

4H-EC3SK Stahlkonsole

Detailinformationen

Seite neu erstellt Juni 2025

Kontakt 

Programmübersicht 

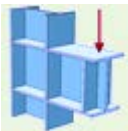
Bestelltext 

Infos auf dieser Seite

... als pdf 

♦ Eingabeoberfläche		♦ Anschluss Träger-Stütze		♦ Basisverbindungen	
♦ Rechenlaufsteuerung		♦ Komponentenmethode		♦ Schraubenverbindungen	
♦ Profile und Verstärkungen		♦ Tragfähigkeitsnachweis		♦ Schrauben, Niete, Bolzen	
♦ Anschlussparameter		♦ Nachweis Schweißnähte		♦ Schweißverbindungen	
♦ Schnittgrößen		♦ Nachweis Stegsteifen		♦ T-Stummel mit Zug	
♦ Schnittgrößenimport		♦ Grundkomponenten		♦ T-Stummel vier Schrauben	
♦ Teilschnittgrößen		♦ Lasteinleitung		♦ Stahlsorten	
♦ Ergebnisübersicht		♦ Ermüdung		♦ Ausdrucksteuerung	
		♦ Beispiel mit Erläuterungen		♦ nationale EC-Anhänge	

Eingabeoberfläche



EC 3 - Stahlkonsole

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

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

☒ einheitliche Stahlsorte
 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

Materialsicherheit für Ermüdung (☒ genormt)
 Bemessungskonzept: Schadensfolgen:
☒ Schadenstoleranz ☐ niedrig
☐ Versagen ohne Vorankündigung ☒ hoch
 Ermüdungsfestigkeit γ_{M1} 1.15

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

Nachweise
☒ Träger-Stützenanschluss
☒ Schweißnähte *Nachweis über den Linienschnitt*
☒ Nachweis mit dem richtungsbezogenen Verfahren
☐ Nachweis mit dem vereinfachten Verfahren
☒ Querschnittstragfähigkeit
☐ Nachweisverfahren 'Elastisch-Plastisch'
☒ Nachweisverfahren 'Elastisch-Elastisch'
☒ Lasteinleitung in die Konsole *nur elastischer Querschnittsnachweis*
☒ Ermüdung der Verbindung / des Profils
☐ Bildschirmgrafik im separaten Fenster anzeigen

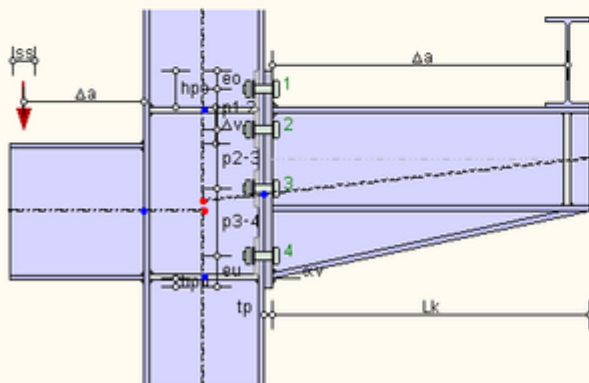


Bild vergrößern 

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



Rechenlaufsteuerung

Im ersten Registerblatt werden die Anordnung der Konsole an der Stütze, Stahlsorte und Materialsicherheitsbeiwerte sowie der Berechnungsablauf festgelegt.

Die zu führenden Nachweise können ausgewählt werden.

Es wird festgelegt, ob die Konstruktion im Registerblatt oder in einem separaten Fenster am Bildschirm dargestellt werden soll.

Optional wird die Verbindung zur visuellen Kontrolle maßstäblich im Registerblatt dargestellt.



Profile

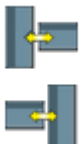
Im zweiten Registerblatt werden Stützen- und Konsolprofil ausgewählt.

Es sind nur Doppel-T-Profile zugelassen; sie werden am Bildschirm maßstäblich visualisiert.

Stützenprofile können durch Stegsteifen oder Stegbleche verstärkt werden.

Im Konsolprofil können im Bereich der Lasteinleitung Stegsteifen angeordnet werden.

Ist der Anschluss nicht gevoutet, können zur Verstärkung Dreieckrippen verwendet werden.



Anschlussparameter einer Seite

Im dritten und vierten Registerblatt wird die Verbindung Konsole-Stütze je Seite konstruiert, d.h. es wird festgelegt, ob ein geschraubter Stirnblech- oder ein geschweißter Anschluss vorliegt.

Die zur Berechnung notwendigen Parameter zur Anordnung der Anschlussbleche bzw. -profile werden abgefragt.

Des Weiteren können Vouten festgelegt werden.

Je nach Anschlussart sind Schraubensorte und -abstände sowie die Schweißnahtdicken anzugeben.

Optional wird die Verbindung zur visuellen Kontrolle maßstäblich im Registerblatt dargestellt.



GZT Bemessungslasten

Die Schnittgrößen werden im fünften und sechsten Registerblatt festgelegt.



GZE

Sie sind für den Nachweis der Träger-Stützen-Verbindung oder der Lasteinleitung auf den Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) oder für den Nachweis der Ermüdung auf den Grenzzustand der Ermüdung (GZE) bezogen.

Die Schnittgrößen können entweder als Konsollasten aus dem Lastträger einwirken oder als Knotenschnittgrößen auf den Schnittpunkt der Systemachsen bezogen sein.



Ergebnisübersicht

Im siebten Registerblatt werden die Ergebnisse (Anschluss, Lasteinleitung und Ermüdung) lastfallweise und detailliert im Überblick dargestellt.

Für die GZT-Nachweise ist die maßgebende Lastkombination gekennzeichnet und kann direkt am Bildschirm angezeigt werden.



nationaler Anhang

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 **Druckeinstellungen**-Buttons erscheint, wird der Ausgabeumfang der Druckliste festgelegt.



Druckliste einsehen

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



Statikausdruck

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



Planbearbeitung

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

Der aktuelle Anschluss wird im **pcae**-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 Speicherung der Daten wird die Druckliste aktualisiert und in das globale Druckdokument eingefügt.

Rechenlaufsteuerung



Im ersten Registerblatt werden die Anordnung der Konsole an der Stütze, Stahlsorte und Materialsicherheitsbeiwerte sowie der Berechnungsablauf festgelegt.

Stahlsorte

Jedem Verbindungselement kann ein eigenes Material zugeordnet werden.

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

☒ einheitliche Stahlsorte

Stahlsorte ☐ Vorgabe

Kennung

Da die Beschreibung der Stahlparameter für Verbindungen nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung der **Stahlsorten** verwiesen.

Materialsicherheitsbeiwerte

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

Materialsicherheit (☒ genormt)

Beanspruchbarkeit von Querschnitten	 γ_{M0}	1.00
Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen	γ_{M1}	1.10
Beanspruchbarkeit von Verbindungsmitteln	 γ_{M2}	1.25

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

Materialsicherheit für Ermüdung (☒ genormt)

Bemessungskonzept: Schadensfolgen:

- ☒ Schadenstoleranz ☐ niedrig
☐ Versagen ohne Vorankündigung ☒ hoch

Ermüdungsfestigkeit γ_{Mf}

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

Anschlussstyp

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

Der Anschluss einer Konsole an eine durchlaufende Stütze kann rechts, links oder beidseitig erfolgen.

Bei beidseitigen Anschlüssen können sich die Trägerprofile sowie die Verbindungsarten unterscheiden.

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

Nachweise

Das Programm 4H-EC3SK weist die Tragfähigkeit einer Stahlkonsole nach, die an eine Stütze angeschlossen ist.

Dabei werden je Anschlussgeometrie (s. **Register 3,4**) nur die relevanten Tragfähigkeiten ermittelt und entsprechenden Nachweise geführt.

Es gilt

- die Tragfähigkeit der Konsole-Stütze-Verbindung wird mit der Komponentenmethode n. EC 3-1-8 nachgewiesen
- die Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit aus Querkraftbeanspruchung ist nur für geschraubte Verbindungen relevant
- bei überwiegender Normalkraft (kommt i.A. nicht vor) wird die Verbindung mit **Teilschnittgrößen** nachgewiesen
- optional kann ein **Schweißnahtnachweis** geführt werden.

Dabei kann zwischen dem richtungsbezogenen und dem vereinfachten Verfahren unterschieden werden.

- die Stegsteifen (Rippen) werden nachgewiesen
- optional kann ein **Querschnittsnachweis** des Trägers und der Stütze in der Anschlussebene durchgeführt werden.

Die Querschnittstragfähigkeiten können mit dem *Elastisch-Plastischen* und *Elastisch-Elastischen* Verfahren berechnet werden.

- die Lasteinleitung erfolgt für eine Trägerkreuzung am Ende des Konsolträgers
- optional werden Quersteifen im Bereich der Lasteinleitung nachgewiesen
- der Ermüdungsnachweis wird n. EC 3-1-9 sowohl für die Konsole-Stütze-Verbindung als auch für die

Lasteinleitungsstelle geführt

- die Querschnittstragfähigkeit ist *Elastisch-Elastisch* nachzuweisen

Nachweise

☒ Träger-Stützenanschluss

☒ Schweißnähte *Nachweis über den Linienquerschnitt*

- ☐ Nachweis mit dem richtungsbezogenen Verfahren
- ☒ Nachweis mit dem vereinfachten Verfahren

☒ Querschnittstragfähigkeit

- ☐ Nachweisverfahren 'Elastisch-Plastisch'
- ☒ Nachweisverfahren 'Elastisch-Elastisch'

☒ Lasteinleitung in die Konsole *nur elastischer Querschnittsnachweis*

☒ Ermüdung der Verbindung / des Profils

Verschiedenes

► Daten exportieren

► Daten importieren

Die Eingabedaten können über die Copy-Paste-Funktion exportiert bzw. temporär gesichert und wieder importiert bzw. geladen werden.

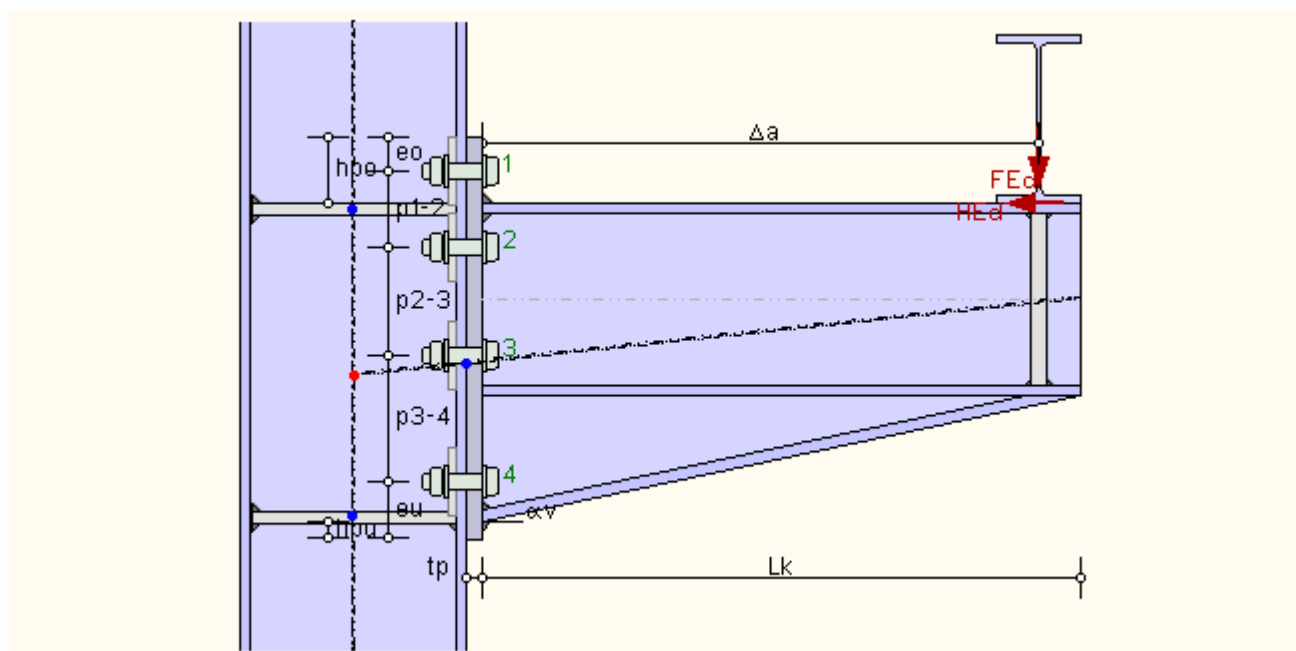
Dazu ist der aktuelle Datenzustand im abgebenden Bauteil über den Button **Daten exportieren** in die Zwischenablage zu kopieren und anschließend über den Button **Daten importieren** in das aktuell geöffnete Bauteil aus der Zwischenablage zu übernehmen.

