



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



Geometrie und Material

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



Kranbahn / Einzellast / Lasteinleitung

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



Bemessungsschnittgrößen

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 **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

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

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



Druckliste einsehen

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



Ausdruck

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



Planbearbeitung

Über den **Pläne**-Button wird das **pcae**-Programm zur Planbearbeitung aufgerufen.

Der aktuelle Querschnitt wird im **pcae**-Planerstellungsmodule dargestellt, kann dort weiterbearbeitet, geplottet oder im DXF-Format exportiert werden.



Onlinehilfe

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

Eingabe beenden



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

Geometrie und Material



im Register 1 werden die Material- und Geometrie-Parameter festgelegt

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

Material

Stahlsorte ☐ Vorgabe

Kennung

Daten exportieren

Daten importieren

Materialsicherheit (☒ genormt)

Beanspruchbarkeit von Querschnitten	γ_{M0}	1.00
Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen	γ_{M1}	1.10
Beanspruchbarkeit von Verbindungsmitteln	γ_{M2}	1.25
Gebrauchstauglichkeit	$\gamma_{M,ser}$	1.00

Träger

☒ Profil aus Profilmanager

☐ parametrisiertes Stahlprofil

Profilname

☐ Quersteifen

☒ Längssteifen Anzahl n_{st}

Abstand der Steife von Oberkante Träger $d_{st,0}$ mm

☒ Profil aus Profilmanager

☐ parametrisiertes Stahlprofil

Profilname

Anordnung der Längssteifen

- ☒ einseitig rechts
- ☐ einseitig links
- ☐ beidseitig

Bild vergrößern

Materialsicherheitsbeiwerte

Im Programm 4H-EC3LK werden nach EC 3-1-8 folgende Materialsicherheitsbeiwerte herangezogen

Materialsicherheit (☒ genormt)		
Beanspruchbarkeit von Querschnitten	γ_{M0}	1.00
Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen	γ_{M1}	1.00
Beanspruchbarkeit von Verbindungsmitteln	γ_{M2}	1.25
Gebrauchstauglichkeit	$\gamma_{M,ser}$	1.00

Die Werte können entweder den entsprechenden Normen (s. Nationaler [Anhang](#)) entnommen oder vom Anwender vorgegeben werden.

Stahlsorte

Es wird eine einheitliche Stahlgüte für die Einzelemente (Trägerprofil, Längssteifen, Kranschiene) festgelegt.

Stahlsorte ☐ Vorgabe

Da die Beschreibung der Stahlparameter nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung der [Stahlorten](#) verwiesen.

Export / Import

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

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

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 *4H-EC3LK*, Lasteinleitung aus Kranbahn, in die Programme *4H-EC3BL*, Beulen, oder *4H-EC3EM*, Ermüdungsnachweis, zu übertragen.

Die Daten können natürlich auch zurücktransportiert werden.

Geometrie

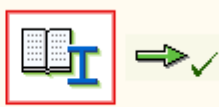
Das Programm *4H-EC3LK* weist die lokale Lasteinleitung durch eine Kranbahn oder konzentrierte Einzellast in ein Doppel-T-Profil nach.

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 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. **Reg. 2**) sind die Querschnittswerte der Quersteifen anzugeben.

☒ **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 c_{st} 30.0 mm $c_{st} = 0$: 1.5xRundungsradius
 an den Steifen
 Schweißnahtdicke a_{st} 5.0 mm
 am Flansch und Steg

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. **Reg. 2**).

Eine 'kurze' Quersteife wird stets am belasteten Flansch (Lasteinleitung am Ober- oder Untergurt) angebracht.

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

Abstand der Quersteifen a 300.0 cm

Der Trägersteg kann längs aussteift 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**

