

4H-EC3HK Hohlprofilknoten

Detailinformationen

Seite überarbeitet Januar 2024

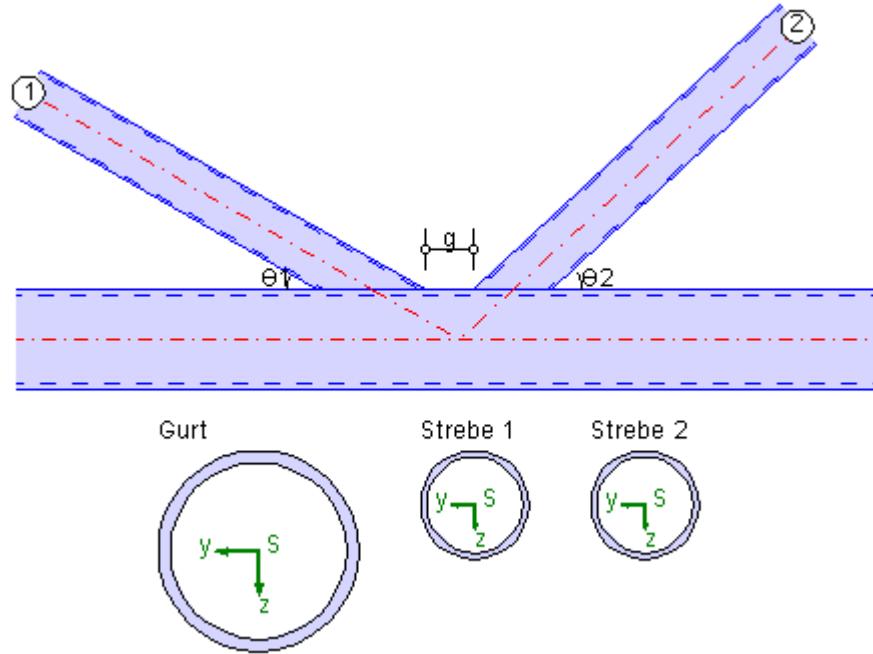
• Kontakt • Programmübersicht • Bestelltext **Infos auf dieser Seite**[... als pdf !\[\]\(003082e50e3009141f59bd5df831749f_img.jpg\)](#)

- Anschlussparameter 
- Bemessungsschnittgrößen 
- Schnittgrößenimport 

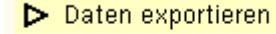
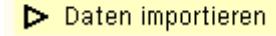
- Ergebnisübersicht 
- Knotennachweis 
- Querschnittsnachweis 
- Schweißnahtnachweis 
- Beispiele 

Anschlussparameter

im Register 1 befinden sich die Angaben zu Rechenlaufsteuerung, Baustoffen, Anschlussgeometrie

**Allgemeines**

Das Programm 4H-EC3HK berechnet einen Hohlprofilknoten aus Stahl n. EC 3-1-8, Kap. 7.

Die Eingabedaten können über die *Copy-Paste-Funktion* von einem Bauteil in ein anderes desselben Typs exportiert werden. ► Daten exportieren ► Daten importierenDazu 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.

Es werden Geometrie, Belastung und Nachweiseinstellungen ex- bzw. importiert.

Der Knoten wird maßstäblich am Bildschirm dargestellt (s.o.), die Winkel und wesentlichen Abstände sind gekennzeichnet. Die Querschnitte von Gurt und Streben sind - der besseren Übersicht halber in einem anderen Maßstab - hinzugefügt.

Materialsicherheit

In Abhängigkeit von den gewählten Nachweisen (s.u.) sind die Materialsicherheitsbeiwerte zu belegen.

Die Sicherheitsbeiwerte können entweder dem nationalen **Anhang** entnommen oder direkt vorgegeben werden.

Es können die Nachweise für den Knotenanschluss, die Schweißnahtverbindung und den Querschnitt geführt werden.

Materialsicherheit (genormt)

Beanspruchbarkeit von Querschnitten	γ_{M0}	1.00
Beanspruchbarkeit von Verbindungsmittern	γ_{M2}	1.25
Beanspruchbarkeit von Hohlprofilverbindungen	γ_{M5}	1.00

Stahlsorte

Jedem Verbindungselement kann ein eigenes Material zugeordnet werden.

Um den Eingabearaufwand zu reduzieren kann an dieser Stelle eine einheitliche Stahlgüte für den Gurt und die einzelnen Streben festgelegt werden.

einheitliche Stahlsorte

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

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

Schweißnähte

Jedem Anschluss einer Strebe an den Gurt kann eine eigene Schweißnahtform zugeordnet werden. Bei Hohlprofilen wird stets eine umlaufende Schweißnaht verwendet.

Der Übersichtlichkeit halber können an dieser Stelle Nahttyp und -dicke einheitlich für alle Anschlussbleche gewählt werden.

Für umlaufende Kehlnähte ist die rechnerisch wirksame Nahtdicke festzulegen, während Stumpfnähte durchgeschweißt sein können.

Nicht durchgeschweißte Stumpfnähte werden wie Kehlnähte mit tiefem Einbrand berechnet.

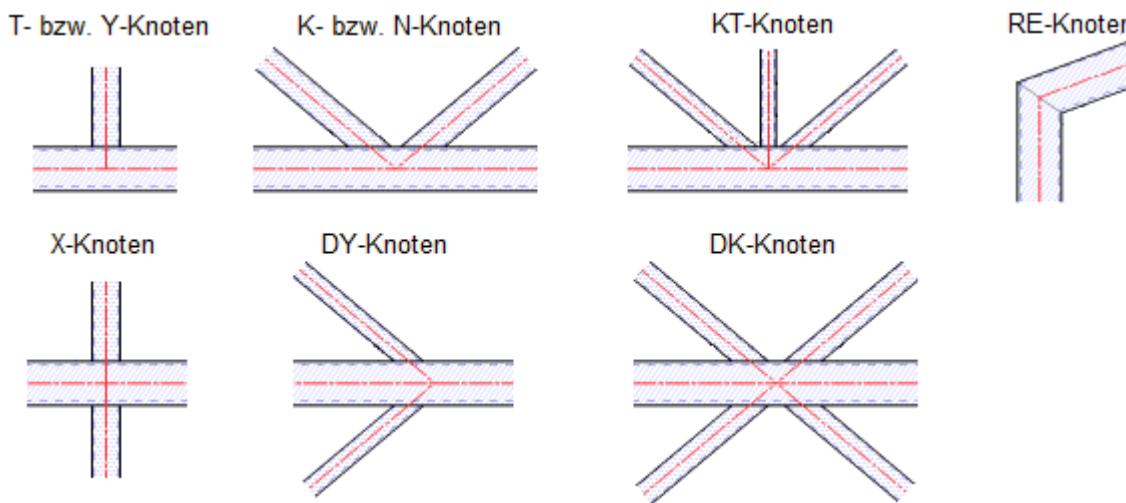
einheitliche Schweißnähte

<input type="radio"/> Kehlnaht	<input type="radio"/> Stumpfnaht	<input type="radio"/> durchgeschweißt
<input type="radio"/> nicht durchgeschweißt	<input type="text" value="5.0"/> mm	
wirksame Nahtdicke a	<input type="text"/>	

Da die Beschreibung der Schweißnahtparameter für Verbindungen nach EC3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung der **Schweißnähte** (nur einseitig) verwiesen.

Anschlusstypen

Es stehen sechs Knotenkonfigurationen zur Verfügung, die nach der Art ihrer Streben-Gurt-Verbindung bezeichnet sind.



Der **Knoten-Typ** wird aus einer Liste ausgewählt. Diese Einstellung wird bei der nachfolgenden Eingabe der geometrischen Parameter und der Schnittgrößen im **Register 2** berücksichtigt.

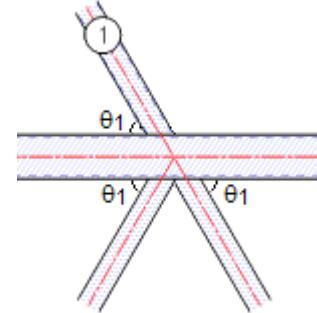
Zur visuellen Kontrolle der Eingabe wird der Anschluss am Bildschirm in der Programmoberfläche und optional im **3D-Viewer** maßstäblich dargestellt.

K, N	<input checked="" type="checkbox"/>
T, Y	<input type="checkbox"/>
X	<input type="checkbox"/>
K, N	<input type="checkbox"/>
KT	<input type="checkbox"/>
DY	<input type="checkbox"/>
DK	<input type="checkbox"/>

T-Y-Knoten: An den Gurt ist eine Strebe geschweißt.

Bildet die Strebe einen rechten Winkel mit dem Gurt ($\theta_1 = 90^\circ$), handelt es sich um einen T-Knoten, ansonsten ist es ein Y-Knoten ($30^\circ \leq \theta_1 < 90^\circ$).

X-Knoten: An den Gurt sind in einer Ebene zwei identische Streben geschweißt, deren Systemlinien auf einer Geraden liegen (Strebe 1 durchlaufend). Auch sie können geneigt sein ($30^\circ \leq \theta_1 \leq 90^\circ$).

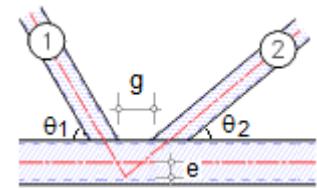


DY-Knoten: An den Gurt sind in einer Ebene zwei identische Streben geschweißt, deren Winkel zum Gurt gleich sind (Strebe 1 gespiegelt). Wenn es sich um einen rechten Winkel handelt ($\theta_1 = 90^\circ$), liegt ein X-Knoten vor.

K-N-Knoten: An den Gurt sind zwei geneigte Streben geschweißt, die in einer Ebene liegen und deren Systemlinien sich schneiden. Der Abstand der Außenkanten der Strebenprofile in Längsrichtung des Gurts wird mit g bezeichnet ($g < 0$: Überlappung, $g > 0$: Spalt).

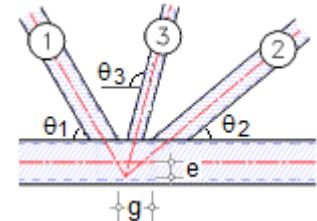
Der Schnittpunkt der Systemlinien der Streben liegt im Abstand e von der Gurtachse.

Bildet eine der Streben einen rechten Winkel mit dem Gurt, handelt es sich um einen N-Knoten ($\theta_1 = 90^\circ$ oder $\theta_2 = 90^\circ$), ansonsten ist es ein K-Knoten ($30^\circ \leq \theta_1, \theta_2 < 90^\circ$).

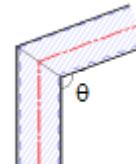


DK-Knoten: An den Gurt sind in einer Ebene vier Streben geschweißt, von denen jeweils zwei mit identischem Querschnitt auf einer Geraden liegen. Der Schnittpunkt der Systemlinien liegt auf der Systemachse des Gurts (keine Exzentrizität $e = 0$).

KT-Knoten: Zwischen die Streben eines K-Knotens wird eine dritte Strebe geschweißt, deren Systemlinie durch den Schnittpunkt der anderen beiden Strebenlinien geht. Eine Überlappung der Streben ist nicht erlaubt. Nur die Zwischenstrebe kann einen rechten Winkel zum Gurt bilden.



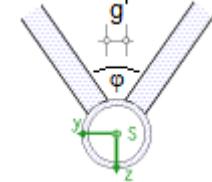
RE-Knoten: Stütze und Riegel werden im Rahmeneckknoten zusammengeschweißt und können einen Winkel θ von 15° bis 165° einschließen.



Jedem Knoten-Typ stehen individuelle Modellierungsmöglichkeiten zur Verfügung.

räumlicher Anschluss (T-Y-, X-, K-N-, KT-Knoten): Die an einem Gurt angreifenden Streben einer Ebene werden in eine zweite Ebene dupliziert.

Die Schnittlinie der beiden Ebenen entspricht der Systemlinie des Gurts. Die Ebenen schließen den Winkel $60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ ein. Der Abstand der Außenkanten der Strebenprofile in Querrichtung des Gurts wird mit g' bezeichnet. Es ist keine Überlappung zugelassen ($g' > 0$).



Bei X-Knoten können nur rechte Winkel ($\varphi = 90^\circ$) verwendet werden.

Jede Ebene wird einzeln berechnet, wobei die Tragfähigkeit um den Faktor μ abgemindert wird.

Traglastabminderung: Bei räumlichen Anschlüssen wird die Gesamttragfähigkeit der beiden Ebenen durch Abminderung der Tragfähigkeiten jeder Einzelebene um den Faktor μ ermittelt. Der Faktor kann auch für nicht räumliche Anschlüsse vorgegeben werden; er übersteuert den Wert bei einem räumlichen Anschluss.

Knotenexzentrizität vermeiden (K-N-, KT-Knoten): Das statische System eines Fachwerks sieht vor, dass sich die Stäbe in einem Punkt treffen.

Der Knotenanschluss kann derart konstruiert werden, dass die Exzentrizität $e = 0$ ist. Der Abstand zwischen den Streben g wird dann programmintern berechnet.

Andernfalls ist der Abstand g vorzugeben.

Überlappende Strebe (K-/N-Knoten): Ist der Abstand der Außenkanten der Strebenprofile negativ ($g < 0$), überlappen sich die Streben. Die überlappende Strebe ist festzulegen.

Der **Gurt-Typ** wird aus einer Liste ausgewählt. Der zum Knoten-Typ passende Gurt-Typ ist anwählbar, nicht verfügbare Typen sind rot gekennzeichnet.

Kreisrohr	<input checked="" type="checkbox"/>
Kreisrohr	<input type="checkbox"/>
Rechteckrohr	<input type="checkbox"/>
Blech	<input type="checkbox"/>
I-Profil	<input type="checkbox"/>
U-Profil	<input type="checkbox"/>

Für den gewählten Gurt-Typ wird das entsprechende Profil zur Auswahl angeboten (s.u.).

Bei RE-Knoten können Stütze und Riegel nur als Rechteckrohre mit demselben Querschnitt konstruiert werden,

Der **Streben-Typ** wird aus einer Liste ausgewählt. Die zu Knoten- und Gurt-Typ passenden Streben-Typen sind anwählbar, nicht verfügbare Typen sind rot gekennzeichnet.

Kreisrohr	<input checked="" type="checkbox"/>
Kreisrohr	<input type="checkbox"/>
Rechteckrohr	<input type="checkbox"/>
Blech	<input type="checkbox"/>
I-Profil	<input type="checkbox"/>
U-Profil	<input type="checkbox"/>

Alle Streben eines Knotens haben einen einheitlichen Typ, wobei die Querschnittsgrößen variieren können. Für den gewählten Typ wird das entsprechende Profil zur Auswahl angeboten (s.u.).

Außerdem ist für jede Strebe der Anschlusswinkel θ an den Gurt anzugeben.

Wird als Gurt-Typ ein I-Profil gewählt (T-/Y-, X-, K-/N-Knoten), kann der Lasteinleitungsbereich einer Strebe durch Stegsteifen (Blechdicke t_s) verstärkt werden. Die Steifen werden nachgewiesen.

Profile

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

Um ein Profil aus dem Angebot des **Profilmanagers** zu wählen, ist der grün unterlegte Pfeil anzuklicken.

Das externe **pcae**-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

Profilname: RR 200 x 120 x 12.5(w)

liegend angeordnet

Im Profilmanager werden nur die Profilklassen angeboten, die dem Gurt- oder Streben-Typ entsprechen.

Ist die Stahlsorte nicht einheitlich für alle Verbindungselemente, wird an dieser Stelle die Stahlsorte des Profils abgefragt (Beschreibung s.o.).

Ein Rechteckhohlprofil wird als 'stehendes' Profil (Breite kleiner als Höhe) aus dem Profilmanager importiert. Wahlweise kann das Profil **liegend angeordnet** werden.

Zur Definition eines **parametrisierten Profils** sind die Querschnittsparameter direkt festzulegen. Dazu gehören je nach Profilklassse die Profilhöhe, -breite und -dicke etc.

Hohlprofile können kalt- oder warmgefertigt sein.

Bei gewalzten Profilen (nicht Kreisrohr, Blech) werden die Ausrundungsradien r und r_2 geometrisch berücksichtigt.

Sie bezeichnen beim Rechteckrohr den Außen- r und den Innenradius r_2 , beim I-, U-Profil den Steg-Flansch-Radius r und beim U-Profil zusätzlich den Flansch-Außenumradius r_2 .

Geschweißte Profile sind mit Kehlnähten der Dicke a oder durchgeschweißten Stumpfnähten zusammengefügt.

Diese Schweißnähte werden **nicht** nachgewiesen.

Profil aus Profilmanager

parametrisiertes Stahlprofil

Rechteckhohlprofil

Profilhöhe	<input type="text" value="200.0"/>	mm
Profilbreite	<input type="text" value="120.0"/>	mm
Blechdicke	<input type="text" value="12.5"/>	mm

kaltgefertigt warmgefertigt

gewalztes Profil

Ausrundungsradius	<input type="text" value="18.8"/>	mm
	<input type="text" value="12.5"/>	mm

geschweißtes Profil

Nachweise

Das Programm 4H-EC3HK führt die folgenden Nachweise

- **Knotennachweis**
- **Schweißnahtnachweis**
- **Querschnittsnachweis**

<input checked="" type="checkbox"/> Knotennachweis	<input type="checkbox"/> NUR Gültigkeitsbereich der Tabellen überprüfen
<input type="checkbox"/> Gültigkeitsbereich der Tabellen NICHT überprüfen	<input type="checkbox"/> Gültigkeitsbereich der Tabellen zwingend einhalten
<input type="checkbox"/> CIDECT-Handbuch 3 (2009/2012)	
<input checked="" type="checkbox"/> Schweißnahtnachweis mit dem	<input type="radio"/> vereinfachten Verfahren
	<input checked="" type="radio"/> richtungsbezogenen Verfahren
<input checked="" type="checkbox"/> Querschnittsnachweise	<input type="radio"/> elastisch
	<input checked="" type="radio"/> plastisch

Der Nachweis eines geschweißten Hohlprofilknotens wird nach den Tabellen des EC 3-1-8, Kap. 7, geführt. Eine Reihe von Bedingungen und Voraussetzungen sind zu erfüllen, deren Überprüfung optional ausgeschaltet werden kann.

