

4H-EC3BT Biegesteife Trägeranschlüsse

Detailinformationen

Seite erweitert April 2025

• Kontakt • Programmübersicht • Bestelltext **Infos auf dieser Seite**... als pdf 

- Rechenlaufsteuerung 
- Profile / Verstärkungen 
- Anschlussparameter 
- Schnittgrößen 
- ... Import Träger / Stütze 
- ... Import Trägerstoß 
- Ergebnisübersicht 
- allgemeine Erläuterungen 
- Komponentenmethode 
- Teilschnittgrößen 
- Nachweise 
- Schweißnähte 
- Stegsteifen 
- Schubfeld 
- thermische Trennschicht 
- Rotationssteifigkeit 
- Rotationskapazität 
- nationale EC-Anhänge 

Rechenlaufsteuerung



im Register 1 befinden sich die Angaben zur Rechenlaufsteuerung sowie zu den Baustoffen.

Allgemeines

Das Programm 4H-EC3BT stellt eine Vielzahl einstellbarer Parameter zur Verfügung, um beliebige Träger-Stützen-Verbindungen oder Trägerstöße abbilden zu können.

Um den Eingabeaufwand für Standard-Verbindungen gering zu halten, besteht die Möglichkeit, die Anzahl an Einstellvariationen zu reduzieren.

Bei Deaktivierung des Buttons **Erweiterte Einstellungen** werden einige Parameter auf sinnvolle Werte gesetzt.

- Daten exportieren
- Daten importieren
- weitere Einstellungen

Zudem können Eingabedaten über die Copy-Paste-Funktion von einem Bauteil in ein anderes exportiert bzw. gesichert werden.

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

Diese Funktionalität ermöglicht es außerdem, die Eingabedaten aus dem Programm 4H-EC3BT, biegesteifer Trägeranschluss, in die Programme **4H-EC3RE** Rahmenecken, **4H-EC3TT**, Stoß mit thermischer Trennschicht, **4H-EC3LS**, Laschenstoß etc. zu übertragen. Die Daten können i.A. zurücktransportiert werden.

Materialsicherheitsbeiwerte

Im Programm 4H-EC3BT werden für den Nachweis von Träger-Stützenanschlüssen und Trägerstößen nach EC 3-1-8 folgende Materialsicherheitsbeiwerte herangezogen

Materialsicherheitsbeiwerte für Anschlüsse (genormte Werte)

Beanspruchbarkeit von Querschnitten	γ _{M0}	1.00
Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen	γ _{M1}	1.10
Beanspruchbarkeit von Verbindungsmitteln	γ _{M2}	1.25
Vorspannung hochfester Schrauben	γ _{M7}	1.10

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

Bei reduzierter Eingabe werden die genormten Materialsicherheitsbeiwerte für Anschlüsse übernommen.

Stahlsorte

Jedem Verbindungselement kann ein eigenes Material zugeordnet werden.

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

einheitliche Stahlsorte

Stahlsorte Vorgabe

Kennung

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

Bei reduzierter Eingabe kann nur eine einheitliche Stahlsorte für alle Verbindungsbleche gewählt werden.

Schrauben

Um eine Stirnblech- oder Flanschwinkelverbindung nachzuweisen, sind Schraubengröße, Festigkeitsklasse sowie ggf. Futterblechdicken anzugeben.

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

Der Übersichtlichkeit halber kann an dieser Stelle eine einheitliche Schraubengröße/-festigkeit gewählt werden. Anschlussspezifische Parameter werden an entsprechender Stelle festgelegt.

Eine große Schlüsselweite setzt neben größeren Schraubenabmessungen bei Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 voraus, dass es sich um vorgespannte Schrauben (HV) handelt.

einheitliche Schrauben

Schraubengröße Vorgabe

Festigkeitsklasse Vorgabe

normale Schlüsselweite große Schlüsselweite

Passschraube FK 8.8 oder 10.9: HV-Schraube kontrolliert voll vorgespannt

gleitfeste Verbindung

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

Bei reduzierter Eingabe kann nur eine einheitliche Schraubensorte gewählt werden.

Anschlussstyp

Es werden zwei Anschlusskonfigurationen unterschieden

Träger-Stützenanschluss rechtsseitig linksseitig **beidseitig** **Trägerstoß**

Der Anschluss eines Trägers an eine durchlaufende Stütze kann rechts, links oder beidseitig erfolgen.

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

Ein Trägerstoß kann nur mit zwei identischen Profilen ausgeführt werden.

Diese Einstellung wird bei der Parameterauswahl auf den nachfolgenden Registerblättern berücksichtigt.

Komponentenmethode

Bei der **Komponentenmethode** wird das komplexe Tragschema einer biegesteifen Verbindung in einfacher zu berechnende Grundkomponenten (s. EC 3-1-8, Tab. 6.1) zerlegt.

Je nach Anschlussgeometrie kommen teilweise unterschiedliche Grundkomponenten (Gk) zum Tragen.

Im Programm werden nur diejenigen Gkn aufgeführt, die für die Bemessung eines biegesteifen Trägeranschlusses

maßgebend werden können.

Der Anwender kann wählen, ob er eine komplette Berechnung wünscht oder nur ausgewählte Grundkomponenten nachgewiesen haben möchte.

- Komplette Berechnung**
- Berechnung ausgewählter Grundkomponenten**
- Gk 1: Stützenstegfeld mit Schub
 - Gk 2: Stützensteg mit Querdruck
 - Gk 3: Stützensteg mit Querzug
 - Gk 4: Stützenflansch mit Biegung
 - Gk 5: Stirnblech mit Biegung
 - Gk 6: Flanschwinkel mit Biegung
 - Gk 7: Trägerflansch und -steg mit Druck
 - Gk 8: Trägersteg mit Zug
 - Gk 10: Schrauben mit Zug
 - Gk 11: Schrauben mit Abscheren
 - Gk 12: Schrauben mit Lochleibung
 - Gk 20: Gevouteter Träger mit Druck
 - Gk 15: Stirnblech mit Trennschicht
 - alle an/aus
- keine Berechnung der Grundkomponenten**

Bei reduzierter Eingabe können keine benutzerspezifischen Grundkomponenten ausgewählt werden.

Nachweise

Das Programm 4H-EC3BT weist die Tragfähigkeit einer Verbindung über die Komponentenmethode nach.

Dabei werden je Anschlussgeometrie (s. [Register 3, 4](#)) nur die relevanten Tragfähigkeiten ermittelt und optional Nachweise geführt.

Es gilt

- die Tragfähigkeit nach der Komponentenmethode wird nicht für geschweißte Trägerstöße ermittelt, da die Tragfähigkeit des Stoßes nur von den Schweißnähten abhängt
- bei Stirnblechanschlüssen mit dominierender Normalkraftbeanspruchung führt die MN-Interaktion i.A. zu wirtschaftlicheren Ergebnissen
- die Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit aus Querkraftbeanspruchung ist nur für geschraubte Verbindungen relevant. Auf der sicheren Seite liegend kann die Querkrafttragfähigkeit mit einem vereinfachten Verfahren ermittelt werden.
- zusätzlich oder alternativ zu den Nachweisen mit der Komponentenmethode nach EC 3-1-8, 6.2.2 und 6.2.7, können die berechneten Grundkomponenten auch mit **Teilschnittgrößen** nachgewiesen werden
- ist eine Voute angeordnet, kann neben dem Anschluss der Voute an die Stütze optional der Anschluss der Voute an den Träger berücksichtigt werden
- **Schweißnähte** werden bei geschweißten Verbindungen und Stirnblechverbindungen über den Linienquerschnitt nachgewiesen.

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

- das Schweißverfahren geht in die Nachweise der Schweißnähte und der Stegsteifen ein
- Stegsteifen (Rippen) können optional nachgewiesen werden
- der elastische Schubfeldnachweis ist zu führen, wenn Gk 1 nicht zulässig ist
- die Querschnittstragfähigkeiten der Profile sowie der Stegsteifen (Rippen) können mit dem 'Elastisch-Plastischen' und 'Elastisch-Elastischen' Verfahren berechnet werden

- Nachweise führen**
- Komponentenmethode nach Eurocode 3
 - MNV-Interaktion nach Cerfontaine (s. Jaspert/Weynand)
 - einschl. Querkraft (nur bei geschraubtem Anschluss)
 - vereinfachte Berechnung der Querkrafttragfähigkeit
- Grundkomponenten mit Teilschnittgrößen (alternative Methode)
- Nachweis des Voute-Trägeranschluss'
- Stegsteifen (Rippen)
 - Nachweisverfahren 'Elastisch-Plastisch'
 - Nachweisverfahren 'Elastisch-Elastisch'
- elastischer Schubfeldnachweis

- Schweißnähte (Nachweis über den Linienquerschnitt)
 - Nachweis mit dem richtungsbezogenen Verfahren
 - Nachweis mit dem vereinfachten Verfahren

- Rotationssteifigkeit

- Querschnittstragfähigkeit

Bei Bedarf kann die **Rotationssteifigkeit** einer Träger-Stützen-Verbindung für die berechneten Grundkomponenten ermittelt werden.

Dabei ist es nicht relevant, ob die **komplette Berechnung** aktiviert ist oder benutzerdefinierte **Grundkomponenten ausgewählt** sind.

Optional kann ein **Querschnittsnachweis** des Trägers und/oder der Stütze für die eingegebenen Schnittgrößenkombinationen in der Anschlussebene durchgeführt werden.

Bei reduzierter Eingabe werden alle Nachweise für die eingegebenen Schnittgrößen (einschl. Querkraft) geführt (Ausnahme: geschweißter Trägerstoß, s.o.), dabei jedoch nicht die Methode mit Teilschnittgrößen angewandt.

Der Voute-Träger-Anschluss wird ebenfalls nicht betrachtet.

Verschiedenes

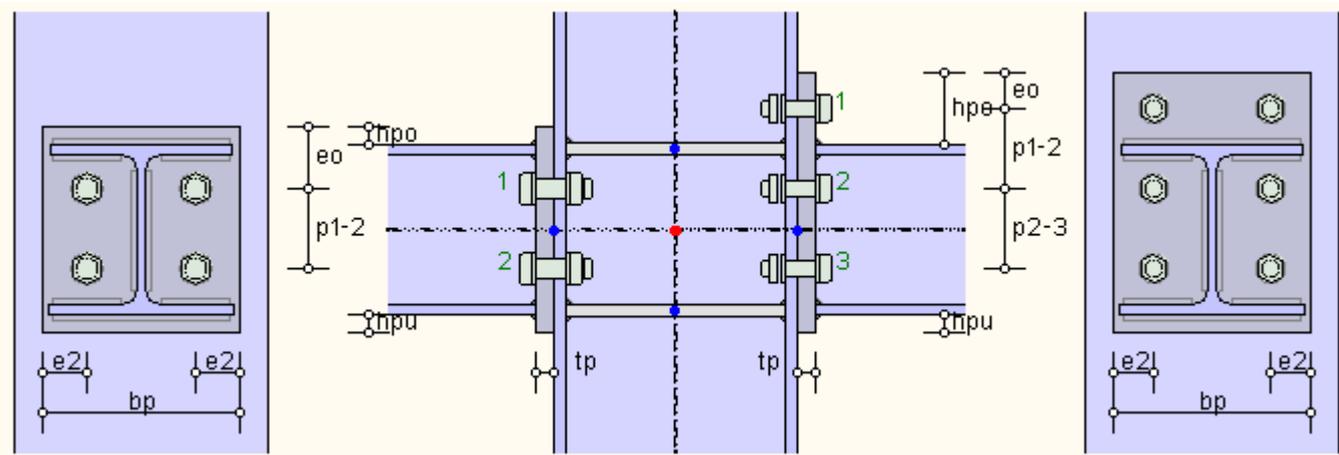
Zur Berechnung von Gleichgewichtssystemen und händischer Eingabe der Schnittgrößen empfiehlt es sich, bei einer einseitigen Träger-Stützenverbindung die Schnittgrößen einer Anschlussseite vom Programm berechnen zu lassen. Bei Aktivierung dieser Option werden die Schnittgrößen des oberen Stützenanschnitts berechnet.

Das Programm 4H-EC3BT bietet die Möglichkeit, die zur visuellen Kontrolle vorhandenen Bildschirmgraphiken entweder innerhalb des jeweiligen Eingabefensters anzuordnen oder in einem separaten Fenster anzuzeigen, um die Eingaberegister optimal für die Dateneingabe auszunutzen.

- Gleichgewicht (Schnittgrößen der Stütze (oben) werden berechnet)
- Bildschirmgrafik im separaten Fenster anzeigen

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

Ebenso sind die wesentlichen Parameter der Abmessungen bezeichnet.



Profile und Verstärkungen



im Register 2 befinden sich die Angaben zum Stützen-Profil und zu den Trägerprofilen.

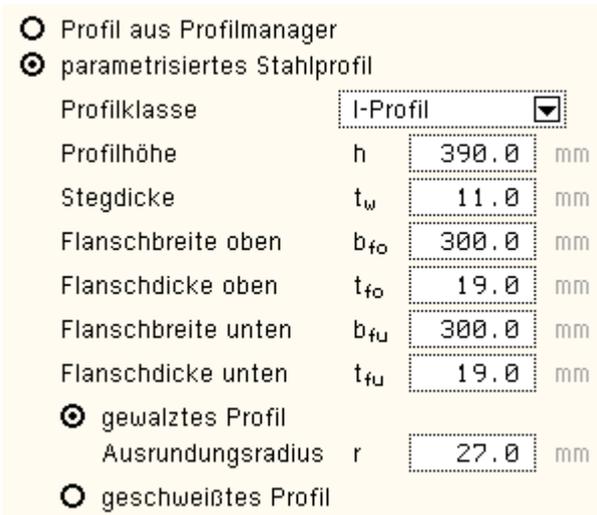
Profile

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



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

Das externe Programm wird aufgerufen und ein Profil kann aktiviert werden. Bei Verlassen des Profilmanagers werden die benötigten Daten übernommen und der Profilname protokolliert.



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

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

Andere Profilklassen sind in der Listbox farblich gekennzeichnet, können protokolliert und gezeichnet, jedoch als

Verbindungselement nicht verwendet werden.

Winkelprofile, die bei Träger-Stützen-Anschlüssen mit Flanschwinkeln einzugeben sind, werden unter Vorgabe des 'L-Profils' entweder aus der Profildatei entnommen oder als typisiertes Profil über die vorgegebenen Parameter definiert.

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

Es kann zwischen Kehlnähten und durchgeschweißten Stumpfnähten unterschieden werden.

- gewalztes Profil
 geschweißtes Profil
 Kehlnaht: Dicke a_o mm
 Stumpfnah
 Kehlnaht: Dicke a_u mm
 Stumpfnah

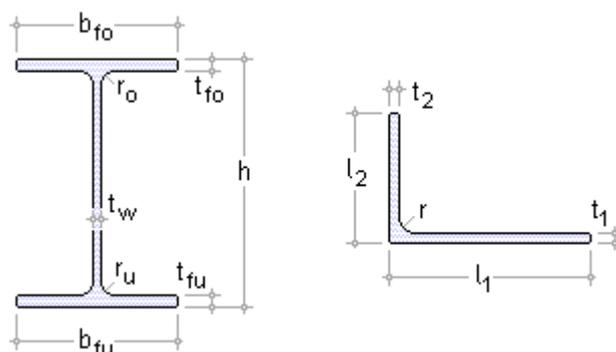
Diese Schweißnähte werden **nicht** nachgewiesen.

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

L-Profile können unterschiedlich dicke und lange Schenkel aufweisen.

Bei reduzierter Eingabe (s. [Register 1](#)) sind die Profilabmessungen symmetrisch, d.h. es gilt z.B. bei Doppel-T-Profilen $b_{fu} = b_{fo}$, $t_{fu} = t_{fo}$ bzw. bei Winkeln $t_2 = t_1$.

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



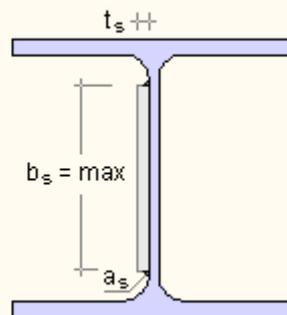
Verstärkungen

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

Ebenso können bei gevouteten Anschlüssen am Übergang von Träger zur Voute Stegsteifen das Trägerprofil verstärken.

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

- Verstärkung des Stützenprofils durch Stegbleche**
 ein Stegblech zwei Stegbleche
 Blechdicke t_s mm $t_s = 0$: Stegdicke
 Blechlänge l_s mm $l_s = 0$: Trägerhöhe
 Schweißnahtdicke a_s mm
 Kontrolle der Abmessungen



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

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

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

Wird jedoch die Kontrolle der Abmessungen unterdrückt, wird nur die Fehlermeldung ausgegeben, die

Berechnung aber fortgesetzt.

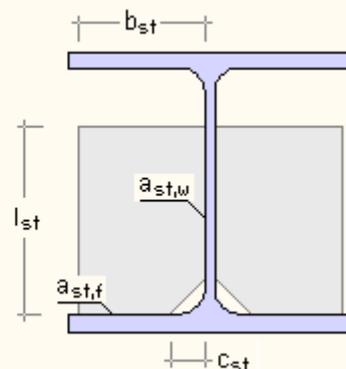
Ein Nachweis der Schweißnähte um das Stegblech herum erfolgt **nicht**.

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

- die Stegblechbreite b_{st} wird entsprechend der Steghöhe des Profils (ohne Ausrundung bzw. Schweißnahtschenkel) gesetzt
- bei $l_{st} = 0$ wird die Stegblechlänge gleich der Gesamthöhe des angeschlossenen Profils gesetzt. Falls zusätzlich Stegsteifen angeordnet sind, wird die Stegblechlänge in die Steifen eingepasst.
- bei $t_s = 0$ entspricht die Stegblechdicke der Stegdicke des Profils

Bei reduzierter Eingabe werden die Abmessungen der Stegbleche vom Programm gesetzt.

