



# 4H-EC3RE Rahmenecke / T-Anschluss

## Detailinformationen

Seite erweitert Oktober 2024

+ Kontakt + Programmübersicht + Bestelltext 

## Infos auf dieser Seite

... als pdf 

- |                                 |   |                                  |   |                                  |   |
|---------------------------------|---|----------------------------------|---|----------------------------------|---|
| • Rechenlaufsteuerung .....     |  | • allgemeine Erläuterungen ..... |  | • Zugblech .....                 |  |
| • Profile / Verstärkungen ..... |  | • Komponentenmethode .....       |  | • Schubfeld .....                |  |
| • Anschlussparameter .....      |  | • Teilschnittgrößen .....        |  | • Beulen .....                   |  |
| • Schnittgrößen .....           |  | • Nachweise .....                |  | • Rahmenecke mit Zuglasche ..... |  |
| • Schnittgrößenimport .....     |  | • Schweißnähte .....             |  | • Rotationssteifigkeit .....     |  |
| • Ergebnisübersicht .....       |  | • Stegsteifen .....              |  | • Rotationskapazität .....       |  |
|                                 |   |                                  |   | • nationale EC-Anhänge .....     |  |

## Rechenlaufsteuerung



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

4H-EC3 - Rahmenecke [Position 32: Beispiel geschraubt - Hilfe]

einheitliche Stahlsorte  
Stahlsorte: S235   Vorgabe  
Kennung:

Schrauben  
Schraubengröße: M20   Vorgabe  
Festigkeitsklasse: 10.9   Vorgabe  
 normale Schlüsselweite  große Schlüsselweite  
FK 8.8 oder 10.9; HV-Schraube  
planmäßig vorgespannt  
 Passschraube  
 gleitfeste Verbindung

Rahmenecke  rechtsseitig  linksseitig  T-Anschluss

komplette Berechnung  
 Berechnung ausgewählter Grundkomponenten  
 keine Berechnung der Grundkomponenten

Nachweise führen  
 Nachweisverfahren 'Elastisch-Plastisch'  
 Nachweisverfahren 'Elastisch-Elastisch'  
 Komponentenmethode nach Eurocode 3  
 MNV-Interaktion nach Cefontaine (s. Jaspart/Weynand)  
nur bei geschraubten Anschluss  
 einschl. Querkraft nur bei geschraubten Anschluss  
 vereinfachte Berechnung der Querkrafttragfähigkeit  
 Grundkomponenten mit Teilschnittgrößen (alternative Methode)  
 Zusatznachweise (Variante 1: Träger, Variante 3: Stütze)  
Nachweise am Auflageranschnitt, der Trägerstützensteifen, des Stirnblechstoßes  
 Stegsteifen (Rippen) / Zugblech (Kopfplatte)  
 Beulnachweis  
 elastischer Schubfeldnachweis (optional)

Schweißnähte Nachweis über den Liniengusschnitt  
 Nachweis mit dem richtungsbezogenen Verfahren  
 Nachweis mit dem vereinfachten Verfahren

Bild vergrößern 

## Allgemeines

Das Programm 4H-EC3RE stellt eine Vielzahl einstellbarer Parameter zur Verfügung, um beliebige Rahmenecken oder T-Anschlüsse abilden zu können.

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

Bei Deaktivierung des Buttons **weitere Einstellungen** werden einige Parameter nicht mehr auf der Eingabeoberfläche dargestellt und programmintern auf sinnvolle Werte gesetzt.

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

 Daten exportieren

 Daten importieren

weitere Einstellungen

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

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

## Teilsicherheitsbeiwerte

Im Programm 4H-EC3RE werden für den Nachweis von Träger-Stützenanschlüssen nach EC 3-1-8 folgende Teilsicherheitsbeiwerte herangezogen

### Materialsicherheitsbeiwerte für Anschlüsse (checkbox genormte Werte)

Beanspruchbarkeit von Querschnitten	$\gamma_{M0}$	1.00
Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen	$\gamma_{M1}$	1.10
Beanspruchbarkeit von Verbindungsmitteln	$\gamma_{M2}$	1.25
Vorspannung hochfester Schrauben	$\gamma_{M7}$	1.10

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

Bei **reduzierter Einstellung** werden die genormten Teilsicherheitsbeiwerte für Anschlüsse übernommen.

## Stahlsorte

Grundsätzlich kann jedem Verbindungselement ein eigenes Material zugeordnet werden.

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

### einheitliche Stahlsorte

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

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

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

## Schrauben

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

Bei beidseitiger Verbindung (T-Anschluss) wird jeder Anschlussseite eine eigene Schraubengröße/-festigkeit zugeordnet.

Der Übersichtlichkeit halber kann an dieser Stelle eine einheitliche Schraubengröße/-festigkeit gewählt werden. Anschlusspezifische 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	<input type="text" value="M24"/> <input type="button" value="▼"/>	<input type="checkbox"/> Vorgabe
Festigkeitsklasse	<input type="text" value="10.9"/> <input type="button" value="▼"/>	<input type="checkbox"/> Vorgabe
<input type="radio"/> normale Schlüsselweite	<input type="radio"/> große Schlüsselweite	
<input type="checkbox"/> Passschraube	FK 8.8 oder 10.9: HV-Schraube	
<input type="checkbox"/> gleitfeste Verbindung	kontrolliert voll vorgespannt	

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.

#### Anschlusstyp

Es werden zwei Anschlusskonfigurationen unterschieden

**Rahmenecke**  **rechtsseitig**  **linksseitig**  **T-Anschluss**

Stützenkopfverbindungen können entweder einseitig als Rahmenecken oder beidseitig als T-Anschlüsse erfolgen, wobei eine Rahmenecke rechts- oder linksseitig angeschlossen werden kann.

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

Horizontale Verbindungen (Variante 2) werden als einseitige Anschlüsse aufgefasst.

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 einer Rahmenecke 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 7: Trägerflansch und -steg mit Druck
- Gk 8: Trägersteg mit Zug
- Gk 10: Schrauben mit Zug
- Gk 11: Schrauben mit Abscheren
- Gk 12: Blech mit Lochleibung
- Gk 20: Gevouteter Träger mit Druck
- ▶ alle an/aus

**keine Berechnung der Grundkomponenten**

Bei **reduzierter Einstellung** können keine benutzerspezifischen Grundkomponenten ausgewählt werden.

### Nachweise

Das Programm 4H-EC3RE 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 Wahl des Nachweisverfahrens ist bei der Berechnung der Druckkomponenten Gk 2 und 20 relevant.  
Es geht ebenso in die Nachweise der Stegsteifen und der Querschnittstragfähigkeit ein.  
Außerdem wird es beim Beulnachweis berücksichtigt.  
Es kann zwischen *elastisch-plastischem* und *elastisch-elastischem* Verfahren unterschieden werden.
- die Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit aus Querkraft 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 zusätzlich der Anschluss der Voute an den Träger berücksichtigt werden.

Ebenso kann bei einer geschweißten Rahmenecke (**Variante 1**) der Stirnblechstoß im Träger zusätzlich nachgewiesen werden.

Analog hierzu wird bei der diagonalen Rahmenecke (**Var. 3**) der Stirnblechstoß der Stütze nachgewiesen.

- **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) und **Zugblech** können optional nachgewiesen werden
- das **Schubfeld** kann optional sowohl in der Stütze als auch im Träger elastisch nachgewiesen werden
- bei besonders hoch belasteten Rahmenecken sowie bei sehr hohen Trägern muss ggf. die **Beulsicherheit** nachgewiesen werden.

Hierbei können entweder die *Methode der reduzierten Spannungen* oder das *Verfahren der wirksamen Fläche* verwendet werden.

**Nachweise führen**

- Nachweisverfahren 'Elastisch-Plastisch'
  - Nachweisverfahren 'Elastisch-Elastisch'
  - Komponentenmethode nach Eurocode 3
    - MNV-Interaktion nach Cerdon (s. Jaspart/Weynand)  
nur bei geschraubtem Anschluss
    - einschl. Querkraft nur bei geschraubtem Anschluss
      - vereinfachte Berechnung der Querkrafttragfähigkeit
    - Grundkomponenten mit Teilschnittgrößen (alternative Methode)
  - Zusatznachweise (Variante 1: Träger, Variante 3: Stütze)  
Nachweise am Voutenanschnitt, der Träger/Stützensteifen, des Stirnblechstoßes
  - Stegsteifen (Rippen) / Zugblech (Kopfplatte)
  - Beulnachweis
    - Methode der reduzierten Spannungen
    - Verfahren der wirksamen Querschnittsflächen
  - elastischer Schubfeldnachweis (optional)
- 
- Schweißnähte Nachweis über den Linienquerschnitt
    - Nachweis mit dem richtungsbezogenen Verfahren
    - Nachweis mit dem vereinfachten Verfahren
- 
- Rotationssteifigkeit
- 
- Querschnittstragfähigkeit

Bei Bedarf kann die **Rotationssteifigkeit** der Verbindung für die berechneten Grundkomponenten ermittelt werden.

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

Optional können **Querschnittsnachweise** des Trägers und/oder der Stütze für die eingegebenen Schnittgrößenkombinationen in der Anschlussebene durchgeführt werden.

Bei reduzierter Eingabe werden alle erforderlichen Nachweise geführt.

## Verschiedenes

T-Anschlüsse: Zur Berechnung von Gleichgewichtssystemen und bei händischer Eingabe der Schnittgrößen empfiehlt es sich die Schnittgrößen einer Anschlussseite vom Programm berechnen zu lassen.

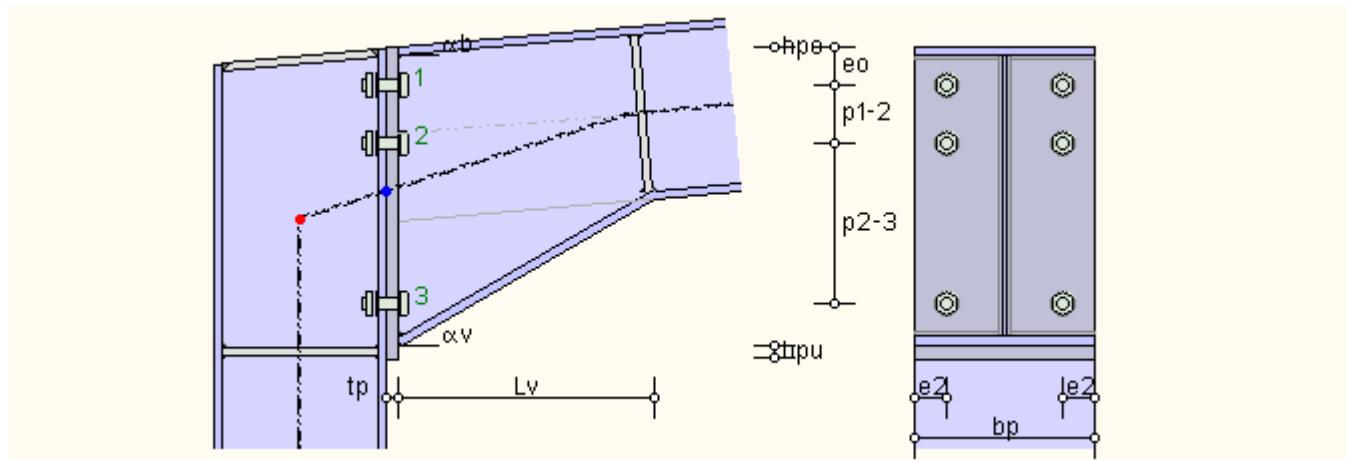
Bei Aktivierung dieser Option werden die Schnittgrößen des Stützenanschnitts berechnet.

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

Das Programm 4H-EC3RE bietet die Möglichkeit, die zur visuellen Kontrolle vorhandenen Bildschirmgrafiken entweder innerhalb des jeweiligen Eingabefensters anzuordnen oder in einem separaten Fenster anzuzeigen, um die Eingaberegister optimal für die Dateneingabe auszunutzen.

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

Ebenso sind die wesentlichen Parameter der Abmessungen bezeichnet.



### Profile und Verstärkungen



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

4H-EC3 - Rahmenecke [Position 32: Beispiel geschraubt - Hilfe]

✓ I + - X ? ✓
ec Hilfe ? ? ? ?

**Stütze**

Profil aus Profilmanager  
 parametrisiertes Stahlprofil

IPE330 ✓

**Stütze**

Verstärkung des Stützenprofils durch Stegbleche  
nutzt Variante 1

ein Stegblech  zwei Stegbleche

Blechdicke  $t_s$   mm  $t_s = 0$ : Stegdicke

Schweißnahtdicke  $a_s$   mm  
 $a_s = 0$ : kein Nachweis, sonst  $a_s = t_s$  (durchgeschweißt)

Kontrolle der Abmessungen

Verstärkung des Stützenprofils durch Stegsteifen  
nutzt Variante 1

Blechdicke  $t_{st}$   mm

Blechbreite  $b_{st}$   mm  $b_{st} = 0$ : Flanschrand - Steg

Aussparung  $c_{st}$   mm  $c_{st} = 0$ : 15xRundungsradius

Schweißnahtdicke  $a_{st,f}$   mm  
 an Stützenflansch

Schweißnahtdicke  $a_{st,w}$   mm  
 an Stützensteg

**Stütze**

**Träger**

Profil aus Profilmanager  
 parametrisiertes Stahlprofil

IPE300 ✓

**Anschluss**

Verstärkung des Trägerprofils durch Stegbleche  
nutzt Variante 2

ein Stegblech  zwei Stegbleche

Blechdicke  $t_s$   mm  $t_s = 0$ : Stegdicke

Blechlänge  $l_s$   mm  $l_s = 0$ : Stützenhöhe

Schweißnahtdicke  $a_s$   mm  
 $a_s = 0$ : kein Nachweis, sonst  $a_s = t_s$  (durchgeschweißt)

Kontrolle der Abmessungen

Verstärkung des Trägerprofils durch Stegsteifen

Verstärkung der Verbindung durch eine Dreieckkrippe

**Träger**

Bild vergrößern +

#### Profile

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

- Profil aus Profilmanager
- parametrisiertes Stahlprofil

I-Profil

Profilname 

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

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

- Profil aus Profilmanager
- parametrisiertes Stahlprofil

Profilklasse

I-Profil

Profilhöhe	$h$	<input type="text" value="390.0"/>	mm
Stegdicke	$t_w$	<input type="text" value="11.0"/>	mm
Flanschbreite oben	$b_{fo}$	<input type="text" value="300.0"/>	mm
Flanschdicke oben	$t_{fo}$	<input type="text" value="19.0"/>	mm
Flanschbreite unten	$b_{fu}$	<input type="text" value="300.0"/>	mm
Flanschdicke unten	$t_{fu}$	<input type="text" value="19.0"/>	mm

 gewalztes ProfilAusrundungsradius  $r$   mm geschweißtes Profil

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 Rahmenecken oder T-Anschlüsse 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.

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.