Das Programm kann dahingehend gesteuert werden, dass

- die Berechnung nach Überprüfung der Gültigkeitsgrenzen beendet wird
- die Gültigkeitsgrenzen nicht überprüft werden, sondern nur die Auswertung der Tragfähigkeit erfolgt
- nur bei eingehaltenen Gültigkeitsgrenzen die Tragfähigkeit ermittelt wird.
- Berechnung n. CIDECT-Handbuch für KHP- und RHP-Knoten (nicht RE-Knoten)

Im Standardfall werden sowohl die Gültigkeitsgrenzen überprüft als auch die Tragfähigkeit berechnet.

Der Nachweis der umlaufenden Schweißnähte kann optional mit dem **vereinfachten** oder dem **richtungsbezogenen Verfahren** geführt werden.

N. EC 3-1-8 sollte ein Querschnittsnachweis an der Verbindungsstelle geführt werden, der elastisch oder plastisch erfolgen kann.

Bemessungsschnittgrößen



das zweite Register beinhaltet die Masken zur Eingabe der Bemessungsschnittgrößen

Die Schnittgrößen des Knotens werden als Bemessungsgrößen bzgl. der Vorzeichenregel der Statik eingegeben, wobei das x,y,z-Koordinatensystem dem l,m,n-System der **pcae**-Tragwerksprogramme entspricht.

Es können bis zu 10.000 Schnittgrößenkombinationen eingegeben werden.

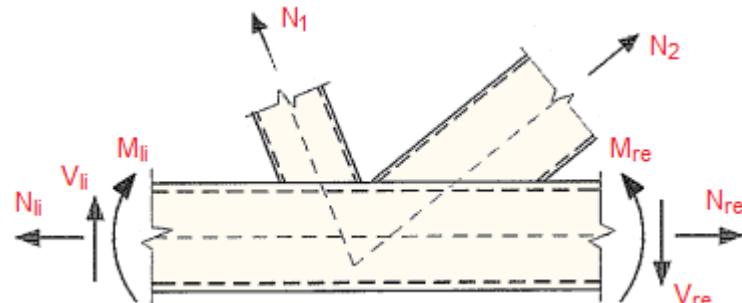
Der Hohlprofilknoten kann im Gurt Normalkraft mit Biegung erhalten, die Streben übertragen je nach Anschlussstyp nur Normalkräfte oder Normalkräfte mit Biegemoment.

Die Schnittgrößen sind als einander zugehörige Größen in die Tabelle einzutragen.

Da der Berechnung eine ebene Betrachtungsweise zugrunde liegt, werden bei räumlichen Knoten die Hauptschnittgrößen erwartet.

Die Schnittgrößen können wahlweise in folgenden Einheiten vorliegen

Kräfte / Momente in	<input checked="" type="checkbox"/> kN / kNm
	<input type="checkbox"/> kN / kNm
	<input type="checkbox"/> kN / kNm
	<input type="checkbox"/> N / Nm



	N_{li,Ed} kN	M_{li,Ed} kNm	V_{li,Ed} kN	N_{re,Ed} M _{re,Ed} V _{re,Ed} analog	N_{1,Ed} kN	N_{2,Ed} kN	Bezeichnung
1:	621,20	-27,65	-22,08	...	-35,87	99,86	
2:	469,01	-27,70	-21,84	...	-17,18	85,83	

Schnittgrößen importieren

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

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

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

Schnittgrößen aus **4H** Programm importieren



Schnittgrößen aus Text-Datei einlesen



• Import aus einem **4H**-Programm

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

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

• Import aus einer Text-Datei

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

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

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

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

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

Schnittgrößenimport beim Hohlprofilknoten

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

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

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

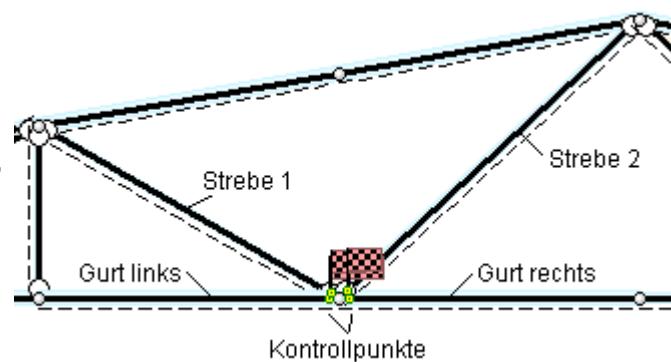
- zum einen können Tragwerks- und Detailprogramm fest miteinander verbunden sein, d.h. die Schnittgrößenübergabe erfolgt intern. Es sind i.A. keine weiteren Eingaben (z.B. Geometrie) notwendig, aber auch möglich (z.B. weitere Belastungen), die Programme bilden eine Einheit.
Dies ist z.B. bei dem **4H**-Programm *Stütze mit Fundament* der Fall.
- zum anderen können Detailprogramme Schnittgrößen von in Tragwerksprogrammen speziell festgelegten Exportpunkten über ein zwischengeschaltetes Export/Import-Tool einlesen.

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

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

Um das Anschlussprogramm sinnvoll einzusetzen zu können, sollte bereits bei der Modellbildung im Stabwerksprogramm darauf geachtet werden, dass der Knoten sich konstruiert lässt (Abmessung der Profile beachten).

In diesem Beispiel sollen die Schnittgrößen für einen K-Knoten übergeben werden.



Dazu ist je ein Kontrollpunkt am Ende oder Anfang aller Stäbe zu setzen, die an dem Knoten angreifen.

Für einen K-Knoten sind vier Punkte (*Gurt links*, *Gurt rechts*, *Strebe 1* und *Strebe 2*) festzulegen.

Zur späteren Identifizierung der Punkte (s.u.) ist es sinnvoll, eine charakteristische Bezeichnung zu wählen.

Ausführliche Informationen zum Export entnehmen Sie bitte dem DTE®-**Schnittgrößenexport**.

Nach einer Neuberechnung des Fachwerkträgers stehen die Exportschnittgrößen dem aufnehmenden 4H-EC3HK-Programm zum Import zur Verfügung.



Dazu wird im Register zur Eingabe der Bemessungsgrößen der Button für den Datenimport aus einem **pcae**-Programm betätigt.



Nun wird über den **Import**-Button das Fenster zur DTE®-**Bauteilauswahl** aufgerufen.

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

Es besteht die Möglichkeit, den Import an dieser Stelle abzubrechen, um ggf. das exportierende Programm entsprechend vorzubereiten.

Nach Bestätigen des Infofensters wird die DTE®-Bauteilauswahl aktiviert.

Es werden die einwirkenden Schnittgrößen importiert. Sie sind auf die Querschnittsachsen bezogen.

Dazu müssen im exportierenden 4H-Programm **4 Schnitte** (Gurt links und rechts vom Knoten sowie die beteiligten Streben) nach der Anschluss-Definition festgelegt sein. Sie müssen in einer Ebene liegen.

Es können maximal 10000 Lastkombinationen mit je **8 Werten** in die Tabelle übernommen werden.

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

	Export Bsp.	3D-Stabtragwerk
	FRAP 2 EC3BT	Detailnachweise
	NISI 2 EC3HK	2D-Rahmen
	Gelenk.Anschl.	Detailnachweise
	Grundkomponenten	Detailnachweise

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

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

	Punkt 1: Stab 1 bei s = 0.80 m		Material: Holz, Querschnitt: Rechteck mit b=60,0cm, d=70,0cm	
Gurt rechts		Punkt 2: Stab 11 bei s = 3.67 m		Gurt rechts Material: Stahl, Querschnitt: Profil: R 168,3 x 10,0(w)
nicht identifiziert		Punkt 3: Stab 12 bei s = 3.67 m		Gurt links Material: Stahl, Querschnitt: Profil: HE140A
nicht identifiziert		Punkt 4: Stab 13 bei s = 0.00 m		Gurt rechts Material: Stahl, Querschnitt: Profil: HE140A
nicht identifiziert		Punkt 5: Stab 24 bei s = 4.22 m		Strebe 1 Material: Stahl, Querschnitt: Profil: R 88,9 x 5,0(w)

Nun werden die Schnitte den einzelnen Abteilungen in der Schnittgrößentabelle (für einen K-Knoten: *Gurt links*, *Gurt rechts*, *Strebe 1*, *Strebe 2*) zugeordnet.

Dazu wird der entsprechende Eintrag (hier: *Punkt 2*) angewählt und der zugehörigen Zeile in der dann folgenden Tabelle zugewiesen (hier: *Gurt rechts*).

Es ist sehr hilfreich, wenn die Punkte bereits im exportierenden Programm sinnvoll gekennzeichnet wurden (s.o.).

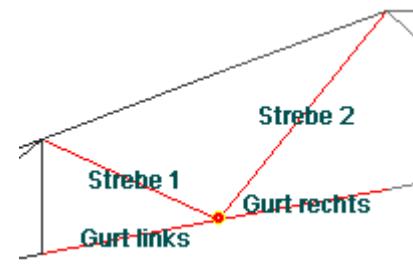
Ist eine Abteilung festgelegt, werden die in Frage kommenden möglichen Alternativen für die noch nicht festgelegte Abteilung mit einem Pfeil gekennzeichnet.



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

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

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



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

<input checked="" type="checkbox"/> Gurt links	Punkt 9: Stab 47 bei s = 3.67 m						
<input type="checkbox"/> Gurt rechts	Punkt 2: Stab 11 bei s = 3.67 m						
<input checked="" type="checkbox"/> Gurt rechts							
Material: Stahl, Querschnitt: Profil: R 168,3 x 10,0(w)							
	N kN	V η kN	V ζ kN	T kNm	M η kNm	M ζ kNm	
⊕ Lastfallergebnisse							
⊖ Nachweis 1: EC 3 Tragfähigkeit (Th. I. Ord.)							
<input checked="" type="checkbox"/>	Extremierung 1: automatisch (suv Bs)						
<input checked="" type="checkbox"/>	Lastkollektive						
<input type="checkbox"/>	Zusammenfassung Nachweis 1						
		117.04	0.00	1.32	0.00	1.28	0.00
		642.38	0.00	27.92	0.00	27.59	0.00
		117.04	0.00	1.32	0.00	1.28	0.00
		642.38	0.00	27.92	0.00	27.59	0.00
		368.35	0.00	1.35	0.00	1.18	0.00
		391.06	0.00	27.89	0.00	27.69	0.00
<input checked="" type="checkbox"/> Strebe 1	Punkt 5: Stab 24 bei s = 4.22 m						
<input checked="" type="checkbox"/> Strebe 2	Punkt 6: Stab 36 bei s = 0.00 m						

Die Kombinationen können beliebig zusammengestellt werden.

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

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

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

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

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

Gurt links						Gurt rechts					
N	V η	V ζ	T	M η	M ζ	N	V η	V ζ	T	M η	M ζ
133.50	0.00	-1.22	0.00	1.28	0.00	117.04	0.00	1.32	0.00	1.28	0.00
773.49	0.00	-22.30	0.00	27.59	0.00	642.38	0.00	27.92	0.00	27.59	0.00
437.91	0.00	-1.70	0.00	1.18	0.00	368.35	0.00	1.35	0.00	1.18	0.00
469.07	0.00	-21.81	0.00	27.69	0.00	391.06	0.00	27.89	0.00	27.69	0.00

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

Es wurden zu den ausgewählten Extremalwerten die jeweils zugehörigen Schnittgrößen ermittelt.

Sollen doppelte Zeilen gelöscht werden?

nein

ja

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

N_{li,Ed} kN	M_{li,Ed} kNm	V_{li,Ed} kN	N_{re,Ed} kN	M_{re,Ed} kNm	V_{re,Ed} kN	N_{1,Ed} kN	N_{2,Ed} kN
133.50	-1.28	-1.22	117.04	-1.28	1.32	-9.76	10.87
773.49	-27.59	-22.30	642.38	-27.59	27.92	-54.66	113.93
437.91	-1.18	-1.70	368.35	-1.18	1.35	-47.16	38.97
469.07	-27.69	-21.81	391.06	-27.69	27.89	-17.26	85.83

Bei der Übernahme erfolgen Plausibilitätschecks und ggf. Meldungen.



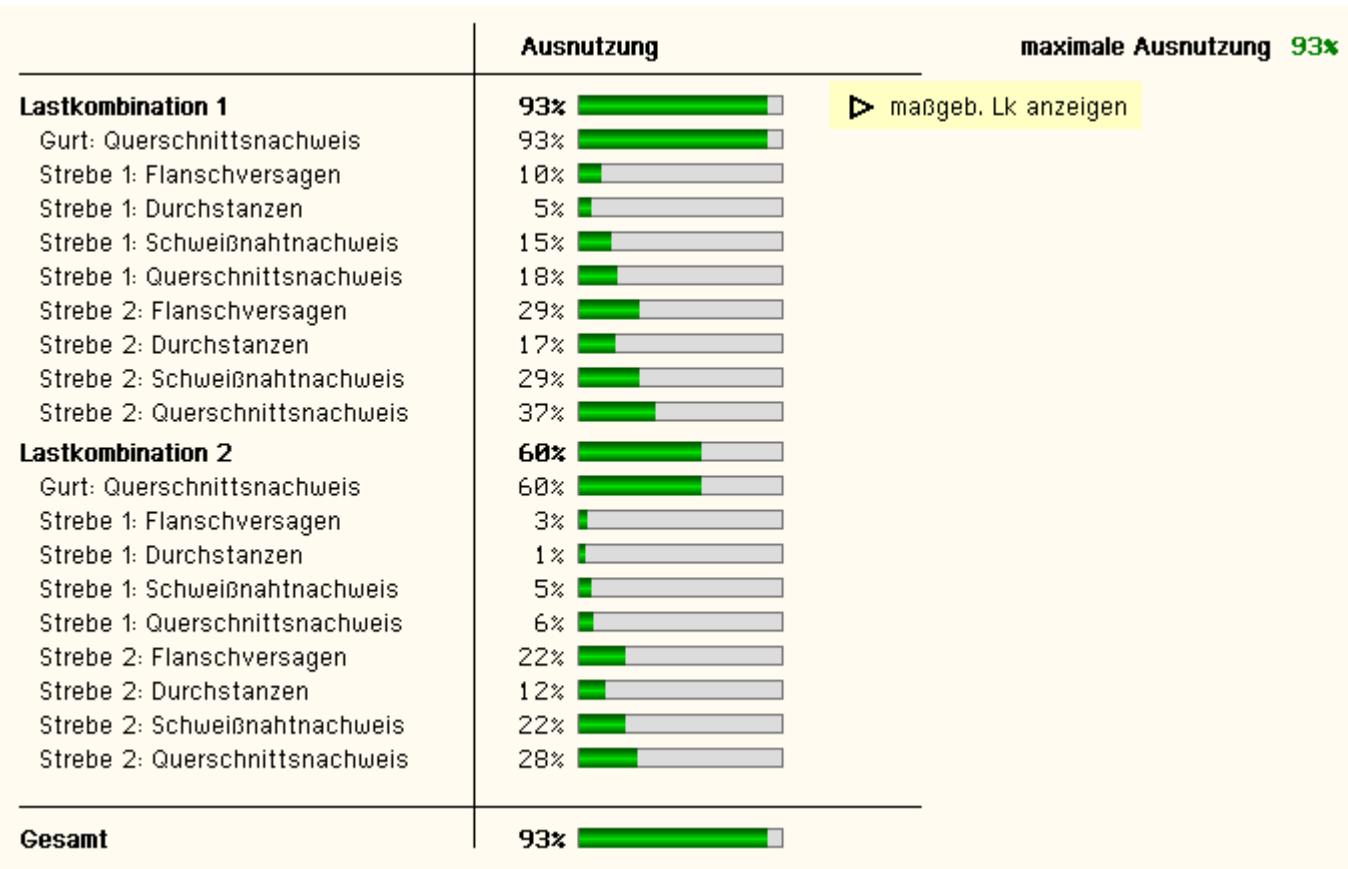
Eine Aktualisierung der importierten Schnittgrößenkombinationen, z.B. aufgrund einer Neuberechnung des exportierenden Tragwerks, erfolgt nicht!

Ergebnisübersicht



das dritte Register gibt einen sofortigen Überblick über die ermittelten Ergebnisse

Zur sofortigen Kontrolle werden die Ergebnisse in diesem Register lastfallweise übersichtlich zusammengestellt.



