



4H- STATIKPROGRAMME  
AUS HANNOVER

DTE Desktop®  
Engineering



pcae GmbH

Kopernikusstr. 4A

30167 Hannover

Tel 0511/70083-0

Fax 0511/70083-99

Internet [www.pcae.de](http://www.pcae.de)

Mail [dte@pcae.de](mailto:dte@pcae.de)



4H-EC3FK

Knotenblech mit freier  
Anschlusskonfiguration

August 2022



# 4H-EC3FK

Knotenblech mit freier  
Anschlusskonfiguration

Copyright 2019-2022

2. erweiterte Auflage, August 2022

**pcae** GmbH, Kopernikusstr. 4 A, 30167 Hannover

**pcae** versichert, dass Handbuch und Programm nach bestem Wissen und Gewissen erstellt wurden. Für absolute Fehlerfreiheit kann jedoch infolge der komplexen Materie keine Gewähr übernommen werden.

Änderungen an Programm und Beschreibung vorbehalten.

Korrekturen und Ergänzungen zum vorliegenden Handbuch sind ggf. auf der aktuellen Installations-CD enthalten. Ergeben sich Abweichungen zur Online-Hilfe, ist diese aktualisiert.

Ferner finden Sie **Verbesserungen und Tipps im Internet unter [www.pcae.de](http://www.pcae.de)**.

Von dort können zudem aktualisierte Programmversionen herunter geladen werden. S. hierzu auch *automatische Patch-Kontrolle* im DTE<sup>®</sup>-System.



# Produktbeschreibung

Das Programm #EC3FK, Knotenblech mit freier Anschlusskonfiguration, weist die Tragfähigkeit eines Knotenblechs und seiner Anschlussstäbe unter ebener Beanspruchung entspr. Eurocode 3 nach.

Der Begriff Knotenblech steht für ein Blech, das zur Befestigung von Stäben an einer Stützkonstruktion dient. Ebenso berechnet das Programm ein Zwischenblech, welches Stäbe mit unterschiedlichen Querschnitten verbindet. Im Folgenden wird nur der Begriff Knotenblech verwendet.

Das Knotenblech, das durch Schraubanschlüsse mit Öffnungen an beliebiger Stelle versehen ist, wird mit Hilfe der Scheiben-FEM abgebildet. Schweißnähte wirken vorzugsweise als Auflager und werden als gebettete Fix-Linien modelliert.

Folgende Leistungsmerkmale werden bereitgestellt

- Berechnung und Nachweis eines polygonal berandeten Blechs mit freier Anschlusskonfiguration unter ebener Belastung
- Schrauben werden je Anschlussstab zu Anschlussgruppen zusammengefasst, wobei jede Schraube separat platziert werden kann
- Schweißnähte sind entweder am Rand oder zur Befestigung eines Anschlussstabs vorgesehen. Mehrere Nahtlinien, z.B. um einen Anschlussstab herum, können als Schweißnahtgruppe zusammengefasst werden.
- Schweißnähte und Schrauben können dem Lasteintrag (Belastung) oder dem Lastabtrag (Auflager) dienen
- die Nachweise der Schrauben unter Zug- und Abscherbeanspruchung sowie der Schweißnähte werden nach EC 3-1-8 geführt; Knotenblech und Stabprofile werden nach EC 3-1-1 nachgewiesen
- die Materialsicherheit kann entweder normenkonform vorbelegt oder vom Anwender eingegeben werden
- Knotenblech und Stabprofile können verschiedene Stahlgüten besitzen
- Schraubengruppen können entweder einheitlich in Größe und Klasse festgelegt oder vom Anwender je Gruppe bearbeitet werden
- Schweißnahtgruppen können entweder einheitlich in Typ (Kehl-, Stumpfnah) und Dicke festgelegt oder vom Anwender je Gruppe bearbeitet werden
- die Stabquerschnitte werden je nach Anschlussart (Schrauben, Schweißnaht) unterschieden. Ein Stabquerschnitt ist ein Standardprofil (Profilmanager) oder ein typisiertes Profil der **pcae**-Reihe für
  - ... Schraubanschlüsse: Flachstahl, L-Profil, U-Profil, T-Profil
  - ... Schweißnahtanschlüsse: Flachstahl, L-Profil, U-Profil, T-Profil, Rohr, Rechteck
- Profil- und Materialparameter können sowohl **pcae**-eigenen Tabellen entnommen als auch parametrisiert eingegeben werden
- die Berechnung des Knotenblechanschlusses kann optional die Berechnung der Anschlussprofile der Schraub- und Schweißnahtanschlüsse beinhalten
- die Schweißnaht kann einseitig oder zweiseitig angeordnet sein
- die Schweißnähte können mit dem richtungsbezogenen oder vereinfachten Verfahren nachgewiesen werden
- der Spannungsnachweis des Knotenblechs wird elastisch, die Nachweise der Anschlussstäbe optional elastisch oder plastisch durchgeführt
- Bauteilimport- / -exportfunktionen
- FE-Modellierung des Knotenblechs (Scheibe) kann automatisch oder benutzerdefiniert erfolgen
- die Federsteifigkeit der Schrauben (Punkte) kann in der FE-Modellierung automatisch oder benutzerdefiniert festgelegt werden
- die Berechnung erfolgt online
- die Ergebnisse können am Bildschirm in Listenform eingesehen werden. Zudem können die FEM-Ergebnisse als Konturendarstellung und Linienplot je Lastkombination dargestellt werden.
- das Druckdokument kann vorab am Bildschirm überprüft werden
- Schnittgrößenimport aus **pcae**-Stabwerksprogrammen und über Text-Importschnittstelle

- im Ausgabeprotokoll wird bei Bedarf der Rechenweg in ausführlicher Form dargestellt, so dass jeder Zahlenwert nachvollzogen werden kann. Natürlich kann das Statikdokument auch wesentlich reduziert werden.
- Export der Konstruktionszeichnung im DXF-Format zur Weiterbearbeitung in einem CAD-System
- englischsprachige Druckdokumentenausgabe

Die Programmentwicklung erfolgt nahezu ausschließlich durch Bauingenieure.

Die interaktiven Steuermechanismen des Programms sind aus anderen Windows- Anwendungen bekannt. Wir haben darüber hinaus versucht, weitestgehend in der Terminologie des Bauingenieurs zu bleiben und *44-EC3FK* von detailliertem Computerwissen unabhängig zu halten.

Nach der Installationsanweisung wird eine Übersicht der Funktionalitäten der Steuerbuttons der Eingabeoberfläche gegeben.



Im Sinne eines Leitfadens gedacht, kann das Manual nicht alle Fragen beantworten. Im aktuellen Falle wird dann der Hilfebutton im jeweiligen Eigenschaftsblatt Antwort geben.

Zur *44-EC3FK*-Dokumentation gehört neben diesem Handbuch das Manual

*DTE®-DeskTopEngineering.*

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit *44-EC3FK*.

Hannover, im August 2022

## Abkürzungen und Begriffe

Um die Texte zu straffen, werden folgende Abkürzungen benutzt:

RMT	rechte Maustaste drücken
LMT	linke Maustaste drücken
LF	Lastfall (Teileinwirkung)
Nwtyp	Nachweistyp
Gk	Grundkomponente
GZT	Grenzzustand der Tragfähigkeit
GZG	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit



signalisiert Anmerkungen

### Buttons

Das Betätigen von Buttons wird durch Setzen des Buttoninhalts in **blaue Farbe** und die Auswahl eines Begriffs in einer Listbox durch diese **Farbe** symbolisiert.



**Rot** markierte Buttons bzw. Mauszeiger kennzeichnen erforderliche Eingaben bzw. anzuklickende Buttons.

### Index

Indexstichworte werden im Text zum schnelleren Auffinden **grün markiert**.

Beim Verweis auf Eigenschaftsblätter wird deren *Bezeichnung kursiv gedruckt*.

### Doppelklick

zweimaliges schnelles Betätigen der LMT

### blank

Leerzeichen

### Cursor

Schreibmarke in Texten, Zeigesymbol bei Mausbedienung

### icon

oder Ikon, Piktogramm, Bildsymbol

Zur Definition der Begriffe **Lastbild**, **Lastfall**, **Einwirkung**, **Lastkollektiv** und **Extremalbildungsvorschrift** s. Handbuch das **pcae-Nachweiskonzept**, Theoretischer Teil.

Die in der Interaktion mit **pcae**-Programmen stehenden **Buttons** besitzen folgende Funktionen:



Bricht Eigenschaftsblätter ohne Änderung der Eingabewerte ab.



Lädt abgespeicherte Werte in das Eigenschaftsblatt bzw. speichert die aktuellen Werte zum späteren Abruf in anderen Eigenschaftsblättern.



Ruft das Online-Hilfesystem.



Bestätigt die Eingaben und schließt das Eigenschaftsblatt.



**Löschen**-Button vernichtet Eingaben mit Nachfrage.



Datenzustand  
überprüfen

Wenn der Mauszeiger einen Moment auf einem Button verweilt, erscheint ein Fähnchen, das den zugehörigen Aufruf beschreibt.





# Inhaltsverzeichnis

1	Programminstallation .....	7
2	Bauteil erzeugen .....	9
3	Eingabeoberfläche .....	11
3.1	Allgemeines .....	13
3.2	Berechnungseinstellungen, Knotenblech .....	17
3.3	Schweißnahtanschlüsse .....	23
3.4	Schraubanschlüsse .....	26
3.5	Schnittgrößen .....	29
3.5.1	Schnittgrößen importieren .....	31
3.6	Ergebnisübersicht .....	35
3.7	FEM-Ergebnisse .....	36
3.8	Lastverteilung und Nachweise .....	39
3.9	Spannungsnachweis für Schrauben n. EC 3 .....	42
3.10	Schweißnahtnachweis n. EC 3 .....	43
3.11	Querschnittsnachweis n. EC 3 .....	45
3.12	Beschreibung der Ergebnisse .....	46
3.13	Basisverbindungen .....	54
3.13.1	Tragfähigkeit von Schweißverbindungen .....	54
3.13.1.1	Kehlnähte .....	54
3.13.1.2	Stumpfnähte .....	55
3.13.1.3	Umrechnung von Blechschnittgrößen in Schweißnahtkräfte .....	56
3.13.2	Schrauben .....	57
3.13.3	Tragfähigkeit von Schraubenverbindungen .....	58
3.13.3.1	Schrauben und Niete .....	58
3.13.3.2	Berechnung der Tragfähigkeiten von Schrauben und Niete .....	59
4	Allgemeines .....	62
4.1	Nationale Anhänge zu den Eurocodes .....	62
4.2	Stahlsorten .....	62
4.3	Ausdrucksteuerung .....	63
5	Literaturverzeichnis .....	64
6	Index .....	67



## Programminstallation

Die Installation des DTE®-Systems und das Überspielen des Programms *##-EC3FK* auf Ihren Computer erfolgt über einen selbsterläuternden Installationsdialog.

Sofern Sie bereits im Besitz anderer *##*-Programme sind und diese auf Ihrem Rechner installiert sind, lesen Sie bitte Abs. 2, Bauteil erzeugen, auf S. 9 weiter.

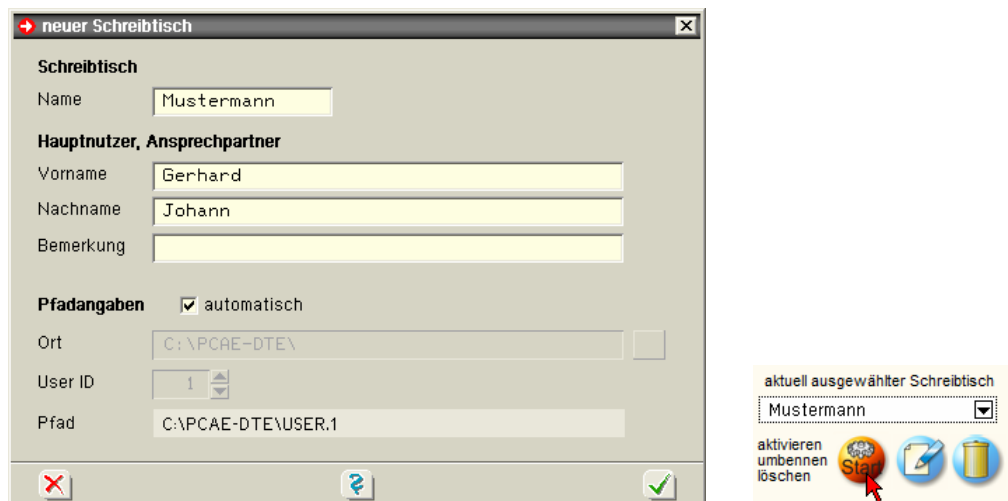


Nach erfolgreicher Installation befindet sich das DTE®-**Startsymbol** auf Ihrer Windowsoberfläche. Führen Sie bitte darauf den Doppelklick aus.

Daraufhin erscheint das Eigenschaftsblatt zur **Schreibtischauswahl**. Da noch kein Schreibtisch vorhanden ist, wollen wir einen neuen einrichten. Klicken Sie hierzu bitte auf den Button **neu**.



**Schreibtischname** Dem neuen Schreibtisch kann ein beliebiger Name zur Identifikation zugewiesen werden. Klicken Sie hierzu mit der LMT in das Eingabefeld. Hier ist *Mustermann* gewählt worden.

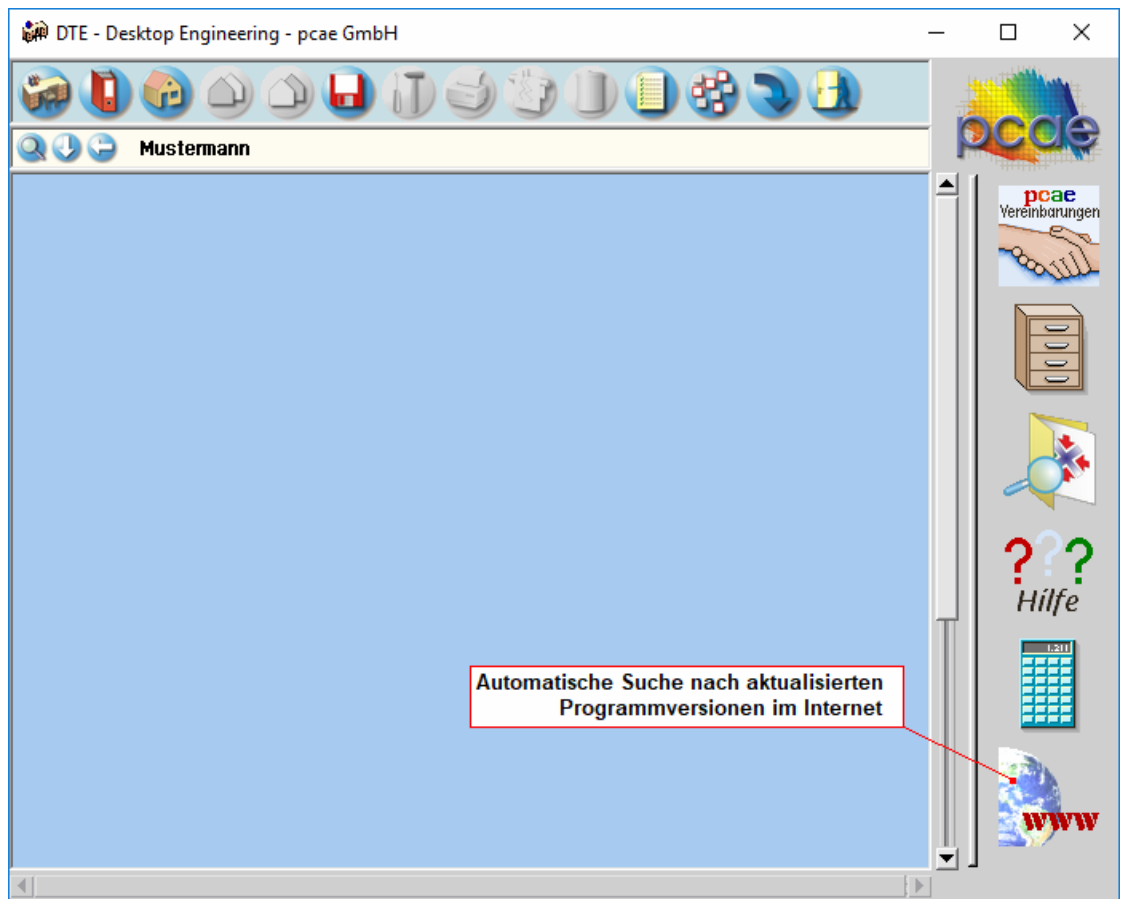


Nach Bestätigen über das **Hakensymbol** erscheint wieder die Schreibtischauswahl, in die der neue Name bereits eingetragen ist. Drücken Sie auf **Start** und die DTE®-Schreibtischoberfläche erscheint auf dem Bildschirm.

DTE® steht für *DeskTopEngineering* und stellt das "Betriebssystem" für *pcae*-Programme und die Verwaltungsoberfläche für die mit *pcae*-Programmen berechneten Bauteile dar.



Zur Beschreibung des DTE®-Systems und der zugehörigen Funktionen s. Handbuch *DTE®-DeskTopEngineering*.



## Steuerbuttons

Im oberen Bereich des Schreibtisches sind Interaktionsbuttons lokalisiert.

Die Funktion eines Steuerbuttons ergibt sich aus dem Fähnchen, das sich öffnet, wenn sich der Mauscursor über dem Button befindet.

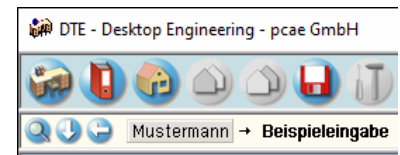
Auf Grund der **Kontextsensitivität** des DTE®-Systems sind manche Buttons solange abgedunkelt und nicht aktiv bis ein Bauteil aktiviert wird.

- |  |   |
|--|---|
|  | Die Buttons bewirken im Einzelnen   |
|  | öffnet die Schreibtischauswahl  |
|  | legt einen neuen Projektordner an   |
|  | erzeugt ein neues Bauteil   |
|  | kopiert das aktivierte Bauteil  |
|  | fügt die Bauteilkopie ein   |
|  | lädt/sichert Bauteile. Hier befindet sich auch der <b>e-Mail-Dienst</b> . |
|  | menügesteuerte Bearbeitung des aktivierten Bauteils                       |
|  | druckt die Datenkategorien des aktivierten Bauteils                       |
|  | ruft das Planerstellungsmodul des aktivierten Bauteils                    |
|  | löscht das aktivierte Bauteil/Ordner                                      |
|  | öffnet die Bearbeitung der Auftragsliste                                  |
|  | öffnet die Mehrfachauswahl zur gleichzeitigen Bearbeitung von Bauteilen   |
|  | eröffnet Verwaltungsfunktionen  |
|  | schließt den geöffneten Ordner/beendet die DTE®-Sitzung                   |

## Bauteil erzeugen



Durch Erzeugen eines **Ordners** besteht die Möglichkeit, Bauteile einem bestimmten Projekt zuzuordnen. Ein Ordner wird durch Anklicken des nebenstehenden Symbols erzeugt. Der Ordner erscheint auf dem DTE®-Desktop und kann, nachdem ihm eine Bezeichnung und eine Farbe zugeordnet wurden, per Doppelklick aktiviert (geöffnet) werden.



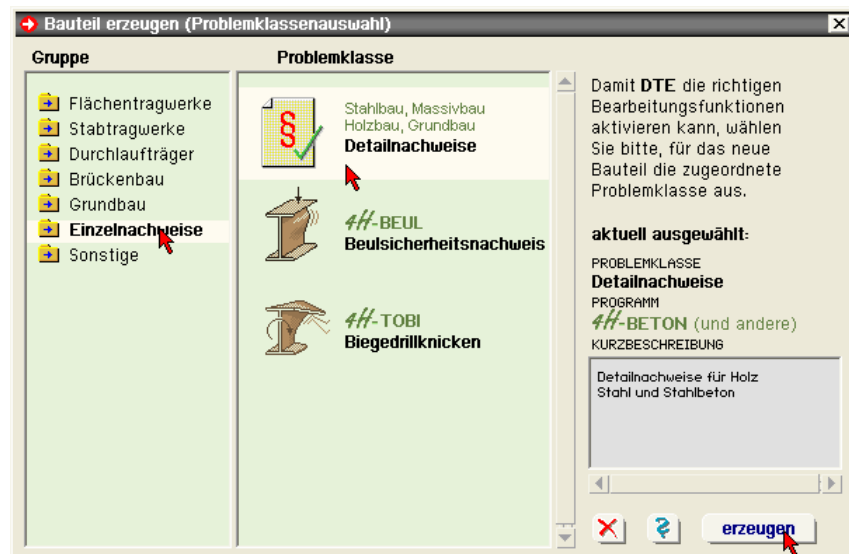
Aus dem Eintrag in der Schreibtischkopfzeile ist zu erkennen, in welchem Ordner sich die Aktion aktuell befindet.



Der Ordner kann durch das **beenden**-Symbol wieder geschlossen werden.