☒ Bildschirmgrafik im separaten Fenster anzeigen

Das Programm 4H-EC3SK bietet die Möglichkeit, die zur visuellen Kontrolle vorhandenen Bildschirmgraphiken entweder innerhalb des jeweiligen Eingabefensters anzuordnen oder in einem separaten Fenster anzuzeigen, um die Eingaberegister optimal für die Dateneingabe auszunutzen.

Der Anschluss wird zur visuellen Kontrolle bei der Eingabe am Bildschirm dargestellt; Schweißnähte, Schrauben, Profile und Abstände sind maßstabsgetreu visualisiert.

Ebenso sind die wesentlichen Parameter der Abmessungen bezeichnet.



Profile und Verstärkungen

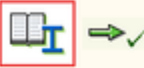


im Register 2 befinden sich die Angaben zum Stützenprofil und zu den Konsolprofilen.

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

Stütze

☒ Profil aus Profilmanager
☐ parametrisiertes Stahlprofil



Profilname: HE280A

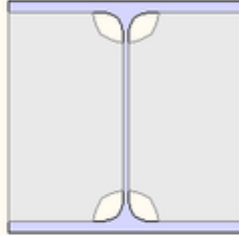
Stütze

☐ Verstärkung des Stützenprofils durch Stegbleche
☒ Verstärkung des Stützenprofils durch Stegsteifen

Blechdicke t_{st} : 12.0 mm
Schweißnahtdicke an Stützenflansch $a_{st,f}$: 6.0 mm
Schweißnahtdicke an Stützensteg $a_{st,w}$: 4.0 mm

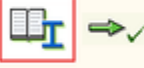
☐ Stegsteifen in Höhe aller Flansche

Stütze



Konsole rechts

☒ Profil aus Profilmanager
☐ parametrisiertes Stahlprofil



Profilname: HE240A

Konsole rechts

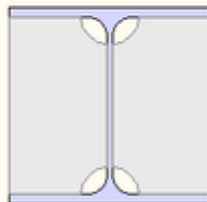
☒ Verstärkung des Konsolprofils durch Stegsteifen

Blechdicke t_{st} : 15.0 mm
Schweißnahtdicke an Konsolflansch $a_{st,f}$: 5.0 mm
Schweißnahtdicke an Konsolsteg $a_{st,w}$: 4.0 mm

☒ Verstärkung der Verbindung durch eine Dreieckskrippe
nicht bei gevouteten Anschlüssen

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

Konsole rechts



Konsole links

☒ Profil aus Profilmanager
☐ parametrisiertes Stahlprofil



Profilname: HE400A

Konsole links

☐ Verstärkung des Konsolprofils durch Stegsteifen
☐ Verstärkung der Verbindung durch eine Dreieckskrippe

Konsole links



Bild vergrößern 

Profile

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

☒ **Profil aus Profilmanager**
☐ parametrisiertes Stahlprofil

I-Profil



Profilname: HE400A

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.

☐ Profil aus Profilmanager

☒ parametrisiertes Stahlprofil

Profilklasse

I-Profil

Profilhöhe

h

390.0

mm

Stegdicke

t_w

11.0

mm

Flanschbreite

b_f

300.0

mm

Flanschdicke

t_f

19.0

mm

☒ gewalztes Profil

Ausrundungsradius

r

27.0

mm

☒ geschweißtes Profil

☒ Kehlnaht: Dicke

a

4.0

mm

☒ Stumpfnah (durchgeschweißt)

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

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

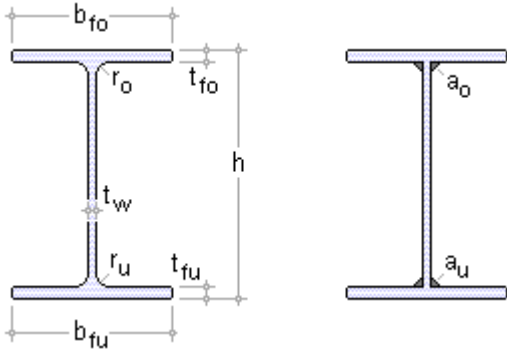
Andere Profilklassen sind in der Listbox farblich gekennzeichnet und können als Verbindungselement nicht verwendet werden.

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

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

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

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



Verstärkungen

Stützenprofile können zur Verstärkung des Stags mit Stegblechen und/oder Stegsteifen ausgeführt werden.

Ebenso können Stegsteifen im Bereich der Lasteinleitung das Konsolprofil verstärken.

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

☒ Verstärkung des Stützenprofils durch Stegbleche

☒ ein Stegblech

☐ zwei Stegbleche

Blechdicke

t_s

10.0

mm

t_s = 0: Stegdicke

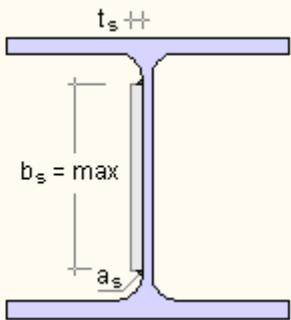
Schweißnahtdicke

a_s

6.0

mm

a_s = 0: kein Nachweis, a_s ≥ t_s: durchgeschweißt



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

- die Breite b_s sollte mindestens so groß sein, dass die Schweißnähte a_s um das zusätzliche Stegblech an die Eckausrundung heranreichen (EC 3-1-8, 6.2.6.1 (9)), jedoch kleiner als 40 · ε · t_s sein (EC 3-1-8, 6.2.6.1 (13)).

Sie wird vom Programm berechnet und in der Druckliste protokolliert.

- die Länge l_s sollte so groß sein, dass sich das zusätzliche Stegblech über die effektive Breite des Steges unter der Querkzugbeanspruchung und der Querkdruckbeanspruchung hinaus erstreckt (EC 3-1-8, 6.2.6.1 (10))
- die Dicke t_s des zusätzlichen Stegblechs sollte mindestens der Stützenstegdicke entsprechen (EC 3-1-8, 6.2.6.1 (11))

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

Im Programm 4H-EC3SK werden Länge, Breite und Stahlgüte des Stegblechs vorgelegt

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

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

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

Die Schweißnahtdicke a_s beeinflusst den Schweißnahtnachweis

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

☒
Verstärkung des Profils durch Stegsteifen

Blechdicke

t_{st}

13.0

mm

Schweißnahtdicke

$a_{st,f}$

6.0

mm

am Stützenflansch

$a_{st,w}$

4.0

mm

Schweißnahtdicke

$a_{st,w}$

4.0

mm

am Stützensteg

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

Das Stützenprofil kann durch Stegsteifen in Höhe des Konsolzug- und -druckflanschs ausgesteift werden.

Sie beeinflussen den Nachweis der Träger-Stützenverbindung.

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

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

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

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

Die **Stegsteifen** werden nachgewiesen.

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

- geschweißter Träger-Stützen-Anschluss
- geschraubter Träger-Stützen-Anschluss, Anschluss über ein Stirnblech

Hintergründe und Erläuterungen zum Träger-Stützen-Anschluss finden Sie [hier](#).

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

geschweißter Anschluss

- ☒ geschweißter Anschluss
- ☐ geschraubter Stirnblechanschluss

Schweißnähte

Konsolflansch oben	a	8.0
Konsolsteg	a	6.0
Konsolflansch unten	a	8.0

30 % der Druckspannung über Kontakt abtragen
gilt auch für Schweißnähte an Drucksteifen

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

Die Ausrundungen zwischen Steg und Flanschen sind ausgespart.

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

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

Hintergründe und Erläuterungen zum Nachweis der Schweißverbindung finden Sie [hier](#).

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

geschraubter Stirnblechanschluss

- ☐ geschweißter Anschluss
- ☒ geschraubter Stirnblechanschluss

Stirnblech

Blechdicke	t _p	20.0
Blechbreite	b _p	280.0
Stahlsorte	☒ S235	☐ Vorgabe
Kennung		
Überstandshöhe oben	h _{p,o}	80.0
Überstandshöhe unten	h _{p,u}	20.0
Länge des Stirnblechs	l _p	480.0

Schweißnähte

Konsolflansch oben	a	8.0
Konsolsteg	a	6.0
Konsolflansch unten	a	8.0

30 % der Druckspannung über Kontakt abtragen
gilt auch für Schweißnähte an Drucksteifen

Schrauben

Schraubengröße	M20	☐ Vorgabe
Festigkeitsklasse	10.9	☐ Vorgabe
FK 8.8 oder 10.9: HV-Schraube		

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

Schraubenreihen

Anzahl der Schraubenreihen	n	4
Schraubenabstand zum seittl. Rand des Stirnblechs	e ₂	50.0
Schraubenabstand (Endreihe) zum oberen Rand des Stirnblechs	e _o	40.0
Abstand von oben der Schraubenreihen voneinander	p ₁₋₂	90.0
	p ₂₋₃	130.0
	p ₃₋₄	150.0

Stirnblech

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

Ist keine einheitliche Stahlsorte vereinbart (s. [Register 1](#)) wird an dieser Stelle diejenige für das Stirnblech festgelegt.

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

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

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

Schweißnähte

Zur Beschreibung der Schweißnahtparameter s. [geschweißter Anschluss](#).

Schrauben

Um eine Stirnblechverbindung nachzuweisen, sind Schraubengröße, Festigkeitsklasse sowie ggf. Futterblechdicken anzugeben.

Bei beidseitiger Verbindung wird jeder Anschlussseite eine eigene Schraubengröße/-festigkeit zugeordnet.

Schrauben

Schraubengröße

M20

☐ Vorgabe

Festigkeitsklasse

10.9

☐ Vorgabe

FK 8.8 oder 10.9: HV-Schraube

☐ Gewinde liegt in der Scherfuge

☒ Schaft liegt in der Scherfuge

☒ Futterblech (Flanschverstärkung)

Blechdicke

t_{bp}

10.0

Stahlsorte

S235

☐ Vorgabe

Kennung

Da die Beschreibung der Schraubenparameter für Verbindungen nach EC3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung der [Schrauben](#) verwiesen.

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

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

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

Ist keine einheitliche Stahlsorte vereinbart (s. [Register 1](#)), wird an dieser Stelle diejenige für die Futterbleche festgelegt.

Schraubenreihen

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

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

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

Entsprechendes gilt für die Schraubenreihe im Überstand unterhalb des Trägers.

Es kann nur eine Schraubenreihe, die im Überstand unter Zugbelastung steht, berechnet werden.

Die Schraubenreihen im Überstand des Druckflanschs werden ignoriert.

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

Die Schrauben sind jeweils einzeln als auch in einer Schraubengruppe zu untersuchen.

Schraubengruppen werden - beginnend vom Zugrand - automatisch gebildet.

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

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

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

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

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

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

Hintergründe und Erläuterungen zum Nachweis der Schraubenverbindung finden Sie [hier](#).

Besonderheiten bei Vouten

☒ Voute

Höhe der Voute am Anschnitt h_v 150.0
-> Änderung des Neigungswinkels

Neigungswinkel der Voute α_v 11.85 °
-> Änderung der Voutenhöhe

Stegblechdicke $t_{w,v}$ 8.0

Flanschbreite $b_{f,v}$ 240.0

Flanschdicke $t_{f,v}$ 13.0

☒ gewalzttes Voutenprofil
Ausrundungsradius r_v 24.0

☐ geschweißtes Voutenprofil

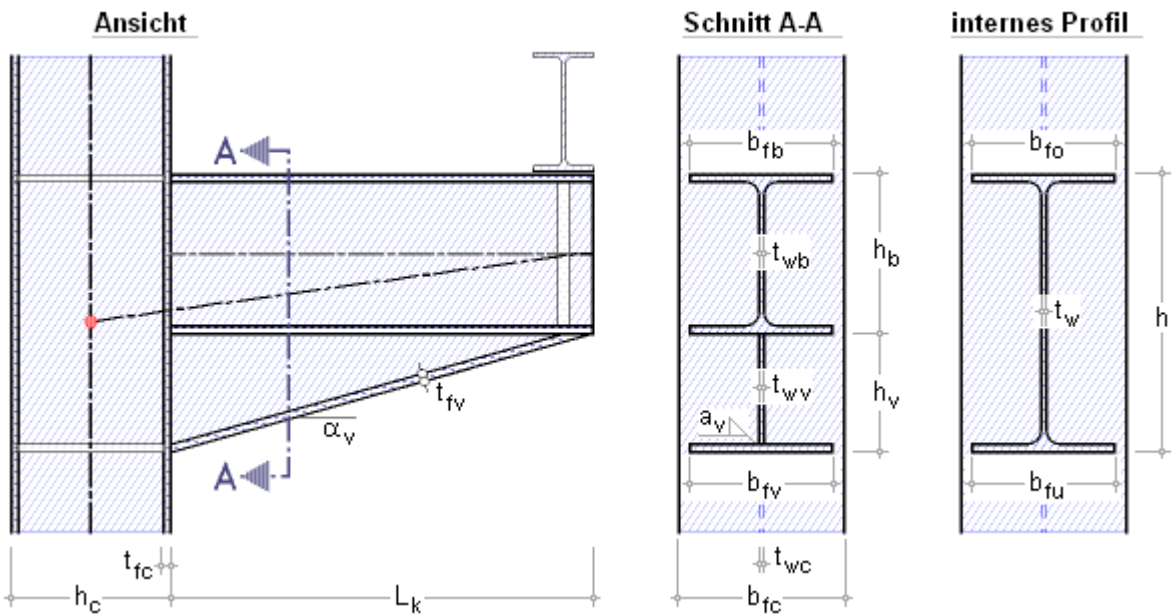
Die Konsole kann über ihre gesamte Länge eine Voute zur Verstärkung erhalten.

