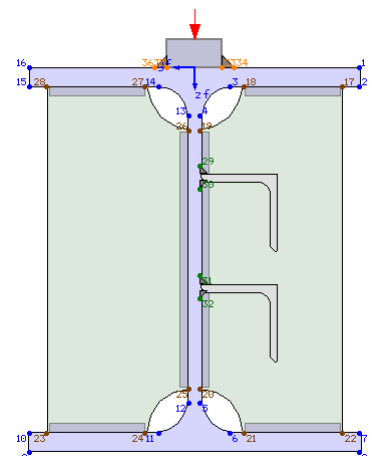
In diesem Register werden alle verfügbaren Kerbfälle des Doppel-T-Trägerprofils tabellarisch aufgeführt und grafisch dargestellt. Der Übersichtlichkeit halber werden die Kerbpunkte nach ihrer Ursache farblich unterschieden.

- blau: Profilkanten, -abrundungen / -schweißnähte
- braun: Schweißnähte der Quersteifen am Trägerprofil
- grün: Schweißnähte der Längssteifen am Trägerprofil
- orange: Befestigung der Kranbahnschiene auf dem Trägerobergurt / Einleitung der Kranbahnlast in den Trägeruntergurt

Ein (\*) kennzeichnet, wenn der Nachweis für die Schweißnaht geführt wird.

Kerbfälle

Pkt.	$y_f / z_f$	$\Delta\sigma_{x,f,Rd}$	$\Delta\tau_{f,Rd}$	$\Delta\sigma_{z,f,Rd}$	
1	-150.0 / 0.0	160.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/> aktiv
...	...	...	...	...	...
4	-5.0 / 44.5	160.0	100.0	160.0	<input checked="" type="checkbox"/> aktiv
...	...	...	...	...	...
6	-32.0 / 332.5	160.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/> aktiv
...	...	...	...	...	...
17	-135.0 / 17.5	80.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/> aktiv
...	...	...	...	...	...
29	-5.0 / 89.4	56.0	100.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/> aktiv
...	...	...	...	...	...
* 33	-25.0 / 0.0	36.0	80.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/> aktiv



Neben der Punktnummer und der y-/z-Lage im Querschnitt werden die zulässigen Kerbnormalspannungen  $\Delta\sigma_x$ ,  $\Delta\sigma_z$  und die zulässige Kerbschubspannung  $\Delta\tau$  angegeben.

Der Schalter **aktiv** kennzeichnet den **Kerbpunkt** als Nachweispunkt, d.h. ist der Schalter für einen Punkt nicht aktiviert, wird er nicht nachgewiesen.

Die Kerbspannungen können entweder nach Norm (EC 3-1-9, Tab. 8.xx) vorgelegt oder frei eingegeben werden. Ebenso können nur die für den Querschnitt maßgebenden Kerbpunkte vom Programm als **aktiv** gesetzt werden.

Kerbfälle ☒ genormte Werte ☒ maßgebende Kerbpunkte

Um die Anzahl an Nachweispunkten zu reduzieren und aus Gründen der Übersichtlichkeit, können auch nur die rechtsseitigen oder linksseitigen Kerbpunkte angezeigt und aktiviert werden.

Kerbpunkte ☐ linksseitig ☐ rechtsseitig ☒ beidseitig



Bei unsymmetrischem Querschnitt oder mehrachsiger Belastung sollten die Kerbpunkte stets beidseitig des Querschnitts untersucht werden, da sonst der maßgebende Punkt ggf. nicht aktiviert ist.

Ist der Button **auto** in der Kopfzeile des Programmfensters angeschaltet, werden die Berechnungsergebnisse permanent abgeglichen und online am Bildschirm dargestellt (s.a. Schnittgrößen Abs. 3.5, S. 15).

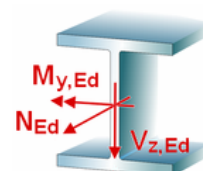
Maximale Ausnutzung  $U_{max} = 0.322 \leq 1$  ok.

### 3.5

## Schnittgrößen



Das dritte Register beinhaltet die Maske zur Eingabe der **Bemessungsschnittgrößen**.



Die Schnittgrößen werden als Bemessungsgrößen mit der Vorzeichendefinition der Statik eingegeben, wobei das x,y,z-Koordinatensystem dem l,m,n-Stabsystem der **pcae**- Tragwerksprogramme entspricht.

Es können bis zu 10.000 Schnittgrößenkombinationen eingegeben werden.

Beim Ermüdungsnachweis müssen mindestens zwei Kombinationen vorhanden sein. Bemessungssituation: Grenzzustand der Ermüdung.

	N <sub>Ed</sub> kN	M <sub>y,Ed</sub> kNm	V <sub>z,Ed</sub> kN	M <sub>z,Ed</sub> kNm	V <sub>y,Ed</sub> kNm	M <sub>x,Ed</sub> kNm	Bezeichnung
	-9.4	-145.6	135.7	2.7	2.3	-0.0	
	-3.3	-30.2	31.6	3.5	4.4	-0.0	

Sind Längssteifen an den Querschnitt angeschweißt, verschiebt sich die Träger-Schwerachse. Es besteht daher die Möglichkeit, die Schnittgrößen entweder bezogen auf den unverteiften (relevant z.B. bei Übernahme der Schnittgrößen aus einem //-Programm) oder auf den versteiften Querschnitt einzugeben.

Schnittgrößen in der Schwerachse des ☒ unverteiften ☐ versteiften Querschnitts

## Schnittgrößen importieren

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

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

Schnittgrößen aus **##**-Programm importieren



Schnittgrößen aus Text-Datei einlesen



### Import aus einer Text-Datei



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

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

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

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

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

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

Eine ausführliche, allgemeine Beschreibung zum Schnittgrößenimport aus einem **pcae**-Programm finden Sie im DTE<sup>®</sup>-Handbuch.

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

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

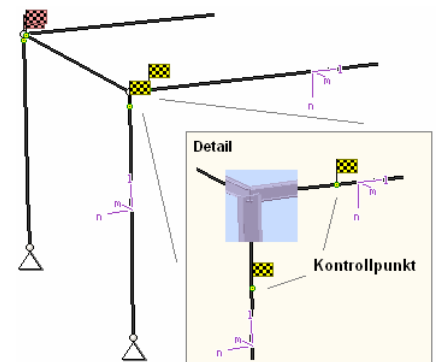
- zum einen können Tragwerks- und Detailprogramm fest miteinander verbunden sein, d.h. die Schnittgrößenübergabe erfolgt intern. Es sind i.A. keine weiteren Eingaben (z.B. Geometrie) notwendig, aber auch möglich (z.B. weitere Belastungen), die Programme bilden eine Einheit. Dies ist z.B. bei dem **##**-Programm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

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

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

Dazu ist an der entsprechenden Stelle ein Kontrollpunkt zu setzen.

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



Nach einer Neuberechnung des Rahmens stehen die Exportschnittgrößen dem aufnehmenden **##**-Programm (z.B. **##**-BETON, **##**-EC3SA, **##**-EC3BT, **##**-EC3RE, **##**-EC3GT, **##**-EC3TT, **##**-EC3BL etc.) zum Import zur Verfügung.



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

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

<input checked="" type="checkbox"/>	Schnitt 1: Stab 3 bei s = 0.18 m	Stahlriegel, Anschl. Anschluss 1
<input checked="" type="checkbox"/>	Schnitt 2: Stab 5 bei s = 0.00 m	Stahlriegel, Anschluss 2
<input checked="" type="checkbox"/>	Schnitt 3: Stab 7 bei s = 2.00 m	Stahlbetonriegel
<input checked="" type="checkbox"/>	Schnitt 4: Stab 9 bei s = 4.00 m	Stahlstütze, Anschluss 2
<input checked="" type="checkbox"/>	Schnitt 5: Stab 10 bei s = 3.88 m	Stahlstütze, Anschl. Anschluss 1
<input checked="" type="checkbox"/>	Schnitt 6: Stab 11 bei s = 0.00 m	Stahlbetonstütze

In der Schnittgrößenauswahl werden die verfügbaren Schnittgrößenkombinationen aller im übergebenden Programm gekennzeichneten Schnitte angeboten. Dabei sind diejenigen Schnitte deaktiviert, deren Material nicht kompatibel mit dem Detailprogramm ist. Es wird nun der Schnitt angeklickt und damit geöffnet, dessen Schnittgrößen eingelesen werden sollen.

Σ

Σ

Schnitt 1: Stab 3 bei s = 0.18 m

Stahlriegel, Anschlitt, Anschluss 1

Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE240

Nachweis 2: Schnittgrößenermittlung (Th. I. Ord.)

Nachweis 3: EC 3 Tragfähigkeit (Th. I. Ord.)

Lastkollektive

Zusammenfassung Nachweis 3

min N

max N

min V<sub>n</sub>

max V<sub>n</sub>

min V<sub>z</sub>

max V<sub>z</sub>

min T

max T

min M<sub>n</sub>

max M<sub>n</sub>

min M<sub>z</sub>

max M<sub>z</sub>

N

kN

V<sub>m</sub>

kN

V<sub>n</sub>

kN

T

kNm

M<sub>m</sub>

kNm

M<sub>n</sub>

kNm

-18.34

15.66

-14.44

0.00

-2.76

13.43

-15.93

25.18

-24.26

-0.01

34.14

17.91

-17.44

0.88

-7.61

0.00

-28.68

4.33

-15.93

25.18

-24.26

-0.01

34.14

17.91

-15.93

25.18

-24.26

-0.01

34.14

17.91

-17.44

0.88

-7.61

0.00

-28.68

4.33

-15.93

25.18

-24.26

-0.01

34.14

17.91

-17.44

0.88

-7.61

0.00

-28.68

4.33

-15.93

25.18

-24.26

-0.01

34.14

17.91

-17.44

0.88

-7.61

0.00

-28.68

4.33

-15.93

25.18

-24.26

-0.01

34.14

17.91

Schnitt 2: Stab 5 bei s = 0.00 m

Stahlriegel, Anschluss 2

Schnitt 3: Stab 7 bei s = 2.00 m

Stahlbetonriegel

Schnitt 4: Stab 9 bei s = 4.00 m

Stahlstütze, Anschluss 2

Schnitt 5: Stab 10 bei s = 3.88 m

Stahlstütze, Anschlitt, Anschluss 1

Schnitt 6: Stab 11 bei s = 0.00 m

Stahlbetonstütze

In **##**-EC3EM, **##**-EC3LK und **##**-EC3SA ist der komplette verfügbare Schnittgrößensatz importierbar. Die anderen Programme **##**-EC3BL, **##**-EC3TT, **##**-EC3BT, **##**-EC3RE, **##**-EC3IH und **##**-EC3IS importieren dagegen nur einen auf ebene Beanspruchung reduzierten Satz, was jeweils durch gelbe Hinterlegung der Spalten angezeigt wird.

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



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

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

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



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

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

### 3.5.2

#### Nachweisergebnisse



Ist der Button **auto** in der Kopfzeile des Programmfensters angeschaltet, werden permanent die Berechnungsergebnisse abgeglichen und je Lastkollektiv online am Bildschirm dargestellt.

Maximale Ausnutzung  $U_{\max} = 0.322 \leq 1$  ok.



Je nach Nachweisoptionen und Anzahl an Lastkollektiven kann die Berechnung und damit der Bildaufbau sehr lange dauern. **pcae** empfiehlt, den Button **auto** zunächst **aus**zuschalten.

## 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
$N_{\text{tot}}$	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  $\lambda$  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
$\lambda$	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. 6, S. 44).