<input checked="" type="checkbox"/> Verstärkung des Stützenprofils durch Stegsteifen			
Blechdicke	t_{st}	15.0	mm
Blechbreite	b_{st}	130.0	mm $b_{st} = 0$: Flanschrand - Steg
Blechlänge	l_{st}	200.0	mm $l_{st} = 0$: Flansch - Flansch
Aussparung an den Steifen	c_{st}	40.0	mm $c_{st} = 0$: 1.5xRundungsradius
Schweißnahtdicke am Stützenflansch	$a_{st,f}$	4.0	mm
Schweißnahtdicke am Stützensteg	$a_{st,w}$	4.0	mm



Stegsteifen (Rippen) werden beidseitig an Flansch und Steg der Stütze angeschweißt. Die Länge der Stegsteifen muss aus konstruktiven Gründen den folgenden Anforderungen genügen

- die maximale Länge der Stegsteifen kann die Steghöhe (einschl. Ausrundungen) nicht überschreiten
- ist die Länge kleiner als die zweifache Aussparungslänge, wird sie zu Null gesetzt
- eine Länge von Null wird als maximale Länge (s.o.) interpretiert
- ist die Länge kleiner als die maximale Länge, wird sie auf eine Länge von Steghöhe reduziert um die Aussparung begrenzt

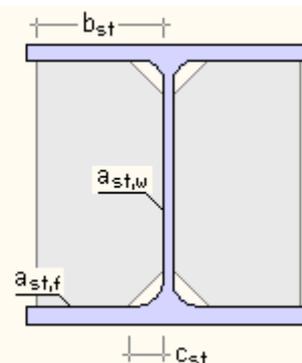
Die **Stegsteifen** können nachgewiesen werden.

Es besteht die Möglichkeit, die Abmessungen der Steifen vom Programm sinnvoll belegen zu lassen, d.h.

- bei $b_{st} = 0$ wird die Breite einer Stegsteife entsprechend des Abstands vom Rand des Profilflanschs zum Steg gesetzt
- bei $l_{st} = 0$ wird die Länge der Steifen gleich der Steghöhe des Profils gesetzt
- bei $c_{st} = 0$ entspricht die Aussparung an den Steifen dem 1.5-fachen Ausrundungsradius bzw. der 1.5-fachen Schenkellänge der Schweißnaht des geschweißten Profils

Bei reduzierter Eingabe werden die Abmessungen der Stegsteifen vom Programm gesetzt.

<input checked="" type="checkbox"/> Verstärkung des Trägerprofils durch Stegsteifen nur bei Vouten			
Blechdicke	t_{st}	10.0	mm
Blechbreite	b_{st}	90.0	mm $b_{st} = 0$: Flanschrand - Steg
Aussparung an den Steifen	c_{st}	30.0	mm $c_{st} = 0$: 1.5xRundungsradius
Schweißnahtdicke am Trägerflansch	$a_{st,f}$	4.0	mm
Schweißnahtdicke am Trägersteg	$a_{st,w}$	4.0	mm



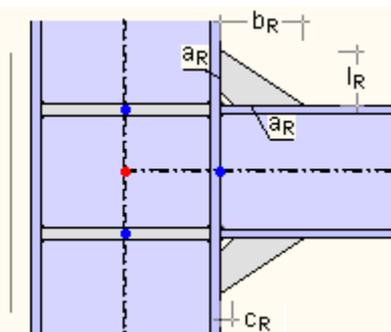
Bei gevouteten Verbindungen können zur Druckverstärkung des Trägerstegs am Anschluss Voute/Träger Stegsteifen angeordnet werden.

Die Parameterbeschreibung entspricht derjenigen der Stützensteifen (s.o.), lediglich die Eingabe einer Steifenlänge ist unterbunden, da Drucksteifen nur als zwischenliegende, d.h. von Flansch zu Flansch durchgehende Stegsteifen wirksam sind.

Verstärkung der Verbindung durch Dreieckrippen

nicht bei geneigten, gevouteten Anschlüssen

Blechdicke	t_R	12.0	mm	
Blechbreite	b_R	120.0	mm	$b_R = 0$: wie Länge
Blechlänge	l_R	80.0	mm	
Aussparung an den Rippen	c_R	20.0	mm	$c_R = 0$: 1.5xNahtschenkel
Schweißnahtdicke	a_R	5.0	mm	

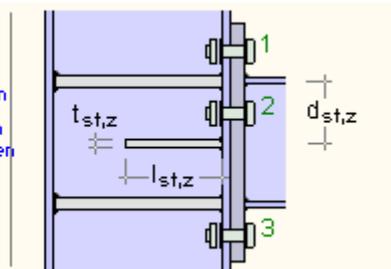


Die Dreieckrippen werden in der Achse des Stützen- bzw. Trägerstegs zwischen Träger- und Stützenflansch geschweißt und dienen dazu, die Drucktragfähigkeit des Trägerflanschs zu erhöhen.

Verstärkung der Verbindung durch Zwischensteifen

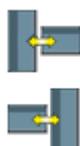
nur beim Träger-Stützenanschluss

Blechdicke	$t_{st,z}$	12.0	mm	$t_{st,z} = 0$: wie Stützensteifen
Blechlänge	$l_{st,z}$	140.0	mm	$l_{st,z} = 0$: wie Stützensteifen b, c, a_f, a_w s. Stützensteifen
Abstand von der oberen Stützensteife	$d_{st,z}$	90.0	mm	



Zwischensteifen können die Tragfähigkeit des Stützenflanschs erhöhen, sind jedoch für die Bemessung des Stegfelds selber belanglos. Daher dürfen sie als kurze Steifen ausgebildet werden.

Anschlussparameter



Register 3 und 4 enthalten Angaben zu den Parametern je Anschlussseite.

Der rechte Anschluss wird in Register 3, der linke in Register 4 beschrieben.

Die Beschreibung eines Trägerstoßes erfolgt in Register 3.

Farbig unterlegte Parameter gelten für rechts- und linksseitige Anschlüsse gleichermaßen.

Anschlusskonfigurationen

Folgende Anschlusskonfigurationen werden angeboten

- geschweißter Träger-Stützen-Anschluss
- geschweißter Trägerstoß (voll durchgeschweißt)
- geschraubter Träger-Stützen-Anschluss
 - Anschluss über ein Stirnblech
 - ... über Flanschwinkel
- geschraubter Trägerstoß, Anschluss über zwei Stirnbleche

geschweißter Träger-Stützen-Anschluss



Abstand der Trägeroberkante zum freien Rand der Stütze
($e'_1 = 0$: kein freier Stützenrand)

e'_1

- geschraubter Stimblechanschluss
 geschraubter Flanschwinkelanschluss

Schweißnähte

Trägerflansch oben:

wirksame Nahtdicke a

Trägersteg:

wirksame Nahtdicke a

Trägerflansch unten:

wirksame Nahtdicke a

% der Druckspannung über Kontakt abtragen

Schweißnähte überprüfen

Befindet sich der Anschluss im Endbereich der Stütze, ist der Abstand der Trägeroberkante zum freien Rand der Stütze anzugeben. Ist der Wert Null, bleibt ein freier Stützenrand unberücksichtigt.

Es ist zu beachten, dass die Berechnungsmethoden davon ausgehen, dass ein Träger an eine durchlaufende Stütze angeschlossen wird. Wird mit $e'_1 > 0$ ein Stützenende vorgegeben, sind weitere Untersuchungen (z.B. Schubbeulen des Stützenstegs) erforderlich.

Bei reduzierter Eingabe ist die Stütze durchlaufend.

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

Die Abrundungen zwischen Steg und Flanschen sind ausgespart.

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

Programmintern werden eine Reihe von Checks bzgl. der Schweißnaht und der zu verbindenden Bleche durchgeführt. Diese Überprüfung kann unterdrückt werden.

Der Träger kann geneigt und mittels einer Voute im Anschlussbereich verstärkt sein (s.u.).

geschweißter Trägerstoß

- voll durchgeschweißte Stumpfnah
 nicht durchgeschweißte Stumpfnah
 Zwischenblech mit Kehlnähten

Blechedicke t_{zw}

Überstandshöhe oben $h_{zw,O}$

Überstandshöhe unten $h_{zw,U}$

Der Trägerstoß kann entweder mit Stumpfnähten oder durch Anordnung eines Zwischenblechs mit Kehlnähten ausgeführt werden.

Stumpfnähte können voll durchgeschweißte oder nicht durchgeschweißte (entweder als Doppel-Y-Naht oder einseitig als HY-Naht) ausgeführt werden.

Bei einer nicht durchgeschweißten Stumpfnah sind die Schweißnahtdicken (s. [geschweißter Träger-Stützen-Anschluss](#)) anzugeben.

Erfolgt die Verbindung mittels eines Zwischenblechs, sind Blechedicke und die Überstandshöhen für die grafische Darstellung vorzugeben. Das Zwischenblech wird nicht nachgewiesen.

Der Träger kann geneigt und/oder mittels einer Voute im Kontaktbereich verstärkt sein (s.u.).

geschraubter Träger-Stützen-Anschluss über ein Stirnblech

Stirnblech

Blechdicke	t_p	<input type="text" value="20.0"/>	
Blechbreite	b_p	<input type="text" value="220.0"/>	
Stahlsorte		<input type="text" value="S235"/>	<input type="checkbox"/> Vorgabe
Kennung		<input type="text"/>	
Überstandshöhe oben	$h_{p,o}$	<input type="text" value="80.0"/>	
Überstandshöhe unten	$h_{p,u}$	<input type="text" value="20.0"/>	
Länge des Stirnblechs	l_p	<input type="text" value="290.0"/>	

Schweißnähte

Trägerflansch oben	a	<input type="text" value="8.0"/>
Trägersteg	a	<input type="text" value="6.0"/>
Trägerflansch unten	a	<input type="text" value="8.0"/>

% der Druckspannung über Kontakt abtragen

Schweißnähte überprüfen

Schrauben

Schraubengröße	<input type="text" value="M20"/>	<input type="checkbox"/> Vorgabe
Festigkeitsklasse	<input type="text" value="10.9"/>	<input type="checkbox"/> Vorgabe

normale Schlüsselweite große Schlüsselweite
FK 8.8 oder 10.9: HU-Schraube planmäßig vorgespannt

Passschraube
 gleitfeste Verbindung
 Gewinde liegt in der Scherfuge
 Schaft liegt in der Scherfuge
 Futterblech (Flanschverstärkung)

Schraubenreihen

Anzahl der Schraubenreihen	n	<input type="text" value="3"/>
Schraubenabstand zum seittl. Rand des Stirnblechs	e_2	<input type="text" value="30.0"/>
Schraubenabstand (Endreihe) zum oberen Rand des Stirnblechs	e_o	<input type="text" value="40.0"/>
Schraubenabstand (Endreihe) zum freien Rand der Stütze ($e'1 = 0$: kein freier Stützenrand)	$e'1$	<input type="text" value="0.0"/>
Abstand von oben der Schraubenreihen voneinander	p_{1-2}	<input type="text" value="90.0"/>
	p_{2-3}	<input type="text" value="90.0"/>

- alle Schraubenreihen einzeln betrachten
- Zug-Schrauben aus elast. Spannungsverteilung
nur bei der Komponentenmethode nach EC 3
- Schraubengruppen automatisch bilden
Berücksichtigung der maßgeb. aller Gruppe(n)
- Schraubenabstände überprüfen
- T-Stummel: seittl. Abstände kontrollieren
- Schraubentragfähigkeit beschränken
immer beim Nachweis mit Teilschnittgrößen
- T-Stummel: Schweißnähte berücksichtigen
- T-Stummel: alternatives Verfahren
- T-Stummel: wenn Schraubenreihe im Überstand, auf korrespondierende Reihe prüfen
- Blockversagen nicht untersuchen
- Schubnachweis des Stirnblechs

Stützenstegfeld

Übertragungsparameter ($\beta_j = 0$: automatisch)	β_j	<input type="text" value="0.00"/>
--	-----------	-----------------------------------

Stirnblech

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

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

Des Weiteren muss die Lage des Trägers auf dem Stirnblech über die Überstandshöhen oberhalb und unterhalb der Trägerflansche definiert werden. Das Stirnblech kann bündig mit dem Träger abschließen (Überstandshöhe = 0).

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

Schweißnähte

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

Schrauben

Ist kein einheitlicher Schraubentyp vereinbart (s. [Register 1](#)) wird an dieser Stelle derjenige für den Stirnblechanschluss festgelegt.

Darüber hinausgehend befinden sich hier die Parameter, die nur diesen (rechten oder linken) Anschluss betreffen.

gleitfest, Gleitflächenklasse

Gewinde liegt in der Scherfuge
 Schaft liegt in der Scherfuge

Futterblech (Flanschverstärkung)

Blechdicke t_{bp}
 Blechbreite b_{bp}
 Blechlänge l_{bp}

Stahlsorte Vorgabe
 Kennung

Vorgespannte Schrauben können den Anschluss gleitfest verbinden. Dazu ist die Gleitfestigkeitsklasse der zu verbindenden Bleche festzulegen

Klasse A: Reibungszahl $\mu = 0.5$, Kl. B: $\mu = 0.4$, Kl. C: $\mu = 0.3$, Kl. D: $\mu = 0.2$

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

Futterbleche dienen der Verstärkung des Stützenflanschs und werden i.A. zwischen Flansch und Schraubenmutter angeordnet. Bei Trägerstößen wird kein Futterblech berücksichtigt.

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

Schraubenreihen

Es kann eine beliebig große Anzahl an Schraubenreihen eingegeben werden, wobei die Norm nur zwei Schrauben je Reihe zulässt.

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

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

Entsprechendes gilt für die Schraubenreihe im Überstand unterhalb des Trägers.

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

Befindet sich der Stirnblechanschluss im Endbereich der Stütze, ist der Abstand der ersten Schraubenreihe zum freien Rand der Stütze anzugeben. Ist der Wert Null, bleibt ein freier Stützenrand unberücksichtigt; andernfalls muss er größer als der Abstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs sein.

Es ist zu beachten, dass die Berechnungsmethoden davon ausgehen, dass ein Träger an eine durchlaufende Stütze angeschlossen wird. Wird mit $e'_1 > 0$ ein Stützenende vorgegeben, sind weitere Untersuchungen (z.B. Schubbeulen des Stützenstegs) erforderlich.

Bei reduzierter Eingabe ist die Stütze durchlaufend.

Die Schrauben sind auf Zug/Biegung und Schub nachzuweisen. Dabei darf festgelegt werden, welche Schrauben die Belastung senkrecht zur Anschlussebene (Zug/Biegung) und welche Schrauben die Belastung parallel zur Anschlussebene (Schub) aufnehmen. Idealerweise übernehmen die Zugschrauben die Biegung, die Schrauben auf der Druckseite den Schub. Bei großer Belastung müssen jedoch Schrauben beide Belastungsformen über eine Interaktionsbeziehung tragen.

alle Schraubenreihen einzeln betrachten
 Schraubengruppen automatisch bilden

Berücksichtigung der maßgeb. aller Gruppe(n)

Schraubenreihen für Zug oben
 gezählt vom Zugrand n_{zo}

Schraubenreihen f. Abscheren
 gezählt vom Druckrand n_{qo}

Schraubenreihen für Zug unten
 gezählt vom Zugrand n_{zu}

Schraubenreihen f. Abscheren
 gezählt vom Druckrand n_{qu}

Da sowohl positive als auch negative Biegemomente auftreten können, sind die Anzahlen an Schrauben bei Schnittgrößenkombinationen mit positiven Momenten (Zug oben), negativen Momenten (Zug unten) sowie zur Untersuchung der Abscher-Lochleibungstragfähigkeit bei Schubbelastung festzulegen.

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

Daher besteht alternativ die Möglichkeit, alle Schrauben einzeln zu betrachten.

Für die Untersuchung der Schraubengruppen können ebenfalls die Gruppen entweder vom Anwender bestimmt oder automatisch gebildet werden. Die angegebenen Schraubenreihen für Zug oben/unten werden als Schraubengruppe behandelt.

Bei automatischer Gruppenbildung werden zwei Verfahren unterschieden, wobei die Unterschiede besonders bei einer großen Anzahl an Schraubenreihen deutlich werden. Bei Berücksichtigung der maßgebenden Gruppe wird von der Zugseite beginnend die Gruppe mit der größten Tragfähigkeit gesucht, bei Berücksichtigung aller Gruppen werden auch Gruppen gebildet, deren erste Reihe nicht am Zugrand liegt.

Auf der sicheren Seite liegend können auch nur Schrauben, die auf der elastischen Zugspannungsseite liegen, verwendet werden.

Optional können die Schraubenabstände nach EC 3-1-8, Tab.3.3, überprüft und dokumentiert werden.

Diese Kontrolle kann auf die seitlichen Abstände des Äquivalenten T-Stummels ausgedehnt werden.

Bei der Berechnung der Stirnplattenverbindung mit der Komponentenmethode ist für die endgültige Bildung des Tragemoments die maximale Tragkraft der Schrauben zu kontrollieren. Optional kann diese Kontrolle unterbunden werden, indem die Schraubentragfähigkeit auf 95% beschränkt wird.

Die Schweißnähte, die zur Bildung des Äquivalenten T-Stummels (zusammengesetzter Querschnitt) vorhanden sind, können traglastrelevant sein. Der Nachweis kann unterdrückt werden.

Die Tragfähigkeit des Äquivalenten T-Stummels kann optional mit dem alternativen Verfahren berechnet werden.

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

Der Anschluss kann optional auf Blockversagen der Schrauben mit dem Stirnblech untersucht werden.

Optional kann die Tragfähigkeit des Stirnblechs bzgl. Schub in die Anschlusstragfähigkeit integriert werden.

Bei reduzierter Eingabe wird ein Teil der o.a. Einstellungen von **pcae** sinnvoll vorgenommen.

Stützenstegfeld

Die Berechnung von stützenspezifischen Grundkomponenten basiert auf der Annahme des Übertragungsparameters β_j , der die Interaktion zwischen dem rechten und linken Anschluss beschreibt. Auch bei einseitigen Anschlüssen wird der Eingabewert berücksichtigt.

Ist der Wert Null, wird der Übertragungsparameter vom Programm bestimmt.

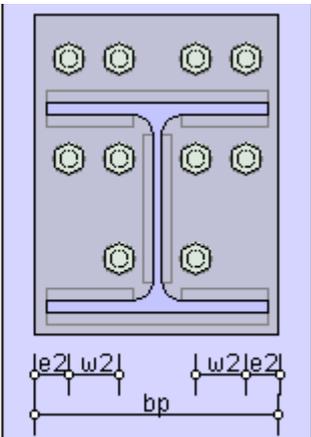
Der Träger kann geneigt und/oder mittels einer Voute im Anschlussbereich verstärkt sein (s.u.).

geschraubter Trägerstoß mit Stirnblech

Da die Berechnung eines Trägerstoßes bis auf die Anteile, die die Stütze betreffen, nahezu identisch ist mit der Berechnung eines Träger-Stützen-Anschlusses, reduziert sich die Eingabe der Anschlussparameter des Träger-Stützen-Anschlusses um den Wert, der die Stütze betrifft, nämlich den Abstand der ersten Schraubenreihe vom freien Rand der Stütze.