Der Neigungswinkel α_v bezieht sich auf die Senkrechte zur Stütze (die horizontale Achse).

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

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

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



Bei Verwendung einer Voute wird der untere Querschnittsflansch ignoriert.

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

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

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

Sämtliche weiteren Querschnittswerte beziehen sich auf diese Größen.

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

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

Lastträger

☒ Lastträger

☒ Profil aus Profilmanager

☐ parametrisiertes Stahlprofil





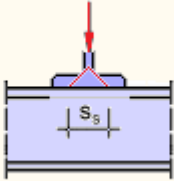
Profilname

IPE200

Lasteinzugslänge

s_s

36,66



Die Konsole dient zur Auflagerung eines (Last-) Trägers, der wiederum z.B. eine Kranbahn führt.

Da der Lastträger i.A. ebenfalls ein Doppel-T-Profil ist, wird die Last aus dem Steg mit einer geringeren Lasteinzugslänge als die Flanschbreite des Profils an die Konsole übergeben.

Ohne Angabe eines Lastträgers ist die Lasteinzugslänge anzugeben.

Hintergründe und Erläuterungen zum Nachweis der Lasteinleitung finden Sie [hier](#).



Im Programm 4H-EC3SK ist die Kranbahn nicht Gegenstand der Betrachtung.

Ist der Nachweis der Lasteinleitung aktiviert, wird im Programm 4H-EC3SK die Querschnittstragfähigkeit (s. Träger-Stützenverbindung) elastisch ermittelt. Dadurch entfällt der Nachweis im GZG.

Ermüdung

Ermüdung

Schadensäquivalenzfaktoren

λ_σ

0,315

λ_τ

0,500

Für den Ermüdungsnachweis sind Schadensäquivalenzfaktoren anzugeben.

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

Hintergründe und Erläuterungen zum Ermüdungsnachweis finden Sie [hier](#).



Im Programm 4H-EC3SK ist die Kranbahn nicht Gegenstand der Betrachtung.

Der Mittelspannungseinfluss wird vernachlässigt.

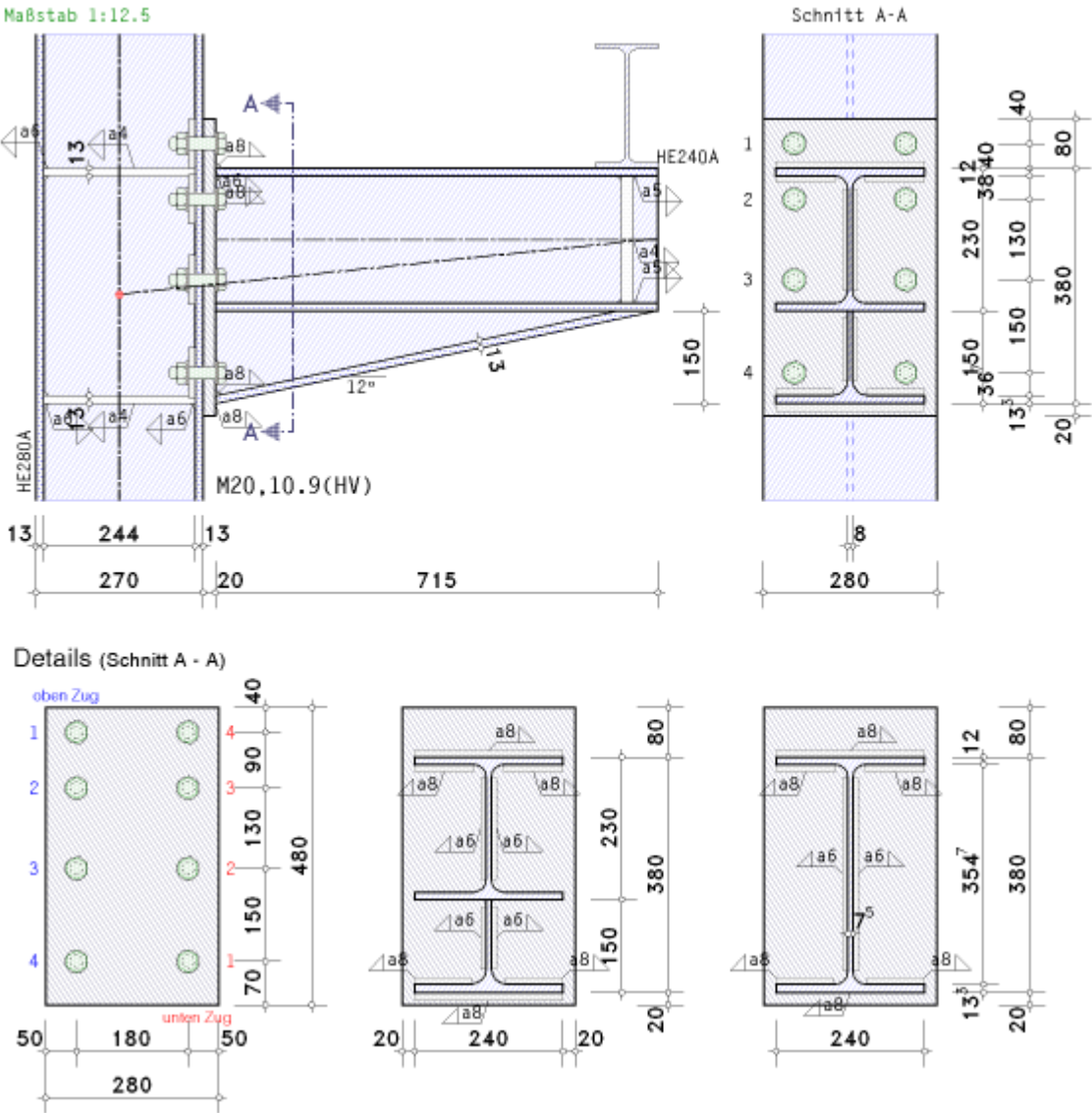
Die Begrenzung der Spannungsschwingbreiten infolge häufiger Lasten erfolgt nicht.

Druckausgabe

Die Druckausgabe kann durch die [Ausdrucksteuerung](#) beeinflusst werden.

Eingabeparameter

Im Statikdokument wird zunächst eine maßstäbliche Darstellung der eingegebenen Verbindung angelegt. Die wesentlichen Abmessungen werden vermaßt. Ggf. werden Detailausschnitte hinzugefügt. Ist der Maßstab vom Anwender vorgegeben, wird er in der Grafik protokolliert.



Anschließend werden die Eingabeparameter ausgegeben. Optional können zusätzliche Informationen (z.B. die hinterlegten Rechenkennwerte der Profile, Stahlgüten, Verbindungsmittel etc.) hinzugefügt werden. Die zu bemessenden Schnittgrößen werden mit Hinweis auf den Eingabetyp (s. [Schnittgrößen](#)) lastfallweise ausgegeben. Nach Bedarf werden nun die der Bemessung zu Grunde liegenden Materialsicherheitsbeiwerte angefügt. Es folgt ein Datencheck zur Kontrolle der Eingabedaten.

Die Berechnung wird für die Nachweise im GZT für jeden Lastfall durchgeführt. Bei einer beidseitigen Verbindung erfolgt die Berechnung je Seite. Die Ergebnisse werden schlussendlich tabellarisch zusammengefasst.

Lastfallweise Berechnung der Konsole-Stützenverbindung

Da sich bei gegenläufigen Momenten das auf der Modellierung basierende System ändert, wird jeder Lastfall separat untersucht. Intern wird bei negativen Momenten das System an der Horizontalachse gespiegelt, so dass sich die Zugseite immer 'oben' befindet. Außerdem wird stets vorausgesetzt, dass der Träger an der rechten Stützenseite befestigt ist. Im Falle einer linksseitigen Verbindung wird das System daher an der Vertikalachse gespiegelt. Da die Ausgabe der Rechenwege und die sich daraus ergebenden Ergebnisse während des Berechnungsablaufs erfolgt, sind diese auch auf das ggf. gespiegelte System bezogen. Ein Hinweis erfolgt bei Ausgabe der

Bemessungsgrößen zu Anfang der entsprechenden Lastfallberechnung.

Zunächst werden die Bemessungsgrößen aus der Lastfallkombination entwickelt.

Optional kann ein Querschnittsnachweis für die Anschlussprofile (Konsole, Stütze) folgen.

Danach werden die anschlusspezifischen Grundkomponenten ausgewertet und die Gesamttragfähigkeit berechnet.

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

Anschließend werden die Rippen untersucht.

Die Ergebnisse werden lastfallweise und ggf. detailliert dargestellt.

Lastfallweise Berechnung der Lasteinleitung

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

Zunächst erfolgt der Nachweis der Stegpressung.

Sind Rippen zur Aussteifung der Konsole vorhanden, werden diese in dem Zuge mit untersucht.

Sind jedoch keine Rippen vorhanden, wird anschließend Querlastbeulen untersucht.

Die Ergebnisse werden lastfallweise und ggf. detailliert dargestellt.

Berechnung der Ermüdungstragfähigkeit

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

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

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

Anschließend wird der Nachweis an der Lasteinleitungsstelle geführt.

Die Ergebnisse werden ggf. detailliert für alle Kerbpunkte dargestellt.

Ergebnis

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

Maximale Ausnutzung: max U = 0.566 < 1 ok
Anschluss an die Stütze

Nachweis erbracht

Schnittgrößen



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

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

☐ Belastung der Konsole ☒ Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen ☒ bezogen auf die ungevoutete Trägerachse

Vorzeichendefinition der Statik (positive Normalkraft bedeutet Zug, positives Biegemoment erzeugt unten Zug)
Berechnung der Belastung der Konsole aus den Trägerschnittgrößen

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

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

 Zeile löschen
 Zeile duplizieren
 neue Zeile anhängen

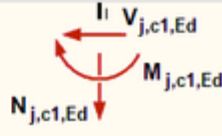


Bild vergrößern 

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

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

Der Ermüdungsnachweis benötigt die Schnittgrößen im GZE des Trägers b.

Das Programm 4H-EC3SK bietet zwei Möglichkeiten zur Eingabe der Belastung an

- die Auflagerlast aus dem Lastträger wird als Belastung der Konsole eingegeben. Für den Nachweis der Konsole-Stützenverbindung sind zusätzlich die Stützenschnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen einzugeben.
- werden die Schnittgrößen aus einem Tragwerks-Programm übernommen, sind häufig nur die Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen von Konsole und Stütze verfügbar.

Wird die Konsole durch eine Vouten verstärkt, können die Konsolschnittgrößen wahlweise auf die gevoutete oder ungevoutete Trägerachse bezogen werden.

Es wird die Vorzeichendefinition der Statik vorausgesetzt.

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

Belastung der Konsole

Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen

Vorzeichendefinition der Statik (positive Normalkraft bedeutet Zug, positives Biegemoment erzeugt unten Zug)

Berechnung der Trägerschnittgrößen aus der Belastung der Konsole

Schnittgrößen aus  Bauteil importieren



Schnittgrößen aus Text-Datei einlesen



	Konsole		Stütze, Knoten unten			Stütze, Knoten oben		
	F_{Ed} kN	H_{Ed} kN	$N_{j,c1,Ed}$ kN	$M_{j,c1,Ed}$ kNm	$V_{j,c1,Ed}$ kN	$N_{j,c2,Ed}$ kN	$M_{j,c2,Ed}$ kNm	$V_{j,c2,Ed}$ kN
1.  	84.26	0.16	-303.72	62.08	19.25	-41.72	54.49	-18.02

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

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

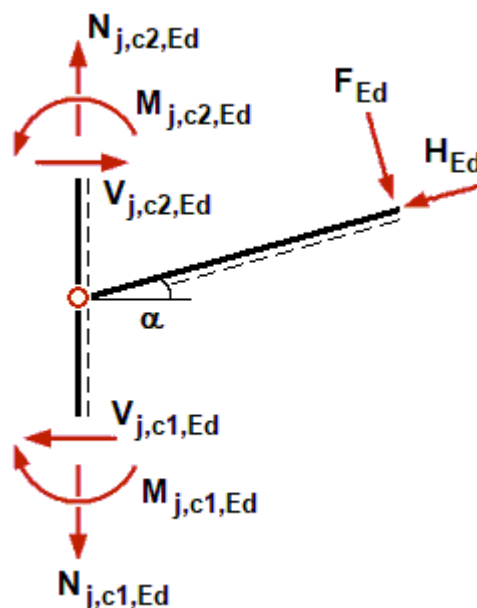
- einseitiger Anschluss: Stütze unten c1, Stütze oben c2
- beidseitiger Anschluss: Stütze unten c1, Stütze oben c2

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

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

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

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



Schnittgrößen importieren

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

Dabei handelt es sich i.d.R. um eine Vielzahl von Kombinationen, die im betrachteten Bemessungsschnitt des übergeordneten 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 einem 4H-Programm

Der Schnittgrößenimport aus einem 4H-Programm kann nur erfolgen, wenn die Belastung als **Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen** eingegeben wird.