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  
 $\varphi_{fat}$  schadensäquivalenter dynamischer Faktor  
 $Q_{max,i}$  Maximalwert der charakteristischen vertikalen Radlast

Der schadensäquivalente dynamische Faktor kann angenommen werden zu

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

$\varphi_1, \varphi_2$  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  $\lambda$  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 Kranen, die zeitweise zusammenwirken

### 3.6.2

#### 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

### 3.6.3

#### 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.

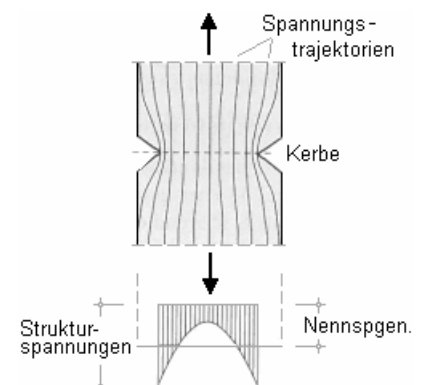
Die Spannungsschwingbreite der Nennspannungen wird bestimmt mit

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

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.

### 3.6.4

### 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  $\sigma_x$  und  $\tau_{xz}$  aus globaler Tragwirkung und lokale Längs- und Schubspannungen  $\sigma_{oz}$  und  $\tau_o$  am Obergurt bzw.  $\sigma_{uz}$  und  $\tau_u$  am Untergurt z.B. aus der Kranbahn.

Die Spannungs differenzen 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 (s. Kranbahn Abs. 3.7, S. 25) mit

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

$\sigma_{oz}, \tau_o$     Normal- u. Schubspannung aus Kranbahn am Obergurt  
 $\sigma_{uz}, \tau_u$     ... am Untergurt  
 $\sigma_T$     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  
 $\gamma_{Ff}$     Last-Sicherheitsbeiwert für Nachweise im GZE, i.A.  $\gamma_{Ff} = 1.0$   
 $\gamma_{Mf}$     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. 6, S. 44) 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

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

### 3.6.5

#### 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*

### 3.6.6

#### Beispiel

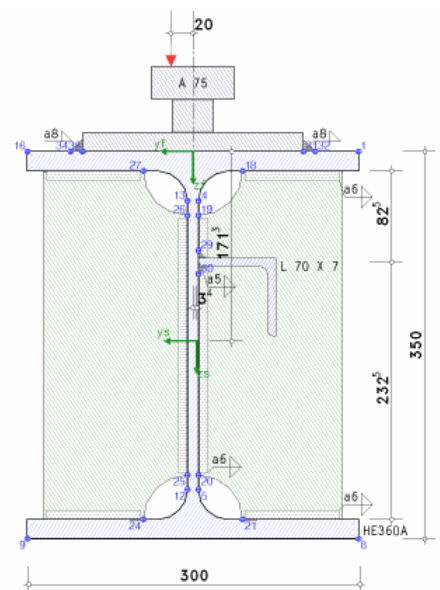
Für einen längsversteiften Kranbahnträger (HEA360, eine Steife L 70x7, Stahlgüte S 235) wird im Bereich des Mittelaufagers (Quersteife 130x7, Abstand  $a = 3.0$  m) der Ermüdungsnachweis an den maßgebenden Kerbpunkten geführt.

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 <sup>2</sup>	$\Delta\tau_{Rd}$ N/mm <sup>2</sup>	$\Delta\sigma_{z,Rd}$ N/mm <sup>2</sup>	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 Schweißnaht (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

Krankklasse S3:  $\lambda_{\sigma} = 0.397$ ,  $\lambda_{\tau} = 0.575$   
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 (Kranbahn Abs. 3.7, S. 25).

#### wirksame Lasteinleitungslänge aus der Kranbahn

effektive Breite  $b_{eff} = b_r + h_r + t_{fo} = 294.5 \text{ mm} \leq b_{ro}$   
Trägheitsmoment Schiene mit Trägerflansch  $I_{rf} = 1059.39 \text{ cm}^4$   
effektive Länge  $l_{eff} = 3.25 \cdot (I_{rf}/t_w)^{1/3} = 331.3 \text{ mm}$

#### lokale Spannungen aus der Kranbahn

wirksame Lasteinleitungslänge bezogen ...  
... auf die Flanschaußenkante  $s_s = l_{eff} - 2 \cdot t_f = 296.3 \text{ mm}$  / ... auf den Steg  $s_w = l_{eff} + 2 \cdot r = 385.3 \text{ mm}$   
lokale Spannungen ...  
... an der Schiene  $\sigma_{oz} = -27.0 \text{ N/mm}^2$ ,  $\tau_o = 5.4 \text{ N/mm}^2$   
... am Trägersteg  $\sigma_{oz} = -20.8 \text{ N/mm}^2$ ,  $\tau_o = 4.2 \text{ N/mm}^2$

#### Stegbiegespannung

$M_{T,Ed} = F_{z,Ed} \cdot e_y = 1.60 \text{ kNm} \Rightarrow \sigma_T = (6 \cdot M_{T,Ed}) / (a \cdot t_w^2) \cdot \eta \cdot \tanh(\eta) = 36.7 \text{ N/mm}^2$   
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  $\sigma_x$  und  $\tau_{xz}$  aller Lastkollektive (s. Schnittgrößen Abs. 3.5, S. 15) berechnet.

Mit den lokalen Spannungen  $\sigma_{oz}$ ,  $\tau_o$  und  $\sigma_T$  (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

$M_{y,Ed'} = M_{y,Ed} - N_{Ed} \cdot \Delta z_s$  ( $\Delta z_s = -3.7 \text{ mm}$ ),  $M_{z,Ed'} = M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot \Delta y_s$  ( $\Delta y_s = -3.4 \text{ mm}$ )  
Lk 1:  $M_{y,Ed'} = -30.2 \text{ kNm}$ ,  $M_{z,Ed'} = 3.5 \text{ kNm}$   
Lk 2:  $M_{y,Ed'} = -145.8 \text{ kNm}$ ,  $M_{z,Ed'} = -1.3 \text{ kNm}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Nachweis der Kerbspannungen

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

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

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

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

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

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**

## 3.7

## Kranbahn

Eine Kranbahn kann am Ober- oder Untergurt des Trägers laufen. Darstellung des Eigenschaftsblatt s. Abs. 3.3, S. 13.

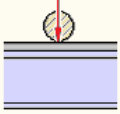
### 3.7.1

### Kranbahn am Obergurt

Verläuft die Kranbahn am Obergurt, wird der Träger durch das Rad einer Kranbahnachse belastet, das andere Rad der Achse fährt auf einem zweiten Träger. Das Rad läuft auf einer Schiene, die zentrisch über dem Trägersteg angeordnet ist. Dadurch wird die Kranbahnlast möglichst günstig in die Unterkonstruktion geleitet.

Für die lokalen Nachweise der Lasteinleitung und der Ermüdung sind die lokalen Spannungen aus der Radlast der Kranbahn zu berechnen. Die Radlast setzt sich zusammen aus einer ggf. exzentrisch zur Trägerachse  $z$  wirkenden Druckkraft  $F_{z,Ed}$  sowie einer am Schienenkopf angreifende Horizontallast  $H_{Ed}$ , die nur beim Nachweis der Lasteinleitung berücksichtigt wird.

Belastung aus der Kranbahn			
Radlast am Obergurt	$F_{z,Ed}$	80.00	kN
Exzentrizität	$e_y$	20.00	mm
seitliche Horizontallast	$H_{Ed}$	17.50	kN

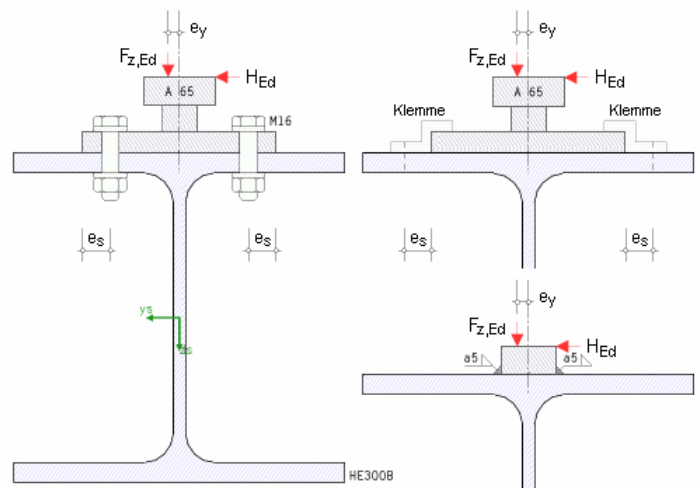



Bei exzentrischen Querlasten sind stets Quersteifen im Steg anzuordnen!

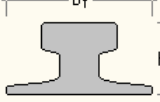
In **pcae**-Programmen werden die **Schiententypen** **Flachstahl**, **Form A** und **Form F** unterstützt.

Die zur Berechnung erforderlichen Parameter werden aus den Abmessungen des Typs **Flachstahl** berechnet bzw. sind für die Typen **Form A** und **Form F** hinterlegt.

Über den Typ **Sonderform** können die Berechnungsparameter vom Anwender vorgegeben werden.



Schiene			
Typ	Form A	65	
Fußbreite	$b_f$	175.0	mm
Höhe (abgenutzt)	$h'$	68.0	mm
Fläche (abgenutzt)	$A'$	5060.0	cm <sup>2</sup>
Trägheitsmoment (abgenutzt)	$I'_y$	2410000.0	cm <sup>4</sup>



Die Verbindung der Schiene mit dem Träger kann schubfest oder schwimmend erfolgen. Bei einer schubfesten Verbindung darf der (abgenutzte) Schienenquerschnitt dem Trägerquerschnitt zugeordnet werden.

Verbindung der Schiene mit dem Träger

- ☐ schubfest  
☒ schwimmend

Eine schubfeste Verbindung kann durch Schweißnähte oder HV-Schrauben erfolgen. Bei einer Verbindung mit Schweißnähten sind die Schweißnahtdicke und je nach Ausführung (durchlaufend oder unterbrochen mit gegenüberliegender oder versetzter Nahtanordnung) die Abschnittslänge der Naht anzugeben.

☒ Verbindung mit Schweißnähten  
 Schweißnahtdicke  $a_w$  5.0 mm  
☐ durchlaufende Nähte  
☒ unterbrochene Nähte  
 Abschnittslänge  $l_w$  60.0 mm  
☒ gegenüberliegende Anordnung  
☐ versetzte Anordnung

HV-Schrauben haben die Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 und können nur an die breitfüßige Schiene *Form A* (ggf. *Sonderform*) angebracht werden. Hier ist der Abstand der Schrauben vom seitlichen Rand des Schienenfußes anzugeben.

☉ Verbindung mit HV-Schrauben nur Schiene Form A bzw. Sonderform

Schraubengröße	16	<input checked="" type="checkbox"/> Vorgabe
Festigkeitsklasse	8.8	<input checked="" type="checkbox"/> Vorgabe
Abstand einer Schraube $e_s$ vom Schienenfußrand	25,0	mm

Eine **schwimmende Verbindung** kann über Klemmen hergestellt werden, wobei eine Klemmplatte den Schienenfuß am Trägergurt fixiert. Eine elastische Schienenunterlage kann vorgesehen werden, die die Lastenleitungsbreite der Radlasten erheblich reduziert.

☉ Verbindung mit Klemmen nur Schiene Form A, F bzw. Sonderform

☐ elastische Schienenunterlage

Alternativ kann die schwimmende Verbindung mit Kehlnähten ausgeführt sein.