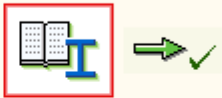
Anzahl n_{st}

Abstand der ersten Steife von Oberkante Träger $d_{st,0}$ mm

Abstand der Steifen voneinander d_{st} mm

☒ Profil aus Profilmanager

☐ parametrisiertes Stahlprofil



Profilname

Schweißnahtdicke a_{st} mm

Anordnung der Längssteifen

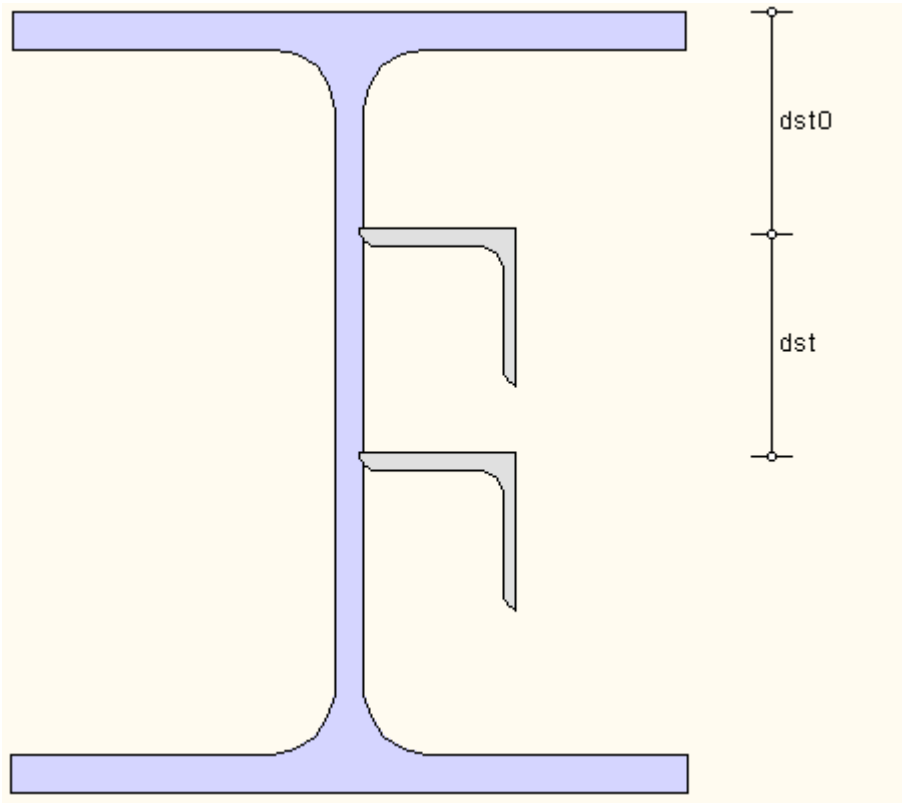
☒ einseitig rechts

☐ einseitig links

☐ beidseitig

Die Längssteifen können einseitig oder beidseits des Trägerstegs angebracht sein.

Zur visuellen Kontrolle wird das ausgewählte Profil einschl. Längssteifen maßstäblich am Bildschirm angezeigt.
Die Abstände der Längssteifen sind bezeichnet.



Lasteinleitung



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

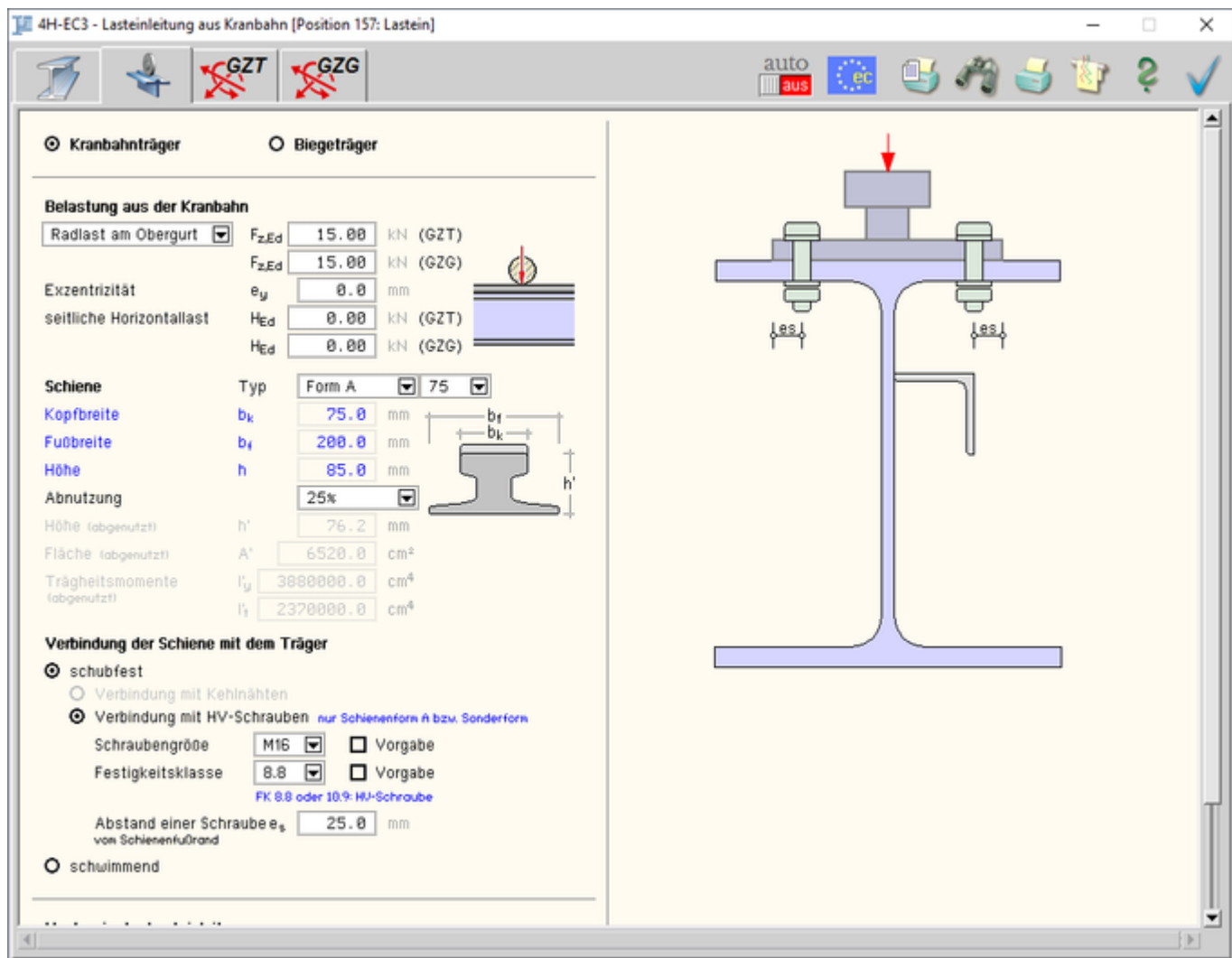


Bild vergrößern 

☒ 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.