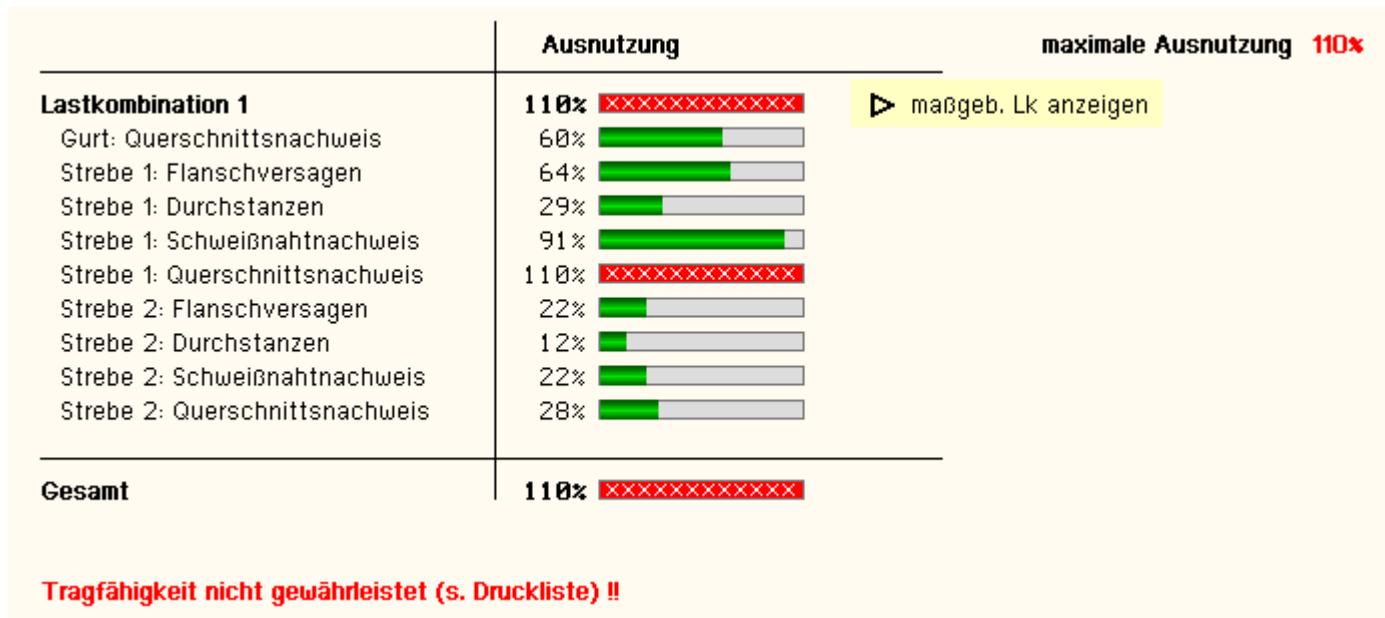
Eine Box zeigt an, ob ein Lastfall die Tragfähigkeit des Anschlusses überschritten hat (rot ausgetickt) oder wie viel Reserve noch vorhanden ist (grüner Balken).

Bei bis zu zehn Lastkombinationen werden zur Fehleranalyse oder zur Einschätzung der Tragkomponenten die Einzelberechnungsergebnisse protokolliert.

Die maximale Ausnutzung wird sowohl als 'Gesamt' unterhalb der Zusammenstellung als auch am oberen

rechten Fensterrand angezeigt.

Ebenso wird die maßgebende Lastkombination gekennzeichnet und kann über den Aktionslink direkt in der Druckliste eingesehen werden.



Eine Meldung zeigt an, wenn ein Fehler aufgetreten oder die Tragfähigkeit überschritten ist.

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

Knotennachweis

Fachwerkträger und Fachwerkstützen (z.B. Maste, Kabelbrücken oder Bühnenaufbauten) oder auch Balkengeländer werden häufig mit Hohlprofilen konstruiert, deren Gurt-Streben-Verbindungen geschweißt sind. Auch flüssigkeits- oder gasführende Rohrleitungen sind über geschweißte Knoten verbunden.

Da die Dimensionierung der Konstruktion i.A. von der Tragfähigkeit der Verbindungsknoten und nicht von der Querschnittstragfähigkeit abhängt, wird hier das Verfahren des EC 3-1-8, Kap. 7, zur Bemessung typischer geschweißter Hohlprofilknoten vorgestellt, das dem Programm 4H-EC3HK zu Grunde liegt.

Die Tragfähigkeitsstabellen beziehen sich auf eine ebene Betrachtung, bei räumlichen Knoten werden die Tragfähigkeiten ggf. reduziert.

Es stehen folgende typische Knotenverbindungen zur Verfügung, die nach der Art ihrer Streben-Gurt-Verbindung bezeichnet werden (s.a. **Register 1**). Sie sind auf eine Betrachtungsebene bezogen.

- **T- / Y-Knoten:** eine Strebe am Gurt
- **X-Knoten:** zwei gleichartige Streben am Gurt auf einer Systemlinie
- **K- / N-Knoten:** zwei Streben am Gurt, ggf. kein eindeutiger Schnittpunkt der Systemlinien (Exzentrizitätsmoment wird berücksichtigt); Streben können sich überlappen
- **KT-Knoten (Spezialknoten):** K-Knoten mit T-Knoten kombiniert (keine Überlappung erlaubt)
- **DY-Knoten (Spezialknoten):** Y-Knoten, Strebe am Gurt gespiegelt
- **DK-Knoten (Spezialknoten):** K-Knoten, Streben am Gurt gespiegelt (keine Überlappung erlaubt)
- **RE-Knoten:** Rahmeneckknoten

Spezialknoten setzen sich aus den Tragfähigkeiten der Grundknoten zusammen und werden nicht weiter differenziert.

K- / N-Knoten können mit Spalt oder überlappenden Streben ausgeführt werden. Bei K- / N-Knoten mit Überlappung wird vorausgesetzt: $\lambda_{ov,lim} \leq 80\%$. Im Programm 4H-EC3HK wird die Abscherung (s. Tab. 7.8 und 7.20) nicht überprüft. Nur die überlappende Strebe braucht nachgewiesen zu werden.

T- / Y-, X- und K- / N-Knoten können zudem als räumliche Knoten modelliert werden (s.o.). Dazu werden die Streben dupliziert und aus der Betrachtungsebene um den Winkel φ in eine andere Betrachtungsebene gedreht (bei X-Knoten und Rechteckhohlprofil (RHP)-Gurten $\varphi = 90^\circ$). Die Betrachtungsebenen werden separat nachgewiesen, wobei die Tragfähigkeiten um einen Faktor μ abgemindert werden.

Die Streben des T- / Y- und X-Knotens können entweder als Träger (Normalkraft + Biegung) oder - wie alle anderen auch - als Fachwerkstab (nur Normalkraft) bemessen werden. Es können folgende Profile verbunden werden, wobei sich auf gängige Kombinationen beschränkt wird

Bei RE-Knoten haben Stütze und Riegel den gleichen Querschnitt. Es können nur RHP-Querschnitte berechnet werden.

Kreishohlprofil (KHP)-Gurt mit

- KHP-Streben (Normalkraft + Biegung)
- RHP-Streben (Normalkraft)
- Blech-Streben (Normalkraft)
- I- / H-Profil-Streben (Normalkraft)

Rechteckhohlprofil (RHP)-Gurt mit

- RHP-Streben (Normalkraft + Biegung)
- KHP-Streben (Normalkraft)
- Blech-Streben (Normalkraft)
- I- / H-Profil-Streben (Normalkraft)

I-/H-Profil-Gurt mit

- RHP-Streben (Normalkraft + Biegung)
- KHP-Streben (Normalkraft)

Der Gurt kann durch Stegsteifen im Lasteinleitungsbereich der Streben verstärkt werden.

U-Profil-Gurt mit

- RHP-Streben (Normalkraft + Biegung)
- KHP-Streben (Normalkraft)

Die Bemessung ist in EC 3-1-8, Kap. 7, in Tabellen geregelt. Die vollständige Bemessung eines Knotens setzt die Einhaltung eines Gültigkeitsbereichs voraus, der wiederum in einer anderen Tabelle definiert ist. Im Folgenden werden die Bestimmungen kurz beschrieben, weiterführende Informationen können dem EC 3-1-8, Kap. 7, entnommen werden.

Allgemeines

Treten bei K- / N-Knoten in beiden Streben Kräfte gleichen Vorzeichens auf (N_1, N_2 Druck oder N_1, N_2 Zug), entspricht das Versagensverhalten jeder einzelnen Strebe einem Y-Knoten.

Sind die Vorzeichen unterschiedlich, sind Strebe 1 die Druckstrebe und Strebe 2 die Zugstrebe (wird programmintern angepasst).

Eine Biegetragfähigkeit wird nur für $\Theta = 90^\circ$ ermittelt.

Die Traglastausnutzung ergibt sich durch die Interaktionsbedingung

KHP-Gurt $\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \left[\frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} \right]^2 + \frac{|M_{op,i,Ed}|}{M_{op,i,Rd}} \leq 1.0$

RHP-Gurt $\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} + \frac{M_{op,i,Ed}}{M_{op,i,Rd}} \leq 1.0$

I- / H-Gurt $\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} \leq 1.0$

U-Gurt $\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} \leq 1.0 \quad \dots \text{mit} \dots$

$M_{ip,i,Rd}$ Momententrägfähigkeit des Anschlusses in der Betrachtungsebene

$M_{ip,i,Ed}$ einwirkendes Biegemoment in der Betrachtungsebene

$M_{op,i,Rd}$ Momententrägfähigkeit des Anschlusses rechtwinklig zur Betrachtungsebene

$M_{op,i,Ed}$ einwirkendes Biegemoment rechtwinklig zur Betrachtungsebene

Im Programm 4H-EC3HK wird die Momentenbeanspruchung rechtwinklig zur Betrachtungsebene nicht berücksichtigt.

Beiwerte

Die folgenden Beiwerte werden in den Tabellen verwendet, es gilt

Index 0 Gurt

Index i Strebe i

b Breite RHP, Durchmesser KHP, Flanschbreite I- / H-Profil, Steghöhe U-Profil

h Höhe RHP, Durchmesser KHP, Flanschbreite I- / H-Profil, Flanschbreite U-Profil

t Dicke RHP und KHP, Flanschdicke I- / H-Profil, Stegdicke U-Profil

$$\beta = \frac{\sum_{i>0} 0.5 \cdot (b_i + h_i)}{n_i \cdot b_0} \quad \dots \text{und} \dots \gamma = b_0 / (2 \cdot t_0) \quad \dots \text{und} \dots \eta = h_i / b_0 \quad \dots \text{mit} \dots$$

n_i Anzahl der Streben am Gurt

$$n = (\sigma_{0,Ed} / f_{y0}) / \gamma_{M5} \quad \dots \text{mit} \dots \sigma_{0,Ed} = N_{0,Ed} / A_0 + M_{0,Ed} / W_{el,0}$$

für $n > 0$ (Druck) ... $k_n = 1.3 - 0.4 \cdot n / \beta$... jedoch ... $k_p \leq 1.0$

für $n \leq 0$ (Zug) $k_n = 1.0$

für $n > 0$ (Druck) ... $k_m = 1.3 \cdot (1 - n)$ jedoch ... $k_m \leq 1.0$

für $n \leq 0$ (Zug) $k_m = 1.0$

$$n_p = (\sigma_{p,Ed} / f_{y0}) / \gamma_{M5} \quad \dots \text{mit} \dots \sigma_{p,Ed} = N_{p,Ed} / A_0 + M_{0,Ed} / W_{el,0} \quad \dots \text{und} \dots N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - \sum_{i>0} N_{i,Ed} \cdot \cos \Theta_i$$

für $n_p > 0$ (Druck) ... $k_p = 1 - 0.3 \cdot n_p \cdot (1 + n_p)$... jedoch ... $k_p \leq 1.0$

für $n_p \leq 0$ (Zug) $k_p = 1.0$

$$k_g = \gamma^{0.2} \cdot \left(1 + \frac{0.024 \cdot \gamma^{1.2}}{1 + \exp(0.5 \cdot g / t_0 - 1.33)} \right) \quad \dots \text{s. DIN EN 1993-1-8 Bild 7.6}$$

$$\lambda_{ov} = (q/p) \cdot 100 \%$$

$$b_{\text{eff}} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0}{f_{yi} \cdot t_1} \cdot b_1 \leq b_1$$

$$b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot b_1 \leq b_1$$

$$b_{e,ov} = \frac{10}{b_j/t_j} \cdot \frac{f_{yj} \cdot t_j}{f_{yi} \cdot t_i} \cdot b_i \leq b_i$$

$$p_{\text{eff}} = t_w + 2 \cdot r + 7 \cdot t_f \cdot f_{y0}/f_{yi}$$

bei T-, Y-, und X-Anschlüssen sowie bei K- und N-Anschlüssen mit Spalt $p_{\text{eff}} \leq b_i + h_i - 2 \cdot t_i$

bei K- und N-Anschlüssen mit Überlappung $p_{\text{eff}} \leq b_i$

$$b_w = h_i / \sin \theta_i + 5 \cdot (t_f + r) \leq 2 \cdot t_i + 10 \cdot (t_f + r)$$

Kreishohlprofil (KHP)-Gurt

Gültigkeitsbereich Tab. 7.1

Durchmesserverhältnis		$0.2 \leq d_i/t_0 \leq 1.0$
Gurtstäbe	Zug	$10 \leq d_0/t_0 \leq 50$ (allgemein) ... und ... $10 \leq d_0/t_0 \leq 40$ für X-Anschlüsse
	Druck	Klasse 1 oder 2 ... und ... $10 \leq d_0/t_0 \leq 50$ (allgemein) ... und ... $10 \leq d_0/t_0 \leq 40$ für X-Anschlüsse
Streben	Zug	$d_i/t_i \leq 50$
	Druck	Klasse 1 oder 2
Überlappung		$25\% \leq \lambda_{0V} \leq \lambda_{0V,lim}^b)$
Spalt		$g \geq t_1 + t_2$
<p>b) $\lambda_{0V,lim} = 60\%$, falls die verdeckte Naht nicht geschweißt ist, und 80%, wenn die verdeckte Naht geschweißt ist. Falls die Überlappung $\lambda_{0V,lim}$ überschreitet oder wenn die Streben rechteckige Profile mit $h_i < b_i$ und/oder $h_j < b_j$ sind, muss die Verbindung zwischen den Streben und der Oberfläche des Gurtstabs auf Abscheren überprüft werden.</p>		

Tragfähigkeit Tab. 7.2 und 7.5 von KHP-Streben

Bei Einhaltung des Gültigkeitsbereichs (Tab. 7.1) sind nur die Versagensmechanismen *Flanschversagen des Gurtstabs* und *Durchstanzen* zu untersuchen.

Flanschversagen des Gurtstabs

T- u. Y-Anschlüsse

$$N_{1,Rd} = \frac{\gamma^{0.2} \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \Theta_1} \cdot (2.8 + 14.2 \cdot \beta^2) / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,1,Rd} = 4.85 \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot d_1}{\sin \Theta_1} \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \beta \cdot k_p / \gamma_{M5}$$

$$M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot d_1}{\sin \Theta_1} \cdot \frac{2.7}{1 - 0.81 \cdot \beta} \cdot k_p / \gamma_{M5}$$

X-Anschlüsse

$$N_{1,Rd} = \frac{k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \Theta_1} \cdot \frac{5.2}{1 - 0.81 \cdot \beta} / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,1,Rd} = 4.85 \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot d_1}{\sin \Theta_1} \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \beta \cdot k_p / \gamma_{M5}$$

$$M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot d_1}{\sin \Theta_1} \cdot \frac{2.7}{1 - 0.81 \cdot \beta} \cdot k_p / \gamma_{M5}$$

K- u. N-Anschlüsse

$$N_{1,Rd} = \frac{k_g \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \Theta_1} \cdot (1.8 + 10.2 \cdot \beta) / \gamma_{M5}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\sin \Theta_1}{\sin \Theta_2} \cdot N_{1,Rd}$$

Durchstanzen nur, wenn $d_i \leq d_0 - 2 \cdot t_0$

alle Anschlüsse

$$N_{i,Rd} = (f_{y0} / \sqrt{3}) \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_i \cdot \frac{1 + \sin \Theta_i}{2 \cdot \sin^2 \Theta_i} / \gamma_{M5}$$

T-, X- u. Y-Anschlüsse

$$M_{ip,1,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0 \cdot d_1^2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1 + 3 \cdot \sin \Theta_1}{4 \cdot \sin^2 \Theta_1} / \gamma_{M5} \quad \dots \text{und} \dots M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0 \cdot d_1^2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{3 + \sin \Theta_1}{4 \cdot \sin^2 \Theta_1} / \gamma_{M5}$$

Tragfähigkeit Tab. 7.3 von Blech-Streben und Tab. 7.4 von I-/H- oder RHP-Streben (nur $\Theta_1 = 90^\circ$)

Bei Einhaltung des Gültigkeitsbereichs (Tab. 7.1) sind nur die Versagensmechanismen *Flanschversagen des Gurtstabs* und *Durchstanzen* zu untersuchen.

Zusätzlich zu den Grenzen in Tab. 7.1 gelten $\beta \geq 0.4$ und $\eta \leq 4$.