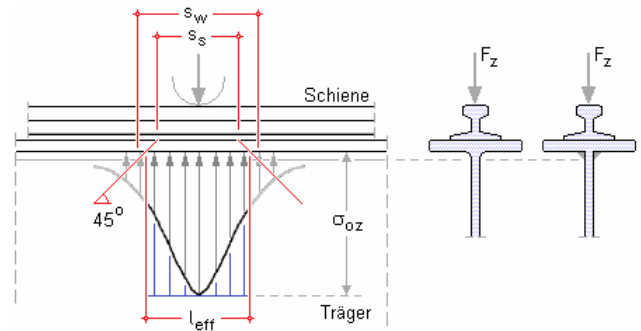
☉ Verbindung mit Kehlnähten

### 3.7.2

#### Berechnung der effektiven Lastausbreitungslänge

Die Lastenleitung eines Kranbahnrads am Obergurt darf im Bereich der effektiven Lastausbreitungslänge  $l_{eff}$  als gleichmäßig verteilt angenommen werden.

Bezogen auf die Unterkante des oberen Trägerflanschs wird entspr. DIN EN 1993-6, Tab. 5.1, berechnet.



$$l_{eff} = 3.25 \cdot (I_{rf} / t_w)^{1/3} \quad \text{Kranschiene schubstarr am Flansch befestigt}$$

$$l_{eff} = 3.25 \cdot ((I_r + I_{f,eff}) / t_w)^{1/3} \quad \text{Kranschiene nicht schubstarr am Flansch befestigt}$$

$$l_{eff} = 4.25 \cdot ((I_r + I_{f,eff}) / t_w)^{1/3} \quad \text{Kranschiene auf einer mind. 6 mm dicken nachgiebigen Elastomerunterlage}$$

$I_{f,eff}$  Flächenmoment 2. Grades um die horizontale Schwerlinie des Flanschs mit der effektiven Breite  $b_{eff}$

$I_r$  Flächenmoment 2. Grades um die horizontale Schwerlinie der Schiene

$I_{rf}$  Flächenmoment 2. Grades um die horizontale Schwerlinie des zusammengesetzten Querschnitts einschl. Schiene und Flansch mit der effektiven Breite  $b_{eff}$

$t_w$  Stegdicke

$b_{eff} = b_{fr} + h_r + t_f$  ... aber ...  $b_{eff} \leq b$

$b$  Gesamtbreite Obergurt

$b_{fr}$  Breite Schienenfuß

$h_r$  Schienenhöhe

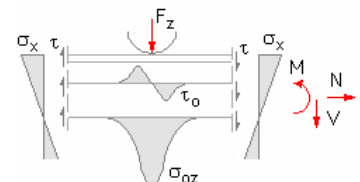
$t_f$  Flanschdicke

### 3.7.3

#### lokale Spannungen

Die Kranbahnlast wird über die Schiene in den Träger geleitet.

Bei aufgeschweißter Schiene wird davon ausgegangen, dass die Last nur über die Schweißnähte in den Träger übertragen wird.



Lokale Spannungen sind daher sowohl in der Wurzel der Schienennaht an der Flanschaußenkante des Trägers als auch im Trägersteg am Übergang zur Ausrundung (gewalztes Profil) oder Schweißnaht (geschweißter Blechträger) zu ermitteln.

$$\text{im Trägersteg} \quad \sigma_{oz} = \frac{F_{z,Ed}}{s_w \cdot t_w} \quad \text{und} \quad \tau_o = 0.2 \cdot \sigma_{oz} \quad \text{mit} \quad s_w = l_{eff} + 2 \cdot r \quad \text{oder} \quad l_{eff} + 2 \cdot a_w \cdot \sqrt{2}$$

$$\text{in der Schienennaht} \quad \sigma_{oz} = \frac{F_{z,Ed}}{2 \cdot s_s \cdot a_w} \quad \text{und} \quad \tau_o = 0.2 \cdot \sigma_{oz} \quad \text{mit} \quad s_s = l_{eff} - 2 \cdot t_{fo}$$

### 3.7.4

#### exzentrische Lasteinleitung

I.A. ist eine Exzentrizität der Radlast am Schienenkopf nicht auszuschließen, die zu einer Stegbiegung im Bereich des Obergurts führt.

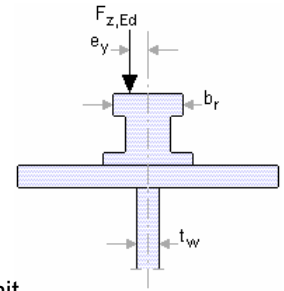
Die Exzentrizität braucht allerdings nur bei Kranklassen S3 bis S9 berücksichtigt zu werden (s. EC 3-6, 9.3.3(1)).

Nach EC 1-3 sollte die Exzentrizität als Bruchteil der Schienenkopfbreite (s. EC 1-3, 2.5.2.1(2):  $e_y = 0.25 \cdot b_r$ ) angenommen werden.

Bei quer ausgesteiftem Träger wird die Stegbiegespannung berechnet mit

$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6 \cdot T_{Ed}}{a \cdot t_w^2} \cdot \eta \cdot \tanh(\eta) \quad \text{mit} \quad \eta = \left( \frac{0.75 \cdot a \cdot t_w^3}{l_t} \cdot \frac{\sinh^2(\eta \cdot h_w/a)}{\sinh(2 \cdot \eta \cdot h_w/a) - 2 \cdot \pi \cdot h_w/a} \right)^{0.5}$$

$a$  Abstand der Quersteifen im Steg  
 $h_w$  Gesamthöhe des Stegs als lichter Abstand zwischen den Flanschen  
 $l_t$  Torsionsträgheitsmoment des Flanschs (einschl. Schiene, falls schubstarr fest)  
 $T_{Ed} = F_{z,Ed} \cdot e_y$  Torsionsmoment aus exzentrischer Radlast  
 $e_y$  Exzentrizität  $e$  der Radlast, wobei  $e_y \geq 0.5 \cdot t_w$   
 $t_w$  Stegblechdicke



### 3.8

#### Kranbahn am Untergurt

Eine Kranbahn kann auch am Untergurt angebracht sein. Im Gegensatz zur Obergurtbahn hängt sie normalerweise mit beiden Rädern an einem Träger, wobei die Räder links und rechts direkt auf dem unteren Flansch laufen.

Der Abstand der Räder vom seitlichen Flanschrand und der Abstand zwischen den Radachsen sind anzugeben.

**Belastung aus der Kranbahn**

Radlast am Untergurt ☒  $F_{z,Ed}$  10.00 kN je Seite

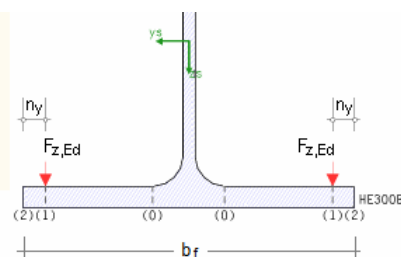
Abstand der Räder vom seitlichen Flanschrand  $n_y$  20.0 mm

Abstand der Radachsen  $a_R$  100.0 cm

Bei der Unterflanschkranbahn bleibt eine ggf. auftretende Horizontallast bei den lokalen Nachweisen unberücksichtigt. Der Nachweisort ist zur Berechnung der wirksamen Lasteinleitungslänge anzugeben.

**Nachweisort**

☐ Rad außerhalb der Trägerendbereiche  
☐ Rad am Trägerende (ungestützter Unterflansch)  
☒ Rad am Trägerende (gestützter Unterflansch)  
 Abstand des Rads vom Trägerende  $x_e$  40.0 cm  
☐ Rad am Trägerende (Prellbock)



### 3.8.1

#### wirksame Lasteinleitungslänge

In Abhängigkeit vom Nachweisort wird die effektive Lasteinleitungslänge auf dem Untergurt berechnet mit (DIN EN 1993-6, Tab. 6.2)

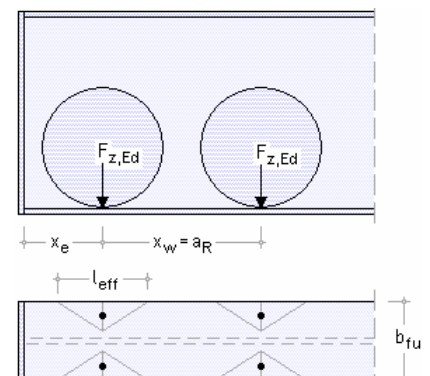
Rad an einem ungestützten Flanschende

$$2 \cdot (m+n)$$

Rad außerhalb der Trägerendbereiche

$$4 \cdot \sqrt{2} \cdot (m+n) \quad \text{für} \quad x_{wv} \geq 4 \cdot \sqrt{2} \cdot (m+n)$$

$$2 \cdot \sqrt{2} \cdot (m+n) + 0.5 \cdot x_{wv} \quad \text{für} \quad x_{wv} < 4 \cdot \sqrt{2} \cdot (m+n)$$





Rad in einem Abstand  $x_e \leq 2 \cdot \sqrt{2} \cdot (m+n)$  von einem Prellbock, am Trägerende

$$2 \cdot (m+n) \cdot \left( x_e/m + \sqrt{1 + (x_e/m)^2} \right) \dots \text{aber} \dots \leq \sqrt{2} \cdot (m+n) + x_e \dots \text{für} \dots x_w \geq 2 \cdot \sqrt{2} \cdot (m+n) + x_e$$

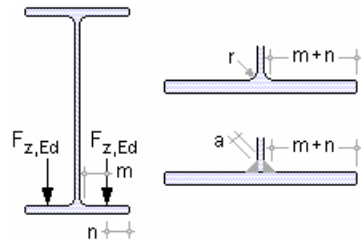
$$2 \cdot (m+n) \cdot \left( x_e/m + \sqrt{1 + (x_e/m)^2} \right) \dots \text{aber} \dots \leq \sqrt{2} \cdot (m+n) + 0.5 \cdot (x_w + x_e) \dots \text{für} \dots x_w < 2 \cdot \sqrt{2} \cdot (m+n) + x_e$$

Rad in einem Abstand  $x_e \leq 2 \cdot \sqrt{2} \cdot (m+n)$  am gestützten Flanschende, das entweder unten oder durch ein angeschweißte Stirnplatte gelagert ist

$$2 \cdot \sqrt{2} \cdot (m+n) + x_e + 2 \cdot (m+n)^2/x_e \dots \text{für} \dots x_w \geq 2 \cdot \sqrt{2} \cdot (m+n) + x_e + 2 \cdot (m+n)^2/x_e$$

$$\sqrt{2} \cdot (m+n) + 0.5 \cdot (x_w + x_e) + (m+n)^2/x_e \dots \text{für} \dots x_w < 2 \cdot \sqrt{2} \cdot (m+n) + x_e + 2 \cdot (m+n)^2/x_e$$

wobei gilt



$x_e$  Abstand vom Trägerende bzw. von der Stützung am Trägerende zur Schwerlinie des Rads  
 $x_w = a_R$  Abstand der Räder voneinander  
 $m$  Abstand von der Schwerlinie des Rads zum Steg abzgl. 80% des Ausrundungsradius bzw. Schweißnahtschenkels  
 $n = n_y$  Abstand von der Schwerlinie des Rads zum seitlichen Flanschrand

### 3.8.2

#### lokale Spannungen

Die Biegespannungen, die durch eine Untergurtbahn erzeugt werden, sind an den bezeichneten Stellen (0 = Übergang von Steg zum Flansch), (1 = Schwerlinie der Lasteinleitung) und (2 = äußere Flanschseite) zu berücksichtigen.