Kranbahn

Die Beschreibung der Rechenparameter der Kranbahn finden Sie [hier](#).

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

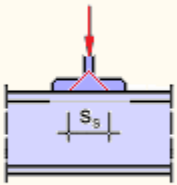
- ☒ Nachweis der Unterflanschtragfähigkeit (GZT)
- ☒ Nachweis der Unterflanschbiegung (GZG)

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.

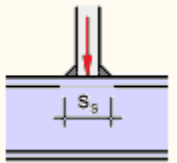
Belastung	
resultierende Einzellast	$F_{z,Ed}$ 317.50 kN (GZT)
Art der Belastung	Trägerkreuzung
Lastträger:	☒ Profil aus Profilmanager ☐ parametrisiertes Stahlprofil
Profilname	IPE270
starre Lasteinleitungslänge s_s	44.6 mm



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

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

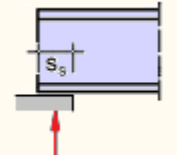
Art der Belastung	aufgeschweißtes Blech
Blechdicke	t_p 50.0 mm
Schweißnahtdicke	a_w 8.0 mm
starre Lasteinleitungslänge s_s	72.6 mm



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

- ☒ Nachweis der Stegpressung (GZT)
- ☐ Nachweis der Flanschbiegung (GZG)
- ☒ Nachweis der Querbelastung (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.

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.

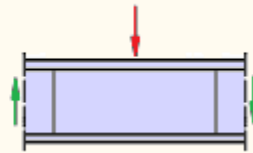
☒ Nachweis der Querbelastung (GZT)

rippenlose Lasteinleitung

Quersteifen dienen als starre Lagerung des Blechfelds

- ☒ Nachweis im Trägerfeld
- ☐ Nachweis am Zwischenauflager
- ☐ Nachweis am Trägerende

Quersteifen erforderlich !

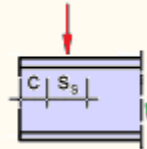


Im Fall c) ist der Abstand des Lasteinleitungsbereichs zum Trägerende vorzugeben.

☒ 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.

Die Beschreibung der Berechnung finden Sie [hier](#).

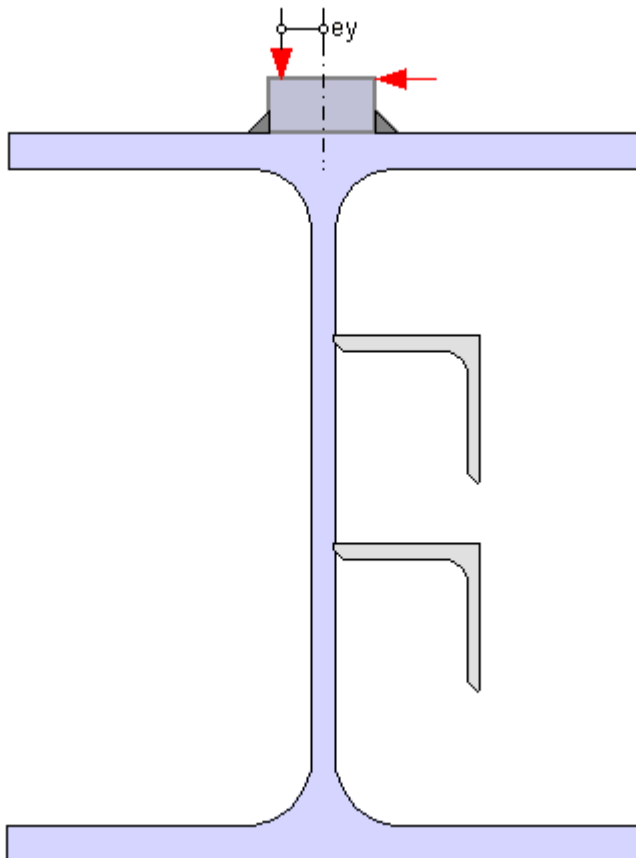
Kann die Last rippenlos nicht eingeleitet werden, können Quersteifen zur Aussteifung angeordnet werden.

☐ 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 abgeglichen und online am Bildschirm dargestellt (s.a. [Schnittgrößen](#)).

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

Schnittgrößen

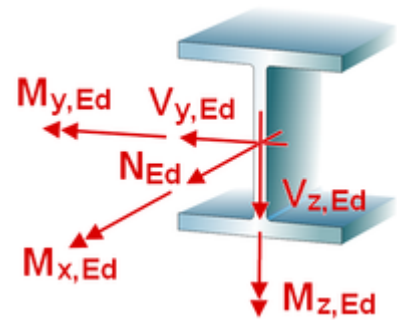


das dritte und vierte Register beinhalten die Masken zur Eingabe der Bemessungsschnittgrößen im GZT und GZG und ggf. die vorhandene Ausnutzung

Die Schnittgrößen werden als Bemessungsgrößen in 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.