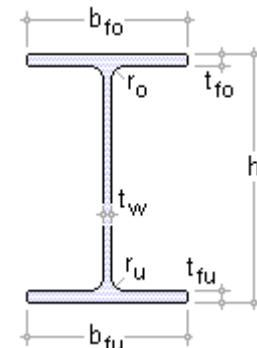
- gewalztes Profil
- geschweißtes Profil
  - Kehlnaht: Dicke  $a_o$   mm
  - Stumpfnah
  - Kehlnaht: Dicke  $a_u$   mm
  - Stumpfnah

Diese Schweißnähte werden **nicht** nachgewiesen.

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

Bei reduzierter Eingabe (s. **Register 1**) sind die Profilabmessungen symmetrisch, d.h. es gilt bei Doppel-T-Profilen  $b_{fu} = b_{fo}$ ,  $t_{fu} = t_{fo}$ .

Geschweißte Doppel-T-Profilen 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**

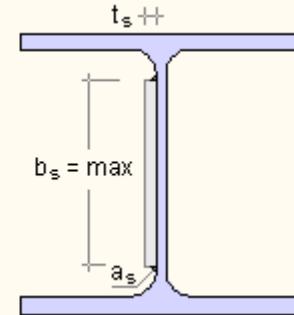
ein Stegblech     zwei Stegbleche

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  $40 \cdot \varepsilon \cdot t_s$  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 Stegs unter der Querzugbeanspruchung und der Querdruckbeanspruchung hinaus erstreckt (EC 3-1-8, 6.2.6.1 (10))
- die Dicke  $t_s$  des zusätzlichen Stegblechs sollte mindestens der Stützenstegdicke entsprechen (EC 3-1-8, 6.2.6.1 (11))

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

Ist jedoch die Kontrolle der Abmessungen unterdrückt, wird nur die Fehlermeldung ausgegeben, die Berechnung aber fortgesetzt.

Im Programm 4H-EC3RE werden Breite, Stahlgüte und Schweißnahtdicke des Stegblechs vorbelegt

- die Stegblechbreite  $b_s$  wird entsprechend der Steghöhe des Profils (ohne Ausrundung bzw. Schweißnahtschenkel) gesetzt
- die Stahlgüte des Stegblechs ist gleich der des Profils
- die Dicke der Schweißnaht um das Stegblech herum wird angenommen zu  $a_s = t_s$ . Ist die Kontrolle der Abmessungen deaktiviert, kann die Schweißnahtdicke beliebig gesetzt werden.

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

- bei  $l_s = 0$  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

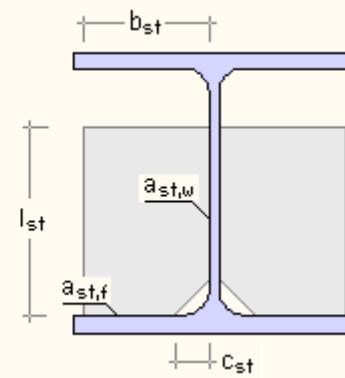
Sind keine zusätzlichen Stegsteifen angeordnet, besteht die Möglichkeit, die Länge eines Blechs vom Programm sinnvoll belegen zu lassen, d.h.

- bei  $l_s = 0$  wird die Stegblechlänge gleich der Gesamthöhe des angeschlossenen Profils gesetzt. Falls zusätzlich Stegsteifen angeordnet sind, wird die Stegblechlänge in die Steifen eingepasst und kann nicht gesetzt werden.

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

**Verstärkung des Stützenprofils durch Stegsteifen**

Blechdicke	<input type="text" value="15.0"/>	mm
Blechbreite	<input type="text" value="130.0"/>	mm $b_{st} = 0$ : Flanschrand - Steg
Blechlänge	<input type="text" value="200.0"/>	mm $l_{st} = 0$ : Flansch - Flansch
Aussparung an den Steifen	<input type="text" value="40.0"/>	mm $c_{st} = 0$ : 1.5xRundungsradius
Schweißnahtdicke am Stützenflansch	<input type="text" value="4.0"/>	mm
Schweißnahtdicke am Stützensteg	<input type="text" value="4.0"/>	mm



Stegsteifen (Rippen) werden beidseitig an Flansch und Steg der Stütze angeschweißt. Die Länge der Stegsteifen kann bei T-Anschlüssen verändert werden, muss aber 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

Bei Rahmenecken sind die Rippen stets zwischen die Flansche des Profils geschweißt.

Die **Stegsteifen** können optional 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 (einschl. Ausrundung) 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.

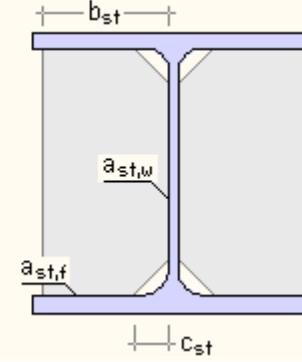
Zur Vergrößerung der Tragfähigkeit des Stützenstegs können bei Rahmenecken (Variante 1) zusätzlich Diagonalsteifen angeordnet werden. Sie verlaufen stets von rechts unten (positiver Druckpunkt) nach links oben.

Bei Diagonalsteifen kann nur die Blechdicke variiert werden, alle weiteren Abmessungen entsprechen denen der Quersteifen.

**Verstärkung des Trägerprofils durch Stegsteifen**

*nur bei Vouten*

Blechdicke	<input type="text" value="10.0"/>	mm
Blechbreite	<input type="text" value="90.0"/>	mm $b_{st} = 0$ : Flanschrand - Steg
Aussparung an den Steifen	<input type="text" value="30.0"/>	mm $c_{st} = 0$ : 1.5xRundungsradius
Schweißnahtdicke am Trägerflansch	<input type="text" value="4.0"/>	mm
Schweißnahtdicke am Trägersteg	<input type="text" value="4.0"/>	mm



Bei gevouteten Verbindungen (Variante 1) können zur Druckverstärkung des Trägerstegs am Anschluss Voute/Träger Stegsteifen angeordnet werden.

Ebenso sind bei horizontalen Verbindungen (Variante 2) Trägersteifen sinnvoll, um das Stegfeld zu begrenzen.

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

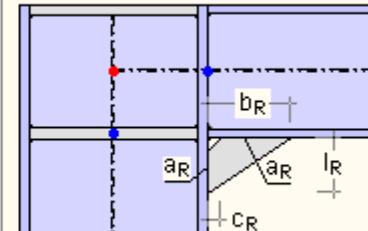
Blechdicke  $t_R$   mm

Blechbreite  $b_R$   mm  $b_R = 0$ : wie Länge

Blechlänge  $l_R$   mm

Aussparung  $c_R$   mm  $c_R = 0$ : 1.5xNahtschenkel  
an den Rippen

Schweißnahtdicke  $a_R$   mm + +



Alternativ zu Vouten können bei nicht geneigten Trägern Dreieckrippen in der Achse des Stützen- bzw. Trägerstegs zwischen Träger- und Stützenflansch angebracht werden, die dazu dienen, die Drucktragfähigkeit des Trägerflanschs zu erhöhen.

Bei T-Anschlüssen der Variante 2 werden zwei Dreieckrippen rechts und links der Stütze angeschweißt.

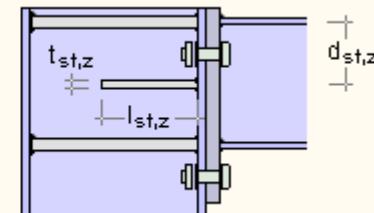
**Verstärkung der Verbindung durch Zwischensteifen**

nur bei Variante 1

Abstand  $d_{st,z}$   mm  
von der oberen Stützensteife

Blechdicke  $t_{st,z}$   mm  $t_{st,z} = 0$ : wie Stützensteifen

Blechlänge  $l_{st,z}$   mm  $l_{st,z} = 0$ : wie Stützensteifen  
 $b, c, a_f, a_w$  s. Stützensteifen



Sind Stützenstegsteifen aktiviert, können bei vertikalen Anschlüssen (Var. 1) Zwischensteifen zwischen die Stützenstegsteifen geschweißt werden.

Sie 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 einer Rahmenecke oder einer horizontalen Verbindung (Var. 2) erfolgt in Register 3.

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

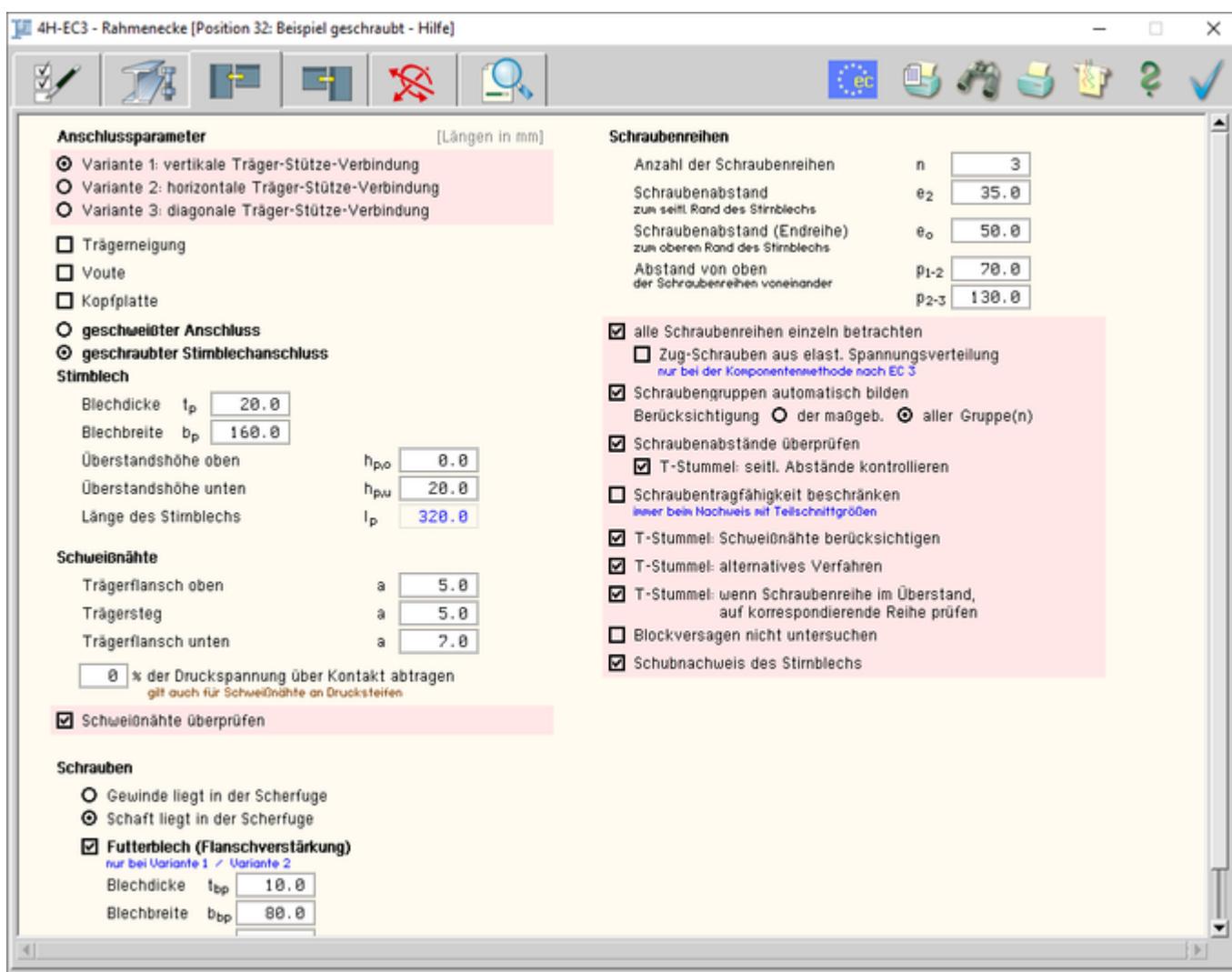


Bild vergrößern

## Anschlusskonfigurationen

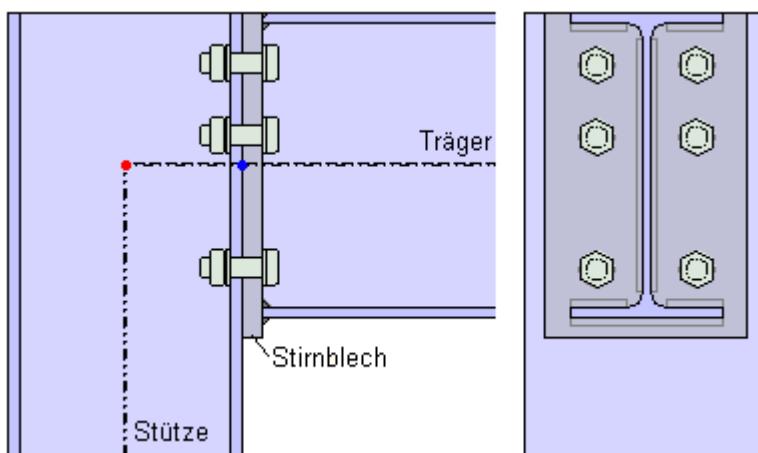
Folgende Anschlusskonfigurationen werden angeboten

- geschweißte Rahmenecke
  - als vertikale Träger-Stützen-Verbindung (Variante 1) ggf. mit Stirnblechstoß im Träger
  - ... horizontale Träger-Stützen-Verbindung (Var. 2)
  - ... diagonale Träger-Stützen-Verbindung (Var. 3)
- geschraubte Rahmenecke
  - als vertikale Träger-Stützen-Verbindung (Var. 1)
  - ... horizontale Träger-Stützen-Verbindung (Var. 2)
  - ... diagonale Träger-Stützen-Verbindung (Var. 3)
- geschweißter T-Anschluss
  - als vertikale Träger-Stützen-Verbindung (Var. 1)
  - ... horizontale Träger-Stützen-Verbindung (Var. 2)
- geschraubter T-Anschluss
  - als vertikale Träger-Stützen-Verbindung (Var. 1)
  - ... horizontale Träger-Stützen-Verbindung (Var. 2)

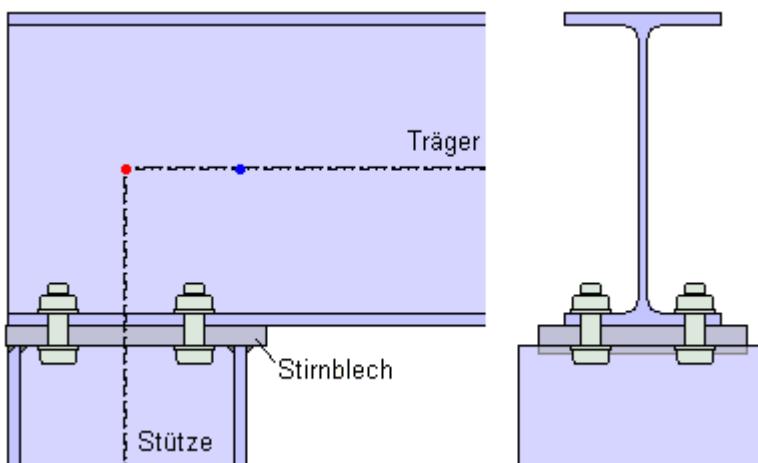
Je nach Konfiguration werden die zur Berechnung des Anschlusses notwendigen Parameter freigelegt.