Zur Erzeugung eines neuen Bauteils wird das Schnellstartsymbol in der Kopfleiste des DTE®-Schreibtisches angeklickt. Klicken Sie in dem folgenden Eigenschaftsblatt bitte mit der LMT auf die Gruppe **Einzelnachweise**, dann auf die Problemklasse **Detailnachweise** und abschließend auf den **erzeugen-Button**.



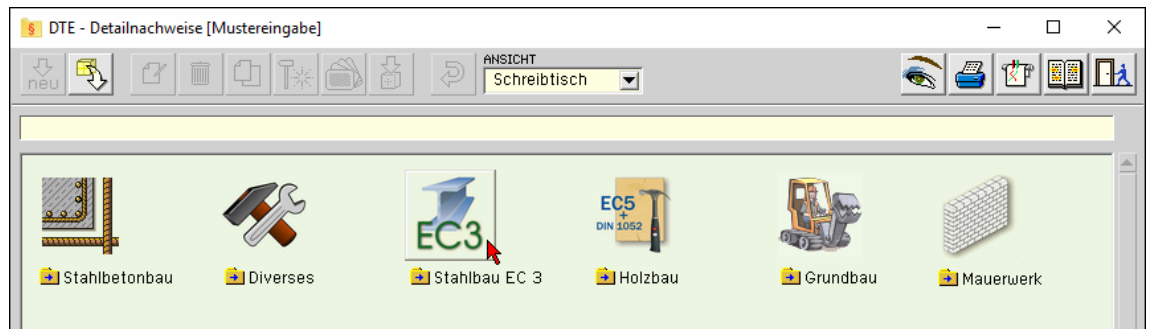
Der schwarze Rahmen der neuen Bauteilkone lässt sich mit der Maus über den Schreibtisch bewegen. Klicken Sie die LMT an der Stelle, an der das Bauteil auf dem Schreibtisch platziert werden soll. Das Eigenschaftsblatt *Name und Bezeichnung* erscheint.



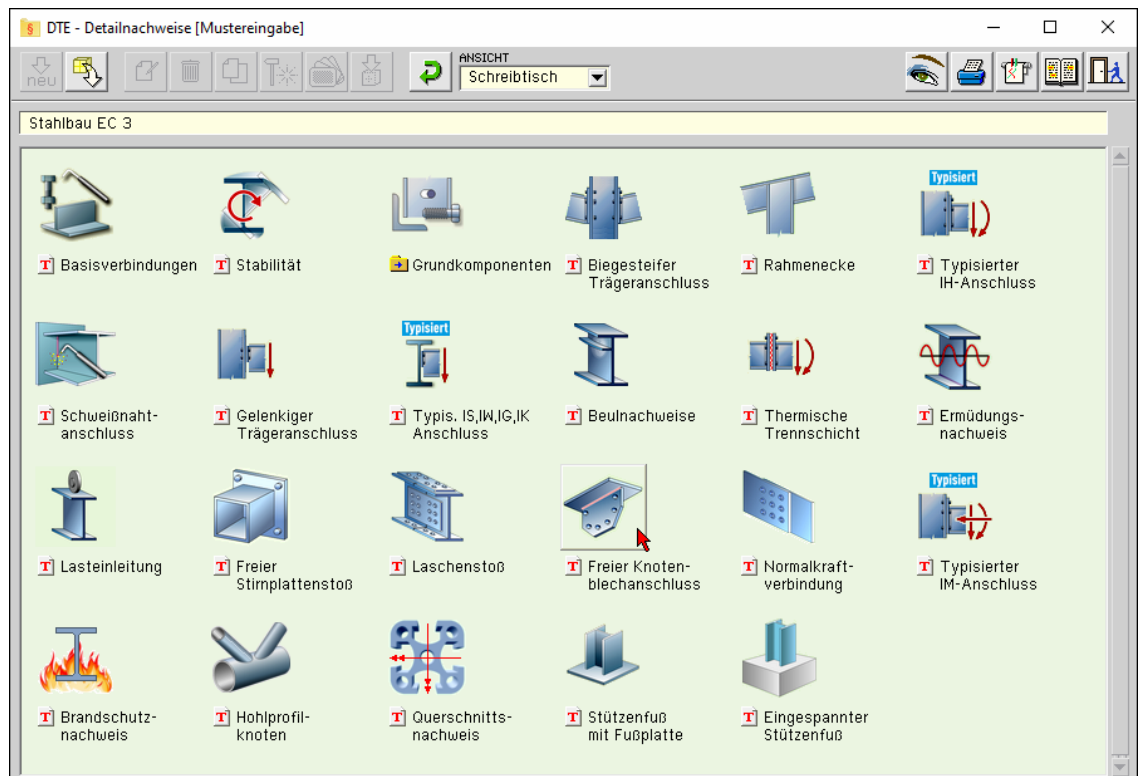


Überschreiben Sie den Begriff *Detailnachweise* zur Identifikation durch einen sinnvollen Text. Nach **Bestätigen** ist das Bauteil mit dem neuen Namen eingerichtet. Durch Doppelklicken des neuen Symbols wird die Verwaltung der DTE®-Detailnachweise geöffnet.

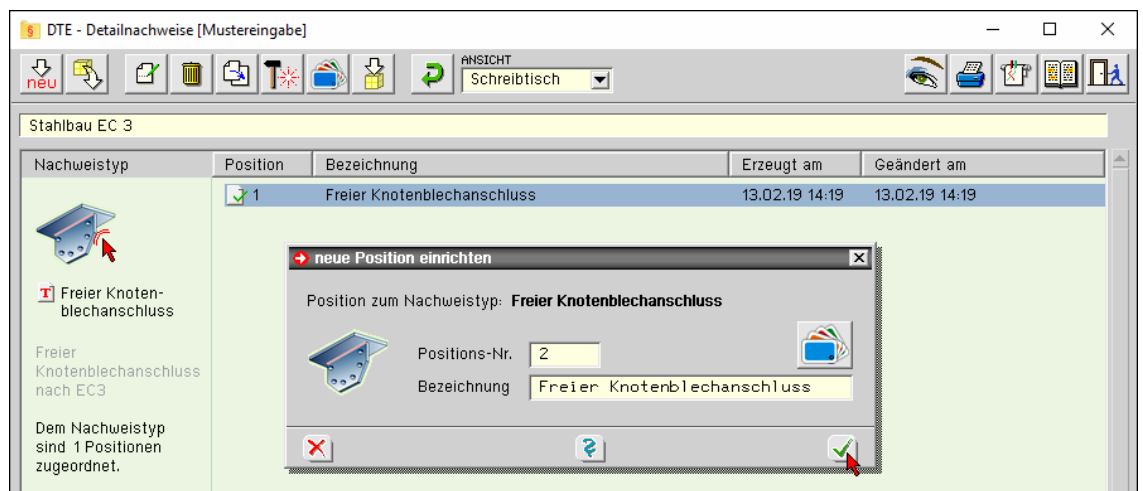
## Übersicht Detailnachweise



## Übersicht EC 3- Programme



## Freier Knotenblechanschluss



Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts *neue Position einrichten* erscheint die Eingabeoberfläche des Programms *Freier Knotenblechanschluss*.

## Eingabeoberfläche



Mit dem Programm **4H-EC3FK**, Freier Knotenblechanschluss, wird ein Knoten- bzw. Verbindungsblechanschluss mit freier Anschlusskonfiguration unter ebener Belastung nach EC 3 nachgewiesen.

Die zugehörigen Eingabeparameter werden in separaten Registerblättern verwaltet, die über Symbole (Steuerbuttons) die dahinter liegende Parameterauswahl kenntlich machen.

**4H-EC3 - Freier Knotenblechanschluss [Position 110: Beispiel 2 - Hlp]**

**Materialsicherheit** (☒ genormt)

Beanspruchbarkeit von Querschnitten .....  $\gamma_{M0}$  1.00

Beanspruchbarkeit von Verbindungsmitteln .....  $\gamma_{M2}$  1.25

**einheitliche Stahlsorte**

Stahlsorte  ☐ Vorgabe

**einheitliche Schweißnähte**

☒ Kehlnaht

☐ Stumpfnäht, nicht durchgeschweißt

wirksame Nahtdicke  $a$   mm

**einheitliche Schrauben**

Schraubengröße  ☐ Vorgabe

Festigkeitsklasse  ☐ Vorgabe

☒ normale Schlüsselweite ☐ große Schlüsselweite

☒ nicht vorgespannt

☐ Passschraube

☒ Schraubengewinde in der Scherfuge

☐ Schraubenschaft in der Scherfuge

**Blech mit Bohrungen** ☐ **Knotenblech** ☐ **Verbindungsblech** ☒ **Blech mit freier Anschlusskonfiguration** ☐

**Knotenblech**

☐ rechteckig ☒ polygonal ☐  $\#$ -Quer

	x mm	y mm	Nr
	100.0	400.0	2
	300.0	400.0	3
	400.0	300.0	5
	400.0	100.0	6
	300.0	0.0	8
	100.0	0.0	9
	0.0	100.0	11
	0.0	300.0	12

neu →

Blechdicke  $t_p$   mm

**Berechnungsablauf**

☒ FEM-Berechnung der Knotenblechs

☒ elastischer Spannungsnachweis

Nachweis der Schweißnähte

☒ mit dem richtungsbezogenen Verfahren

☐ mit dem vereinfachten Verfahren

☒ Schweißnahtdicken überprüfen

Nachweis der Schrauben

☒ Schraubenabstände überprüfen

Nachweis der Anschlussprofile

☐ elastischer Querschnittsnachweis

☒ plastischer Querschnittsnachweis

Die Funktionen der einzelnen **Steuerbuttons** werden auf den folgenden Seiten erläutert.



Berechnungseinstellungen, Knotenblech, s. Abs. 3.2, S. 17

Im ersten Registerblatt werden allgemeine Einstellungen zur Berechnung festgelegt und das Knotenblech beschrieben.

Außerdem werden die Materialsicherheitsbeiwerte, eine einheitliche Stahlsorte und einheitliche Schweißnaht- und Schraubenparameter vorgegeben. Weiterhin werden die zu führenden Nachweise ausgewählt. Zudem können spezielle FEM-Parameter angepasst und Ausgabeoptionen zu den Berechnungsergebnissen der FEM definiert werden.

Der Querschnitt wird zur Info maßstäblich am Bildschirm dargestellt.



Befestigung: Schweißnähte, s. Abs. 3.3, S. 23

Im zweiten Registerblatt werden die Anordnung und Parameter der Schweißnahtgruppen festgelegt. Der Querschnitt wird zur visuellen Kontrolle maßstäblich am Bildschirm dargestellt.



Befestigung: Schrauben, s. Abs. 3.4, S. 26

Im dritten Registerblatt werden die Anordnung und Parameter der Schraubengruppen festgelegt. Der Querschnitt wird zur visuellen Kontrolle maßstäblich am Bildschirm dargestellt.



Bemessungsschnittgrößen, s. Abs. 3.5, S. 29

Die Schnittgrößen werden im vierten Registerblatt festgelegt und können entweder 'per Hand' eingegeben oder aus einem **pcae**-Programm importiert werden. Um Schnittgrößen importieren zu können, muss das entsprechende **4//**-Programm in der exportfähigen Version installiert sein. Der Querschnitt wird zur Info maßstäblich am Bildschirm dargestellt.



Ergebnisübersicht, s. Abs. 3.6, S. 35

Im fünften Registerblatt werden die Ergebnisse (Ausnutzungen) lastfallweise und detailliert im Überblick dargestellt.



Ergebnisse der FEM-Rechnung, s. Abs. 3.7, S. 36

Im sechsten Registerblatt werden die FEM-Ergebnisse (Scheibe, Linien) grafisch aufbereitet und dargestellt.



nationaler Anhang, s. Abs. 4.1, S. 62

Weiterhin ist zur vollständigen Beschreibung der Berechnungsparameter der dem Eurocode zuzuordnende nationale Anhang zu wählen. Über den **NA-Button** wird das entsprechende Eigenschaftsblatt aufgerufen.



Ausdrucksteuerung, s. Abs. 4.3, S. 63

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



Druckliste einsehen

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



Ausdruck

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



Planbearbeitung

Über den **Pläne**-Button wird das **pcae**-Programm zur Planbearbeitung aufgerufen. Der aktuelle Anschluss wird im **pcae**-Planerstellungsmodule dargestellt, kann dort weiterbearbeitet, geplottet oder im DXF-Format exportiert werden.



Onlinehilfe

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



Eingabe beenden

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



Die statische Berechnung von Rahmentragwerken wird i.A. mit Hilfe diskretisierter Systeme in Stabwerksprogrammen durchgeführt. Dabei werden i.d.R. konstruktive Einschränkungen ignoriert, d.h. die Knotenausbildung erfolgt ohne Berücksichtigung der geometrisch bedingten Exzentrizitäten.

Die Bemessung der Stäbe erfolgt mit hoher Genauigkeit und liefert die notwendigen Profilgrößen. Jedoch fehlt i.A. die Bemessung der Eck- bzw. Anschlussbereiche der Stäbe. Der Konstrukteur hat nun die Aufgabe, die aus der Stabwerksberechnung resultierenden Ergebnisse in konstruierbare Bauteile umzusetzen. Dabei muss der Knotenausbildung besondere Aufmerksamkeit zukommen, da meist verschiedene Materialien (Schweißnähte, Schrauben, Stahlblech) bei einer hohen Auslastung zu kombinieren sind.

Die biegesteifen Verbindungen von Trägern mit Stützen über Stirnplatten, Laschen oder Schweißnähte sind hinreichend dokumentiert und können sehr genau bemessen werden. Jedoch werden gelenkige Anschlüsse z.B. von Diagonalstreben an biegesteife Ecken oder Verbindungen unterschiedlicher Profilformen und -größen bisher wenig betrachtet und können detailliert nur mit hohem Modellierungsaufwand, z.B. mit der FE-Methode, nachgewiesen werden.

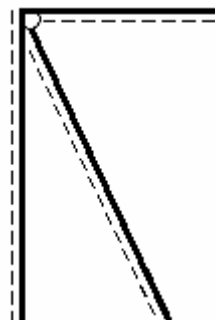
Will man den Aufwand einer FE-Berechnung nicht investieren, ist das Knotenblech - auf der sicheren Seite liegend - i.A. überdimensioniert.

Das vorliegende Programm `##-EC3FK`, Knotenblech mit freier Anschlusskonfiguration, ist ein zur EC3-Familie von `pcae` passendes Modul und berechnet unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit das beliebig konfigurierte Knotenblech mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode.

Die ebene Belastung des Knotenblechs wird über angeschraubte oder angeschweißte Stabprofile eingebracht. Im Nachlauf wird die Tragfähigkeit des Knotenblechs, der Schraub- und Schweißnahtanschlüsse sowie der Querschnitte der Stabprofile für die eingebrachten oder resultierenden Schnittgrößen nach DIN EN 1993-1-8 (EC 3-1-8) bzw. DIN EN 1993-1-1 (EC 3-1-1) nachgewiesen.

Bild Rahmeneckknoten

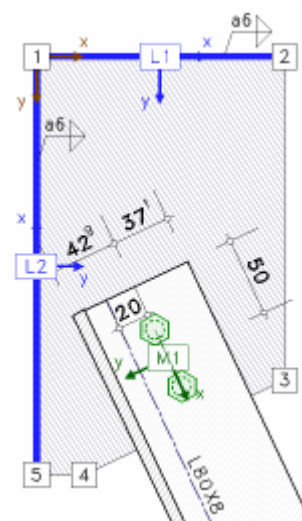
a Stabwerksmodell



b realitätsnahe Modellierung



c: `##-EC3FK`



## Modellierung des Anschlusses

Das Knotenblech wird als polygonal berandete 2D-Finite-Element-Scheibe ausgebildet, in die die Verbindungsmittel (Schrauben, Schweißnähte) eingebettet sind. Die Verbindungsmittel dienen im FE-Modell entweder der Lasteinleitung von Schnittgrößen oder als Auflager, deren Reaktionen mit Hilfe der FEM berechnet werden.

Die Schraubenlöcher werden als runde Aussparungen in der FE-Scheibe modelliert.

Die Scheibe wird linear-elastisch berechnet (s. FEM-Beschreibung unten), wobei die mittlere Dichte des FE-Netzes entweder in Abhängigkeit der geometrischen Bedingungen automatisch ermittelt oder vom Anwender über einen Dichtefaktor beeinflusst werden kann.

Schrauben, die einen Stab am Blech befestigen, werden zu einer Gruppe zusammengefasst. Die Schraubengruppe bekommt die Kennung M und hat einheitliche Parameter (Größe, Festigkeit etc.).

- Maximal fünf Stäbe können über Schrauben befestigt werden.

Ebenso gehören Schweißnähte, die einen Stab am Blech oder das Blech am Rahmentragwerk befestigen, zu einer Gruppe. Die Schweißnahtgruppe wird mit L gekennzeichnet und hat einheitliche Parameter (Nahttyp, Dicke).

- Maximal zehn Nahtgruppen können definiert werden.

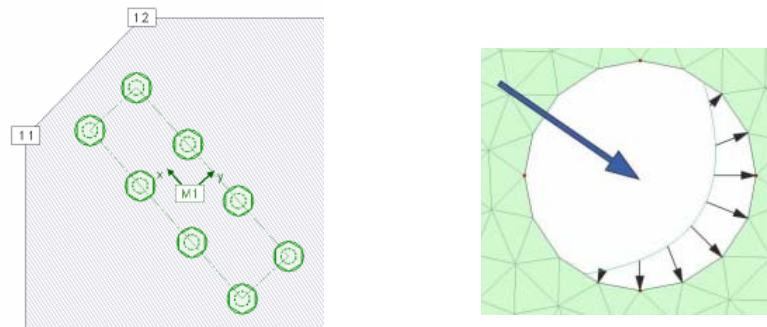
Die Lagerung durch Schrauben und Schweißnähte erfolgt elastisch, wobei die Federsteifigkeiten entweder programmintern oder vom Anwender gesetzt werden. Die Größe der Federsteifigkeiten richtet sich nach der Nachgiebigkeit des Rahmenbauteils, an welches das Knotenblech angeschlossen ist.

Programmintern wird eine nahezu starre Lagerung der Schrauben und der Linien in Längsrichtung angenommen. Die Lagerung der Linien in Querrichtung erfolgt intern mit 1/100 der Steifigkeit in Längsrichtung.

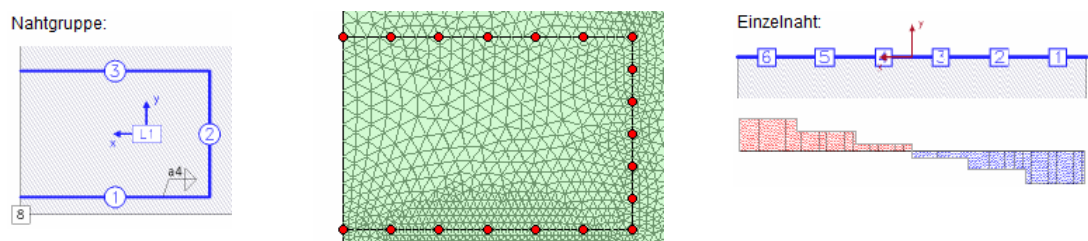
## Belastung

Die Schnittgrößen werden als punkthafte Größen im xy-Koordinatensystem des Knotenblechs ( $F_x, F_y, M_z$ ) über die belastenden Schrauben oder Schweißnähte aufgebracht.

Schrauben: Die Schnittgrößen z.B. aus einer Rahmenberechnung wirken im Zentrum M des Schraubenbilds und werden linear auf die Achsen der zugehörigen Schraubenmitglieder verteilt. Da die Schrauben ihre Last über den Lochrand an das Knotenblech übertragen, wird die Einzelast analog der Lochleibungsspannung auf den Rand aufgebracht.



Schweißnähte: Analog zur Lasteinleitung in eine Schraubengruppe wirken die Schnittgrößen einer Schweißnaht im Zentrum L der Nahtgruppe. Eine Nahtlinie wird in sechs Abschnitte aufgeteilt, für die jeweils eine mittlere (konstante) Belastung aus den Lastschnittgrößen ermittelt wird.



## Finite-Elemente-Methode

Die FE-Methode ist ein anerkanntes Näherungsverfahren zur Lösung von Randwertaufgaben im Ingenieurwesen. Die Lösung wird nicht geschlossen berechnet, sondern in Teilbereichen, den finiten Elementen, durch einfachere Ansatzfunktionen angenähert.

Im Programm *EC3FK* wird ein Scheiben-Dreieckelement mit zusätzlichem Rotationsfreiheitsgrad verwendet. Dadurch ergeben sich für das Element drei Freiheitsgrade: Zwei Verschiebungen, eine Verdrehung, die die Genauigkeit der Ansatzfunktion erhöhen.

Die Diskretisierung mit 3-Knoten-3-Freiheitsgrade-Elementen ermöglicht eine sehr gute Adaptation an die komplexe Topologie des gelöcherten Blechs bei relativ hoher Approximationsgenauigkeit.