Unter der Voraussetzung, dass die Radlasteinleitung in einem Abstand größer  $b_f$  vom Trägerende ( $x_e > b_f$ , s. wirksame Lasteinleitungslänge Abs. 3.8.1) erfolgt, können die Biegespannungen ermittelt werden mit

$$\sigma_{ox,Ed} = c_x \cdot F_{z,Ed} / t_f^2 \dots \text{und} \dots \sigma_{oy,Ed} = c_y \cdot F_{z,Ed} / t_f^2$$

Die Koeffizienten dürfen bestimmt werden zu (DIN EN 1993-6, Tab. 5.2;  $c_{xi}$  und  $c_{yi}$  sind positiv bei Zugspannungen an der Flanschunterseite)

	parallele Flansche	geneigte Flansche
Längsbiegespannung $\sigma_{ox,Ed}$	$c_{x0} = 0.050 - 0.580 \cdot \mu + 0.148 \cdot e^{3.015 \mu}$ $c_{x1} = 2.230 - 1.490 \cdot \mu + 1.390 \cdot e^{-18.33 \mu}$ $c_{x2} = 0.730 - 1.580 \cdot \mu + 2.910 \cdot e^{-6.00 \mu}$	$c_{x0} = -0.981 - 1.479 \cdot \mu + 1.120 \cdot e^{1.322 \mu}$ $c_{x1} = 1.810 - 1.150 \cdot \mu + 1.060 \cdot e^{-7.700 \mu}$ $c_{x2} = 1.990 - 2.810 \cdot \mu + 0.840 \cdot e^{-4.690 \mu}$
Querbiegespannung $\sigma_{oy,Ed}$	$c_{y0} = -2.110 + 1.977 \cdot \mu + 0.0076 \cdot e^{6.530 \mu}$ $c_{y1} = 10.108 - 7.408 \cdot \mu - 10.108 \cdot e^{-1.364 \mu}$ $c_{y2} = 0.0$	$c_{y0} = -1.096 + 1.095 \cdot \mu + 0.192 \cdot e^{-6.00 \mu}$ $c_{y1} = 3.965 - 4.835 \cdot \mu - 3.965 \cdot e^{-2.675 \mu}$ $c_{y2} = 0.0$

wobei

$$\mu = 2 \cdot n_y / (b - t_w)$$



Geneigte Flansche werden nicht berücksichtigt.

Erfolgt die Radlasteinleitung am Trägerende und ist der Unterflansch unverstärkt, ist die Querbiegespannung mindestens anzunehmen mit

$$\sigma_{oy,end,Ed} = (5.6 - 3.225 \cdot \mu - 2.8 \cdot \mu^3) \cdot F_{z,Ed} / t_f^2$$

Ist der Abstand zwischen zwei benachbarten Radlasten  $< 1.5 \cdot b_f$ , sind die für jedes Rad getrennt berechneten Spannungen zu überlagern.



Die Spannungen werden addiert.



## 4 ##-EC3LK, Lasteinleitung

### 4.1 Eingabeoberfläche

Nachfolgend ist das Hauptfenster von ##-EC3LK dargestellt.

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



#### **Geometrie und Material** (s. Abs. 4.2, S. 31)

Im ersten Registerblatt werden das Trägerprofil beschrieben und die Stahlgüte festgelegt. Der Querschnitt wird zur visuellen Kontrolle maßstäblich am Bildschirm dargestellt.



#### **Kranbahn / Einzellast / Lasteinleitung** (s. Abs. 4.3, S. 33)

Im zweiten Registerblatt werden die Querbelastung (Kranbahn, Einzellast) sowie die nachweisrelevanten Parameter für den Nachweis der Lasteinleitung angegeben.



#### **Bemessungsschnittgrößen** (s. Abs. 3.5, S. 15)

Die Schnittgrößen werden im dritten Registerblatt festgelegt und können entweder 'per Hand' eingegeben oder aus einem **pcae**-Programm importiert werden. Um Schnittgrößen importieren zu können, muss das entsprechende ##-Programm in der exportfähigen Version installiert sein.

Die Schnittgrößen beziehen sich auf den Schwerpunkt des ggf. ausgesteiften Profils und das Koordinatensystem der Statik (x-y-z bzw. l-m-n).



#### **automatische Onlineberechnung**

Dieser Schalter kann **an** oder **aus** sein. Ist er **an**, wird das Berechnungsergebnis online während der Eingabe aktualisiert und am Bildschirm protokolliert.



#### **nationaler Anhang** (s. Abs. 5.3, S. 43)

Weiterhin ist zur vollständigen Beschreibung der Berechnungsparameter der dem Eurocode zu-

zuordnende nationale Anhang zu wählen. Über den **NA-Button** wird das entsprechende Eigenschaftsblatt aufgerufen.



#### **Ausdrucksteuerung** (s. Abs. 5.2, S. 42)

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



#### **Druckliste einsehen**

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



#### **Ausdruck**

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



#### **Planbearbeitung**

Über den **Pläne**-Button wird das **pcae**-Programm zur Planbearbeitung aufgerufen. Der aktuelle Querschnitt wird im **pcae**-Planerstellungsmodul 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 Speichern der Daten wird die Druckliste aktualisiert und in das globale Druckdokument eingefügt.

## 4.2

## Geometrie und Material



Im Register 1 (s. S. 29) werden die Material- und Geometrie-Parameter festgelegt.

### 4.2.1

#### Materialsicherheitsbeiwerte

Im Programm *##-EC3LK* werden nach EC 3-1-8 folgende Materialsicherheitsbeiwerte herangezogen.

Materialsicherheit ( <input checked="" type="checkbox"/> genormt)		
Beanspruchbarkeit von Querschnitten	$\gamma_{M0}$	1.00
Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen	$\gamma_{M1}$	1.00
Beanspruchbarkeit von Verbindungsmitteln	$\gamma_{M2}$	1.25
Gebrauchstauglichkeit	$\gamma_{M,ser}$	1.00

Die Werte können entweder den entsprechenden Normen (s. Nationaler Anhang Abs. 5.3, S. 43) entnommen oder vom Anwender vorgegeben werden.

### 4.2.2

#### Stahlsorte

Es wird eine einheitliche Stahlgüte für die Einzelelemente (Trägerprofil, Längssteifen, Kran-schiene) festgelegt.

Stahlsorte  ☐ Vorgabe

Da die Beschreibung der Stahlparameter nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung der Stahlsorten verwiesen, s. Abs. Abs. 5.1, S. 42.

### 4.2.3

#### Export / Import

- ▶ Daten exportieren (copy)
- ▶ Daten importieren (paste)

Die Eingabedaten können über die Copy-Paste-Funktion von einem Bauteil in ein ande-res übertragen 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.

Diese Funktionalität ermöglicht es außerdem, die Eingabedaten aus dem Programm *##-EC3LK*, Lasteinleitung aus Kranbahn, in die Programme *##-EC3BL*, Beulen, oder *##-EC3EM*, Ermü-dungsnachweis, zu übertragen. Die Daten können natürlich auch zurücktransportiert werden.

### 4.2.4

#### Geometrie

Das Programm *##-EC3LK* weist die lokale Lasteinleitung durch eine Kranbahn oder konzentrier-te Einzellast in ein Doppel-T-Profil nach. Die Parameter des Trägerprofils können dabei entwe-der über den **pcae**-eigenen Profilmanager in das Programm importiert oder als **typisiertes Stahlprofil** parametrisiert eingegeben werden.

Träger

☒ Profil aus Profilmanager

☐ parametrisiertes Stahlprofil

Profilname

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 Ver-lassen des Profilmanagers werden die benötigten Daten übernommen und der Profilname pro-tokolliert.

Zur Definition eines parametrisierten Profils wird zunächst seine Klasse über eine Listbox fest-gelegt, anhand derer bestimmt wird, welche weiteren Parameter freigelegt werden. Das Pro-gramm berechnet Träger mit Doppel-T-Profilen (I, H-, DIL-, S-, W-Profile).

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

☐ Profil aus Profilmanager **neu**  
☒ parametrisiertes Stahlprofil

Profilkategorie: I-Profil

Profilhöhe  $h$ : 3080.0 mm  
 Stegdicke  $t_w$ : 15.0 mm  
 Flanschbreite oben  $b_{fo}$ : 800.0 mm  
 Flanschdicke oben  $t_{fo}$ : 40.0 mm  
 Flanschbreite unten  $b_{fu}$ : 800.0 mm  
 Flanschdicke unten  $t_{fu}$ : 40.0 mm

☐ gewalztes Profil  
☒ geschweißtes Profil  
 Schweißnahtdicke  $a_o$ : 6.0 mm  
 $a_u$ : 6.0 mm

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

Das Trägerprofil kann durch vertikale Quersteifen (Schotte, Rippen) unterstützt werden. Erfolgt die Lasteinleitung bei einem Biegeträger über Rippen (s. Abs. 4.3, S. 33) sind die Querschnittswerte der Quersteifen anzugeben.

Wird ein Wert für die Blechlänge angegeben und ist dieser Wert kleiner als der Abstand zwischen den Flanschen, wird eine 'kurze' Steife berechnet. Diese wirkt **nicht** beim Nachweis des Querlastbeulens (s. Abs. 4.3.3, S. 34). Eine 'kurze' Quersteife wird stets am belasteten Flansch (Lasteinleitung am Ober- oder Untergurt) angebracht.

☒ **Quersteifen** zur Aussteifung der Lasteinleitung

Blechdicke  $t_{st}$ : 10.0 mm  
 Blechbreite  $b_{st}$ : 90.0 mm  $b_{st} = 0$ : Flanschrand - Steg  
 Blechlänge  $l_{st}$ : 200.0 mm  $l_{st} = 0$ : Flansch - Flansch  
 Aussparung an den Steifen  $c_{st}$ : 30.0 mm  $c_{st} = 0$ : 15xRundungsradius  
 Schweißnahtdicke am Flansch und Steg  $a_{st}$ : 5.0 mm

Bei einigen Nachweisen ist lediglich der Abstand der Quersteifen von statischem Interesse.

Abstand der Quersteifen  $a$ : 300.0 cm

Der Trägersteg kann längs ausgesteift sein. Dazu können bis zu fünf **Längssteifen** mit äquidistantem Abstand voneinander angeordnet werden.

Zunächst ist die Anzahl an Steifen festzulegen, anschließend der Abstand der ersten Steife von Oberkante Träger bzw. vom oberen Blechrand sowie der Abstand der Steifen voneinander. Es ist darauf zu achten, dass die Steifen sich nicht berühren bzw. überschneiden!

Die Steifen können wie das Trägerprofil entweder aus dem Profilmanager ausgewählt oder parametrisiert eingegeben werden. Als Längssteifen stehen Winkel-, U- bzw. C-, T- bzw. 1/2I-, Trapez-Profile und Flachstähle zur Verfügung, wobei Trapezprofil und Flachstahl nur parametrisiert eingegeben werden können.

☒ **Längssteifen**

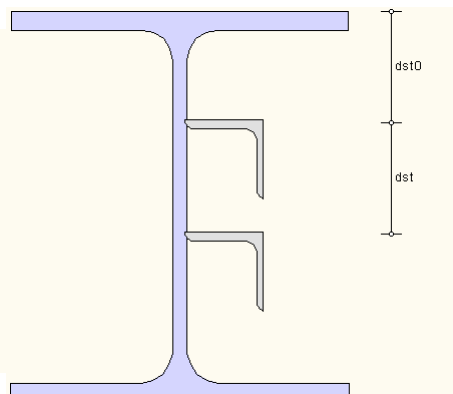
Anzahl  $n_{st}$ : 2  
 Abstand der ersten Steife von Oberkante Träger  $d_{st,0}$ : 100.0 mm  
 Abstand der Steifen voneinander  $d_{st}$ : 80.0 mm

☒ Profil aus Profilmanager  
☐ parametrisiertes Stahlprofil

Profilname: L 100 X 65 X 7

Schweißnahtdicke  $a_{st}$ : 5.0 mm

Anordnung der Längssteifen:
   
☒ einseitig rechts
   
☐ einseitig links
   
☐ beidseitig



Die Längssteifen können einseitig oder beidseits des Trägerstegs angebracht sein.

Zur optischen Kontrolle wird das ausgewählte Profil einschl. Längssteifen maßstäblich am Bildschirm angezeigt. Die Abstände der Längssteifen sind bezeichnet (s.o.).