	N_{Ed} kN	$M_{y,Ed}$ kNm	$V_{z,Ed}$ kN	$M_{z,Ed}$ kNm	$V_{y,Ed}$ kNm	$M_{x,Ed}$ 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 unversteiften (relevant z.B. bei Übernahme der Schnittgrößen aus einem 4H-Programm) oder auf den versteiften Querschnitt einzugeben.

Schnittgrößen in der Schwerachse des ☒ unversteiften ☐ versteiften Querschnitts

Schnittgrößen importieren

Detailnachweisprogramme zur Bemessung von Anschlüssen, Fußpunkten und zum Nachweis von Sonderproblemen (Beulen, Ermüdung, Lasteinleitung) etc. benötigen Schnittgrößenkombinationen, die häufig von einem Tragwerksprogramm zur Verfügung gestellt werden.

Dabei handelt es sich i.d.R. um eine Vielzahl von Kombinationen, die im betrachteten Bemessungsschnitt des übergeordneten Tragwerkprogramms vorliegen und in das Anschlussprogramm übernommen werden sollen.

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

Schnittgrößen aus **4H**-Programm importieren



Schnittgrößen aus Text-Datei einlesen



• Import aus einem 4H-Programm

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

Eine ausführliche Beschreibung zum Schnittgrößenimport aus einem **pcae**-Programm befindet sich [hier](#).

• Import aus einer Text-Datei

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

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

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

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

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

Nachweisergebnis



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

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



Je nach Nachweisooptionen und Anzahl an Lastkollektiven können die Berechnung und damit der Bildaufbau sehr lange dauern. **pcae** empfiehlt, den Button **auto** zunächst auszuschalten.

Schnittgrößenimport Lasteinleitung

Die statische Berechnung eines Bauteils beinhaltet i.A. die Modellbildung mit anschließender Berechnung des Tragsystems sowie nachfolgender Einzelnachweise von Detailpunkten.

Bei der Beschreibung eines Details sind die zugehörigen Schnittgrößen aus den Berechnungsergebnissen des Tragsystems zu extrahieren und dem Detailnachweis zuzuführen.

In der **4H**-Programmorganisation gibt es hierzu verschiedene Vorgehensweisen

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

Dies ist z.B. bei dem **4H**-Programm *Stütze mit Fundament* der Fall.

- zum anderen können Detailprogramme Schnittgrößen von in Tragwerksprogrammen speziell festgelegten Exportpunkten über ein zwischengeschaltetes Export/Import-Tool einlesen

Das folgende Beispiel eines einfachen Rahmens erläutert diesen **4H**-Schnittgrößen-Export/Import.

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

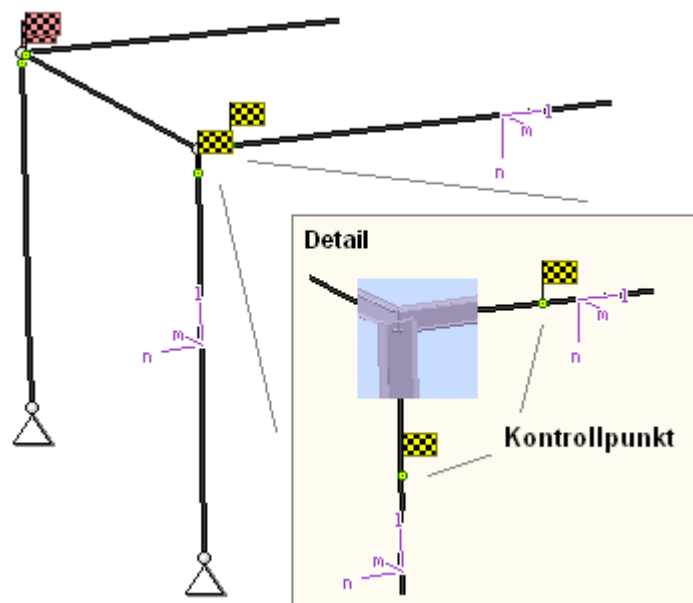
In diesem Beispiel sollen die Schnittgrößen für eine Querschnittsbemessung übergeben werden.

Dazu ist an der entsprechenden Stelle ein Kontrollpunkt zu setzen.

Ausführliche Informationen zum Export entnehmen

Sie bitte dem DTE®-**Schnittgrößenexport**.

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



aus dem aufnehmenden **4H**-Programm wird nun über den **Import**-Button das Fenster zur DTE®-**Bauteilauswahl** aufgerufen. Hier werden alle berechneten Bauteile dargestellt, wobei diejenigen, die Schnittgrößen exportiert haben, dunkel gekennzeichnet sind.