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

Da die Beschreibung des Schnittgrößenimports für Träger-Stützenanschlüsse programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung des **Schnittgrößenimports** verwiesen.



Das Programm 4H-EC3SK berechnet nur Träger-Stützenverbindungen mit durchlaufender Stütze.

Import aus einer Text-Datei

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

Die Datensätze müssen in der Text-Datei in einer bestimmten Form vorliegen; der entsprechende Hinweis wird bei

Betätigen des **Einlese**-Buttons gegeben.

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

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

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

Teilschnittgrößen

Die Schnittgrößen sind als Bemessungsgrößen bereits mit den Lastfaktoren für den Grenzzustand der Tragfähigkeit beaufschlagt und können auf drei verschiedene Arten in das Programm eingegeben werden.

- Knoten-Schnittgrößen beziehen sich auf den Knotenpunkt der Schwerachsen.
Knoten-Schnittgrößen sind häufig das Resultat einer vorangegangenen Stabwerksberechnung und mit der Vorzeichenregel des *Statik*-Koordinatensystems (positive Normalkraft = Zug, pos. Biegemoment = Zug unten) definiert.
- Anschnitt-Schnittgrößen befinden sich in der Bemessungsebene, sind jedoch bei geneigten und gevouteten Trägern auf die Schwerachse des Trägers bezogen.
Hier ist das *EC 3-1-8*-Koordinatensystem (positive Normalkraft = Druck, positives Biegemoment = Zug oben) zu beachten!
- Anschluss-Schnittgrößen sind die senkrecht zur Anschlussebene wirkenden Bemessungsgrößen im *EC 3-1-8*-Koordinatensystem, die den Tragfähigkeitsnachweisen zu Grunde liegen.

Sowohl Knoten-Schnittgrößen als auch Anschnitt-Schnittgrößen müssen auf die Bemessungsebene transformiert werden. Zu beachten ist, dass dabei keine äußeren Einwirkungen berücksichtigt werden, so dass besonders bei längeren Vouten die für die Nachweise am Voutenanfang (Übergang des Trägers in die Voute, Voute-Träger-Anschnitt) berechneten Bemessungsgrößen zu überprüfen sind!

Dabei wird mit Bemessungsebene (Anschlussebene) die Kontaktebene zwischen Träger und Stütze bezeichnet. Bei Stirnplattenverbindungen ist dies z.B. der Anschluss der Stirnplatte an die Stütze.

Es wird stets vorausgesetzt, dass ein rechtsseitiger Anschluss (Rechenmodell) vorliegt. Daher werden ggf. zunächst die Schnittgrößen der linken Anschlussseite in das Rechenmodell transformiert.

Transformation der Teilschnittgrößen

Die Schnittgrößen sind bei gevouteten Trägern auf die Systemachse des Trägers bezogen. Daher werden zunächst die Schnittgrößen in der Systemachse berechnet

$$\begin{aligned}
 N_{j,b,Ed} &= N'_{j,b,Ed} \cdot \cos(\Delta\alpha) - V'_{j,b,Ed} \cdot \sin(\Delta\alpha) \\
 V_{j,b,Ed} &= N'_{j,b,Ed} \cdot \sin(\Delta\alpha) + V'_{j,b,Ed} \cdot \cos(\Delta\alpha) \\
 M_{j,b,Ed} &= M'_{j,b,Ed} - (N'_{j,b,Ed} \cdot \cos(\Delta\alpha) + V'_{j,b,Ed} \cdot \sin(\Delta\alpha)) \cdot \Delta z \\
 N_{j,b2,Ed} &= N'_{j,b2,Ed} \cdot \cos(\Delta\alpha_2) - V'_{j,b2,Ed} \cdot \sin(\Delta\alpha_2) \\
 V_{j,b2,Ed} &= N'_{j,b2,Ed} \cdot \sin(\Delta\alpha_2) + V'_{j,b2,Ed} \cdot \cos(\Delta\alpha_2) \\
 M_{j,b2,Ed} &= M'_{j,b2,Ed} - (N'_{j,b2,Ed} \cdot \cos(\Delta\alpha_2) + V'_{j,b2,Ed} \cdot \sin(\Delta\alpha_2)) \cdot \Delta z_2
 \end{aligned}$$

... mit ... Δz bzw. Δz_2 Abstand zwischen der Schwerlinie Träger und der Systemachse

Die Transformation der Schnittgrößen aus dem linken Anschluss in das Rechenmodell erfolgt anschließend mit

$$\begin{aligned}
 N_{b1Ed} &= N_{b2Ed} & N_{b2Ed} &= N_{b1Ed} \\
 M_{b1Ed} &= M_{b2Ed} & M_{b2Ed} &= M_{b1Ed} \\
 M_{c1Ed} &= -M_{c2Ed} & M_{c2Ed} &= -M_{c1Ed} \\
 V_{c1Ed} &= -V_{c2Ed} & V_{c2Ed} &= -V_{c1Ed} \\
 \text{KOS EC 3-1-8} \quad V_{b1Ed} &= V_{b2Ed} & V_{b2Ed} &= V_{b1Ed} \\
 \text{KOS Statik} \quad V_{b1Ed} &= -V_{b2Ed} & V_{b2Ed} &= -V_{b1Ed}
 \end{aligned}$$

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

Schnittgrößen im Anschluss bezogen auf die Schwerachsen

- Anschnitt Träger (rechts, links analog)

$$N_{b,Ed} = -N_{j,b,Ed}$$

$$M_{b,Ed} = -M_{j,b,Ed} - V_{j,b,Ed} \cdot e_1 / \cos \alpha$$

$$V_{b,Ed} = V_{j,b,Ed}$$

- Anschnitt Stütze (unten, oben analog)

$$N_{c,Ed} = -N_{j,c,Ed}$$

$$M_{c,Ed} = -M_{j,c,Ed} + V_{j,c,Ed} \cdot e_2$$

$$V_{c,Ed} = -V_{j,c,Ed}$$

Die zur Transformation notwendigen Winkelinformationen sind mit

$$\alpha = (\alpha_b + \alpha_v) / 2, \quad \Delta\alpha = \alpha - \alpha_b, \quad \Delta\alpha_v = \alpha_v - \alpha_b$$

gegeben, wobei der Neigungswinkel des Trägers im Programm 4H-EC3SK $\alpha_b = 0$ ist.

Die Abstände zur Bildung der Momente werden berechnet zu

$$e_1 = z_{cu} \dots e_2 = z_{bu} - t_{bfu} / 2 - (e_1 + t_{ep}) \cdot \tan \alpha \dots e_4 = L_v + t_{ep} \dots t_{ep} = 0 \dots \text{bei Schweißverbindungen}$$

Anschließend werden aus den Schnittgrößen im Anschluss die Schnittgrößen senkrecht zur Anschlussebene ermittelt.

Schnittgrößen senkrecht zur Anschlussebene

- Anschnitt Träger (rechts, links analog)

$$N_d = N_{b,Ed} \cdot \cos \alpha - V_{b,Ed} \cdot \sin \alpha$$

$$M_d = M_{b,Ed}$$

$$V_d = N_{b,Ed} \cdot \sin \alpha + V_{b,Ed} \cdot \cos \alpha$$

Soll die Biege- und/oder Abschertragfähigkeit mit den *Grundkomponenten mit Teilschnittgrößen* (überwiegende Normalkraftbeanspruchung) nachgewiesen werden oder sind spezielle Nachweise z.B. der Stegsteifen zu führen, sind die Teilschnittgrößen in den Flanschen und Stegen zu ermitteln.

Die Teilschnittgrößen im Träger ergeben sich zu

Teilschnittgrößen

$$N_{b,t} = (-N_d \cdot z_{bu} / z_b + M'_d / z_b) / \cos \alpha_b$$

$$N_{b,c} = (N_d \cdot z_{bo} / z_b + M'_d / z_b) / \cos \alpha_v$$

$$V_{b,w} = V_d + N_{b,c} \cdot \sin \alpha_v - N_{b,t} \cdot \sin \alpha_b$$

- nur bei geschraubten Anschlüssen

$$N'_{b,t} = (-N_d \cdot z_{bu} + M_d) / z \dots \dots \dots \text{Zugkraft in den Schraubenreihen}$$

$$N'_{b,c} = (N_d \cdot z_{bo} + M_d) / z \dots \dots \dots \text{Druckkraft bezogen auf } N'_{b,t}$$

- bei Stirnblechanschluss

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

- sonst

$$M'_d = M_d$$

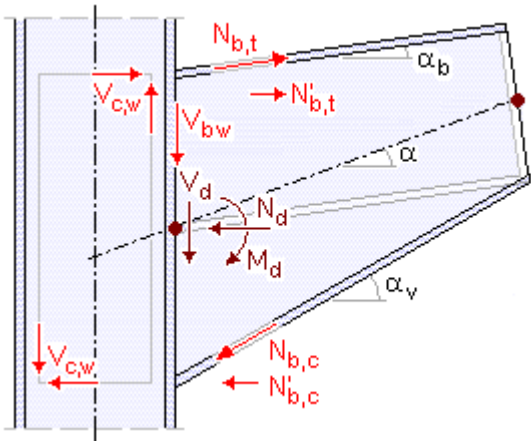
Die Teilschnittgrößen im Stützenstegfeld ergeben sich zu

- Schubkraft im Stützensteg

$$V_{wp,Ed} = (M_{d1,w} - M_{d2,w}) / z - (V_{c1} - V_{c2}) / 2 \dots \text{mit} \dots M_{d1,w} = M_d + V_d \cdot t_{cf} - N_d \cdot t_{cf} \cdot \tan \alpha \dots M_{d2,w} \text{ analog}$$

wobei bei geschraubten Verbindungen der innere Hebelarm z dem äquivalenten Hebelarm z_{eq} entspricht.

Zur Berechnung von z_{eq} s. [Rotationssteifigkeit](#).



Ergebnisübersicht



das siebte Register gibt einen sofortigen Überblick über die ermittelten Ergebnisse

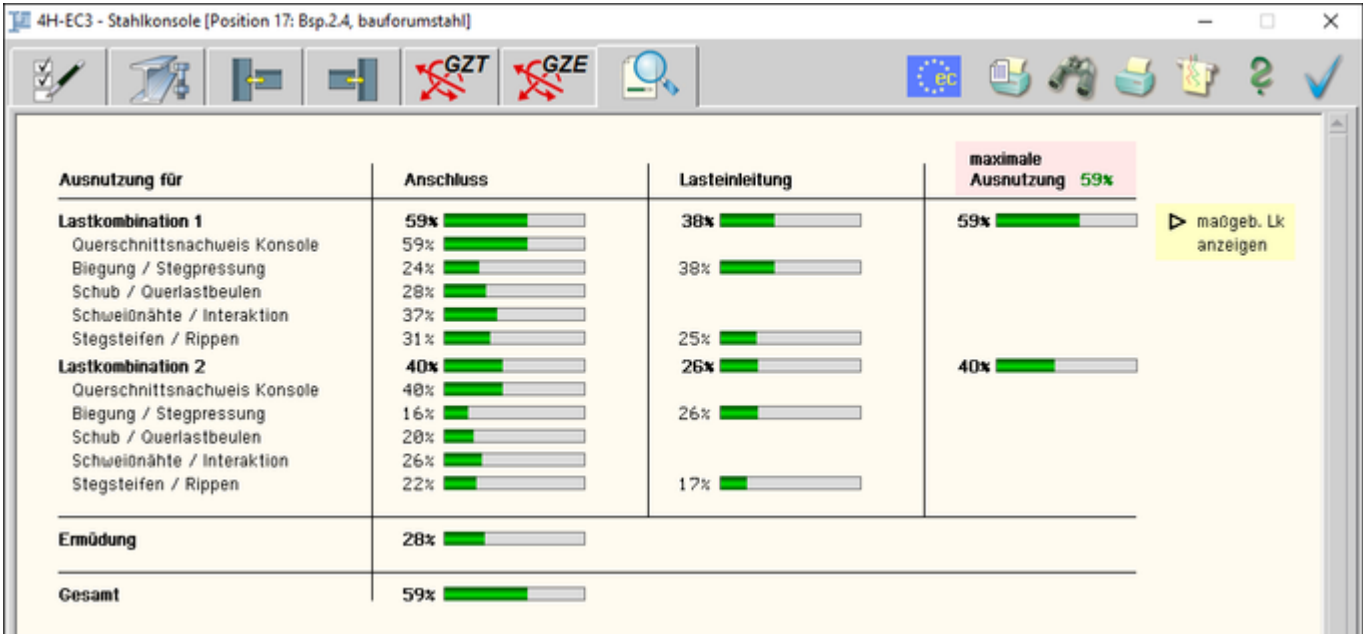


Bild vergrößern

Zur sofortigen Kontrolle werden die Ergebnisse übersichtlich zusammengestellt.