## 4.3

## Lasteinleitung



Im Register 2 befinden sich die Angaben zur Belastung des Trägers durch eine Kranbahn oder Einzellast sowie nachweisspezifische Einstellungen.

☒ Kranbahnträger

☐ Biegeträger

Der Lasteinleitungsnachweis wird für einen Doppel-T-Träger mit Kranbahnbelastung am Ober- oder Untergurt oder für einen Biegeträger mit einer konzentrierten (Einzel)last geführt.

4H-EC3 - Lasteinleitung aus Kranbahn [Position 157: Lastein]

☒ Kranbahnträger ☐ Biegeträger

**Belastung aus der Kranbahn**

Radlast am Obergurt ☒  $F_{z,Ed}$  15.00 kN (GZT)  
 $F_{z,Ed}$  15.00 kN (GZG)

Exzentrizität  $e_y$  0.0 mm

seitliche Horizontallast  $H_{Ed}$  0.00 kN (GZT)  
 $H_{Ed}$  0.00 kN (GZG)

**Schiene** Typ Form A 75

Kopfbreite  $b_k$  75.0 mm

Fußbreite  $b_f$  200.0 mm

Höhe  $h$  85.0 mm

Abnutzung 25%

Höhe (abgenutzt)  $h'$  76.2 mm

Fläche (abgenutzt)  $A'$  6520.0 cm<sup>2</sup>

Trägheitsmomente (abgenutzt)  $I_y$  3880000.0 cm<sup>4</sup>  
 $I_z$  2370000.0 cm<sup>4</sup>

**Verbindung der Schiene mit dem Träger**

☒ schubfest

☐ Verbindung mit Kehlnähten

☒ Verbindung mit HV-Schrauben nur Schienenform A bzw. Sonderform

Schraubengröße M16 ☐ Vorgabe

Festigkeitsklasse 8.8 ☐ Vorgabe

FK 8.8 oder 10.9 HV-Schraube

Abstand einer Schraube  $e_s$  vom Schienenfußrand 25.0 mm

☐ schwimmend

### 4.3.1

## Kranbahn

Die Beschreibung der Rechenparameter der Kranbahn s. Abs. 3.7, S. 25.

Soll eine aufgesetzte Kranbahn mit Lasteinleitung am Obergurt nachgewiesen werden, sind Spannungsnachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) und Gebrauchstauglichkeit (GZG) an der Stegoberkante zu führen.

#### Nachweis der Lasteinleitung

- ☒ Nachweis der Stegpressung (GZT)
- ☒ Nachweis des elastischen Verhaltens (GZG)
- ☒ Nachweis der Querbelastrung (GZT)

Bei Hängekranen oder Unterflanschkatzbahnen werden optional die Tragfähigkeiten im GZT und im GZG nachgewiesen.

#### Nachweis der Lasteinleitung

- ☒ Nachweis der Unterflanschtragfähigkeit (GZT)
- ☒ Nachweis der Unterflanschbiegung (GZG)

### 4.3.2

## Einzellast

Die Resultierende der konzentrierten Last wird als Druckkraft  $F_{z,Ed}$  senkrecht zur Trägerachse eingegeben. Sie wirkt gleichmäßig im Bereich der starren Lasteinleitungslänge  $s_s$ .

Unter Berücksichtigung der Belastungsart wird die starre Lasteinleitungslänge nach EC 3-1-5, Kap. 6.3, berechnet.

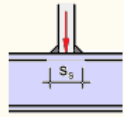
Belastung	
resultierende Einzellast	$F_{z,Ed}$ 317.50 kN (GZT)
Art der Belastung	Trägerkreuzung
Lastträger:	<input checked="" type="radio"/> Profil aus Profilmanager <input type="radio"/> parametrisiertes Stahlprofil
Profilname	IPE270
starre Lasteinleitungslänge $s_s$	44.6 mm



Bei einer Trägerkreuzung ergibt sie sich unter Annahme einer 45°-Lastausbreitung von der Mittelachse des Lastträger-Stegs tangential an den Ausrundungsradius oder die Schweißnähte zu

$$s_a = 2 \cdot t_f + t_w + 1.172 \cdot r \quad \text{bzw.} \quad s_a = 2 \cdot t_f + t_w + 2.828 \cdot a_w$$

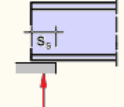
Art der Belastung	
aufgeschweißtes Blech	
Blechdicke	$t_p$ 50.0 mm
Schweißnahtdicke	$a_w$ 8.0 mm
starre Lasteinleitungslänge $s_s$	72.6 mm



Wird ein Blech aufgeschweißt, berechnet sich die Lasteinleitungslänge zu

$$s_a = t_p + 2.828 \cdot a_w = 72.6 \text{ mm}$$

Art der Belastung	
Auflager	
wirksame Auflagerlänge	$b_{eff}$ 30.0 mm
starre Lasteinleitungslänge $s_s$	30.0 mm



Bei einem Auflager entspricht die wirksame Auflagerlänge der Lasteinleitungslänge.

Art der Belastung	
Sonstiges	
Lastangriff am	Obergurt
starre Lasteinleitungslänge $s_s$	145.0 mm

Natürlich kann die starre Lasteinleitungslänge auch direkt vorgegeben werden.

Die Lasteinleitungsbreite, d.h. die Kontaktbreite auf dem Trägerflansch, wird analog der Lasteinleitungslänge für den Lastträger einer Trägerkreuzung berechnet. Sie wird vor allem für die Berechnung der Lagerpressung verwendet.

Eine konzentrierte Lasteinleitung erfordert Nachweise im GZT.

Nachweis der Lasteinleitung	
<input checked="" type="checkbox"/>	Nachweis der Stegpressung (GZT)
<input type="checkbox"/>	Nachweis der Flanschbiegung (GZG)
<input checked="" type="checkbox"/>	Nachweis der Querbelastrung (GZT)

Zusätzlich kann der Nachweis der Flanschbiegung (im GZG analog Kranbahnträger) geführt werden. Der Nachweis ist nach EC 3 nicht gefordert, da er i.A. nicht relevant ist.

### 4.3.3

### Querlastbeulen

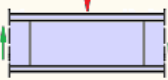
Der Nachweis der rippenlosen Lasteinleitung wird geführt, wenn keine zwischenliegenden Rippen im Bereich der Querlast angeordnet sind.

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

Die Querlasten werden entweder a) im Trägerfeld, b) am Zwischenauflager oder c) am Trägerende (Kragarm) eingeleitet. In den Fällen a) und b) sind Quersteifen zur Definition des Beulfelds vorzugeben.

Nachweis der Querbelastrung (GZT)	
<input checked="" type="checkbox"/>	rippenlose Lasteinleitung
	Quersteifen dienen als starre Lagerung des Blechfelds
<input checked="" type="radio"/>	Nachweis im Trägerfeld
<input type="radio"/>	Nachweis am Zwischenauflager
<input type="radio"/>	Nachweis am Trägerende

Quersteifen erforderlich !



Im Fall c) ist der Abstand des Lasteinleitungsbereichs zum Trägerende vorzugeben.

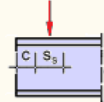
☒ Nachweis der Querbelastung (GZT)  
 Platten-/Schubbeulen ist ausgeschlossen.

☐ Nachweis im Trägerfeld

☐ Nachweis am Zwischenauflager

☒ Nachweis am Trägerende

c  mm



Der Nachweis der Interaktion wird für Querbelastung mit Vergleichsspannung durchgeführt. Zur Beschreibung der Berechnung s. Abs. 4.6, S. 40.

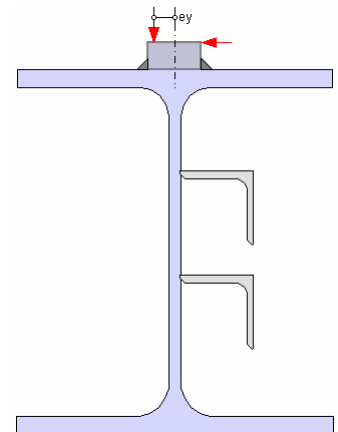
Kann die Last rippenlos nicht eingeleitet werden, können Quersteifen zur Aussteifung angeordnet werden.

☐ Lasteinleitung mit Rippen

Bei Anordnung von zwischenliegenden Quersteifen, die an beiden Flanschen angeschweißt werden, wird die Tragfähigkeit der Stegpressung erhöht. Nachweise des Querlastbeulens und der Flanschbiegung sind nicht erforderlich.

Kurze Quersteifen, die nur an einem Flansch angeschweißt werden, erhöhen die Tragfähigkeit der Stegpressung. Jedoch ist der Nachweis des Querlastbeulens zu führen. Flanschbiegung ist nicht relevant.

Der Querschnitt wird einschl. Kranbahn und Belastung maßstäblich am Bildschirm angezeigt. Änderungen in diesem Register werden direkt umgesetzt.



Ist der Button **auto** in der Kopfzeile des Programmfensters aktiviert, werden die Berechnungsergebnisse permanent abgeglänzt und online am Bildschirm dargestellt (s.a. Schnittgrößen Abs. 4.4, S. 35).

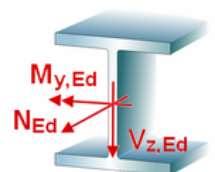
Maximale Ausnutzung  $U_{\max} = 0.423 \leq 1$  ok.

## 4.4

### Schnittgrößen



Das dritte und vierte Register beinhalten die Masken zur Eingabe der **Bemessungsschnittgrößen** im GZT und GZG und ggf. die vorhandene Ausnutzung.



Die Schnittgrößen werden als Bemessungsgrößen mit der Vorzeichendefinition der Statik eingegeben, wobei das x,y,z-Koordinatensystem dem l,m,n-Stabsystem der **pcae**-Tragwerksprogramme entspricht.

Es können bis zu 10.000 Schnittgrößenkombinationen eingegeben werden.

Bemessungssituation: Grenzzustand der Tragfähigkeit / Gebrauchstauglichkeit.

Alle weiteren Erläuterungen (auch zum Schnittgrößenimport) wie unter Abs. 3.5, S. 15.

## 4.5 Theorie Lasteinleitung EC 3-6

### 4.5.1 Allgemeines

Kranbahnträger werden beansprucht durch zweiachsige Biegung und Torsion.

Diese globale Belastung wird auf Grund der hohen konzentrierten Radlasten im Einleitungsbe-  
reich überlagert mit erheblichen Zusatzbeanspruchungen aus lokaler Druck-, Biege- und  
Schubbelastung. Die konzentrierte Lasteinleitung erfordert lokale Nachweise, um die Tragfähig-  
keit des Trägers zu gewährleisten.

- bei aufgesetzten Brückenlaufkränen: Beulnachweis unter lokaler Querbeltung n. EC 3-1-5,  
4.4, (s. Beschreibung #-EC3BL, Beulnachweise)
- Ermüdungsnachweis n. EC 3-6,9, und EC 3-1-9, (s. Beschreibung #-EC3EM, Ermüdungs-  
nachweis)
- Spannungsnachweise im GZG n. EC 3-6, 7.5
- bei Hängekränen/Unterflanschkatzen: Spannungsnachweise im GZT n. EC 3-6, 6.7

Im Folgenden werden die Spannungsnachweise der Radlasteinleitung aus Kranbahnen unter  
Berücksichtigung des EC 3-6, Kranbahnen (s. Literatur Abs. 6, S. 44), erläutert.

### 4.5.2 Spannungsnachweis im GZG

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

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

Die Schnittgrößen werden aus der maßgebenden charakteristischen (= seltenen) Lastfallkombi-  
nation 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 Unterflanschbie-  
gung) überlagert.