Für Blech-Streben quer zur Gurtachse gilt**Flanschversagen des Gurtstabs****T-Anschlüsse**

$$N_{1,Rd} = k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot (4 + 20 \cdot \beta^2) / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,1,Rd} = 0$$

$$M_{op,1,Rd} = 0.5 \cdot b_1 \cdot N_{1,Rd}$$

X-Anschlüsse

$$N_{1,Rd} = \frac{5 \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{1 - 0.81 \cdot \beta} / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,1,Rd} = 0$$

$$M_{op,1,Rd} = 0.5 \cdot b_1 \cdot N_{1,Rd}$$

Durchstanzen

$$\sigma_{\max} \cdot t_1 = (N_{Ed,1}/A_1 + M_{Ed,1}/W_{el,1}) \cdot t_1 \leq 2 \cdot t_0 \cdot (f_{y0}/\sqrt{3}) / \gamma_{M5}$$

Für Blech-Streben längs der Gurtachse gilt

Flanschversagen des Gurtstabs**T-Anschlüsse**

$$N_{1,Rd} = 5 \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot (1 + 0.25 \cdot \eta) / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,1,Rd} = h_1 \cdot N_{1,Rd}$$

$$M_{op,1,Rd} = 0$$

X-Anschlüsse

$$N_{1,Rd} = 5 \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot (1 + 0.25 \cdot \eta) / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,1,Rd} = h_1 \cdot N_{1,Rd}$$

$$M_{op,1,Rd} = 0$$

Durchstanzen

$$\sigma_{\max} \cdot t_1 = (N_{Ed,1}/A_1 + M_{Ed,1}/W_{el,1}) \cdot t_1 \leq 2 \cdot t_0 \cdot (f_{y0}/\sqrt{3}) / \gamma_{M5}$$

Für I-/H-Streben gilt

Flanschversagen des Gurtstabs**T-Anschlüsse**

$$N_{1,Rd} = k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot (4 + 20 \cdot \beta^2) \cdot (1 + 0.25 \cdot \eta) / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,1,Rd} = h_1 \cdot N_{1,Rd}$$

$$M_{op,1,Rd} = 0.5 \cdot b_1 \cdot N_{1,Rd}$$

X-Anschlüsse

$$N_{1,Rd} = \frac{5 \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{1 - 0.81 \cdot \beta} \cdot (1 + 0.25 \cdot \eta) / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,1,Rd} = h_1 \cdot N_{1,Rd}$$

$$M_{op,1,Rd} = 0.5 \cdot b_1 \cdot N_{1,Rd}$$

Durchstanzen

I- oder H-Profile mit $\eta > 2$

$$\sigma_{\max} \cdot t_1 = (N_{Ed,1}/A_1 + M_{Ed,1}/W_{el,1}) \cdot t_1 \leq t_0 \cdot (f_{y0}/\sqrt{3}) / \gamma_{M5}$$

sonst

$$\sigma_{\max} \cdot t_1 = (N_{Ed,1}/A_1 + M_{Ed,1}/W_{el,1}) \cdot t_1 \leq 2 \cdot t_0 \cdot (f_{y0}/\sqrt{3}) / \gamma_{M5}$$

Für RHP-Streben gilt

Flanschversagen des Gurtstabs

T-Anschlüsse

$$N_{1,Rd} = k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot (4 + 20 \cdot \beta^2) \cdot (1 + 0.25 \cdot \eta) / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,1,Rd} = h_1 \cdot N_{1,Rd}$$

$$M_{op,1,Rd} = 0.5 \cdot b_1 \cdot N_{1,Rd}$$

X-Anschlüsse

$$N_{1,Rd} = \frac{5 \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{1 - 0.81 \cdot \beta} \cdot (1 + 0.25 \cdot \eta) / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,1,Rd} = h_1 \cdot N_{1,Rd}$$

$$M_{op,1,Rd} = 0.5 \cdot b_1 \cdot N_{1,Rd}$$

Durchstanzen

$$\sigma_{max} \cdot t_1 = (N_{Ed,1}/A_1 + M_{Ed,1}/W_{el,1}) \cdot t_1 \leq 2 \cdot t_0 \cdot (f_{y0}/\sqrt{3}) / \gamma_{M5}$$

Bemessungskriterien Tab. 7.6 für spezielle Anschlüsse**DY-Anschluss**

$$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd} \dots \text{mit ... } N_{1,Rd} \text{ für einen X-A. n. Tab. 7.2}$$

DK-Anschluss

$$N_{1,Ed} \text{ und } N_{2,Ed} \text{ Druck oder Zug}$$

$$N_{1,Ed} \cdot \sin \Theta_1 + N_{2,Ed} \cdot \sin \Theta_2 \leq N_{x,Rd} \cdot \sin \Theta_x \dots \text{mit ...}$$

$$N_{x,Rd} \text{ für einen X-A. n. Tab. 7.2, wobei } N_{x,Rd} \cdot \sin \Theta_x = \max \{ |N_{1,Rd} \cdot \sin \Theta_1|, |N_{2,Rd} \cdot \sin \Theta_2| \}$$

$$N_{1,Ed} \text{ Druck und } N_{2,Ed} \text{ Zug}$$

$$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd} \dots \text{mit ... } N_{i,Rd} \text{ für einen K-A. n. Tab. 7.2, vorausgesetzt, dass für den}$$

Gurtstab im Schnittpunkt von Streben und Gurt bei An schlüssen mit Spalt gilt

$$\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1$$

KT-Anschluss

$$N_{3,Ed} \text{ Druck}$$

$$N_{1,Ed} \cdot \sin \Theta_1 + N_{3,Ed} \cdot \sin \Theta_3 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \Theta_1 \dots \text{und ...}$$

$$N_{2,Ed} \cdot \sin \Theta_2 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \Theta_1$$

$$N_{3,Ed} \text{ Zug}$$

$$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd} \dots \text{und ...}$$

$$N_{2,Ed} \cdot \sin \Theta_2 + N_{3,Ed} \cdot \sin \Theta_3 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \Theta_1 \dots \text{mit ... } N_{1,Rd} \text{ für einen K-A. n. Tab. 7.2}$$

Abminderungsbeiwerte für räumliche Anschlüsse Tab. 7.7

T-Anschlüsse $60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \dots$ und ... $\Theta_1 = 90^\circ$
 $\mu = 1.0$

X-Anschlüsse $\varphi = 90^\circ \dots$ und ... $\Theta_1 = 90^\circ$
 $\mu = 1 + 0.33 \cdot N_{2,Ed} / N_{1,Ed}$

Die Vorzeichen von $N_{1,Ed}$ und $N_{2,Ed}$ sind zu berücksichtigen, wobei $|N_{2,Ed}| \leq |N_{1,Ed}|$

K-Anschlüsse $60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$
 $\mu = 0.9$

vorausgesetzt, dass für den Gurtstab im Schnittpunkt von Streben und Gurt bei An schlüssen mit Spalt gilt

$$\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1$$

Rechteckhohlfprofil (RHP)-Gurt

Gültigkeitsbereich Tab. 7.8

Anschluss Typ	Anschlussparameter (i = 1 oder 2, j = überlappte Strebe)				
	b_i/b_0 oder d_i/b_0	b_i/t_i und $(h_i/t_i$ oder $d_i/t_i)$		h_0/b_0 und h_i/b_j	b_0/t_0 und h_0/t_0
		Druck	Zug		
T, Y oder X	$b_i/b_0 \geq 0.25$	$b_i/t_i \leq 35$ und $h_i/t_i \leq 35$			≤ 35 und Klasse 1 oder 2
K-Spalt N-Spalt	$b_i/b_0 \geq 0.35$ und $\geq 0.1 + 0.01 \cdot b_0/t_0$	$h_i/t_i \leq 35$ und Klasse 1 oder 2	$b_i/t_i \leq 35$ und $h_i/t_i \leq 35$	≥ 0.5 jedoch ≤ 2.0	$g/b_0 \geq 0.5$ jedoch $\leq 1.5 \cdot (1 - \beta)$ ^{a)} ... und ... $g \geq t_1 + t_2$
K-Überlappung N-Überlappung	$b_i/b_0 \geq 0.25$	Klasse 1		Klasse 1 oder 2	$25\% \leq \lambda_{0V} \leq \lambda_{0V,lim}$ ^{b)} $b_i/b_j \geq 0.75$
KHP-Strebe	$d_i/b_0 \geq 0.4$ jedoch ≤ 0.8	Klasse 1	$d_i/t_i \leq 50$	wie oben, jedoch mit d_i anstatt b_i und d_j anstatt b_j	

^{a)} Falls $g/b_0 > 1.5 \cdot (1 - \beta)$ und $g \geq t_1 + t_2$ ist der Anschluss wie zwei getrennte T- oder Y-Anschlüsse zu behandeln.
^{b)} $\lambda_{0V,lim} = 60\%$, falls die verdeckte Naht nicht geschweißt ist, und 80% , wenn die verdeckte Naht geschweißt ist.
 Falls die Überlappung $\lambda_{0V,lim}$ überschreitet oder wenn die Streben rechteckige Profile mit $h_i < b_i$ und/oder $h_j < b_j$ sind, muss die Verbindung zwischen den Streben und der Oberfläche des Gurtstabs auf Abscheren überprüft werden.

Liegen quadratische RHP- oder KHP-Streben vor und werden die zusätzlichen Bedingungen der Tab. 7.9 erfüllt, dürfen die Tragfähigkeiten mit Tab. 7.10 bestimmt werden.

Querschnitt der Strebe	Anschluss Typ	Anschlussparameter	
Quadratisches Hohlfprofil	T, Y oder X	$b_i/b_0 \leq 0.85$	$b_0/t_0 \geq 10$
	K-Spalt oder N-Spalt	$0.6 \leq (b_1 + b_2) / (2 \cdot b_1) \leq 1.3$	$b_0/t_0 \geq 15$
Kreishohlfprofil	T, Y oder X		$b_0/t_0 \geq 10$
	K-Spalt oder N-Spalt	$0.6 \leq (d_1 + d_2) / (2 \cdot d_1) \leq 1.3$	$b_0/t_0 \geq 15$

Tragfähigkeit Tab. 7.10 und 7.14 von KHP- oder quadratischen RHP-Streben

Bei Einhaltung des Gültigkeitsbereichs (Tab. 7.8 u. 7.9) sind die Versagensmechanismen *Flanschversagen des Gurtstabs* und *Versagen der Strebe* zu untersuchen.

Flanschversagen des Gurtstabs

T-, X- u. Y-Anschlüsse $\beta \leq 0.85$

$$N_{1,Rd} = \frac{k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{(1-\beta) \cdot \sin \Theta_1} \cdot \left(\frac{2 \cdot \beta}{\sin \Theta_1} + 4 \cdot \sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,1,Rd} = k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot h_1 \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot \eta} + \frac{2}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{\eta}{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$$

$$M_{op,1,Rd} = k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \left(\frac{h_1 \cdot (1+\beta)}{2 \cdot (1-\beta)} + \sqrt{\frac{2 \cdot b_0 \cdot b_1 \cdot (1+\beta)}{1-\beta}} \right) / \gamma_{M5}$$

K- u. N-Anschlüsse mit Spalt $\beta \leq 1.0$

$$N_{i,Rd} = \frac{8.9 \cdot \gamma^{0.5} \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \Theta_i} \cdot \beta / \gamma_{M5}$$

Versagen der Strebe

K- u. N-Anschlüsse mit Überlappung

$$N_{i,Rd} = f_{yi} \cdot t_i \cdot (b_{eff} + b_{e,ov} + 2 \cdot h_i \cdot \lambda_{ov} / 50 - 4 \cdot t_i) / \gamma_{M5} \quad 25 \% \leq \lambda_{ov} < 50 \%$$

$$N_{i,Rd} = f_{yi} \cdot t_i \cdot (b_{eff} + b_{e,ov} + 2 \cdot h_i - 4 \cdot t_i) / \gamma_{M5} \quad 50 \% \leq \lambda_{ov} < 80 \%$$

$$N_{i,Rd} = f_{yi} \cdot t_i \cdot (b_i + b_{e,ov} + 2 \cdot h_i - 4 \cdot t_i) / \gamma_{M5} \quad \lambda_{ov} \geq 80 \%$$

alle Anschlüsse Bei KHP-Streben sind die obigen Grenzwerte mit $\pi/4$ zu multiplizieren.

Tragfähigkeit Tabelle 7.11, 7.12 und 7.14 von KHP- oder RHP-Streben

Bei Einhaltung des Gültigkeitsbereichs (Tab. 7.8) sind die Versagensmechanismen *Flanschversagen des Gurtstabs*, *Seitenwandversagen (Schubversagen) des Gurtstabs*, *Versagen der Strebe* und *Durchstanzen* zu untersuchen.

Flanschversagen des Gurtstabs

T-, X- u. Y-Anschlüsse

$$N_{1,Rd} = \frac{k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{(1-\beta) \cdot \sin \Theta_1} \cdot \left(\frac{2 \cdot \eta}{\sin \Theta_1} + 4 \cdot \sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{M5} \quad \beta \leq 0.85$$

$$M_{ip,1,Rd} = k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot h_1 \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot \eta} + \frac{2}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{\eta}{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$$

$$M_{op,1,Rd} = k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \left(\frac{h_1 \cdot (1+\beta)}{2 \cdot (1-\beta)} + \sqrt{\frac{2 \cdot b_0 \cdot b_1 \cdot (1+\beta)}{1-\beta}} \right) / \gamma_{M5}$$

K- u. N-Anschlüsse mit Spalt

$$N_{i,Rd} = \frac{8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin \Theta_i} \cdot \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} \right) \cdot \beta / \gamma_{M5} \quad \beta \leq 1.0$$

Seitenwandversagen (Schubversagen) des Gurtstabs

T-, X- u. Y-Anschlüsse

$$N_{1,Rd} = \frac{k_n \cdot f_b \cdot t_0}{\sin \Theta_1} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_1}{\sin \Theta_1} + 10 \cdot t_0 \right) / \gamma_{M5} \quad \dots \beta = 1.0$$

für Zug $f_b = f_{y0}$ für Druck $f_b = \chi \cdot f_{y0}$ T- und Y-Anschlüsse $f_b = 0.8 \cdot \chi \cdot f_{y0} \cdot \sin \Theta_1$... X-Anschlüsse χ Abminderungsbeiwert n. maßgebender Knickkurve für Biegeknicken n. EN 1993-1-1 und einem normalisierten Schlankheitgrad $\bar{\lambda}$

$$\bar{\lambda} = 3.46 \cdot \frac{(h_0/t_0 - 2) \cdot \sqrt{1/\sin \Theta_1}}{\pi \sqrt{E/f_{y0}}}$$

Bei X-An schlüssen mit $\cos \Theta_1 > h_1/h_0$ ist das Minimum von diesem Wert und der Schubtragfähigkeit der Gurtstabseitenwände für K- und N-Anschlüsse mit Spalt anzusetzen.Bei $0.85 \leq \beta \leq 1.0$ wird zwischen den Werten für Flanschversagen des Gurtstabs mit $\beta = 0.85$ und für Seitenwandversagen des Gurtstabs (Beulen der Seitenwand oder Schubversagen) mit $\beta = 1.0$ linear interpoliert.

$$M_{ip,1,Rd} = 0.5 \cdot f_{yk} \cdot t_0 \cdot (h_1 + 5 \cdot t_0)^2 / \gamma_{M5} \quad \dots 0.85 \leq \beta \leq 1.0 \dots \text{mit} \dots$$

 $f_{yk} = f_{y0}$ für T-Anschlüsse ... und ... $f_{yk} = 0.8 \cdot f_{y0}$ für X-Anschlüsse

$$M_{op,1,Rd} = f_{yk} \cdot t_0 \cdot (b_0 - t_0) \cdot (h_1 + 5 \cdot t_0) / \gamma_{M5} \quad \dots 0.85 \leq \beta \leq 1.0 \dots \text{mit} \dots$$

 $f_{yk} = f_{y0}$ für T-Anschlüsse ... und ... $f_{yk} = 0.8 \cdot f_{y0}$ für X-Anschlüsse**K- u. N-Anschlüsse mit Spalt**

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin \Theta_i} / \gamma_{M5} \quad \dots \text{und} \dots N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) \cdot f_{y0} + A_v \cdot f_{y0} \cdot \sqrt{1 - (V_{Ed}/V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5}$$

$$A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0$$

für RHP-Strebe $\alpha = \sqrt{1/(1 + (4 \cdot g^2)/(3 \cdot t_0^2))}$ für KHP-Strebe $\alpha = 0$ **Versagen der Strebe****T-, X- u. Y-Anschlüsse**

$$N_{1,Rd} = f_{yi} \cdot t_i \cdot (2 \cdot h_i - 4 \cdot t_i + 2 \cdot b_{eff}) / \gamma_{M5} \quad \dots \beta \geq 0.85$$

$$M_{ip,1,Rd} = f_{yi} \cdot (W_{pl,1} - (1 - b_{eff}/b_1) \cdot b_1 \cdot (h_i - t_i) \cdot t_i) / \gamma_{M5} \quad \dots 0.85 \leq \beta \leq 1.0$$

$$M_{op,1,Rd} = f_{yi} \cdot (W_{pl,1} - 0.5 \cdot (1 - b_{eff}/b_1)^2 \cdot b_1^2 \cdot t_i) / \gamma_{M5}$$

K- u. N-Anschlüsse mit Spalt

$$N_{i,Rd} = f_{yi} \cdot t_i \cdot (2 \cdot h_i - 4 \cdot t_i + b_i + b_{e,p}) / \gamma_{M5}$$

K- u. N-Anschlüsse mit Überlappung

$$N_{i,Rd} = f_{yi} \cdot t_i \cdot (b_{eff} + b_{e,ov} + 2 \cdot h_i \cdot \lambda_{ov} / 50 - 4 \cdot t_i) / \gamma_{M5} \quad \dots 25 \% \leq \lambda_{ov} \leq 50 \%$$

$$N_{i,Rd} = f_{yi} \cdot t_i \cdot (b_{eff} + b_{e,ov} + 2 \cdot h_i - 4 \cdot t_i) / \gamma_{M5} \quad \dots 50 \% \leq \lambda_{ov} \leq 80 \%$$

$$N_{i,Rd} = f_{yi} \cdot t_i \cdot (b_i + b_{e,ov} + 2 \cdot h_i - 4 \cdot t_i) / \gamma_{M5} \quad \dots \lambda_{ov} \geq 80 \%$$

Durchstanzen

T-, X- u. Y-Anschlüsse

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin \Theta_1} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_1}{\sin \Theta_1} + 2 \cdot b_{e,p} \right) / \gamma_{M5} \quad \dots \quad 0.85 \leq \beta \leq (1 - 1/\gamma)$$

K- u. N-Anschlüsse mit Spalt

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin \Theta_i} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_i}{\sin \Theta_i} + b_i + b_{e,p} \right) / \gamma_{M5} \quad \dots \quad \beta \leq (1 - 1/\gamma)$$

alle Anschlüsse Bei KHP-Streben sind die obigen Grenzwerte mit $\pi/4$ zu multiplizieren.