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

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

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

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

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

Die Lastkombination, die für das Gesamtergebnis maßgebend ist, wird markiert.

Über den Link kann die Ausgabe direkt am Bildschirm eingesehen werden.

Wenn die Ursache des Fehlers nicht sofort ersichtlich ist, sollte die Druckliste in der **ausführlichen** Ergebnisdarstellung geprüft werden.

Komponentenmethode

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

Die Voraussetzungen für das Verfahren sowie die zur Anwendung kommenden Grundkomponenten sind im Kapitel **Allgemeines** beschrieben.

Im Programm 4H-EC3SK werden Träger-Stützenanschlüsse berechnet.

Im EC 3-1-8, 5.3, ist geregelt, dass beidseitige Träger-Stützenanschlüsse vereinfachend je Seite betrachtet werden dürfen. Dementsprechend wird die Verbindung je Lastfall zweimal (rechter Anschluss, linker Anschluss) berechnet. Es ergeben sich Tragfähigkeiten und Rotationssteifigkeiten je Seite. Im Folgenden wird der Rechenweg eines rechten Anschlusses dargelegt.

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

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

Es wird die Vorgehensweise zur Bemessung von geschraubten **Stirnblech**- sowie **geschweißten** Verbindungen mit der Komponentenmethode nach EC 3-1-8, 6.2.7, erläutert.

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

geschraubte Stirnblechverbindung

Die Biege- und Zugtragfähigkeit des Anschlusses auf Seite der

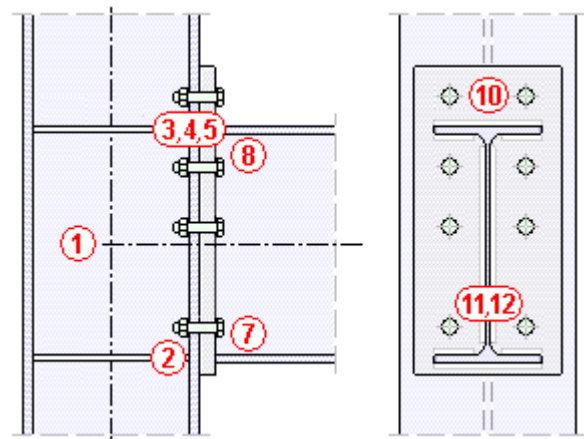
- Stütze wird mit den Grundkomponenten 1 bis 4
- des Trägers mit den Grundkomponenten 7, 8 und ggf. 20
- des Stirnblechs mit Grundkomponente 5

ermittelt.

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

Die Tragfähigkeit der Schweißnähte zwischen Träger und Stirnblech wird über den Linienquerschnitt mit einbezogen.

Zur Bemessung der **Schweißnähte**.



Biegetragfähigkeit mit der Komponentenmethode

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

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

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

h_r Abstand der Schraubenreihe vom Druckpunkt

r Nummer der Schraubenreihe

Im Überstand darf sich nur eine Schraubenreihe befinden.

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

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

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

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

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

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

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

h_x Abstand der Schraubenreihe x zum Druckpunkt

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

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

Tragfähigkeiten nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(6) für Schraubenreihen einzeln betrachtet
maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8
Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$
Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$
Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$

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

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stütze)
maßgebende Grundkomponenten: 3, 4
Gruppe 1
Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$
Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 194.6 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$
Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 142.4 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$
Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$ (aus Reihe 1)
Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 142.1 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$
Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 89.9 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$
Gruppe 2
Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$
Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 319.1 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$
Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 218.4 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$
Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$ (aus Reihe 1)
Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 266.7 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$
Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 165.9 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$
Reihe 3: $\Sigma F_{tr,Rd} = 125.4 \text{ kN}$ (aus Reihen 1 bis 2)
Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 193.7 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$
Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 93.0 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$

Abminderungen nach EC 3-1-8, 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stirnblech)
maßgebende Grundkomponenten: 5, 8
Gruppe 1
Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$
Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 161.8 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$
Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 256.2 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$
Reihe 3: $\Sigma F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$ (aus Reihe 2)
Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 88.8 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$
Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 183.3 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$

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

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

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

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

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

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

Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 535.5 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 128.7 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 226.8 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$

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

Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 483.0 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 76.3 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 174.4 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$

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

Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 410.0 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 3.3 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 3.3 \text{ kN}$

Gk 7: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 101.4 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 3.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 3.3 \text{ kN}$

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

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

maßgebende Grundkomponente: 10

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

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

Das Ergebnis wird schlussendlich protokolliert.

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

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

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

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 3.3 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd} = 128.7 \text{ kN}$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 2, 4, 5

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

Die Druck-Komponenten liefern die Tragfähigkeit bei reiner Druckbeanspruchung.

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

$\Sigma F_{c,Rd}^* = 257.4 \text{ kN}$

Die Biegetragfähigkeit ergibt sich damit zu

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts

$M_{j,Rd} = \Sigma (F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 20.8 \text{ kNm}$

und die Ausnutzung zu

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

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

Ist die einwirkende Normalkraft größer als 5% der plastischen Normalkrafttragfähigkeit

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

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

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

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

Die entsprechenden Normalkrafttragfähigkeiten ergeben sich zu

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

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

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

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

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

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

sodass sich die endgültigen Tragfähigkeiten je Schraubenreihe ergeben zu

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

Die Abscher-Lochleibungstragfähigkeit ergibt sich damit zu

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

und die Ausnutzung zu

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

Schubtragfähigkeit

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

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

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

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

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

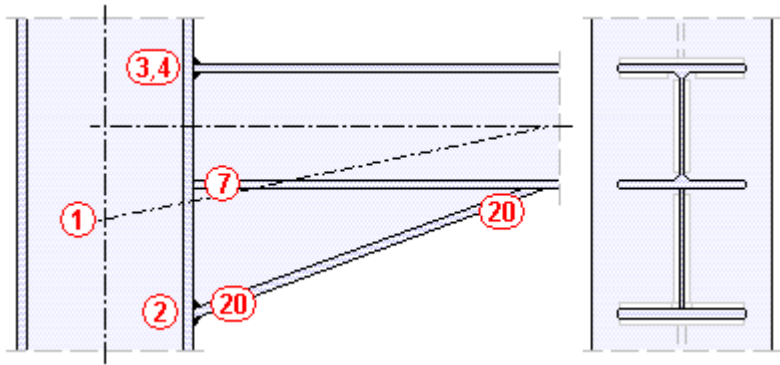
geschweißte Verbindung

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

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

Die Tragfähigkeit der Schweißnähte zwischen Träger und Stütze wird über den Linienquerschnitt mit einbezogen.

Zur Bemessung der **Schweißnähte**.



Biege- und Zugtragfähigkeit mit der Komponentenmethode

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

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

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

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

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

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

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

Abminderungen aufgrund der Druck-/Schubtragfähigkeit der Profile

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

führen zur wirksamen Tragfähigkeit

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

mit der die Biegetragfähigkeit des Anschlusses zu

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

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

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

Besonderheiten bei Vouten

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

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

Die Biegetragfähigkeit des Trägerquerschnitts wird unter Vernachlässigung des zwischenliegenden Flansches

berechnet.

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

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

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

Besonderheiten bei überwiegend normalkraftbeanspruchten Verbindungen

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

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

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

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

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

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

Nachweise

Folgende Nachweise können geführt werden

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

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

Querschnittsnachweis

Der Tragsicherheitsnachweis der offenen, dünnwandigen Querschnitte kann nach den Nachweisverfahren

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

geführt werden.

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

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

unter Ausnutzung der plastischen Reserven aufgenommen werden können (plastische Querschnittstragfähigkeit).

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

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

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

Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Es können die

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

der Verbindung ausgewertet werden.

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

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

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

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

Die Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit ergibt sich zu

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

Nachweis der Schweißnähte

Zur Beschreibung der Nachweisführung der [Schweißnähte](#).

Nachweis der Stegsteifen

Zur Beschreibung der Nachweisführung von [Stegsteifen](#).

Lasteinleitung in einen Biegeträger

Allgemeines

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

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

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

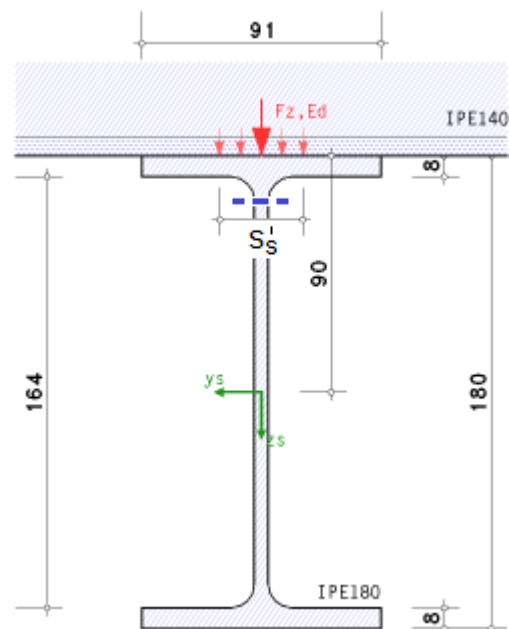
Im Folgenden werden die Spannungsnachweise der Einzellasteinleitung anhand eines Beispiels für eine Trägerkreuzung erläutert.

Ein Träger IPE 140 wird auf einen unversteiften Träger IPE180 gelagert. Die starre Lasteinleitungslänge auf den Trägerflansch in Längsrichtung des Trägers ergibt sich aus der Geometrie des Lastträgers $s_s = 26.7 \text{ mm}$. In Querrichtung ergibt sich die Lasteinbreitungsbreite aus der Trägergeometrie zu $s_s' = 31.8 \text{ mm}$.

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

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

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



Spannungsnachweis im GZG

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

$$\sigma_{Ed,ser} \leq f_y / \gamma_{M,ser} \quad \text{und} \quad \tau_{Ed,ser} \leq f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M,ser})$$

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

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

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

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.



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

Spannungsnachweis im GZT

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

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

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

Lasteinzugsbreite durch den Träger $s_s' = 2 \cdot t_f + t_w + 1.172 \cdot r = 31.8 \text{ mm}$, $t_f = 8.0 \text{ mm}$, $t_w = 5.3 \text{ mm}$

Lasteinzugsbreite durch den Lastträger $s_s = 2 \cdot t_f + t_w + 1.172 \cdot r = 26.7 \text{ mm}$, $t_f = 6.9 \text{ mm}$, $t_w = 4.7 \text{ mm}$

Zur Info: Lagerpressung $F_{z,Ed,GZT} / (s_s \cdot s_s') = 61.51 \text{ N/mm}^2$

wirksame Lasteinleitungslänge $l_{eff} = s_s + 2 \cdot t_f = 42.7 \text{ mm}$, $t_f = 8.0 \text{ mm}$

Länge der starren Lasteinleitung

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

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

Einzellastpressung am Steganschnitt

lokale Normalspannung $\sigma_{oz,Ed} = -F_{z,Ed} / (t_w \cdot s_w) = -233.1 \text{ N/mm}^2$, $F_{z,Ed} = 75.0 \text{ kN}$, $s_w = 60.7 \text{ mm}$

$|\sigma_{oz,Ed}| = 233.1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.992 < 1$ **ok**

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

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

Platten- und Schubbeulen werden kontrolliert.

Spannungen am Steganschnitt

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

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

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

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

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

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

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

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

Die maximale Ausnutzung wird protokolliert.