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

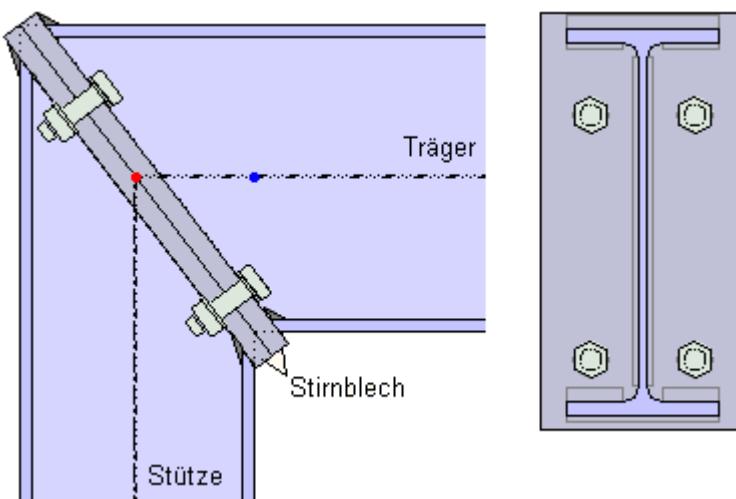
## Rahmenecke - Variante 1



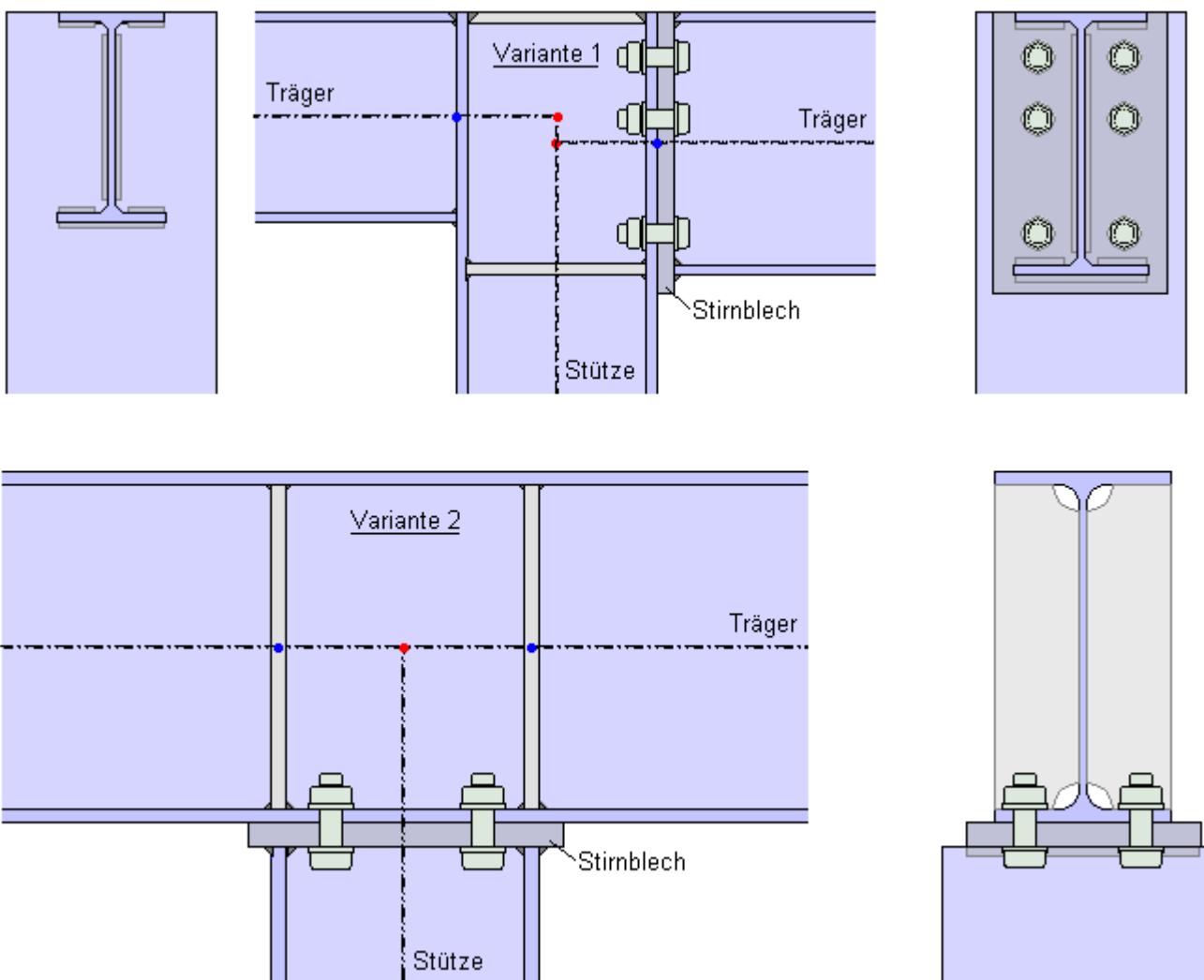
**Rahmenecke - Variante 2**



**Rahmenecke - Variante 3**



**T-Anschluss - Varianten 1 und 2**



Bei einer vertikalen Träger-Stützen-Verbindung (Variante 1) wird der Träger am Stützenflansch befestigt; bei einer liegenden Verbindung (Var. 2) liegt der Träger auf der Stütze auf.

Einseitige vertikale Verbindungen (Rahmenecke Var. 1) weisen den Anschluss rechts (unterer Stützenflansch) auf, bei beidseitigen Verbindungen (T-Anschluss Var. 1) wird ein zweiter Träger am linken (oberen) Stützenflansch angeordnet.

Wird die diagonale Verbindung (Var. 3) als geschraubter Anschluss ausgeführt, beziehen sich die Parameter auf die Mittelebene zwischen den beiden Stirnblechen. Wird sie hingegen geschweißt, gelten die Parameter für die Mittelebene des Zwischenblechs. Der Träger darf nicht gevoutet sein.

Im Folgenden wird die Rahmenecke Variante 1 beschrieben, da bei den Var. 2 und 3 sowie den T-Anschlüssen die Eingabeparameter analog gelten.

### geschweißte Rahmenecke

#### Zugblech

Blechdicke $t_z$	<input type="text" value="12.0"/>
Blechbreite $b_z$	<input type="text" value="280.0"/>

Schweißnähte zwischen Zugblech und Profil

Stirnblechstoß

$t_z = 0$ : Flanschdicke des Trägers

$b_z = 0$ : Flanschbreite des Trägers

$a_{z,f}$

$a_{z,w}$

#### Schweißnähte

Trägerflansch oben

$a$

Trägersteg

$a$

Trägerflansch unten

$a$

Die Zugkräfte im oberen Trägerflansch werden über ein an die Stütze geschweißtes Zugblech in Stützensteg und äußeren -flansch geleitet.

Zugblechdicke und -breite sollten mindestens der des Trägerflanschs entsprechen; eine willkürliche Eingabe ist möglich.

Das Zugblech wird beidseitig an Flanschen und Steg der Stütze angeschweißt.

Es werden sowohl Querschnitts- als auch Schweißnahtnachweise geführt (s. [Zugblech](#)).

Die wirksamen Nahtdicken der Schweißnähte am oberen und unteren Flansch sowie am Steg beziehen sich auf eine einzelne Naht.

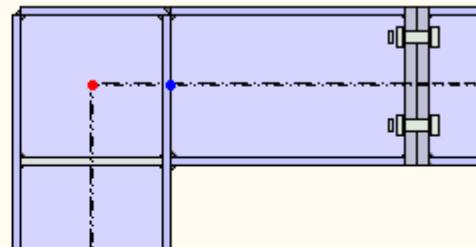
I.A. werden voll ausgeführte Kehlnähte verwendet, die ober- und unterhalb der Flansche (jedoch nicht umlaufend) sowie rechts und links vom Steg angeordnet sind.

Die Ausrundungen zwischen Steg und Flanschen sind ausgespart.

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

Ist der Träger nicht geneigt, kann alternativ ein Dreieckblech zur Verstärkung angeschweißt sein.

<input checked="" type="checkbox"/> <b>Stirnblechstoß</b> bei	$L_p$	400,0	
Blechdicke $t_p$	20,0		
Schraubenabstand zum seitl. Rand des Stirnblechs	$e_2$	50,0	
Schraubenabstand (Endreihe) zum oberen Rand des Stirnblechs (Trägers)	$e_o$	50,0	
Abstand der Schraubenreihen voneinander	$p_{1-2}$	150,0	
<input checked="" type="checkbox"/> Schraubenabstände überprüfen <input checked="" type="checkbox"/> T-Stummel: seitl. Abstände kontrollieren <input type="checkbox"/> Schraubentragfähigkeit beschränken <small>immer beim Nachweis mit Teilschnittgrößen</small> <input checked="" type="checkbox"/> T-Stummel: Schweißnähte berücksichtigen <input checked="" type="checkbox"/> T-Stummel: alternatives Verfahren			
Schweißnaht Flansch oben		$a_1$	4,0
Schweißnaht Steg		$a_2$	4,0
Schweißnaht Flansch unten		$a_3$	4,0



Außerdem kann bei Rahmenecken zur besseren Montage ein Stirnblechstoß im Träger angeordnet sein.

Hierfür sind zwei Schraubenreihen ohne Stirnblechüberstand vorgesehen.

Zur Parameterbeschreibung s.u..

### geschraubte Rahmenecke

**Stirnblech**

Blechdicke	$t_p$	20.0
Blechbreite	$b_p$	200.0
Überstandshöhe oben	$h_{p,o}$	20.0
Überstandshöhe unten	$h_{p,u}$	20.0
Länge des Stirnblechs	$l_p$	340.0

**Schweißnähte**

Trägerflansch oben	$a$	6.0
Trägersteg	$a$	4.0
Trägerflansch unten	$a$	6.0

0 % der Druckspannung über Kontakt abtragen

Schweißnähte überprüfen

**Schrauben**

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

**Schraubenreihen**

Anzahl der Schraubenreihen	$n$	3
Schraubenabstand zum seitl. Rand des Stirnblechs	$e_2$	50.0
Schraubenabstand (Endreihe) zum oberen Rand des Stirnblechs	$e_o$	70.0
Abstand von oben der Schraubenreihen voneinander	$p_{1-2}$	70.0
	$p_{2-3}$	130.0

- alle Schraubenreihen einzeln betrachten  
 Schraubengruppen automatisch bilden  
 Berücksichtigung  der maßgeb.  aller Gruppe(n)

Schraubenreihen für Zug oben  
 gezählt vom Zugrand

Schraubenreihen f. Abscheren  
 gezählt vom Druckrand

Schraubenreihen für Zug unten  
 gezählt vom Zugrand

Schraubenreihen f. Abscheren  
 gezählt vom Druckrand

- Schraubenabstände überprüfen  
 T-Stummel: seitl. 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

**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. Schließt das Stirnblech nicht bündig mit dem Träger ab ( $\text{Überstandshöhe} > 0$ ), wird die Stütze entsprechend verlängert.

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

Bei Rahmeneck-Variante 3 wird die Neigung des Stirnblechs aus den Höhen von Stütze und Träger ermittelt und ebenfalls zur Info im Eigenschaftsblatt angezeigt.

**Schweißnähte**

Zur Beschreibung der Schweißnahtparameter s. [geschweißte Rahmenecke](#).

**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 (bei T-Anschlüssen Var.1: den rechten oder linken) Anschluss betreffen.

gleitfest, Gleitflächenklasse	C	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="radio"/> Gewinde liegt in der Scherfuge		
<input checked="" type="radio"/> Schaft liegt in der Scherfuge		
<b><input checked="" type="checkbox"/> Futterblech (Flanschverstärkung)</b>		
Blechdicke	$t_{bp}$	10.0
Blechbreite	$b_{bp}$	80.0
Blechlänge	$l_{bp}$	80.0
Stahlsorte	5235	<input type="checkbox"/> 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.

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.

<input type="checkbox"/> alle Schraubenreihen einzeln betrachten		
<input checked="" type="checkbox"/> Schraubengruppen automatisch bilden		
Berücksichtigung <input type="radio"/> der maßgeb. <input checked="" type="radio"/> aller Gruppe(n)		
Schraubenreihen für Zug oben <small>gezählt vom Zugrand</small>	$n_{zo}$	3
Schraubenreihen f. Abscheren <small>gezählt vom Druckrand</small>	$n_{qo}$	1
Schraubenreihen für Zug unten <small>gezählt vom Zugrand</small>	$n_{zu}$	3
Schraubenreihen f. Abscheren <small>gezählt vom Druckrand</small>	$n_{qu}$	1

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 Tragmoments 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.

## Kopfplatte

<input checked="" type="checkbox"/> Kopfplatte	$t_k$	15.0
<input checked="" type="checkbox"/> statisch wirksam (keine Zugsteifen)		
Schweißnahtdicke am Flansch	$a_{k,f}$	5.0
Schweißnahtdicke am Steg	$a_{k,w}$	4.0

Zur Abdeckung der Stütze kann eine Kopfplatte angeschweißt werden. Wird sie als statisch wirksam gekennzeichnet, entfallen die Zugsteifen und die Kopfplatte wird stattdessen bemessen (s. **Stegsteifen**).

## Stützenstegfeld

Die Berechnung von stützenspezifischen Grundkomponenten basiert auf der Annahme des Übertragungsparameters  $\beta_j$ , 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.).

## Besonderheiten bei Trägerneigung und Vouten

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

Der Träger kann beliebig (bis maximal 85°) geneigt sein; zudem kann bei Rahmeneck-Varianten 1 und 2 eine Voute zur Verstärkung des Trägers im Anschlussbereich angeordnet werden.

Die Neigungswinkel  $\alpha_b$  und  $\alpha_v$  beziehen sich auf die Senkrechte zur Stütze (die horizontale Achse).