Zur Beschreibung der weiteren Parameter s. geschraubter Träger-Stützen-Anschluss über ein **Stirnblech**.

Anzahl der Schraubenreihen	n	<input type="text" value="3"/>	
Anzahl Schrauben je Reihe (maximal)		<input type="text" value="4"/>	Anordnung
Berechnungsmethode für Gk 5	AIF-Bericht	<input type="text" value="AIF-Bericht"/>	
Schraubenabstand zwischen Außen- und Innenschraube	w ₂	<input type="text" value="45.0"/>	
Schraubenabstand zum seittl. Rand des Stirnblechs	e ₂	<input type="text" value="30.0"/>	
Schraubenabstand (Endreihe) zum oberen Rand des Stirnblechs	e ₀	<input type="text" value="40.0"/>	<input type="text" value="♦♦♦♦"/>
Abstand von oben der Schraubenreihen voneinander	ρ ₁₋₂	<input type="text" value="90.0"/>	<input type="text" value="♦♦♦♦"/>
	ρ ₂₋₃	<input type="text" value="90.0"/>	<input type="text" value="♦♦♦♦"/>



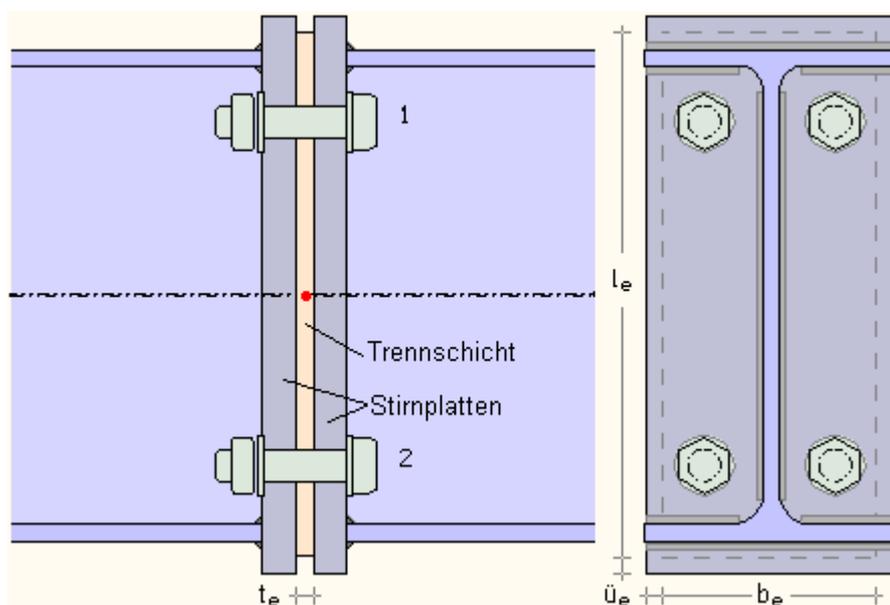
Außerdem besteht die Möglichkeit, zwei oder vier Schrauben je Reihe anzuordnen. Die Erweiterung auf vier Schrauben je Schraubenreihe wurde zunächst nur mit einer typisierten IH2- oder IH4-Verbindung umgesetzt, später jedoch auf allgemeine Schraubenschemata erweitert (s. [Basisverbindungen](#)). Hierfür sind die Berechnungsvorschrift für Grundkomponente 5 (Stirnblech mit Biegung) sowie der Abstand zwischen Außen- und Innenschraube festzulegen.

Die Anordnung der Schrauben wird über eine Symbolliste je Reihe festgelegt, wobei entweder alle vier Schrauben oder nur die zwei Außen- bzw. die zwei Innenschrauben vorhanden sein können.

Die Schraubentypen werden ausschließlich 'einheitlich' (s. [Register 1](#)) definiert.

Thermische Trennschicht

Um Kältebrücken zu vermeiden, kann eine thermische Trennschicht zwischen den Stirnplatten angeordnet werden.



Für den Nachweis der Tragfähigkeit sowohl der thermischen Trennschicht als auch des Anschlusses sind folgende Werte zu belegen.

<input checked="" type="checkbox"/>	thermische Trennschicht		
	Kerncompactlager der Calenberg Ingenieure GmbH		
Schichtdicke	t _e	<input type="text" value="10"/>	
allseitiger Randabstand	ü _e	<input type="text" value="10.0"/>	
Schichtlänge	l _e	<input type="text" value="270.0"/>	
Schichtbreite	b _e	<input type="text" value="200.0"/>	
Vorspannkraft je Schraube	F _{p,C}	<input type="text" value="80.0"/>	kN

Die Dicke der Trennschicht sollte die Stirnplattendicke bzw. 20 mm nicht überschreiten.

Die Trennschicht befindet sich im Bereich des Trägers und schließt in Breiten- und Höhenrichtung sämtliche Schrauben mit ausreichendem Überstand ein.

Die Abmessungen sind so zu wählen, dass die Trennschicht aufgrund der möglichen Stauchungsauswölbung nicht über die Stirnplatten hinausragt.

Bei nicht gleitfester Verbindung kann an dieser Stelle eine Vorspannkraft je Schraube vorgegeben werden, bei gleitfester Verbindung wird die Vorspannkraft mit den Schraubenparametern abgefragt.

Die Parameter werden im Rahmen der Beschreibung des **Trennschichtnachweises** näher erläutert.

geschraubter Träger-Stützen-Anschluss über Flanschwinkel

Flanschwinkel

- Profil aus Profilmanager
 parametrisiertes Stahlprofil

L-Profil



Profilname

Stahlsorte Vorgabe

Kennung

Länge der Flanschwinkel b_a

Spalt g_a
 zw. Stützenflansch und Träger

Schrauben

Schraubengröße Vorgabe

Festigkeitsklasse Vorgabe

normale Schlüsselweite große Schlüsselweite

Passschraube FK 8.8 oder 10.9: HV-Schraube planmäßig vorgespannt

gleitfeste Verbindung

Gewinde liegt in der Scherfuge

Schaft liegt in der Scherfuge

Futterblech (Flanschverstärkung)

Schraubenreihen

Schraubenabstand e_2

zum seitt. Rand des Winkelprofils

Schraubenabstand (Endreihe) e_o

zum freien Rand des Winkelschenkels 2

Schraubenabstand (Endreihe) e'_1

zum freien Rand der Stütze

($e'_1 = 0$: kein freier Stützenrand)

Anzahl der Schraubenreihen n_t

Winkelschenkel 1 am Trägerflansch

Schraubenabstand (Endreihe) e_t

zum freien Rand des Winkelschenkels 1

Schraubenabstand p_t

Winkelschenkel 1 am Trägerflansch

Schraubenabstände überprüfen

T-Stummel: seittl. Abstände kontrollieren

Biegung des Winkelschenkels berücksichtigen

Stützenstegfeld

Übertragungsparameter β_j

($\beta_j = 0$: automatisch)

Die Flanschwinkel werden mit Winkelschenkel 1 am Ober- und Untergurt des Trägers angeschraubt und über Winkelschenkel 2 mit dem Stützenflansch verbunden.

Zur Wahl der Winkelprofile s. **Profile**.

Die Länge der Flanschwinkel sowie der Spalt, der sich ggf. zwischen Stütze und Träger ergibt, sind vorzugeben.

Eine Spaltbreite größer als die Dicke des Winkelschenkels 2 (Schenkel am Stützenflansch) führt zu einem Programmabbruch.

Der Träger kann weder geneigt noch mittels einer Voute im Kontaktbereich verstärkt sein.

Schraubenreihen

Es kann nur eine Schraubenreihe im Schenkel am Stützenflansch berücksichtigt werden, wohingegen sich am Trägerflansch beliebig viele Schraubenreihen befinden können (EC 3-1-8, 6.2.6.6(3)).

Zur Anordnung der Schrauben auf dem Winkelprofil ist der Schraubenabstand zum seitlichen Rand des Profils anzugeben.

Reihe am Stützenflansch (Winkelschenkel 2)

Außerdem ist die Angabe des Abstands der Schraubenreihe am Stützenflansch zum freien Rand des Winkelschenkels 2 erforderlich.

Befindet sich der Anschluss mit Flanschwindeln im Endbereich der Stütze, ist der Abstand der Schraubenreihe am Stützenflansch zum freien Rand der Stütze anzugeben. Ist der Wert Null, bleibt ein freier Stützenrand unberücksichtigt, andernfalls muss er größer als der Abstand der Schraubenreihe zum freien Rand des Winkelschenkels 2 sein.

Die Schrauben am Stützenflansch werden auf Zug/Biegung und Abscheren/Lochleibung bemessen.

Reihen am Trägerflansch (Winkelschenkel 1)

Eine beliebige Anzahl an Schraubenreihen im Winkelschenkel 1 am Trägerflansch kann vorgegeben werden.

Der Abstand der letzten Reihe zum freien Rand des Winkelschenkels 1 sowie die (gleichmäßigen) Abstände der weiteren Schraubenreihen müssen definiert werden.

Die Schrauben am Trägerflansch werden nur auf Abscheren/Lochleibung bemessen.

Zur Beschreibung der weiteren Parameter s. geschraubter Träger-Stützen-Anschluss über ein **Stirnblech**.

Besonderheiten bei Trägerneigung und Vouten

<input checked="" type="checkbox"/> Trägerneigung	α_b	<input type="text" value="7.00"/>	°
<input checked="" type="checkbox"/> Voute			
Neigungswinkel ($\alpha_v \geq \alpha_b$) -> Änderung der Voutenhöhe	α_v	<input type="text" value="30.00"/>	°
Länge der Voute -> Änderung der Voutenhöhe	L_v	<input type="text" value="500.0"/>	mm
Höhe der Voute am Anschnitt -> Änderung des Neigungswinkels	h_v	<input type="text" value="227.3"/>	mm
Stegblechdicke	$t_{w,v}$	<input type="text" value="8.0"/>	mm
Flanschbreite	$b_{f,v}$	<input type="text" value="100.0"/>	mm
Flanschdicke	$t_{f,v}$	<input type="text" value="12.0"/>	mm
<input type="radio"/> gewalztetes Voutenprofil			
<input checked="" type="radio"/> geschweißtes Voutenprofil			
Schweißnahtdicke	a_v	<input type="text" value="6.0"/>	mm

Der Träger kann beliebig (bis maximal 85°) geneigt sein; zudem kann eine Voute zur Verstärkung des Trägers im Anschlussbereich angeordnet werden.

Die Neigungswinkel α_b und α_v beziehen sich auf die Senkrechte zur Stütze (i.A. die horizontale Achse).

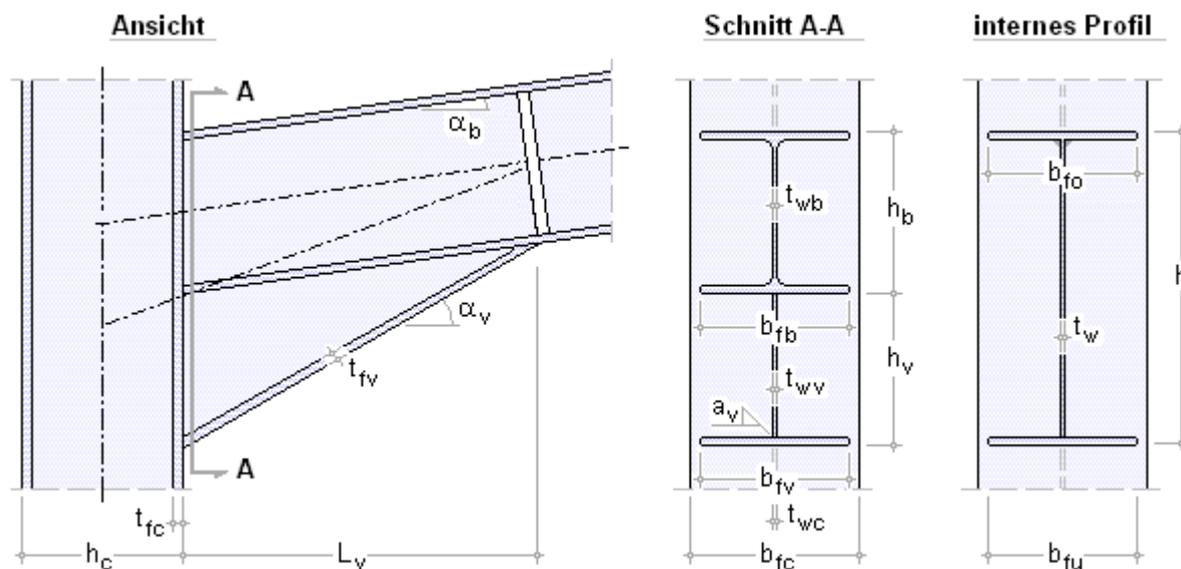
Die Voute wird als T-Träger ausgeführt, dessen Neigungswinkel größer als die Trägerneigung sein muss.

Des Weiteren dürfen nach EC 3-1-8, 6.2.6.7(2),

- die Flanschdicke der Voute nicht kleiner als die Trägerflanschdicke
- die Flanschbreite der Voute nicht kleiner als die Trägerflanschbreite
- die Stegdicke der Voute nicht kleiner als die Trägerstegdicke
- die Voutenneigung nicht größer als 45° sein

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

Zur Verstärkung des Trägerprofils an der Kontaktstelle von Voute und Trägerflansch können Stegsteifen (Rippen) angeordnet werden (s. **Verstärkungen**).



Die Profilkennwerte in der Anschluss- (Nachweis-)ebene werden über Winkelfunktionen angepasst.

Weiterhin wird bei Verwendung einer Voute der untere Trägerflansch ignoriert.

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

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

Sämtliche weiteren Querschnittswerte beziehen sich auf diese Größen.

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

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

Ebenso wird bei geschweißtem Trägerprofil der untere Profilflansch nicht dargestellt (s.u.).

Druckausgabe

Die Druckausgabe kann durch die **Ausdrucksteuerung** beeinflusst werden.

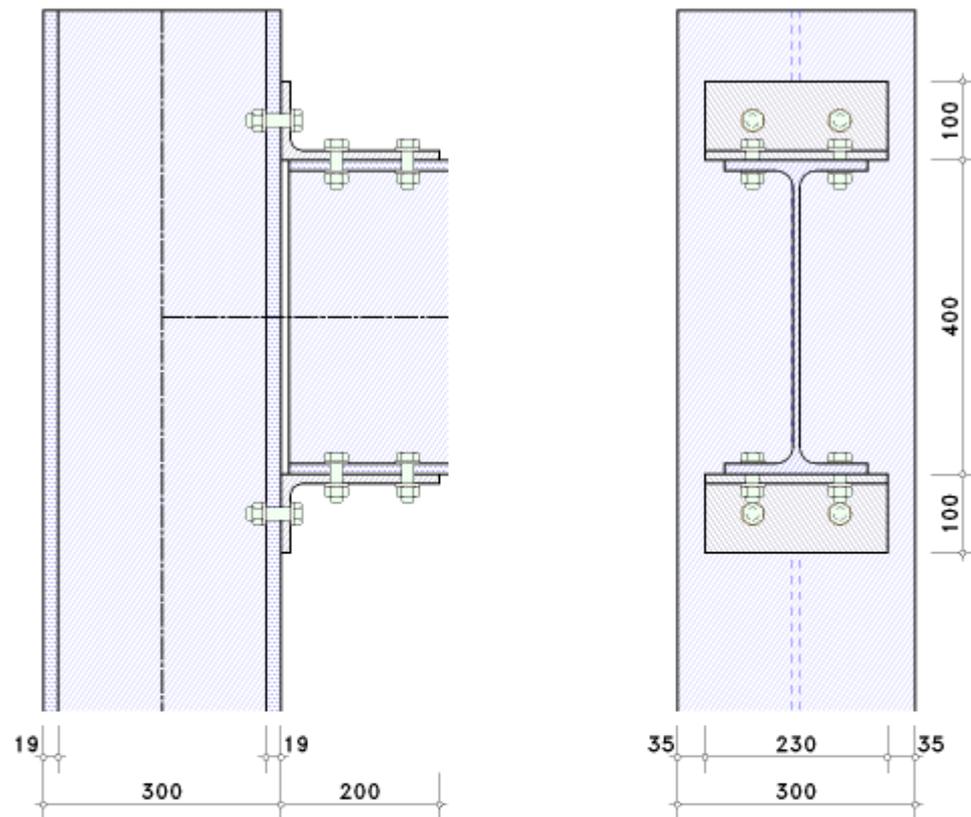
Eingabeparameter

Im Statikdokument wird zunächst eine maßstäbliche Darstellung der eingegebenen Verbindung angelegt.

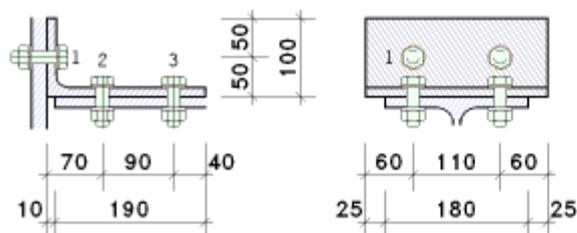
Die wesentlichen Abmessungen werden vermaßt. Ggf. werden Detailausschnitte hinzugefügt.

Ist der Maßstab vom Anwender vorgegeben, wird er in der Grafik protokolliert (s. beispielhaft einen Anschluss mit Flanschwinkeln).

Maßstab 1:10.0



Detail



Anschließend werden die Eingabeparameter ausgegeben.

Optional können zusätzliche Informationen (z.B. die hinterlegten Rechenkennwerte der Profile, Stahlgüten, Verbindungsmittel etc.) hinzugefügt werden.

Die zu bemessenden Schnittgrößen werden mit Hinweis auf den Eingabetyp (s. **Schnittgrößen**) lastfallweise ausgegeben. Nach Bedarf werden nun die der Bemessung zu Grunde liegenden Material Sicherheitsbeiwerte angefügt.

Es folgt ein Datencheck zur Kontrolle der Eingabedaten. Bei Bedarf werden hier die Schraubenabstände überprüft.