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

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

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

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

Σ

☀

☼

☐

Schnitt 1: Stab 3 bei s = 0.18 m

☑

Stahlriegel, Anschnitt, Anschluss 1

Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE240

☑

Lastfallergebnisse

☑

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

☑

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

☑

☐

Lastkollektive

☑

☐

Zusammenfassung Nachweis 3

☑

☐

min N

☑

☐

max N

☑

☐

min Vn

☑

☐

max Vn

☑

☐

min Vz

☑

☐

max Vz

☑

☐

min T

☑

☐

max T

☑

☐

min Mn

☑

☐

max Mn

☑

☐

min Mz

☑

☐

max Mz

N

kN

Vm

kN

Vn

kN

T

kNm

Mm

kNm

Mn

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, Anschnitt, Anschluss 1

☑

Schnitt 6: Stab 11 bei s = 0.00 m

☑

Stahlbetonstütze

In 4H-EC3SA ist der komplette verfügbare Schnittgrößensatz importierbar. Die Programme 4H-EC3BT, 4H-EC3RE, 4H-EC3IH und 4H-EC3IS importieren dagegen nur einen auf ebene Beanspruchung reduzierten Satz, was jeweils durch gelbe Hinterlegung der Spalten angezeigt wird. Im Programm 4H-EC3GT werden nur Normal- und Querkräfte erwartet. Im Programm 4H-EC3IS werden nur Querkräfte erwartet.

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

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

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

	N_{Ed} kN	M_{y,Ed} kNm	V_{z,Ed} kN	M_{z,Ed} kNm	V_{y,Ed} kNm	nur für o, □ -Profile M_{x,Ed} kNm	Bezeichnung
	-18.34	-2.76	-14.44	13.43	15.66	-0.00	min N
	-15.93	34.14	-24.26	17.91	25.18	-0.01	max N
	-17.44	-28.68	-7.61	4.33	0.88	0.00	min V _n

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!

Theorie Lasteinleitung EC 3-6

Allgemeines

- Kranbahnträger werden beansprucht durch zweiachsige Biegung und Torsion.
- Diese globale Belastung wird auf Grund der hohen konzentrierten Radlasten im Einleitungsbereich überlagert mit erheblichen Zusatzbeanspruchungen aus lokaler Druck-, Biege- und Schubbelastung.
- Die konzentrierte Lasteinleitung erfordert lokale Nachweise, um die Tragfähigkeit des Trägers zu gewährleisten.
- bei aufgesetzten Brückenlaufkränen: Beulnachweis unter lokaler Querbelastung n. EC 3-1-5, 4.4, (s. Beschreibung 4H-EC3BL, Beulnachweise)
 - Ermüdungsnachweis n. EC 3-6,9, und EC 3-1-9, (s. Beschreibung 4H-EC3EM, Ermüdungsnachweis)
 - 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](#)), erläutert.

Spannungsnachweis im GZG

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

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

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

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

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

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

Spannungsnachweis im GZT

Die Tragfähigkeit des Unterflanschs eines Trägers bei Radlasteinleitung aus einem Hängekran oder einer

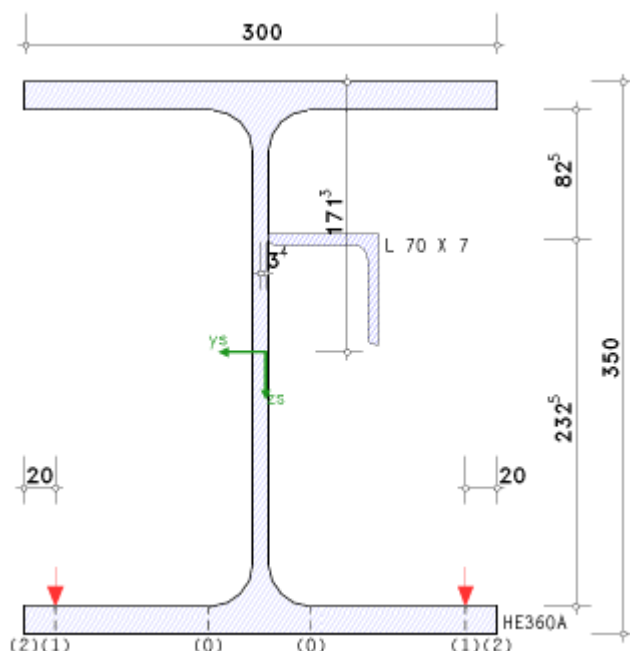
Unterflansch-Laufkatze sollte ermittelt werden mit

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

Zur Ermittlung der effektiven Länge l_{eff} , des Abstands m sowie der Spannung $\sigma_{f,Ed}$ s. [Kranbahn](#).

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](#)).

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

$m = 103.4 \text{ mm}$, $n = 20.0 \text{ mm}$ (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](#)) 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.**

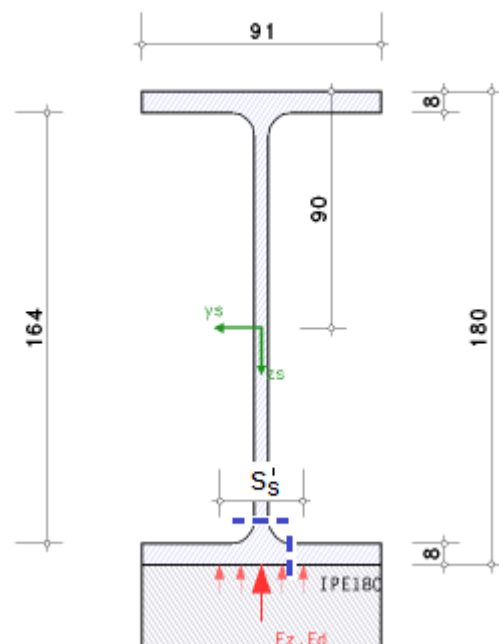
Nachweise erbracht

Lasteinleitung in einen Biegeträger

Allgemeines

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

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



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/mm², $F_{z,Ed,GZG}/(s_s \cdot s_s') = 8.21$ N/mm²

wirksame Lasteinleitungslänge $l_{eff} = s_s + 2 \cdot t_f = 216.0$ mm, $t_f = 8.0$ mm