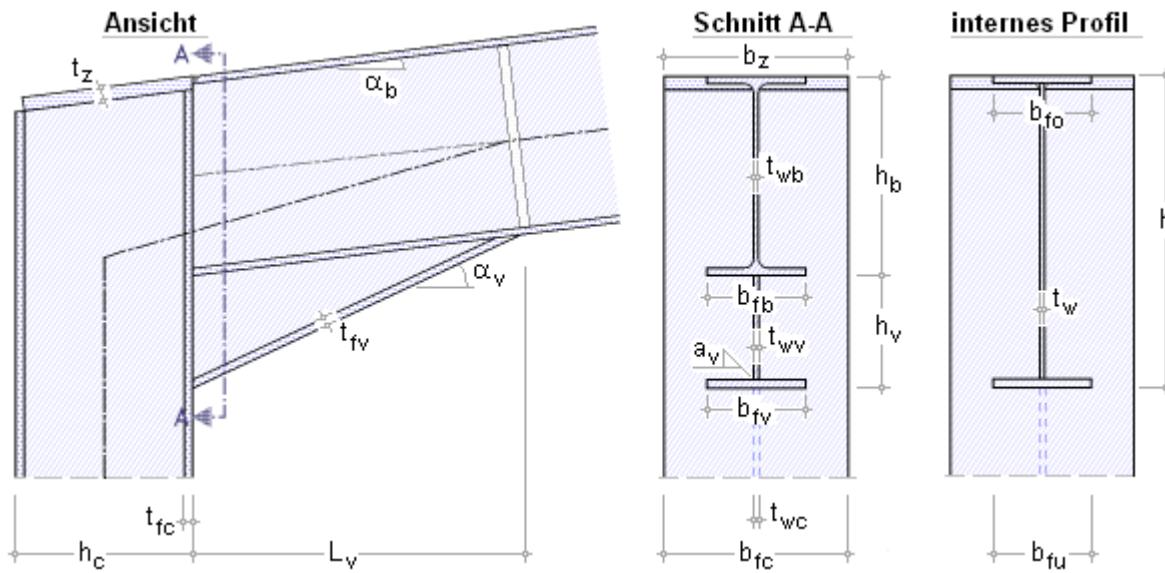
Die Voute kann als T-Träger ausgeführt werden, dessen Neigungswinkel größer als die Trägerneigung sein muss.

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](#)). Dies gilt nicht für die geschweißte Rahmeneck-Var. 1 mit Stirnblechstoß.



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.).

## Rahmenecke mit Zuglasche

Kopfplatte  als Zuglasche

Breite wie Trägerflanschbreite

$t_z$

Länge

$b_z$

$l_z$

Anzahl der Schraubenreihen

$n_z$

Schraubenabstand  
zum seitl. Rand der Zuglasche

$e_{z,2}$

Schraubenabstand (Endreihe)

$e_{z,1}$

Abstand von oben  
der Schraubenreihen voneinander

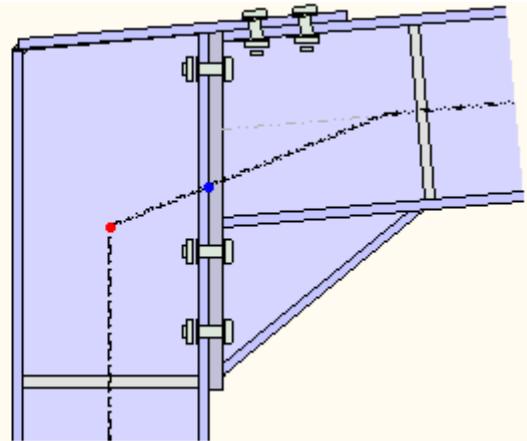
$p_{z,1-2}$

Schweißnahtdicke am Flansch

$a_{z,f}$

Schweißnahtdicke am Steg

$a_{z,w}$



Eine Sonderform der geschraubten Rahmenecke mit Stirnplatte ergibt sich, wenn die Kopfplatte als geschraubt-  
geschweißte Zuglasche ausgeführt wird.

Bei Anordnung einer Zuglasche wird der Stirnplattenüberstand oben zu Null gesetzt.

Wirken Zugkräfte im oberen Trägerflansch (negatives Moment), werden sie aus dem Träger über eine  
Schraubverbindung in die Zuglasche eingeleitet und mittels der Schweißverbindung in die Stütze übertragen.

Die Stirnplattenverbindung ist dann lediglich für die Trägerquerkräfte nachzuweisen.

Zuglaschendicke und -länge sind einzugeben. Die Schraubenabstände beziehen sich auf den freien Rand der Lasche.

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

Zur Bemessung einer Rahmenecke mit Zuglasche s. [hier](#).

## Druckausgabe

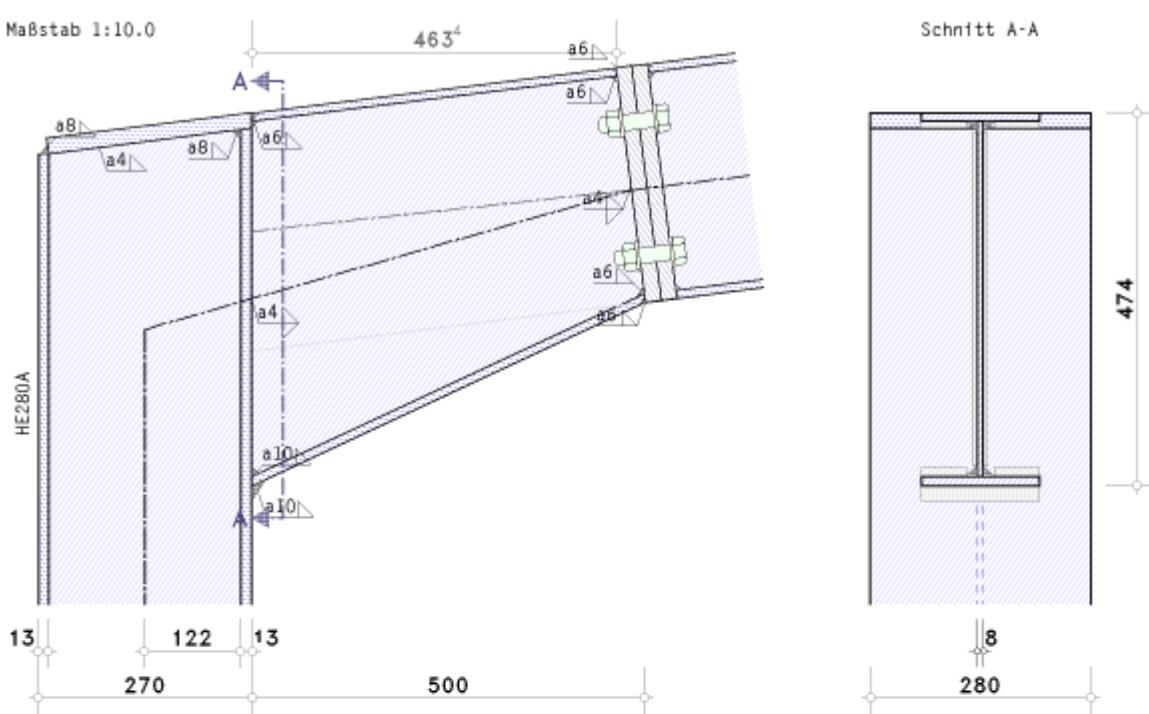
Die Druckausgabe kann durch die [Ausdrucksteuerung](#) beeinflusst werden.

## Eingabeparameter

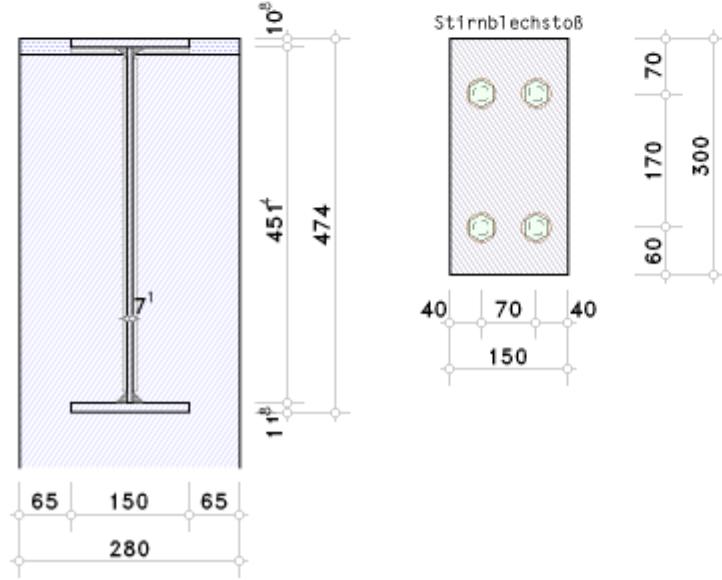
Im Statikdokument wird zunächst eine maßstäbliche Darstellung der eingegebenen Verbindung angelegt.

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

Ist der Maßstab vom Anwender vorgegeben, wird er in der Grafik protokolliert (s. beispielhaft eine geschweißte  
Rahmenecke mit Stirnblechstoß).



Details



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 Teilsicherheitsbeiwerte angefügt.

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

Die Berechnung wird für jeden Lastfall durchgeführt. Bei einer beidseitigen Verbindung (T-Anschluss Var. 1) erfolgt die Berechnung je Seite. Die Ergebnisse werden im Endergebnis tabellarisch zusammengefasst.

### Lastfallweise Berechnung

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

Außerdem wird stets vorausgesetzt, dass der Träger an der rechten Stützenseite befestigt ist. Im Falle einer linksseitigen Verbindung (T-Anschluss Var. 1) wird das System daher an der Vertikalachse gespiegelt.

Wird eine Verbindung der Variante 2 (horizontal) berechnet, sind intern Stütze und Träger vertauscht.

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

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

Optional kann ein **Querschnittsnachweis** für die Anschlussprofile geführt werden.

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

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

Anschließend werden das **Zugblech** (bei geschweißten Rahmenecken), die **Rippen**, die **Schubfelder** und das **Beulen** untersucht.

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 bei T-Anschlüssen Var. 1) - aus allen Schnittgrößenkombinationen protokolliert.

Zusätzlich werden bei einer beidseitigen Verbindung (T-Anschluss Var. 1) lastfallweise die Ausnutzung sowie die Rotationssteifigkeiten je Anschlussseite tabellarisch angegeben. Die Gleichgewichtskontrolle wird durchgeführt.

Lk	rechts			links			U <sub>j</sub>	Gleichgewicht		
	S <sub>j,1n1</sub>	S <sub>j</sub>	φ <sub>j</sub>	S <sub>j,1n1</sub>	S <sub>j</sub>	φ <sub>j</sub>		ΣH	ΣV	ΣM
--	MNm/rad	MNm/rad	°	MNm/rad	MNm/rad	°	kN	kN	kNm	
1	41.1	41.1	0.084	∞	∞	0	0.909	0.00	0.00	0.00 <span style="color: green;">ok</span>
2	41.1	17.9	0.288	∞	∞	0	1.217*	0.00	0.00	0.00 <span style="color: green;">ok</span>

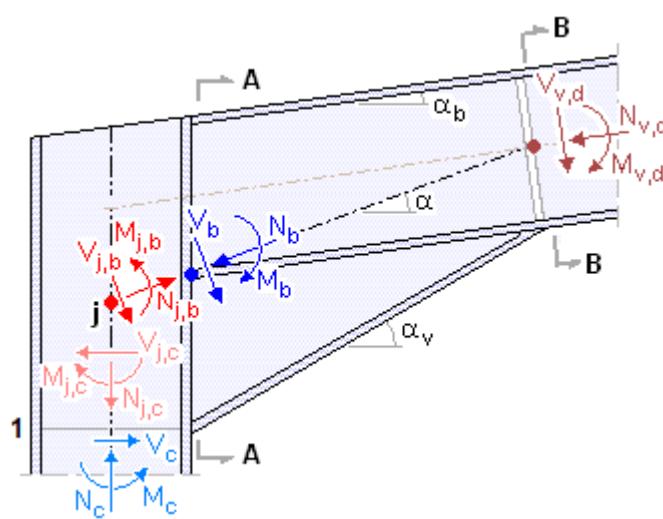
S<sub>j,ini</sub>: Anfangsrotationssteifigkeit; S<sub>j</sub>: Rotationssteifigkeit; φ<sub>j</sub>: Verdrehung; U<sub>j</sub>: Ausnutzung der Verbindung; Gleichgewichtstoleranzen 1 kN / 1 kNm  
\*) maximale Ausnutzung

Maximale Ausnutzung [Lk 2]: max U = 1.217 > 1 Fehler !!  
Minimale Rotationssteifigkeit (rechts): min S<sub>j</sub> = 17.9 MNm/rad, S<sub>j,ini</sub> = 41.1 MNm/rad, φ<sub>j</sub> = 0.288°  
Rotationssteifigkeit (links): S<sub>j</sub> = ∞

## 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 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 Anschlussalebene** (EC3-KoS)  
Vorzeichendefinition des EC 3-1-8 (positive Normalkraft bedeutet Druck, positives Biegemoment erzeugt oben Zug)

Das Programm 4H-EC3RE bietet verschiedene Möglichkeiten zur Eingabe der Schnittgrößen an

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

Hier wird die Vorzeichendefinition der Statik vorausgesetzt.

- Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung: Da der Anschluss eines Trägers an eine Stütze bemessen werden soll, 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.

Auch bei *horizontalen* Anschlüssen (Variante 2) sind die Schnittgrößen im Anschnitt zum Stützenrand (Schnitt A-A) gefordert.

Bei *diagonalen* Rahmenecken (Variante 3) sind die Schnittgrößen auf den Knotenpunkt der Systemachsen von Träger und Stütze bezogen. Dieser muss nicht zwangsläufig in der Mittelebene der geneigten Bleche liegen.

- des Weiteren können die Schnittgrößen senkrecht zur Anschlussalebene (s. Grafik **Schnitt A-A**), an dieser Stelle also waagerecht und senkrecht wirkend, eingegeben werden (Darstellung s. unter **Teilschnittgrößen**).

Zwischen *horizontalen* (Var. 2) und *vertikalen* (Var. 1) Anschlüssen wird auch hier kein Unterschied gemacht.

Bei *diagonalen* Anschlüssen (Var. 3) beziehen sich die Schnittgrößen zwar auf den Knotenpunkt der Schwerachsen, wirken jedoch orthogonal zu den geneigten Stirnblechen.

	Träger, Knoten		rechts / links		Stütze, Knoten		unten		Bezeichnung
	$N_{j,b1,Ed}$	$M_{j,b1,Ed}$	$V_{j,b1,Ed}$	$N_{j,c1,Ed}$	$M_{j,c1,Ed}$	$V_{j,c1,Ed}$			
	KN	kNm	KN	KN	kNm	KN			
1: 	-25.08	-53.71	61.01	-121.21	-7.58	-7.59	Import	LK 1	
	-17.20	-46.12	-60.20						

In Abhängigkeit des Anschlusstyps (Rahmenecke oder T-Anschluss) werden die Masken für die Eingabe der Schnittgrößenkombinationen aktiviert.

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

Bei einer Rahmenecke werden nur die Trägerschnittgrößen rechts vom Anschlusspunkt (s. Grafik **Schnitt A-A**, im EC 3-1-8 mit 1 bezeichnet) angezeigt.

Da bei horizontalen Rahmenecken (Variante 2) der Träger häufig über die Stütze hinaus geführt wird, bildet sich ein kurzer Kragarm aus, dessen Kragmoment zur Bestimmung des Interaktionsbeiwerts von Bedeutung ist. Dieses Moment kann ebenfalls eingegeben werden.

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

Analog handelt es sich bei dem Stützenanschnitt um die Stelle, an der der Verbindungsreich in den eigentlichen Stützenbereich übergeht, hier die Lage der unteren Stegsteife bzw. die Höhe des untersten Trägerflanschs (s. Grafik **Punkt 1**).