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

Nachweis der Stegsteifen

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

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

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

$b_R = 42.9$ mm (maximale Breite), $b_1 = b_R - r_R = 29.4$ mm, $e_F = b_R - 0.5 \cdot b_1 = 28.2$ mm mit $r_R = 13.5$ mm dreiseitiger Rippenanschluss:

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

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

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

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet:

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

Querschnitt am Flansch

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

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

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

Querschnitt am Steg

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

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

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

Schweißnähte am Flansch

Kehlnaht mit $a = 4.0$ mm

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

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche: $\sigma_s = 118.82$ N/mm², $\tau_p = 20.41$ N/mm²

$\sigma_{1,w,Ed} = (\sigma_s^2 + 3 \cdot (\tau_p^2 + \tau_{p2}^2))^{1/2} = 123.97$ N/mm²

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360.00$ N/mm²

$\sigma_{1,w,Ed} = 123.97$ N/mm² $< f_{1w,d} = 360.00$ N/mm² $\Rightarrow U = 0.344 < 1$ **ok**

$\sigma_{2,w,Ed} = |\sigma_s| = 118.82$ N/mm²

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.2): $f_{2w,d} = 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 259.20$ N/mm²

$\sigma_{2,w,Ed} = 118.82$ N/mm² $< f_{2w,d} = 259.20$ N/mm² $\Rightarrow U = 0.458 < 1$ **ok**

Schweißnähte am Steg

Kehlnaht mit $a = 4.0$ mm

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

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

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche: $\tau_p = 25.45$ N/mm²

$\sigma_{1,w,Ed} = (\sigma_s^2 + 3 \cdot (\tau_p^2 + \tau_{p2}^2))^{1/2} = 44.09$ N/mm²

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360.00$ N/mm²

$\sigma_{1,w,Ed} = 44.09$ N/mm² $< f_{1w,d} = 360.00$ N/mm² $\Rightarrow U = 0.122 < 1$ **ok**

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

Die Spannungsnachweise können nun für eine reduzierte Querbelastung geführt werden.

Einzellastpressung am Steganschnitt

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

lokale Normalspannung $\sigma_{oz,Ed} = -F_{z,Ed} / (t_w \cdot s_w) = -59.7$ N/mm², $F_{z,Ed} = 19.2$ kN, $s_w = 60.7$ mm

$|\sigma_{oz,Ed}| = 59.7$ N/mm² $< \sigma_{Rd} = 235.0$ N/mm² $\Rightarrow U = 0.254 < 1$ **ok** 13.5 mm

Spannungen am Steganschnitt

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

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

Schubspannung $\tau_{xz,Ed} = 66.7$ N/mm²

$|\tau_{xz,Ed}| = 66.7$ N/mm² $< \tau_{Rd} = 135.7$ N/mm² $\Rightarrow U = 0.491 < 1$ **ok**

Vergleichsspannung $\sigma_v = (\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{oz,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{oz,Ed} + 3 \cdot \tau_{xz,Ed}^2)^{1/2} = 130.0$ N/mm²

$\sigma_v = 130.0$ N/mm² $< \sigma_{Rd} = 235.0$ N/mm² $\Rightarrow U = 0.553 < 1$ **ok**

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

Nachweis Querlastbeulen

Werden keine Stegsteifen angeordnet ist Querlastbeulen nachzuweisen.

Beschreibung der Nachweisführung des Querlastbeulens s.u.

Für das Beispiel ergibt sich folgender Berechnungsablauf

Beulfeld $h_w = 164.0 \text{ mm}$, $t_w = 5.3 \text{ mm}$

Beulwert $k_F = 2 + 6 \cdot ((s_s + c)/h_w) = 6.64$ (Typ (c))

kritische Beullast $F_{cr} = k_F \cdot \sigma_E \cdot t_w \cdot h_w = 1143.3 \text{ kN}$, $\sigma_E = \pi^2 \cdot E / (12 \cdot (1 - \mu^2)) \cdot (t/b')^2 = 198.2 \text{ N/mm}^2$, $b' = 164.0 \text{ mm}$

wirksame Lastausbreitungslänge $l_y = \min(l_{y,2}, l_{y,3}) = 159.9 \text{ mm}$ mit

$l_{y,2} = l_e + t \cdot (m_1/2 + (l_e/t)^2)^{1/2} = 255.6 \text{ mm}$, $l_e = \min(k_F/2 \cdot E/f_y \cdot t_w^2/h_w, s_s + c) = 126.7 \text{ mm}$

$l_{y,3} = l_e + t \cdot (m_1)^{1/2} = 159.9 \text{ mm}$, $m_1 = b/t_w = 17.17$

Fließlast $F_y = f_y \cdot t_w \cdot l_y = 199.1 \text{ kN}$

Schlankheitsgrad $\lambda_F = (F_y/F_{cr})^{1/2} = 0.417$

Abminderungsfaktor $\chi_F = 0.5/\lambda_F = 1.198 > 1 \Rightarrow \chi_F = 1.000$

wirksame Beullänge $L_{eff} = \chi_F \cdot l_y = 159.9 \text{ mm}$

Beulwiderstand $F_{z,Rd} = f_y \cdot L_{eff} \cdot t_w / \gamma_{M1} = 180.99 \text{ kN}$

Nachweis

$F_{z,Ed}/F_{z,Rd} = 0.414 < 1$ **ok**

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

Interaktion (ohne Platten-/Schubbeulen)

Querbelastung und Vergleichsspannung $(\eta_2 + 0.8 \cdot \eta_1) / 1.4 = 0.929 < 1$ **ok**

mit $\eta_2 = F_{z,Ed}/F_{z,Rd} = 0.414$, $\eta_1 = \max U_\sigma = 1.107$

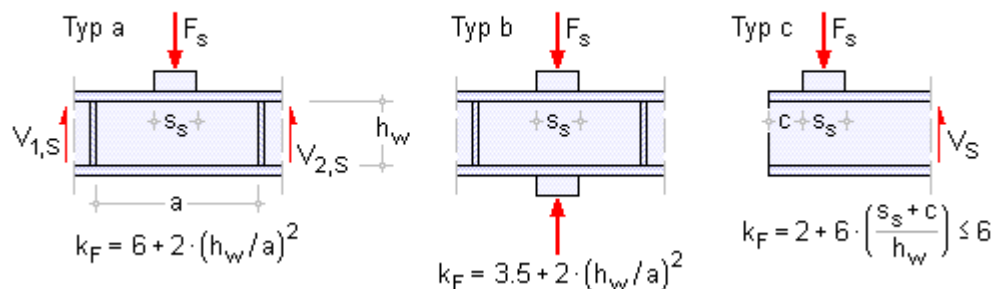
Querlastbeulen

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

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

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

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



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

Bemessungswert der Beanspruchbarkeit

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

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

l_y wirksame Lasteinleitungslänge ohne Stegbeulen

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

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

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

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

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

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

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

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

k_F Beulwert für Stege ohne Längssteifen s. Bild 6.1

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

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

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

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

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

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

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

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

Nachweis

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

Interaktionen

Interaktion zwischen Querbelastung, Biegemoment und Normalkraft

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

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

Interaktion zwischen Querbelastung und Querkraft (nur NA-DE)

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

Beschreibung der Ergebnisse

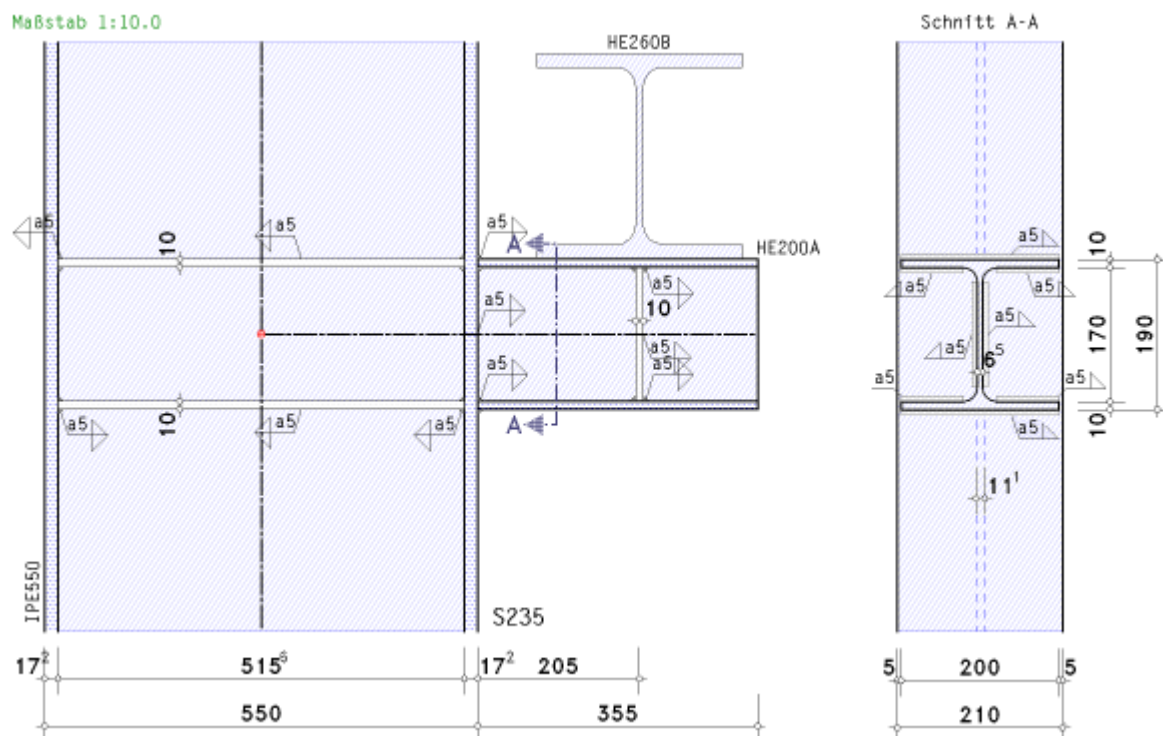
Im Folgenden wird die Berechnung einer Stahlkonsole anhand des Beispiels 2.4: Kranbahnträgerauflager (aus *Beispiele zur Bemessung von Stahltragwerken nach DIN EN 1993 Eurocode 3, bauforumstahl e.V.* (s. [Literatur](#))) vorgestellt.

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

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

Hintergründe zur dargestellten Berechnung finden Sie [hier](#).

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



Die Konsole ist mit 5 mm Kehlnähten an die Stütze geschweißt. In Höhe der Flansche sind Stützensteifen angeordnet.

Der Lastträger ist auf der Konsole mit Schrauben befestigt. Da bei einachsiger Beanspruchung die Schraubenverbindung nicht belastet ist, wird sie nicht dargestellt und nachgewiesen.

Die Lasteinleitung in die Konsole erfolgt über eine Quersteife.

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit werden die ständig und veränderliche ($F_{S+v,Ed}$) sowie die außergewöhnliche Bemessungssituation ($F_{a,Ed}$) untersucht.

Der Ermüdungsnachweis erfolgt für die Schwingbreite aus $F_{Ed,GZE}$ vorhanden / nicht vorhanden.

Konsole-Stützenverbindung

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

Die Bemessungskräfte aus dem Lastträger werden in Anschlussschnittgrößen umgerechnet.

Mit dem Abstand $(h_c - z_c) + \Delta a = 225 + 205 = 430 \text{ mm}$ ergeben sich zunächst für die Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen von Konsole und Stütze

Umrechnung Konsollasten -> Knotenschnittgrößen:

$$M_{j,b1,Ed} = -42.72 \text{ kNm}, \quad V_{j,b1,Ed} = 89.00 \text{ kN}$$

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

Es ist zu beachten, dass der Nachweis der Träger-Stützenverbindung im EC3-Koordinatensystem erfolgt.

Die Bemessungsgrößen wirken senkrecht zur Anschlussebene.

Transformation Statik-KoS -> EC3-KoS

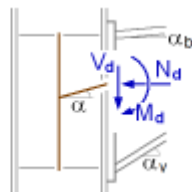
$$M_{j,b,Ed} = 42.72 \text{ kNm}, \quad V_{j,b,Ed} = 89.00 \text{ kN}$$

Transformation Knotengrößen -> Anschlussgrößen

$$M_{b,Ed} = 18.24 \text{ kNm}, \quad V_{b,Ed} = 89.00 \text{ kN}$$

Transformation Anschlussgrößen -> Bemessungsgrößen

$$M_d = 18.24 \text{ kNm}, \quad V_d = 89.00 \text{ kN}$$



Querschnittsnachweis

Zunächst wird das Konsolprofil an der Anschlussstelle elastisch nachgewiesen.

Das c/t-Verhältnis gilt als vereinfachter Beulnachweis.