Nähere Informationen zur Funktionalität des Dreieckelements können folgenden Abhandlungen entnommen werden

*P. G. Bergan and C. A. Felippa, A triangular membrane element with rotational degrees of freedom, Computer Methods in Applied Mechanics & Engineering, 50, 1985, pp. 25–69*

*K. Alvin, H. M. de la Fuente, B. Haugen and C. A. Felippa, Membrane triangles with corner drilling freedoms, I. The EFF Element, CU-CSSC-91-24, 1991*

Als Berechnungsparameter sind die geometrischen und Materialwerte des Knotenblechs (Topologie und Dicke  $t_p$ , Elastizitätsmodul  $E_p$ , Querdehnzahl  $\mu$ ), der Schrauben (Lochdurchmesser  $d_0$ , Federsteifigkeit  $c_r$ ) und der Schweißnähte (Federsteifigkeiten längs  $c_{rl}$  und quer  $c_{rq}$  zur Naht) erforderlich.

Um einen realitätsnahen Schnittgrößenverlauf besonders in lokal eng begrenzten Bereichen hoher Spannungsspeaks zu gewährleisten, werden die Flächen- und Linienresultate nach dem Gauß-Algorithmus, wie er auch in der digitalen Bildverarbeitung zur Rauschelimination verwendet wird, geglättet. Siehe hierzu <https://de.wikipedia.org/wiki/Gauß-Filter>

Im Nachlauf wird für die als Auflager (Lastabtrag) gekennzeichneten Schrauben eine resultierende Schraubenkraft  $F_x$ ,  $F_y$  aus den FE-Linienergebnissen der Lochberandung berechnet.

## Nachweise

Das Knotenblech wird elastisch (Ausnutzung  $U_p$ ), für die nach der Elastizitätstheorie ermittelten Schnittgrößen (bezogene Scheibenspannungen  $n_{xx}$ ,  $n_{yy}$ ,  $n_{xy}$ ) nachgewiesen.

Die Schrauben werden unter der einwirkenden und resultierenden Schraubenkraft auf Abscheren (Ausnutzung  $U_{v,sc}$ ) und Lochleibung (Ausnutzung  $U_{b,sc}$ ) untersucht (s. EC 3-1-8, 3.4.1).

Der Schweißnahtnachweis (Ausnutzung  $U_{w,sa}$ ) kann mit dem richtungsbezogenen oder dem vereinfachten Verfahren (s. EC 3-1-8, 4.5.3) durchgeführt werden.

Optional kann das Anschlussprofil elastisch oder plastisch (Spannungsausnutzungen  $U_{\sigma,sc}$ ,  $U_{\sigma,sa}$  und c/t-Ausnutzungen  $U_{ct,sc}$ ,  $U_{ct,sa}$ ) nachgewiesen werden (s. EC 3-1-1, 6.2).

## Ergebnisse

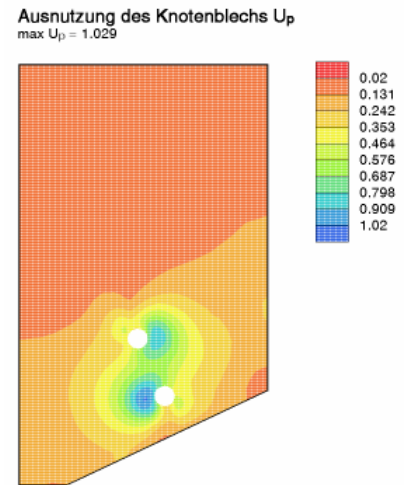
Die Ergebnisse werden je Lastkombination in Abhängigkeit ihres Typs dargestellt. Die Flächen-trägerergebnisse des Knotenblechs werden neben der tabellarischen Ausgabe über farbige Konturenplots zugänglich gemacht. Es sind Verformungen, Schnittgrößen, Spannungen und die resultierende Spannungsausnutzung verfügbar.

Ausnutzung des Knotenblechs

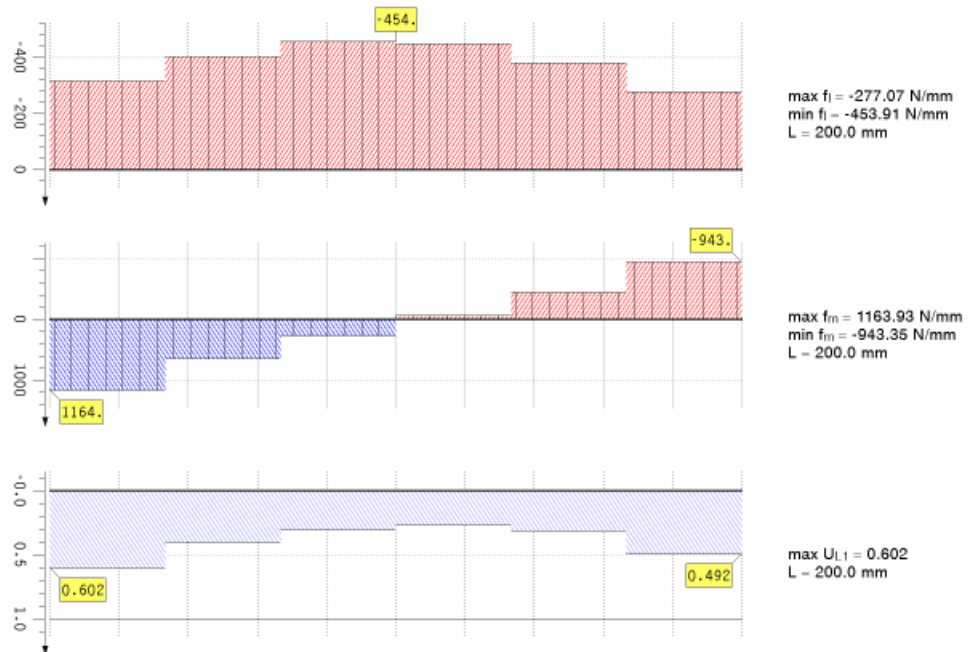
Kno	x mm	y mm	$u_x$ mm	$u_y$ mm	$u$ mm	$n_{xx}$ kN/m	$n_{yy}$ kN/m	$n_{xy}$ kN/m	$\sigma$ N/mm <sup>2</sup>	$\tau$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_v$ N/mm <sup>2</sup>	$U_p$
86	807.5	1701.3	0.035	-0.009	0.037	-2564.12	346.32	807.60	137.68	40.38	154.43	0.657
91	871.7	2133.3	-0.065	0.041	0.077	-2174.09	-350.49	1259.20	101.09	62.96	148.70	0.648
92	857.7	2112.1	-0.068	0.038	0.078	-3119.13	457.12	817.64	168.55	40.88	182.82	0.778
489	796.4	2097.2	-0.048	0.022	0.053	-3980.57	1393.92	108.92	241.54	5.45	241.72	1.029 > 1
491	834.1	2185.7	-0.049	0.032	0.058	-2006.90	-937.62	1838.12	86.96	91.91	181.39	0.814

x,y: Knotenkoordinaten;  $u_x, u_y, u$ : Verschiebungen;  $n_{xx}, n_{yy}, n_{xy}$ : bezogene Normalspannungen;  $\sigma, \tau, \sigma_v$ : Spannungen  
 $U_p$ : Ausnutzung des Knotenblechs

Konturenplots der Spannungsausnutzungen ermöglichen es, auf einen Blick die über- aber auch die schwach belasteten Bereiche zu erkennen.



Schweißnähte werden als Linien modelliert, deren Ergebnisse (bezogene Nahtkräfte in Längs- und Querrichtung  $f_l$ ,  $f_m$ , Ausnutzung  $U_L$ ) werden daher mit Hilfe von Liniengrafiken dargestellt. Deutlich zu erkennen ist die Treppung der approximierten Schweißnahtbelastung.



Schrauben werden punktuell erfasst und einzeln nachgewiesen. Eine spezielle tabellarische oder grafische Ausgabe ist nicht erforderlich.

Zusätzlich zur Ausgabe der Ergebnisse einer einzelnen Lastkombination wird die Möglichkeit angeboten, in einer Konturendarstellung die Verteilung der resultierenden Spannungsausnutzung aus allen Lastkombinationen über die Knotenblechfläche zu sehen. Tabellarisch wird die maximale Ausnutzung mit Zugehörigen ausgegeben.

Maximale Ausnutzung des Knotenblechs aus 24 Lk: max  $U_p$  mit Zugehörigen

Kno	x mm	y mm	$u_x$ mm	$u_y$ mm	$u$ mm	$\sigma_x$ N/mm <sup>2</sup>	$\tau$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_v$ N/mm <sup>2</sup>	$U_p$
257	1149.1	1836.7	-0.239	0.010	0.240	101.50	154.12	285.58	1.215 > 1

x,y: Knotenkoordinaten;  $u_x, u_y, u$ : Verschiebungen;  $n_{ox}, n_{oy}, n_{xy}$ : Normalkräfte;  $n_{ox}, n_{oy}, n_{xy}$ : Normalkräfte  
 $U_p$ : Ausnutzung des Knotenblechs

### Voraussetzungen

- Schrauben und Schweißnähte müssen sich vollständig auf dem Knotenblech befinden
- Anschlussprofile dürfen weder sich noch gruppenfremde Verbindungsmittel überlappen
- die Schnittgrößen wirken in der Ebene des Knotenblechs

## 3.2

## Berechnungseinstellungen, Knotenblech



Im Register 1 (s. S. 11) werden allgemeine Einstellungen der Berechnung festgelegt und das Knotenblech beschrieben.

### Allgemeines

Im Programm #EC3FK können die Eingabedaten über die Copy-Paste-Funktion von einem Bauteil in ein anderes desselben Typs exportiert werden.

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

**Materialsicherheitsbeiwerte** Im Programm #EC3FK werden für den Spannungsnachweis n. EC 3-1-1 und den Nachweis von Anschlüssen n. EC 3-1-8 folgende Materialsicherheitsbeiwerte herangezogen

<b>Materialsicherheit</b> ( <input checked="" type="checkbox"/> genormt)	
Beanspruchbarkeit von Querschnitten	γ <sub>M0</sub> 1.00
Beanspruchbarkeit von Verbindungsmitteln	γ <sub>M2</sub> 1.25

Die Werte können entweder den entsprechenden Normen (s. Nationaler Anhang, Abs. 4.1, S. 62) entnommen oder vom Anwender vorgegeben werden.

### Stahlsorte

Knotenblech und Anschlussprofilen können eigene Materialien zugeordnet werden.

Der Übersichtlichkeit halber kann an dieser Stelle eine einheitliche Stahlgüte für das Knotenblech und die Anschlussprofile gewählt werden.

☒ **einheitliche Stahlsorte**  
 Stahlsorte  ☐ Vorgabe

Da die Beschreibung der Stahlparameter für Verbindungen nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung der Stahlsorten (Abs. 4.2, S. 62) verwiesen.

### Schrauben

werden je Anschlussstab zu einer Gruppe zusammengefasst, der eine bestimmte Größe, Festigkeit etc. zugeordnet werden.

Für alle Schraubengruppen kann ein einheitliches Material vorgegeben werden oder jeder Gruppe können eigene Parameter zugeordnet werden (s. Register 3, S 26).

An dieser Stelle können Schraubengröße und Festigkeitsklasse einheitlich festgelegt werden.

Schrauben der Größen M12 bis M30 und der Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9 mit großer Schlüsselweite werden planmäßig vorgespannt.

Schrauben mit geringerer Festigkeit und großer Schlüsselweite werden gegen Lösen gesichert.

☒ **einheitliche Schrauben**

Schraubengröße	<input type="text" value="M16"/>	<input type="checkbox"/> Vorgabe
Festigkeitsklasse	<input type="text" value="10.9"/>	<input type="checkbox"/> Vorgabe
<input type="radio"/> normale Schlüsselweite	<input checked="" type="radio"/> große Schlüsselweite	
<input type="checkbox"/> Passschraube	FK 8.8 oder 10.9: HV-Schraube planmäßig vorgespannt	
<input checked="" type="radio"/> Schraubengewinde in der Scherfuge		
<input type="radio"/> Schraubenschaft in der Scherfuge		

Die Vorspannung der Schrauben wird nach EC 3-1-8 bei der Berechnung nicht berücksichtigt.

Die Abschertragfähigkeit der Schraube ist abhängig vom wirksamen Durchmesser der Schraube, der sich danach richtet, ob das Schraubengewinde oder der Schraubenschaft in der Scherfuge liegt.

Da die Beschreibung der weiteren Schraubenparameter für Verbindungen nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung der Schrauben (Abs. 3.13.2, S. 57) verwiesen.

## Schweißnähte

Das Knotenblech kann an ein Tragsystem angeschweißt sein. Die Schweißnähte befinden sich stets am Blechrand und sollten als Auflager (Lastabtrag) definiert sein.

Außerdem können Anschlussstäbe an das Knotenblech geschweißt werden. Dies geschieht i.A. mit mehreren Nähten, die je Anschlussstab zu einer Gruppe zusammengefasst werden. Jeder Gruppe sind ein bestimmter Nahttyp (Kehl-, Stumpfnah) und eine Dicke zugeordnet.

Für alle Schweißnahtgruppen kann ein einheitliches Material vorgegeben oder jeder Gruppe können eigene Parameter zugeordnet werden (s. Register 2, S. 23).

Kehl- und nicht durchgeschweißte Stumpfnähte werden mit einer wirksamen Nahtdicke  $a < \min t/2$  berechnet.

Bei Hohlprofilen wird stets eine durchgeschweißte Stumpfnah angenommen.

☒ einheitliche Schweißnähte

☐ Kehlnaht

☒ Stumpfnah, nicht durchgeschweißt

wirksame Nahtdicke a  mm

## Anschlussstypen

Das Programm kann auf verschiedene Arten genutzt werden. Der Anschlussstyp beeinflusst den Berechnungsablauf und wirkt sich kontextsensitiv auf die Eingabemöglichkeiten der Register 2 (Schweißnähte), S. 23, und Register 3 (Schrauben), S. 26, aus.

Da die Parameter online angepasst werden, sind die Eingabedaten bei Änderung des Anschlussstyps zu kontrollieren.

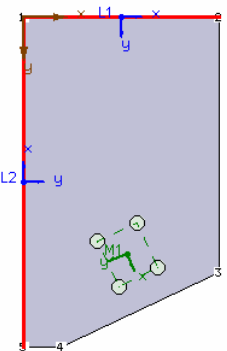
### ☒ Blech mit Bohrungen

ohne Anschlussprofile  
nur Kantennähte

Es wird nur die Berechnung des Blechs mit eingestanzten (Schrauben-) Löchern durchgeführt.

(Schweißnaht-) Linien dienen als Randlinien dem Lastabtrag ('rot' gekennzeichnet).

Anschlussprofile sind nicht vorhanden, Schraubennachweise entfallen.



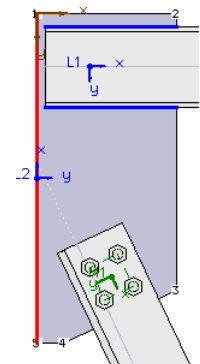
### ☒ Knotenblech

Kantennähte nur zum Lastabtrag  
Nähte an Profilen nur zum Lasteintrag

An dem Blech werden Anschlussprofile mit Schrauben oder Schweißnähten befestigt, durch die die Belastung in das Blech eingeleitet wird.

Zur Lastweitergabe können Rand-Schweißnähte ('rot' gekennzeichnet) eingegeben werden.

Eine Eingabe von Bohrungen oder Lastlinien ist unterbunden.



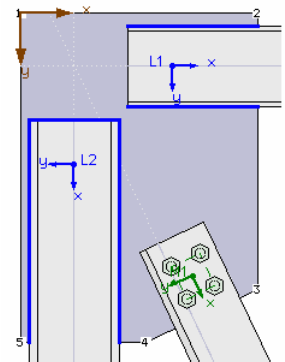
### ☒ Verbindungsblech

Gleichgewichtsverbindung  
kein Lastabtrag

Die Anschlussprofile bilden ein Gleichgewichtssystem; über sie müssen die eingetragenen Lasten miteinander im Gleichgewicht stehen.

Es gibt keine Lagerung.

Ist das Gleichgewicht nicht erfüllt, kann das Blech nicht berechnet werden.



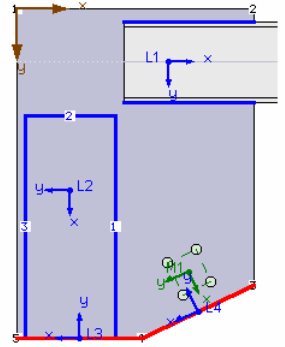


## ⊙ Blech mit freier Anschlusskonfiguration

Die allgemeine Eingabe ermöglicht eine beliebige Kombination der verschiedenen Verbindungselemente.

Anschlussprofile können vorhanden sein, müssen es aber nicht.

Schrauben und Schweißnähte können entweder der Lasteingabe oder der Lastabgabe ('rot' gekennzeichnet) dienen.



## Knotenblech

Die Eingabe Blechs kann rechteckig erfolgen.

Es sind die Blechabmessungen Dicke, Breite, Länge einzugeben.

**Knotenblech**

☒ rechteckig ☐ polygonal ☐ ##-Quer

Blechdicke  $t_p$   mm

Blechbreite  $b_p$   mm

Blechlänge  $l_p$   mm

Die Eingabe Blechs kann polygonal erfolgen.

In die Tabelle sind die x-,y-Koordinaten der Umrandung bezogen auf den oberen linken Eckpunkt der Designoberfläche einzugeben.

Die Eingabe der Eckpunktnummern ist optional und dient deren Identifizierung.

**Knotenblech**

☐ rechteckig ☒ polygonal ☐ ##-Quer

	x mm	y mm	Nr
	0.0	0.0	1
	266.6	0.0	2
	266.6	310.3	3
	140.0	370.0	4
	0.0	370.0	5

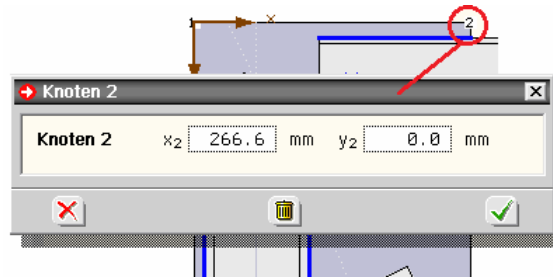
**neu** →

Blechdicke  $t_p$   mm

max. Breite  $b_p$   mm

max. Länge  $l_p$   mm

Eine einfache Änderung der Parameter ist auch über den Pickmechanismus in der Bildschirmgrafik möglich, ein Extrafenster zur Bearbeitung der Koordinaten wird angeboten.



Es fehlt noch die Angabe der Blechdicke. Zur Information werden die maximalen Blechabmessungen angegeben.

Die Eingabe des polygonal umrandeten Blechs kann durch das **pcae**-Programm ##-QUER, Querschnittswerte, erfolgen (nur bei vorhandener Installation).

Dazu wird das Programm über den **Aktions**-Button aufgerufen.

**Knotenblech**

☐ rechteckig ☐ polygonal ☒ ##-Quer ▶

Blechdicke  $t_p$   mm

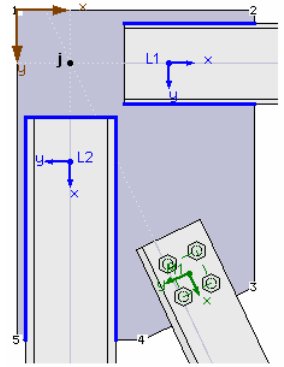
max. Breite  $b_p$   mm

max. Länge  $l_p$   mm

In einer grafischen Oberfläche kann dort das Knotenblech konstruiert und an das aufrufende Programm ##-EC3FK übergeben werden.

Weitere Informationen zur Bedienung des Programms ##-QUER s. zugehöriges Handbuch (ggf. unter [www.pcae.de](http://www.pcae.de)).

Zur visuellen Kontrolle der Eingabeparameter wird der Anschluss maßstabsgetreu am Bildschirm dargestellt.



**Berechnungsablauf** Das Programm #/EC3FK weist die Tragfähigkeit des Knotenblechanschlusses mittels der FE-Methode nach.

Dabei wird das Knotenblech als FE-Scheibe mit integrierten Schraubenlöchern (s. Register 3, S. 26) und Schweißnähten (s. Register 2, S. 23) modelliert. Für die Berechnung sind folgende Parametereinstellungen möglich.

Wird die FEM-Berechnung des Knotenblechs durchgeführt, ergeben sich Schnittgrößen des Blechs und der angeschlossenen Verbindungsmittel, die als Auflager (Lastabtrag) wirken.

Für die Schnittgrößen des Knotenblechs wird ein elastischer Spannungsnachweis (s. S. 39 ff.) durchgeführt.

Die Schweißnähte (s. S. 39 ff.) werden entweder mit dem richtungsbezogenen oder vereinfachten Verfahren nachgewiesen. Die Nahtdicken in Bezug zu den zu verschweißenden Blechen können überprüft werden.

Optional kann die Tragfähigkeit der Schrauben (s. S. 39 ff.) unter Abscher- und Lochleibungsbeanspruchung berechnet

werden. Die Abstände der Schrauben untereinander, zu den Schweißnähten und zum Knotenblechrand können überprüft werden.