Die Stützenschnittgrößen wirken unterhalb des Anschlussknotens in Höhe des unteren Trägerflanschs (1).

Bei Rahmenecken werden sie aus den Trägerschnittgrößen berechnet.

Bei Vouten bzw. beim Stirnblechstoß im Träger kann zusätzlich der entsprechende Trägeranschluss (s. Grafik **Schnitt B-B**) bemessen werden.

Die Schnittgrößen werden aus den eingegebenen Größen unter der Annahme berechnet, dass im Bereich zwischen Stützen- und Trägeranschluss 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.

## 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 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.).

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

### • Import aus einer Text-Datei

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

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

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

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

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

## 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.

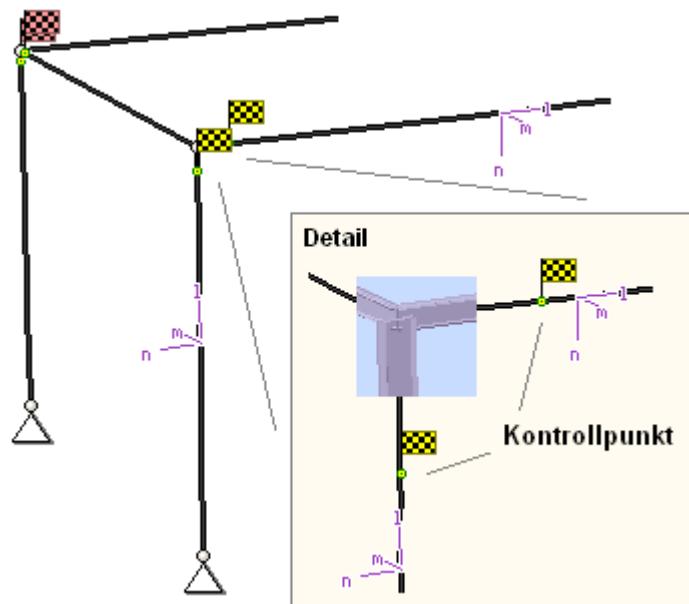
Zunächst sind im exportierenden **4H**-Programm (hier **4H-FRAP**) die Stellen zu kennzeichnen, deren Schnittgrößen beim nächsten Rechenlauf exportiert, d.h. für den Import bereitgestellt, werden sollen.

Um das Anschlussprogramm sinnvoll einzusetzen zu können, sollte bereits bei der Modellbildung im Stabwerksprogramm darauf geachtet werden, dass 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  $h_{\text{Träger}}/2$ ) 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.

Bei Rahmenecken (Träger-Stützenverbindung am Stützenende) reichen i.A. zwei Schnitte (*Träger, Stütze (unten)*).

Nach einer Neuberechnung des Rahmens stehen die Exportschnittgrößen dem aufnehmenden 4H-Programm (z.B. **4H-EC3BT**, **4H-EC3RE**, **4H-EC3IH**, **4H-EC3IM**, **4H-EC3TT**) 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®-Bauteilauswahl](#) aufgerufen

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

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

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

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

<b>Export Bsp.</b>	<b>3D-Stabtragwerk</b>
FRAP 2 EC3BT	Detailnachweise
<b>FRAP 2 EC3BT</b>	<b>3D-Stabtragwerk</b>
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, 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 (Unterseite)
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, Anschluss unten, Anschluss 1 Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE360

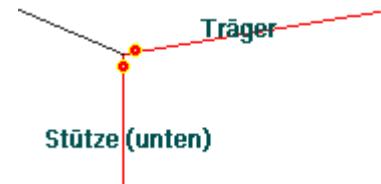
Nun werden die Schnitte den einzelnen Abteilungen in der Schnittgrößentabelle (hier *Träger*, *Stütze (unten)*) zugeordnet.

Dazu wird der entsprechende Eintrag (hier *Schnitt 1*) angewählt und der zugehörigen Zeile in der dann folgenden Tabelle zugewiesen (hier *Träger*).

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, Anschluss 1		Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE240				
		N kN	V $\eta$ kN	V $\zeta$ kN	T kNm	M $\eta$ kNm	M $\zeta$ kNm	
<b>+</b> Lastfallergebnisse								
<b>+</b> Nachweis 2: Schnittgrößenermittlung (Th. I. Ord.)								
<b>+</b> Nachweis 3: EC 3 Tragfähigkeit (Th. I. Ord.)								
<input checked="" type="checkbox"/>		Lastkollektive						
		Lastkollektiv 1: Lastkollektiv 1	<b>-20.61</b>	<b>15.52</b>	<b>-12.95</b>	<b>0.00</b>	<b>-8.60</b>	<b>12.95</b>
		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
<input checked="" type="checkbox"/>		Zusammenfassung Nachweis 3						
		min N	<b>-21.38</b>	<b>0.80</b>	<b>-5.03</b>	<b>0.00</b>	<b>-38.81</b>	<b>4.03</b>
		max N	<b>-15.77</b>	<b>25.04</b>	<b>-24.35</b>	<b>-0.01</b>	<b>34.53</b>	<b>17.40</b>
		min V $\eta$	-21.38	0.80	-5.03	0.00	-38.81	4.03
		max V $\eta$	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
		min V $\zeta$	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
		max V $\zeta$	-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 $\eta$	-21.38	0.80	-5.03	0.00	-38.81	4.03
		max M $\eta$	-15.77	25.04	-24.35	-0.01	34.53	17.40
		min M $\zeta$	-21.38	0.80	-5.03	0.00	-38.81	4.03
		max M $\zeta$	-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 Infofenster werden die eigene Auswahl fett und die aus der Faktorisierungsvorschrift berechneten Schnittgrößen eines anderen Schnitts in normaler Schriftdicke dargestellt.

Träger						Stütze (unten)					
N	V $\eta$	V $\zeta$	T	M $\eta$	M $\zeta$	N	V $\eta$	V $\zeta$	T	M $\eta$	M $\zeta$
<b>-20.61</b>	<b>15.52</b>	<b>-12.95</b>	<b>0.00</b>	<b>-8.60</b>	<b>12.95</b>	3.91	3.24	-5.67	0.00	5.09	21.31
<b>-21.38</b>	<b>0.80</b>	<b>-5.03</b>	<b>0.00</b>	<b>-38.81</b>	<b>4.03</b>	-18.15	0.79	-2.57	0.00	35.19	-3.06
<b>-15.77</b>	<b>25.04</b>	<b>-24.35</b>	<b>-0.01</b>	<b>34.53</b>	<b>17.40</b>	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.

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

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

Sollen doppelte Zeilen gelöscht werden?

**nein**

**ja**

Träger, Anschnitt			Stütze, Anschnitt unten			Bezeichnung
N <sub>b,Ed</sub> kN	M <sub>b,Ed</sub> kNm	V <sub>b,Ed</sub> kN	N <sub>c,Ed</sub> kN	M <sub>c,Ed</sub> kNm	V <sub>c1,Ed</sub> 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

Einseitige Träger-Stützenverbindungen am Stützenende benötigen Schnittgrößeninformationen in **zwei** Schnitten: am Träger und an der Stütze unterhalb des Verbindungsknotens.

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  Programm importieren  
 einschl. Träger (Kragarm) f. Variante 2 

 Das Programm **4H-EC3RE** berechnet nur Träger-Stützenverbindungen am Stützenende.

### Ergebnisübersicht



das sechste Register gibt einen sofortigen Überblick über die ermittelten Ergebnisse

	Ausnutzung	Steifigkeit	Verdrehung
<b>Lastkombination 1</b>			
Querschnitt Stütze	67% 	95441 kNm/rad	0.048°
c/t-Verhältnis	67% 		
Querschnitt Träger mit Voute	34% 		
c/t-Verhältnis	37% 		
Querschnitt Träger ohne Voute	26% 		
c/t-Verhältnis	37% 		
Biegung	20% 		
Abscheren/Lochleibung	48% 		
Schub im Stirnblech	25% 		
Stützenstegfeld (Gk 1)	18% 		
Schweißnähte am Träger	29% 		
Stegsteifen / Zugblech	33% 		
	35% 		
<b>Lastkombination 2</b>		95441 kNm/rad	0.035°
Querschnitt Stütze	110% 		
c/t-Verhältnis	93% 		
Querschnitt Träger mit Voute	64% 		
c/t-Verhältnis	43% 		
Querschnitt Träger ohne Voute	59% 		
c/t-Verhältnis	38% 		
Biegung	61% 		
Abscheren/Lochleibung	110% 		
Schub im Stirnblech	28% 		
Stützenstegfeld (Gk 1)	18% 		
Schweißnähte am Träger	22% 		
Stegsteifen / Zugblech	60% 		
	86% 		
<b>Gesamt</b>	<b>110% </b>		
<b>Tragfähigkeit nicht gewährleistet (s. Druckliste) !!</b>			

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 zudem die Einzelberechnungsresultate protokolliert.

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.

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

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

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

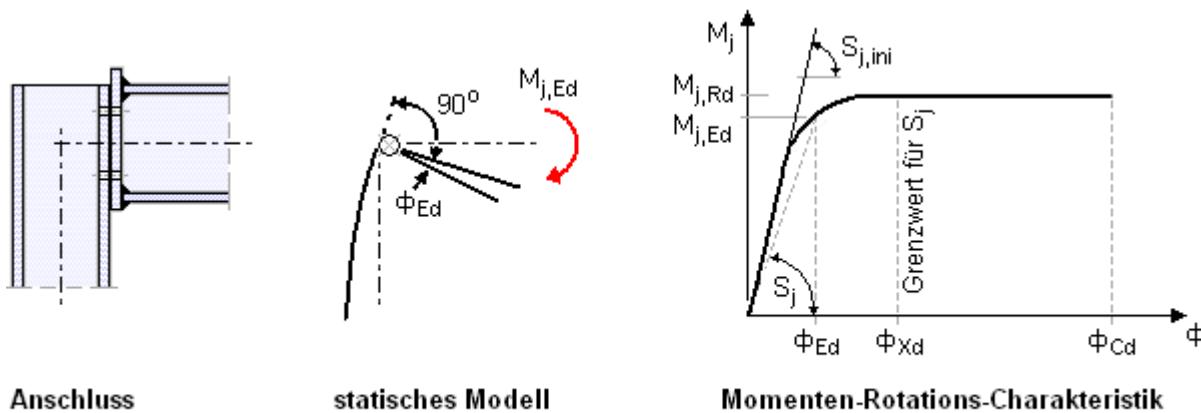
#### allgemeine Erläuterungen

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 Momententragsfähigkeit (6.2.7 und 6.2.8), die Rotationssteifigkeit (6.3.1) und die Rotationskapazität (6.4) berechnet werden.

Die Zusammenhänge zwischen Momententragsfähigkeit, Rotationssteifigkeit und Rotationskapazität sind in

EC 3-1-8, Bild 6.1, dargestellt.



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

Im Programm 4H-EC3RE 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 Verbindungen unter Berücksichtigung der Schnittgrößen der Bauteile am Anschluss des Stützenstegfeldes getrennt modelliert.

Der Einfluss des Stützenstegfeldes wird durch den Übertragungsparameter  $\beta$  berücksichtigt.

Bei einseitigen Träger-Stützenanschlüssen (Rahmenecke, T-Anschluss Var. 2) 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 Querzugbeanspruchung
- **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, die die verbundenen Bauteile im Kreuzungspunkt der Systemlinien verbindet (6.2.1.2).

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

- Momententragfähigkeit
- Rotationssteifigkeit
- Rotationskapazität

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-EC3RE werden biegesteife Rahmenecken und T-Anschlüsse berechnet.

Im EC 3-1-8, 5.3, ist geregelt, dass beidseitige Träger-Stützenanschlüsse (T-Anschlüsse Var. 1) 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.

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

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

Im Folgenden wird die Vorgehensweise zur Bemessung einer Rahmenecke Var. 1 erläutert. Es wird eine geschraubte **Stirnblech**-Verbindung sowie eine **geschweißte** Verbindungen mit der Komponentenmethode nach EC3-1-8, 6.2.7, nachgewiesen.

Die alternative Methode wird hier nicht näher behandelt.

### geschraubte Stirnblechverbindung

Die Biege- und Zugtragfähigkeit des Anschlusses auf Seite der

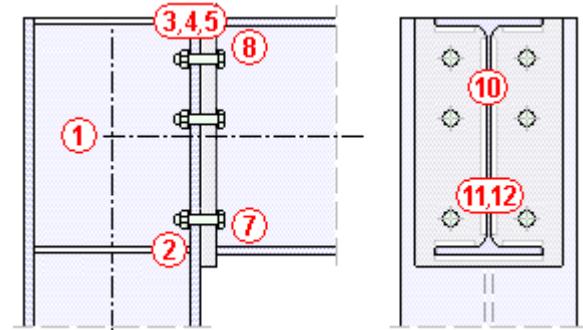
- Stütze wird mit den Grundkomponenten 1 bis 4
- des Trägers mit den Gkn 7 (bzw. 20) und 8
- des Stirnblechs mit Gk 5

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 mit geschraubten Stirnblechverbindungen bestimmt mit

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

$F_{tr,Rd}$  .... wirksame Tragfähigkeit einer Schraubenreihe auf Zug  
 $h_r$  .... Abstand der Schraubenreihe vom Druckpunkt  
 $r$  .... Nummer der Schraubenreihe

Im Überstand darf sich nur eine Schraubenreihe befinden.

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

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

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

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

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

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

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

$h_x$  ..... Abstand der Schraubenreihe  $x$  zum Druckpunkt

Optional kann die Schraubentragfähigkeit vorab begrenzt werden (s. [Anschlussparameter](#)), damit die o.a. Forderung nicht zum Tragen kommt.

Im Programm 4H-EC3RE werden zunächst die minimalen Tragfähigkeiten aus den maßgebenden Grundkomponenten ermittelt (Beispielberechnung).

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

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 240.8 \text{ kN}$

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

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

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

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

##### Gruppe 1

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

Gk 3:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 540.8 \text{ kN}$

Gk 4:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 453.3 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2:  $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$  (aus Reihe 1)

Gk 3:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 301.5 \text{ kN}$

Gk 4:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,fc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 234.9 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

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

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

##### Gruppe 1

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

Gk 5:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 530.1 \text{ kN}$

Gk 8:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 455.4 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2:  $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$  (aus Reihe 1)

Gk 5:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 290.8 \text{ kN}$

Gk 8:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 216.1 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

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

#### Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Zug)

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 240.8 \text{ kN}$

$\Sigma F_{tr,Rd}^* = 694.1 \text{ kN}$

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:  $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 641.8 \text{ kN}$

Gk 2:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 581.1 \text{ kN}$

Gk 7:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 499.0 \text{ kN}$

Reihe 2:  $\Sigma F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$  (Reihe 1)

Gk 1:  $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 402.5 \text{ kN}$

Gk 2:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 341.8 \text{ kN}$

Gk 7:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 259.7 \text{ kN}$

Reihe 3:  $\Sigma F_{tr,Rd} = 453.3 \text{ kN}$  (Reihen 1 bis 2)

Gk 1:  $\Delta F_{tr,Rd} = V_{wp,Rd}/\beta_j - \Sigma F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN}$

Gk 2:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,w,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN}$

Gk 7:  $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,f,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 45.7 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 240.8 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 188.5 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 127.8 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 45.7 \text{ kN}$

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

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

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1:  $F_{tx,Rd} = 239.3 \text{ kN}$ ,  $h_x = 244.6 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 335.2 \text{ kN}$ , keine AbminderungReihe 2:  $F_{tx,Rd} = 214.0 \text{ kN}$ ,  $h_x = 174.6 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq \lim F_{tx,Rd} = 335.2 \text{ kN}$ , keine Abminderung

Das Ergebnis wird schlussendlich protokolliert.