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

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

Komponentenmethode

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

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

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

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

Gk 1: Stützenstegfeld mit Schub

Schlankheit des Stützenstegs $d_c/t_{wc} = 42.13 < 69 \cdot \epsilon = 69.00 \Rightarrow$ Verfahren anwendbar

plastische Schubtragfähigkeit mit Quersteifen $V_{wp,Rd} = 936.9 \text{ kN}$

Gk 2: Stützensteg mit Querdruck

unterer Trägerflansch:

Tragfähigkeit ohne Quersteifen:

Tragfähigkeit eines Stegs mit Querdruckbeanspruchung:

$$F_{c,w,Rd} = \phi \cdot (k_w \cdot \rho \cdot b_{eff,c} \cdot t_w \cdot f_{y,w}) / \gamma_{M1} = 430.18 \text{ kN (maßgebend)}$$

Verstärkung des Stegs durch Quersteifen:

Q-Klasse der Steifen 2 **ok**

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen:

$$I_{st,min} = 867.87 \text{ cm}^4 > 771.75 \text{ cm}^4 = I_{st} \text{ **nicht ok !!** } \Rightarrow \text{Quersteifen nicht wirksam !}$$

Gk 3: Stützensteg mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = 493.5 \text{ kN}$$

Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druck

unterer Trägerflansch:

$$\text{plastisches Widerstandsmoment } W_{pl} = 429.448 \text{ cm}^3$$

Tragfähigkeit eines Flanschs (und Stegs) mit Druck

$$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 560.67 \text{ kN}$$

Für die Biegetragfähigkeit wird die maßgebende Zugtragfähigkeit im oberen Flansch ermittelt.

Sie darf nicht größer sein, als die Tragfähigkeit aller Grundkomponenten.

Die Biegetragfähigkeit ergibt sich aus der Multiplikation der Zugtragfähigkeit mit dem Hebelarm z.

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

Tragfähigkeit (Zug)

maßgebende Grundkomponenten: 3

$$F_{t,Rd} = 493.5 \text{ kN}$$

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

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

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

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

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

Tragfähigkeit (endgültig)

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

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts

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

Die Schubtragfähigkeit wird im Stützenflansch und -steg berechnet.

Schubtragfähigkeit des Stützenflanschs

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

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

maßgebende Grundkomponente: 1

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

Die Nachweise erfolgen für die Bemessungsgrößen.

Biegemoment: $M_{Ed} = M_d = 18.24 \text{ kNm}$

senkr. z. Anslussebene

Querkraft: $V_{Ed} = |V_d| = 89.00 \text{ kN}$

paral. z. Anslussebene

Schubkraft: $V_{c,w,Ed} = M_d/z - (V_{c1} - V_{c2})/2 = 101.36 \text{ kN}$, $z = 180.0 \text{ mm}$

im Stützensteg

Schubkraft: $V_{b,w,Ed} = 89.00 \text{ kN}$

im Trägersteg

Biegetragfähigkeit

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

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

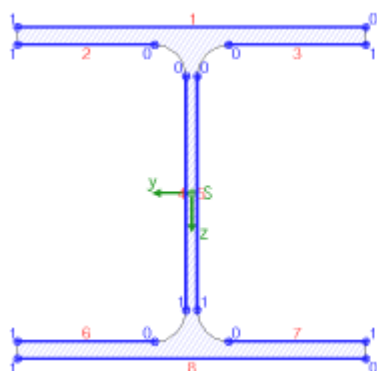
$V_{c,w,Ed}/V_{wp,Rd} = 0.108 < 1$ **ok**

Schubtragfähigkeit des Stützenflanschs

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

Schweißnahtnachweis

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



Naht 1:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 200.0 \text{ mm}$
Naht 2:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 78.8 \text{ mm}$
Naht 3:	siehe Naht 2	
Naht 4:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 134.0 \text{ mm}$
Naht 5:	siehe Naht 4	
Naht 6:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 78.8 \text{ mm}$
Naht 7:	siehe Naht 6	
Naht 8:	$a_w = 5.0 \text{ mm}$	$l_w = 200.0 \text{ mm}$

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

Schnittgrößenverteilung:

Naht 1: $N_w = 55.14 \text{ kN}$

Naht 2: $N_w = 19.43 \text{ kN}$

Naht 3: siehe Naht 2

Naht 4: $M_{y,w} = -0.58 \text{ kNm}$

Naht 5: siehe Naht 4

Naht 6: $N_w = -19.43 \text{ kN}$

Naht 7: siehe Naht 6

Naht 8: $N_w = -55.14 \text{ kN}$

aus konventioneller Querkraftaufteilung: $V_{z,w} = 89.00 \text{ kN}$

Extremale Spannungen:

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

Die Spannungen werden mit dem vereinfachten Verfahren nachgewiesen.

Nachweise in den Endpunkten der Nähte:

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

Ergebnis:

Naht 4, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 38.89 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z} = 66.42 \text{ N/mm}^2$

Max: $F_{w,Ed} = 384.82 \text{ kN/m} < F_{w,Rd} = 1039.23 \text{ kN/m} \Rightarrow U_w = 0.370 < 1$ **ok**

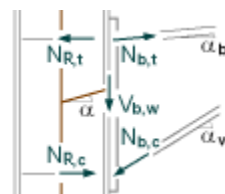
Nachweis der Stegsteifen

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

Am Beispiel der Drucksteife wird der Rechenweg aufgezeigt.

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

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



Für das dreiseitig angeschweißte Blech werden zunächst der Querschnitt

$$F_{c,Ed} = N_{R,c} = 105.61 \text{ kN}$$

Kräfte je Rippe

$$F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f \cdot 2 \cdot r \cdot t_w)/b_f = 37.95 \text{ kN}, \quad H = F \cdot e_f/e_H = 4.98 \text{ kN}$$

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: Q-Klasse $2 \leq 3$ **ok**

Querschnitt am Flansch

$$\text{Drucktragfähigkeit } N_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 149.11 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 38.91 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 38.91 \text{ kN} < F_{Rd} = 149.11 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.261 < 1 \text{ **ok**}$$

Querschnitt am Steg

$$\text{Schubtragfähigkeit } V_{Rd} = (A_v \cdot f_y) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 601.86 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = F = 37.95 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 37.95 \text{ kN} < F_{Rd} = 601.86 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.063 < 1 \text{ **ok**}$$

und dann die Schweißnähte an Flansch und Steg nachgewiesen.

Schweißnähte am Flansch

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = 1039.23 \text{ kN/m}$$

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = (F^2 + H^2)^{1/2} / (2 \cdot b_1) = 301.59 \text{ kN/m}, \quad b_1 = 63.4 \text{ mm}$$

$$F_{Ed} = 301.59 \text{ kN/m} < F_{Rd} = 1039.23 \text{ kN/m} \Rightarrow U = 0.290 < 1 \text{ **ok**}$$

Schweißnähte am Steg

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = 1039.23 \text{ kN/m}$$

dreiseitiger Rippenanschluss:

$$\text{Bemessungsgröße: } F_{Ed} = F / (2 \cdot l_1) = 42.77 \text{ kN/m}, \quad l_1 = 443.6 \text{ mm}$$

$$F_{Ed} = 42.77 \text{ kN/m} < F_{Rd} = 1039.23 \text{ kN/m} \Rightarrow U = 0.041 < 1 \text{ **ok**}$$

Die maximale Ausnutzung dieses Nachweispakets ergibt

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

Nachweis der Lasteinleitung

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

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

$$\text{Lasteinzugslänge durch den Lastträger } s_s = 2 \cdot t_f + t_w + 1.172 \cdot r = 73.1 \text{ mm}, \quad t_f = 17.5 \text{ mm}, \quad t_w = 10.0 \text{ mm}$$

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

$$\text{Länge der starren Lasteinleitung bezogen auf den Steganschnitt } s_w = l_{eff} + 2 \cdot r = 129.1 \text{ mm}$$

Nachweis der Stegpressung

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

Einzellastpressung am Steganschnitt

$$\text{lokale Normalspannung } \sigma_{oz,Ed} = -F_{z,Ed}/(t_w \cdot s_w) = -106.0 \text{ N/mm}^2, \quad F_{z,Ed} = 89.0 \text{ kN}, \quad s_w = 129.1 \text{ mm}$$

$$|\sigma_{oz,Ed}| = 106.0 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.451 < 1 \text{ **ok**}$$

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

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

Bemessungsgrößen

$$V_{z1,Ed} = 89.00 \text{ kN}$$

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

Spannungen am Steganschnitt

Querbelastrung $F_{z,Ed} = 89.0 \text{ kN}$

Schubbeulen: $h_p/t_p = 26.15 \leq 72 \cdot \omega/\eta = 60.00$ **ok**

Lk 1: $V_{z,Ed} = 89.0 \text{ kN}$

Schubspannung $\tau_{xz,Ed} = 49.2 \text{ N/mm}^2$

$|\tau_{xz,Ed}| = 49.2 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.363 < 1$ **ok**

Vergleichsspannung $\sigma_v = (\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{oz,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{oz,Ed} + 3 \cdot \tau_{xz,Ed}^2)^{1/2} = 136.1 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_v = 136.1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.579 < 1$ **ok**

Ausnutzung am Steganschnitt $\max U_\sigma = 0.579 < 1$ **ok**

Nachweis des Querlastbeulens

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

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

Beulfeld $h_w = 170.0 \text{ mm}$, $t_w = 6.5 \text{ mm}$

Beulwert $k_F = 2 + 6 \cdot ((s_s + c)/h_w) = 9.87$ (Typ (c))

kritische Beullast $F_{cr} = k_F \cdot \sigma_E \cdot t_w \cdot h_w = 3027.7 \text{ kN}$, $\sigma_E = \pi^2 \cdot E / (12 \cdot (1 - \mu^2)) \cdot (t/b')^2 = 277.5 \text{ N/mm}^2$, $b' = 170.0 \text{ mm}$

wirksame Lastausbreitungslänge $l_y = \min(l_{y,2}, l_{y,3}) = 278.6 \text{ mm}$ mit

$l_{y,2} = l_e + t_f \cdot (m_1/2 + (l_e/t_f)^2)^{1/2} = 449.7 \text{ mm}$, $l_e = \min(k_F/2 \cdot E/f_y \cdot t_w^2/h_w, s_s + c) = 223.1 \text{ mm}$

$l_{y,3} = l_e + t_f \cdot (m_1)^{1/2} = 278.6 \text{ mm}$, $m_1 = b/t_w = 30.77$

Fließlast $F_y = f_y \cdot t_w \cdot l_y = 425.5 \text{ kN}$

Schlankheitsgrad $\lambda_F = (F_y/F_{cr})^{1/2} = 0.375$

Abminderungsfaktor $\chi_F = 0.5/\lambda_F = 1.334 > 1 \Rightarrow \chi_F = 1.000$

wirksame Beullänge $L_{eff} = \chi_F \cdot l_y = 278.6 \text{ mm}$

Beulwiderstand $F_{z,Rd} = f_y \cdot L_{eff} \cdot t_w / \gamma_{M1} = 386.86 \text{ kN}$

Nachweis

$F_{z,Ed}/F_{z,Rd} = 0.230 < 1$ **ok**

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

Nachweis der Quersteifen

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

Wenn die Quersteifen nicht versagen ($U_R \leq 1$), ist nur der Anteil der Querlast, der direkt in den Steg geht, bei der Stegpressung zu berücksichtigen.

Versagen hingegen die Quersteifen bei der vollen Last ($U_R > 1$), können sie immerhin einen Teil aufnehmen. Der Steg ist für die Restlast nachzuweisen.

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

Einzellastpressung am Steganschnitt:

reduzierte Querbelastrung $F_{z,Ed} = 18.9 \text{ kN}$

lokale Spannungen $\sigma_{oz,Ed} = -22.5 \text{ N/mm}^2$

$|\sigma_{oz,Ed}| = 22.5 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.096 < 1$ **ok**

Spannungen am Steganschnitt:

reduzierte Querbelastrung $F_{z,Ed} = 18.9 \text{ kN}$

Lk 1: $V_{z,Ed} = 89.0 \text{ kN}$

Spannungen $\tau_{xz,Ed} = 49.2 \text{ N/mm}^2$

$|\tau_{xz,Ed}| = 49.2 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.363 < 1$ **ok**

$\sigma_v = 88.2 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.375 < 1$ **ok**

Ausnutzung am Steganschnitt $\max U_\sigma = 0.375 < 1$ **ok**

Die maximale Ausnutzung dieses Nachweises ergibt

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

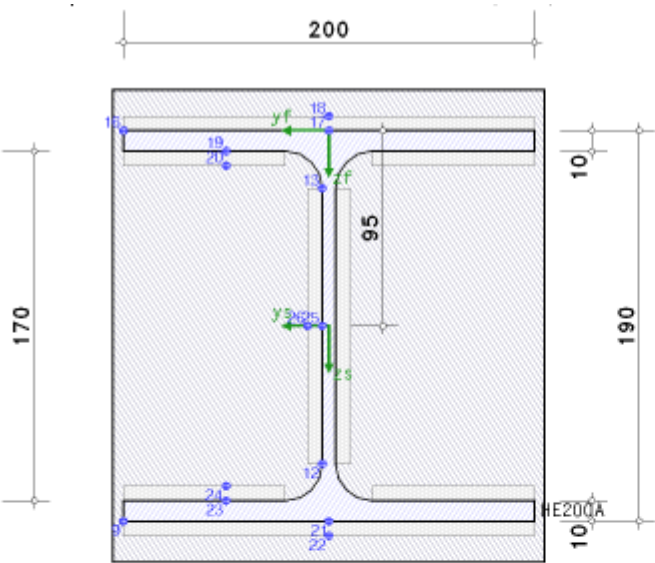
Nachweis der Ermüdung

Die Konsole wird durch den Lastträger dynamisch beansprucht.