Für jeden Lastfall wird bei einer beidseitigen Verbindung die Berechnung je Seite durchgeführt. Die Ergebnisse werden im Endergebnis tabellarisch zusammengefasst.

lastfallweise Berechnung

Da sich bei gegenläufigen Momenten das auf der Modellierung basierende System ändert, wird jeder Lastfall separat untersucht. Intern wird bei negativen Momenten das System an der Horizontalachse gespiegelt, so dass sich die Zugseite immer 'oben' befindet.

Außerdem wird stets vorausgesetzt, dass der Träger an der rechten Stützensseite befestigt ist. Im Falle eines linken Anschlusses wird das System daher an der Vertikalachse gespiegelt.

Zunächst werden die **Bemessungsgrößen** aus der Lastfallkombination entwickelt.

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

Danach werden die anschlusspezifischen **Grundkomponenten** ausgewertet und die Gesamttragfähigkeit berechnet.

Da die Ausgabe der Rechenwege und die sich daraus ergebenden Ergebnisse während des Berechnungsablaufs erfolgt, sind diese auch auf das ggf. gespiegelte System bezogen. Ein Hinweis erfolgt bei Ausgabe der

Bemessungsgrößen zu Anfang der entsprechenden Lastfallberechnung.

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

Im Nachlauf kann die **Rotationssteifigkeit**, d.h. der Widerstand des Anschlusses gegen Verdrehen, sowie die Verdrehung der Verbindung unter der gegebenen Belastung berechnet werden.

Ergebnis

Nach erfolgter Berechnung wird das Endergebnis - die maximale Ausnutzung der Verbindung sowie die minimale Rotationssteifigkeit (die minimalen Rotationssteifigkeiten je Anschlussseite) - aus allen Schnittgrößenkombinationen protokolliert.

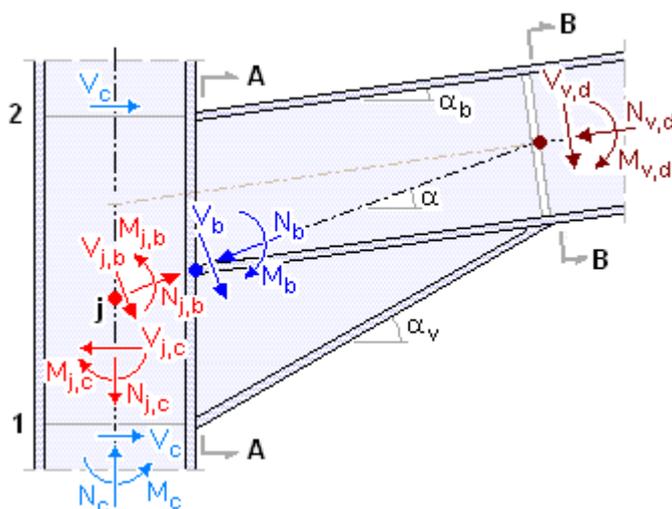
Zusätzlich werden bei einer beidseitigen Verbindung lastfallweise die Ausnutzung sowie die Rotationssteifigkeiten je Anschlussseite tabellarisch angegeben.

Maximale Ausnutzung:	$\max U = 0.558 < 1$ ok.
Minimale Rotationssteifigkeit:	$\min S_j = 35584.8$ kNm
Maximale Verdrehung:	$\max \varphi_{Ed} = 0.193^\circ$

Schnittgrößen



das fünfte Register beinhaltet die Masken zur Eingabe der Schnittgrößenkombinationen.



Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen (Statik-KoS)

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

Schnittgrößen bezogen auf die ungevoutete Trägerachse

Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung bezogen auf die Systemachsen (Statik-KoS)

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

Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung bezogen auf die Systemachsen (EC3-KoS)

Vorzeichendefinition des EC 3-1-8 (positive Normalkraft bedeutet Druck, positives Biegemoment erzeugt oben Zug)

Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung senkrecht zur Anschlussebene (EC3-KoS)

Vorzeichendefinition des EC 3-1-8 (positive Normalkraft bedeutet Druck, positives Biegemoment erzeugt oben Zug)

Das Programm 4H-EC3BT bietet verschiedene Möglichkeiten zur Eingabe der Schnittgrößen an

- werden die Schnittgrößen aus einem Tragwerks-Programm übernommen, sind häufig nur die Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen von Träger und Stütze oder im Verbindungspunkt von Trägerstößen (s. Grafik **Knoten j**) verfügbar.

Wird der Anschluss durch Vouten verstärkt, können die Trägerschnittgrößen wahlweise auf die gevoutete oder ungevoutete Trägerachse bezogen werden.

Hier wird die Vorzeichendefinition der Statik vorausgesetzt.

- Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung: Da der Anschluss eines Trägers an eine Stütze oder ein Trägerstoß bemessen werden sollen, werden die Schnittgrößen direkt im Anschnitt (s. Grafik **Schnitt A-A**) bezogen auf die Systemachse erwartet.

Die Vorzeichendefinition kann entweder derjenigen der Statik oder derjenigen des EC 3-1-8 entsprechen.

- des Weiteren können die Schnittgrößen senkrecht zur Anschlussebene (s. Grafik **Schnitt A-A**), im Anschnitt also horizontal und senkrecht wirkend, eingegeben werden (Darstellung s. unter **Teilschnittgrößen**)

	Träger, Anschnitt rechts / links			Stütze, Anschnitt unten / oben			Bezeichnung
	$N_{b1,Ed}$	$M_{b1,Ed}$	$V_{b1,Ed}$	$N_{c1,Ed}$	$M_{c1,Ed}$	$V_{c1,Ed}$	
	$N_{b2,Ed}$	$M_{b2,Ed}$	$V_{b2,Ed}$	$N_{c2,Ed}$	$M_{c2,Ed}$	$V_{c2,Ed}$	
	kN	kNm	kN	kN	kNm	kN	
1:	9.56	-13.00	17.93	-72.69	6.43	10.63	
	-4.78	-16.34	-17.60	-35.95	3.74	-3.71	

In Abhängigkeit des Anschlussstyps (Träger-Stütze oder Trägerstoß) werden die Masken für die Eingabe der Schnittgrößenkombinationen aktiviert.

Bei Träger-Stützen-Anschlüssen werden Schnittgrößen in allen Bemessungsschnitten (einseitiger Anschluss: Träger, Stütze unten, Stütze oben; beidseitiger Anschluss: Träger rechts, Träger links, Stütze unten, Stütze oben) erwartet.

Bei einem Trägerstoß werden nur die Schnittgrößen im Kontaktschnitt angezeigt.

Mit 'Anschnitt' wird die Stelle bezeichnet, an der der Träger mit den Anschlussmitteln (Stirnblech, Flanschwinkel) an der Stütze befestigt ist (s. Grafik **Schnitt A-A**).

Analog handelt es sich bei dem Stützenanschnitt um die Stelle, an der der Verbindungsbereich in den eigentlichen Stützenbereich übergeht, hier die Lage der Stegsteifen bzw. die Höhe des untersten und obersten Trägerflanschs (s. Grafik **Punkte 1 und 2**).

Bei Vouten kann zusätzlich der Anschluss der Voute an den Träger (s. Grafik **Schnitt B-B**) bemessen werden.

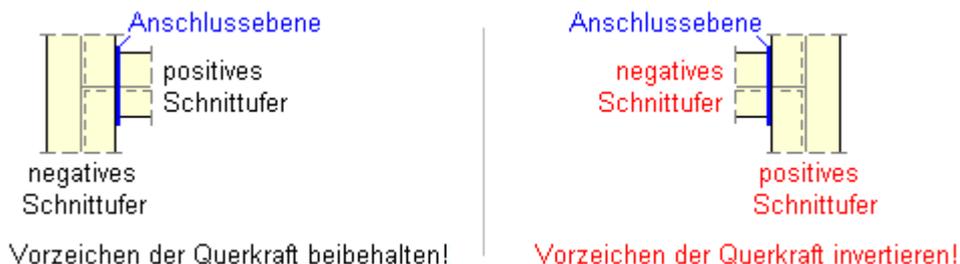
Die Schnittgrößen werden aus den eingegebenen Größen unter der Annahme berechnet, dass im Voutenbereich keine äußeren Kräfte angreifen.

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

Die Schnittgrößen werden in die intern verwendeten **Bemessungsgrößen** transformiert.

Übernahme der Schnittgrößen aus einem Tragwerks-Programm - Vorzeichen der Querkraft

- Träger: bei negativem Schnittufer ist das Vorzeichen der Querkraft zu invertieren.
Dies gilt z.B. bei Trägern, die im Tragwerks-Programm von links nach rechts beschrieben wurden (gestrichelte Linie unterhalb der Systemlinie) und der Anschluss an die Stütze sich rechts befindet.
- Stütze: bei positivem Schnittufer ist das Vorzeichen der Querkraft zu invertieren.
Dies gilt z.B. bei Stützen, die von oben nach unten beschrieben wurden (gestrichelte Linie links der Systemlinie).



Schnittgrößen importieren

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

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

übergeordneten Tragwerkprogramms vorliegen und in das Anschlussprogramm übernommen werden sollen.

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

Schnittgrößen aus **4H**-Programm importieren



Schnittgrößen aus Text-Datei einlesen



• Import aus einer Text-Datei

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

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

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

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

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

• 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.

Die zu importierenden Schnittgrößen werden nur im Statik-Koordinatensystem übertragen (s.o.).

- Import bei **Träger-Stützenanschlüssen**
- ... von einem Einzelschnitt bei **Trägerstößen**

Schnittgrößenimport beim Träger-Stützenanschluss

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

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

In der 4H-Programmorganisation gibt es hierzu verschiedene Vorgehensweisen

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

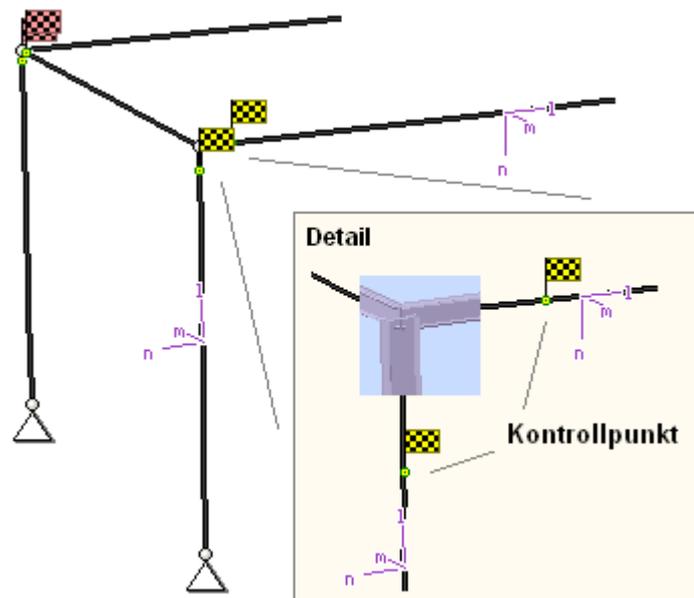
Das folgende Beispiel einer Rahmenecke (Sonderform des Träger-Stützenanschlusses mit nicht-durchlaufender Stütze) erläutert diesen 4H-Schnittgrößen-Export/Import.

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

Um 4H-EC3BT sinnvoll einzusetzen zu können, sollte bereits bei der Modellbildung im Stabwerksprogramm darauf geachtet werden, dass die Profile nur über die starken Achsen abtragen.

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

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



(vereinf. bei $h_{Träger}/2$) zu setzen.

Ausführliche Informationen zum Export entnehmen Sie bitte dem DTE®-[Schnittgrößenexport](#).

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

Nach einer Neuberechnung des Rahmens stehen die Exportschnittgrößen dem aufnehmenden 4H-Programm (z.B. 4H-EC3BT, 4H-EC3RE, 4H-EC3IH, 4H-EC3IM) zum Import zur Verfügung.



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

Schnittgrößen im Schnittpunkt der Systemachsen (Statik-KOS)

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

Bei Träger-Stützenverbindungen erfolgt der Nachweis im Anschnitt Träger/Stütze bzw. Stirnblech/Stütze.

Daher werden die Schnittgrößen, die im Schnittpunkt der Systemachsen gegeben sind, programmintern in Anschnittschnittgrößen umgerechnet.



aus dem aufnehmenden 4H-Programm wird nun über den [Import](#)-Button das Fenster zur DTE®-[Bauteilwahl](#) 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®-Bauteilwahl aktiviert.

Zur eindeutigen Beschreibung des Anschlusses sind zwei Schnitte (Träger, Stütze) festzulegen.

Im exportierenden 4H-Programm müssen also **2 zugehörige Schnitte definiert sein**, um den vorliegenden Anschluss zu beschreiben.

Diese sind im Folgenden anzugeben, damit Schnittgrößenimport und -transformation korrekt durchgeführt werden können.

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

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

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

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

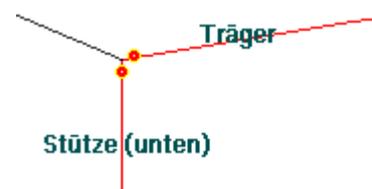
Träger		Schnitt 1: Stab 3 bei s = 0.18 m	Stahlriegel, Anschnitt, Anschluss 1 Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE240
nicht identifiziert		Schnitt 2: Stab 5 bei s = 0.00 m	Stahlriegel, Anschluss 2 Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE240
		Schnitt 3: Stab 7 bei s = 2.00 m	Stahlbetonriegel Material: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

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

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

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

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



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

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

Träger		Schnitt 1: Stab 3 bei s = 0.18 m					
		Stahlriegel, Anschnitt, Anschluss 1					
		Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE240					
	N	V _η	V _ζ	T	M _η	M _ζ	
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm	
⊕ Lastfallergebnisse							
⊕ Nachweis 2: Schnittgrößenermittlung (Th. I. Ord.)							
⊖ Nachweis 3: EC 3 Tragfähigkeit (Th. I. Ord.)							
⊖ Lastkollektive							
	Lastkollektiv 1: Lastkollektiv 1	-20.61	15.52	-12.95	0.00	-8.60	12.95
	Lastkollektiv 2: Lastkollektiv 2	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
	Lastkollektiv 3: Lastkollektiv 3	-21.38	0.80	-5.03	0.00	-38.81	4.03
⊖ Zusammenfassung Nachweis 3							
	min N	-21.38	0.80	-5.03	0.00	-38.81	4.03
	max N	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
	min V _η	-21.38	0.80	-5.03	0.00	-38.81	4.03
	max V _η	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
	min V _ζ	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
	max V _ζ	-21.38	0.80	-5.03	0.00	-38.81	4.03
	min T	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
	max T	-21.38	0.80	-5.03	0.00	-38.81	4.03
	min M _η	-21.38	0.80	-5.03	0.00	-38.81	4.03
	max M _η	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
	min M _ζ	-21.38	0.80	-5.03	0.00	-38.81	4.03
	max M _ζ	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
Stütze (unten)		Schnitt 5: Stab 10 bei s = 3.88 m					

Die Kombinationen können beliebig zusammengestellt werden.



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

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



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



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

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

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

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

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

Sollen doppelte Zeilen gelöscht werden?

nein

ja

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

	Träger, Anschnitt			Stütze, Anschnitt unten			Bezeichnung
	N _{b,Ed} kN	M _{b,Ed} kNm	V _{b,Ed} kN	N _{c,Ed} kN	M _{c,Ed} kNm	V _{c1,Ed} kN	
	-20.61	8.60	12.95	3.91	5.09	-5.67	Lk1
	-21.38	38.81	5.03	-18.15	35.19	-2.57	min N
	-15.77	-34.53	24.35	12.39	-37.86	-9.76	max N

Bei der Übernahme erfolgen Plausibilitätschecks und ggf. Meldungen.



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

Besonderheiten bei Verbindungen mit durchlaufender Stütze

Einseitige Träger-Stützenverbindungen mit durchlaufender Stütze benötigen Schnittgrößeninformationen in **drei** Schnitten: am Träger und an der Stütze unterhalb und oberhalb des Verbindungsknotens.

Beidseitige Träger-Stützenverbindungen mit durchlaufender Stütze benötigen Schnittgrößeninformationen in **vier** Schnitten: an den Trägern rechts und links sowie an der Stütze unterhalb und oberhalb des Verbindungsknotens.



Das Programm **4H-EC3BT** berechnet nur Träger-Stützenverbindungen mit durchlaufender Stütze.

Besonderheiten bei Rahmenecken

Bei liegenden Rahmenecken (Variante 2) können zusätzlich zu den Schnitten am Träger und an der Stütze (s. Beschreibung oben) die Schnittgrößen an einem Kragarm importiert werden.

Um die Schnittgrößen des dritten Schnitts zu importieren, ist der entsprechende Button zu aktivieren.

Schnittgrößen aus **4H**-Programm importieren
 einschl. Träger (Kragarm) f. Variante 2





Das Programm *4H-EC3RE* berechnet nur Träger-Stützenverbindungen mit nicht-durchlaufender Stütze.

Schnittgrößenimport bei der Querschnittsbemessung

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

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

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

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

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

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

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

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

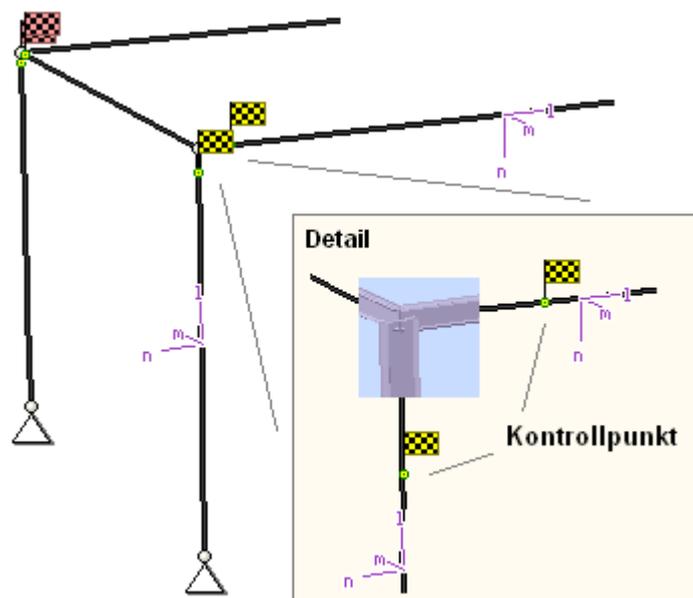
In diesem Beispiel sollen die Schnittgrößen für eine Querschnittsbemessung übergeben werden.

Dazu ist an der entsprechenden Stelle ein Kontrollpunkt zu setzen.