Tragfähigkeit Tab. 7.13 von Blech- oder I-/H-Streben

Bei Einhaltung des Gültigkeitsbereichs (Tab. 7.8) sind die Versagensmechanismen *Flanschversagen des Gurtstabs*, *Seitenwandversagen* und *Durchstanzen* zu untersuchen.

Zusätzlich zu den Grenzen in Tab. 7.8 gilt $0.5 \leq \beta \leq 1.0$ (nicht Längsblech) und $b_0 / t_0 \leq 30$.

Flanschversagen des Gurtstabs**Blech quer**

$$N_{1,Rd} = k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \frac{2 + 2.8 \cdot \beta}{\sqrt{1 - 0.9 \cdot \beta}} / \gamma_{M5} \quad \dots \quad \beta \leq 0.85$$

Blech längs

$$N_{1,Rd} = \frac{k_m \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\gamma_{M5}} \cdot (2 \cdot h_1 / b_0 + 4 \cdot \sqrt{1 - t_1 / b_0}) \quad \dots \quad \beta \leq 0.2$$

Seitenwandversagen**Blech quer**

$$N_{1,Rd} = k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0 \cdot (2 \cdot t_1 + 10 \cdot t_0) / \gamma_{M5} \quad \dots \quad b_1 \geq b_0 - 2 \cdot t_0$$

Durchstanzen**Blech quer**

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3}} \cdot (2 \cdot t_1 + 2 \cdot b_{e,p}) / \gamma_{M5} \quad \dots \quad b_1 \leq b_0 - 2 \cdot t_0$$

Doppel-T-Profil

Falls $\eta \geq 2 \cdot \sqrt{1 - \beta}$ kann bei I- oder H-Profilen $N_{1,Rd}$ auf der sicheren Seite liegend mit Hilfe der Formeln für zwei Querbleche (s.o.) bestimmt werden, die die gleichen Abmessungen wie die Flansche der I- oder H-Profile haben.

Falls $\eta < 2 \cdot \sqrt{1 - \beta}$ sollte $N_{1,Rd}$ zwischen den Werten für ein Querblech und für zwei Querbleche interpoliert werden.

$$M_{ip,1,Rd} = N_{1,Rd} \cdot (h_1 - t_1) \quad \dots \text{mit } N_{1,Rd} \text{ für einen Flansch}$$

Bemessungskriterien Tab. 7.15 für spezielle Anschlüsse

DY-Anschluss

$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$... mit ... $N_{1,Rd}$ für einen X-A. n. Tab. 7.11

DK-Anschluss

$N_{1,Ed}$ und $N_{2,Ed}$ Druck oder Zug

$N_{1,Ed} \cdot \sin \Theta_1 + N_{2,Ed} \cdot \sin \Theta_2 \leq N_{x,Rd} \cdot \sin \Theta_x$... mit ...

$N_{x,Rd}$ für einen X-A. n. Tab. 7.11 ... und ...

$N_{x,Rd} \cdot \sin \Theta_x$ ist der größere der Werte $|N_{1,Rd} \cdot \sin \Theta_1|$... oder ... $|N_{2,Rd} \cdot \sin \Theta_2|$

$N_{1,Ed}$ Druck und $N_{2,Ed}$ Zug

$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$... mit ... $N_{i,Rd}$ für einen K-A. n. Tab. 7.12, vorausgesetzt, dass für

den Gurtstab im Schnittpunkt von Streben und Gurt bei Anschlüssen mit Spalt gilt

$$\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1$$

KT-Anschluss

$N_{3,Ed}$ Druck

$N_{1,Ed} \cdot \sin \Theta_1 + N_{3,Ed} \cdot \sin \Theta_3 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \Theta_1$... und ...

$N_{2,Ed} \cdot \sin \Theta_2 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \Theta_1$

$N_{3,Ed}$ Zug

$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$

$N_{2,Ed} + N_{3,Ed} \cdot \sin \Theta_3 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \Theta_1$

... mit ... $N_{1,Rd} = f_{yi} \cdot t_i \cdot (2 \cdot h_i - 4 \cdot t_i + b_i + b_{e,p}) / \gamma_{M5}$

Bemessungskriterien Tab. 7.16 für geschweißte Rahmeneckanschlüsse mit RHP-Bauteilen**unversteift**

Der Querschnitt sollte für reine Biegung in Klasse eingestuft sein, s. EN 1993-1-1.

$N_{Ed} \leq 0.2 \cdot N_{pl,Rd}$... und ... $N_{Ed} / N_{pl,Rd} + M_{Ed} / M_{pl,Rd} \leq \kappa$

für $\Theta \leq 90^\circ$ $\kappa = 3 \cdot \sqrt{b_0/h_0} / (b_0/t_0)^{0.8} + 1 / (1 + 2 \cdot b_0/h_0)$

für $90^\circ < \Theta \leq 180^\circ$ $\kappa = 1 - (\sqrt{2} \cdot \cos(\Theta/2)) \cdot (1 - \kappa_{90})$... mit ... κ_{90} Wert κ für $\Theta \leq 90^\circ$

versteift

$t_p \geq 1.5 \cdot t$... und ... $\geq 10 \text{ mm}$... und ... $N_{Ed} / N_{pl,Rd} + M_{Ed} / M_{pl,Rd} \leq 1.0$

Tragfähigkeit Tab. 7.17 und 7.18 von verstärkten Anschlüssen von RHP- oder KHP-Streben

Bei Einhaltung des Gültigkeitsbereichs (Tab. 7.8) sind die Versagensmechanismen *Flanschversagen des Gurtstabs*, *Strebenversagen*, *Seitenwandversagen (Schubversagen)* und *Durchstanzen* zu untersuchen.

Die Verstärkung durch eine Gurtlamelle wirkt sich auf die Versagensmechanismen *Flanschversagen des Gurtstabs*, *Strebenversagen* und *Durchstanzen* aus.

Die Verstärkung durch Seitenwandlamellen wirkt sich auf den Versagensmechanismus *Seitenwandversagen (Schubversagen)* aus.

Flanschversagen des Gurtstabs - Versagen der Strebe - Durchstanzen

verstärkte (T- u. Y-Anschlüsse, X-A.)N₁ Zug $\beta \leq 0.85$

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{yp} \cdot t_p^2}{\beta_p \cdot \sin \Theta_1} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_1 / b_p}{\sin \Theta_1} + 4 \cdot \sqrt{\beta_p} \right) / \gamma_{M5}$$

N₁ Druck $\beta \leq 0.85$ Flanschversagen des Gurtstabs $\beta \leq 0.85$

$$N_{1,Rd} = \frac{1 \cdot f_{y0} \cdot t_p^2}{(1-\beta) \cdot \sin \Theta_1} \cdot \left(\frac{2 \cdot \eta}{\sin \Theta_1} + 4 \cdot \sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$$

Versagen der Strebe $\beta \geq 0.85$

$$N_{1,Rd} = f_{yi} \cdot t_i \cdot (2 \cdot h_1 - 4 \cdot t_1 + 2 \cdot b_{eff}) / \gamma_{M5}$$

Durchstanzen $0.85 \leq \beta \leq (1-1/\gamma)$

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_p}{\sqrt{3} \cdot \sin \Theta_1} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_1}{\sin \Theta_1} + 2 \cdot b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$$

... jeweils mit ... $l_p \geq h_1 / \sin \Theta_1 + \sqrt{b_p \cdot (b_p - b_1)}$... und ... $b_p \geq b_0 - 2 \cdot t_0$... und ... $t_p \geq 2 \cdot t_1$ **verstärkte K- u. N-Anschlüsse** $l_p \geq 1.5 \cdot (h_1 / \sin \Theta_1 + g + h_2 / \sin \Theta_2)$... und ... $b_p \geq b_0 - 2 \cdot t_0$... und ... $t_p \geq 2 \cdot t_1$ und $2 \cdot t_2$

Flanschversagen des Gurtstabs

$$N_{i,Rd} = \frac{8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_p^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin \Theta_i} \cdot \beta / \gamma_{M5}$$

Versagen der Strebe

$$N_{i,Rd} = f_{yi} \cdot t_i \cdot (2 \cdot h_i - 4 \cdot t_i + b_i + b_{e,p}) / \gamma_{M5}$$

Durchstanzen $\beta \leq (1-1/\gamma)$

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_p}{\sqrt{3} \cdot \sin \Theta_i} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_i}{\sin \Theta_i} + b_i + b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$$

Seitenwandversagen (Schubversagen) des Gurtstabs**verstärkte (T- u. Y-Anschlüsse, X-A.)**

$$N_{1,Rd} = \frac{k_n \cdot f_b \cdot (t_0 + t_p)}{\sin \Theta_1} \cdot \left(\frac{2 \cdot h_1}{\sin \Theta_1} + 10 \cdot (t_0 + t_p) \right) / \gamma_{M5} \text{ ... mit ... } l_p \geq 1.5 \cdot h_1 / \sin \Theta_1 \text{ ... und ... } t_p \geq 2 \cdot t_1$$

verstärkte K- u. N-Anschlüsse

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin \Theta_i} / \gamma_{M5} \text{ ... und ... } N_{0,Rd} = \left((A_0 - A_v) \cdot f_{y0} + A_v \cdot f_{y0} \cdot \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2} \right) / \gamma_{M5}$$

... mit ... $l_p \geq 1.5 \cdot (h_1 / \sin \Theta_1 + g + h_2 / \sin \Theta_2)$ **Abminderungsbeiwerte für räumliche Anschlüsse Tab. 7.19****T-Anschlüsse** $60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$... und ... $\Theta_1 = 90^\circ$

$$\mu = 0.9$$

X-Anschlüsse $\varphi = 90^\circ$... und ... $\Theta_1 = 90^\circ$

$$\mu = 0.9 \cdot (1 + 0.33 \cdot N_{2,Ed} / N_{1,Ed}) \text{ ... mit ... } |N_{2,Ed}| \leq |N_{1,Ed}|$$

K-Anschlüsse $60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ $\mu = 0.9$... wenn für den Gurtstab im Schnittpunkt von Streben und Gurt

$$\text{bei An schlüssen mit Spalt gilt } \left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1$$

I- / H-Profil-Gurt

Gültigkeitsbereich Tab. 7.20

Anschlussotyp	Anschlussparameter (i = 1 oder 2, j = überlappte Strebe)					
	d _w / t _w	b _j / t _i und (h _j / t _i oder d _j / t _i)		h _i / b _i	b ₀ / t _f	b _i / b _j
		Druck	Zug			
X	Klasse 1 ... und ... d _w ≤ 400 mm					—
T oder Y		Klasse 1 oder 2 ... und ...				
K-Spalt N-Spalt	Klasse 1 oder 2 ... und ...	h _j / t _i ≤ 35 b _j / t _i ≤ 35 d _j / t _i ≤ 50	≥ 0.5 jedoch ≤ 2.0	Klasse 1 oder 2	—	
K-Über- lappung N-Über- lappung 25% ≤ λ _{0V} ≤ λ _{0V,lim} ^{a)}	d _w ≤ 400 mm					≥ 0.75

^{a)} λ_{0V,lim} = 60%, falls die verdeckte Naht nicht geschweißt ist, und 80%, wenn die verdeckte Naht geschweißt ist.
Falls die Überlappung λ_{0V,lim} überschreitet oder wenn die Streben rechteckige Profile mit h_j < b_j und/oder h_j < b_i sind, muss die Verbindung zwischen den Streben und der Oberfläche des Gurtstabs auf Abscheren überprüft werden.

Tragfähigkeit Tab. 7.21 und 7.22 von RHP- oder KHP-Streben

Bei Einhaltung des Gültigkeitsbereichs (Tab. 7.20) sind nur die Versagensmechanismen *Fließen des Stegs des Gurtstabs*, *Versagen der Strebe* und *Durchstanzen* zu untersuchen.

Fließen des Stegs des Gurtstabs

T- u. Y-Anschlüsse

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_w \cdot b_w}{\sin \Theta_1} / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,1,Rd} = 0.5 \cdot f_{y0} \cdot t_w \cdot b_w \cdot (h_1 - t_1) / \gamma_{M5}$$

X-Anschlüsse

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_w \cdot b_w}{\sin \Theta_1} / \gamma_{M5}$$

K- u. N-Anschlüsse mit Spalt

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_w \cdot b_w}{\sin \Theta_1} / \gamma_{M5}$$

Schubsagen des Gurtstabs

K- u. N-Anschlüsse mit Spalt

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin \Theta_i} / \gamma_{M5} \quad \dots \text{und} \dots N_{0,Rd} = \left((A_0 - A_v) \cdot f_{y0} + A_v \cdot f_{y0} \cdot \sqrt{1 - (\nu_{Ed} / \nu_{pl,Rd})^2} \right) / \gamma_{M5}$$

$$A_v = A_0 - (2 - \alpha) \cdot b_0 \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \quad \dots \text{und} \dots \nu_{Ed} = (N_{i,Ed} \cdot \sin \Theta_i)_{\max}$$

für eine RHP-Strebe $\alpha = \sqrt{1/(1 + (4 \cdot g^2)/(3 \cdot t_f^2))}$

für eine KHP-Strebe $\alpha = 0$

Versagen der Strebe**T- u. Y-Anschlüsse ohne Stegsteifen**

$$N_{1,Rd} = 2 \cdot f_{y1} \cdot t_1 \cdot p_{eff} / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,1,Rd} = f_{y1} \cdot t_1 \cdot p_{eff} \cdot h_z / \gamma_{M5}$$

X-Anschlüsse ohne Stegsteifen

$$N_{1,Rd} = 2 \cdot f_{y1} \cdot t_1 \cdot p_{eff} / \gamma_{M5}$$

K- u. N-Anschlüsse mit Spalt ohne Stegsteifen

$$\underline{N_{i,Rd}} = 2 \cdot f_{yi} \cdot t_i \cdot p_{eff} / \gamma_{M5} \quad \text{mit } \pm \pm / ()$$

nur, wenn nicht gilt $g/t_f \leq 20 \pm 28 \cdot \beta \dots \text{und} \dots \beta \leq 1.0 \pm 0.03 \cdot \gamma$

... und für KHP $0.75 \leq d_1/d_2 \leq 1.33 \dots \text{oder für RHP } 0.75 \leq b_1/b_2 \leq 1.33$

(T- u. Y-Anschlüsse, X-A., K- u. N-A. mit Spalt) mit Stegsteifen

$$N_{i,Rd} = 2 \cdot f_{yi} \cdot t_i \cdot (b_{eff} + b_{eff,s}) / \gamma_{M5} \dots \text{mit} \dots$$

$$b_{eff} = t_w + 2 \cdot r + 7 \cdot t_f \cdot f_{y0} / f_{yi} \leq b_i + h_i - 2 \cdot t_i$$

$$b_{eff,s} = t_s + 2 \cdot a + 7 \cdot t_f \cdot f_{y0} / f_{yi} \leq b_i + h_i - 2 \cdot t_i$$

$$b_{eff} + b_{eff,s} \leq b_i + h_i - 2 \cdot t_i$$

K- u. N-Anschlüsse mit Überlappung

$$N_{i,Rd} = f_{yi} \cdot t_i \cdot (p_{eff} + b_{e,ov} + 2 \cdot h_i \cdot \lambda_{ov} / 50 - 4 \cdot t_i) / \gamma_{M5} \dots 25\% \leq \lambda_{ov} < 50\%$$

$$N_{i,Rd} = f_{yi} \cdot t_i \cdot (p_{eff} + b_{e,ov} + 2 \cdot h_i - 4 \cdot t_i) / \gamma_{M5} \dots 50\% \leq \lambda_{ov} < 80\%$$

$$N_{i,Rd} = f_{yi} \cdot t_i \cdot (b_i + b_{e,ov} + 2 \cdot h_i - 4 \cdot t_i) / \gamma_{M5} \dots \lambda_{ov} \geq 80\%$$

alle Anschlüsse Bei KHP-Streben sind die obigen Grenzwerte mit $\pi/4$ zu multiplizieren.

U-Profil-Gurt**Gültigkeitsbereich Tab. 7.23**

Anschlusstyp	Anschlussparameter (i = 1 oder 2, j = überlappte Strebe)					
	b _i /b ₀	b _i /t _i und (h _i /t _i oder d _i /t _i)		h _i /b _i	b ₀ /t ₀	Spalt oder Überlappung b _i /b _j
		Druck	Zug			
K-Spalt N-Spalt	≥ 0.4 ... und ... b ₀ ≤ 400 mm	Klasse 1 oder 2 ... und ... h _i /t _i ≤ 35 b _i /t _i ≤ 35 d _i /t _i ≤ 50	h _i /t _i ≤ 35 b _i /t _i ≤ 35 d _i /t _i ≤ 50	≥ 0.5 jedoch ≤ 2.0	Klasse 1 oder 2	0.5 · (1 - β [*]) ≤ g/b ₀ [*] ≤ 1.5 · (1 - β [*]) ^{a)} ... und ... g ≥ t ₁ + t ₂
K-Über- lappung N-Über- lappung	≥ 0.25 ... und ... b ₀ ≤ 400 mm					25% ≤ λ _{0V} ≤ λ _{0V,lim} ^{b)} b _i /b _j ≥ 0.75
$\beta^* = b_1/b_0^* \dots \text{und} \dots b_0^* = b_0 - 2 \cdot (t_w + r_0)$						

^{a)} Diese Bedingung gilt nur, wenn β ≤ 0.85.