Optional kann ein elastischer oder plastischer Querschnittsnachweis (s. S. 45) der Anschlussprofile für die eingegebenen Schnittgrößenkombinationen durchgeführt werden.

#### Berechnungsablauf

- ☒ FEM-Berechnung der Knotenblechs
  - ☒ elastischer Spannungsnachweis
- ☒ Nachweis der Schweißnähte
  - ☒ mit dem richtungsbezogenen Verfahren
  - ☐ mit dem vereinfachten Verfahren
  - ☒ Schweißnahtdicken überprüfen
- ☒ Nachweis der Schrauben
  - ☒ Schraubenabstände überprüfen
- ☒ Nachweis der Anschlussprofile
  - ☐ elastischer Querschnittsnachweis
  - ☒ plastischer Querschnittsnachweis

#### FEM-Profi

Die Finite-Elemente-Methode ist ein Näherungsverfahren zur Berechnung komplexer mathematischer Fragestellungen.

Da die Steuerung der Berechnungsiteration von der jeweiligen Systemkonfiguration abhängt, können hier einige Parameter vom Anwender manipuliert werden.

Die Federsteifigkeit der Linienlager (Schweißnähte zum Lastabtrag) wird in Längs- und Querrichtung unterschieden, da sich das Verformungsverhalten längs- und quer zur Naht sehr unterscheidet.

#### ☒ für den FEM-Profi

Federsteifigkeiten der Linienlager	längs	<input type="text" value="100000"/>	MN/m
	quer	<input type="text" value="1000"/>	MN/m
Federsteifigkeit der Punktlager		<input type="text" value="1000"/>	MN/m
mittlere Dichte des Elementnetzes		<input type="text" value="0.0"/>	1 - 3 (0 = Voreinstellung)

Programmintern wird eine relativ starre Lagerung längs der Naht angenommen, während quer dazu die Biegesteifigkeit des angrenzenden Bauteils weicher reagiert.

Punktlager, d.h. die Lochränder der gelagerten Schrauben, wirken ähnlich elastisch wie die Quersfeder der Linien und wird daher ebenfalls relativ weich angesetzt.

Die Elementierung, d.h. die Güte des FE-Gitternetzes, beeinflusst die Rechengenauigkeit und -zeit, d.h. je feiner das FE-Gitter ausgeführt wird (je dichter die Elementierung), desto höher ist die Genauigkeit der Ergebnisse, desto länger aber auch die Rechenzeit.

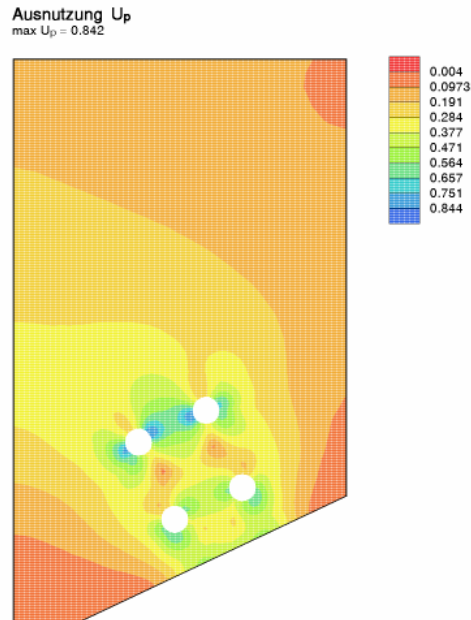
Das FE-Netz wird von einem **pcae**-eigenen FE-Tool generiert. Voreinstellung ist eine mittlere Dichte von 2.



**FEM-Ergebnisse** Die Ergebnisse aus der FE-Berechnung für das Knotenblech (Scheibe) können je Lastkombination als Konturenplot und/oder tabellarisch ausgegeben werden.

Für jeden Ergebnissatz wird ein eigener Konturenplot ausgegeben, wohingegen die Tabelle um die gewählten Ergebnisspalten erweitert wird.

Ausgabe der FEM-Ergebnisse als	... Konturenplot	... Tabelle
<input type="checkbox"/> Verschiebungen $u_x, u_y, u$	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Normalkräfte $n_{xx}, n_{yy}, n_{xy}$	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> elast. Spannungen $\sigma_x, \tau, \sigma_y$	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Ausnutzungen $U_p$	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Endergebnis: max $U_p$	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



Ausnutzung des Knotenblechs

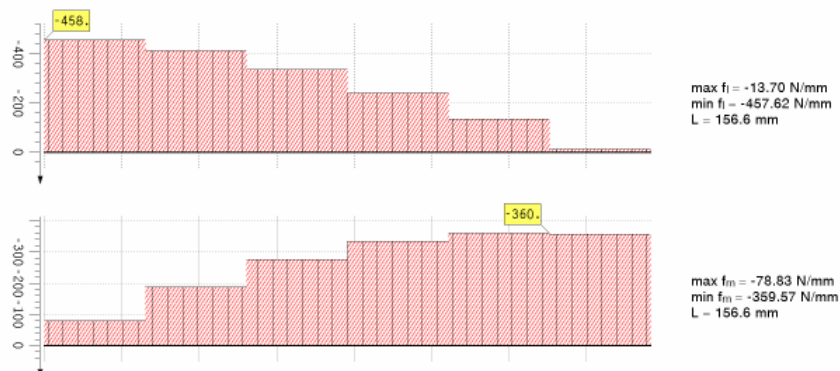
Kno	x mm	y mm	$u_x$ mm	$u_y$ mm	$u$ mm	$n_{xx}$ kN/m	$n_{yy}$ kN/m	$n_{xy}$ kN/m	$\sigma$ N/mm <sup>2</sup>	$\tau$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_y$ N/mm <sup>2</sup>	$U_p$
6	970.6	1651.2	0.017	0.046	0.049	-243.31	2879.63	-24.42	150.43	1.22	150.45	0.640
11	1076.2	2078.0	0.025	0.066	0.071	1145.50	-1318.32	-251.24	106.77	12.56	108.97	0.464
59	1303.3	2176.9	0.030	0.045	0.054	529.00	446.49	-531.29	24.65	26.56	52.20	0.257
92	845.6	1676.2	0.020	0.042	0.047	1065.58	2560.84	1142.38	111.41	57.12	148.99	0.842
100	1122.0	2059.1	0.028	0.063	0.069	-103.21	251.58	-1653.75	15.80	82.69	144.09	0.613
101	1100.5	2073.2	0.027	0.066	0.071	616.14	-1091.86	-1244.13	74.91	62.21	131.23	0.558
115	542.7	1846.1	0.022	0.034	0.041	1689.96	1255.03	1594.83	76.00	79.74	157.64	0.775

x,y: Knotenkoordinaten;  $u_x, u_y, u$ : Verschiebungen;  $n_{xx}, n_{yy}, n_{xy}$ : bezogene Normalspannungen;  $\sigma, \tau, \sigma_y$ : Spannungen  
 $U_p$ : Ausnutzung des Knotenblechs

In den Tabellen können entweder sämtliche Knotenergebnisse (nicht empfehlenswert) oder die je Ergebnisspalte maßgebenden Ergebnissätze (s. Ausdrucksteuerung, optimierte Tabelle, S. 63) zeilenweise dargestellt werden. Die Extremalwerte sind markiert. Ebenso können die Schweißnahtkräfte und -ausnutzung in Liniengrafiken dargestellt werden.

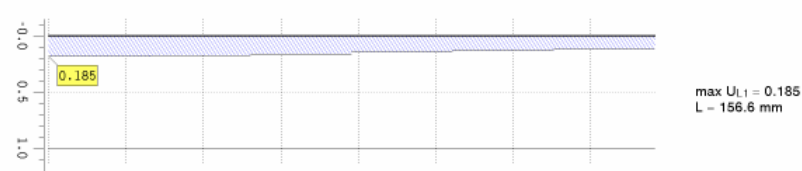
Schnittkräfte längs  $f_l$  und quer  $f_m$

Naht 1:



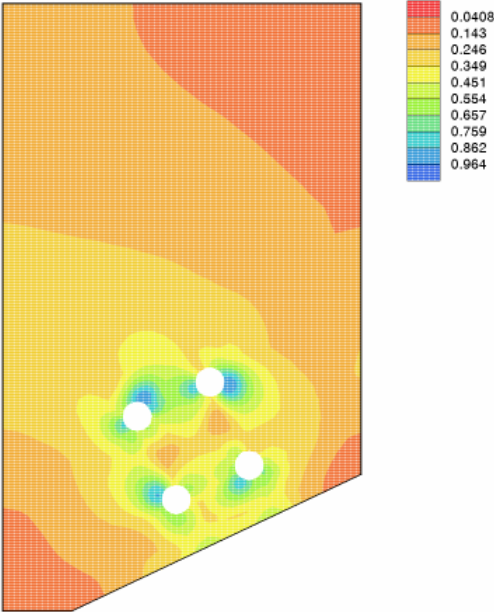
Ausnutzung  $U_{L1}$

Naht 1:



In der schlussendlichen Zusammenfassung kann die flächenverteilte Ausnutzung des Knotenblechs als Resultierende aller Lastkombinationen grafisch und tabellarisch ausgegeben werden.

Maximale Ausnutzung des Blechs max  $U_p$  aus 3 Lk  
max max  $U_p = 0.964$



Maximale Ausnutzung des Blechs aus 3 Lk: max  $U_p$  mit Zugehörigen

Kno	x mm	y mm	ux mm	uy mm	u mm	$\sigma_x$ N/mm <sup>2</sup>	$\tau$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_y$ N/mm <sup>2</sup>	$U_p$
279	990.0	1666.0	0.028	0.015	0.032	221.46	27.81	226.63	0.964

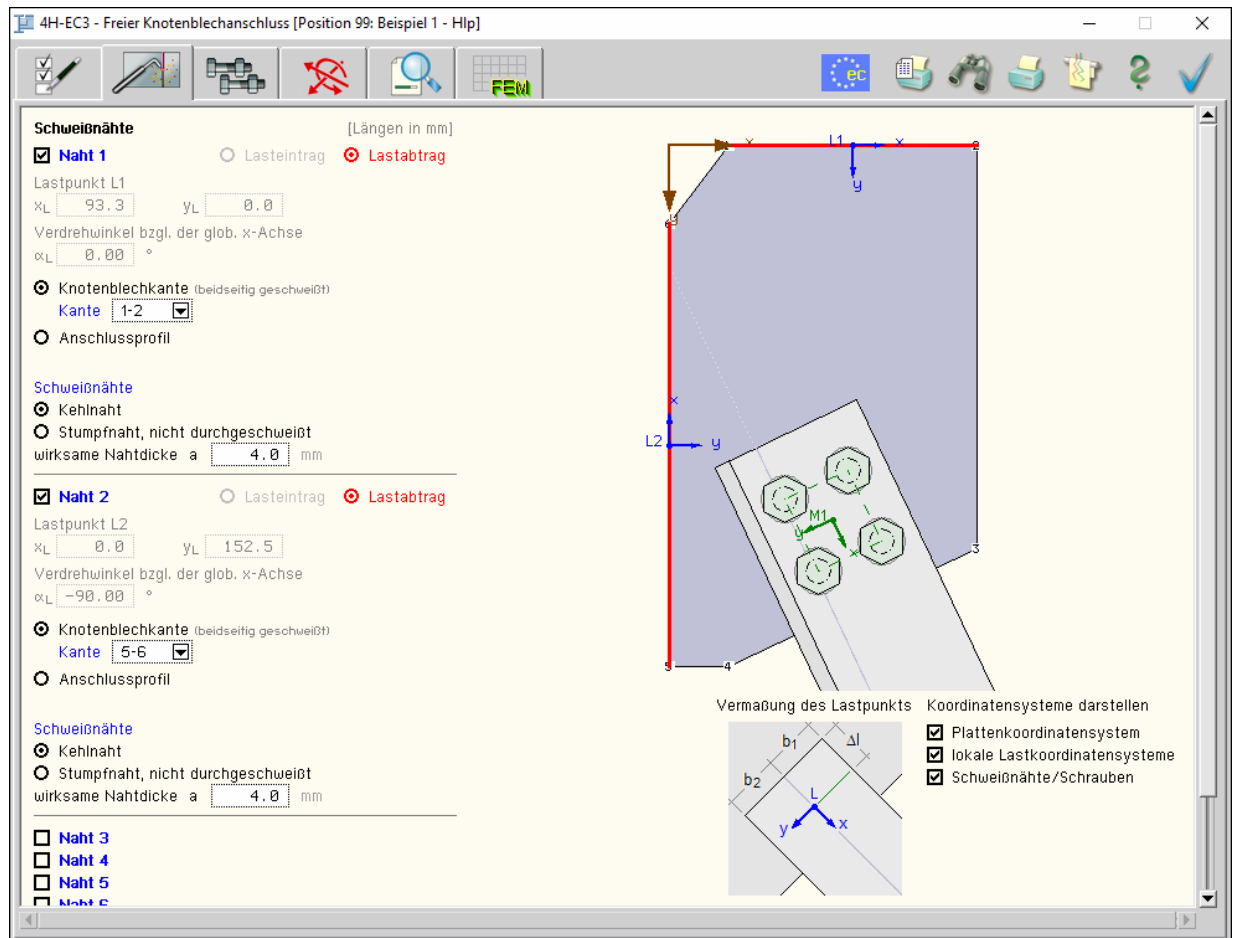
x,y: Knotenkoordinaten;  $u_x, u_y, u$ : Verschiebungen;  $n_{xx}, n_{yy}, n_{xy}$ : Normalkräfte;  $n_{xx}, n_{yy}, n_{xy}$ : Normalkräfte  
 $U_p$ : Ausnutzung

### 3.3

## Schweißnahtanschlüsse



Im Register 2 werden die Anordnung und Parameter der Schweißnahtgruppen festgelegt.



An das Knotenblech können bis zu zehn verschiedene Schweißnahtgruppen angeschlossen werden.

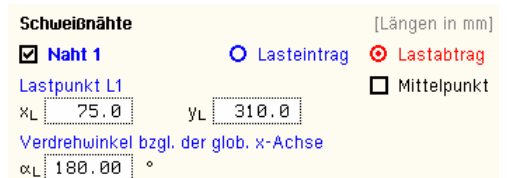
Jeder Gruppe gehören ein Schweißnahttyp und eine wirksame Nahtdicke an, die auch für alle Gruppen einheitlich festgelegt werden können (s. einheitliche Schweißnähte, Register 1, S. 17).

Eine Schweißnahtgruppe wird über ihren zentralen Punkt L definiert, der den Lasteintrag oder -abtrag kennzeichnet.

Im Eigenschaftsblatt werden Schweißnähte blau gekennzeichnet, wenn sie Lasten einleiten können, und rot, wenn sie als Auflager dienen. Diese Konvention wird auch in der maßstäblichen Darstellung eingehalten.

Über die Koordinaten  $x_L, y_L$  und den Verdrehwinkel  $\alpha_L$  kann der Anschluss eindeutig platziert werden.

Ist eine Nahtgruppe aktiviert, stehen drei Gruppentypen (G-Typ) zur Auswahl.



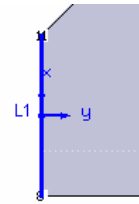
## G-Typ 1

Aus einer Liste ist die Randkante des Knotenblechs auszuwählen, die als beidseitig geschweißte Naht das Blech am Rahmensystem fixiert.

Der Lastpunkt befindet sich in der Mitte der Nahtlinie, daher ist eine Eingabe der Koordinaten  $x_L, y_L, \alpha_L$  nicht erforderlich.

Die Auswirkung der Einstellung wird zur optischen Kontrolle am Bildschirm maßstäblich visualisiert.

⊙ Knotenblechkante  
Kante 3-4



## G-Typ 2

Über ein angeschweißtes Anschlussprofil wird die Last in das Knotenblech ein- oder abgeleitet.

Seine Profilkennwerte (s.u.) werden abgefragt, wobei die Einstellung **einheitliche Stahlsorte** des Registers 1, S. 17, berücksichtigt wird.

Folgende Profiltypen sind bei Schweißnahtanschlüssen möglich: Flachstahl, L-, U-, T-Profil sowie die Hohlprofile Rechteck und Rohr.

Offene Profile können ein- oder beidseitig angeschweißt werden, **Hohlprofile** werden geschlitzt und auf das Knotenblech geschoben.

Bei offenen Profilen kann umlaufend geschweißt oder die Stirnnaht ausgenommen werden.

Der Lastpunkt befindet sich in der Schwerachse des Anschlussprofils, um  $\Delta l$  vom Stabende verschoben. Bei Bedarf kann der Lastpunkt um  $\Delta x$  längs der lokalen Stabachse verschoben werden.

Zur Information werden die Teilbreiten  $b_1$  und  $b_2$  des Anschlussprofils bezogen auf den Lastpunkt angegeben ( $b_1 + b_2 = b$ ).

Bei einem L-Profil mit ungleichen Schenkeln, ist anzugeben, welcher der Schenkel angeschweißt ist.

Schenkel 1 ist i.A. der längere Schenkel. Das L-Profil kann an der x-Achse gespiegelt sein, d.h. die Koordinatendefinition des Profils ändert sich.

Die Auswirkungen der Einstellungen werden zur optischen Kontrolle am Bildschirm maßstäblich visualisiert.

⊙ Anschlussprofil

☒ Profil aus Profilmanager  
☐ parametrisiertes Stahlprofil

Profilname L 100 X 65 X 8

Anschluss von ☒ Schenkel 1 ☐ Schenkel 2

☐ Profil horizontal gespiegelt

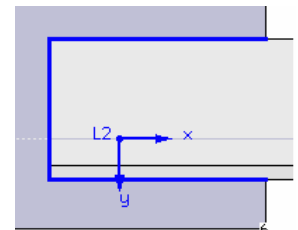
☒ Stirnnaht

☐ einseitiger ..... ☒ beidseitiger Anschluss

Vermaßung des Lastpunkts L

$b_1$  66,8  $b_2$  33,2 zur Info

$\Delta l$  50,0



## G-Typ 3

Bis zu zehn Einzelnähte können mit ihren Anfangs- und Endkoordinaten zu einer Schweißnahtgruppe zusammengefasst werden.

Der Lastpunkt kann sich beliebig auf dem Knotenblech befinden. Sinnvoll ist es jedoch, den Mittelpunkt der Schweißnaht als Lastpunkt zu definieren (wird optional vom Programm berechnet, s.o. **Mittelpunkt**).

Die Nähte können einseitig oder beidseitig des Knotenblechs angeordnet sein.

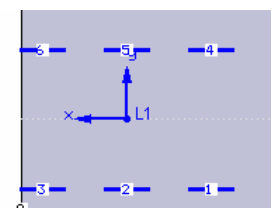
Die Auswirkungen der Einstellungen werden zur optischen Kontrolle am Bildschirm maßstäblich visualisiert.

⊙ frei: Anzahl Einzelnähte 6

Koordinaten der Anfangs-, Endpunkte:

	$x_a$	$y_a$	$x_e$	$y_e$
1:	150,0	360,0	120,0	360,0
2:	90,0	360,0	60,0	360,0
3:	30,0	360,0	0,0	360,0
4:	150,0	260,0	120,0	260,0
5:	90,0	260,0	60,0	260,0
6:	30,0	260,0	0,0	260,0

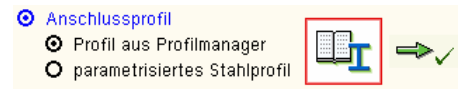
☒ einseitiger ..... ☐ beidseitiger Anschluss



## Profil

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

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

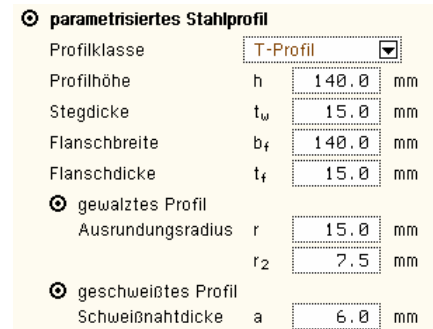


Das externe **pcae**-Programm wird aufgerufen und ein Profil kann aktiviert werden. Bei Verlassen des Profilmanagers werden die benötigten Daten übernommen und der Profilname protokolliert.

Zur Definition eines **parametrisierten Profils** sind neben der Profilkategorie die Profilhöhe, Stegdicke, Flanschbreite und -dicke festzulegen.

Bei gewalzten Profilen wird der Ausrundungsradius  $r$  zwischen Flansch und Steg bzw.  $r_2$  an den äußeren Flanschrändern geometrisch berücksichtigt, während geschweißte Blechprofile mit Schweißnähten der Dicke  $a$  zusammengefügt sind.

Diese Schweißnähte werden **nicht** nachgewiesen.