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

Ermüdung der Verbindung Konsole-Stütze

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



Kerbfälle / zul. Kerbspannungen bei N = 2·10⁶ Schwingspielen:

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

°: Nachweis der Schweißnaht

Es werden zwei Lastkombinationen untersucht

Umrechnung Konsollasten -> Knotenschnittgrößen:

$N_{1,Ed} = M_{y1,Ed} = V_{z1,Ed} = 0$
 $M_{j,b2,Ed} = -27.32 \text{ kNm}, V_{j,b2,Ed} = 56.91 \text{ kN}$

Bemessungsgrößen

$N_{1,Ed} = M_{y1,Ed} = V_{z1,Ed} = 0$
 $M_{y2,Ed} = -11.67 \text{ kNm}, V_{z2,Ed} = 56.91 \text{ kN}$

Die weitere Berechnung wird beispielhaft für Pkt. 21 (maßgebender Kerbpunkt) gezeigt.
Für jede Lastkombination werden aus den elastischen Spannungen die Spannungsschwingbreiten berechnet

elastische Spannungen / Spannungsschwingbreiten:

$\Delta\sigma_{x,Ed} = \sigma_{x,max} - \sigma_{x,min}, \tau_{Ed} = \tau_{x2,max} - \tau_{x2,min}$
Pkt. 21: $y_f = 0.0 \text{ mm}, z_f = 190.0 \text{ mm}$ Lk 1: $\sigma_x = 0.0 \text{ N/mm}^2$
2: $\sigma_x = -38.1 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta\sigma_{x,Ed} = 38.1 \text{ N/mm}^2$

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

Spannungsschwingbreiten infolge Ermüdung:

$\Delta\sigma_{x,f} = \Delta\sigma_{x,Ed} \lambda_{\sigma}, \Delta\tau_f = \Delta\tau_{Ed} \lambda_{\tau}$
Pkt. 21: $y_f = 0.0 \text{ mm}, z_f = 190.0 \text{ mm}$ $\Delta\sigma_{x,f} = 12.0 \text{ N/mm}^2$

die den zulässigen Bemessungskerbspannungen

zul. Kerbspannungen:

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

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

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

gegenübergestellt werden.

Nachweis der Kerbspannungen:

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

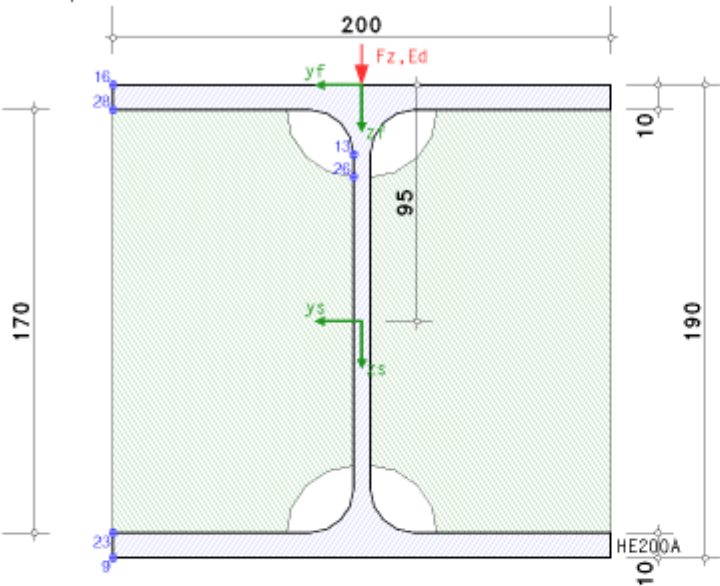
$\Delta\sigma_{x,f} = 12.0\text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{x,Rd,f} = 31.3\text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma x} = 0.384\text{ ok}$

Die maximale Ausnutzung des maßgebenden Kerbpunkts ergibt

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

Ermüdung des Konsolprofils

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



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

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

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

Bemessungsgrößen

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

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

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

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

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

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

Die weitere Berechnung erfolgt analog.

Für den maßgebenden Kerbpunkt 13 ergibt sich

elastische Spannungen / Spannungsschwingbreiten:

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

Pkt. 13: $y_f = 3.2 \text{ mm}$, $z_f = 28.0 \text{ mm}$ Lk 1: $\tau_{xz} = 0.0 \text{ N/mm}^2$
2: $\tau_{xz} = 47.2 \text{ N/mm}^2$
 $\Delta\tau_{Ed} = 74.3 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{z,Ed} = 67.8 \text{ N/mm}^2$

Spannungsschwingbreiten infolge Ermüdung:

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

Pkt. 13: $y_f = 3.2 \text{ mm}$, $z_f = 28.0 \text{ mm}$ $\Delta\tau_f = 37.2 \text{ N/mm}^2$ $\Delta\sigma_{z,f} = 21.4 \text{ N/mm}^2$

und damit

Nachweis der Kerbspannungen:

Pkt. 13: $y = 3.2 \text{ mm}$, $z = 28.0 \text{ mm}$ $\Delta\tau_f = 37.2 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{Rd,f} = 87.0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\tau} = 0.427 \text{ ok}$
 $\Delta\sigma_{z,f} = 21.4 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{z,Rd,f} = 139.1 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\Delta\sigma z} = 0.154 \text{ ok}$

Daraus folgt die maximale Ausnutzung des maßgebenden Kerbpunkts für diesen Nachweisort

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

Endergebnis

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

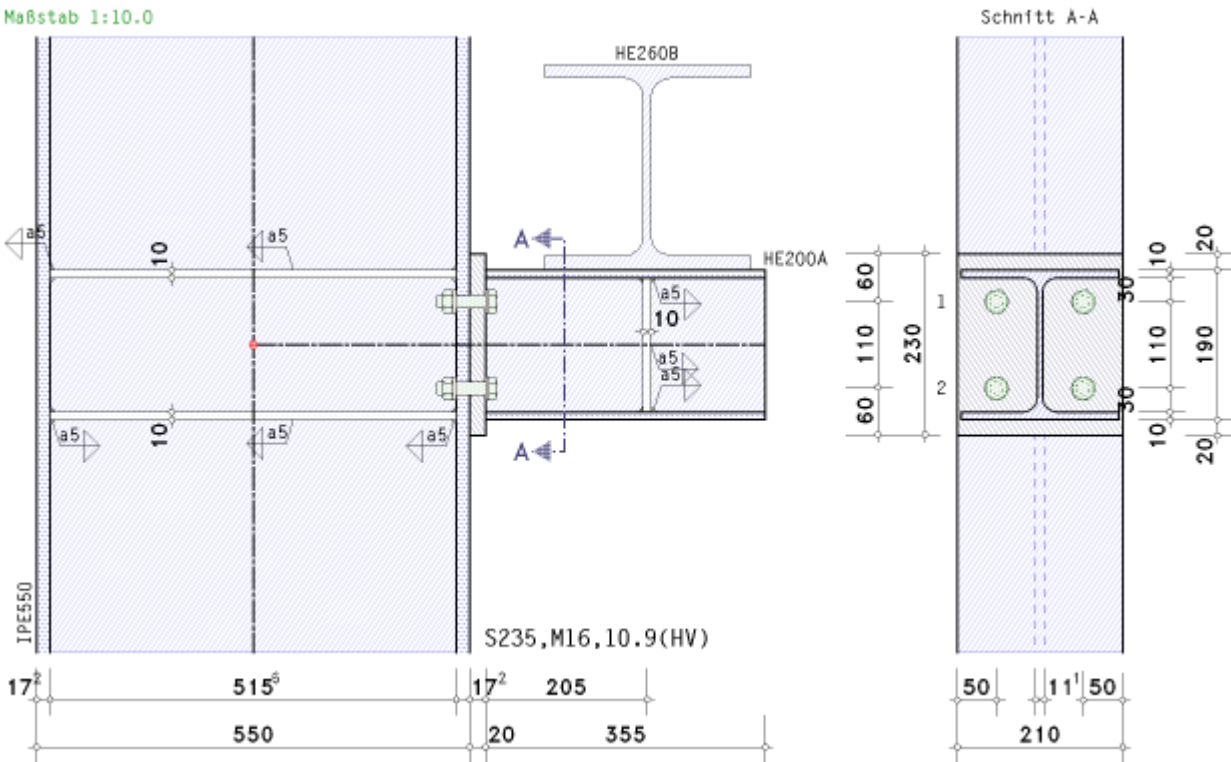
Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.586 < 1 \text{ ok}$
Anschluss an die Stütze

Nachweis erbracht

Hinweise zu einer Schraubenverbindung

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

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



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

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

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

Die Auswertung der Grundkomponenten ergibt unter Einhaltung der Regeln n. EC 3-1-8, 6.2.7.2 die Tragfähigkeiten je

Schraubenreihe, mit denen die Biegetragfähigkeit ermittelt wird, sowie die Schubtragfähigkeiten von Stirnblech und Stützensteg,

Biegetragfähigkeit

$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 50.0 \text{ kNm}$

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

Stirnblech: $V_{ep,Rd} = 363.62 \text{ kN}$

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

maßgebende Grundkomponente: 1

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

die den einwirkenden Schnittgrößen gegenübergestellt werden

Biegemoment: $M_{Ed} = M_d = 20.02 \text{ kNm}$

Querkraft: $V_{Ed} = |V_d| = 89.00 \text{ kN}$

Schubkraft: $V_{c,w,Ed} = M_d/z - (V_{c1} - V_{c2})/2 = 162.00 \text{ kN}, z = 123.6 \text{ mm}$

Schubkraft: $V_{b,w,Ed} = 89.00 \text{ kN}$

$M_{Ed}/M_{j,Rd} = 0.400 < 1 \text{ ok}$

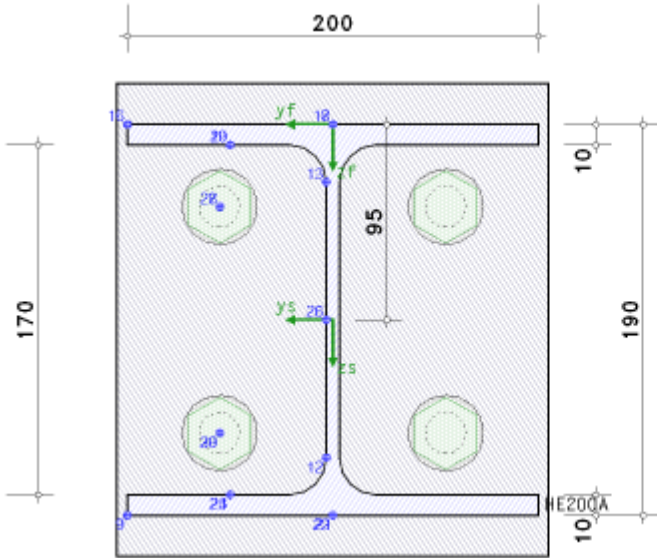
Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit bei nur 40.0%-iger Ausnutzung der Biegetragfähigkeit $V_{j,Rd} = 492.5 \text{ kN}$

$V_{Ed}/V_{j,Rd} = 0.181 < 1 \text{ ok}$

$V_{c,w,Ed}/V_{wp,Rd} = 0.173 < 1 \text{ ok}$

$V_{b,w,Ed}/V_{ep,Rd} = 0.245 < 1 \text{ ok}$

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



Die Bemessungsgrößen werden am Stirnblech ermittelt.

Bemessungsgrößen

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

$M_{y2,Ed} = -12.80 \text{ kNm}, V_{z2,Ed} = 56.91 \text{ kN}$

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

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

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

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

x: Nachweis der Schraube

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

Spannungen in den Schrauben:
 $N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$, $M_{y,Ed} = -12.80 \text{ kNm}$

Reihe 1: $\Delta z_1 = 145.0 \text{ mm}$, $F_{sc,1} = 57.31 \text{ kN}$, $\sigma = 116.95 \text{ N/mm}^2$, $\tau = 45.29 \text{ N/mm}^2$

Reihe 2: $\Delta z_2 = 35.0 \text{ mm}$, $F_{sc,2} = 13.83 \text{ kN}$, $\sigma = 28.23 \text{ N/mm}^2$, $\tau = 45.29 \text{ N/mm}^2$

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

Nachweis der Kerbspannungen:

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

zur Hauptseite [4H-EC3SK](#), Stahlkonsole



© [pcae](#) GmbH Kopernikusstr. 4A 30167 Hannover Tel. 0511/70083-0 Fax 70083-99 Mail dte@pcae.de