**Tragfähigkeit je Schraubenreihe (Biegung)**Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 239.3 \text{ kN}$ Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 214.0 \text{ kN}$ Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 45.7 \text{ kN}$ 

$\Sigma F_{tr,Rd} = 499.0 \text{ kN}$

Mögliche Versagen durch Grundkomponente 4, 7

Die Grundkomponente, die die Tragfähigkeit einer Schraubenreihe am meisten 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)**

$\Sigma F_{c,Rd} = 997.9 \text{ kN}$

Die Biegetragfähigkeit ergibt sich damit zu

**Biegetragfähigkeit bezüglich des Druckpunkts**

$M_{j,Rd} = \Sigma (F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 98.0 \text{ kNm}$

und die Ausnutzung zu

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

wobei das einwirkende Moment auf den Druckpunkt in der Anschlussalebene (bei Stirnblechverbindungen die Kontaktalebene zwischen Stirnblech und Stütze bzw. bei Stoßen 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 Tragfähigkeiten bei reiner Normalkraft werden ebenfalls protokolliert.

#### Zugtragfähigkeit

$$N_{j,t,Rd} = \Sigma F_{tr,Rd} = 694.1 \text{ kN}$$

#### Drucktragfähigkeit

$$N_{j,c,Rd} = \Sigma F_{c,Rd} = 997.9 \text{ kN}$$

### Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

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

#### Tragfähigkeit je Schraubenreihe

maßgebende Grundkomponenten: 11, 12

$$\text{Reihe 1: } F_{vr,Rd} = 301.6 \text{ kN}$$

$$\text{Reihe 2: } F_{vr,Rd} = 301.6 \text{ kN}$$

$$\text{Reihe 3: } F_{vr,Rd} = 301.6 \text{ kN}$$

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

$$\text{Reihe 1: } F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 155.5 \text{ kN} \quad \text{mit } f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{tr,Rd}) = 0.516$$

$$\text{Reihe 2: } F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 170.9 \text{ kN} \quad \text{mit } f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{tr,Rd}) = 0.567$$

$$\text{Reihe 3: } F_{vr,Rd} = f_{vt} \cdot 301.6 \text{ kN} = 273.7 \text{ kN} \quad \text{mit } f_{vt} = 1 - F_{tr,Rd} / (1.4 \cdot \Sigma F_{tr,Rd}) = 0.908$$

so dass sich die endgültigen Tragfähigkeiten je Schraubenreihe ergeben zu

#### Tragfähigkeit je Schraubenreihe

$$\text{Reihe 1: } F_{vr,Rd} = 155.5 \text{ kN}$$

$$\text{Reihe 2: } F_{vr,Rd} = 170.9 \text{ kN}$$

$$\text{Reihe 3: } F_{vr,Rd} = 273.7 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_{vr,Rd} = 600.1 \text{ kN}$$

Die Abscher-Lochleibungstragfähigkeit ergibt sich damit zu

#### Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit

$$V_{j,Rd} = \Sigma F_{vr,Rd} = 600.1 \text{ kN}$$

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.

#### Schubtragfähigkeit des Stirnblechs

Stirnblech:  $V_{ep,Rd} = \tau_{Rd} \cdot t \cdot l_{eff} = 674.59 \text{ kN}$ ,  $\tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2$ ,  $t = 20.0 \text{ mm}$ ,  $l_{eff} = d_w = 248.6 \text{ mm}$

Scherfestigkeit:  $f_{vw,d} = (f_u/3^{1/2}) / (\beta_w \cdot \gamma M_2) = 207.8 \text{ N/mm}^2$ ,  $f_u = 360.0 \text{ N/mm}^2$ ,  $\beta_w = 0.80$

Schweißnähte:  $F_{w,Rd} = 2 \cdot a \cdot l_{eff} \cdot f_{w,d} = 516.71 \text{ kN}$ ,  $a = 5.0 \text{ mm}$ ,  $l_{eff} = d_w = 248.6 \text{ mm}$

Schubtragfähigkeit des Stirnblechs:  $V_{ep,Rd} = F_{w,Rd} = 516.71 \text{ kN}$

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

$$V_{wp,Rd}/\beta_j = 641.7 \text{ kN}$$

## MNV-Interaktion

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 Schraubengruppen 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.

Es wird die optimale Verteilung der einwirkenden Kräfte auf die Traganteile der Verbindung berechnet (Gleichgewicht zwischen inneren und äußeren Kräften). Die Werte  $F_{tr,Rd}$ ,  $F_{c,Rd}$ ,  $F_{vr,Rd}$  sind daher keine Tragfähigkeiten sondern resultierende Kräfte aus der Verteilung. Maximal aufnehmbare Größen ( $M_{j,Rd}$ ,  $V_{j,Rd}$  etc.) werden nicht ermittelt.

Für das o.a. Beispiel ergibt sich

### Zugkraft je Schraubenreihe (MNV-Interaktion)

Reihe 1:  $F_{tr,Rd} = 166.0$  kN

Reihe 2:  $F_{tr,Rd} = 0.0$  kN

Reihe 3:  $F_{tr,Rd} = 0.0$  kN

### Druckkraft in den Flanschen (MNV-Interaktion)

unten:  $F_{c,Rd} = 499.0$  kN

### Querkraft je Schraubenreihe (MNV-Interaktion)

Reihe 1:  $F_{vr,Rd} = 0.0$  kN

Reihe 2:  $F_{vr,Rd} = 0.0$  kN

Reihe 3:  $F_{vr,Rd} = 221.9$  kN

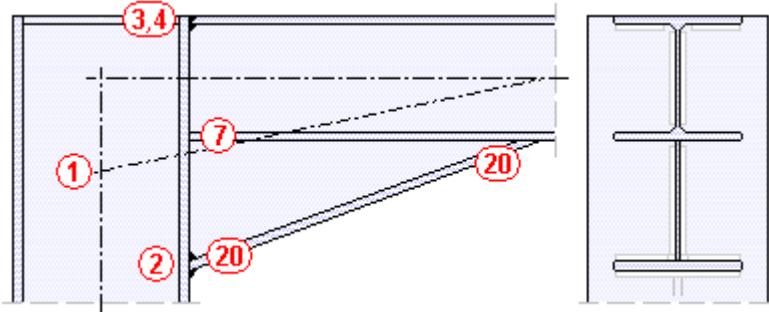
## geschweißte Verbindung

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

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

Die Tragfähigkeit der Schweißnähte zwischen Träger und Stütze wird über den Linienserquerschnitt 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 der 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 (Beispielberechnung)

#### Tragfähigkeit

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

$$F_{t,Rd} = 570.3 \text{ kN}$$

Abminderungen aufgrund der Drucktragfähigkeit der Profile

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

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 7

$$\text{Gk 1: } F_{Rd} = 570.3 \text{ kN} < V_{wp,Rd}/\beta = 579.1 \text{ kN} \Rightarrow F_{Rd} = 570.3 \text{ kN}, \beta = 1.0$$

$$\text{Gk 2: } F_{Rd} = 570.3 \text{ kN} > F_{c,wc,Rd} = 518.4 \text{ kN} \Rightarrow F_{Rd} = 518.4 \text{ kN}$$

$$\text{Gk 7: } F_{Rd} = 518.4 \text{ kN} < F_{c,fb,Rd} = 1622.8 \text{ kN} \Rightarrow F_{Rd} = 518.4 \text{ kN}$$

führen zur wirksamen Tragfähigkeit

#### Tragfähigkeit (endgültig)

$$F_{Rd} = 518.4 \text{ kN}$$

mit der die Biegetragfähigkeit des Anschlusses zu

$$M_{j,Rd} = F_{Rd} \cdot z_b = 192.3 \text{ kNm}$$

ermittelt wird. Die Normalkrafttragfähigkeit wird analog der **Stirnblech-Verbindung** berechnet.

#### 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 Voutenflanschs 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- als auch Anschnitt-Schnittgrößen müssen in 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-Anschluss) berechneten Bemessungsgrößen zu überprüfen sind!

Dabei wird mit Bemessungsebene (Anschlussebene) die Kontaktbene zwischen Träger und Stütze (bei Stößen die Kontaktbene 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.

## Transformation der Schnittgrößen

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)

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

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

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

- Anschnitt Voute-Träger

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

- Anschnitt Stütze (unten)

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

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

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

Die Schnittgrößenkombination ( $N_{b,Ed}$ ,  $M_{b,Ed}$ ,  $V_{b,Ed}$ ) lässt sich auch direkt (s. [Register 4](#), Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung) 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

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

gegeben.

Die Abstände zur Bildung der Momente werden berechnet zu

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

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

#### Schnittgrößen senkrecht zur Anschlussalebene

- 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 Anschlussalebene, s. Register 4*) eingeben.

Bei T-Anschlüssen mit der Option **Gleichgewicht** (s. **Register 1**) und bei Rahmenecken generell werden die Stützenschnittgrößen aus den Schnittgrößen senkrecht zur Anschlussalebene berechnet.

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

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

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

- bei Stirnblechanschluss

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

- bei Winkelanschluss

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

- sonst

$$M_d' = M_d$$

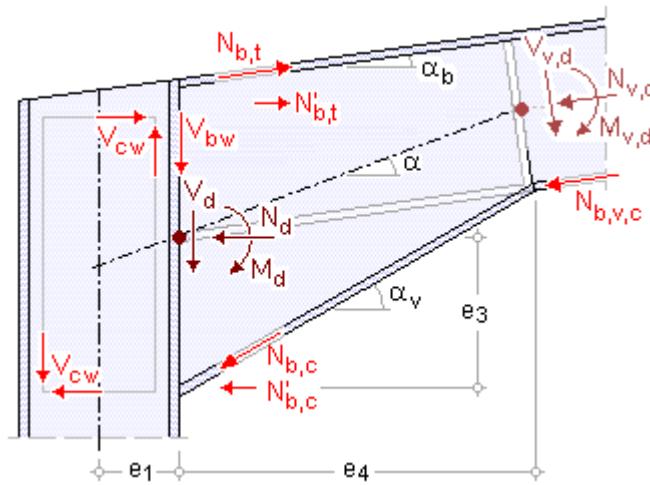
Die Teilschnittgrößen im Stützenstegfeld ergeben sich zu

- Schubkraft im Stützensteg

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

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) und/oder des Zugblechs (nur bei geschweißtem Anschluss)
- ... Querschnittstragfähigkeit
- elastischer Schubfeldnachweis
- Beulnachweise

Die Ausnutzungen aus den geführten 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 (E-E) (EC 3-1-1, 6.2.1(5))
- Elastisch-Plastisch (E-P) (EC 3-1-1, 6.2.1(6))

geföhrt 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  $grenz(c/t)$  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 geföhrt 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.

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

wobei sich die Momente auf den Druckpunkt und die Normalkräfte auf die Systemachse beziehen.

Die Abscher-/Lochleibungstragfähigkeit ergibt sich zu

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

### Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit Teilschnittgrößen

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

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

### Nachweis der Schweißnähte am Träger

#### Nachweis der Stegsteifen

### Nachweis des Zugblechs

Bei geschweißten Rahmenecken ist zur Übertragung der Zugkraft aus dem Träger- in den Stützenzugflansch ein Zugblech an Stützenkopf und Trägerflansch angeschweißt.

Bei Rahmenecken mit liegendem Anschluss (Variante 2) befindet sich das Zugblech entsprechend an der Trägeroberkante.

Blechquerschnitt und Schweißnähte werden jeweils am Steg und am Flansch nachgewiesen.

Der Querschnittsnachweis erfolgt mit Grundkomponente 9.

Tragfähigkeit eines Blechs mit Zugbeanspruchung

$$N_{pl,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} \quad \dots \dots \text{mit } A = b_z \cdot l_z$$

$$N_{u,Rd} = (0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u) / \gamma_{M2} \quad \dots \dots \text{mit } A_{net} = A$$

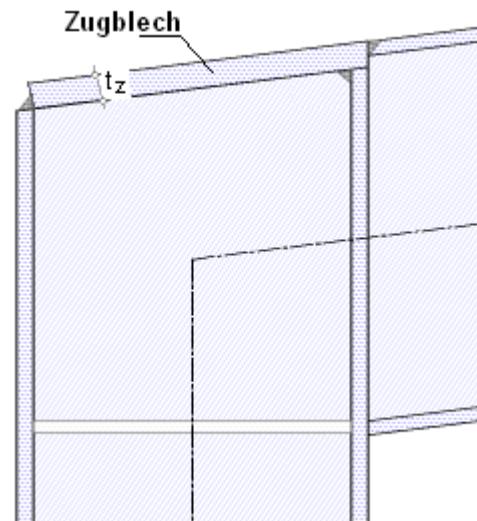
$$F_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}, N_{u,Rd})$$

$$F_{t,Ed} = (-N_d \cdot z_{bu} + M_d) / (z \cdot \cos \alpha_b) \quad \dots \dots \text{Bemessungsgröße}$$

Die Bemessungsgröße entspricht der Zugkraft im Trägerflansch (s. **Schnittgrößen**).

Die Schweißnähte können entweder nach dem *vereinfachten* oder dem *richtungsbezogenen Verfahren* nachgewiesen werden.

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



## Schubfeldnachweis

Schubfelder sind Stegbereiche mit großer Querkraft, die bei einer Rahmenecke in dem Bereich auftreten, in dem die Kräfte aus dem Träger in die Stütze umgesetzt werden.

Ein weiteres Schubfeld kann bei kurzen Vouten im Träger entstehen, da die Schubspannungen am Übergang vom Träger zur Voute meist höher sind als am Voute-Stütze-Anschluss.

Ebenso entstehen Schubfelder im Stützenstegfeld von zweiseitigen Verbindungen (T-Anschluss Var. 1), wenn eine Trägerseite höher ist als die andere und dementsprechend die Schubspannung auf einer Seite stark von der anderen abweicht.

Das Schubfeld muss allseitig von Steifen bzw. Flanschen umschlossen sein, die jedoch - ebenso wie das Schubfeld selbst - nicht beulgefährdet sein dürfen.

Der vereinfachte Beulnachweis ist erbracht, wenn sich der zu untersuchende Querschnittsteil noch in Klasse 3 (Elastisch- Elastisch) bzw. Klasse 2 (Elastisch-Plastisch) befindet.

Der Nachweis des Schubfelds erfolgt grundsätzlich mit dem Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch*.