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

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

### 4.5.3 Spannungsnachweis im GZT

Die Tragfähigkeit des Unterflanschs eines Trägers bei Radlasteinleitung aus einem Hängekran  
oder einer Unterflansch-Laufkatze sollte ermittelt werden mit

$$F_{f,Rd} = \frac{l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}}{4 \cdot m} \cdot \left( 1 - \left( \frac{\sigma_{f,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 \right)$$

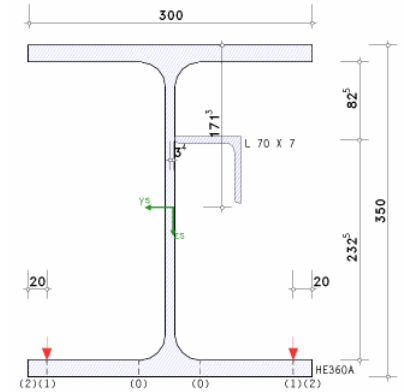
Zur Ermittlung der effektiven Länge  $l_{eff}$ , des Abstands  $m$  sowie der Spannung  $\sigma_{f,Ed}$  s. Kranbahn  
(Abs. 3.7, S. 25).



#### 4.5.4

#### Beispiel

Für einen längs versteiften Kranbahnträger (HEA 360, eine Steife L 70x7, Stahlgüte S 235) wird die Lasteinleitung eines Hängekrans am Trägerende (gestützter Unterflansch, Abstand des Rads vom Trägerende  $x_e = 30$  cm) nachgewiesen.



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 lokalen Spannungen werden in den maßgebenden Bemessungspunkten am Steg (0), im Bereich der Lasteinleitung (1) und am Flanschrand (2) berechnet (s. Kranbahn Abs. 3.7, S. 25).

##### wirksame Lasteinleitungslänge aus der Kranbahn

Rad im Abstand  $x_e = 300.0 \text{ mm} \leq 2 \cdot 2^{1/2} \cdot (m+n) = 349.0 \text{ mm}$  vom gestützten, gelagerten Flanschende

effektive Länge  $l_{\text{eff}} = 2 \cdot 2^{1/2} \cdot (m+n) + x_e + 2 \cdot (m+n)^2/x_e = 750.5 \text{ mm}$

$m = 103.4 \text{ mm}$ ,  $n = 20.0 \text{ mm}$  (für  $x_w = 1000.0 \text{ mm} > 2 \cdot 2^{1/2} \cdot (m+n) + x_e + 2 \cdot (m+n)^2/x_e = 750.5 \text{ mm}$ )

##### lokale Spannungen aus der Kranbahn am Unterflansch

$\sigma_{ux,Ed}(0) = 252.1 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_{ux,Ed}(1) = 252.1 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_{ux,Ed}(2) = 252.1 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{uy,Ed}(0) = -89.1 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_{uy,Ed}(1) = 252.1 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_{uy,Ed}(2) = 0.0 \text{ N/mm}^2$

Nach EC 3-6/NA-DE, 5.8, dürfen die lokalen Biegespannungen auf 75% reduziert werden.

##### 75% der lokalen Spannungen aus der Kranbahn:

$\sigma_{ux,Ed}(0) = 189.1 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_{ux,Ed}(1) = 189.1 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_{ux,Ed}(2) = 189.1 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{uy,Ed}(0) = -66.8 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_{uy,Ed}(1) = 189.1 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_{uy,Ed}(2) = 0.0 \text{ N/mm}^2$

Zur Ermittlung der globalen Spannungen sind ggf. die Biegemomente auf den versteiften Querschnitt zu beziehen. Für jedes Lastkollektiv werden in den Nachweispunkten die globalen Normal- und Schubspannungen  $\sigma_{x,Ed}$  und  $\tau_{xz,Ed}$  (s. Schnittgrößen Abs. 3.5, S. 15) berechnet und mit den lokalen Spannungen  $\sigma_{ux,Ed}$  und  $\sigma_{uy,Ed}$  überlagert.

Die Normal-, Schub- und Vergleichsspannungsnachweise werden geführt.

##### Unterflanschbiegung

zulässige Spannung:  $\sigma_{Rd} = f_y/\gamma_{M,ser} = 235.0 \text{ N/mm}^2$ ,  $\tau_{Rd} = f_y/(3^{1/2} \cdot \gamma_{M,ser}) = 135.7 \text{ N/mm}^2$

Biegemomente bezogen auf den versteiften Querschnitt:

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

Lk 1:  $M_{y,Ed} = -142.8 \text{ kNm}$ ,  $M_{z,Ed} = -1.3 \text{ kNm} \Rightarrow$

(0) Spannungen  $\sigma_{x,Ed}(0) = -76.9 \text{ N/mm}^2$ ,  $\tau_{Ed}(0) = -9.0 \text{ N/mm}^2$

Überlagerung  $\sigma_x = \sigma_{x,Ed}(0) + \sigma_{ux,Ed}(0) = 112.2 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_y = \sigma_{uy,Ed}(0) = 66.8 \text{ N/mm}^2$ ,  $\tau = \tau_{Ed}(0) = 9.0 \text{ N/mm}^2$

Normalspannung  $\sigma_x = 112.2 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.478 < 1$  ok.

Normalspannung  $\sigma_y = 66.8 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.284 < 1$  ok.

Schubspannung  $\tau = 9.0 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.038 < 1$  ok.

Vergleichsspannungen  $\sigma_{v1} = (\sigma_x^2 + 3 \cdot \tau^2)^{1/2} = 113.3 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_{v2} = (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau^2)^{1/2} = 99.0 \text{ N/mm}^2$

Vergleichsspannung  $\sigma_{v1} = 113.3 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.482 < 1$  ok.

Vergleichsspannung  $\sigma_{v2} = 99.0 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.421 < 1$  ok.

(1) Spannungen  $\sigma_{x,Ed}(1) = -76.6 \text{ N/mm}^2$ ,  $\tau_{Ed}(1) = -0.3 \text{ N/mm}^2$

Überlagerung  $\sigma_x = \sigma_{x,Ed}(1) + \sigma_{ux,Ed}(1) = 112.5 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_y = \sigma_{uy,Ed}(1) = 189.1 \text{ N/mm}^2$ ,  $\tau = \tau_{Ed}(1) = 0.3 \text{ N/mm}^2$

Normalspannung  $\sigma_x = 112.5 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.479 < 1$  ok.

Normalspannung  $\sigma_y = 189.1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.805 < 1$  ok.

Schubspannung  $\tau = 0.3 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.001 < 1$  ok.

Vergleichsspannungen  $\sigma_{v1} = (\sigma_x^2 + 3 \cdot \tau^2)^{1/2} = 112.5 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_{v2} = (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau^2)^{1/2} = 164.7 \text{ N/mm}^2$

Vergleichsspannung  $\sigma_{v1} = 112.5 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.479 < 1$  ok.

Vergleichsspannung  $\sigma_{v2} = 164.7 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.701 < 1$  ok.

(2) Spannungen  $\sigma_{x,Ed}(2) = -76.6 \text{ N/mm}^2$ ,  $\tau_{Ed}(2) = 1.0 \text{ N/mm}^2$

Überlagerung  $\sigma_x = \sigma_{x,Ed}(2) + \sigma_{ux,Ed}(2) = 112.5 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_y = \sigma_{uy,Ed}(2) = 0.0 \text{ N/mm}^2$ ,  $\tau = \tau_{Ed}(2) = 1.0 \text{ N/mm}^2$

Normalspannung  $\sigma_x = 112.5 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.479 < 1$  ok.

Schubspannung  $\tau = 1.0 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.004 < 1$  ok.

Vergleichsspannungen  $\sigma_{v1} = (\sigma_x^2 + 3 \cdot \tau^2)^{1/2} = 112.5 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_{v2} = (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau^2)^{1/2} = 112.5 \text{ N/mm}^2$

Vergleichsspannung  $\sigma_{v1} = 112.5 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.479 < 1$  ok.

Vergleichsspannung  $\sigma_{v2} = 112.5 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.479 < 1$  ok.

Im Endergebnis werden die maximale Ausnutzung max U sowie das maßgebende Lastkollektiv ausgegeben.

## Endergebnis

Maximale Ausnutzung [Lk 1]:  $\max U = 0.805 < 1$  **ok**.

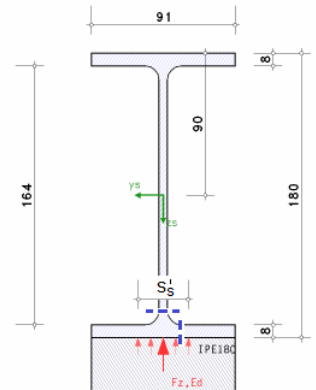
Nachweise erbracht

### 4.5.5 Lasteinleitung in einen Biegeträger

#### 4.5.5.1 Allgemeines

Beispiel: Ein unversteifter Träger IPE180 wird über ein 20 cm breites Zwischenauflager geführt. Dadurch beträgt die starre Lasteinleitungslänge auf den Trägerflansch in Längsrichtung des Trägers  $s_s = 200$  mm. In Querrichtung ergibt sich aus der Trägergeometrie die Lasteinbreitungsweite zu  $s_s' = 31.8$  mm.

Die Auflagerkraft wird mit  $F_{z,Ed} = 52,3$  kN angegeben.



#### 4.5.5.2 Spannungsnachweis im GZT

Der Nachweis der Stegpressung wird am Anschnitt des Stegs zur Flanschausrundung geführt. Die Länge der Lasteinleitung in Längsrichtung vergrößert sich am Steganschnitt auf  $s_w = 234$  mm.

Lasteinzugsbreite durch den Träger  $s_s' = 2 \cdot t_f + t_w + 1.172 \cdot r = 31.8$  mm,  $t_f = 8.0$  mm  
 Lasteinzugslänge durch das Auflager  $s_s = b_{eff} = 200.0$  mm  
 Zur Info: Lagerpressung  $F_{z,Ed,GZT}/(s_s \cdot s_s') = 8.21$  N/mm<sup>2</sup>,  $F_{z,Ed,GZG}/(s_s \cdot s_s') = 8.21$  N/mm<sup>2</sup>  
 wirksame Lasteinleitungslänge  $l_{eff} = s_s + 2 \cdot t_f = 216.0$  mm,  $t_f = 8.0$  mm

Länge der starren Lasteinleitung

bzogen auf die Flanschaußenkante  $s_s = l_{eff} - 2 \cdot t_f = 200.0$  mm / auf den Steganschnitt  $s_w = l_{eff} + 2 \cdot r = 234.0$  mm

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

Einzellastpressung am Steganschnitt

lokale Normalspannung  $\sigma_{oz,Ed} = -F_{z,Ed}/(t_w \cdot s_w) = -42.2$  N/mm<sup>2</sup>,  $F_{z,Ed} = 52.3$  kN,  $s_w = 234.0$  mm

$|\sigma_{oz,Ed}| = 42.2$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{Rd} = 235.0$  N/mm<sup>2</sup>  $\Rightarrow U = 0.179 < 1$  **ok**

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

Für eine beliebige Anzahl an Schnittgrößen aus Längsbiegung des Trägers werden die Vergleichsspannungsnachweise nach v. Mises geführt.

Platten- und Schubbeulen werden kontrolliert.