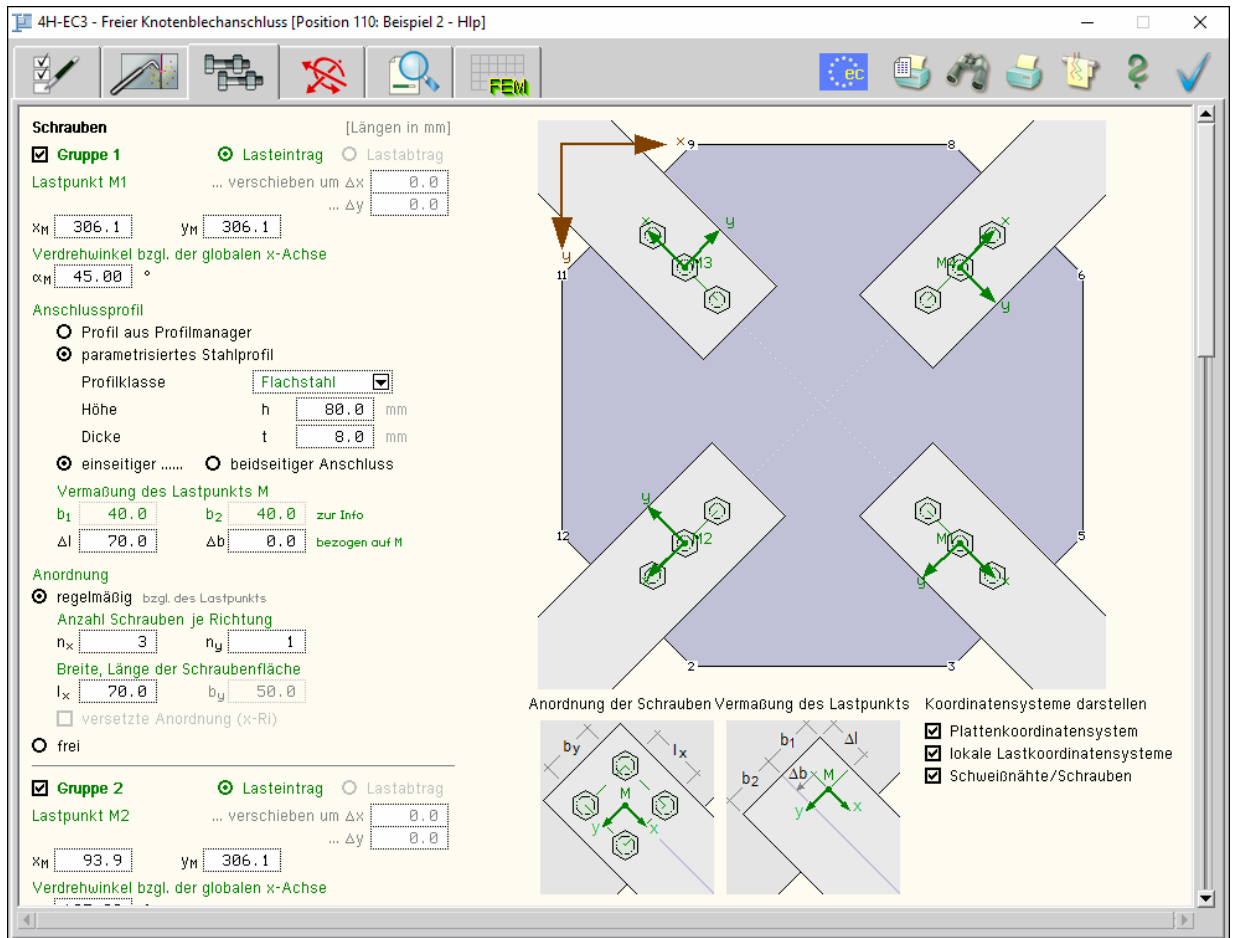
parametrisiertes Stahlprofil			
Profilklasse		T-Profil	
Profilhöhe	h	140.0	mm
Stegdicke	t <sub>w</sub>	15.0	mm
Flanschbreite	b <sub>f</sub>	140.0	mm
Flanschdicke	t <sub>f</sub>	15.0	mm
<input checked="" type="radio"/> gewalztes Profil			
Ausrundungsradius	r	15.0	mm
	r <sub>2</sub>	7.5	mm
<input type="radio"/> geschweißtes Profil			
Schweißnahtdicke	a	6.0	mm

### 3.4

## Schraubanschlüsse



Im Register 3 werden die Anordnung und Parameter der Schraubengruppen festgelegt.



An das Knotenblech können bis zu fünf verschiedene Schraubengruppen angeschlossen werden. Jeder Gruppe gehören Schraubengröße, -festigkeit und die Bestimmung der Scherfuge an.

Diese Parameter können für alle Gruppen einheitlich festgelegt werden (s. *einheitliche Schrauben*, Register 1, S. 17).

Eine Schraubengruppe wird über ihren zentralen Punkt M definiert, der den Lasteintrag oder -abtrag kennzeichnet. Im Eigenschaftsblatt werden Schrauben grün gekennzeichnet, wenn sie Lasten einleiten können, und rot, wenn sie als Auflager dienen. Diese Konvention wird auch in der maßstäblichen Darstellung eingehalten.

Über die Koordinaten  $x_M, y_M$  und den Verdrehwinkel  $\alpha_M$  kann der Anschluss eindeutig platziert werden.

Eine Schraubengruppe kann entweder als eine Menge von runden Öffnungen verstanden werden, über die Schnittgrößen ein- oder abgeleitet werden, oder dazu dienen, Lasten aus einem Anschlussprofil an das Knotenblech weiterzugeben bzw. im Anschlussprofil zu empfangen.



Über ein angeschraubtes Anschlussprofil wird die Last in das Knotenblech ein- oder abgeleitet.

Seine Profilkennwerte (s. Abs. 3.3, S. 23) werden abgefragt, wobei die Einstellung **einheitliche Stahlsorte** des Registers 1, S. 17, berücksichtigt wird.

Folgende Profiltypen sind bei Schraubanschlüssen möglich: Flachstahl, L-, U-, T-Profil.

Die Profile können ein- oder beidseitig angeschraubt sein.

Der Lastpunkt ist um  $\Delta l$  vom Stabende und um  $\Delta b$  von der Schwerachse des Anschlussprofils angeordnet. Bei Bedarf kann der Lastpunkt um  $\Delta x, \Delta y$  längs bzw. quer zur lokalen Stabachse verschoben werden.

Zur Information werden die Teilbreiten  $b_1$  und  $b_2$  des Anschlussprofils bezogen auf den Lastpunkt angegeben ( $b_1 + b_2 = b$ ).

Sind die Schenkel eines L-Profils ungleich, ist anzugeben, welcher der Schenkel angeschweißt ist. Schenkel 1 ist i.A. der längere Schenkel. Das L-Profil kann an der x-Achse gespiegelt sein, d.h. die Koordinatendefinition des Profils ändert sich.

Die Auswirkungen der Einstellungen werden zur optischen Kontrolle am Bildschirm maßstäblich visualisiert.

☒ **Anschlussprofil**

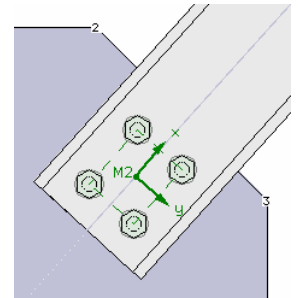
☒ Profil aus Profilmanager  
☐ parametrisiertes Stahlprofil

Profilname:

☐ einseitiger ..... ☒ beidseitiger Anschluss

Vermaßung des Lastpunkts M

$b_1$    $b_2$   zur Info  
 $\Delta l$    $\Delta b$



**Schraubenanordnung** Die Schrauben können regelmäßig bezüglich des Lastpunkts oder frei angeordnet werden.

#### regelmäßig

Die Schrauben werden um den Lastpunkt M im Raster  $l_x, b_y$  gleichmäßig verteilt, wobei  $n_x$  Schrauben in lokaler x-Richtung,  $n_y$  in lokaler y-Richtung angeordnet werden.

**Anordnung**

☒ regelmäßig bzgl. des Lastpunkts

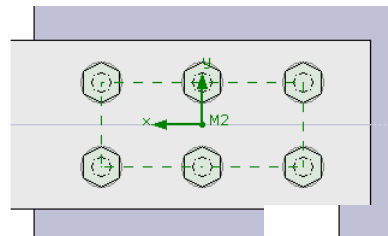
Anzahl Schrauben je Richtung

$n_x$    $n_y$

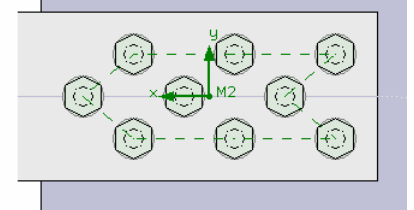
Breite, Länge der Schraubenfläche

$l_x$    $b_y$

☐ versetzte Anordnung (x-RI)



Bei Bedarf können die Schrauben in Richtung der Stabachse (x-Richtung) versetzt sein.



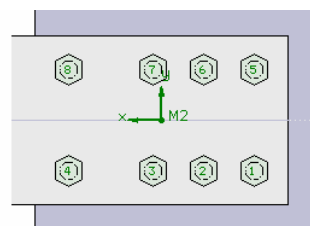
#### frei

Die zweite Variante ermöglicht eine flexible Schraubenanordnung. Die Schrauben sind durchnummeriert; ihre Koordinaten werden in tabellarischer Form eingegeben.

☒ frei

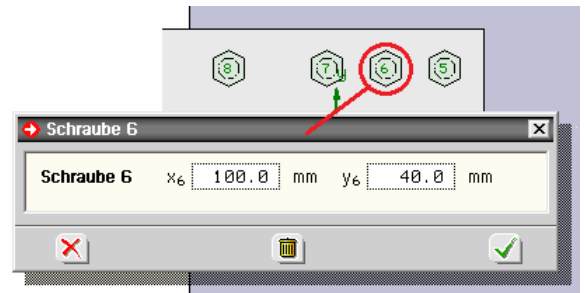
	x mm	y mm
1	<input type="text" value="130.0"/>	<input type="text" value="100.0"/>
2	<input type="text" value="100.0"/>	<input type="text" value="100.0"/>
3	<input type="text" value="70.0"/>	<input type="text" value="100.0"/>
4	<input type="text" value="20.0"/>	<input type="text" value="100.0"/>
5	<input type="text" value="130.0"/>	<input type="text" value="40.0"/>
6	<input type="text" value="100.0"/>	<input type="text" value="40.0"/>
7	<input type="text" value="70.0"/>	<input type="text" value="40.0"/>
8	<input type="text" value="20.0"/>	<input type="text" value="40.0"/>

**neu** ➔



Eine einfache Änderung der Parameter ist auch über den Pickmechanismus in der Bildschirmgrafik möglich, ein Extrafenster zur Bearbeitung der Koordinaten wird angeboten.

☒ Gruppe 1
 ☒ Lasteintrag
 ☐ Lastabtrag  
 Lastpunkt M1
 ☒ Mittelpunkt  
 $x_M$  134.3  $y_M$  151.5



Der Lastpunkt M ist ebenso wie der Verdrehwinkel unabhängig von den Koordinaten frei ein-  
 gebbar. Er kann jedoch optional auf den Mittelpunkt des Schraubenbilds bezogen werden.



### 3.5

## Schnittgrößen



Das vierte Register beinhaltet die Masken zur Eingabe der Bemessungsschnittgrößen.

**Schnittgrößen bezogen auf** ☐ die Lastpunkte im Knoten-KoS ☐ die Lastpunkte im Stab-KoS ☒  $x_j$   $y_j$   $z_j$   $mm$  Kräfte / Momente in  $kN / kNm$

Punkte für den Lasteintrag über Anschlussprofile erhalten die Kennung \*, Schnittgrößen können importiert werden.  
Punkte für den Lastabtrag erhalten die Kennung \*, die Lastzeile wird ignoriert.

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

Last-kombi-nation	Last-punkt	$F_{x,Ed}$ kN	$F_{y,Ed}$ kN	$M_{z,Ed}$ kNm
1	M1+	65.00	0.00	0.00
	M2+	65.00	0.00	0.00
	M3+	65.00	0.00	0.00
	M4+	65.00	0.00	0.00

Bezeichnung

☒ Zeile löschen  
☐ Zeile duplizieren  
☒ neue Zeile anhängen

Punkt j  
 $F_{y,Ed}$   
 $F_{x,Ed}$   
 $M_{z,Ed}$

Die Schnittgrößen werden als Bemessungsgrößen bezogen auf die Lastpunkte eingegeben und dienen dem Lasteintrag, werden also nur auf die Gruppen aufgebracht, die mit **Lasteintrag** gekennzeichnet sind.

Schnittgrößen, die Auflager-Gruppen für den **Lastabtrag** (rot gekennzeichnet) zugeordnet sind, werden bei der Berechnung ignoriert.

Die Vorzeichendefinition der Lastpunkte entspricht dem x,y-Koordinatensystem (KoS) der Statik, d.h. dem l,m-System der **pcae**-Tragwerksprogramme.

Es stehen drei Varianten der Lasteingabe zur Verfügung.

#### Variante 1

**Schnittgrößen bezogen auf** ☒ die Lastpunkte im Knoten-KoS

Die Schnittgrößen sind bezogen auf das Knoten-KoS der betrachteten Gruppe, d.h. der Ursprung des xy-KoS liegt im Lastpunkt.

Diese Eingabemöglichkeit wird bevorzugt eingesetzt, wenn keine Anschlussprofile definiert sind.

Zur Info wird das Knotenblech am Bildschirm maßstäblich dargestellt.

Die Knoten-KoS sind eingezeichnet.



## Variante 2

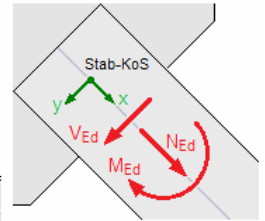
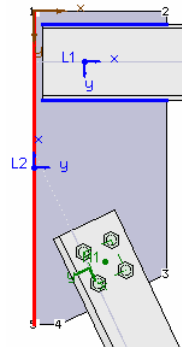
Schnittgrößen bezogen auf  die Lastpunkte im Stab-KoS

Sind Anschlussprofile definiert, können die Schnittgrößen auf das KoS des Anschlussstabs der betrachteten Gruppe bezogen sein, d.h. die Exzentrizität  $\Delta b$  (s. Schraubengruppen, Register 3, S. 26) wird ignoriert.


Die hier verwendete Bezeichnung der Schnittgrößen  $N_{Ed}$ ,  $V_{Ed}$ ,  $M_{Ed}$  entspricht der Bezeichnung im räumlichen x,y,z-KoS der Statik  $N_{Ed}$ ,  $V_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ .

Zur Info wird das Knotenblech am Bildschirm maßstäblich dargestellt.

Die Stab-KoS sind eingezeichnet.



## Variante 3

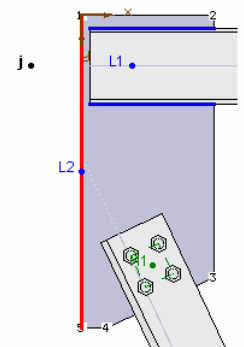
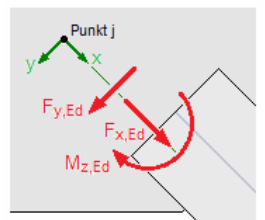
Schnittgrößen bezogen auf   $x_j$  277,0 mm  
 $y_j$  310,0 mm

Die Übernahme der Schnittgrößen aus einem Tragwerksprogramm wird erheblich vereinfacht, wenn die Größen auf den Rahmenknoten, einen beliebigen Punkt j, bezogen sind.

Der Punkt j gilt für alle Gruppen gleichermaßen, wohingegen der Verdrehwinkel  $\alpha$  individuell je Gruppe gilt.


Zur Info wird das Knotenblech am Bildschirm maßstäblich dargestellt.

Der Übersichtlichkeit halber sind die KoS nicht eingezeichnet.



Bei Übernahme der Schnittgrößen aus einem Tragwerksprogramm ist zu beachten, dass sie sich auch bei unsymmetrischen Querschnittsprofilen (z.B. L-Profil) auf das Stab-Koordinatensystem und nicht auf das Hauptachsensystem (**pcae**-Bezeichnung:  $\xi, \eta, \zeta$ ) beziehen!

Die Schnittgrößen können wahlweise in den nebenstehend angegebenen Einheiten vorliegen.

Kräfte / Momente in   $kN / kNm$   
 $kN / kNm$   
 $kN / kNcm$   
 $N / Nm$


Es können bis zu 10.000 Schnittgrößenkombinationen eingegeben werden.

Je Lastkombination wird für jeden Lastpunkt (Schraubengruppe M, Schweißnahtgruppe L) eine Schnittgrößenzeile angeboten, die mit den Bezugsgrößen gefüllt werden kann.

Schraubengruppen werden in grün, Schweißnahtgruppen in blau dargestellt.

Lastzeilen von Gruppen, die nicht für den Lasteintrag zur Verfügung stehen, sind rot gekennzeichnet, können allerdings ebenfalls Werte enthalten, die jedoch bei der Berechnung ignoriert werden.

Dient das Verbindungsmittel dem Anschluss eines Stabprofils an das Knotenblech, wird es mit einem '+' versehen. Für diese Lastpunkte können Schnittgrößen importiert werden (s.u.). Das '\*' kennzeichnet die aktuell nicht zur Verfügung stehenden Lastpunkte.

	Lastkombination	Lastpunkt	$F_{x,Ed}$ $N_{Ed}$ kN	$F_{y,Ed}$ $V_{Ed}$ kN	$M_{z,Ed}$ $M_{Ed}$ kNm	
1:		1	M1+ ▾	60.59	0.24	-0.69
			L1 ▾	-11.94	-6.22	-7.59
			L2* ▾	-48.69	13.69	8.27
Bezeichnung		Rahmen T6.17				

Detailnachweisprogramme zur Bemessung von Anschlüssen (Träger/Stütze, Träger/Träger), Fußpunkten (Stütze/Fundament) etc. benötigen Schnittgrößenkombinationen, die häufig von einem Tragwerksprogramm zur Verfügung gestellt werden. Dabei handelt es sich i.d.R. um eine Vielzahl von Kombinationen, die im betrachteten Bemessungsschnitt des übergeordneten Tragwerkprogramms vorliegen und in das Anschlussprogramm übernommen werden sollen.

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



### 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.

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

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

### Import aus einem ##-Programm

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

Ausführliche Informationen zum Export können dem DTE<sup>®</sup>-Handbuch entnommen werden.

Die statische Berechnung eines Bauteils beinhaltet i.A. die Modellbildung mit anschließender Berechnung des Tragsystems sowie nachfolgenden 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 ##-Programmorganisation gibt es hierzu verschiedene Vorgehensweisen

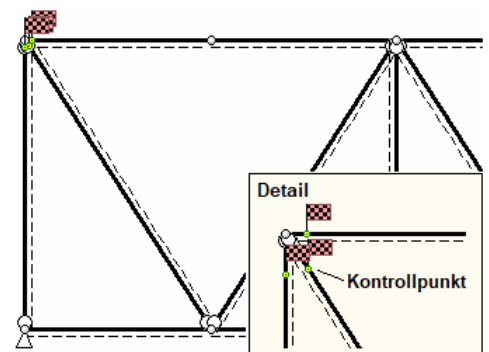
- zum einen können Tragwerks- und Detailprogramm fest miteinander verbunden sein, d.h. die Schnittgrößenübergabe erfolgt intern. Es sind i.A. keine weiteren Eingaben (z.B. Geometrie) notwendig, aber auch möglich (z.B. weitere Belastungen); die Programme bilden eine Einheit. Dies ist z.B. bei dem ##-Programm Stütze mit Fundament der Fall.
- zum anderen können Detailprogramme- wie ##-EC3FK - Schnittgrößen von in Tragwerksprogrammen speziell festgelegten Exportpunkten über ein zwischengeschaltetes Export/Import-Tool einlesen.

Das folgende Beispiel eines einfachen Rahmens erläutert diesen ##-Schnittgrößen-Export/Import.

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

Die Stäbe müssen in einer Ebene liegen (beim ebenen Stabwerk obligatorisch) und sich in einem Knotenpunkt treffen.

In diesem Beispiel sollen die Schnittgrößen für einen Fachwerkknoten übergeben werden. Dazu ist an den Stäben, die am betrachteten Knoten liegen, je ein Kontrollpunkt zu setzen.



Ausführliche Informationen zum Export entnehmen Sie bitte dem DTE<sup>®</sup>-Schnittgrößenexport in der Onlinehilfe oder dem DTE<sup>®</sup>-Handbuch.

Nach einer Neuberechnung des Rahmens stehen die Exportschnittgrößen dem aufnehmenden 4H-Programm (z.B. 4H-EC3FK) zum Import zur Verfügung.



aus dem aufnehmenden 4H-Programm wird nun über den **Import**-Button das Fenster zur DTE®-Bauteilauswahl aufgerufen.



Die Schnittgrößen können nur für Stäbe importiert werden. Die Schnittgrößen können nur im Stab-Koordinatensystem oder für den Punkt j importiert werden.

Es werden auch Schnittgrößen an Auflagern (rot gekennzeichnet) importiert, die jedoch bei der Berechnung ignoriert werden.

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

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

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

Es werden die in den Anschlussblechen wirkenden Schnittgrößen importiert.  
Dazu muss im exportierenden 4H-Programm **in 3 Anschlussstäben ein Schnitt** festgelegt sein.  
Es können maximal 10000 Lastkombinationen mit je 3x3 Werten in die Tabelle übernommen werden.  
Es werden nur ebene Systeme berechnet!