Ausführliche Informationen zum Export entnehmen

Sie bitte dem DTE[®]-[Schnittgrößenexport](#).

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



aus dem aufnehmenden *4H*-Programm wird nun über den [Import](#)-Button das Fenster zur

DTE[®]-[Bauteilauswahl](#) aufgerufen. Hier werden alle berechneten Bauteile dargestellt, wobei diejenigen, die Schnittgrößen exportiert haben, dunkel gekennzeichnet sind.

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

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

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

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

<input type="checkbox"/> Schnitt 1: Stab 3 bei s = 0.18 m							
<input checked="" type="checkbox"/> Stahlriegel, Anschnitt, Anschluss 1 Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE240							
	N kN	V _m kN	V _n kN	T kNm	M _m kNm	M _n kNm	
+ Lastfallergebnisse							
+ Nachweis 2: Schnittgrößenermittlung (Th. I. Ord.)							
<input type="checkbox"/> Nachweis 3: EC 3 Tragfähigkeit (Th. I. Ord.)							
<input checked="" type="checkbox"/> Lastkollektive							
<input type="checkbox"/> Zusammenfassung Nachweis 3							
	min N	-18.34	15.66	-14.44	0.00	-2.76	13.43
	max N	-15.93	25.18	-24.26	-0.01	34.14	17.91
	min V _n	-17.44	0.88	-7.61	0.00	-28.68	4.33
	max V _n	-15.93	25.18	-24.26	-0.01	34.14	17.91
	min V _z	-15.93	25.18	-24.26	-0.01	34.14	17.91
	max V _z	-17.44	0.88	-7.61	0.00	-28.68	4.33
	min T	-15.93	25.18	-24.26	-0.01	34.14	17.91
	max T	-17.44	0.88	-7.61	0.00	-28.68	4.33
	min M _n	-17.44	0.88	-7.61	0.00	-28.68	4.33
	max M _n	-15.93	25.18	-24.26	-0.01	34.14	17.91
	min M _z	-17.44	0.88	-7.61	0.00	-28.68	4.33
	max M _z	-15.93	25.18	-24.26	-0.01	34.14	17.91
+ Schnitt 2: Stab 5 bei s = 0.00 m Stahlriegel, Anschluss 2							
+ Schnitt 3: Stab 7 bei s = 2.00 m Stahlbetonriegel							
+ Schnitt 4: Stab 9 bei s = 4.00 m Stahlstütze, Anschluss 2							
+ Schnitt 5: Stab 10 bei s = 3.88 m Stahlstütze, Anschnitt, Anschluss 1							
+ Schnitt 6: Stab 11 bei s = 0.00 m Stahlbetonstütze							

In 4H-EC3SA ist der komplette verfügbare Schnittgrößensatz importierbar, was durch gelbe Hinterlegung der Spalten angezeigt wird.

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

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

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

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

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

Die Kompatibilität der Querschnitts- und Nachweisparameter zwischen exportierendem und importierendem Programm ist zu gewährleisten.
Eine Aktualisierung der importierten Schnittgrößenkombinationen, z.B. aufgrund einer Neuberechnung des exportierenden Tragwerks, erfolgt nicht!

Ergebnisübersicht



das fünfte Register gibt einen sofortigen Überblick über die ermittelten Ergebnisse

Lastkombination	Ausnutzung	Steifigkeit	Verdrehung
Lastkombination 1	127% XXXXXXXXXX		
Anschluss rechts	62% 	10105 kNm/rad	0.078°
Biegung	62% 		
Schweißnähte am Träger	44% 		
Stegsteifen (Rippen)	62% 		
Schubfeldnachweis	43% 		
Anschluss links	127% XXXXXXXXXX	786 kNm/rad	1.161°
Biegung	127% XXXXXXXXXX		
Stützenstegfeld	4% 		
Schweißnähte am Träger	54% 		
Stegsteifen (Rippen)	101% XXXXXXXXXX		
Schubfeldnachweis	17% 		
Lastkombination 2	88% 		
Anschluss rechts	88% 	3813 kNm/rad	0.293°
Biegung	88% 		
Stützenstegfeld	29% 		
Schweißnähte am Träger	62% 		
Stegsteifen (Rippen)	87% 		
Schubfeldnachweis	52% 		
Anschluss links	84% 	2493 kNm/rad	0.171°
Biegung	69% 		
Schweißnähte am Träger	24% 		
Stegsteifen (Rippen)	45% 		
Schubfeldnachweis	84% 		
Gesamt	127% XXXXXXXXXX		
Tragfähigkeit nicht gewährleistet (s. Druckliste) !!			

Zur sofortigen Kontrolle und des besseren Überblicks halber werden die Ergebnisse in diesem Register lastfallweise übersichtlich zusammengestellt.

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

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

Die Rotationssteifigkeit und Verdrehung sind ebenfalls dargestellt.

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

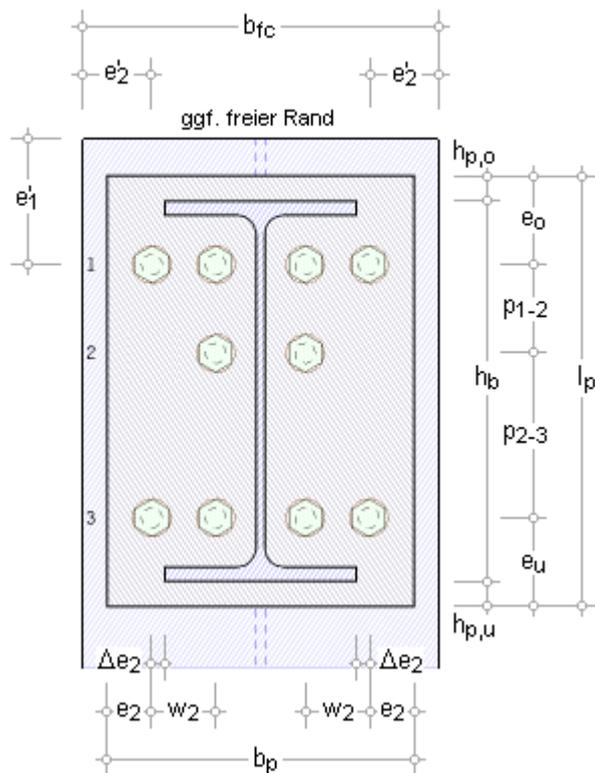
Werden mehr als fünf Lastkombinationen berechnet, wird die Darstellung der Ergebnisse reduziert.

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

Bezeichnung der Eingabeparameter zur Einordnung von Programmmeldungen

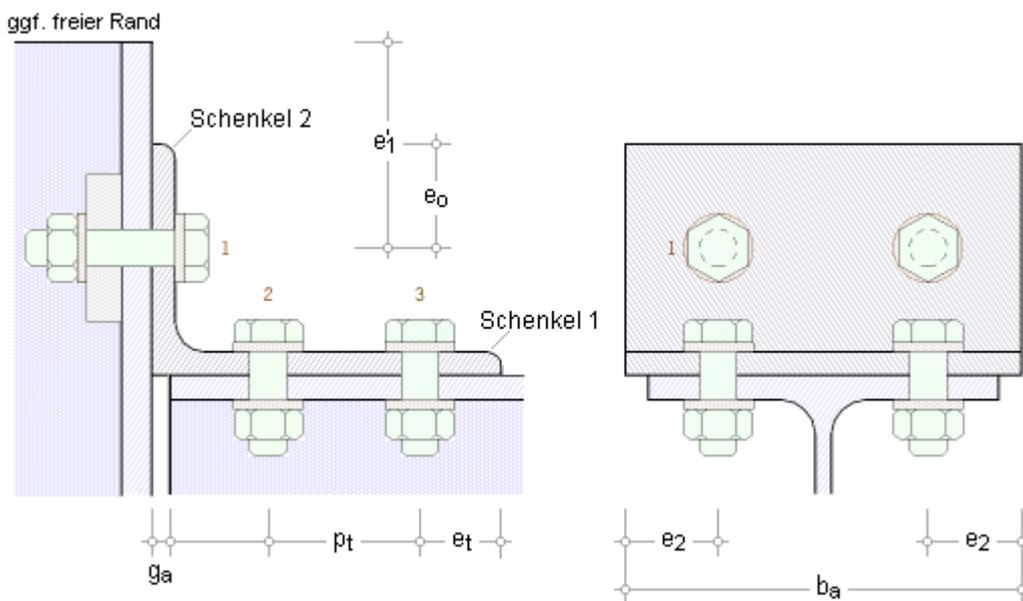
In der nachfolgenden Grafik sind die Parameterbezeichnungen aufgeführt, auf die im Programm Bezug genommen wird, wenn ein (vertikaler) *Träger-Stützenanschluss* berechnet werden soll. Bei einem *Trägerstoß* gelten die Parameterbezeichnungen ebenso (ohne b_{fc} , e'_1 , e'_2).

Trägeranschluss (vertikal)



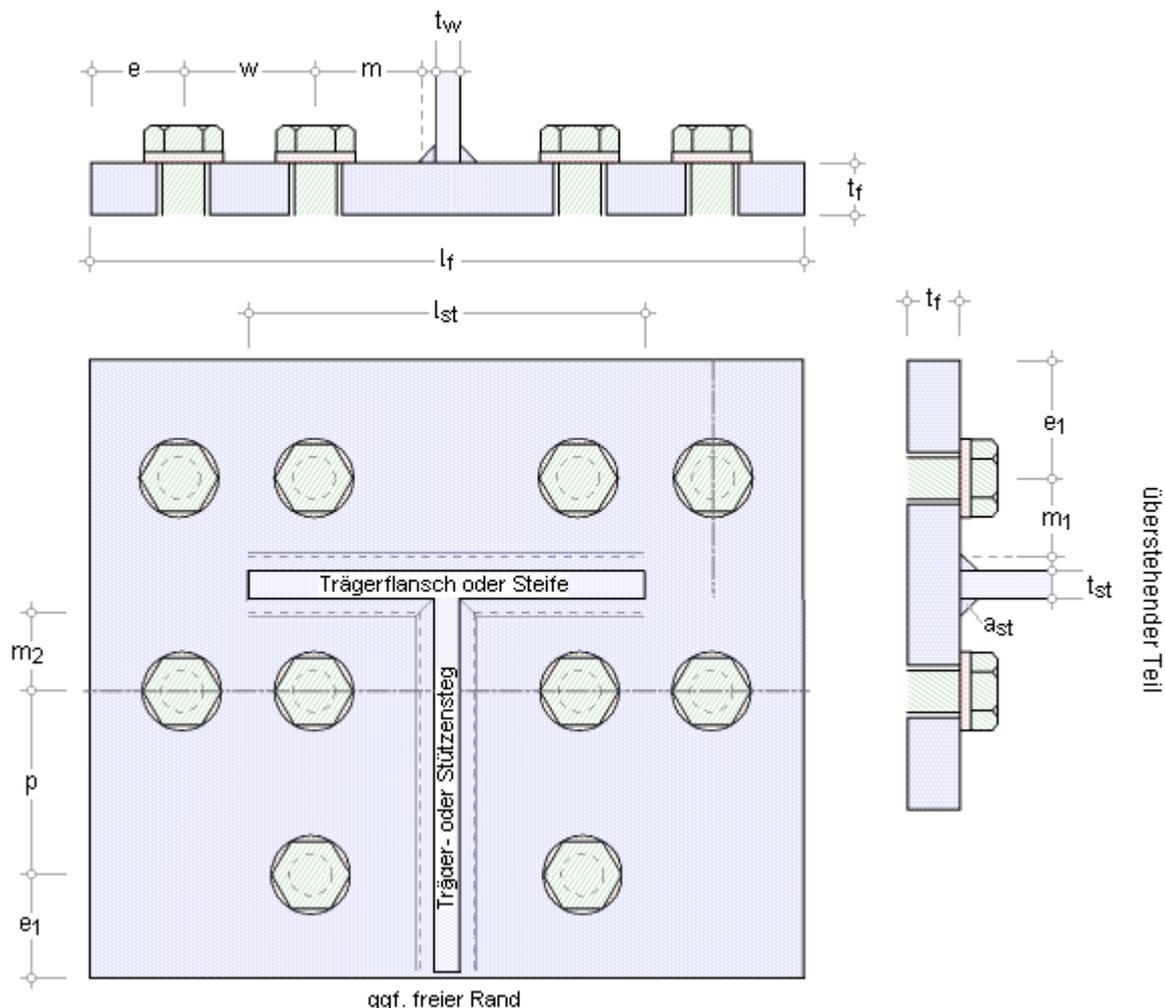
Beim *Flanschwinkelanschluss* befindet sich nur eine Schraubenreihe am Stützenflansch. Es können hingegen beliebig viele Schraubenreihen am Trägerflansch angeordnet werden, deren Abstände jedoch konstant sind.

Flanschwinkelanschluss



Grundlage zur Bemessung diverser Schraubenverbindungen ist das Modell eines *äquivalenten T-Stummels*. Die Bezeichnung der Abstände ist in der folgenden Skizze beschrieben.

T-Stummel-Modell - zwischen den Trägerflanschen

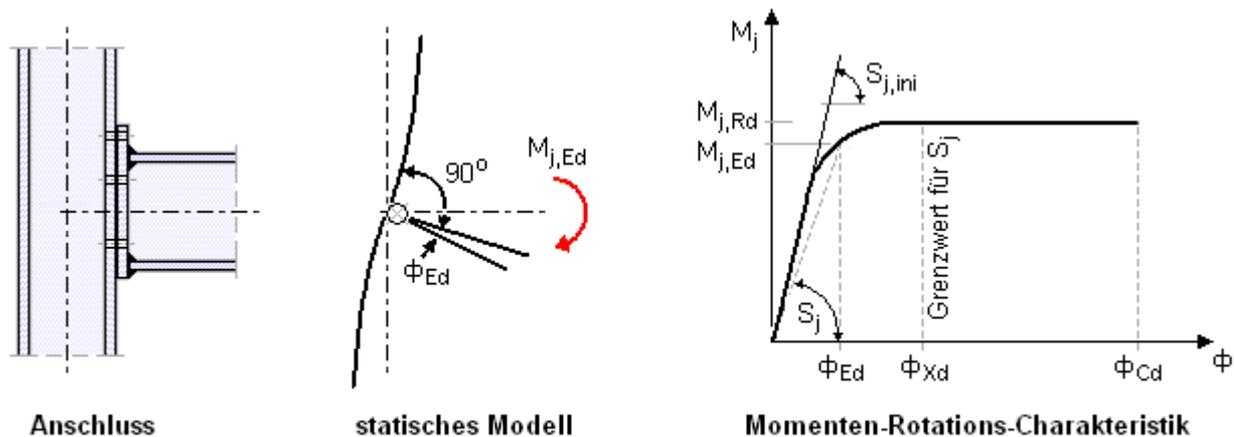


allgemeine Erläuterungen

Nach EC 3-1-8, 5.1.4, sind die Anschlüsse bei elastisch-plastischer Tragwerksberechnung i.d.R. sowohl nach ihrer Steifigkeit (5.2.2) als auch nach der Tragfähigkeit (5.2.3) zu klassifizieren.

Dazu müssen für Anschlüsse mit Doppel-T-Profilen die Momenten Tragfähigkeit (6.2.7 und 6.2.8), die Rotationssteifigkeit (6.3.1) und die Rotationskapazität (6.4) berechnet werden.

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



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

Im Programm 4H-EC3BT erfolgt keine Klassifizierung nach der Steifigkeit, da das Grenzkriterium bauwerksspezifisch zu ermitteln ist (Bild 5.4).

In Analogie dazu wird ebenso die Klassifizierung nach der Tragfähigkeit (Bild 5.5) nicht durchgeführt.

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

Der mögliche Einfluss des Stützenstegfeldes wird durch den Übertragungsparameter β berücksichtigt.

Bei einseitigen Träger-Stützenanschlüssen gilt stets

$$\beta \approx 1$$

Nach EC 3-1-8, 6.1.1, wird ein Anschluss mit Doppel-T-Querschnitten als eine Zusammenstellung von Grundkomponenten (Gk) angesehen.

Folgende Grundkomponenten (vgl. Tab. 6.1) werden verwendet

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

Die Verformbarkeit eines Anschlusses kann durch eine Rotationsfeder modelliert werden, welche die verbundenen Bauteile im Kreuzungspunkt der Schwerpunktlinien verbindet (6.2.1.2).

Bei beidseitigen Anschlüssen ergeben sich zwei Rotationsfedern.

Die Kenngrößen dieser Feder können in Form einer Momenten-Rotations-Charakteristik (s.o.) dargestellt werden, die die drei wesentlichen Kenngrößen

- Momententragfähigkeit
- Rotationssteifigkeit
- Rotationskapazität

liefert.

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

Weiterführende Erläuterungen zur Ermittlung der

- **Tragfähigkeit**
- **Rotationssteifigkeit**
- **Rotationskapazität**

Komponentenmethode

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

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

Im Programm *4H-EC3BT* werden Träger-Stützenanschlüsse oder Trägerstöße berechnet.

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

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

Nach EC3-1-8 wird die Biegetragfähigkeit des Anschlusses aus den Tragfähigkeiten der einzelnen Grundkomponenten ermittelt und der einwirkenden Bemessungsgröße gegenübergestellt.

Alternativ können aus der einwirkenden Belastung die einzelnen Traganteile für jede Grundkomponente extrahiert und den Tragfähigkeiten der einzelnen Grundkomponenten gegenübergestellt werden.

Im Folgenden wird die Vorgehensweise zur Bemessung von geschraubten **Stirnblech-** und **Flanschwinkel-** Verbindungen sowie von **geschweißten** Verbindungen mit der Komponentenmethode nach EC3-1-8, 6.2.7, erläutert. Die alternative Methode wird hier nicht näher behandelt.

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

geschraubte Stirnblechverbindung

Die Biege- und Zugtragfähigkeit des Anschlusses auf Seite der

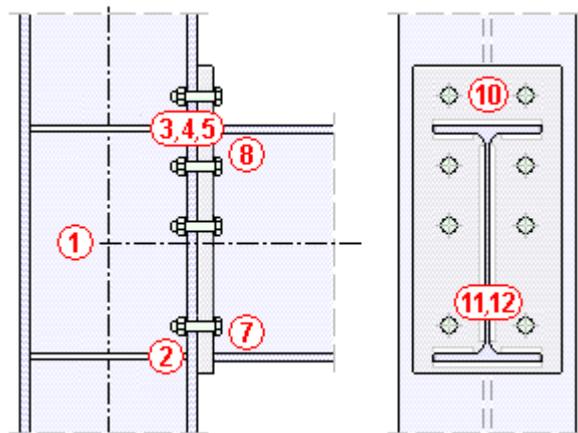
- Stütze wird mit den Grundkomponenten 1 bis 4
- des Trägers mit den Grundkomponenten 7, 8 und ggf. 20
- des Stirnblechs mit Grundkomponente 5

ermittelt.