Spannungen am Steganschnitt

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

Lk 1:  $M_{y,Ed} = 28.4$  kNm,  $V_{z,Ed} = -29.0$  kN

Plattenbeulen: Q-Klasse des Profils 1  $\leq 3$  **ok**

Normalspannung  $\sigma_{x,Ed} = -157.4$  N/mm<sup>2</sup>

$|\sigma_{x,Ed}| = 157.4$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{Rd} = 235.0$  N/mm<sup>2</sup>  $\Rightarrow U = 0.670 < 1$  **ok**

Schubspannung  $\tau_{xz,Ed} = 25.8$  N/mm<sup>2</sup>

$|\tau_{xz,Ed}| = 25.8$  N/mm<sup>2</sup> <  $\tau_{Rd} = 135.7$  N/mm<sup>2</sup>  $\Rightarrow U = 0.190 < 1$  **ok**

Vergleichsspannung  $\sigma_v = (\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{oz,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{oz,Ed} + 3 \cdot \tau_{xz,Ed}^2)^{1/2} = 148.0$  N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_v = 148.0$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{Rd} = 235.0$  N/mm<sup>2</sup>  $\Rightarrow U = 0.630 < 1$  **ok**

Lk 2:  $M_{y,Ed} = -33.1$  kNm,  $V_{z,Ed} = 54.0$  kN

Plattenbeulen: Q-Klasse des Profils 1  $\leq 3$  **ok**

Normalspannung  $\sigma_{x,Ed} = 183.5$  N/mm<sup>2</sup>

$|\sigma_{x,Ed}| = 183.5$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{Rd} = 235.0$  N/mm<sup>2</sup>  $\Rightarrow U = 0.781 < 1$  **ok**

Schubspannung  $\tau_{xz,Ed} = 48.0$  N/mm<sup>2</sup>

$|\tau_{xz,Ed}| = 48.0$  N/mm<sup>2</sup> <  $\tau_{Rd} = 135.7$  N/mm<sup>2</sup>  $\Rightarrow U = 0.354 < 1$  **ok**

Vergleichsspannung  $\sigma_v = (\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{oz,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{oz,Ed} + 3 \cdot \tau_{xz,Ed}^2)^{1/2} = 223.8$  N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_v = 223.8$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{Rd} = 235.0$  N/mm<sup>2</sup>  $\Rightarrow U = 0.952 < 1$  **ok**

Ausnutzung am Steganschnitt  $\max U_\sigma = 0.952 < 1$  **ok**

Die maximale Ausnutzung wird protokolliert und auch im Register *Schnittgrößen im GZT* angezeigt.

Maximale Ausnutzung:  $\max U_{GZT} = 0.952 < 1$  **ok**

#### 4.5.5.3

#### Spannungsnachweis im GZG

Der Nachweis der Flanschbiegung wird am Anschnitt des Flanschs zur Stegausrundung geführt. Zur Berechnung der Biegespannung wird sehr vereinfachend das Modell eines Kragarms verwendet, wobei die Querspannungen in der Flanschplatte vernachlässigt werden.

Die Länge des Kragarms entspricht dem Abstand der Lasteinleitungsbreite zum Steganschnitt und wird berechnet mit  $l_k = (s_s' - t_w)/2 - r > 0$ .

Für das Beispiel ergibt sich folgender Berechnungsablauf

Flanschbiegung am Anschnitt

Belastung, Lasteinleitungslänge  $F_{z,Ed} = 52.3 \text{ kN} \Rightarrow q = -F_{z,Ed}/s_s' = 1.64 \text{ kN/mm}$ ,  $s_s' = 31.8 \text{ mm}$   
 lokale Normalspannung  $\sigma_{oy,Ed} = |M|/W = 1.4 \text{ N/mm}^2$ ,  $M = q \cdot l_k^2/2 = -0.01 \text{ kNm}$ ,  $W = 1 \cdot t_f^2/6 = 10.67 \text{ cm}^3$ ,  $l = 4.3 \text{ mm}$   
 $|\sigma_{oy,Ed}| = 1.4 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.006 < 1$  **ok**

Ist die Ausnutzung  $U$  infolge der Flanschbiegung kleiner als 0.1, erfolgt keine Überlagerung mit den Längsspannungen. Flanschbiegung ist nicht relevant. Andernfalls wird die Überlagerung der Spannungen analog der Stegpressung (s.o.) durchgeführt.

#### 4.5.5.4

#### 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 kurzen (zweiseitiger Anschluss an Flansch und Steg) oder zwischenliegenden Stegsteifen (dreiseitiger Anschluss an beiden Flanschen und Steg) erfolgen. Kurze Steifen reduzieren die Ausnutzung der Spannungsnachweise, mit zwischenliegenden Stegsteifen (Rippen) ist zudem der Nachweis der Querbelaugung überflüssig.

Beschreibung der Nachweisführung von Stegsteifen/Rippen s. Handbuch #-EC3RE, Nachweis der Stegsteifen - als pdf-Dokument im Internet unter pcae.de.

Für das Beispiel ergibt sich folgender Berechnungsablauf

Lastübertragung durch Quersteifen (Rippen)

Die Schweißnähte werden mit dem richtungsbezogenen Verfahren nachgewiesen.

Abmessungen, Hebelarme, Kräfte je Rippe

$b_R = b_{st} = 40.0 \text{ mm}$ ,  $b_1 = b_R - r_R = 26.5 \text{ mm}$ ,  $e_F = b_R - 0.5 \cdot b_1 = 26.7 \text{ mm}$  mit  $r_R = 13.5 \text{ mm}$

zweiseitiger Rippenanschluss:

$l_R = l_{st} = 100.0 \text{ mm}$ ,  $l_1 = l_R - r_R = 86.5 \text{ mm}$ ,  $e_H = l_R - l_1/3 = 71.2 \text{ mm}$ ,  $t_R = 20.0 \text{ mm}$

$F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_R - 2 \cdot r - t_w)/b_F = 19.5 \text{ kN}$ ,  $H = F \cdot e_F/e_H = 7.3 \text{ kN}$

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet (Nachweisverfahren 'Elastisch-Elastisch'  $\Rightarrow$  max. Q-Klasse 3)

$\alpha/t$ -Verhältnis  $\alpha/t = 2.00 \leq 9.00 = 9 \cdot \alpha_c$ ,  $\varepsilon = (235/f_y)^{1/2} = 1.00 \Rightarrow$  Q-Klasse 1  $\leq 3 \Rightarrow$  Voraussetzung erfüllt !!

Querschnitt am Flansch

Drucktragfähigkeit  $N_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 124.55 \text{ kN}$

Bemessungsgröße:  $F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 23.2 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 23.2 \text{ kN} < F_{Rd} = 124.6 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.186 < 1$  **ok**

Querschnitt am Steg

Drucktragfähigkeit  $N_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 470.00 \text{ kN}$

Bemessungsgröße:  $F_{Ed} = (H^2 + 3 \cdot F^2)^{1/2} = 34.5 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 34.5 \text{ kN} < F_{Rd} = 470.0 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.073 < 1$  **ok**

Schweißnähte am Flansch

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

Bemessungsgrößen:  $F_{Ed}(\sigma_s) = F / (2 \cdot b_1) = 3.67 \text{ kN/cm}$ ,  $F_{Ed}(\tau_p) = H / (2 \cdot b_1) = 1.38 \text{ kN/cm}$

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche:  $\sigma_s = 9.18 \text{ kN/cm}^2$ ,  $\tau_p = 3.45 \text{ kN/cm}^2$

$\sigma_{1,w,Ed} = (\sigma_s^2 + 3 \cdot (\tau_p^2 + \tau_p^2))^{1/2} = 10.95 \text{ kN/cm}^2$

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

$\sigma_{1,w,Ed} = 10.95 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.304 < 1$  **ok**

$\sigma_{2,w,Ed} = |\sigma_s| = 9.18 \text{ kN/cm}^2$

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

$\sigma_{2,w,Ed} = 9.18 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.354 < 1$  **ok**

Schweißnähte am Steg

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

Bemessungsgrößen:  $F_{Ed}(\sigma_s) = H / (2 \cdot l_1) = 0.42 \text{ kN/cm}$ ,  $F_{Ed}(\tau_p) = F / (2 \cdot l_1) = 1.12 \text{ kN/cm}$

Nahtdicke  $a = 4.0 \text{ mm} > a_{max} = 0.7 \cdot t_{min} = 3.7 \text{ mm}$  !!

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche:  $\sigma_s = 1.06 \text{ kN/cm}^2$ ,  $\tau_p = 2.81 \text{ kN/cm}^2$

$\sigma_{1,w,Ed} = (\sigma_s^2 + 3 \cdot (\tau_p^2 + \tau_p^2))^{1/2} = 4.98 \text{ kN/cm}^2$

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

$\sigma_{1,w,Ed} = 4.98 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.138 < 1$  **ok**

$\sigma_{2,w,Ed} = |\sigma_s| = 1.06 \text{ kN/cm}^2$

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

$\sigma_{2,w,Ed} = 1.06 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.041 < 1$  **ok**

Gesamt: Ausnutzung der Rippen  $U_R = 0.354 < 1$  **ok**

Die Spannungsnachweise können nun ohne den lokalen Anteil  $\sigma_{oz,Ed}$  geführt werden.

#### 4.5.6

#### Kranbahn

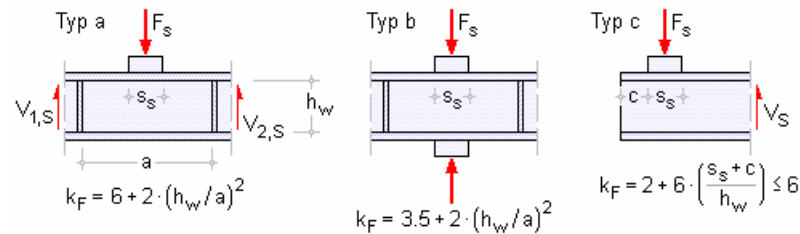
Zur Kranbahn s. Abs. 3.7, S. 25.

#### 4.6

#### Theorie Querlastbeulen

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

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



#### 4.6.1

#### Bemessungswert der Beanspruchbarkeit

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

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

$l_y$  wirksame Lastenleitungslänge ohne Stegbeulen

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

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

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

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

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

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

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

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

$k_F$  Beulwert für Stege ohne Längssteifen s. Bild 6.1

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

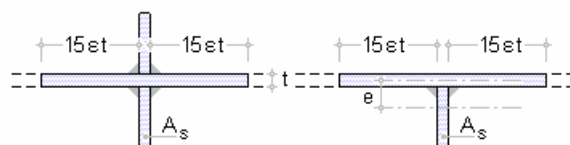
gilt für  $0.05 \leq b_1/a \leq 0.3$  und  $b_1/h_w \leq 0.3$  für Typ (a)

$b_1$  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  $15 \cdot e \leq t \leq$  lichter Abstand der Steifen

EC 3-1-5, Bild 9.1, wirksamer Querschnitt von Steifen



Nach NA-DE darf die Ersatzverzweigungslast für Stege mit Längssteifen ermittelt werden zu

$$F_{cr} = (F_{cr,1} \cdot F_{cr,2}) / (F_{cr,1} + F_{cr,2}) \quad \text{mit ...}$$

$$F_{cr,1} = k_{F,1} \cdot (\pi^2 \cdot E) / (12 \cdot (1 - \nu^2)) \cdot t_w^3 / h_w$$

$$F_{cr,2} = k_{F,2} \cdot (\pi^2 \cdot E) / (12 \cdot (1 - \nu^2)) \cdot t_w^3 / b_1 \quad \text{und ...}$$

$$k_{F,1} = k_F(s.o.)$$

$$k_{F,2} = (0.8 \cdot (s_s + 2 \cdot t_f) / a + 0.6) \cdot (a/b_1)^{(0.6 \cdot (s_s + 2 \cdot t_f) / a + 0.5)}$$

Nach NA-DE ist eine genauere Ermittlung des Beulwerts  $k_F$  nach diesem Verfahren z.B. mit Software oder aus Literatur nicht zulässig.

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

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

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

#### 4.6.2

#### Nachweis

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

## 5 Allgemeines

### 5.1 Stahlsorten

In **pcae**-Programmen werden folgende typisierten Stahlsorten vorgehalten (s. EC 3-1-1, 3.2.1, Tab.3.1)

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

Natürlich können die zur Bemessung in diesem Programm verwendeten Parameter verändert und an geeignete Produktnormen angepasst werden.