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

Export Bsp.	3D-Stabtragwerk
EC3BT	Detailnachweise
FK - Nisi	2D-Rahmen
Fachwerk	2D-Rahmen
freies Knotenblech	Detailnachweis
Grundkomponenten	Detailnachweis
freie Stirnplatte	Detailnachweis

Das gewünschte Bauteil kann nun markiert und über den **bestätigen**-Button ausgewählt werden. Alternativ kann durch Doppelklicken des Bauteils direkt in die DTE®-Schnittgrößenauswahl (Onlinehilfe oder dem DTE®-Handbuch) 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.

nicht identifiziert	Punkt 1: Stab 1 bei s = 0.00 m	Obergurt Material: Stahl, Querschnitt: Profil: HE240A
nicht identifiziert	Punkt 3: Stab 4 bei s = 6.00 m	Stütze Material: Stahl, Querschnitt: Profil: U240
nicht identifiziert	Punkt 5: Stab 17 bei s = 0.00 m	Diagonale links Material: Stahl, Querschnitt: Profil: L
<b>Schnitt M1</b>	Punkt 6: Stab 17 bei s = 7.13 m	Diagonale Material: Stahl, Querschnitt: Profil: L
nicht identifiziert	Punkt 7: Stab 18 bei s = 0.00 m	Diagonale rechts Material: Stahl, Querschnitt: Profil: L

Nun werden die Schnitte den einzelnen Abteilungen (hier die Lastpunkte M1, L1, L2) in der Schnittgrößentabelle zugeordnet. Dazu wird der entsprechende Eintrag (hier Punkt 6) ausgewählt und der zugehörigen Zeile in der dann folgenden Tabelle zugewiesen (hier Schnitt M1).

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.

Schnitt M1 Punkt 8: Stab 17 bei s = 7.13 m							
Material: Stahl, Querschnitt: Profil L							
	N kN	V <sub>η</sub> kN	V <sub>ζ</sub> kN	T kNm	M <sub>η</sub> kNm	M <sub>ζ</sub> kNm	Kommentar
Nachweis 1: EC 3 Tragfähigkeit (Th. II. Ord.)							
Generierung 1: Generierungsvorschrift 1							
LK 1	25.87	0.05	0.11	0.00	0.00	0.00	Lf1+1.5*Lf2
LK 2	31.68	0.06	0.14	0.00	0.00	0.00	1.35*Lf1+1.5*Lf2
LK 3	27.75	0.05	0.11	0.00	0.00	0.00	Lf1+1.5*Lf3
LK 4	33.59	0.06	0.14	0.00	0.00	0.00	1.35*Lf1+1.5*Lf3
LK 5	37.53	0.04	0.10	0.00	0.00	0.00	Lf1+1.5*(Lf2+Lf3)
LK 6	21.93	0.07	0.16	0.00	0.00	0.00	1.35*Lf1
LK 7	43.77	0.05	0.13	0.00	0.00	0.00	1.35*Lf1+1.5*(Lf2+Lf3)
LK 8	16.20	0.05	0.12	0.00	0.00	0.00	Lf1
Zusammenfassung Nachweis 1							
min N	16.20	0.05	0.12	0.00	0.00	0.00	Lf1
max N	43.77	0.05	0.13	0.00	0.00	0.00	1.35*Lf1+1.5*(Lf2+Lf3)
min Q	37.53	0.04	0.10	0.00	0.00	0.00	Lf1+1.5*(Lf2+Lf3)
max Q	21.93	0.07	0.16	0.00	0.00	0.00	1.35*Lf1
min M	25.87	0.05	0.11	0.00	0.00	0.00	Lf1+1.5*Lf2
max M	25.87	0.05	0.11	0.00	0.00	0.00	Lf1+1.5*Lf2
Schnitt L1 Punkt 1: Stab 1 bei s = 0.00 m							
Schnitt L2 Punkt 3: Stab 4 bei s = 6.00 m							

Die Kombinationen können beliebig zusammengestellt werden.



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

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



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



**pcae** gewährleistet durch geeignete Transformationen, dass die Schnittgrößen sowohl im KoS des importierenden Programms vorliegen, als auch - bei mehrschnittigen Verbindungen - einander zugehörig sind, d.h. dass die Schnittgrößen einer Lastkombination des aufnehmenden Programms 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 Schriftgröße dargestellt.

Schnitt M1			Schnitt L1			Schnitt L2		
N	V <sub>η</sub>	V <sub>ζ</sub>	N	V <sub>η</sub>	V <sub>ζ</sub>	N	V <sub>η</sub>	V <sub>ζ</sub>
25.87	0.05	0.11	-9.21	0.00	4.33	-26.17	0.00	0.00
16.20	0.05	0.12	-5.72	0.00	1.94	-15.66	0.00	0.00
43.77	0.05	0.13	-11.87	0.00	5.08	-42.00	0.00	0.00
37.53	0.04	0.10	-11.72	0.00	4.36	-36.01	0.00	0.00
21.93	0.07	0.16	-7.55	0.00	2.62	-21.18	0.00	0.00

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

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

Sollen doppelte Zeilen gelöscht werden?

nein

ja

Das aufnehmende Programm bestückt nun die Schnittgrößentabelle.

Last-kombi-nation	Last-punkt	F <sub>x,Ed</sub> kN	F <sub>y,Ed</sub> kN	M <sub>z,Ed</sub> kNm	
1	M1+	25.87	0.12	0.00	
	L1+	-9.21	4.33	0.00	
	L2*	-26.17	0.00	0.00	
Bezeichnung					
2	M1+	16.20	0.13	0.00	
	L1+	-5.72	1.94	0.00	
	L2*	-15.66	0.00	0.00	
Bezeichnung					
⋮					

Bei der Übernahme erfolgen Plausibilitätschecks und ggf. Meldungen.



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

### Besonderheiten beim Anschluss nur eines Stabs

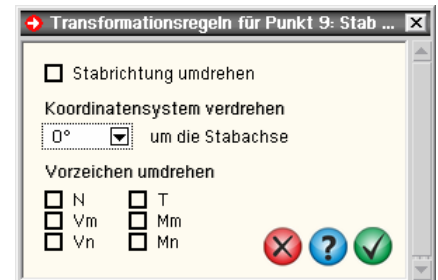
Soll nur ein Stab angeschlossen werden oder liegen alle Importstäbe parallel zueinander, kann keine Transformationsebene aufgebaut werden. Dann werden die Schnittgrößen ohne weitere Transformationen eingelesen. Es ist dann darauf zu achten, dass die Stabdefinition des exportierenden Programms mit der aktuellen übereinstimmt.

Der Import von Schnittgrößen nur eines einzigen Schnitts erfolgt nach den o.a. Regeln. Da programmintern keine Transformation durchgeführt werden kann, besteht die Möglichkeit, die Importschnittgrößen 'per Hand' in die Richtung des Anschlussstabs zu drehen.



Nach Betätigen des **Transformationsbuttons** in der Kopfzeile des aktivierten Punkts können die Transformationsregeln bearbeitet werden.

Nach Bestätigen des Fensters werden die Schnittgrößen angepasst und können importiert werden.



### 3.6

## Ergebnisübersicht



Das fünfte Register gibt einen Überblick über die ermittelten Ergebnisse.

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

Lastkombination	Ausnutzung	maximale Ausnutzung <b>93%</b>
<b>Lastkombination 1</b>	<b>81%</b>	
Knotenblech	75%	
Schrauben (inkl. Anschlussblech)	64%	
Schweißnähte (inkl. Anschlussblech)	81%	
<b>Lastkombination 2</b>	<b>93%</b>	▶ maßgeb. Lk anzeigen
Knotenblech	82%	
Schweißnähte (inkl. Anschlussblech)	93%	
<b>Gesamt</b>	<b>93%</b>	

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

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

Die maximale Ausnutzung wird sowohl als 'Gesamt' unterhalb der Zusammenstellung als auch am oberen rechten Fensterrand angezeigt. Ebenso wird die maßgebende Lastkombination gekennzeichnet und kann über den Aktionslink direkt in der Druckliste eingesehen werden.

<b>Lastkombination 3</b>	<b>149%</b>	XXXXXXXXXX	▶ maßgeb. Lk anzeigen
Knotenblech	46%		
Schrauben (inkl. Anschlussblech)	149%	XXXXXXXXXX	
Schweißnähte (inkl. Anschlussblech)	39%		
<b>Gesamt</b>	<b>149%</b>	XXXXXXXXXX	

**Tragfähigkeit nicht gewährleistet (s. Druckliste) !!**

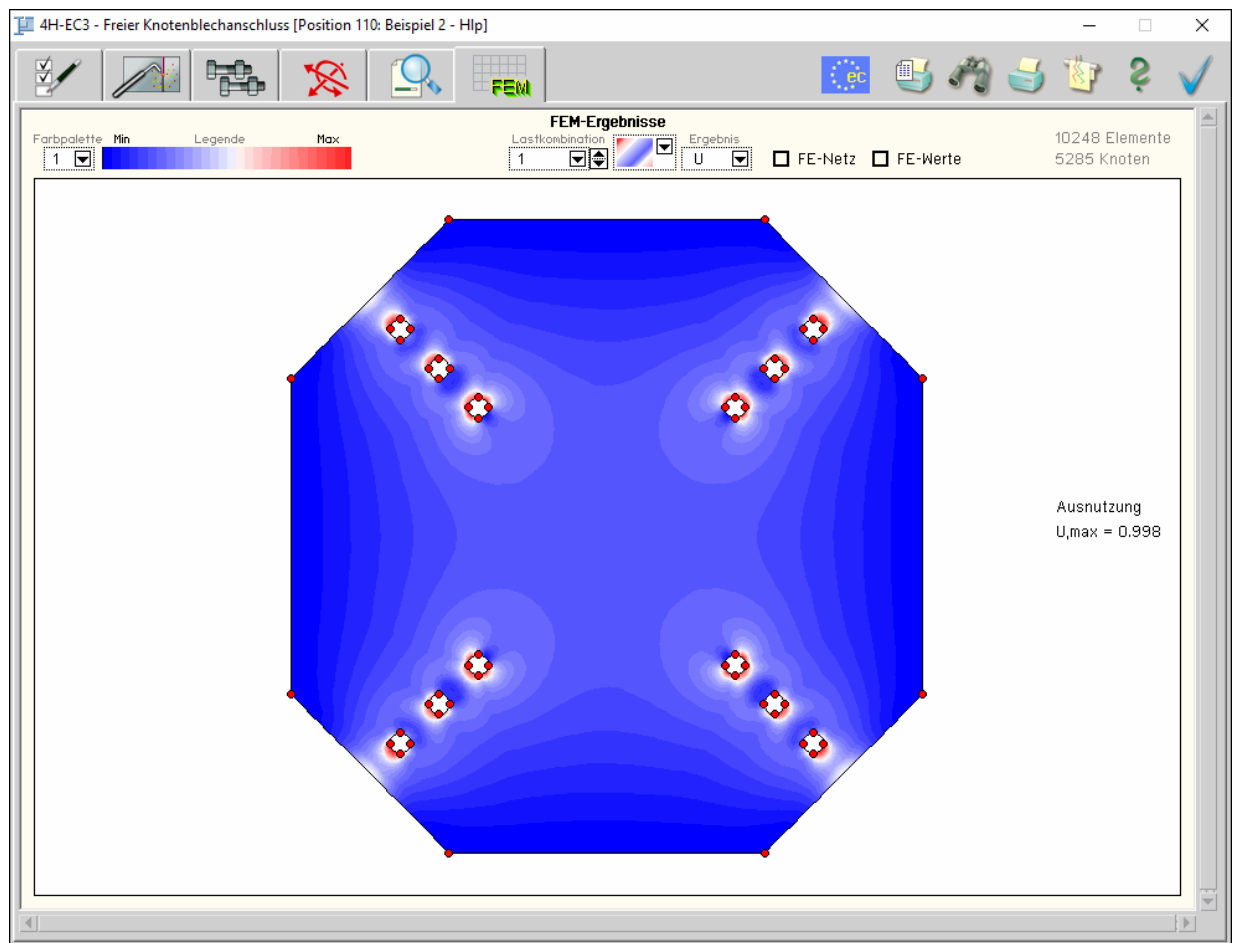
Eine Meldung zeigt an, wenn ein Fehler aufgetreten oder die Tragfähigkeit überschritten ist.

Wenn die Ursache des Fehlers nicht sofort ersichtlich ist, sollte die Druckliste in der ausführlichen Ergebnisdarstellung (s. Abs. 4.3, S. 63) geprüft werden.





Das sechste Register stellt die FEM-Ergebnisse grafisch dar.



In erster Linie werden in diesem Register die Ergebnisse der FEM-Berechnung dargestellt.

Dazu gehören die Verformungen  $u$  und bezogenen Spannungen  $n$ . Zusätzlich können die Traglastausnutzungen  $U$  visualisiert werden, die aus der Auswertung der nachfolgenden Bemessung resultieren.



Damit ist die Möglichkeit gegeben, die Nachweisergebnisse schlüssig nachzuvollziehen.

Aus einer Listbox wird eine Lastkombination ausgewählt.

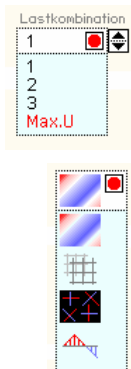
Zusätzlich zu den berechneten Kombinationen können Ergebnisse der maximalen Ausnutzung dargestellt werden.

Für diese Ergebnisse wird in einer weiteren Listbox der Ergebnistyp festgelegt.

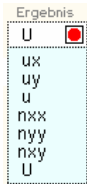
Die ersten drei Symbole gelten für das Knotenblech.

Es stehen ein Konturenplot, die Deformation sowie eine Vektordarstellung der Spannungen zur Verfügung.

Das vierte Symbol gilt für Schweißnähte, die dem Lastabtrag dienen (Lagerlinien), die in einer Liniengrafik analysiert werden können.







Ist der Konturenplot ausgewählt, stehen die Ergebnisse der

- Verschiebungen  $u_x$ ,  $u_y$  sowie der resultierenden Verschiebung  $u$ ,
- bezogenen Normalkräfte  $n_{xx}$ ,  $n_{yy}$ ,  $n_{xy}$  und
- Spannungsausnutzung  $U$

zur Verfügung. Optional kann das FE-Netz angezeigt werden.

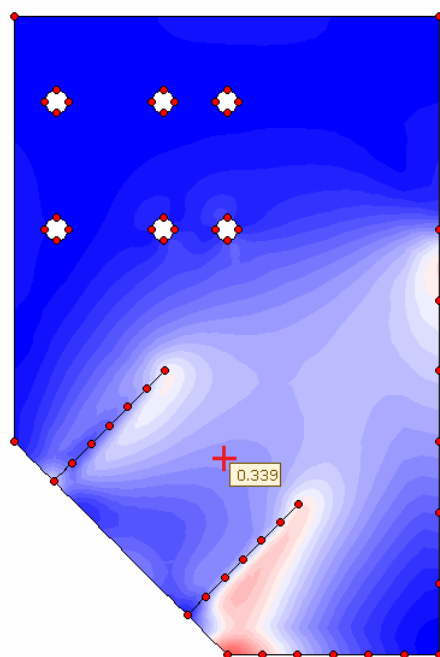
Ebenso werden bei Aktivierung der FE-Werte die Zahlenwerte der Elementknoten angezeigt, auf die der Maus-Cursor zeigt.

Aus zwei Farbpaletten kann die Einfärbung des Konturenplots gewählt werden.

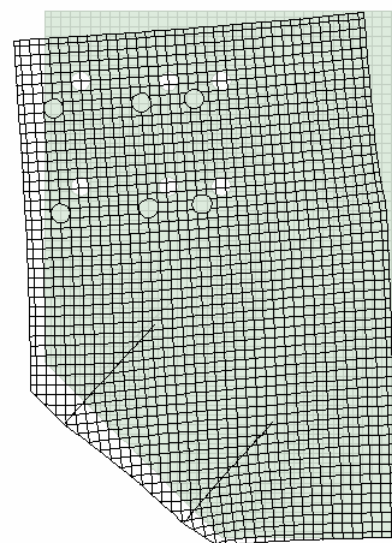
Zur Info werden die maximale Anzahl der Finiten Elemente und FE-Knoten angegeben.

## Darstellung der Ergebnisse am Bildschirm (Beispiele)

- Konturenplot der Ausnutzungen mit Angabe eines beliebig ausgewählten FE-Werts (im Bild links). Zur Info wird die maximale Ausnutzung protokolliert.

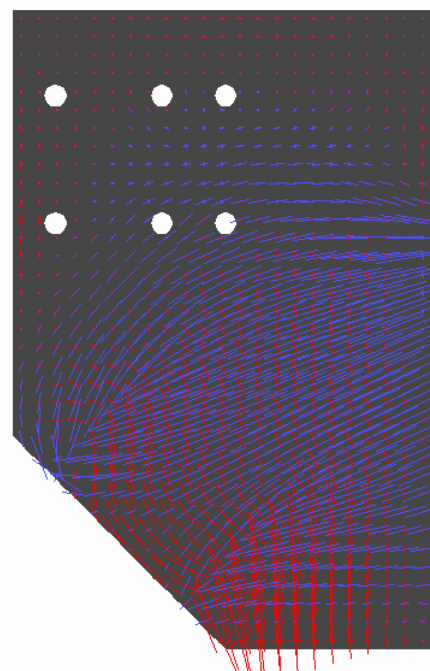


Ausnutzung  
 $U_{\max} = 0.816$



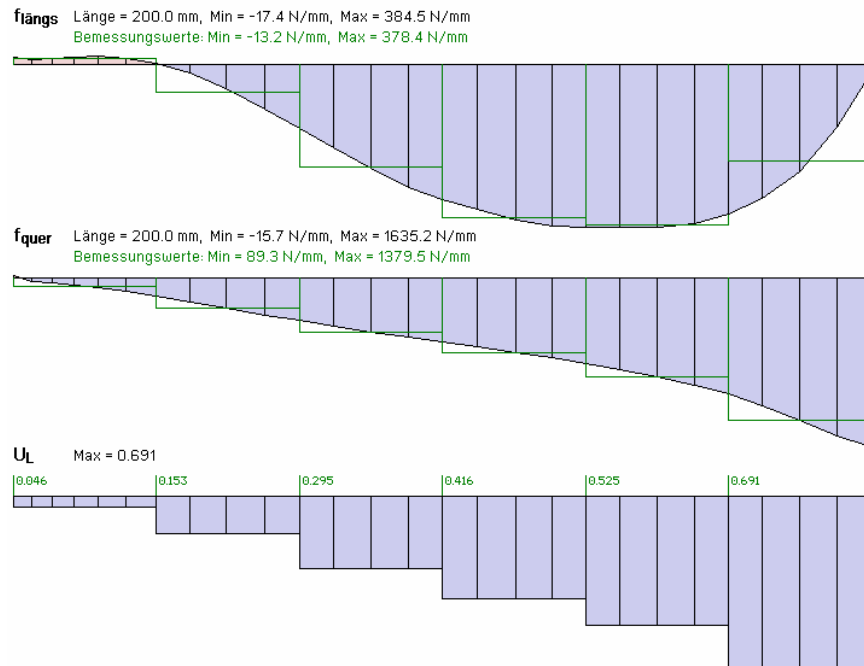
Verformung  
 $u_{\max} = 0.189 \text{ mm}$

- Verformungsfigur (im Bild rechts). Zur Info wird die maximale Verschiebung angegeben.
- Vektordarstellung der bezogenen Normalkräfte



bezogene Spannungen  
 $n_{xx,\min} = -40.7 \text{ N/mm}^2$   
 $n_{xx,\max} = 107.0 \text{ N/mm}^2$   
 $n_{yy,\min} = -143.1 \text{ N/mm}^2$   
 $n_{yy,\max} = 54.0 \text{ N/mm}^2$   
 $n_{xy,\min} = -58.5 \text{ N/mm}^2$   
 $n_{xy,\max} = 28.5 \text{ N/mm}^2$

- Liniengrafik einer Schweißnaht (Lagerlinie)



Der Kurvenverlauf stellt die FEM-Ergebnisse der Lagerlinien dar.

Für die Bemessung wird das integrale Mittel je Linienabschnitt gebildet, das als abgetreppte grüne Linie eingezeichnet ist.

Die Maximalwerte der FEM-Berechnung (in schwarz) und der Bemessung (in grün) sind zur Info ausgegeben. Schweißnachweise werden für die Bemessungswerte durchgeführt und ergeben die Linie der Ausnutzungen U<sub>L</sub>.

Zur Darstellung des Druckdokuments s. Beschreibung der Ergebnisse, Abs. 3.12, S. 46.