Länge der starren Lasteinleitung

bezogen 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/mm², $F_{z,Ed} = 52.3$ kN, $s_w = 234.0$ mm

$|\sigma_{oz,Ed}| = 42.2$ N/mm² < $\sigma_{Rd} = 235.0$ N/mm² $\Rightarrow U = 0.179 < 1$ **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/mm²

$|\sigma_{x,Ed}| = 157.4$ N/mm² < $\sigma_{Rd} = 235.0$ N/mm² $\Rightarrow U = 0.670 < 1$ **ok**

Schubspannung $\tau_{xz,Ed} = 25.8$ N/mm²

$|\tau_{xz,Ed}| = 25.8$ N/mm² < $\tau_{Rd} = 135.7$ N/mm² $\Rightarrow U = 0.190 < 1$ **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/mm²

$\sigma_v = 148.0$ N/mm² < $\sigma_{Rd} = 235.0$ N/mm² $\Rightarrow U = 0.630 < 1$ **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/mm²

$|\sigma_{x,Ed}| = 183.5$ N/mm² < $\sigma_{Rd} = 235.0$ N/mm² $\Rightarrow U = 0.781 < 1$ **ok**

Schubspannung $\tau_{xz,Ed} = 48.0$ N/mm²

$|\tau_{xz,Ed}| = 48.0$ N/mm² < $\tau_{Rd} = 135.7$ N/mm² $\Rightarrow U = 0.354 < 1$ **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/mm²

$\sigma_v = 223.8$ N/mm² < $\sigma_{Rd} = 235.0$ N/mm² $\Rightarrow U = 0.952 < 1$ **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**

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 $l_k = (s_s' - t_w)/2 - r \geq 0$.

Für das Beispiel ergibt sich folgender Berechnungsablauf

Flanschbiegung am Anschnitt

Belastung, Lasteinleitungslänge $F_{z,Ed} = 52.3$ kN $\Rightarrow q = -F_{z,Ed}/s_s' = 1.64$ kN/mm, $s_s' = 31.8$ mm

lokale Normalspannung $\sigma_{oy,Ed} = |M|/W = 1.4$ N/mm², $M = q \cdot l^2/2 = -0.01$ kNm, $W = 1 \cdot t_f^2/6 = 10.67$ cm³, $l = 4.3$ mm

$|\sigma_{oy,Ed}| = 1.4$ N/mm² < $\sigma_{Rd} = 235.0$ N/mm² $\Rightarrow U = 0.006 < 1$ **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.

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 Querbelastrung überflüssig.

Beschreibung der Nachweisführung von **Stegsteifen / Rippen**.

Für das Beispiel ergibt sich folgender Berechnungsablauf

Lastübertragung durch Quersteifen (Rippen)

Die Schweißnähte werden mit dem richtungsbezogenen Verfahren nachgewiesen.

Abmessungen, Hebelarme, Kräfte je Rippe

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

zweiseitiger Rippenanschluss:

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

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

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

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

Querschnitt am Flansch

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

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

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

Querschnitt am Steg

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

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

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

Schweißnähte am Flansch

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Schweißnähte am Steg

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Gesamt: Ausnutzung der Rippen $U_R = 0.354 < 1 \quad \text{ok}$

Die Spannungsnachweise können nun ohne den lokalen Anteil $\sigma_{0z,Ed}$ geführt werden.

Kranbahn

Eine Kranbahn kann am Ober- oder Untergurt des Trägers laufen.

Kranbahn am Obergurt

Verläuft die Kranbahn am Obergurt, wird der Träger durch das Rad einer Kranbahnnachse belastet, das andere Rad der Achse fährt auf einem zweiten Träger.