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

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

Zur Bemessung der **Schweißnähte**.



Biege- und Zugtragfähigkeit mit der Komponentenmethode

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

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

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

h_r Abstand der Schraubenreihe vom Druckpunkt

r Nummer der Schraubenreihe

Im Überstand darf sich nur eine Schraubenreihe befinden.

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

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

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

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

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

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

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

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

h_x Abstand der Schraubenreihe x zum Druckpunkt

Im Programm **4H-EC3BT** werden zunächst die minimalen Tragfähigkeiten aus den maßgebenden Grundkomponenten ermittelt (Beispielrechnung).

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

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 52.4 \text{ kN}$ Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$ Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 73.0 \text{ kN}$

Nun erfolgen reihenweise die Abminderungen für Schraubenreihen als Teil einer Schraubengruppe.

Da die Schraubengruppen einer Stütze und eines Stirnblechs verschiedene Mitglieder haben können, erfolgt die Ausgabe in separaten Blöcken.

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

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

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

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

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

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

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

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

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

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

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

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

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

maßgebende Grundkomponente: 10

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

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

Das Ergebnis wird schlussendlich protokolliert.

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)

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

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

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

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

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 2, 4, 5

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

Die Druck-Komponenten liefern die Tragfähigkeit bei reiner Druckbeanspruchung.

Tragfähigkeit der Flansche (Druck)

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

Die Biegetragfähigkeit ergibt sich damit zu

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts

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

und die Ausnutzung zu

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

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

Ist die einwirkende Normalkraft größer als 5% der plastischen Normalkrafttragfähigkeit

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

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

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

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

Die entsprechenden Normalkrafttragfähigkeiten ergeben sich zu

Zugtragfähigkeit

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

Drucktragfähigkeit

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

Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

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

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = 86.9 \text{ kN}$ Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 86.9 \text{ kN}$ Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 86.9 \text{ kN}$

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

Abminderungen aufgrund der Zugkraft (bei voller Ausnutzung der Biegetragfähigkeit)

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 86.9 \text{ kN} = 53.4 \text{ kN}$ mit $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.614$ Reihe 2: $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 86.9 \text{ kN} = 40.2 \text{ kN}$ mit $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.463$ Reihe 3: $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 86.9 \text{ kN} = 84.8 \text{ kN}$ mit $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.976$

sodass sich die endgültigen Tragfähigkeiten je Schraubenreihe ergeben zu

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

Die Abscher-Lochleibungstragfähigkeit ergibt sich damit zu

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

und die Ausnutzung zu

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

Schubtragfähigkeit

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

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

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

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

Schubtragfähigkeit des Stützenstegs

maßgebende Grundkomponente: 1

 $V_{wp,Rd} / \beta_j = 535.5 \text{ kN}$ **MNV-Interaktion (nur Stirnblechanschluss)**

Die Komponentenmethode nach EC 3-1-8, 6.2.7, wurde für reine Biegeprobleme konzipiert. Eine Normalkraftbeanspruchung kann hierbei nur wirtschaftlich berücksichtigt werden, wenn die Normalkraft untergeordnet, d.h. kleiner als 5% der plastischen Beanspruchbarkeit ist. Bei höherer Normalkraftbeanspruchung wird eine konservative Näherung verwendet.

Eine Möglichkeit, auch normalkraftbehaftete Anschlüsse zu bemessen, besteht darin, die Komponenten über Teilschnittgrößen auszuwerten (alternative Methode). Leider kann bei dieser Methode die Traglastreduktion auf Grund der Gruppenbildung von Schrauben nicht hinreichend genau erfasst werden.

Daher wurde ein Verfahren implementiert, das über Optimierungsmethoden einen Gleichgewichtszustand zwischen der eingegebenen Belastung und den resultierenden Kräften in den Schraubenreihen (Zug) und

den Flanschen (Druck) ermittelt. Diese Methode ist von der Art der Belastung (Biegung, Zug, Druck) unabhängig.

In Anlehnung an das Ringbuch *Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau, Ergänzungsband 2018* wird das Optimierungsverfahren nach *F. Cerfontaine* (in *Jaspart/Weynand: Design of Joints in Steel and Composite Structures*) zur Ermittlung der Ausnutzung verwendet.

Hierbei werden die Tragfähigkeiten der Grundkomponenten für jede Schraubenreihe einzeln sowie für Schrauben- und Gruppen und der Querkraft als Randbedingungen für das lineare Optimierungsproblem aufgefasst. Iterativ wird eine Lösung für den höchsten Laststeigerungsfaktor unter Momenten-, Normalkraft- und Querkraftbeanspruchung ermittelt. Der Laststeigerungsfaktor entspricht dem Kehrwert der Ausnutzung.

Für das o.a. Beispiel ergibt sich

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (MNV-Interaktion)

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

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

Reihe 3: $F_{tr,Rd} = 18.1 \text{ kN}$

Tragfähigkeit der Flansche (MNV-Interaktion)

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

Querkrafttragfähigkeit (MNV-Interaktion)

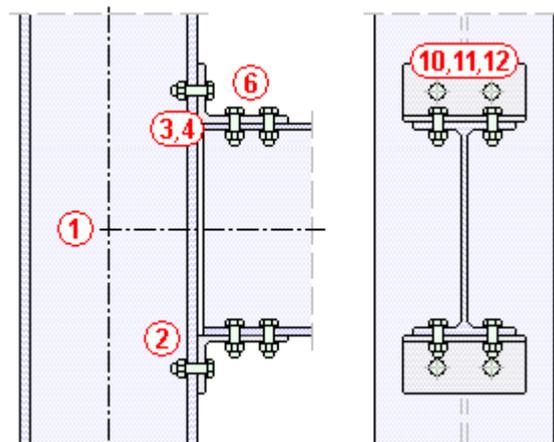
$V_{j,Rd} = 27.7 \text{ kN}$

Verbindung mit Flanschwinkeln

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

- Stütze mit den Grundkomponenten 1 bis 4
- Flanschwinkel mit Grundkomponente 6

Bei der Tragfähigkeit der Schrauben wirken für die Abscher-Lochleibungstragfähigkeit die Grundkomponenten 11 und 12, für die Zugtragfähigkeit die Grundkomponente 10.



Biege- und Zugtragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Nach EC 3-1-8, 6.2.7.1(6), wird die Biegetragfähigkeit eines geschraubten Anschlusses mit Flanschwinkeln bestimmt mit

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

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

z_b Abstand zwischen dem Druckpunkt und der Schraubenreihe unter Zug

Im Winkelschenkel, der an der Stütze anliegt, darf sich nur eine Schraubenreihe befinden.

Der Druckpunkt einer Verbindung mit Flanschwinkeln sollte im Zentrum des Spannungsblocks infolge der Druckkräfte liegen (EC 3-1-8, 6.2.7.1(9)), vereinfachend in der Achse der Mittelebene des am Trägerdruckflansch anliegenden Winkelschenkels (EC 3-1-8, Bild 6.15b).

Analog zur Stirnblech-Verbindung wird zunächst die minimale Tragfähigkeit der Zug-Schraubenreihe am Stützenflansch aus den Gkn 3, 4, 6 ermittelt (Beispielrechnung).

Tragfähigkeit der Zug-Schraubenreihe am Stützenflansch

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 6

Reihe 1: $F_{t,Rd} = 18.8 \text{ kN}$

Anschließend erfolgen die Abminderungen

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

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2

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

Gk 1: $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 672.9 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 18.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 18.8 \text{ kN}$

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 120.4 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 18.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 18.8 \text{ kN}$

um zur wirksamen Tragfähigkeit zu gelangen.

Tragfähigkeit der Zug-Schraubenreihe am Stützenflansch (endgültig)Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 18.8 \text{ kN}$

Damit wird die Biegetragfähigkeit der Flanschwinkel-Verbindung ermittelt zu

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts

$M_{j,Rd} = F_{t,Rd} \cdot z_b = 4.3 \text{ kNm}$, $z_b = 229.0 \text{ mm}$

und die Tragfähigkeit bei reiner Zug- bzw. Druckbeanspruchung

Zugtragfähigkeit

$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd}^* = 37.6 \text{ kN}$

Drucktragfähigkeit

$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd}^* = 240.8 \text{ kN}$

Zur Berechnung der Normalkrafttragfähigkeit und der Ausnutzungen s. [Stirnblech-Verbindung](#).**Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit mit der Komponentenmethode**

Es wird unterschieden zwischen den Winkelschenkeln am Stützenflansch und denjenigen am Trägerflansch. Am Stützenflansch befindet sich Schraubenreihe 1, am Trägerflansch die weiteren Schraubenreihen 2 bis n_s . Zunächst werden die minimalen Tragfähigkeiten aus den maßgebenden Grundkomponenten ermittelt.

Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = 86.9 \text{ kN}$ Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 86.9 \text{ kN}$ Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 86.9 \text{ kN}$

Nach EC 3-1-8, Tab. 3.4, reduziert sich die Tragfähigkeit bei gleichzeitiger Wirkung von Querkraft und Zugnormalkraft, was jedoch nur Schraubenreihe 1 am Stützenflansch betrifft.

Abminderungen aufgrund der Zugkraft

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 86.9 \text{ kN} = 74.9 \text{ kN}$ mit $f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{t,Rd}) = 0.862$

Die wirksamen Tragfähigkeiten je Schraubenreihe ergeben sich zu

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (endgültig)Reihe 1: $F_{vr,Rd} = 74.9 \text{ kN}$ Reihe 2: $F_{vr,Rd} = 86.9 \text{ kN}$ Reihe 3: $F_{vr,Rd} = 86.9 \text{ kN}$

und damit die wirksame Abscher-Lochleibungstragfähigkeit zu

Stützenflansch $V_{j,Rd} = F_{v1,Rd} = 74.9 \text{ kN}$ Trägerflansch $V_{j,b,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 173.7 \text{ kN}$ (Reihe 2 bis 3)Zur Berechnung der Ausnutzung der Flanschwinkel-Verbindung am Stützenflansch s. [Stirnblech-Verbindung](#), die Ausnutzung am Trägerflansch wird ermittelt mit

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

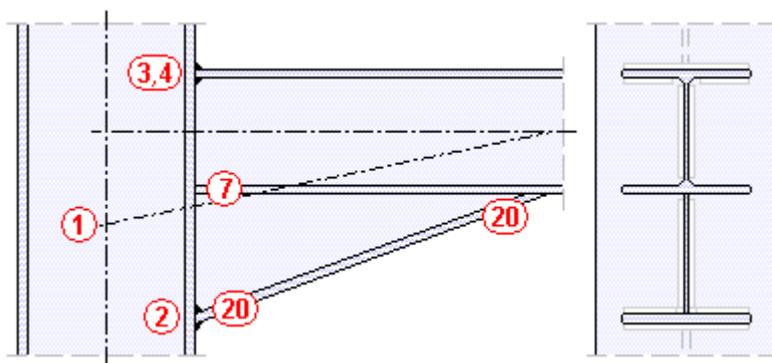
geschweißte Verbindung

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

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

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

Zur Bemessung der **Schweißnähte**.



Biege- und Zugtragfähigkeit mit der Komponentenmethode

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

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

F_{Rd} wirksame Tragfähigkeit der Verbindung

z Abstand zwischen den Achsen der Mittelebenen von Zug- und Druckflansch des angeschlossenen Trägers

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

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

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

Tragfähigkeit

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

$$F_{t,Rd} = 129.9 \text{ kN}$$

Abminderungen aufgrund der Druck-/Schubtragfähigkeit der Profile

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

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

$$\text{Gk 1: } F_{Rd} = 129.9 \text{ kN} < V_{wp,Rd}/\beta_j = 672.9 \text{ kN} \Rightarrow F_{Rd} = 129.9 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 2: } F_{Rd} = 129.9 \text{ kN} > F_{c,w,Rd} = 117.9 \text{ kN} \Rightarrow F_{Rd} = 117.9 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 7: } F_{Rd} = 117.9 \text{ kN} < F_{c,t,Rd} = 226.8 \text{ kN} \Rightarrow F_{Rd} = 117.9 \text{ kN}$$

führen zur wirksamen Tragfähigkeit

Tragfähigkeit (endgültig)

$$F_{Rd} = 117.9 \text{ kN}$$

mit der die Biegetragfähigkeit des Anschlusses zu

Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts

$$M_{j,Rd} = F_{Rd} \cdot z = 20.3 \text{ kNm}$$

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

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

Besonderheiten bei Vouten

Beträgt die Höhe des Trägers einschließlich Voute mehr als 600 mm, ist nach EC 3-1-8, 6.2.6.7(1), i.d.R. der Beitrag

des Trägerstegs zur Tragfähigkeit bei Druckbeanspruchung auf 20% zu begrenzen.

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

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

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

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

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

Besonderheiten bei überwiegend normalkraftbeanspruchten Verbindungen (nicht bei MNV-Interaktion)

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

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

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

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

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

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

Teilschnittgrößen

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

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

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

Dabei wird mit Bemessungsebene (Anschlusssebene) die Kontaktebene zwischen Träger und Stütze (bei Stößen die Kontaktebene zwischen den Trägern) bezeichnet. Bei Stirnplattenverbindungen ist dies z.B. der Anschluss der Stirnplatte an die Stütze (bei Stößen die Mittelebene der beiden Stirnplatten).

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

Transformation der Schnittgrößen

Sind die Schnittgrößen bei gevouteten Trägern auf die Systemachse des Trägers bezogen, werden zunächst die Schnittgrößen in der Systemachse berechnet

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

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

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

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

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

Schnittgrößen im Anschluss bezogen auf die Schwerachsen

- Anschnitt Träger (rechts, links analog)

$$\begin{aligned} N_{b,Ed} &= -N_{j,b,Ed} \\ M_{b,Ed} &= -M_{j,b,Ed} - V_{j,b,Ed} \cdot e_1 / \cos \alpha \\ V_{b,Ed} &= V_{j,b,Ed} \end{aligned}$$

- Anschnitt Voute-Träger

$$M_{b,v,Ed} = -M_{j,b,Ed} - V_{j,b,Ed} \cdot e_4 / \cos \alpha$$

- Anschnitt Stütze (unten, oben analog)

$$\begin{aligned} N_{c,Ed} &= -N_{j,c,Ed} \\ M_{c,Ed} &= -M_{j,c,Ed} + V_{j,c,Ed} \cdot e_2 \\ V_{c,Ed} &= -V_{j,c,Ed} \end{aligned}$$

Die Schnittgrößenkombination lässt sich auch direkt (*Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung*, s. [Register 4](#)) eingeben.

Das Biegemoment am Anschnitt Voute-Träger wird nach der o.a. Formel berechnet, Normalkraft und Querkraft sind über die Voutenlänge konstant.

Die zur Transformation notwendigen Winkelinformationen sind mit

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

gegeben.

Die Abstände zur Bildung der Momente werden berechnet zu

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

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

Schnittgrößen senkrecht zur Anschlussebene

- Anschnitt Träger (rechts, links analog)

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

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

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

- Anschnitt Voute-Träger

$$N_{v,d} = N_{b,Ed} \cdot \cos \Delta \alpha - V_{b,Ed} \cdot \sin \Delta \alpha$$

$$M_{v,d} = M_{b,v,Ed}$$

$$V_{v,d} = N_{b,Ed} \cdot \sin \Delta \alpha + V_{b,Ed} \cdot \cos \Delta \alpha$$

Auch diese Schnittgrößenkombination lässt sich direkt (*Schnittgrößen senkrecht zur Anschlussebene*, s. [Register 4](#)) eingeben.

Soll die Biege- und/oder Abschertragfähigkeit mit den *Grundkomponenten mit Teilschnittgrößen* (alternative Methode, s. [Register 1](#)) nachgewiesen werden oder sind spezielle Nachweise z.B. der Stegsteifen zu führen, sind die Teilschnittgrößen in den Flanschen und Stegen zu ermitteln.

Die Teilschnittgrößen im Träger ergeben sich zu

Teilschnittgrößen

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

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

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

- Anschnitt Voute-Träger

$$N_{b,v,c} = (N_{v,d} \cdot z_{bo}/z_b + M_{v,d}/z_b) / \cos \Delta \alpha_v$$

- nur bei geschraubten Anschlüssen

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

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

- bei Stimblechanschluss

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

- bei Winkelanschluss

$$M'_d = M_d - V_d \cdot g_a$$

- sonst

$$M'_d = M_d$$

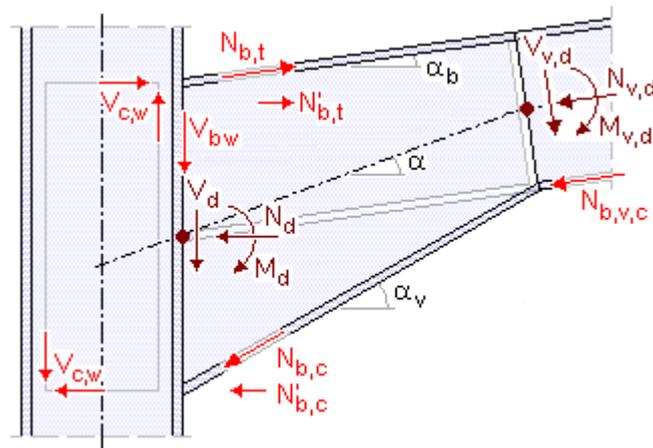
Die Teilschnittgrößen im Stützenstegfeld ergeben sich zu

- Schubkraft im Stützensteg

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

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

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



Nachweise

Folgende Nachweise können geführt werden

- Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode
- ... Anschlusstragfähigkeit mit Teilschnittgrößen (alternative Methode)
- ... Schweißnähte am Träger (Nachweis über den Linienquerschnitt)
- ... Stegsteifen (Rippen)
- ... Querschnittstragfähigkeit
- elastischer Schubfeldnachweis

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

Querschnittsnachweis

Der Tragsicherheitsnachweis der offenen, dünnwandigen Querschnitte kann nach den Nachweisverfahren

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

geführt werden.

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

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

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

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

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

Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Es können die

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

der Verbindung ausgewertet werden.