In dem Berechnungsmodell des *idealen Schubfelds* übernehmen die Steifen/Flansche die Normalspannungen und das Schubfeld die Schubspannungen.

### Schubfeld in der Stütze

Im Folgenden wird die Berechnung für eine Rahmenecke beschrieben. Für T-Anschlüsse Var. 1 (beidseitig beanspruchte Schubfelder) s. [hier](#).

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

Die im Schubfeld wirkenden Schnittgrößen werden aus den Anschnittgrößen berechnet (s. [Schnittgrößen](#)).

$$\begin{aligned} N_3 &= -N_c & M_3 &= -M_c & V_3 &= -V_c \\ N_4 &= -N_d & M_4 &= -(M_d + V_d \cdot t_{fc}/2) & V_4 &= V_d \end{aligned}$$

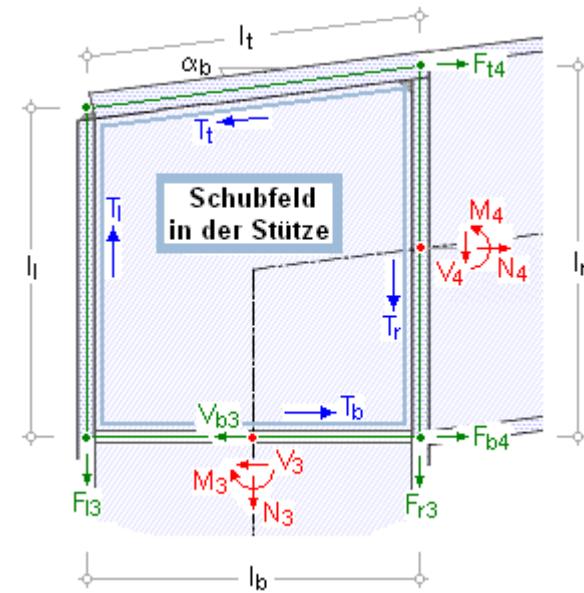
Daraus ergeben sich die Knotenkräfte am Schubfeld und in den Randsteifen sowie die Schubfeldkräfte

$$\begin{aligned} F_{b4} &= M_4/l_r + N_4/2 & N_b &= F_{b4} & T_b &= -V_{b3} + N_b \\ F_{t4} &= -M_4/l_r + N_4/2 & N_t &= F_{t4}/\cos \alpha_b & T_t &= -N_t \\ F_{r3} &= M_3/l_b + N_3/2 & N_l &= F_{r3} & T_l &= -N_l \\ F_{l3} &= -M_3/l_b + N_3/2 & N_{r1} &= F_{r3} & T_r &= V_4 + N_r \\ V_{b3} &= V_3 & N_{r2} &= -F_{t4} \cdot \tan \alpha_b & N_r &= N_{r1} - N_{r2} \\ & & & & \tau_i &= \frac{T_i}{h_i \cdot t} \end{aligned}$$

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](#)).

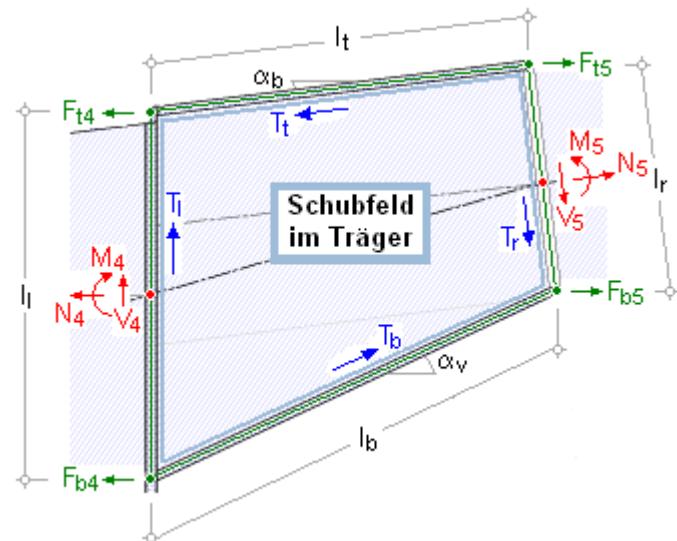


### Schubfeld im Träger

Wird das Schubfeld durch den unteren Trägerflansch ausgesteift, ist kein Schubfeldnachweis erforderlich.

Die im Schubfeld wirkenden Schnittgrößen werden aus den Anschnittgrößen berechnet (s. [Schnittgrößen](#)).

$$\begin{aligned} N_4 &= -N_d & M_4 &= -(M_d + V_d \cdot t_{fc}/2) & V_4 &= V_d \\ N_5 &= -N_{v,d} & M_5 &= -M_{v,d} & V_5 &= V_{v,d} \end{aligned}$$



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

$$\begin{aligned}
 F_{b4} &= M_4/l_l + N_4/2 & N_{b1} &= F_{b4}/\cos \alpha_v \\
 F_{t4} &= -M_4/l_l + N_4/2 & N_{b2} &= F_{b5}/\cos(\alpha_v - \alpha_b) \\
 F_{b5} &= M_5/l_r + N_5/2 & N_{t1} &= F_{t4}/\cos \alpha_b \\
 F_{t5} &= -M_5/l_r + N_5/2 & N_{t2} &= F_{t5} \\
 N_{l1} &= -F_{b4} \cdot \tan \alpha_v & N_l &= N_{l1} - N_{l2} \\
 N_{l2} &= F_{t4} \cdot \tan \alpha_b & \tau_i &= \frac{T_i}{h_i \cdot t} \\
 N_r &= F_{b5} \cdot \tan(\alpha_v - \alpha_b) & &
 \end{aligned}
 \quad \left. \begin{array}{l} N_b = N_{b1} - N_{b2} \\ N_t = N_{t1} - N_{t2} \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} T_b = -N_b \\ T_t = N_t \\ T_l = V_4 - N_l \\ T_r = V_5 + N_r \end{array} \right\}$$

aus denen die Schubspannungen berechnet und am Anschnitt der Steifen nachgewiesen werden.

### Rahmenecke mit Zuglasche

Rahmenecken mit Stirnblechverbindungen in Variante 1 können alternativ mit einer geschraubten Zuglasche am Obergurt des Trägers ausgeführt werden.

Die Zuglasche überträgt - analog dem Zugblech bei geschweißter Verbindung - die Zugkräfte im Obergurt des Trägers in die Stütze.

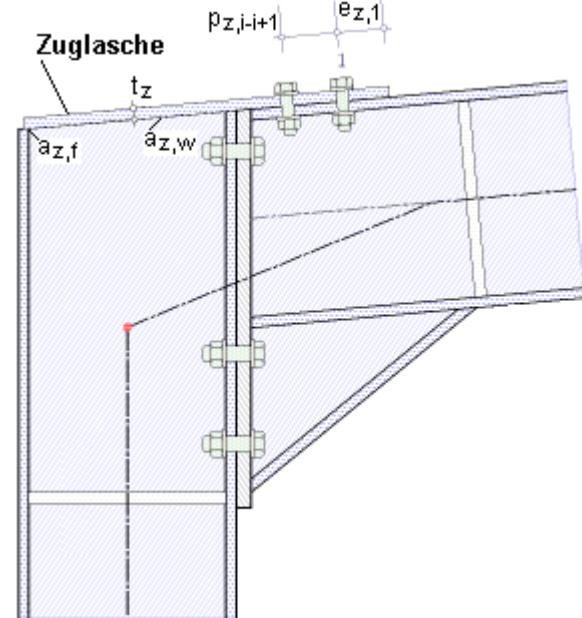
Sie wird also nur bei negativer Momentenbeanspruchung (Zug oben, Druck unten) wirksam.

Die Stirnblechverbindung dient in dem Fall einzig zur Übertragung der Querkräfte.

Bei positiver Momentenbelastung (Zug unten, Druck oben) wird ein klassischer Stirnblechanschluss berechnet.

Die Zuglasche ist in diesem Fall wirkungslos.

Die Berechnung erfolgt mit der **Komponentenmethode**.



### Berechnung der Zuglaschenverbindung

Die Zuglasche wird mit Schrauben (2-reihig) am Trägerflansch und mit beiseitigen Kehlnähten am Stützenprofil befestigt. Laschenquerschnitt, Schrauben- und Schweißverbindung sind nachzuweisen.

Der Querschnittsnachweis erfolgt mit Grundkomponente 9.

Tragfähigkeit eines Blechs mit Zugbeanspruchung

$$N_{pl,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} \quad \dots \dots \text{mit } A = b_z \cdot l_z$$

$$N_{u,Rd} = (0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u) / \gamma_{M2} \quad \dots \dots \text{mit } A_{net} = A$$

$$F_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}, N_{u,Rd})$$

$$F_{t,Ed} = (-N_d \cdot z_{bu} + M_d) / (z \cdot \cos \alpha_b) \quad \dots \dots \text{Bemessungsgröße}$$

Die Bemessungsgröße entspricht der Zugkraft im Trägerflansch (s. **Schnittgrößen**).

Die Schrauben werden auf Abscheren (Grundkomponente 11) und Lochleibung (Grundkomponente 12) nachgewiesen.

Da die Beschreibung der Schraubennachweise nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung des **Schraubennachweises** verwiesen.

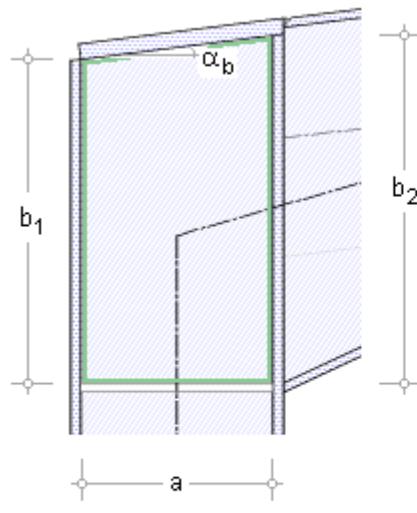
Die Schweißnähte können entweder nach dem *vereinfachten* oder dem *richtungsbezogenen Verfahren* nachgewiesen werden.

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

### Beulfeldnachweise

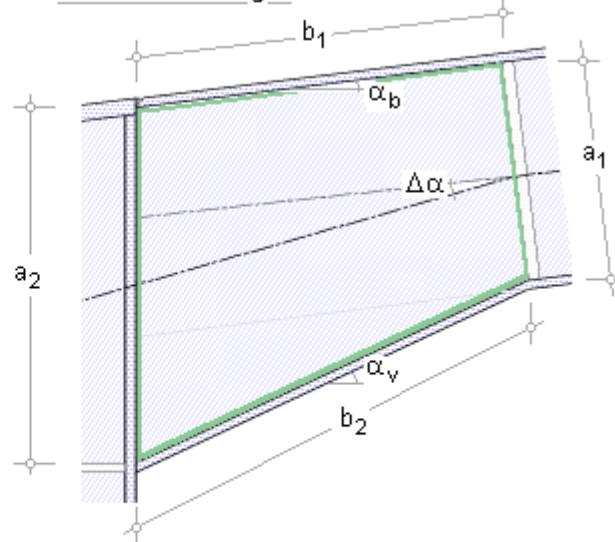
Werden dünnwandige Querschnittsteile durch Druckkräfte beansprucht, ist für sie ein Nachweis gegen Plattenbeulen zu führen. Wirken hohe Querkräfte, ist Schubbeulen, ggf. mit Interaktion zwischen Platten- und Schubbeulen, zu untersuchen.

#### Beulfeld in der Stütze



$$\begin{aligned} \text{für } \alpha_b > 10^\circ & \dots b = \max(b_1, b_2) \\ \leq 10^\circ & \dots b = \min(b_1, b_2) \end{aligned}$$

#### Beulfeld im Träger



$$\begin{aligned} \text{für } \Delta\alpha > 10^\circ & \dots b = \max(b_1, b_2) \dots a = \max(a_1, a_2) \\ \leq 10^\circ & \dots \text{für } \alpha_b > 10^\circ \dots b = \max(b_1, b_2) \dots a = \min(a_1, a_2) \\ & \leq 10^\circ \dots b = \min(b_1, b_2) \dots a = \min(a_1, a_2) \end{aligned}$$

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

Daher gilt hier  $b_1 = b_2 = z_{eq} - t_{st}/2$  (zur Berechnung von  $z_{eq}$  s. **Rotationssteifigkeit**).

### Plattenbeulen

Für dünnwandige druckbeanspruchte Querschnittsteile ist dann ein Beulfeldnachweis zu führen, wenn bei ihnen örtliches Beulen vor Erreichen der Streckgrenze auftritt. Nach EC 3-1-1, 5.5, werden sie in Querschnittsklasse 4 eingeordnet.

Ein typisches Beulfeld entsteht bei Rahmenecken in dem Bereich, in dem die Kräfte aus dem Träger in die Stütze umgeleitet werden müssen.

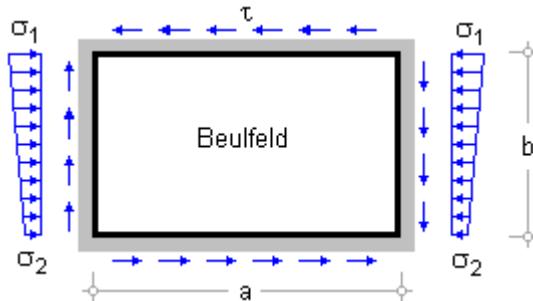
Des Weiteren ist das Beulfeld im gevouteten Träger zu untersuchen, da aufgrund der Aufweitung des unversteiften Trägerstegs der vereinfachte Beulfeldnachweis versagt.

Beim *vereinfachten Beulnachweis* wird in Abhängigkeit des Nachweisverfahrens überprüft, ob sich das zu untersuchende Querschnittsteil noch in Klasse 3 (*Elastisch-Elastisch*) bzw. Klasse 2 (*Elastisch-Plastisch*) befindet. Ist der vereinfachte Nachweis erbracht, kann auf den Nachweis gegen Plattenbeulen verzichtet werden.

Das Beulfeld muss allseitig von Steifen bzw. Flanschen umschlossen sein, die jedoch selbst nicht beulgefährdet sein dürfen.

Wird das Beulfeld durch Diagonalsteifen ausgesteift, ist kein Nachweis erforderlich, da sie mit den Randsteifen ein Fachwerk bilden, durch das die Kräfte abfließen können.

Sind ein oder zwei Stegbleche zur Verstärkung des Stützenstegs angeschweißt, wird die Stegdicke des Beulfelds analog Grundkomponente 2 um jeweils die halbe Stegblechdicke vergrößert.



Die Beulsicherheit kann über zwei Methoden nachgewiesen werden, die auf denselben Grundlagen beruhen

- die Methode der reduzierten Spannungen (EC 3-1-5, 10)
- das Verfahren der wirksamen Querschnittsflächen (EC 3-1-5, 4.3)

Dabei wird im Programm beim *Verfahren der wirksamen Querschnittsflächen* der gesamte Querschnitt betrachtet, während sich die *Methode der reduzierten Spannungen* nur auf den Steg als Beulfeld bezieht.