### 3.8

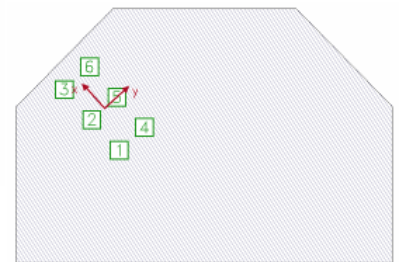
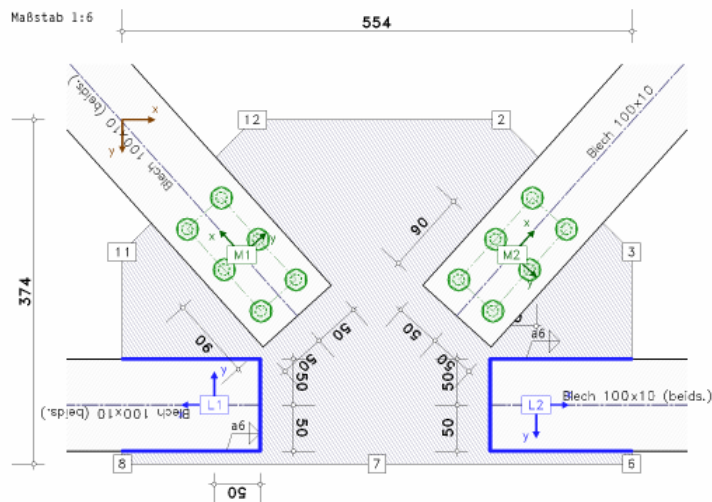
## Lastverteilung und Nachweise

Schrauben und Schweißnähte, die zu einem Anschlusspunkt gehören, werden jeweils zu Gruppen zusammengefasst.

Die Anschlusspunkte werden als Lastpunkte (M - Schrauben, L - Schweißnähte) bezeichnet, da über sie entweder Schnittgrößen in das Modell eingeleitet oder aus dem Modell weitergeleitet werden.

Innerhalb einer Gruppe können die Schrauben und Schweißnähte beliebig auf dem Blech angeordnet sein.

Die Achspunkte der Schrauben sowie die Mittelpunkte der Schweißnahtabschnitte bilden jeweils einen Punktequerschnitt (s.u. Berechnung Punktequerschnitt), mit dessen Hilfe eine einwirkende Schnittgröße auf die Einzelpunkte verteilt wird.



Für das o.a. Beispiel ergibt sich für Schrauben folgende Verteilung.

Die Schrauben sind je Gruppe durchnummeriert. Die x,y-Koordinaten beziehen sich auf das Scheibenkoordinatensystem, die Kräfte  $F_x, F_y$  auf das Schraubenkoordinatensystem.

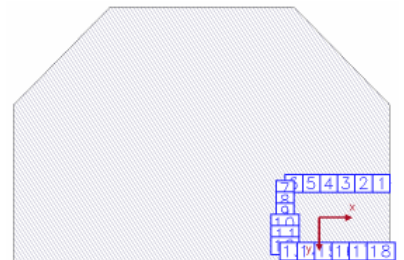
Schrauben:

Gruppe M1

Schraube 1:	$x = 151.4 \text{ mm}$	$y = 207.8 \text{ mm}$	$F_x = -19.79 \text{ kN}$	$F_y = 0.71 \text{ kN}$
Schraube 2:	$x = 111.2 \text{ mm}$	$y = 163.2 \text{ mm}$	$F_x = -6.03 \text{ kN}$	$F_y = -11.68 \text{ kN}$
Schraube 3:	$x = 71.1 \text{ mm}$	$y = 118.6 \text{ mm}$	$F_x = 7.73 \text{ kN}$	$F_y = -24.07 \text{ kN}$
Schraube 4:	$x = 188.5 \text{ mm}$	$y = 174.4 \text{ mm}$	$F_x = -9.46 \text{ kN}$	$F_y = 12.17 \text{ kN}$
Schraube 5:	$x = 148.4 \text{ mm}$	$y = 129.8 \text{ mm}$	$F_x = 4.29 \text{ kN}$	$F_y = -0.21 \text{ kN}$
Schraube 6:	$x = 108.2 \text{ mm}$	$y = 85.2 \text{ mm}$	$F_x = 18.05 \text{ kN}$	$F_y = -12.60 \text{ kN}$

Auf die Schweißnähte einer Gruppe (s. obiges Beispiel) verteilen sich die Schnittgrößen wie folgt.

Die Schweißnähte werden in Abschnitte unterteilt, die je Gruppe durchnummeriert sind. Die  $x, y$ -Koordinaten beziehen sich auf das Scheibenkoordinatensystem, die Kräfte  $F_x, F_y$  wirken im Mittelpunkt des Nahtabschnitts und sind auf das Schweißnahtkoordinatensystem bezogen.



Bezogen auf die Länge  $l_w$  des Nahtabschnitts (der Teilnaht) ergeben sich die Kräfte längs  $f_l$  und quer  $f_m$  zur Naht, die im Winkel  $\varphi$  zur x-Achse des Schweißnahtkoordinatensystems wirken.

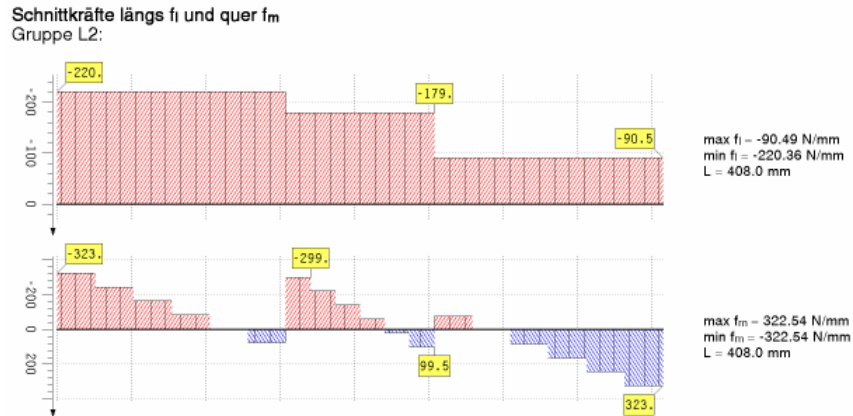
Schweißnähte:

Jede Einzelnaht wird 6-fach unterteilt, der Mittelpunkt einer Teilnaht wird belastet.

Gruppe L2

Gruppe 2:					
Nahtmitte 1:	$x = 541.2 \text{ mm}$	$y = 260.0 \text{ mm}$	$F_x = 5.66 \text{ kN}$	$F_y = 8.28 \text{ kN}$	$l_w = 25.7 \text{ mm}$
⋮			$f_t = -220.36 \text{ N/mm}$	$f_m = -322.54 \text{ N/mm}$	$\varphi = 0.00^\circ$
Nahtmitte 7:	$x = 400.0 \text{ mm}$	$y = 268.3 \text{ mm}$	$F_x = 4.99 \text{ kN}$	$F_y = -2.98 \text{ kN}$	$l_w = 16.7 \text{ mm}$
⋮			$f_t = -179.08 \text{ N/mm}$	$f_m = -299.47 \text{ N/mm}$	$\varphi = -90.00^\circ$

Die Schnittkräfte der Nahtgruppe werden zudem in einer Liniengrafik dargestellt (L Gesamtlänge der Nahtgruppe).



## Berechnung des Punktequerschnitts

Die Berechnung des Punktequerschnitts ist ein eigenes Programmmodul, das auf einem linksgerichteten y,z-Koordinatensystem basiert. Die Koordinaten der Gruppenmitglieder werden auf dieses Koordinatensystem transformiert.

Zunächst wird das y,z-Koordinatensystem in einen beliebigen Punkt (z.B. den Lasteinleitungspunkt) gelegt. Bezogen darauf sind die Koordinaten des Punktehaufens (hier: das Schraubenfeld der Gruppe) gegeben.

Für jeden Punkt lassen sich zu einer einwirkenden Schnittgrößenkombination die resultierenden Kräfte in Richtung der Koordinatenachsen sowie der resultierenden Gesamtkraft berechnen.

Für einen Punktehaufen im y/z-Koordinatensystem gilt (i = Schraubenindex)

$$A = \sum A_i \quad \text{Fläche des Punktequerschnitts}$$

$$y_{si} = \frac{\sum (A_i \cdot y_i)}{A} \quad \text{und} \quad z_{si} = \frac{\sum (A_i \cdot z_i)}{A} \quad \text{Schwerpunkt des Punktequerschnitts}$$

$$I_p = \sum (I_{yi} + I_{zi}) \quad \text{mit} \quad I_{yi} = A_i \cdot z_i^2 \quad \text{und} \quad I_{zi} = A_i \cdot y_i^2 \quad \text{polares Trägheitsmoment}$$

Damit ergibt sich für jeden Punkt bzw. jede Schraube i

$$T_{y,i} = f_{vk,i} \cdot \left[ \frac{V_y}{\sum A_i} - \frac{M_x}{\sum I_{pi}} \cdot z_i \right] \quad \text{und} \quad T_{z,i} = f_{vk,i} \cdot \left[ \frac{V_z}{\sum A_i} + \frac{M_x}{\sum I_{pi}} \cdot y_i \right] \quad \text{und} \quad T_i = \sqrt{T_{y,i}^2 + T_{z,i}^2}$$

$T_{y,i}, T_{z,i}$  ... Kräfte in den Koordinatenrichtungen  
 $T_i$  ..... resultierende Kraft der Schraube i

Da die Schrauben je Gruppe einheitlich sind, brauchen die Querschnittswerte nicht gewichtet zu werden ( $f_{vk,i} = 1$ ).

## Nachweise der Schrauben

### Abscheren

Es liegt Schraubenkategorie A vor. Informationen zur Berechnung der Tragfähigkeit entnehmen Sie bitte der allgemeinen Beschreibung der Schrauben mit Abscherbeanspruchung (Abs. 3.13.3, S. 58).

### Lochleibung

Es liegt Schraubenkategorie A vor. Da für Knoten- und Anschlussprofile unterschiedliche Randabstände und Blechdicken gelten, wird die Tragfähigkeit separat ermittelt.

Informationen zur Berechnung der Tragfähigkeit entnehmen Sie bitte der allgemeinen Beschreibung der Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung (Abs. 3.13.3, S. 58).

Die Lochleibungstragfähigkeit wird je Schraube und Lastrichtung ermittelt. Nach ECCS wird die resultierende Lochleibungstragfähigkeit einer Schraube als Minimalwert der vektoriellen Addition der Kraftrichtungen gewonnen.

## Gesamt

Für jede Schraube wird die maximale Ausnutzung berechnet und im Anschluss daran die Gesamtausnutzung der Gruppe M ausgewiesen.

Nachweis der Schrauben  
**Schraube 1:**  $F_{x,1} = 33.33 \text{ kN}$   $F_{y,1} = -0.00 \text{ kN}$   $F_1 = 33.33 \text{ kN}$   
 Abscheren (2-schnittig)  
 Abschertragfähigkeit je Scherfuge  $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 33.72 \text{ kN}$ ,  $\alpha_v = 0.50$   
 Abschertragfähigkeit je Schraube (2-schnittig):  $\Sigma F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 67.44 \text{ kN}$   
 Ausnutzung  $U_{v,1} = F_1 / \Sigma F_{v,Rd} = 0.494$   
 Lochleibung Knotenblech (Abstände  $\min e = 151.4 \text{ mm}$ ,  $\min p = 50.0 \text{ mm}$ )  
 Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 86.40 \text{ kN}$ ,  $k_1 = 2.50$ ,  $\alpha_b = 1.00$   
 Ausnutzung x  $U_{bx,1} = F_{x,1} / F_{b,Rd} = 0.386$   
 Lochleibung Anschlussprofil, beidseitig (Abstände  $\min e = 25.0 \text{ mm}$ ,  $\min p = 50.0 \text{ mm}$ )  
 Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 55.38 \text{ kN}$ ,  $k_1 = 2.50$ ,  $\alpha_b = 0.64$   
 Ausnutzung z  $U_{bz,1} = F_{x,1} / (2 \cdot F_{b,Rd}) = 0.301$   
 Gesamt  
 Ausnutzung  $U_1 = 0.494$   
 :  
 Ausnutzung aus Abscheren und Lochleibung:  $\max U_{M1} = 0.494 < 1$  o.k.

## Nachweis der Schweißnähte

Die Schweißnähte werden entweder mit dem richtungsbezogenen oder vereinfachten Verfahren nachgewiesen. Informationen zur Berechnung der Tragfähigkeit s. allgemeine Beschreibung der Schweißnähte (Abs. 3.10, S. 43).

Für jeden Nahtabschnitt wird die maximale Ausnutzung berechnet und im Anschluss daran die Gesamtausnutzung der Gruppe L ausgewiesen.

Nachweis der Schweißnähte  
**Abschn. 1:**  $F_l = -5.66 \text{ kN}$ ,  $F_m = -8.28 \text{ kN}$ ,  $l_1 = 25.7 \text{ mm}$   
 Kräfte auf der wirksamen Nahtfläche:  $F_{Ed}(\sigma_a) = -2.28 \text{ kN/cm}$   $F_{Ed}(\tau_a) = 2.28 \text{ kN/cm}$   $F_{Ed}(\tau_p) = -2.20 \text{ kN/cm}$   
 Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche:  $\sigma_a = 3.80 \text{ kN/cm}^2$   $\tau_a = 3.80 \text{ kN/cm}^2$   $\tau_p = 3.67 \text{ kN/cm}^2$   
 $\sigma_{1,w,Ed} = (\sigma_a^2 + 3 \cdot (\tau_a^2 + \tau_p^2))^{1/2} = 9.91 \text{ kN/cm}^2$   
 beidseitige Naht:  $\sigma_{1,w,Ed}/2 = 4.96 \text{ kN/cm}^2$   
 Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1):  $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 36.00 \text{ kN/cm}^2$   
 $\sigma_{1,w,Ed} = 4.96 \text{ kN/cm}^2 < f_{1w,d} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.138 < 1$  o.k.  
 $\sigma_{2,w,Ed} = |\sigma_a| = 3.80 \text{ kN/cm}^2$   
 beidseitige Naht:  $\sigma_{2,w,Ed}/2 = 1.90 \text{ kN/cm}^2$   
 Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.2):  $f_{2w,d} = 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 25.92 \text{ kN/cm}^2$   
 $\sigma_{2,w,Ed} = 1.90 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.073 < 1$  o.k.  
 :  
 Ausnutzung der Schweißnähte:  $\max U_{L2} = 0.138 < 1$  o.k.

## Spannungsnachweis für Schrauben n. EC 3

Der Tragsicherheitsnachweis des dünnwandigen Knotenblechs wird mit dem Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* geführt.

Beim Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* (E-E) werden die Schnittgrößen (Beanspruchungen) auf Grundlage der Elastizitätstheorie bestimmt. Der Spannungsnachweis erfolgt mit dem Fließkriterium aus DIN EN 1993-1-1, Abs. 6.2.1(5).

Normalspannungen aus den Schnittgrößen  $n_{xx}$ ,  $n_{yy}$ ,  $n_{xy}$  der FEM-Berechnung

$$\begin{aligned}\sigma_x &= n_{xx} / t_p \\ \sigma_y &= n_{yy} / t_p \\ \tau &= n_{xy} / t_p\end{aligned}$$

Vergleichsspannung

$$\sigma_V = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau^2}$$

Da die Spannungsnachweise auch in den Hauptrichtungen maßgebend werden können, sind ebenfalls die Hauptnormalspannung  $\sigma_{12}$  und die Hauptschubspannung  $\tau_{12}$  zu beachten.

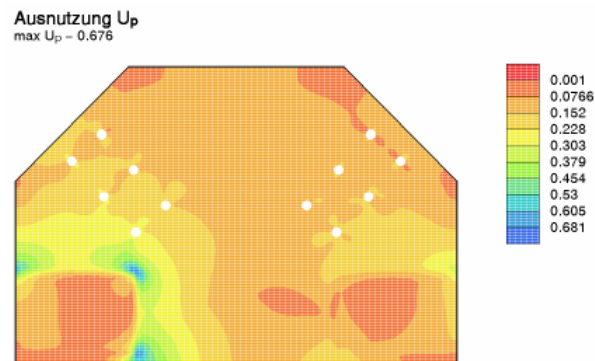
$$\begin{aligned}\sigma_{12} &= |\sigma_{mid}| + \sqrt{\sigma_{mid}^2 + \tau^2} \quad \text{mit} \quad \sigma_{mid} = 0.5 \cdot (\sigma_x + \sigma_y) \\ \tau_{12} &= \sqrt{\sigma_{mid}^2 + \tau^2} \quad \text{mit} \quad \sigma_{mid} = 0.5 \cdot (\sigma_x - \sigma_y)\end{aligned}$$

Die Teilausnutzungen ergeben sich zu

$$\begin{aligned}U_\sigma &= \sigma_{12} / \sigma_{Rd} \quad \text{mit} \quad \sigma_{Rd} = f_y / \gamma_{M0} \\ U_\tau &= \tau_{12} / \tau_{Rd} \quad \text{mit} \quad \tau_{Rd} = f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) \\ U_{\sigma V} &= \sigma_V / \sigma_{Rd}\end{aligned}$$

und werden zu einer Spannungsausnutzung zusammengefasst und je FE-Knoten ausgewiesen.

$$U_p = \max(U_\sigma, U_\tau, U_{\sigma V})$$



Ausnutzung

Kno	x mm	y mm	$\sigma$ N/mm <sup>2</sup>	$\tau$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_V$ N/mm <sup>2</sup>	$U_p$
1087	1523.0	2569.7	158.57	6.51	158.97	0.676
1733	1408.9	2520.6	78.93	60.39	131.04	0.558

x,y: Knotenkoordinaten;  $\sigma, \tau, \sigma_V$ : Spannungen;  $U_p$ : Ausnutzung



I.A. werden die Verbindungselemente (Träger und Stirnblech, Träger und Stütze, Stütze und Fußplatte) mit Kehlnähten verbunden, deren Schweißnaht konzentriert in der Wurzellinie angenommen wird. Ebenso können (nicht durchgeschweißte) Stumpfnähte verwendet werden, die hier als HY-Nähte berücksichtigt werden.

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

Beispielhaft sind nebenstehend die Einzelnähte, die den Linienquerschnitt bilden, für einen T-Querschnitt dargestellt.

Die Nummerierung in **rot** kennzeichnet die Naht, die Zahlenangaben in **blau** bezeichnen die maßgebenden Nachweispunkte auf der jeweiligen Naht. Für jeden Punkt einer Naht werden die Spannungen ermittelt und der Nachweis geführt.

Zur Orientierung ist das Querschnitts-Koordinatenkreuz, auf das die Schnittgrößen bezogen sind, in **grün** eingefügt.

Bei umlaufenden Nähten werden an jeder gerade verlaufenden Profilkante Schweißnähte angeordnet, die im Normalfall eine einheitliche Nahtdicke haben.

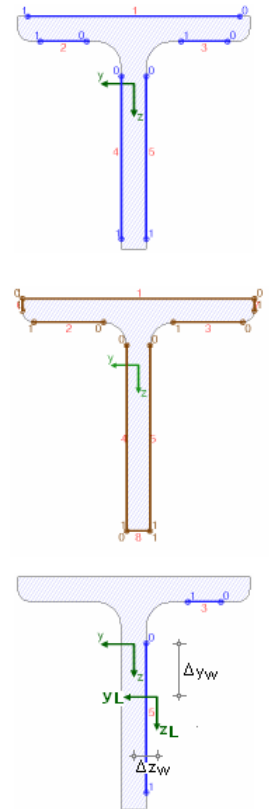
Es können Kehlnähte, nicht durchgeschweißte und voll durchgeschweißte Stumpfnähte angeordnet werden.

Zur Unterscheidung werden Kehlnähte in **blau** und Stumpfnähte in **braun** gezeichnet. Nebenstehend ist der Linienquerschnitt einer umlaufenden Stumpfnahnt dargestellt.

Es ist zu unterscheiden zwischen dem Querschnittsschwerpunkt und dem Schwerpunkt des Linienquerschnitts.

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

Nebenstehend ist für einen Extremfall das um  $\Delta y_w$  und  $\Delta z_w$  abweichende Koordinatensystem des Linienquerschnitts dargestellt.



Bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts werden die Querschnittsfläche  $\Sigma A_w$ , ggf. die Querschnittsflächen in y- und z-Richtung  $A_{w,y}$ ,  $A_{w,z}$ , die gesamte Nahtlänge  $\Sigma l_w$ , die Trägheitsmomente  $I_{w,y}$ ,  $I_{w,z}$ ,  $I_{w,yz}$  und die Differenzabstände zum Querschnittsschwerpunkt  $\Delta y_w$ ,  $\Delta z_w$  ermittelt.

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$\Sigma A_w = 11.00 \text{ cm}^2$ ,  $\Sigma l_w = 11.0 \text{ cm}$   
 $I_{w,y} = 141.10 \text{ cm}^4$ ,  $I_{w,z} = 21.46 \text{ cm}^4$ ,  $I_{w,yz} = 40.09 \text{ cm}^4$ ,  $\Delta y_w = -13.9 \text{ mm}$ ,  $\Delta z_w = 31.8 \text{ mm}$

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

Die lokalen Normalkräfte und Biegemomente werden über diese Beziehung ermittelt.

Da die Querkraftaufteilung unabhängig von der Momenten-/Normalkraftverteilung erfolgt, werden zwei Verfahren zur Verteilung der Querkkräfte auf die Nähte angeboten.