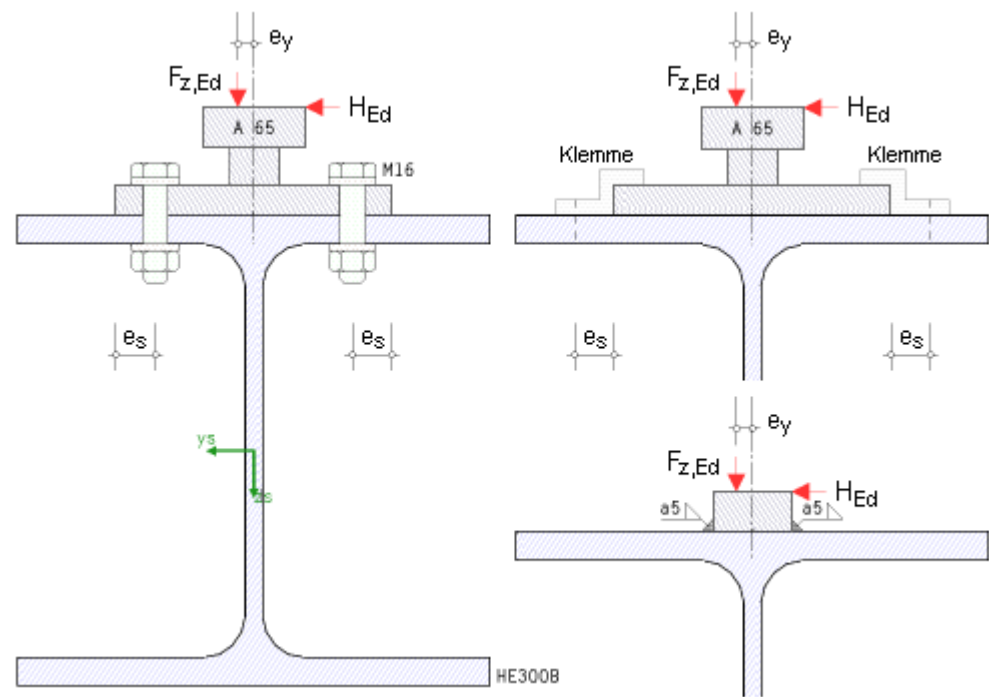
Das Rad läuft auf einer Schiene, die zentrisch über dem Trägersteg angeordnet ist. Dadurch wird die Kranbahnlast

möglichst günstig in die Unterkonstruktion geleitet.
Für die lokalen Nachweise der Lasteinleitung, der Ermüdung und des Beulens 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} .

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 Schienentypen *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 ²		
Trägheitsmoment (abgenutzt)	I_y'	2410000.0	cm ⁴		

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 mm
- ☐ durchlaufende Nähte
- ☒ unterbrochene Nähte
- Abschnittslänge l_w 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 ☒ Vorgabe
- Festigkeitsklasse ☒ Vorgabe
- Abstand einer Schraube e_s vom Schienenfußrand mm

Eine schwimmende Verbindung kann über Klemmen hergestellt werden, wobei eine Klemmplatte den Schienenfuß am Trägerschulter fixiert.

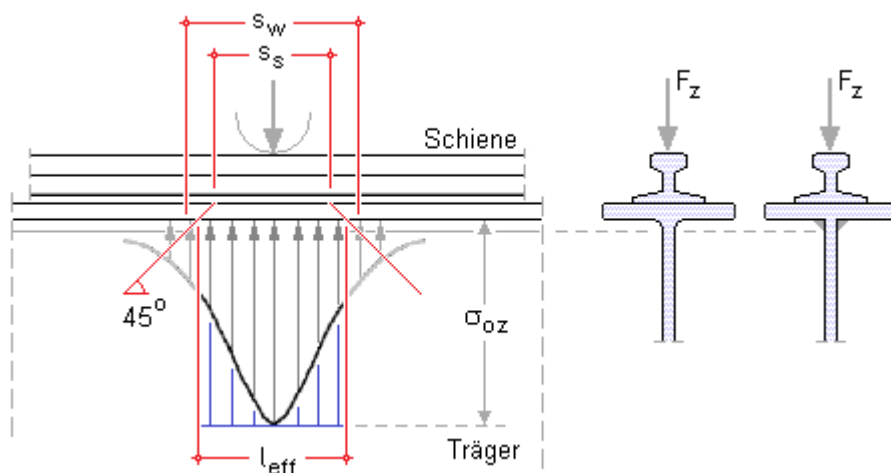
Eine elastische Schienenunterlage kann vorgesehen werden, die die Lasteinleitungsbreite der Radlasten erheblich reduziert.

- ☒ Verbindung mit Klemmen *nur Schiene Form A, F bzw. Sonderform*
- ☐ elastische Schienenunterlage

Alternativ kann die schwimmende Verbindung mit Kehlnähten ausgeführt sein.

- ☒ Verbindung mit Kehlnähten

Berechnung der effektiven Lastausbreitungslänge



Die Lasteinleitung eines Kranbahnwads 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.

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

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

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

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

l_r Flächenmoment 2. Grades um die horizontale Schwerlinie der Schiene

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

t_w Stegdicke

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

b Gesamtbreite Obergurt

b_{fr} Breite Schienenfuß

h_r Schienenhöhe

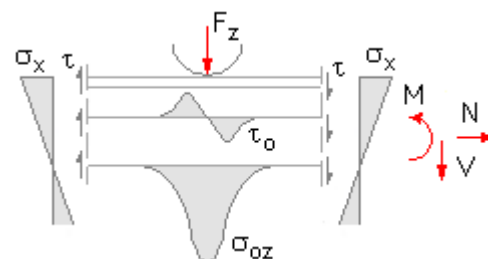
t_f Flanschdicke

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.