Die theoretischen Hintergründe der Verfahren sind der Literatur zu entnehmen; an dieser Stelle wird die Vorgehensweise des Programms erläutert.

## Schubbeulen

Nach EC 3-1-1, 6.2.6(5), ist die Tragfähigkeit gegen Schubbeulen nachzuweisen.

Der Nachweis erfolgt zunächst über den *vereinfachten Beulnachweis* mit

$$h_p / t_p \leq 72 / (\eta \cdot \varepsilon) \dots \text{mit } \dots h_p \text{ max. Beulfeldlänge } \dots \text{und } \dots \eta \text{ s. EC 3-1-5, 5.1(2)}$$

Ist der vereinfachte Nachweis erbracht, kann auf den Nachweis gegen Schubbeulen verzichtet werden.

## Interaktion

Bei gleichzeitiger Wirkung von Schub, Biegemoment und Normalkraft ist nach EC 3-1-5, 7, die Interaktion zwischen den Kräften zu berücksichtigen.

## Verfahren der wirksamen Querschnittsflächen

Beim Verfahren der wirksamen Querschnittsflächen wird davon ausgegangen, dass einzelne Querschnittsteile ausbeulen und sich die Spannungen auf steifere oder weniger beanspruchte Querschnittsteile umlagern.

Auf diesen reduzierten Querschnitt werden die wirksame Fläche  $A_{eff}$  und das wirksame Widerstandsmoment  $W_{eff}$  bezogen.

Der Nachweis entspricht dem Spannungsnachweis für den wirksamen Querschnitt (Klasse 4).



## Verfahren der wirksamen Querschnittsflächen (EC 3-1-5, 4)

### • Schubbeulen (EC 3-1-5, 5)

#### • Beitrag des Stegs

Schubbeulwert für  $a/h_w > 1 \Rightarrow k_t = 5.34 + 4/(a/h_w)^2$

$a/h_w \leq 1 \Rightarrow k_t = 4 + 5.34/(a/h_w)^2$

kritische Schubbeulspannung  $\tau_{cr,p} = k_t \cdot \sigma_E \dots \text{mit} \dots \sigma_E = (\pi^2 \cdot E \cdot t^2) / (12 \cdot (1 - \mu) \cdot b^2)$

modifizierte Schlankheit  $\lambda_w = 0.76 \cdot (f_{yw} / \tau_{cr,p})$

Abminderungsfaktor für  $\lambda_w < 0.83/\eta \Rightarrow \chi_w = \eta \dots \text{s. EC 3-1-5, 5.1(2)}$

$\lambda_w \geq 1.08 \Rightarrow \chi_w = 1.37 / (0.7 + \lambda_w) \dots \text{(starre Auflagersteife)}$

$\chi_w = 0.83 / \lambda_w \dots \text{(verformbare Auflagersteife)}$

$0.83/\eta \leq \lambda_w < 1.08 \Rightarrow \chi_w = 0.83 / \lambda_w$

Beanspruchbarkeit  $V_{bw,Rd} = (\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t_w) / (3^{0.5} \cdot \gamma_{M1})$

#### • Beitrag der Flansche

aufnehmbares Moment alleine der eff. Flächen der Flansche  $M_{f,Rd} = M_{f,k} / \gamma_{M0}$

... mit ...  $M_{f,k} = \min(A_{f1}, A_{f2}) \cdot (h_w + (t_{f1} + t_{f2})/2) \cdot f_y \dots \text{und} \dots A_{f1} = b_{f1} \cdot t_{f1}$

$N_{Ed} > 0 \dots f_{N,f} = 1 - N_{Ed} / ((A_{f1} + A_{f2}) \cdot f_y / \gamma_{M0}) \leq 1 \Rightarrow M_{f,Rd} = M_{f,Rd} \cdot f_{N,f}$

wenn  $M_{Ed} < M_{f,Rd}$

$c = a \cdot (0.25 + (1.6 \cdot b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yt}) / (t_w \cdot h_w^2 \cdot f_{yw})) \dots \text{mit} \dots b_f \leq 2 \cdot 15 \cdot t_f \cdot \varepsilon$

Beanspruchbarkeit  $V_{bf,Rd} = (b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yt}) / (c \cdot \gamma_{M1}) \cdot (1 - (M_{Ed} / M_{f,Rd})^2)$

sonst  $V_{bf,Rd} = 0$

Bemessungswert der Beanspruchbarkeit  $V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \lim V_{b,Rd}$

... mit ...  $\lim V_{b,Rd} = (\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t_w) / (3^{0.5} \cdot \gamma_{M1})$

Nachweis  $V_{Ed} / V_{b,Rd} \leq 1$

### • Interaktion (EC 3-1-5, 7)

Ausnutzung aus Schubbeulen des Stegs  $\eta_3 = V_{Ed} / V_{bw,Rd}$

wenn  $\eta_3 > 0.5$

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

$M_{f,Rd} = \min(A_{f1}, A_{f2}) \cdot (h - (t_{f0} + t_{fu})/2) \cdot f_y / \gamma_{M0} \dots \text{mit} \dots A_{f1} = b_{f0} \cdot t_{f0} \dots \text{und} \dots A_{f2} = b_{fu} \cdot t_{fu}$

$N_{Ed} > 0 \dots f_{N,f} = 1 - N_{Ed} / ((A_{f1} + A_{f2}) \cdot f_y / \gamma_{M0}) \leq 1 \Rightarrow M_{f,Rd} = M_{f,Rd} \cdot f_{N,f}$

Ausnutzung aus Plattenbeulen  $\eta_1 = M_{Ed} / M_{pl,Rd}$

wenn  $\eta_1 > \eta_{1,lim} = M_{f,Rd} / M_{pl,Rd}$

Nachweis  $\eta_1 + (1 - \eta_{1,lim}) \cdot (2 \cdot \eta_3 - 1)^2 \leq 1$

## Methode der reduzierten Spannungen

Die Methode der reduzierten Spannungen wird zur Bestimmung der Grenzspannungen einzelner Blechfelder eines Querschnitts benutzt und vornehmlich für die Stegblechuntersuchung verwendet.

Beim Nachweis des Schubbeulens werden starre Auflagersteifen vorausgesetzt. Das Beulfeld selbst ist unversteift.

## Methode der reduzierten Spannungen (EC 3-1-5, 10)

Annahme: Schubverzerrungen können vernachlässigt werden

Beulfeld  $a = h, b = d_w, t = t_w, \sigma_1, \sigma_2, \tau$  (EC 3-KOS)

Beulspannungen  $\sigma_{Ed} = \max(\sigma_1, \sigma_2) \dots$  und  $\tau_{Ed} = \tau$

### • Plattenbeulen

zweiseitig gestütztes Blechfeld Spannungsverhältnis  $\psi = \sigma_2 / \sigma_1 \Rightarrow$  Beulwert  $k_\sigma$  aus EC 3-1-5, Tab. 4.1

kritische Beulspannung  $\sigma_{cr,p} = k_\sigma \cdot \sigma_E \dots$  mit  $\sigma_E = (\pi^2 \cdot E \cdot t^2) / (12 \cdot (1 - \mu) \cdot b^2)$

Beulschlankheitsgrad  $\lambda_p = (f_y / \sigma_{cr,p})^{0.5}$

Abminderungsfaktor für  $\lambda_p \leq 0.5 + (0.085 - 0.055 \cdot \psi)^{0.5} \Rightarrow p = 1$

$\lambda_p > 0.5 + (0.085 - 0.055 \cdot \psi)^{0.5} \Rightarrow p = (\lambda_p - 0.055 \cdot (3 + \psi)) / \lambda_p^2$

Grenzbeulspannung  $\sigma_{Rd} = p \cdot f_y / \gamma_{M1}$

Nachweis  $\sigma_{Ed} / \sigma_{Rd} \leq 1$

### • Schubbeulen

Schubbeulwert für  $a/h_w > 1 \Rightarrow k_\tau = 5.34 + 4 / (a/h_w)^2$

$a/h_w \leq 1 \Rightarrow k_\tau = 4 + 5.34 / (a/h_w)^2$

kritische Schubbeulspannung  $\tau_{cr,p} = k_\tau \cdot \sigma_E \dots$  mit  $\sigma_E = (\pi^2 \cdot E \cdot t^2) / (12 \cdot (1 - \mu) \cdot b^2)$

modifizierte Schlankheit  $\lambda_w = 0.76 \cdot (f_{yw} / \tau_{cr,p})$

Abminderungsfaktor für  $\lambda_w < 0.83 / \eta \Rightarrow \chi_w = \eta \quad$  s. EC 3-1-5, 5.1(2)

$\lambda_w \geq 1.08 \Rightarrow \chi_w = 1.37 / (0.7 + \lambda_w) \quad$  (starre Auflagersteife)

$\chi_w = 0.83 / \lambda_w \quad$  (verformbare Auflagersteife)

$0.83 / \eta \leq \lambda_w < 1.08 \Rightarrow \chi_w = 0.83 / \lambda_w$

Grenzbeulspannung  $\tau_{Rd} = \chi_w \cdot f_y / (3^{0.5} \cdot \gamma_{M1})$

Nachweis  $\tau_{Ed} / \tau_{Rd} \leq 1$

### • Interaktion

Laststeigerungsfaktor für Spannungen  $\alpha_{ult} = 1 / [(\sigma_{Ed} / f_y)^2 + 3 \cdot (\tau_{Ed} / f_y)^2]^{0.5}$

Laststeigerungsfaktor für Stabilität  $\alpha_{cr} = 1 / [((1 + \psi) / (4 \cdot \alpha_{cr,x})) + ((1 + \psi) / (4 \cdot \alpha_{cr,x}))^2 + (1 - \psi) / (2 \cdot \alpha_{cr,x}^2) + 1 / \alpha_{cr,t}^2]^{0.5}$   
... mit  $\alpha_{cr,x} = \sigma_{cr,p} / \sigma_{Ed} \dots$  und  $\alpha_{cr,t} = \tau_{cr,p} / \tau_{Ed}$

bezogener Schlankheitsgrad  $\lambda_p = \lambda_w = (\alpha_{ult} / \alpha_{cr})^{0.5}$

Abminderungsfaktor für  $\lambda_p$  s. Plattenbeulen

Abminderungsfaktor für  $\lambda_w$  s. Schubbeulen

Grenzbeulspannungen  $\sigma_{Rd} = p \cdot f_y / \gamma_{M1} \dots$  und  $\tau_{Rd} = \chi_w \cdot f_y / \gamma_{M1}$

Nachweis  $(\sigma_{Ed} / \sigma_{Rd})^2 + 3 \cdot (\tau_{Ed} / \tau_{Rd})^2 \leq 1$

## 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 Gkn 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 in EC 3-1-8, Tab. 6.10, für geschraubte Stirnblechverbindungen angegeben.

Im Programm 4H-EC3RE werden folgende Steifigkeitskoeffizienten zur Ermittlung der Rotationssteifigkeit einseitig belasteter Verbindungen herangezogen.

- geschweißte Verbindungen -  $k_1, k_2, k_3$

- Träger-Stützenanschluss mit Stirnblech bei einer Schraubenreihe mit Zugbelastung -  $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_{10}$
- Träger-Stützenanschluss mit Stirnblech bei mehreren Schraubenreihen mit Zugbelastung -  $k_1, k_2, k_{eq}$

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 -  $k_3, k_4, k_5, k_{10}$

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)

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

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

Der Beiwert  $\psi$  hat nach EC 3-1-8, Tab.6.8, für geschweißte Verbindungen und geschraubte Stirnblechverbindungen den Wert 2.7.

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

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

Im Folgenden ist die Berechnung der Rotationssteifigkeit einer geschraubten Rahmenecke mit Stirnblech und drei Schraubenreihen unter Zugbelastung dargestellt (Berechnungsbeispiel).

### Steifigkeitskoeffizienten

äquivalenter Steifigkeitskoeffizient für 3 Zug-Schraubenreihen:

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 1:

$$k_5 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / m^3 = 22.69 \text{ mm}, \quad l_{eff} = 144.5 \text{ mm}, \quad m = 35.8 \text{ mm}$$

$$k_{10} = 1.6 \cdot A_s / L_b = 6.15 \text{ mm}, \quad L_b = t_{ges} + 2 \cdot t_p + (t_k + t_m) / 2 = 63.8 \text{ mm}, \quad t_{ges} = 41.5 \text{ mm}$$

$$k_3 = 0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot l_{wc} / d_c = 3.26 \text{ mm}, \quad b_{eff,t,wc} = 168.4 \text{ mm}$$

$$k_4 = 0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_c^3 / m^3 = 9.04 \text{ mm}, \quad l_{eff} = 127.8 \text{ mm}, \quad m = 26.9 \text{ mm}$$

$$\Sigma(1/k_{i,1}) = 1/k_3 + 1/k_4 + 1/k_5 + 1/k_{10} = 0.624 \Rightarrow k_{eff,1} = 1 / \Sigma(1/k_{i,1}) = 1.603 \text{ mm}$$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 2:

⋮

$$k_{eff,2} = 1 / \Sigma(1/k_{i,2}) = 1.467 \text{ mm}$$

wirksamer Steifigkeitskoeffizient für Schraubenreihe 3:

⋮

$$k_{eff,3} = 1 / \Sigma(1/k_{i,3}) = 1.713 \text{ mm}$$

äquivalenter innerer Hebelarm:  $z_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r^2) / \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) = 198.8 \text{ mm}$

$$k_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) / z_{eq} = 3.646 \text{ mm}$$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 1:

$$k_1 = 0.38 \cdot A_{vc} / (\beta \cdot z) = 9.77 \text{ mm}, \quad A_{vc} = 51.1 \text{ cm}^2, \quad \beta = 1.0, \quad z = 198.8 \text{ mm}$$

Steifigkeitskoeffizient der Grundkomponente 2:

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

$$\text{Summe der Steifigkeitskoeffizienten } \Sigma(1/k_i) = 1/k_1 + 1/k_2 + 1/k_{eq} = 0.377$$

### Rotationssteifigkeit

Anfangsrotationssteifigkeit:  $S_{j,ini} = (E \cdot z^2) / \Sigma(1/k_i) = 22037.8 \text{ kNm/rad}, \quad z = z_{eq} = 198.8 \text{ mm}$

Biegemomente im Anschluss bzgl. des Druckpunkts:  $M_{j,Ed} = 80.00 \text{ kNm}, \quad M_{j,Rd} = 97.96 \text{ kNm}$

$$|M_{j,Ed}| = 80.00 \text{ kNm} > 2/3 M_{j,Rd} = 65.3 \text{ kNm} \Rightarrow \mu = ((1.5 \cdot M_{j,Ed}) / M_{j,Rd})^{\Psi} = 1.730, \quad \Psi = 2.7$$

Rotationssteifigkeit:  $S_{j,Rd} = S_{j,ini} / \mu = 12741.2 \text{ kNm/rad}$

$$\text{Verdrehung: } \varphi_{j,Ed} = M_{j,Ed} / S_{j,Rd} = 0.360^\circ$$

## 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-EC3RE](#), Rahmenecken



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