^{b)} λ_{0V,lim} = 60%, falls die verdeckte Naht nicht geschweißt ist, und 80%, wenn die verdeckte Naht geschweißt ist. Falls die Überlappung λ_{0V,lim} überschreitet oder wenn die Streben rechteckige Profile mit h_i < b_i und/oder h_j < b_j sind, muss die Verbindung zwischen den Streben und der Oberfläche des Gurtstabs auf Abscheren überprüft werden.

Tragfähigkeit Tab. 7.24 von RHP- oder KHP-Streben

Bei Einhaltung des Gültigkeitsbereichs (Tab. 7.23) sind nur die Versagensmechanismen *Schubversagen des Gurtstabs* und *Versagen der Strebe* zu untersuchen.

Schubversagen des Gurtstabs

K- u. N-Anschlüsse mit Spalt

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin \Theta_i} / \gamma_{M5} \dots \text{und} \dots N_{0,Rd} = \left((A_0 - A_v) \cdot f_{y0} + A_v \cdot f_{y0} \cdot \sqrt{1 - (V_{Ed}/V_{pl,Rd})^2} \right) / \gamma_{M5}$$

$$\dots \text{und} \dots V_{pl,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3}} / \gamma_{M5} \dots \text{und} \dots V_{Ed} = (N_{i,Ed} \cdot \sin \Theta_i)_{\max}$$

$$A_v = A_0 - (1 - \alpha) \cdot b_0^* \cdot t_0 \dots \text{mit} \dots b_0^* = b_0 - 2 \cdot (t_w + r_0)$$

$$\text{für eine RHP-Strebe} \quad \alpha = \sqrt{1/(1 + (4 \cdot g^2)/(3 \cdot t_f^2))} \quad \text{mit } g \text{ als Spaltbreite}$$

$$\text{für eine KHP-Strebe} \quad \alpha = 0$$

Versagen der Strebe

K- u. N-Anschlüsse mit Spalt

$$N_{i,Rd} = f_{y1} \cdot t_i \cdot (b_i + b_{eff} + 2 \cdot h_i - 4 \cdot t_i) / \gamma_{M5}$$

K- u. N-Anschlüsse mit Überlappung

$$N_{i,Rd} = f_{y1} \cdot t_i \cdot (b_{eff} + b_{e,ov} + 2 \cdot h_i \cdot \lambda_{ov} / 50 - 4 \cdot t_i) / \gamma_{M5} \dots \text{für} \dots 25\% \leq \lambda_{ov} < 50\%$$

$$N_{i,Rd} = f_{y1} \cdot t_i \cdot (b_{eff} + b_{e,ov} + 2 \cdot h_i - 4 \cdot t_i) / \gamma_{M5} \dots \text{für} \dots 50\% \leq \lambda_{ov} < 80\%$$

$$N_{i,Rd} = f_{y1} \cdot t_i \cdot (b_i + b_{e,ov} + 2 \cdot h_i - 4 \cdot t_i) / \gamma_{M5} \dots \text{für} \dots \lambda_{ov} \geq 80\%$$

$$\dots \text{jedoch} \dots b_{eff} \leq b_i \dots \text{und} \dots b_{e,ov} \leq b_i$$

Bei KHP-Streben sind die obigen Grenzwerte mit $\pi/4$ zu multiplizieren.

Schweißnahtnachweis nach EC 3

Die Verbindungselemente (Gurt und Streben) werden mit Kehl- oder Stumpfnähten verbunden, deren Schweißnaht konzentriert in der Wurzellinie angenommen wird.

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

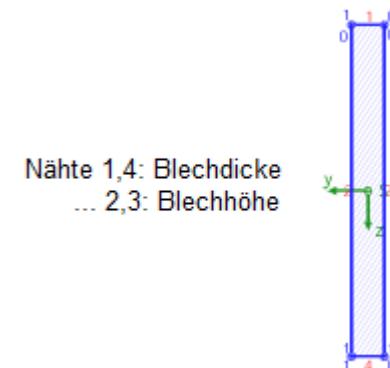
Im Programm 4H-EC3HK, Hohlprofilknoten, werden stets umlaufende Schweißnähte modelliert, die in Einzelnähte aufgelöst werden.

Beispielhaft sind nebenstehend die Einzelnähte, die den Linienquerschnitt bilden, für ein Blech (Flacheisen) dargestellt.

Die Nummerierung in rot kennzeichnet die Naht, die Zahlenangaben in blau bezeichnen die maßgebenden Nachweispunkte auf der jeweiligen Naht.

Es ist zu unterscheiden zwischen den Schwerpunkten des Querschnitts und des Linienquerschnitts.

Da die Querschnitte symmetrisch sind und eine umlaufende Schweißnaht mit konstanter Nahtdicke angenommen wird, stimmen der Schwerpunkt des Linienquerschnitts und der Querschnittsschwerpunkt überein.



Bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts werden die Querschnittsfläche ΣA_w , ggf. die Querschnittsfläche in y- und z-Richtung $A_{w,y}$, $A_{w,z}$, die gesamte Nahtlänge Σl_w sowie die Trägheitsmomente $I_{w,y}$, $I_{w,z}$ ermittelt. Der Differenzabstand zum Querschnittsschwerpunkt Δy_w , Δz_w ist stets Null (s.o.).

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$$\Sigma A_w = 44.00 \text{ cm}^2, A_{w,y} = 4.00 \text{ cm}^2, A_{w,z} = 40.00 \text{ cm}^2, \Sigma l_w = 44.0 \text{ cm}$$

$$I_{w,y} = 1733.33 \text{ cm}^4, I_{w,z} = 41.33 \text{ cm}^4, \Delta y_w = 0.0 \text{ mm}, \Delta z_w = 0.0 \text{ mm}$$

Über eine Interaktionsbeziehung (s. **Theorie**, mehrteilige Querschnitte) können den Einzelnähten Schnittgrößen zugeordnet werden, die im Schwerpunkt der Naht wirken.

Die lokalen Normalkräfte und Biegemomente werden über diese Beziehung ermittelt.

Schnittgrößenverteilung:

$$\text{Naht 1: } N_w = 20.80 \text{ kN}$$

$$\text{Naht 2: } N_w = -22.73 \text{ kN} \quad M_{y,w} = -7.69 \text{ kNm}$$

$$\text{Naht 3: } N_w = -22.73 \text{ kN} \quad M_{y,w} = -7.69 \text{ kNm}$$

$$\text{Naht 4: } N_w = -25.35 \text{ kN}$$

$$\text{aus konventioneller Querkraftaufteilung: } V_{z,w} = 20.00 \text{ kN}$$

Die Querkraftaufteilung erfolgt nach der *konventionellen Methode*, d.h. die Stegnähte übernehmen V_z .

Damit werden die Spannungen in den maßgebenden Nachweispunkten (Punkt 0 und 1 der Naht i) berechnet.

Spannungen in den Endpunkten der Nähte:

$$\text{Naht 1, Pkt. 0: } \sigma_{w,x} = 173.37 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Pkt. 1: } \sigma_{w,x} = 173.37 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Naht 2, Pkt. 0: } \sigma_{w,x} = 173.37 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 8.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Pkt. 1: } \sigma_{w,x} = -211.25 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 8.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Naht 3, Pkt. 0: } \sigma_{w,x} = 173.37 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 8.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Pkt. 1: } \sigma_{w,x} = -211.25 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 8.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Naht 4, Pkt. 0: } \sigma_{w,x} = -211.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Pkt. 1: } \sigma_{w,x} = -211.25 \text{ N/mm}^2$$

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

Nachweis für Naht 1, Pkt. 0:

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

$$\sigma_s = \sigma_w \cdot \cos(\alpha) = 122.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_s = \sigma_w \cdot \sin(\alpha) = 122.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = (\sigma_s^2 + 3 \cdot (\tau_s^2 + \tau_p^2))^{1/2} = 24.52 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$\sigma_{1,w,Ed} = 24.52 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.681 < 1 \text{ ok}$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = |\sigma_s| = 12.26 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$\sigma_{2,w,Ed} = 12.26 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.473 < 1 \text{ ok}$$

oder dem *vereinfachten Verfahren* nachgewiesen.

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

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{w,x} = 173.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 10.40 \text{ kN/cm}$$

$$\text{Tragfähigkeit einer Schweißnaht: } F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 12.47 \text{ kN/cm}, f_{vw,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2, a = 6.0 \text{ mm}$$

$$F_{w,Ed} = 10.40 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 12.47 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.834 < 1 \text{ ok}$$

Abschließend wird die maximale Beanspruchung der Schweißnähte ausgewiesen.

Ergebnis:

$$\text{Naht 2, Pkt. 1: } \sigma_{w,x} = -211.25 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{w,z} = 8.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Max: } \sigma_{1,w,Ed} = 29.91 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2,$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = 14.94 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U_w = 0.831 < 1 \text{ ok}$$

Da die Beschreibung der Schweißnahtnachweise nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung des **Schweißnahtnachweises** verwiesen.**Querschnittsnachweis nach EC 3**

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

Im Programm 4H-EC3HK, Hohlprofilknoten, tritt keine Torsion auf und wird daher im Folgenden nicht betrachtet.

Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch

Beim Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* werden die Schnittgrößen (Beanspruchungen) auf Grundlage der Elastizitätstheorie bestimmt.

Der Spannungsnachweis erfolgt mit dem Fließkriterium aus DIN EN 1993-1-1, Abs. 6.2.1(5).

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 \leq 1 \quad \dots \text{mit} \dots$$

$\sigma_{x,Ed}$ Bemessungswert der Normalspannung in Längsrichtung am betrachteten Punkt

τ_{Ed} Bemessungswert der Schubspannung am betrachteten Punkt

Punktweise wird die Ausnutzung des Querschnitts berechnet mit

$$U_\sigma = \sigma_v / \sigma_{Rd} \leq 1 \quad \dots \text{mit} \dots \sigma_v = \sigma_{x,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2 \quad \dots \text{und} \dots \sigma_{Rd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Die Berechnung der Normalspannungen erfolgt mit

$$\sigma_x = N/A + M_\eta / I_\eta \cdot \zeta - M_\zeta / I_\zeta \cdot \eta$$

wobei sich η , ζ auf das Hauptachsensystem (bei symmetrischen Querschnitten $\eta=y$, $\zeta=z$) beziehen.

Beispiel R 168.3 x 10(w)

elastischer Spannungsnachweis für $N = -120.00 \text{ kN}$, $M_y = 35.00 \text{ kNm}$, $V_z = 150.00 \text{ kN}$

elastische Spannungen: max $\sigma_{x,Ed} = 212.68 \text{ N/mm}^2$, max $\tau_{Ed} = 61.10 \text{ N/mm}^2$, max $\sigma_v = 212.68 \text{ N/mm}^2$

$$\text{max } \sigma_x \quad \text{bei } y = -0.0 \text{ mm, } z = 84.2 \text{ mm:} \quad \sigma_x = 164.39 \text{ N/mm}^2, \tau = 0.00 \text{ N/mm}^2, \sigma_v = 164.39 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{min } \sigma_x \quad \text{bei } y = 0.0 \text{ mm, } z = -84.2 \text{ mm:} \quad \sigma_x = -212.68 \text{ N/mm}^2, \tau = 0.00 \text{ N/mm}^2, \sigma_v = 212.68 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{max } \tau \quad \text{bei } y = -79.1 \text{ mm, } z = 0.0 \text{ mm:} \quad \sigma_x = -24.14 \text{ N/mm}^2, \tau = 61.10 \text{ N/mm}^2, \sigma_v = 108.54 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{max } \sigma_v \quad \text{bei } y = 0.0 \text{ mm, } z = -84.2 \text{ mm:} \quad \sigma_x = -212.68 \text{ N/mm}^2, \tau = 0.00 \text{ N/mm}^2, \sigma_v = 212.68 \text{ N/mm}^2$$

zul. Vergleichsspannung: $\sigma_{v,Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2$

Nachweis: $\sigma_v = 212.68 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{v,Rd} = 235.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_\sigma = 0.905 < 1 \text{ ok}$

Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch

Beim Nachweisverfahren *Elastisch-Plastisch* werden die Schnittgrößen (Beanspruchungen) auf Grundlage der Elastizitätstheorie bestimmt.

Der Nachweis folgt den Regeln des EC 3-1-1, 6.2.2 bis 6.2.10. Es wird der ungeschwächte Bruttoquerschnitt zu Grunde gelegt. Der Querschnitt gehört den Klassen 1 oder 2 an.

Die plastische Normalkrafttragfähigkeit berechnet sich mit (6.2.3+4)

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

Die plastische Biegetragfähigkeit berechnet sich mit (6.2.5)

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

Die plastische Querkrafttragfähigkeit berechnet sich mit (6.2.6)

$$V_{pl,Rd} = A \cdot (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$$

Die plastische Berechnung basiert auf dem Nachweis der Momentenbeanspruchbarkeit. Dazu wird die plastische Biegetragfähigkeit in Abhängigkeit der anderen Beanspruchungen (N, V) abgemindert.

Die Querkraft wirkt sich nach 6.2.8 auf die Momententrägigkeit aus, wenn gilt

$$V_{Ed} > V_{pl,Rd} / 2: f_{y,red} = (1 - \rho) \cdot f_y \quad \text{wobei } \rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad \text{und } V_{pl,Rd} \text{ ggf. mit Abminderung aus Torsion}$$

Anstelle der Steifigkeit f_y wird das plastische Widerstandsmoment um den ρ -Anteil der querkraftbelasteten Querschnittsteile reduziert. Dadurch ergibt sich die reduzierte plastische Biegetragfähigkeit zu

$$M_{y,V,Rd} = W_{pl,y,red} \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad \text{aber } M_{y,V,Rd} \leq M_{y,c,Rd}$$

Die gleichzeitige Wirkung einer Normalkraft ist nach 6.2.9 bei der Biegetragfähigkeit zu berücksichtigen, wenn gilt

rechteckiger Vollquerschnitt und Hohlquerschnitt: immer

doppelt-symmetrische I- und H-Querschnitte: nur, wenn

$$y-y\text{-Achse } N_{Ed} > 0.25 \cdot N_{pl,Rd} \quad \text{und } N_{Ed} > 0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$z-z\text{-Achse } N_{Ed} > h_w \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

Die reduzierte Biegetragfähigkeit beträgt

$$\text{rechteckiger Vollquerschnitt } M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot (1 - n^2) \quad \text{wobei } n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$$

doppelt-symmetrische I- und H-Querschnitte

$$y-y\text{-Achse } M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a) \quad \text{jedoch } M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$z-z\text{-Achse } \text{für } n \leq a \quad M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}$$

$$\text{für } n > a \quad M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left(1 - \left(\frac{n-a}{1-a}\right)^2\right)$$

$$\text{wobei } n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} \quad \text{und } a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A \quad \text{jedoch } a \leq 0.5$$

rechteckiger Hohlquerschnitt

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a_w) \quad \text{jedoch } M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a_f) \quad \text{jedoch } M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd}$$

$$\text{wobei } n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} \quad \text{und } a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t) / A \quad \text{jedoch } a_w \leq 0.5$$

$$\text{und } a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t) / A \quad \text{jedoch } a_f \leq 0.5$$

$$\text{runder Hohlquerschnitt } M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot (1 - n^{1.7}) \quad \text{wobei } n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$$

wobei die Biegetragfähigkeit bereits durch Querkraft abgemindert sein kann.

Ebenso kann die Normalkrafttragfähigkeit durch Querkraft abgemindert sein, da die querkraftbeanspruchten Querschnittsteile um den Faktor ρ reduziert werden.

Der Nachweis wird bei einachsiger Biegung mit Normalkraft geführt mit

$$M_{Ed} / M_{pl,N,Rd} \leq 1$$

und bei zweiachsiger Biegung mit Normalkraft mit

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right)^\beta \leq 1$$

rechteckiger Vollquerschnitt $\alpha = \beta = 1$

I- und H-Querschnitte $\alpha = 2 \dots$ und ... $\beta = 5 \cdot n \dots$ jedoch ... $\beta \geq 1$

rechteckiger Hohlquerschnitt $\alpha = \beta = 1.66 / (1 - 1.13 \cdot n^2) \dots$ jedoch ... $\alpha = \beta \leq 6$

... wobei ... $n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$

Beispiel R 168.3 x 10(w)

plastischer Spannungsnachweis für $N = -100.00 \text{ kN}$, $M = 45.00 \text{ kNm}$, $V = 300.00 \text{ kN}$

plastische Kenngrößen: $N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1168.69 \text{ kN}$, $M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 58.67 \text{ kNm}$

$$V_{pl,Rd} = A \cdot f_y / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 429.55 \text{ kN}$$

Querkraft

Abminderungsfaktor für $0.5 \cdot V_{pl,Rd} = 214.78 \text{ kN} < V_{Ed} = 300.00 \text{ kN}$: $\rho = (2 \cdot V_{Ed} / V_{pl,Rd} - 1)^2 = 0.157$

Normalkraft und Querkraft

$$N_{pl,Rd} = A \cdot (1 - \rho) \cdot f_y / \gamma_{M0} = 984.68 \text{ kN}$$

Biegung und Querkraft

$$M_{pl,V,Rd} = W_{pl} \cdot (1 - \rho) \cdot f_y / \gamma_{M0} = 49.43 \text{ kNm}$$

Biegung und Normalkraft

Abminderung M_y : $f_{N,y} = 1 - n^{1.7} = 0.980 < 1$, $n = |N_{Ed}| / N_{pl,Rd} = 0.102$

$$\Rightarrow M_{pl,V,N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot f_{N,y} = 48.42 \text{ kNm}$$

Biegung

Nachweis: $|M_{y,Ed}| / M_{pl,V,N,y,Rd} = 0.929 < 1$ **ok**

Die Grenzwerte grenz (c/t) werden je nach Nachweisverfahren aus DIN EN 1993-1-1, Abs. 5.5.2, Tab. 5.2, ermittelt.