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

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

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

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

Die Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit ergibt sich zu

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

Alternativ kann ein Optimierungsverfahren (MNV-Interaktion) zur Ermittlung der Gesamtausnutzung verwendet werden

$$U_{MNV} \leq 1.0$$

Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit Teilschnittgrößen

Zusätzlich oder alternativ zu der Ermittlung der Tragfähigkeit mit der Komponentenmethode können die Grundkomponenten auch separat mit den **Teilschnittgrößen** nachgewiesen werden.

Zu weiterführenden Informationen führt die Beschreibung der einzelnen **Grundkomponenten**.

Nachweis der Schweißnähte als Linienquerschnitt

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

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

Beispielhaft sind nebenstehend die Einzelnähte, die den Linienquerschnitt bilden, für den einachsig belasteten Doppel-T-Querschnitt dargestellt.

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

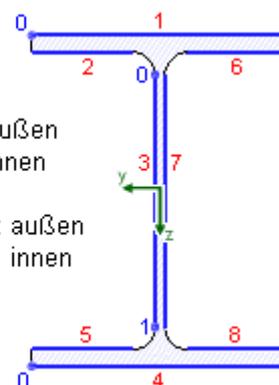
Stumpfnähte (Trägerstoß) werden an den Flanschen nur einseitig (außen) angeordnet, Nähte 2, 6, 5, 8 entfallen.

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

Da die Einzelnähte beliebig lang und dick sein können, kann der Schwerpunkt des Linienquerschnitts mehr oder weniger stark vom Querschnittsschwerpunkt abweichen.

Bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts werden die Querschnittsfläche ΣA_w , ggf. die Querschnittsfläche in z-Richtung $A_{w,z}$, die gesamte Nahtlänge Σl_w , das Trägheitsmoment $I_{w,y}$ und der Differenzabstand zum Querschnittsschwerpunkt Δz_w ermittelt.

- Naht 1: Trägerflansch mit Zug außen
 ... 2,6: innen
 ... 3,7: Trägersteg
 ... 4: Trägerflansch mit Druck außen
 ... 5,8: innen



Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

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

Über eine Interaktionsbeziehung (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:

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

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

Damit werden die Spannungen in den maßgebenden Nachweispunkten berechnet.

Spannungen in den Endpunkten der Nähte:

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

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

Nachweis für Naht 1, Pkt. 0:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

oder dem *vereinfachten Verfahren* nachgewiesen.

Nachweis für Naht 1, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche ($\alpha = 45^\circ$):

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

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

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

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

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

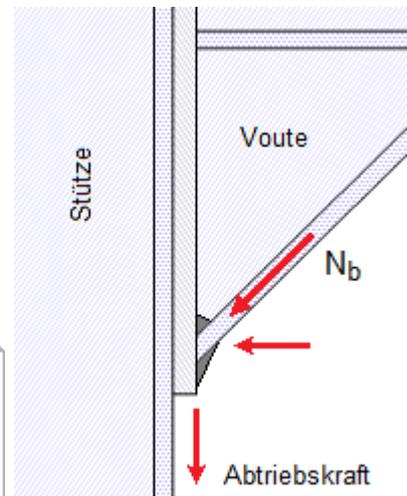
Nachweis der Umlenkkräfte bei geneigten Trägerflanschen

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

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

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

Beim richtungsbezogenen Verfahren ist die Flanschneigung zu beachten!



Nachweis der Umlenkräfte (richtungsbezogenes Verfahren)

Schweißnähte Druckflansch

Druckkraft $N_{b,c} = 325.9 \text{ kN}$

Schweißnähtwinkel $\varphi = 135^\circ$:

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

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

Schweißnähtwinkel $\varphi = 45^\circ$:

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

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

Nachweis der Stegsteifen

Stegsteifen können zur Verstärkung sowohl des Profilstegs als auch des Druckflanschs eingesetzt werden.

Sie werden beidseitig des Stegs entweder an einen (zweiseitiger Anschluss) oder beide (dreiseitiger Anschluss) Flansche angeschweißt.

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

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

Je nach Nachweisverfahren wird die Querschnittsklasse der Bleche über das c/t -Verhältnis bestimmt.

Ist die zulässige Q-Klasse 2 (*Elastisch-Plastisch*) oder 3 (*Elastisch-Elastisch*) überschritten, wird die Verbindung als unausgesteift betrachtet.

Für den Nachweis gelten folgende Annahmen

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

Bei geschweißten Profilen wird die gesamte Kraft über die Rippen gelenkt.

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

zweiseitiger Anschluss

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

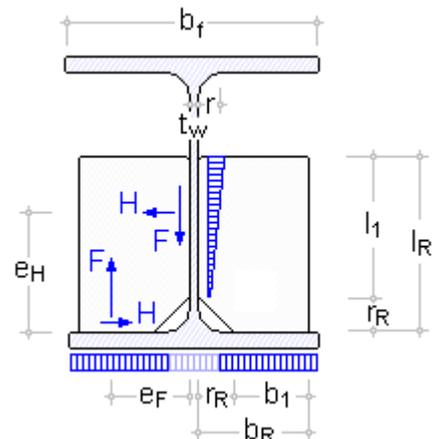
Bei dreiseitigem Rippenanschluss (Vollrippe) ist der Hebelarm $e_H = l_R$.

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

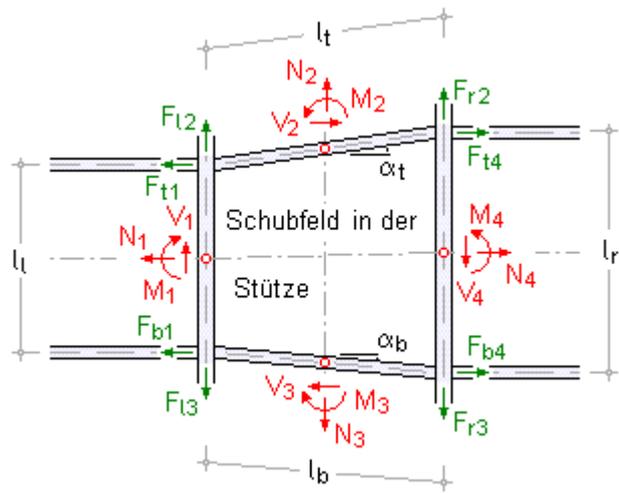
Abmessungen, Hebelarme, Kräfte je Rippe

$b_1 = b_R - r_R \dots e_F = b_R - 0.5 \cdot b_1 \dots l_1 = l_R - r_R$

für Walzprofile $F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f - 2 \cdot r - t_w) / b_f$
 für geschweißte Profile $F = 0.5 \cdot F_{c,Ed}$ } ... $H = F \cdot e_F / e_H$



Die Querschnittsnachweise erfolgen für folgende Bemessungsgrößen



Schubfeld in der Stütze

Wird das Schubfeld durch Diagonalsteifen ausgesteift, ist kein Schubfeldnachweis erforderlich.

Die im Schubfeld wirkenden Schnittgrößen werden aus den Anschnittgrößen berechnet (s. **Schnittgrößen**).

$$\begin{aligned}
 N_1 &= -N_{d2} & M_1 &= -(M_{d2} + (V_{d2} - N_{d2} \cdot \tan \alpha_2) \cdot t_{fc} / 2) & V_1 &= V_{d2} \\
 N_3 &= -N_c & M_3 &= -M_c & V_3 &= -V_c \\
 N_4 &= -N_d & M_4 &= -(M_d + (V_d - N_d \cdot \tan \alpha) \cdot t_{fc} / 2) & V_4 &= V_d \\
 N_2 &= -N_{c2} & M_2 &= -M_{c2} & V_2 &= V_{c2}
 \end{aligned}$$

Bei beidseitigen Verbindungen wird vereinfachend angenommen, dass die Stützensteifen das Schubfeld im Bereich der Trägerflansche von der einen zur anderen Seite begrenzen, so dass sich die Neigungswinkel α_b und α_t ergeben.

Es ergeben sich die Knotenkräfte am Schubfeld und in den Randsteifen sowie die Schubfeldkräfte

$$\begin{aligned}
 F_{b1} &= M_1 / h_1 + N_1 / 2 & N_b &= F_{b4} / \cos \alpha_b - F_{b1} / \cos \alpha_b \\
 F_{t1} &= -M_1 / h_1 + N_1 / 2 & N_t &= F_{t4} / \cos \alpha_t - F_{t1} / \cos \alpha_t \\
 F_{b4} &= M_4 / h_4 + N_4 / 2 & N_l &= F_{l3} + F_{b1} \cdot \tan \alpha_b - F_{l2} + F_{t1} \cdot \tan \alpha_t \\
 F_{t4} &= -M_4 / h_4 + N_4 / 2 & N_r &= F_{r3} + F_{b4} \cdot \tan \alpha_b - F_{r2} + F_{t4} \cdot \tan \alpha_t \\
 F_{r3} &= M_3 / h_3 + N_3 / 2 + V_3 / 2 \cdot \tan \alpha_b \\
 F_{l3} &= -M_3 / h_3 + N_3 / 2 + V_3 / 2 \cdot \tan \alpha_b \\
 V_{b3} &= V_3 / \cos \alpha_b & T_b &= -V_{b3} + N_b \\
 F_{r2} &= M_2 / h_2 + N_2 / 2 + V_2 / 2 \cdot \tan \alpha_t & T_t &= -V_{t2} - N_t \\
 F_{l2} &= -M_2 / h_2 + N_2 / 2 + V_2 / 2 \cdot \tan \alpha_t & T_l &= V_l - N_l \\
 V_{t2} &= V_2 / \cos \alpha_t & T_r &= V_4 + N_r
 \end{aligned}$$

aus denen die Schubspannungen berechnet und am Anschnitt der Steifen (Längen h_i) nachgewiesen werden.

Bei geschraubten Verbindungen wird die Zugbelastung über die Schrauben und nicht über den Trägerflansch in das Schubfeld eingetragen.

Daher gilt hier $l_r = l_l = z_{eq}$ (zur Berechnung von z_{eq} s. **Rotationssteifigkeit**).

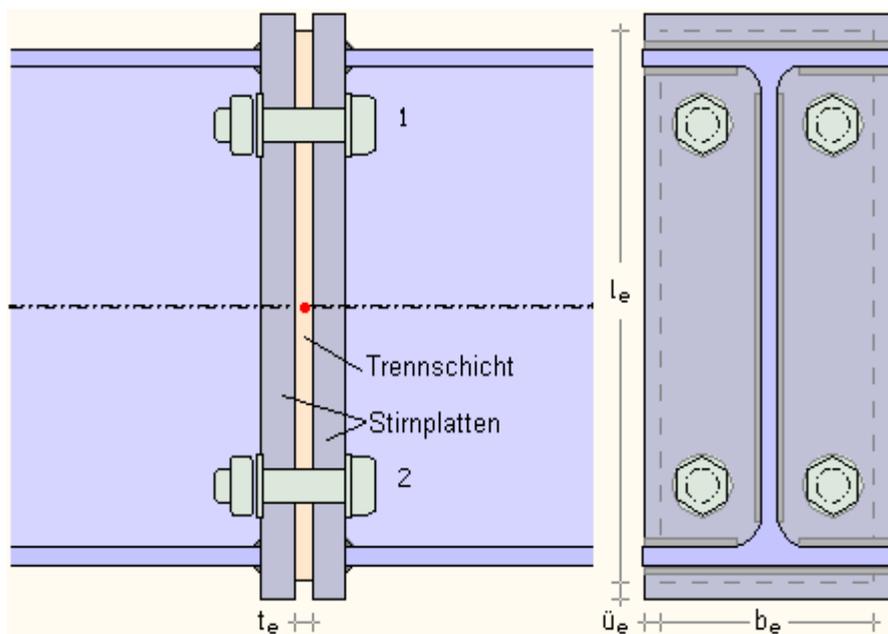
Diese Annahme wird bei beidseitigen Verbindungen nicht verfolgt, hier gilt $l_r = z_{b,r}$ und $l_l = z_{b,l}$.

Nachweis eines Stirnplattenstoßes mit thermischer Trennschicht

Durchstoßen Träger die Gebäudehülle (z.B. die Tragkonstruktion von Balkonen, außen liegende Stützen), kommt es i.A. aufgrund der hohen Temperaturleitfähigkeit des Stahls zu Kältebrücken zwischen Außen- und Innenbauteil.

Diese K. können vermieden oder zumindest reduziert werden, indem im Bereich der Dämmung ein Stirnblechstoß mit thermischer Trennschicht (z.B. Elastomerlager) angeordnet wird.

Der Nachweis der thermischen Trennschicht wird in Zusammenarbeit mit *Calenberg Ingenieure GmbH* geführt.



Die statischen Nachweise sind sowohl für die Trennschicht selbst als auch für den gesamten Anschluss mit Trennschicht zu führen. Der Nachweis der Trennschicht folgt *L. Nasdala*; der Nachweis der Anschluss Tragfähigkeit sowie die Berechnung der Rotationssteifigkeit werden nach *Y. Ciupack* geführt.

Beispielberechnung

Die Vorgehensweise wird an Hand der folgenden Anschlussgeometrie erläutert

- Träger IPE 300 ($h_b = 300$ mm, $t_{fb} = 10.7$ mm, $b_b = 150$ mm), Stirnblech $t_p = 20$ mm, $b_p = 150$ mm, $l_p = 340$ mm
- Trennschicht $t_e = 10$ mm, $ü_e = 10$ mm
- 2 Reihen mit je 2 Schrauben M 20, Festigkeitsklasse 10.9 (HV), vorgespannt mit $F_{p,C} = 80$ kN
- Abstand der Schrauben von der Systemachse $z_{r1} = -105$ mm, $z_{r2} = 105$ mm

Trennschichtlänge und -breite müssen um einen allseitigen Randabstand geringer sein als die Stirnblechabmessungen; sie werden vom Programm berechnet mit $h_e = l_p - 2 \cdot ü_e = 320$ mm, $b_e = b_p - 2 \cdot ü_e = 130$ mm.

Der Material sicherheit beträgt $\gamma_{Me} = 1.0$.

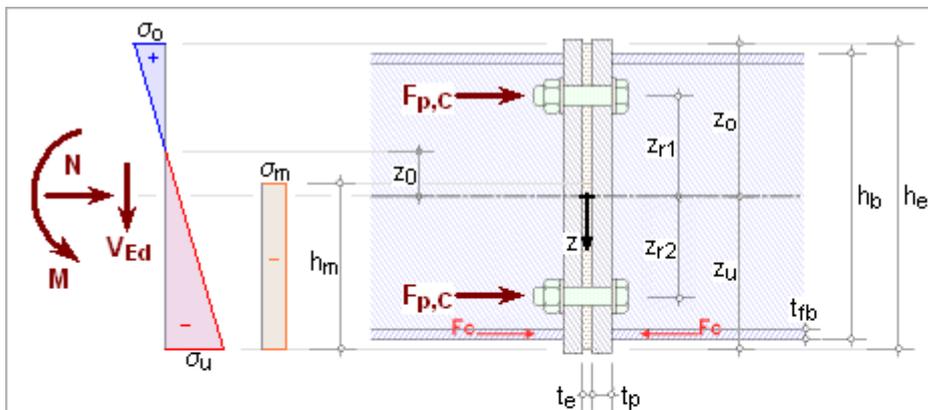
I.A. wird die Anschluss tragfähigkeit - auch bei vorgespannten Verbindungen - ohne Berücksichtigung der Vorspannkräfte ermittelt.

Da die Trennschicht jedoch sehr druckempfindlich ist, können die Vorspannkräfte beim Nachweis der Trennschicht nicht vernachlässigt werden.

• Nachweis der Trennschicht

Der Nachweis der Trennschicht erfolgt für charakteristische Schnittgrößen, die im Programm vereinfacht mittels Division der Bemessungsgrößen durch 1.4 ermittelt werden.

Zunächst werden aus der gegebenen Belastung die linearen Randspannungen der Trennschicht σ_o und σ_u ermittelt. Daraus ergibt sich der Spannungsnulldurchgang bei z_0 .



effektive Trennschichtlänge:

Annahme: Schraubenkräfte gleichmäßig verteilt
 charakteristische Schnittgrößen bzgl. der Trennschichtachse ($e = 0.0 \text{ mm}$) $N = 20.00 \text{ kN}$, $M = 30.00 \text{ kNm}$
 elastische Spannungen (einschl. Vorspannung) oben/unten $\sigma_o = 5.35 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_u = -21.69 \text{ N/mm}^2$
 Nulldurchgang $z_0 = -96.7 \text{ mm}$
 Schraubenkraft im elastischen Zugbereich (1 Schraubenreihe) $\Sigma F_{r,i} = 22.0 \text{ kN}$, $\Sigma(F_{r,i} \cdot z_{r,i}) = -2.3 \text{ kNm}$
 Vorspannkraft insgesamt $\Sigma F_{p,C} = n \cdot 2 \cdot F_{p,C} = 320.0 \text{ kN}$
 effektive Trennschichtlänge $h_m = -2 \cdot (z + (M + \Sigma(F_{r,i} \cdot z_{r,i})) / (N + \Sigma F_{r,i} + \Sigma F_{p,C})) = 167.0 \text{ mm}$, $z = -160.0 \text{ mm}$
 mittlere Druckspannung $\sigma_m = -(N + \Sigma F_{r,i} + \Sigma F_{p,C})^2 / (b_e [2 \cdot z \cdot (N + \Sigma F_{r,i} + \Sigma F_{p,C}) + 2 \cdot (M + \Sigma(F_{r,i} \cdot z_{r,i}))]) = 16.67 \text{ N/mm}^2$

Gibt es über den Querschnitt einen Bereich mit $\sigma > 0$ (Zugbereich), ist die vorhandene Schraubenkraft zu ermitteln. Die Sch. wird über Integration der Zugspannungen berechnet

$$\text{Zugbereich oben} \dots F = b_e \cdot \int_{z_0}^{z_0} \sigma(z) dz \dots \dots \dots \text{Zugbereich unten} \dots F = b_e \cdot \int_{z_0}^{z_u} \sigma(z) dz$$

Die effektive Länge der Trennschicht ist der Bereich, in dem eine konstante mittlere Druckspannung angenommen werden kann.