Stahlsorte	S 275	<input checked="" type="checkbox"/> Vorgabe
char. Streckgrenze	$f_y$	275.0 N/mm <sup>2</sup>
char. Zugfestigkeit	$f_u$	430.0 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul	E	210000 N/mm <sup>2</sup>
Korrelationsbeiwert	$\beta_w$	0.85

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

### 5.2 Ausdrucksteuerung

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

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

Zunächst kann eine maßstäbliche **grafische Darstellung** des Querschnitts in die Liste eingefügt werden. Der Maßstab kann entweder vorgegeben werden, oder die Zeichnung wird im Falle einer Eingabe von 0 größtmöglich in den dafür vorgesehenen Platz gesetzt.

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

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

Im Anschluss an die Ergebnisse sind die zur Bemessung des Querschnitts 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.

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

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

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

☒ tabellarisch  
☐ maßgebendes Lastkollektiv detailliert  
☒ Lastkollektiv detailliert: Nr.

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 Nr. i detailliert** ausgeben zu lassen.

Natürlich kann auch nur das **maßgebende Lastkollektiv** protokolliert werden.

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.).

☒ Zwischenergebnisse  
☒ Erläuterungsskizzen



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

Beispielausdrucke, auch in englischer Sprache, finden Sie im Internet unter [www.pcae.de](http://www.pcae.de).

## 5.3

### 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®**-Schreibtischs heraus aufgerufen (Beschreibung s. Handbuch **DTE®-DeskTopEngineering**). Einen direkten Zugang zu diesem Werkzeug liefert die kleine Schaltfläche hinter dem **Schraubenziehersymbol**.



## Normen

- /1/ DIN EN 1990, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /2/ DIN EN 1990/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /3/ DIN EN 1991-1-2, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung EN 1991-1-2, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /4/ DIN EN 1991-1-2/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe September 2015
- /5/ DIN EN 1993-1-1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dez. 2010
- /6/ DIN EN 1993-1-1/A1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005/A1:2014, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Juli 2014
- /7/ DIN EN 1993-1-1/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dez. 2018
- /8/ DIN EN 1993-1-2, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung EN 1993-1-2, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /9/ DIN EN 1993-1-2/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /10/ DIN EN 1993-1-3, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-3: Allgemeine Regeln - Ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche; Deutsche Fassung EN 1993-1-3:2006 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /11/ DIN EN 1993-1-3/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-3: Allgemeine Regeln - Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /12/ DIN EN 1993-1-5, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile; Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017 + A2:2019, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Oktober 2019
- /13/ DIN EN 1993-1-5 Berichtigung 1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile; Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017 + A2:2019, Berichtigung 1, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Juli 2020
- /14/ DIN EN 1993-1-5/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /15/ DIN EN 1993-1-8, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /16/ DIN EN 1993-1-8/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe November 2020
- /17/ DIN EN 1993-1-9, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung; Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005 + AC:2009, Deutsches Institut für Nor-



mung e.V., Ausgabe Dezember 2010

- /18/ DIN EN 1993-1-9/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /19/ DIN EN 1993-6, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 6: Kranbahnen; Deutsche Fassung EN 1993-6:2007 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /20/ DIN EN 1993-6/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 6: Kranbahnen; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /21/ DIN EN 1999-1-1, Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln; Deutsche Fassung EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 + A2:2013, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe März 2014
- /22/ DIN EN 1999-1-1/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /23/ DIN 18800-1, Stahlbauten - Teil 1: Bemessung und Konstruktion; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe November 2008

### **Bemessung**

- /24/ E. Kahlmeyer, K. Hebestreit, W. Vogt: Stahlbau nach EC3, Bemessung und Konstruktion, Träger - Stützen - Verbindungen, 6. Auflage, Werner-Verlag, 2012
- /25/ R. Kindmann, M. Stracke: Verbindungen im Stahl- und Verbundbau, 3. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 2012
- /26/ R. Kindmann, M. Krüger: Stahlbau Teil 1: Grundlagen, 5. Aufl., Verl. Ernst & Sohn, 2013
- /27/ R. Kindmann: Stahlbau Teil 2: Stabilität und Theorie II. Ordnung, 4. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 2008
- /28/ R. Kindmann, J. Frickel: Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit, Grundlagen, Methoden, Berechnungsverfahren, Beispiele, Verlag Ernst & Sohn, 2002
- /29/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 1: Tragwerksplanung, Grundlagen, 5. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014
- /30/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 2: Verbindungen und Konstruktionen, 3. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2011
- /31/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 3: Komponentenmethode, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014
- /32/ D. Ungermann, K. Weynand, J.-P. Jaspart, B. Schmidt: Momententragfähige Anschlüsse mit und ohne Steifen, Stahlbau Kalender 2005, Verlag Ernst & Sohn, 2005
- /33/ D. Ungermann, S. Schneider: Stahlbaunormen DIN EN 1993-1-8: Bemessung von Anschlüssen, Stahlbau Kalender 2013, Verlag Ernst & Sohn, 2013
- /34/ D. Ungermann, M. Feldmann, O. Oberegge et.al.: Entwicklung eines Bemessungsmodells für geschraubte, momententragfähige Kopfplattenverbindungen mit 4 Schrauben in einer Schraubenreihe auf der Grundlage der prEN 1993-1-8:2003: Forschungsbericht zum Forschungsvorhaben AiF Nr. 15059, Deutscher Ausschuss für Stahlbau (DASt), Stahlbau Verlags- und Service GmbH, 2009
- /35/ Björn Schmidt: Zum Tragverhalten von geschraubten momententragfähigen Stirnplattenverbindungen mit 4 Schrauben in jeder Schraubenreihe, Dissertation, TU Dortmund, 2008
- /36/ Beispiele zur Bemessung von Stahltragwerken nach DIN EN 1993 Eurocode 3, bauforumstahl e.V., Verlag Ernst & Sohn GmbH & Co. KG
- /37/ K. Weynand, R. Oerder: Typisierte Anschlüsse im 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](http://www.calenberg-ingenieure.de)
- /41/ ECCS Document No. 126: European Recommendations for the Design of Simple Joints in Steel Structures. ECCS TC10 - Structural Connections, 2009. J.P. Jaspart, J.F. Démonceau, S. Renkin, M.L. Guillaume
- /42/ D. Ungermann, R. Puthli, Th. Ummenhofer, K. Weynand: Eurocode 3, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Band 2: Anschlüsse, DIN EN 1993-1-8 mit Nationalem Anhang, Kommentar und Beispiele, 2015
- /43/ B. Braun, U. Kuhlmann: Bemessung und Konstruktion von aus Blechen zusammengesetzten Bauteilen nach DIN EN 1993-1-5, Stahlbau-Kalender 2009, Verlag Ernst & Sohn, 2009
- /44/ U. Kuhlmann, A. Zizza, B. Braun: Stahlbaunormen DIN EN 1993-1-5: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Plattenförmige Bauteile, Stahlbau Kalender 2012, Verlag Ernst & Sohn, 2012
- /45/ R. Timmers, G. Lener, F. Sinur, B. Kövesdi, R. Chacon: Stabilitätsnachweise nach EN 1993-1-5 - Theorie und Beispiele, Stahlbau-Kalender 2015, Verlag Ernst & Sohn, 2015
- /46/ M. Feldmann, U. Kuhlmann, M. Mensinger: Entwicklung und Aufbereitung wirtschaftlicher Bemessungsregeln für Stahl- und Verbundträger mit schlanken Stegblechen im Hoch- und Brückenbau: Forschungsbericht zum Forschungsvorhaben AiF Nr. 14771, Deutscher Ausschuss für Stahlbau (DASt), Stahlbau Verlag GmbH, 2008
- /47/ C. Seeßelberg: Kranbahnen, 4. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014
- /48/ A. Steurer: Das Tragverhalten und Rotationsvermögen geschraubter Stirnplattenverbindungen, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Zürich, Dezember 1999
- /49/ T. Laufs, C. Radlbeck: Aluminiumbau-Praxis nach Eurocode 9, Berechnung und Konstruktion, Bauwerk, Bauwerk, Beuth-Verlag GmbH, 2015
- /50/ J.-M. Franssen, P. Vila Real: Fire Design of Steel Structures, 2nd Edition, ECCS - European Convention for Constructional Steelwork, 2015
- /51/ DASt-Richtlinie 027: Ermittlung der Bauteiltemperatur feuerverzinkter Stahlbauteile im Brandfall, Ausgabe Nov. 2020
- /52/ M. Mensinger, M. Stadler: Brandschutznachweise, Workshop Eurocode 3 - Rechenbeispiele, 8. November 2008, München
- /53/ Berechnungsrichtlinie für die Querschnitts- und Stabbemessung nach Eurocode 3 mit Schwerpunkt auf semi-kompakten Querschnitten; TU Graz Institut für Stahlbau, Lessingstr. 25/38010 Graz
- /54/ W. Martin:  $\zeta$ -Werte für den Biegedrillknicknachweis von I-Profilen
- /55/ J. Lindner, J. Scheer, H. Schmidt: Stahlbauten, Erläuterungen zu DIN 18800 Teil 1 bis Teil 4, Beuth-Kommentare
- /56/ J. Lindner: Stabilisierung von Trägern durch Trapezbleche, Stahlbau 56 (1987), S. 9-15
- /57/ R. Puthli: Hohlprofilkonstruktionen im Geschossbau - Ausblick auf die europäische Normung, Stahlbau-Kalender 2002, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2002
- /58/ R. Puthli, R. Ummenhofer, J. Wardenier, I. Pertermann: Anschlüsse mit Hohlprofilen nach DIN EN 1993-1-8, Stahlbau-Kalender 2011, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2011
- /59/ J. Wardenier, Y. Kurobane, J.A. Packer, G.J. van der Vegte, X.-L. Zhao: Berechnung + Bemessung von Verbindungen aus Rundhohlprofilen unter vorwiegend ruhender Belastung, CIDECT 1, 2. Aufl. 2008/2011
- /60/ J.A. Packer, J. Wardenier, X.-L. Zhao, G.J. van der Vegte, Y. Kurobane: Anschlüsse mit rechteckigen Hohlprofilen unter vorwiegend ruhender Belastung, CIDECT 3, 2. Aufl. 2009/2012

Abkürzungen.....	2	Lasteinleitungslänge wirksame.....	27
Anhang nationaler.....	43	lokale Spannungen.....	26, 28
Ausdrucksteuerung.....	42	Materialsicherheitsbeiwert.....	11, 31
Bauteil erzeugen.....	7	Mittelspannungseinfluss.....	14
Bemessungsschnittgrößen.....	15, 35	Ordner.....	7
Druckliste.....	42	Profil.....	11, 31
e-Mail.....	6	Profil parametrisiertes.....	11, 31
Englisch.....	43	Querlastbeulen.....	40
Export.....	11, 31	Quersteife.....	12, 32
exzentrische Lasteinleitung.....	27	Schientyp.....	25
Fremdsprache.....	43	Schnittgrößen.....	15, 35
Import.....	11, 16, 31	Schnittgrößenimport.....	16
Installation.....	5	Schreibtisch.....	6
Kerbfall.....	12, 14	Schreibtischauswahl.....	5
Kerbpunkt.....	15	schwimmende Verbindung.....	26
Kontextsensitivität.....	6	Spannungen lokale.....	26, 28
Kranbahn Obergurt.....	25	Stahlsorte.....	11, 31, 42
Kranbahn Untergurt.....	27	Startsymbol.....	5
Längssteife.....	12, 32	Steuerbutton.....	6
Lastausbreitungslänge.....	26	Unterflanschkranbahn.....	27
Lasteinleitung exzentrische.....	27	Verbindung schwimmende.....	26
Lasteinleitungslänge.....	13	wirksame Lasteinleitungslänge.....	27