Dies entspricht der Überprüfung der erforderlichen Klassifizierung des Querschnitts.

Läßt die Klassifizierung keinen elastischen oder plastischen Nachweis zu, wird eine Fehlermeldung ausgegeben.

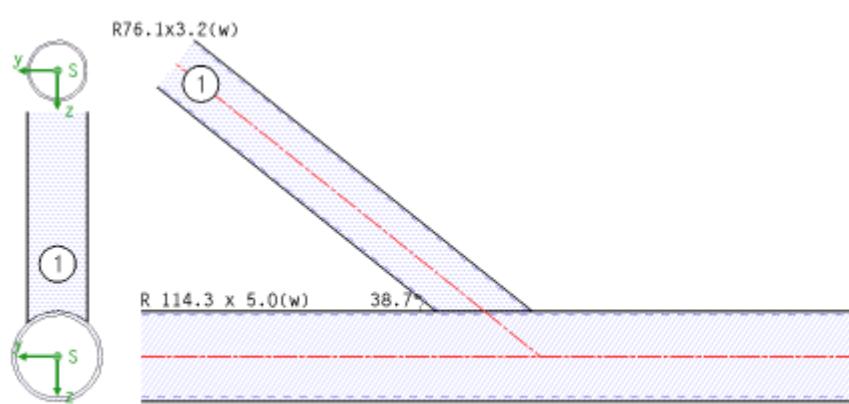
Beispiele

Im Folgenden werden drei Beispiele zum Nachweis von Knotenverbindungen dargestellt. Anhand der gängigen Typen Y-Knoten (**Bsp. 1**), K-Knoten (**Bsp. 2**), T-Knoten mit Blech (**Bsp. 3**) werden die einzelnen Berechnungsschritte erläutert.

Nähere Informationen zur Berechnung der Knotentragfähigkeiten finden Sie [hier](#).

Bsp. 1 - Puthli, Stahlbaukalender 2002, Y-Knoten, Kreishohlprofile

Der Auflagerknoten eines Fachwerkträgers wird als Y-Knoten mit einer Strebenneigung von $\theta = 38.7^\circ$ ausgebildet. Gurt und Strebe sind Kreishohlprofile. Da es sich um ein Endauflager handelt, ist der Knoten nur für die Normalkräfte im Gurt $N_{0,Ed} = 97 \text{ kN}$ und in der Strebe $N_{1,Ed} = -124.3 \text{ kN}$ auszulegen.



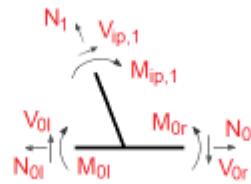
Gurt: Profil R 114.3 x 5.0(w)

Strebe 1: Anschlusswinkel $\Theta = 38.70^\circ$, Profil R 76.1 x 3.2(w)

Die Schnittgrößen werden auf die Erläuterungsgrafik bezogen. In diesem Beispiel wirkt die Zugkraft im Gurt (Index 0) links und die Druckkraft in der Strebe (Index 1). Alle anderen Schnittgrößen sind Null.

Schnittgrößen

Lk 1: $N_{0,Ed} = 97.00 \text{ kN}$, $N_{1,Ed} = -124.30 \text{ kN}$



Der Datencheck klärt zunächst die Zulässigkeit des Verfahrens. Dabei wird unterschieden zwischen Bedingungen, die unbedingt eingehalten werden müssen (sie führen zu einer Fehlermeldung mit Programmabbruch) und sog. 'sollte'-Bedingungen des Eurocodes, die nicht zwingend eingehalten werden müssen (sie werden gemeldet, die Berechnung wird jedoch durchgeführt).

Eine derartige 'sollte'-Bedingung ist die Forderung nach einer Mindestschweißnahtdicke zur Gewährleistung voller Rotationsfähigkeit (s. EC 3-1-8, 4.9(6))

Datencheck

Strebe 1: $a = 3.2 \text{ mm} > \text{erf } a = \beta_w \cdot 2^{1/2} \cdot f_y / f_u \cdot \gamma_M \cdot t = 0.923 \cdot t_1 = 2.95 \text{ mm}$ **ok**

Die für die nachfolgende Berechnung notwendigen Beiwerte werden berechnet, hier nur der Geometriebeiwert β

Beiwert $\beta = d_1/d_0 = 0.666$

Die maßgebenden Bemessungsschnittgrößen betreffen die Strebenkraft $N_{1,Ed}$ sowie die maximale Druckkraft im Gurt $N_{0,Ed} = 0$ (Nulllasten werden nicht protokolliert)

Bemessungsgrößen: $N_{1,Ed} = -124.30 \text{ kN}$

Die Berechnung der Tragfähigkeit erfolgt mit Tab. 7.2 (KHP-Strebe an KHP-Gurt), wobei deren Anwendung die Gültigkeit der geometrischen Beziehungen (Tab. 7.1) voraussetzt. Für Gurt und Strebe gilt

Gültigkeitsbereich (Tabelle 7.1, T-/Y-Knoten)

Gurt: $10 < d_0/t_0 = 22.860 < 50$ **ok**

Strebe 1: $0.2 < d_1/d_0 = 0.666 < 1$ **ok**

Strebe 1: Querschnittsklasse 1 < 2 **ok**

Tab. 7.2 weist die Tragfähigkeiten für die Versagensmechanismen *Flanschversagen des Gurts* und *Durchstanzen* aus. Da die Gurt-Vorspannkraft $N_p \geq 0$, erfolgt keine Festigkeitsabminderung des Flanschs ($k_p = 1$). Durchstanzen muss nur nachgewiesen werden, wenn der Strebendurchmesser kleiner als der lichte Gurtdurchmesser ist.

Tragfähigkeit (Tabelle 7.2, T-/Y-Knoten)

Beiwert $\gamma = d_0/(2 \cdot t_0) = 11.430$

Gurt-Vorspannkraft $N_p = N_{0,Ed} - \sum (N_{i,Ed} \cdot \cos(\Theta_i)) = 97.0 \text{ kN} \Rightarrow$ Beiwert $k_p = 1$

Strebe 1:

Flanschversagen des Gurtstabs

Tragfähigkeit: $N_{1,Rd} = (\gamma^{0.2} \cdot k_p \cdot f_y \cdot t_0^2) / \sin(\Theta_1) \cdot (2.8 + 14.2 \cdot \beta^2) / \gamma_{M5} = 139.11 \text{ kN}$

Ausnutzung: $U_1 = N_{1,Ed} / N_{1,Rd} = 0.894 < 1$ **ok**

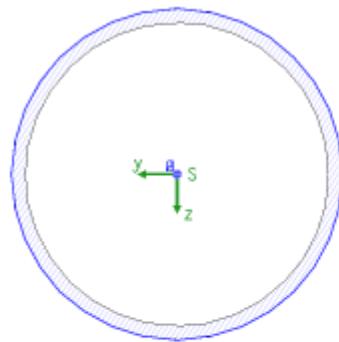
Durchstanzen für $d_1 = 76.1 \text{ mm} \leq d_0 - 2 \cdot t_0 = 104.3 \text{ mm}$

Tragfähigkeit: $N_{1,Rd} = f_y t_0 / 3^{1/2} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot (1 + \sin(\Theta_1)) / (2 \cdot \sin^2(\Theta_1)) / \gamma_{M5} = 337.13 \text{ kN}$

Ausnutzung: $U_1 = N_{1,Ed} / N_{1,Rd} = 0.369 < 1$ **ok**

Der Schweißnahtnachweis wird für eine nicht geneigte und ausgeschnittene Strebe mit dem richtungsbezogenen Verfahren geführt

Berechnungsquerschnitt:

Naht 1: $a_w = 3.2 \text{ mm}$ $l_w = 239.1 \text{ mm}$

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

 $N_{Ed} = -124.30 \text{ kN}$

Nachweis des Linienquerschnitts:

Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = -162.48 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,t} = 0.00 \text{ N/mm}^2$ $\Rightarrow U_w = 0.591 < 1 \text{ ok}$ Pkt. 1: $\sigma_{w,x} = -162.48 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,t} = 0.00 \text{ N/mm}^2$ $\Rightarrow U_w = 0.591 < 1 \text{ ok}$ Pkt. 2: $\sigma_{w,x} = -162.48 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,t} = 0.00 \text{ N/mm}^2$ $\Rightarrow U_w = 0.591 < 1 \text{ ok}$ Pkt. 3: $\sigma_{w,x} = -162.48 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,t} = 0.00 \text{ N/mm}^2$ $\Rightarrow U_w = 0.591 < 1 \text{ ok}$

Die Querschnitte von Gurt und Strebe werden plastisch nachgewiesen

Gurt:

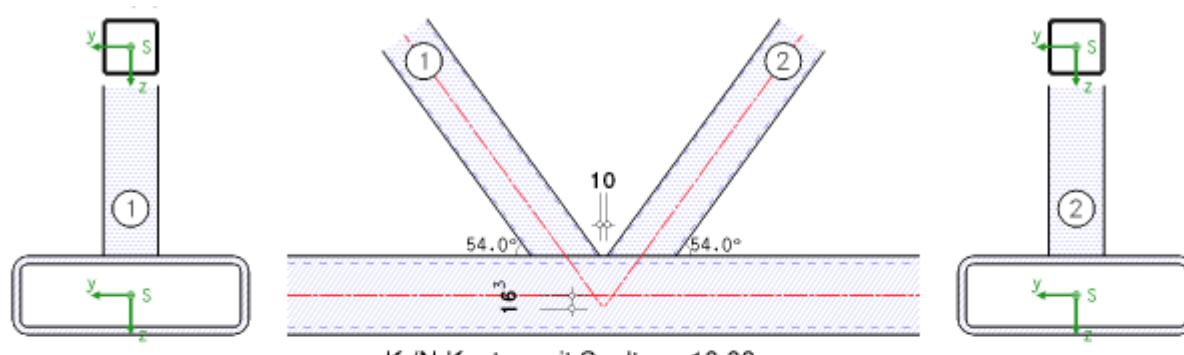
plastischer Spannungsnachweis für $N = 97.00 \text{ kN}$ plastische Kenngrößen: $N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_M = 403.47 \text{ kN}$ Nachweis: $|N_{Ed}| / N_{pl,Rd} = 0.240 < 1 \text{ ok}$

Strebe 1:

plastischer Spannungsnachweis für $N = -124.30 \text{ kN}$ plastische Kenngrößen: $N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_M = 172.22 \text{ kN}$ Nachweis: $|N_{Ed}| / N_{pl,Rd} = 0.722 < 1 \text{ ok}$

Bsp. 2 - Puthli, Stahlbaukalender 2011, K-Knoten verstärkt, Rechteckhohlprofile

Der an einer Mittelstütze liegende Fachwerkknoden wird als K-Knoten mit einer beidseitigen Strebenneigung von $\theta = 53.95^\circ$ bemessungsrelevant. Gurt und Streben sind Rechteck- bzw. Quadrathohlprofile, die als parametrisierte Profile eingegeben werden.



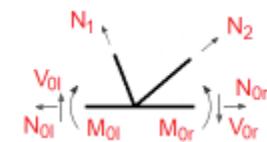
Gurt: Profilparameter (Rechteck):

Gesamthöhe $h = 100.0 \text{ mm}$, Stegdicke $t_w = 10.0 \text{ mm}$ Gesamtbreite $b = 300.0 \text{ mm}$, Flanschdicke $t_f = 10.0 \text{ mm}$, kaltgefertigt
gewalztes Profil, Ausrundungsradien $r = 20.0 \text{ mm}$, $r_2 = 10.0 \text{ mm}$ Strebe 1: Anschlusswinkel $\Theta = 53.95^\circ$, Profilparameter (Rechteck):Gesamthöhe $h = 70.0 \text{ mm}$, Stegdicke $t_w = 3.0 \text{ mm}$ Gesamtbreite $b = 70.0 \text{ mm}$, Flanschdicke $t_f = 3.0 \text{ mm}$, kaltgefertigt
gewalztes Profil, Ausrundungsradien $r = 6.0 \text{ mm}$, $r_2 = 3.0 \text{ mm}$ Strebe 2: Anschlusswinkel $\Theta = 53.95^\circ$, Profilparameter (Rechteck):Gesamthöhe $h = 70.0 \text{ mm}$, Stegdicke $t_w = 3.0 \text{ mm}$ Gesamtbreite $b = 70.0 \text{ mm}$, Flanschdicke $t_f = 3.0 \text{ mm}$, kaltgefertigt
gewalztes Profil, Ausrundungsradien $r = 6.0 \text{ mm}$, $r_2 = 3.0 \text{ mm}$

In diesem Beispiel wirken Druckkräfte im Gurt (Index 0) links und rechts, eine Zugkraft in Strebe 1 und eine Druckkraft in Strebe 2. Alle anderen Schnittgrößen sind Null.

Schnittgrößen

Lk 1: $N_{0l,Ed} = -599.41 \text{ kN}$, $N_{0r,Ed} = -412.31 \text{ kN}$, $N_{1,Ed} = 156.54 \text{ kN}$, $N_{2,Ed} = -151.87 \text{ kN}$



Der Datencheck klärt zunächst die Zulässigkeit des Verfahrens (vgl. Bsp. 1).

Datencheck

Strebe 1: $a = 4.0 \text{ mm} > \text{erf } a = \beta_w 2^{1/2} \cdot f_y / f_u \cdot \gamma M_0 \cdot t = 0.923 \cdot t_1 = 2.77 \text{ mm}$ **ok**

Strebe 2: $a = 4.0 \text{ mm} > \text{erf } a = \beta_w 2^{1/2} \cdot f_y / f_u \cdot \gamma M_0 \cdot t = 0.923 \cdot t_2 = 2.77 \text{ mm}$ **ok**

Da die Strebenachsen mit der Gurtachse keinen einheitlichen Schnittpunkt bilden (Exzentrizität e), ist zusätzlich das Exzentrizitätsmoment zu berücksichtigen. Die für die nachfolgende Berechnung notwendigen Werte werden berechnet und ggf. überprüft

K-/N-Knoten: Knotenexzentrizität $e = 16.34 \text{ mm}$

K-/N-Knoten: $-0.55 \leq e/h_0 = 16.34/100.0 = 0.163 \leq 0.25$ **ok**

K-/N-Knoten: Spaltbreite $g = 10.00 \text{ mm} > t_1 + t_2 = 6.0 \text{ mm}$ **ok**

Beiwert $\beta = (b_1 + b_2 + h_1 + h_2) / (4 \cdot b_0) = 0.233$

Das Exzentrizitätsmoment wird berechnet zu

$$\text{Exzentrizitätsmoment } \Delta M = [N_{1,Ed} \cdot \cos(\Theta_1) - N_{2,Ed} \cdot \cos(\Theta_2)] \cdot e = 2.97 \text{ kNm} \Rightarrow M_{0,Ed} = 2.97 \text{ kNm}$$

Damit ergeben sich die maßgebenden Bemessungsschnittgrößen: die maximale Druckkraft im Gurt $N_{0,Ed}$ sowie die Strebenkräfte $N_{1,Ed}$ und $N_{2,Ed}$

Bemessungsgrößen: $N_{0,Ed} = -599.41 \text{ kN}$, $N_{1,Ed} = 156.54 \text{ kN}$, $N_{2,Ed} = -151.87 \text{ kN}$

Die Berechnung der Tragfähigkeit erfolgt mit Tab. 7.12 (RHP-Strebe an RHP-Gurt), wobei deren Anwendung die Einhaltung der Schnittgrößendefinition und die Gültigkeit der geometrischen Beziehungen (Tab. 7.8) voraussetzt.

Für die Anwendung der Tabellen ist die Vorzeichenkonvention der Streben einzuhalten. In diesem Beispiel ist Strebe 1 eine Zugstrebe, während Strebe 2 die Druckstrebe ist. Da die Tabellen für Strebe 1 als Druckstrebe gelten, wird das Modell (Geometrie und Schnittgrößen) transformiert. Hier sind nur die Schnittgrößen betroffen

K-Knoten: Vorzeichenvoraussetzung: System wird transformiert !

Bemessungsgrößen: $N_{0,Ed} = -599.41 \text{ kN}$, $M_{0,Ed} = 2.97 \text{ kNm}$, $N_{1,Ed} = -151.87 \text{ kN}$, $N_{2,Ed} = 156.54 \text{ kN}$

Anschließend erfolgt die Überprüfung der geometrischen Beziehungen (Tab. 7.8)

Gültigkeitsbereich (Tabelle 7.8, K-/N-Knoten)

Gurt: $h_0/b_0 = 0.333 < 0.5$!!