Nachweis der Trennschicht:

Anzahl Schrauben im effektiven Druckbereich (1 Schraubenreihe) $n_d = 2$
 Formfaktor $S = (h_m \cdot b_e \cdot n_d \cdot A_s) / (t_e \cdot (2 \cdot (h_m + b_e) + n_d \cdot U_s)) = 2.861$, $A_s = \pi \cdot (d + \Delta d)^2 / 4 = 380.1 \text{ mm}^2$, $U_s = \pi \cdot (d + \Delta d) = 69.1 \text{ mm}$

Die Anzahl der Schrauben im effektiven Druckbereich (d.h. innerhalb der Fläche $h_m \cdot b_m$) wird bei der Berechnung der zulässigen mittleren Druckspannung der Trennschicht berücksichtigt. Die Bemessung erfolgt mit Hilfe des Formfaktors.

Für das bisherige Material (Zulassung als Baulager bis 2016, wurde zurückgezogen) ergibt sich

zulässige mittlere Druckspannung $\sigma_{m,zul} = (S^2 + S + 1) / 0.7 = 17.21 \text{ N/mm}^2 < 30 \text{ N/mm}^2$
 Auslastung der Trennschicht $\sigma_m / \sigma_{m,zul} = 0.969 < 1$ ok

Der Nachweis des aktuellen Materials (Zulassung bis 2029) basiert auf Bemessungsgrößen. Für Schichtdicken bis 15 mm ergibt sich

zulässige mittlere Druckspannung $\sigma_{md,zul} = 16.2 \cdot S^{0.75} = 35.64 \text{ N/mm}^2 < 42 \text{ N/mm}^2$
 Bemessungsspannung $\sigma_{md} = 23.34 \text{ N/mm}^2$
 Auslastung der Trennschicht $\sigma_{md} / \sigma_{md,zul} = 0.655 < 1$ ok

Eine Schichtdicke von 20 mm ergibt

zulässige mittlere Druckspannung $\sigma_{md,zul} = 34.2 \cdot S^{0.70} = 43.94 \text{ N/mm}^2 < 63 \text{ N/mm}^2$
 Bemessungsspannung $\sigma_{md} = 23.34 \text{ N/mm}^2$
 Auslastung der Trennschicht $\sigma_{md} / \sigma_{md,zul} = 0.531 < 1$ ok

Das aktuelle Material ist erheblich druckresistenter als das zurückgezogene.

◆ **Nachweis der Schrauben auf Biegung**

Bei Querkraftbeanspruchung bietet die Trennschicht zwischen den Stirnplatten nur wenig Widerstand gegen Biegung. Daher sind die Schrauben mit dem Gewinde in der Scherfuge auf Abscheren und Biegung nachzuweisen.

Die Querkraft wird nur von den Druckschrauben übertragen.

Der Nachweis erfolgt analog zum Nachweis einer **Bolzenverbindung** nach EC 3-1-8, 3.13, wobei im Unterschied zum Bolzen das Gewinde in der Scherfuge liegt, und daher die Querschnittswerte aus dem Spannungsquerschnitt

der Schrauben gebildet werden.

Nachweis der Schrauben:

Die Vorspannkraft wird analog EC 3-1-8 beim Nachweis der Schrauben nicht berücksichtigt.

Bemessungsgröße $V_{Ed} = 40.00$ kN

Abscherkraft: $F_{Ed} = V_{Ed} / n_d = 20.0$ kN

Biegemoment: $M_{Ed} = V_{Ed} \cdot t_e / n_d = 0.20$ kNm, $t_e = 10.0$ mm, $n_d = 2$

Nachweis für Schrauben mit dem Gewinde in der Scherfuge:

Durchmesser des Spannungsquerschnitts $d = 2 \cdot (A_s / \pi)^{1/2} = 17.66$ mm

Abscheren

Querschnittsfläche der Schraube: $A = \pi \cdot d^2 / 4 = 2.45$ cm²

Abschertragfähigkeit je Scherfuge: $F_{v,Rd} = (0.5 \cdot f_{up} \cdot A) / \gamma_{M2} = 98.00$ kN, $f_{up} = 1000.0$ N/mm²

$F_{v,Ed} = F_{Ed} = 20.0$ kN < $F_{v,Rd} = 98.00$ kN $\Rightarrow U = 0.204 < 1$ **ok**

Biegung

Bei Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 (HV) wird der Biegezugwiderstand mit dem elastischen Widerstandsmoment berechnet.

Widerstandsmoment der Schraube: $W_{el} = \pi \cdot d^3 / 32 = 0.54$ cm³

Biegezugwiderstand: $M_{Rd} = (0.9 \cdot f_{yp} \cdot W_{el}) / \gamma_{M0} = 0.438$ kNm, $f_{yp} = 900.0$ N/mm²

$M_{Ed} = 0.20$ kNm < $M_{Rd} = 0.438$ kNm $\Rightarrow U = 0.456 < 1$ **ok**

Kombination von Abscheren und Biegung

$(F_{v,Ed} / F_{v,Rd})^2 + (M_{Ed} / M_{Rd})^2 = 0.250 < 1$ **ok**

• Tragfähigkeit eines Stirnblechstoßes mit thermischer Trennschicht

Unter der Annahme, dass die Druckkraft vom Trägerflansch über das Stirnblech (Ausbreitungsmaß 1:1.25) in die Trennschicht (Ausbreitungsmaß 1:1) eingeleitet wird, wird die effektive Breite in der Mitte der Trennschicht berechnet. Die Überstände des Stirnblechs und der Trennschicht vom Trägerflansch sind dabei zu berücksichtigen.

Tragfähigkeit eines Stirnblechstoßes mit thermischer Trennschicht:

effektive Breite der Trennschicht $b_{eff} = t_b + 2^{1/2} \cdot a_p + 1.25 \cdot t_p + t_e / 2 + \ddot{u}_b = 56.4$ mm, $\ddot{u}_b = 10.0$ mm, $a_p = 4.0$ mm

effektive Fläche der Trennschicht $A_{eff} = b_e \cdot b_{eff} = 73.26$ cm²

$F_{c,e,Rd} = A_{eff} \cdot f_e / \gamma_{Me} = 186.7$ kN, $f_e = \sigma_{m,zul} = 25.48$ N/mm², $\gamma_{Me} = 1.00$

Zur Ermittlung der Tragfähigkeit ist die effektive Fläche mit der zulässigen Bemessungsfestigkeit ($f_e = \sigma_{m,zul} / \gamma_{Me}$) zu multiplizieren.

Die Tragfähigkeit der Trennschicht geht nun analog anderer Druck-Komponenten (z.B. GK 2, s. **Komponentenmethode**) in die Ermittlung der Biegetragfähigkeit ein.

• Rotationssteifigkeit eines Stirnblechstoßes mit thermischer Trennschicht

Ein wesentlicher Rechenparameter ist der E-Modul der Trennschicht, der sowohl von der Größe und Dicke als auch von der Druckbelastung der Trennschicht abhängig ist.



Da sich der E-Modul der Trennschicht sowohl druck- als auch formatabhängig nichtlinear verhält, ist dessen Bestimmung ggf. unzuverlässig. Daher wird die Rotationssteifigkeit für Trägerstöße mit Trennschicht **nicht** berechnet!

Rotationssteifigkeit

Nach EC 3-1-8, 6.3.1, ist die Rotationssteifigkeit eines Anschlusses i.d.R. anhand der Verformbarkeiten der einzelnen Grundkomponenten zu berechnen. Die G_{kn} sind über ihre Steifigkeitskoeffizienten gekennzeichnet, die in EC 3-1-8, Tab. 6.11, angegeben sind.

Die Ermittlung der Rotationssteifigkeit wird für das Knotenmoment durchgeführt; ggf. wird es aus den gegebenen Schnittgrößen berechnet.

Die zu berücksichtigenden Grundkomponenten sind in EC 3-1-8, Tab. 6.9, für geschweißte Verbindungen und geschraubte Flanschwinkelverbindungen und in EC 3-1-8, Tab. 6.10, für geschraubte Stirnblechverbindungen angegeben.

Im Programm 4H-EC3BT werden folgende Steifigkeitskoeffizienten zur Ermittlung der Rotationssteifigkeit einseitig belasteter Verbindungen herangezogen.

- geschweißte Verbindungen - k_1, k_2, k_3
- Flanschwinkelverbindungen - $k_1, k_2, k_3, k_4, k_6, k_{10}, k_{11}, k_{12}$

Träger-Stützenanschluss mit Stirnblech bei einer Schraubenreihe mit Zugbelastung - k, k, k, k, k, k, k

-
- Träger-Stützenanschluss mit Stirnblech bei mehreren Schraubenreihen mit Zugbelastung - k_1, k_2, k_{eq}
- Trägerstoß mit Stirnblech bei einer Schraubenreihe mit Zugbelastung - k_5, k_{10}
- Trägerstoß mit Stirnblech bei mehreren Schraubenreihen mit Zugbelastung - k_{eq}

Der äquivalente Steifigkeitskoeffizient k_{eq} ergibt sich nach EC 3-1-8, 6.3.3, zu

$$k_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} \cdot h_r}{z_{eq}} \quad \dots \text{mit} \dots \quad k_{eff,r} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{k_{i,r}}} \quad \dots \text{und} \dots \quad z_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} \cdot h_r^2}{\sum_r k_{eff,r} \cdot h_r}$$

r Zähler der Schraubenreihen

Die beteiligten Steifigkeitskoeffizienten sind

- bei einem Träger-Stützenanschluss mit Stirnblech - k_3, k_4, k_5, k_{10}
- bei einem Trägerstoß mit Stirnblech - k_5, k_{10}

Wenn die Normalkraft im angeschlossenen Träger nicht mehr als 5% der plastischen Beanspruchbarkeit des Querschnitts beträgt, wird die Rotationssteifigkeit nach EC 3-1-8, 6.3.1(4), genügend genau ermittelt mit

$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{\mu} \quad \dots \text{wobei} \dots \quad S_{j,ini} = \frac{E \cdot z^2}{\sum_i \frac{1}{k_i}}$$

Das lastabhängige Steifigkeitsverhältnis berechnet sich nach EC 3-1-8, 6.3.1(6)

$$\dots \text{wenn } M_{j,Ed} \leq 2/3 \cdot M_{j,Rd} \dots \mu = 1$$

$$\dots \text{wenn } 2/3 \cdot M_{j,Rd} < M_{j,Ed} < M_{j,Rd} \dots \mu = (1.5 \cdot M_{j,Ed} / M_{j,Rd})^\Psi$$

Der Beiwert ψ hat nach EC 3-1-8, Tab.6.8, für geschweißte Verbindungen und geschraubte Stirnblechverbindungen den Wert 2.7 und für geschraubte Flanschwinkelverbindungen den Wert 3.1.

Über die Momenten-Rotations-Charakteristik lässt sich für ein gegebenes Moment die Verdrehung des Anschlusses bestimmen über

$$\varphi_{Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd}$$

Beispielhaft ist im Folgenden als Druckdokument die Berechnung der Rotationssteifigkeit eines unausgesteiften Träger-Stützenanschlusses mit Stirnblech und zwei Schraubenreihen unter Zugbelastung dargestellt (Beispielrechng.).

Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 3 Zug-Schraubenreihen:

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 1:

$$k_5 = 0.9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_p^3 / m^3 = 2.45 \text{ mm}, \quad \min l_{\text{eff}} = 45.0 \text{ mm}, \quad m = 25.5 \text{ mm}$$

$$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 4.12 \text{ mm}, \quad L_b = t_{\text{ges}} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m) / 2 = 32.8 \text{ mm}, \quad t_{\text{ges}} = 18.0 \text{ mm}$$

$$k_3 = 0.7 \cdot b_{\text{eff}, t, \text{wc}} \cdot t_{\text{wc}} / d_c = 2.23 \text{ mm}, \quad b_{\text{eff}, t, \text{wc}} = 87.7 \text{ mm}$$

$$k_4 = 0.9 \cdot l_{\text{eff}} \cdot t_c^3 / m^3 = 11.62 \text{ mm}, \quad \min l_{\text{eff}} = 87.7 \text{ mm}, \quad m = 15.2 \text{ mm}$$

$$\Sigma(1/k_{i,1}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 1.186 \Rightarrow k_{\text{eff},1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 0.843 \text{ mm}$$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 2:

⋮

$$k_{\text{eff},2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 1.170 \text{ mm}$$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 3:

⋮

$$k_{\text{eff},3} = 1 / \Sigma(1/k_{i,3}) = 1.170 \text{ mm}$$

äquivalenter innerer Hebelarm: $z_{\text{eq}} = \Sigma(k_{\text{eff},r} \cdot h_r^2) / \Sigma(k_{\text{eff},r} \cdot h_r) = 157.2 \text{ mm}$

$$k_{\text{eq}} = \Sigma(k_{\text{eff},r} \cdot h_r) / z_{\text{eq}} = 2.386 \text{ mm}$$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 1:

$$k_1 = 0.38 \cdot A_{\text{vc}} / (\beta \cdot z) = 4.42 \text{ mm}, \quad \beta = 0.6, \quad z = 157.2 \text{ mm}$$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 2:

$$k_2 = \infty \text{ (ausgesteift)}$$

$$\text{Summe der Steifigkeitskoeffizienten } \Sigma(1/k_i) = 1/k_1 + 1/k_2 + 1/k_{\text{eq}} = 0.645$$

Rotationssteifigkeit

Anfangsrotationssteifigkeit: $S_{j,\text{ini}} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 8041.3 \text{ kNm/rad}, \quad z = z_{\text{eq}} = 157.2 \text{ mm}$

Biegemoment im Anschluss: $M_{j,\text{Ed}} = M_{\text{Ed}} = 17.71 \text{ kNm}$

Normalkraft im Träger: $N_{b,\text{Ed}} = N_d = 8.91 \text{ kN}$

$$|N_{b,\text{Ed}}| = 8.91 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{\text{pl,Rd}} = 28.14 \text{ kN} \quad \text{o.k.}$$

$$\text{mit } N_{\text{pl,Rd}} = A_b \cdot f_{y,b} / \gamma_{M0} = 562.76 \text{ kN}$$

$$|M_{j,\text{Ed}}| = 17.71 \text{ kNm} > 2/3 M_{j,\text{Rd}} = 14.6 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = ((1.5 \cdot M_{j,\text{Ed}}) / M_{j,\text{Rd}})^{\Psi} = 1.698, \quad \Psi = 2.7$$

Rotationssteifigkeit: $S_{j,\text{Rd}} = S_{j,\text{ini}} / \mu = 4736.8 \text{ kNm/rad}$

Verdrehung: $\varphi_{j,\text{Ed}} = M_{j,\text{Ed}} / S_{j,\text{Rd}} = 0.214^\circ$

Rotationskapazität

Nach EC 3-1-8, 6.4.1(1), müssen die Anschlüsse bei starr-plastischer Berechnung an den Stellen, an denen plastische Gelenke entstehen können, über ausreichende Rotationskapazität verfügen.

Bei einem Träger-Stützenanschluss, dessen Biegetragfähigkeit durch die Schubtragfähigkeit des Stützenstegfeldes bestimmt wird, kann davon ausgegangen werden, dass genügend Rotationskapazität vorhanden ist, wenn gilt

$$d_{\text{wc}} / t_{\text{w}} \leq 69$$

Bei Stirnblech- oder Flanschwinkelverbindungen kann davon ausgegangen werden, dass genügend Rotationskapazität vorhanden ist, wenn

- die Biegetragfähigkeit des Anschlusses bestimmt wird durch die Tragfähigkeit des Stützenflansches oder von Stirnblech/Flanschwinkel
- die Dicke des Stützenflanschs, Stirnblechs oder Flanschwinkels folgende Bedingung erfüllt

$$t \leq 0.36 \cdot d \cdot \sqrt{f_{\text{ub}} / f_y}$$

d Nenndurchmesser der Schraube

f_{ub} Bruchfestigkeit des Schraubenwerkstoffs

f_y Streckgrenze der maßgebenden Grundkomponente

Bei einem geschraubten Anschluss, dessen Biegetragfähigkeit durch die Abschertragfähigkeit der Schrauben bestimmt wird, darf nicht davon ausgegangen werden, dass genügend Rotationskapazität vorhanden ist.

Bei einem geschweißten Träger-Stützenanschluss, bei dem der Stützensteg nur in der Druckzone ausgesteift ist und die Biegetragfähigkeit nicht durch die Schubtragfähigkeit des Stützenstegfeldes bestimmt wird, kann die Rotationskapazität bestimmt werden mit

$$\Phi_{\text{Cd}} = 0.025 \cdot h_c / h_b$$

h_c Profilhöhe des Trägers

h_b ... der Stütze

Bei einem nicht ausgesteiften Träger-Stützenanschluss kann eine Rotationskapazität angenommen werden von mindestens

$$\Phi_{Cd} = 0.015$$

nationale Anhänge zu den Eurocodes

Die Eurocode-Normen gelten nur in Verbindung mit ihren *nationalen Anhängen* in dem jeweiligen Land, in dem das Bauwerk erstellt werden soll.

Für ausgewählte Parameter können abweichend von den Eurocode-Empfehlungen (im Eurocode-Dokument mit 'ANMERKUNG' gekennzeichnet) landeseigene Werte bzw. Vorgehensweisen angegeben werden.

In **pcae**-Programmen können die veränderbaren Parameter in einem separaten Eigenschaftsblatt eingesehen und ggf. modifiziert werden.



Dieses Eigenschaftsblatt dient dazu, dem nach Eurocode zu bemessenden Bauteil ein nationales Anwendungsdokument (NA) zuzuordnen.

NAe enthalten die Parameter der nationalen Anhänge der verschiedenen Eurocodes (EC 0, EC 1, EC 2 ...) und ermöglichen den **pcae**-Programmen das Führen normengerechter Nachweise, obwohl sie von Land zu Land unterschiedlich gehandhabt werden.

Die EC-Standardparameter (Empfehlungen ohne nationalen Bezug) wie auch die Parameter des deutschen nationalen Anhangs (NA-DE) sind grundsätzlich Teil der **pcae**-Software.

Darüber hinaus stellt **pcae** ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem weitere NAe aus Kopien der bestehenden NAe erstellt werden können. Dieses Werkzeug, das über ein eigenes Hilfedokument verfügt, wird normalerweise aus der Schublade des DTE[®]-Schreibtisches heraus aufgerufen. Einen direkten Zugang zu diesem Werkzeug liefert die kleine Schaltfläche hinter dem **Schraubenziehersymbol**.

zur Hauptseite [4H-EC3BT](#), Biegesteife Trägeranschlüsse



© **pcae** GmbH Kopernikusstr. 4A 30167 Hannover Tel. 0511/70083-0 Fax 70083-99 Mail dte@pcae.de