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

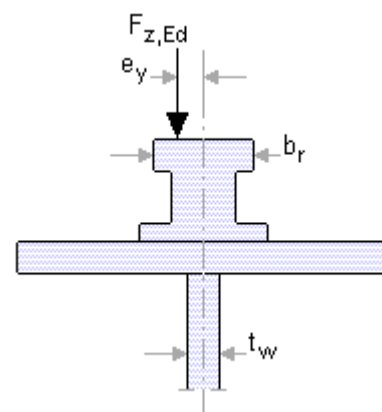
$$\text{in der Schienennaht} \dots\dots\dots \sigma_{\text{oz}} = \frac{F_{\text{z,Ed}}}{2 \cdot s_s \cdot a_w} \dots \text{und} \dots \tau_o = 0.2 \cdot \sigma_{\text{oz}} \dots \text{mit} \dots s_s = l_{\text{eff}} - 2 \cdot t_{\text{fo}}$$

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

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

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)

$T_{\text{Ed}} = F_{\text{z,Ed}} \cdot e_y$ Torsionsmoment aus exzentrischer Radlast

e_y Exzentrizität e der Radlast, wobei $e_y \geq 0.5 \cdot t_w$

t_w Stegblechdicke

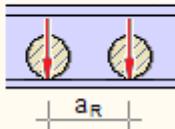
Kranbahn am Untergurt

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

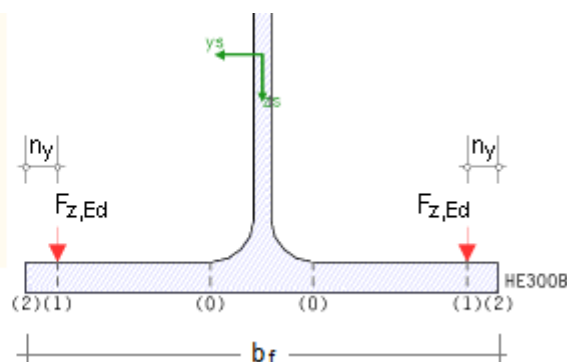
Radlast am Untergurt	☒	$F_{z,Ed}$	10.00	kN	je Seite
Abstand der Räder vom seitlichen Flanschrand	n_y	20.0	mm		
Abstand der Radachsen	a_R	100.0	cm		



Bei der Unterflanschkrabahn bleibt eine ggf. auftretende Horizontallast bei den lokalen Nachweisen unberücksichtigt. Um die wirksame Lasteinleitungslänge zu berechnen, ist der Nachweisort 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)



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

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

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

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

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

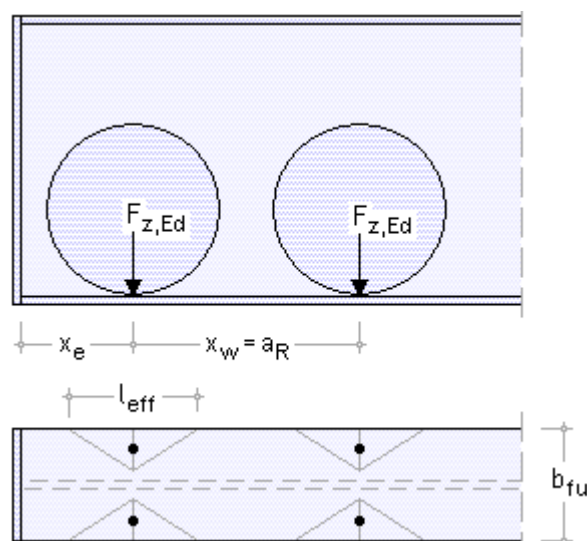
$$2 \cdot (m+n) \cdot \left(x_e/m + \sqrt{1 + (x_e/m)^2} \right) \quad \text{aber } \leq \sqrt{2} \cdot (m+n) + 0.5 \cdot (x_{wv} + x_e) \quad \text{für } x_{wv} < 2 \cdot \sqrt{2} \cdot (m+n) + x_e$$

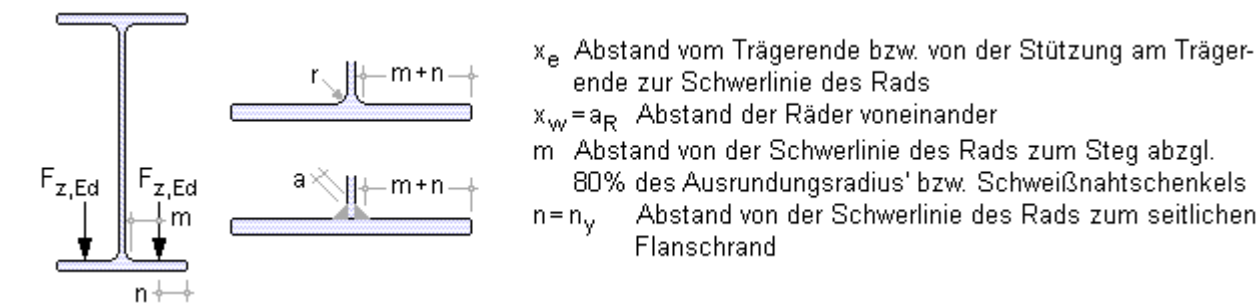
Rad in einem Abstand $x_e \leq 2 \cdot \sqrt{2} \cdot (m+n)$ am gestützten Flanschende, das entweder unten oder durch ein angeschweißte Stirnplatte gelagert ist

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

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

wobei gilt





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 Flanschkante) zu berücksichtigen.

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

$\sigma_{ox,Ed} = c_x \cdot F_{z,Ed} / t_f^2 \dots$ 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.