Gurt: $h_0/b_0 = 0.333 < 2.0$ **ok**

Gurt: $b_0/t_0 = 30.000 < 35$ **ok**

Gurt: $h_0/t_0 = 10.000 < 35$ **ok**

Gurt: Querschnittsklasse 1 < 2 **ok**

Gurt: $g/b_0 = 0.033 < 0.5 \cdot (1-\beta) = 0.383$!!

Gurt: $g/b_0 = 0.033 < 1.5 \cdot (1-\beta) = 1.150$ **ok**

Strebe 1: $b_1/b_0 = 0.233 < \max(0.35, 0.1+0.01 \cdot b_0/t_0) = 0.40$!!

Strebe 1: $b_1/b_0 = 0.233 < 1$ **ok**

Strebe 1: $b_1/t_1 = 23.333 < 35$ **ok**

Strebe 1: Querschnittsklasse 1 < 2 **ok**

Strebe 1: $0.5 < h_1/b_1 = 1.000 < 2$ **ok**

Strebe 2: $b_2/b_0 = 0.233 < \max(0.35, 0.1+0.01 \cdot b_0/t_0) = 0.40$!!

Strebe 2: $b_2/b_0 = 0.233 < 1$ **ok**

Strebe 2: $b_2/t_2 = 23.333 < 35$ **ok**

Strebe 2: $0.5 < h_2/b_2 = 1.000 < 2$ **ok**

Gültigkeitsbereich nicht eingehalten !!

Obwohl die Gültigkeitsgrenzen überschritten sind, wird Tab. 7.12 ausgewertet.

Sie weist die Tragfähigkeiten für die Versagensmechanismen *Schub- und Flanschversagen des Gurts*, *Versagen der Strebe* und *Durchstanzen* aus.

Für den Gurt und jede Strebe werden die Traglasten ermittelt und der einwirkenden Größe gegenübergestellt. Für die Druckspannung in der Kontaktalebene wird der Abminderungsbeiwert k_n ermittelt, der die Tragfähigkeit des Gurtflanschs herabsetzt.

Tragfähigkeit (Tabelle 7.12, K-/N-Knoten)

Beiwert $\gamma = b_0/(2 \cdot t_0) = 15.000$

Beiwert $k_n = 1.3 - 0.4 \cdot n / \beta = 0.618$ mit $n = \sigma_0 / (f_{y0} \cdot \gamma_{M5}) = 0.398$, $\sigma_0 = -N_0 / A_0 + M_0 / W_{el,0} = 93.5 \text{ N/mm}^2$

Gurt:

Schubversagen des Gurtstabs

Schubfläche $A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 = 3964.0 \text{ mm}^2$, $\alpha = [1 / (1 + (4 \cdot g^2) / (3 \cdot t_0^2))]^{1/2} = 0.655$

Schubkraft $V_{Ed} = (N_i \cdot \sin(\Theta_i))_{max} = 126.6 \text{ kN}$

plastische Schubtragfähigkeit $V_{pl,Rd} = A_v \cdot (f_{y0} / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M5})) = 537.8 \text{ kN}$

Tragfähigkeit: $N_0, Rd = [(A_0 - A_v) \cdot f_{y0} + A_v \cdot f_{y0} \cdot (1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2)^{1/2}] / \gamma_{M5} = 1699.32 \text{ kN}$

Ausnutzung: $U_0 = N_{0,Ed} / N_{0,Rd} = 0.353 < 1 \text{ ok}$

Strebe 1:

Flanschversagen des Gurtstabs

Tragfähigkeit: $N_{1,Rd} = (8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \gamma^{1/2}) / \sin(\Theta_1) \cdot \beta / \gamma_{M5} = 144.40 \text{ kN}$

Ausnutzung: $U_1 = N_{1,Ed} / N_{1,Rd} = 1.052 > 1 \text{ nicht ok !!}$

Schubversagen des Gurtstabs

Schubfläche $A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 = 3964.0 \text{ mm}^2$, $\alpha = [1 / (1 + (4 \cdot g^2) / (3 \cdot t_0^2))]^{1/2} = 0.655$

Tragfähigkeit: $N_{1,Rd} = (f_{y0} \cdot A_v) / (3^{1/2} \cdot \sin(\Theta_1)) / \gamma_{M5} = 665.20 \text{ kN}$

Ausnutzung: $U_1 = N_{1,Ed} / N_{1,Rd} = 0.228 < 1 \text{ ok}$

Versagen der Strebe

Parameter $b_{eff} = 10 / (b_0 / t_0) \cdot (f_{y0} \cdot t_0) / (f_{y1} \cdot t_1) \cdot b_1 = 77.78 \text{ mm} > b_1 \Rightarrow b_{eff} = b_1 = 70.0 \text{ mm}$

Tragfähigkeit: $N_{1,Rd} = (f_{y1} \cdot t_1) \cdot (2 \cdot h_1 - 4 \cdot t_1 + b_1 + b_{eff}) / \gamma_{M5} = 188.94 \text{ kN}$

Ausnutzung: $U_1 = N_{1,Ed} / N_{1,Rd} = 0.804 < 1 \text{ ok}$

Durchstanzen

Parameter $b_{e,p} = 10 / (b_0 / t_0) \cdot b_1 = 23.33 \text{ mm}$

Tragfähigkeit: $N_{1,Rd} = (f_{y0} \cdot t_0) / (3^{1/2} \cdot \sin(\Theta_1)) \cdot (2 \cdot h_1 / \sin(\Theta_1) + b_1 + b_{e,p}) / \gamma_{M5} = 447.21 \text{ kN}$

Ausnutzung: $U_1 = N_{1,Ed} / N_{1,Rd} = 0.340 < 1 \text{ ok}$

Strebe 2:

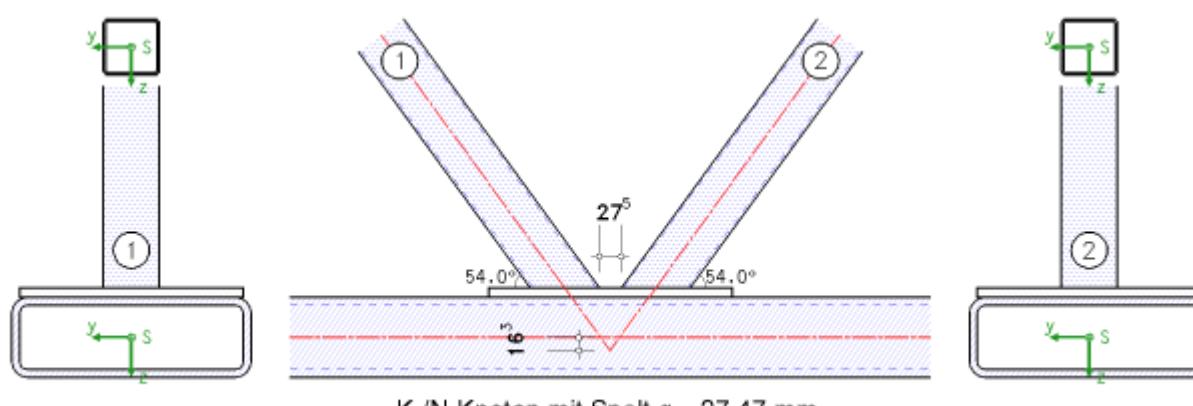
Flanschversagen des Gurtstabs

Tragfähigkeit: $N_{2,Rd} = (8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \gamma^{1/2}) / \sin(\Theta_2) \cdot \beta / \gamma_{M5} = 144.40 \text{ kN}$

Ausnutzung: $U_2 = N_{2,Ed} / N_{2,Rd} = 1.084 > 1 \text{ nicht ok !!}$

:

Da die Tragfähigkeit des Gurtflanschs um 8% überschritten ist, wird eine Gurtlamelle zur Verstärkung vorgesehen. Damit sie Auswirkungen auf die Berechnung hat, muss ihre Dicke größer sein als die Flanschdicke des Gurts. Um die Konstruktion des Fachwerkträgers nicht zu verändern, ergibt sich ein größerer Spalt (gemessen auf der Lamelle).



Wenn die Abmessungen der Lamelle eingehalten werden, darf die Berechnung für die Versagensformen *Flanschversagen des Gurtstabs*, *Versagen der Strebe* und *Durchstanzen* mit einer Flanschdicke $t_0 = t_p$ erfolgen

Gurtlamelle:

$\min l_p = 1.5 \cdot (h_1 / \sin(\Theta_1) + h_2 / \sin(\Theta_2) + g) = 300.9 \text{ mm}$, $\min b_p = b_0 - 2 \cdot t_0 = 280.0 \text{ mm}$, $\min t_p = \max(t_0, 2 \cdot t_1) = 10.0 \text{ mm}$

$l_p = 305.0 \text{ mm} > \min l_p = 300.9 \text{ mm}$

$b_p = 280.0 \text{ mm} \geq \min b_p = 280.0 \text{ mm}$

$t_p = 12.0 \text{ mm} > \min t_p = 10.0 \text{ mm}$

Gurtlamelle \Rightarrow Tabelle 7.12 mit $t_0 = t_p = 12.0 \text{ mm}$

Es ergibt sich nun

Tragfähigkeit (Tabelle 7.12, K-/N-Knoten)Beiwert $\gamma = b_0/(2 \cdot t_0) = 12.500$ Beiwert $K_n = 1.3 - 0.4 \cdot n/\beta = 0.618$ mit $n = \sigma_0/(f_{y0} \cdot \gamma_{M5}) = 0.398$, $\sigma_0 = -N_0/A_0 + M_0/W_{el,0} = 93.5 \text{ N/mm}^2$

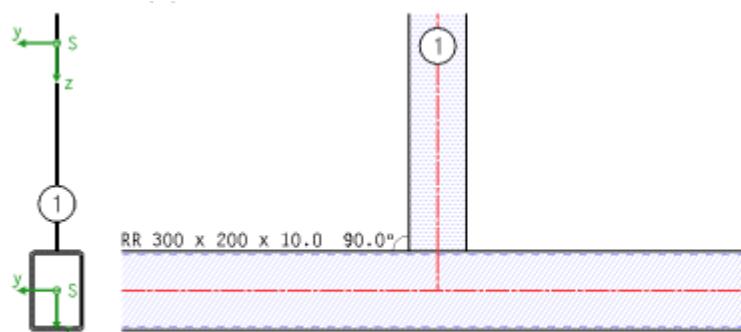
Strebe 1:

Flanschversagen des GurtstabsTragfähigkeit: $N_{1,Rd} = (8.9 \cdot K_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \gamma^{1/2}) / \sin(\Theta_1) \cdot \beta / \gamma_{M5} = 189.81 \text{ kN}$ Ausnutzung: $U_1 = N_{1,Ed}/N_{1,Rd} = 0.800 < 1$ **ok****Versagen der Strebe**Parameter $b_{eff} = 10/(b_0/t_0) \cdot (f_{y0} \cdot t_0) / (f_{y1} \cdot t_1) \cdot b_1 = 112.00 \text{ mm} > b_1 \Rightarrow b_{eff} = b_1 = 70.0 \text{ mm}$ Tragfähigkeit: $N_{1,Rd} = (f_{y1} \cdot t_1) \cdot (2 \cdot h_1 - 4 \cdot t_1 + b_1 + b_{eff}) / \gamma_{M5} = 188.94 \text{ kN}$ Ausnutzung: $U_1 = N_{1,Ed}/N_{1,Rd} = 0.804 < 1$ **ok****Durchstanzen**Parameter $b_{e,p} = 10/(b_0/t_0) \cdot b_1 = 28.00 \text{ mm}$ Tragfähigkeit: $N_{1,Rd} = (f_{y0} \cdot t_0) / (3^{1/2} \cdot \sin(\Theta_1)) \cdot (2 \cdot h_1 / \sin(\Theta_1) + b_1 + b_{e,p}) / \gamma_{M5} = 546.05 \text{ kN}$ Ausnutzung: $U_1 = N_{1,Ed}/N_{1,Rd} = 0.278 < 1$ **ok**

Das Schubversagen des Gurts wird von der Gurtlamelle nicht beeinflusst.

Bsp. 3 - Puthli, Stahlbaukalender 2011, T-Knoten mit Blech, Rechteckhohlprofil

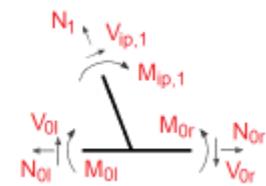
Der Anschluss eines Fahnenblechs an eine Rechteckhohlprofilstütze soll nachgewiesen werden. Die Stütze wird hier als Gurt modelliert, das Fahnenblech ist ein längs der Systemachse angeschweißtes Blech.



Gurt: Profil RR 300 x 200 x 10.0(w)

Strebe 1: Anschlusswinkel $\Theta = 90.00^\circ$, längs angeschweißtes Blech, Profilparameter (Flachstahl): Höhe $h = 220.0 \text{ mm}$, Dicke $t = 8.0 \text{ mm}$

Die Schnittgrößen sind auf die Erläuterungsgrafik bezogen. In diesem Beispiel wirken im Gurt (Index 0) links und rechts des Knotens eine Druckkraft und ein Biegemoment. Die Strebe (Index 1) erhält eine Querkraft, die allerdings für die Knotennachweise nicht relevant ist, und ein Biegemoment. Alle anderen Schnittgrößen sind Null.

SchnittgrößenLk 1: $N_{0l,Ed} = -95.00 \text{ kN}$, $M_{0l,Ed} = 55.00 \text{ kNm}$, $N_{0r,Ed} = -270.00 \text{ kN}$, $M_{0r,Ed} = 89.13 \text{ kNm}$
 $M_{ip,1,Ed} = 7.88 \text{ kNm}$ 

Der Datencheck klärt zunächst die Zulässigkeit des Verfahrens (vgl. Bsp. 1).

Die für die nachfolgende Berechnung notwendigen Beiwerte werden berechnet

Beiwert $\beta = t_1/b_0 = 0.040$ Beiwert $\eta = h_1/b_0 = 1.100$ Die maßgebenden Bemessungsschnittgrößen sind das Biegemoment im Blech $M_{ip,1,Ed}$ sowie die Schnittgrößen im Gurt, die die maximale Druckspannung in der Kontaktfläche erzeugen $N_{0,Ed}$ und $M_{0,Ed}$ Bemessungsschnittgrößen: $N_{0,Ed} = -270.00 \text{ kN}$, $M_{0,Ed} = 89.13 \text{ kNm}$, $M_{ip,1,Ed} = 7.88 \text{ kNm}$

Die Berechnung der Tragfähigkeit erfolgt mit den Tab. 7.13 und 7.14 (Blech-Strebe an RHP-Gurt), wobei deren Anwendung die Gültigkeit der geometrischen Beziehungen (Tab. 7.8) voraussetzt.

Gurt:plastischer Spannungsnachweis für $N = -95.00 \text{ kN}$, $M_y = 55.00 \text{ kNm}$ plastische Kenngrößen: $N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 2230.78 \text{ kN}$, $M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 224.50 \text{ kNm}$

Biegung und Normalkraft

Abminderung M_y : $f_{N,y} = (1-n)/(1-0.5 \cdot a) = 1.277 > 1 \Rightarrow f_{N,y} = 1$, $n = |N_{Ed}|/N_{pl,Rd} = 0.043$, $a = 0.500 \leq 0.5$ $A_f = 2 \cdot b \cdot t_f = 40.00 \text{ cm}^2$, $A = 94.93 \text{ cm}^2 \Rightarrow M_{pl,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot f_{N,y} = 224.50 \text{ kNm}$

Biegung

Nachweis: $|M_{y,Ed}|/M_{pl,y,Rd} = 0.245 < 1$ **ok**plastischer Spannungsnachweis für $N = -270.00 \text{ kN}$, $M_y = 89.13 \text{ kNm}$ plastische Kenngrößen: $N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 2230.78 \text{ kN}$, $M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 224.50 \text{ kNm}$

Biegung und Normalkraft

Abminderung M_y : $f_{N,y} = (1-n)/(1-0.5 \cdot a) = 1.172 > 1 \Rightarrow f_{N,y} = 1$, $n = |N_{Ed}|/N_{pl,Rd} = 0.121$, $a = 0.500 \leq 0.5$ $A_f = 2 \cdot b \cdot t_f = 40.00 \text{ cm}^2$, $A = 94.93 \text{ cm}^2 \Rightarrow M_{pl,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot f_{N,y} = 224.50 \text{ kNm}$

Biegung

Nachweis: $|M_{y,Ed}|/M_{pl,y,Rd} = 0.397 < 1$ **ok****Strebe 1:**plastischer Spannungsnachweis für $M_y = 7.88 \text{ kNm}$, $V_z = 175.00 \text{ kN}$ plastische Kenngrößen: $M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 22.75 \text{ kNm}$, $V_{pl,z,Rd} = A_{vz} \cdot f_y / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 238.79 \text{ kN}$

Querkraft

Abminderungsfaktoren:

 $z\text{-Ri: } 0.5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 119.40 \text{ kN} < |V_{z,Ed}| = 175.00 \text{ kN: } \rho_z = (2 \cdot |V_{z,Ed}| / V_{pl,z,Rd} - 1)^2 = 0.217$

Biegung und Querkraft

 $z\text{-Ri: } W_{v,y} = (1-\rho_z) \cdot W_{pl,y} = 75.81 \text{ cm}^3$ $\Rightarrow M_{pl,v,y,Rd} = W_{v,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 17.81 \text{ kNm}$

Biegung

Nachweis: $|M_{y,Ed}|/M_{pl,v,y,Rd} = 0.442 < 1$ **ok**zur Hauptseite **4H-EC3HK**, Hohlprofilknoten