- nach der *konventionellen Methode* wird die Querkraft denjenigen Nähten zugeordnet, die in Richtung der entsprechenden Querkraftkomponente verlaufen, d.h. horizontale Nähte tragen  $V_y$ , vertikale Nähte  $V_z$ . Diese klassische Aufteilung wird beim Schweißnahtnachweis nach DIN 18800 angewandt.

Schnittgrößenverteilung auf die Einzelnähte:

Naht 3:  $N_w = -14.67 \text{ kN}$   $M_{y,w} = -0.00 \text{ kNm}$   $M_{z,w} = -0.04 \text{ kNm}$   
 Naht 5:  $N_w = 14.88 \text{ kN}$   $M_{y,w} = -1.03 \text{ kNm}$   $M_{z,w} = -0.04 \text{ kNm}$

Spannungen:

$\tau_{w,y} = -16.59 \text{ N/mm}^2$   $\tau_{w,z} = 0.04 \text{ N/mm}^2$   
 $\tau_{w,y} = -4.15 \text{ N/mm}^2$   $\tau_{w,z} = 3.50 \text{ N/mm}^2$

- alternativ wird die Querkraft in Abhängigkeit der *Steifigkeiten* auf die Nähte verteilt. Dies entspricht der Theorie der Aussteifungssysteme, die jedoch im strengen Sinne nur gilt, wenn sich die Schweißnähte unabhängig voneinander verformen können.

**Schnittgrößenverteilung auf die Einzelnähte:**

Naht 3:	$N_w = -14.67 \text{ kN}$	$M_{y,w} = -0.00 \text{ kNm}$	$V_{z,w} = 0.01 \text{ kN}$	$M_{z,w} = -0.04 \text{ kNm}$	$V_{y,w} = -3.32 \text{ kN}$
Naht 5:	$N_w = 14.88 \text{ kN}$	$M_{y,w} = -1.03 \text{ kNm}$	$V_{z,w} = 3.15 \text{ kN}$	$M_{z,w} = -0.04 \text{ kNm}$	$V_{y,w} = -3.73 \text{ kN}$

Damit werden die Spannungen in den maßgebenden Nachweispunkten berechnet.

**Spannungen in den Endpunkten der Einzelnähte:**

Naht 3, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = -132.81 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,y} = -16.59 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 0.04 \text{ N/mm}^2$
Pkt. 1:	$\sigma_{w,x} = -13.86 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,y} = -16.59 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 0.04 \text{ N/mm}^2$
Naht 5, Pkt. 0:	$\sigma_{w,x} = 92.58 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,y} = -4.15 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 3.50 \text{ N/mm}^2$
Pkt. 1:	$\sigma_{w,x} = -59.51 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,y} = -4.15 \text{ N/mm}^2$	$\tau_{w,z} = 3.50 \text{ N/mm}^2$

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

**Nachweis für Naht 3, Pkt. 0:**

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

$$\sigma_s = \sigma_w \cdot \cos(\alpha) - \tau_w \cdot \sin(\alpha) = -93.9 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_s = \sigma_w \cdot \sin(\alpha) + \tau_w \cdot \cos(\alpha) = -93.9 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_p = \tau_{w,y} = 16.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = (\sigma_s^2 + 3 \cdot (\tau_s^2 + \tau_p^2))^{1/2} = 19.00 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$\sigma_{1,w,Ed} = 19.00 \text{ kN/cm}^2 < f_{1,w,Rd} = 36.00 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow \text{Ausnutzung } U = 0.528 < 1 \text{ ok.}$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = \sigma_s = 9.39 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$\sigma_{2,w,Ed} = 9.39 \text{ kN/cm}^2 < f_{2,w,Rd} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow \text{Ausnutzung } U = 0.362 < 1 \text{ ok.}$$

oder dem *vereinfachten Verfahren* nachgewiesen.

**Nachweis für Naht 3, Pkt. 0:**

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

$$\sigma_{w,Ed} = (\sigma_{w,x}^2 + \tau_{w,y}^2 + \tau_{w,z}^2)^{1/2} = 133.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{resultierende Nahtkraft: } F_{w,Ed} = \sigma_{w,Ed} \cdot a = 13.38 \text{ kN/cm}$$

$$\text{Tragfähigkeit der Schweißnaht: } F_{w,Rd} = f_{w,d} \cdot a = 20.78 \text{ kN/cm}, a = 10.0 \text{ mm}, f_{w,d} = 207.85 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{w,Ed} = 13.38 \text{ kN/cm} < F_{w,Rd} = 20.78 \text{ kN/cm} \Rightarrow \text{Ausnutzung } U = 0.644 < 1 \text{ ok.}$$

Da die Beschreibung der Schweißnahtnachweise nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung des Schweißnahtnachweises verwiesen (Abs. 3.13.1, S. 54).

## Besonderheiten bei doppelt-symmetrischen Querschnitten mit umlaufenden Kehlnähten

Zu den doppelt-symmetrischen Querschnitten im Sinne des Schweißnahtnachweises zählen das Rohr- und Rechteckprofil sowie der Rundstahl, die umlaufend geschweißt sind.

Sie sind in der Lage, zusätzlich zu den Normal-, Querkraften und Biegemomenten auch Torsionsmomente aufzunehmen.



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

### Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch

Beim Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* (E-E) werden die Schnittgrößen (Beanspruchungen) auf Grundlage der Elastizitätstheorie bestimmt. Der Spannungsnachweis erfolgt mit dem Fließkriterium aus DIN EN 1993-1-1, Abs. 6.2.1(5), Formel 6.1.

**elastischer Querschnittsnachweis:**  
 Bemessungsgrößen:  $N_{Ed} = 0.21 \text{ kN}$ ,  $V_{z,Ed} = 3.16 \text{ kN}$ ,  $M_{z,Ed} = -0.60 \text{ kNm}$ ,  $V_{y,Ed} = -7.05 \text{ kN}$   
 elast. Spannungen:  $\max \sigma_x = 12.8 \text{ N/mm}^2$ ,  $\min \sigma_x = -12.7 \text{ N/mm}^2$ ,  $\max \tau = 6.0 \text{ N/mm}^2$ ,  $\max \sigma_v = 12.8 \text{ N/mm}^2$   
 zul. Spannungen:  $\sigma_{Rd} = 235.0 \text{ N/mm}^2$ ,  $\tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2$   
 Ausnutzungen: Tragfähigkeit  $U_o = 0.054 < 1$  **ok.**,  $c/t$ -Verhältnis  $U_{c/t} = 0.046 < 1$  **ok.**

### Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch

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

Anschließend wird mit Hilfe des Teilschnittgrößenverfahrens (TSV) mit Umlagerung nach *R. Kindmann, J. Frickel: Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit* überprüft, ob die Schnittgrößen vom Querschnitt unter Ausnutzung der plastischen Reserven aufgenommen werden können (plastische Querschnittstragfähigkeit).

Es können Dreiblechquerschnitte (I-, C-, U-, Z-, L-, T-Querschnitte) und Rohre als Profile oder typisierte Querschnitte unter zweiachsiger Beanspruchung einschl. St. Venant'scher Torsion und Wölbkrafttorsion nachgewiesen werden.

Dieses Berechnungsverfahren ist allgemeingültiger als die in DIN EN 1993 angegebenen Interaktionen für spezielle Schnittgrößenkombinationen.

Eine Begrenzung der Grenzbiegemomente wie in DIN 18800, El. 755, ist in DIN EN 1993 nicht erforderlich.

**plastischer Querschnittsnachweis:**  
 Bemessungsgrößen:  $N_{Ed} = 0.21 \text{ kN}$ ,  $V_{z,Ed} = 3.16 \text{ kN}$ ,  $M_{z,Ed} = -0.60 \text{ kNm}$ ,  $V_{y,Ed} = -7.05 \text{ kN}$   
 elast. Spannungen:  $\max \sigma_x = 12.8 \text{ N/mm}^2$ ,  $\min \sigma_x = -12.7 \text{ N/mm}^2$ ,  $\max \tau = 6.0 \text{ N/mm}^2$ ,  $\max \sigma_v = 12.8 \text{ N/mm}^2$   
 Ausnutzungen: Tragfähigkeit  $U_o = 0.043 < 1$  **ok.**,  $c/t$ -Verhältnis  $U_{c/t} = 0.046 < 1$  **ok.**

Die Grenzwerte  $\text{grenz}(c/t)$  werden je nach Nachweisverfahren aus DIN EN 1993-1-1, Abs. 5.5.2, Tab. 5.2, ermittelt. Dies entspricht der Überprüfung der erforderlichen Klassifizierung des Querschnitts. Lässt die Klassifizierung keinen plastischen Nachweis zu, wird eine Fehlermeldung ausgegeben.

## Beschreibung der Ergebnisse

Aus dem Architektenplan ist ein statisches Modell zu bilden, das mit herkömmlicher Tragwerks-Software berechnet werden kann. Dazu werden Träger, Stützen, Streben als masselose Stäbe der entsprechenden Steifigkeit abgebildet, die über Knoten zusammengefügt sind.

Die numerische Berechnung des statischen Systems liefert Stab-Schnittgrößen, die mit den äußeren Lasten im Gleichgewicht stehen. Es erfolgt die Rücktransformation in das Architektenmodell, indem die Träger, Stützen, Streben für die berechneten Schnittgrößen bemessen d.h. ausgewiesen werden. Sind nun die Querschnittswerte bekannt, ist das Tragwerk zusammenzusetzen, d.h. zu konstruieren.

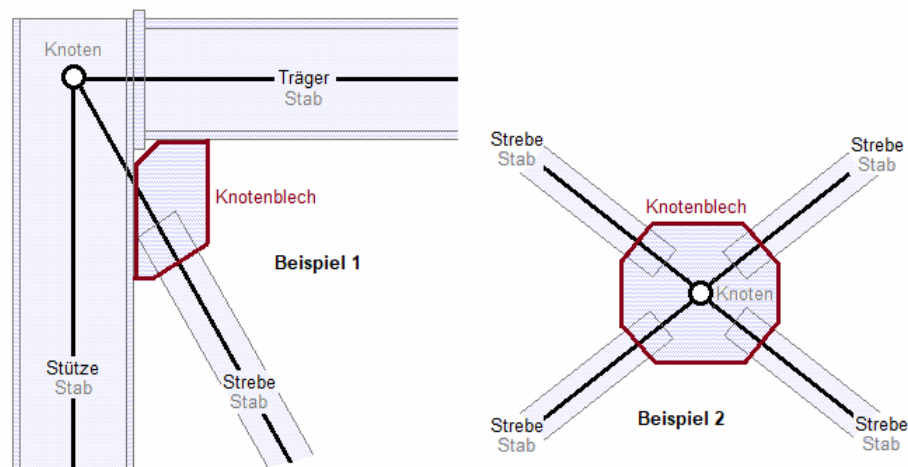
Die Ausbildung der Knoten, der Verbindungspunkte der Stäbe, erfordert eine besondere Aufmerksamkeit, da einerseits die in der Statik angenommene Steifigkeit (steif, gelenkig, nachgiebig) in die Realität umzusetzen ist, als auch die konstruktiven Bedingungen zur Gestaltung des Anschlusses beachtet werden müssen.

Im vorliegenden Programm *##-EC3FK* geht es um die wirtschaftliche Dimensionierung eines Verbindungsblechs, das in seiner Ebene Kräfte aus angreifenden Streben überträgt. Das Blech hat dabei die Funktion eines 'Abstandhalters'.

Ein typischer Fall ist der Anschluss der Diagonalstreben eines Tragsystems, deren Kräfte über Knotenbleche in das Haupttragsystem eingeleitet werden (s. Bild linke Seite).

Besondere Beachtung ist auf die Exzentrizität der Lasteinleitung in das Haupttragsystem zu legen, da der (statische) Knoten sich i.A. nicht innerhalb des Knotenblechs befindet.

Eine ausführliche Beschreibung der Ergebnisausgabe im Druckdokument erfolgt anhand von Beispiel 1 (s.u.).



Ein anderer Fall ist die Verbindung von Streben in einem Kreuzungspunkt (s. Bild rechte Seite.).

Es werden Knotenbleche eingesetzt, um die im Gleichgewicht stehenden Stabkräfte zu übertragen. Häufig haben die Streben unterschiedliche Profile, so dass das Knotenblech die Funktion der 'Umleitung' der Kräfte übernimmt.

Eine ausführliche Beschreibung der Ergebnisausgabe erfolgt anhand von Beispiel 2 (s.u.).

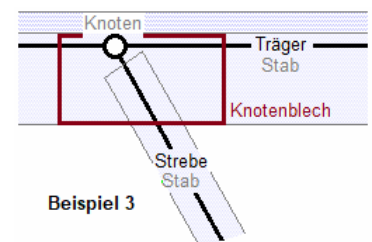
Beispiel 3 behandelt den Fall, dass Streben über einen (gelenkigen) Bolzen an das Tragbauteil angeschlossen werden.

Idealerweise befindet sich der Bolzen im Knoten der Stabachsen, was jedoch geometrisch häufig nicht möglich ist.

Das Tragbauteil (z.B. der Steg eines T-Profils) wird als Knotenblech modelliert, die Augenstäbe als beidseitig angeordnete Flachstäbe.

Eine Kontrolle der Augenstabgeometrie erfolgt nicht.

Die Ergebnisausgabe wird dokumentiert, wobei auch hier die Ausführungen der vorangestellten Bsp. 1 und 2 zu beachten sind.





## Nachweis der Schrauben

Die Schrauben werden für die Scherkräfte auf Abscheren und Lochleibung nachgewiesen.

### Schraubengruppe M1 (Lasteintrag)

Lasteinleitungspunkt  $x_M = 83.3$  mm,  $y_M = 190.7$  mm,  $\alpha_M = 64.8^\circ$   
Belastung  $F_{x,Ed} = 150.00$  kN,  $F_{y,Ed} = 0.00$  mm,  $M_{z,Ed} = -3.00$  kNm  
Die Gruppe besteht aus 4 Schrauben. Je Schraube wirken die Kräfte  $F_x$  und  $F_y$ , die bei Lastschrauben aus der aufgeteilten Belastung resultieren.

#### Nachweis der Schrauben

**Schraube 1:**  $F_{x,1} = 18.92$  kN  $F_{y,1} = 21.24$  kN  $F_1 = 28.44$  kN  
Abscheren (2-schnittig)  
Abschertragfähigkeit je Scherfuge  $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 32.37$  kN,  $\alpha_v = 0.60$   
Abschertragfähigkeit je Schraube (2-schnittig):  $\Sigma F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 64.74$  kN  
Ausnutzung  $U_{v,1} = F_1 / \Sigma F_{v,Rd} = 0.439$   
Lochleibung Knotenblech (Abstände min  $e = 64.5$  mm, min  $p = 35.0$  mm)  
Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 69.45$  kN,  $k_1 = 2.07$ ,  $\alpha_b = 0.65$   
Ausnutzung x  $U_{bx,1} = F_{x,1} / F_{b,Rd} = 0.272$   
Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 69.45$  kN,  $k_1 = 2.07$ ,  $\alpha_b = 0.65$   
Ausnutzung y  $U_{by,1} = F_{y,1} / F_{b,Rd} = 0.306$   
Ausnutzung  $U_{b,1} = \max(U_{bx,1}^2, U_{by,1}^2) = 0.306$   
Lochleibung Anschlussprofil, beidseitig (Abstände min  $e = 19.6$  mm, min  $p = 35.0$  mm)  
Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 28.77$  kN,  $k_1 = 2.07$ ,  $\alpha_b = 0.50$   
Ausnutzung z  $U_{bx,1} = F_{x,1} / (2 \cdot F_{b,Rd}) = 0.329$   
Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 28.77$  kN,  $k_1 = 2.07$ ,  $\alpha_b = 0.50$   
Ausnutzung y  $U_{by,1} = F_{y,1} / F_{b,Rd} = 0.738$   
Ausnutzung  $U_{b,1} = \max(U_{bx,1}^2, U_{by,1}^2) = 0.738$   
Gesamt  
Ausnutzung  $U_1 = 0.738 < 1$  **o.k.**  
:  
Ausnutzung der Schrauben:  $U_{sc} = 0.926 < 1$  **o.k.**

## Nachweis des Anschlussprofils

Für das angeschlossene Profil werden ein Spannungsnachweis und der Nettonachweis des Querschnitts geführt.

#### Spannungsnachweis des Anschlussprofils

plastischer Querschnittsnachweis für  $N = 75.00$  kN  
elastische Spannungen: max  $\sigma_x = 6.10$  kN/cm<sup>2</sup>, min  $\sigma_x = 6.10$  kN/cm<sup>2</sup>, max  $\tau = 0.00$  kN/cm<sup>2</sup>  
zul. Normal-/Schubspannung: zul  $\sigma_{Rd} = 23.50$  kN/cm<sup>2</sup>, zul  $\tau_{Rd} = 13.57$  kN/cm<sup>2</sup>  
Untergurt: Gurtbiegung  $M_{o,U} = 1.42$  kNm, Biegespannung  $\sigma_U = 6.13$  kN/cm<sup>2</sup>  $\Rightarrow U_{o,U} = 0.261$   
Grenznormalkräfte  $N_{max,U} = 91.86$  kN,  $N_{min,U} = -38.58$  kN  
Steg: Grenznormalkräfte  $N_{max,S} = 135.36$  kN,  $N_{min,S} = -135.36$  kN  
Hauptbieg.: Normalkraft  $N = 75.00$  kN, Grenznormalkräfte  $N_{max} = 227.22$  kN,  $N_{min} = -173.94$  kN  $\Rightarrow U_N = 0.241$   
Gesamt (ggf. aus Laststeigerung): max  $U = 0.263 < 1$  **o.k.**  
Ausnutzungen: Tragfähigkeit  $U_{\sigma} = 0.263 < 1$  **o.k.**  
  
Nachweis des Nettoquerschnitts für  $N = 75.00$  kN  
Nettoquerschnitt mit 2 Schrauben,  $d_o = 13.0$  mm  $A_{net} = 1200.7$  mm<sup>2</sup>  $\Rightarrow \beta = 0.9 \cdot A_{net} = 1080.66$  mm<sup>2</sup>  
Tragfähigkeit  $N_{u,Rd} = \beta \cdot f_u \cdot \gamma_2 = 311.23$  kN  
Nachweis:  $U_{net} = N_{Ed} / N_{u,Rd} = 0.241 < 1$  **o.k.**

## Nachweis der Schweißnähte

Die Schweißnähte werden für die sich je Nahtabschnitt ergebenden konstanten Linienlasten nachgewiesen.

### Schweißnaht L1 (Lastabtrag)

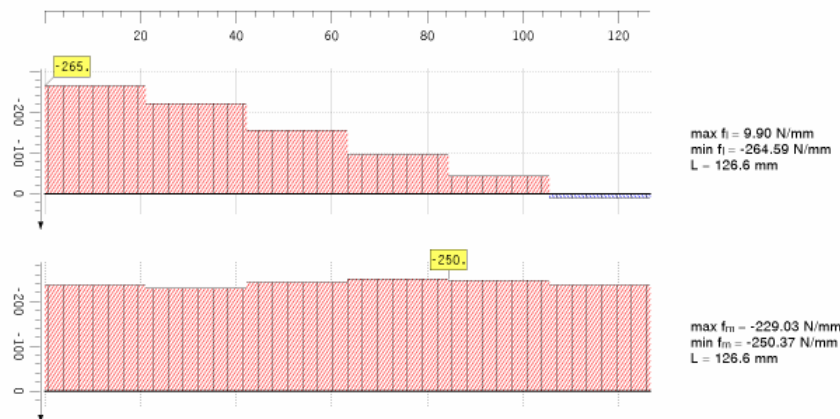
Lagerpunkt  $x_L = 93.3$  mm,  $y_L = 0.0$  mm,  $\alpha_L = 0.0^\circ$ , Länge  $l_L = 126.6$  mm  
Eine Naht wird in 6 Abschnitte unterteilt. Je Abschnitt wirken die Nahtkräfte  $F_i$  und  $F_m$ , die aus den gemittelten FEM-Ergebnissen ( $f_i$ ,  $f_m$ ) resultieren.

#### Nachweis der Schweißnähte

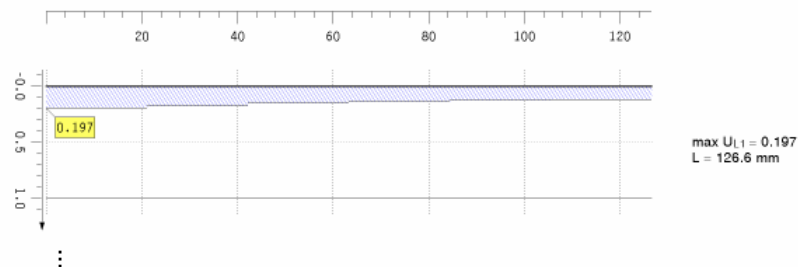
**Abschn. 1:**  $f_i = -264.59$  N/mm,  $f_m = -237.32$  N/mm  $\Rightarrow F_i = -5.58$  kN,  $F_m = -5.01$  kN,  $l_1 = 21.1$  mm  
Kräfte auf der wirksamen Nahtfläche:  $F_{Ed}(\sigma_a) = -1.68$  kN/cm  $F_{Ed}(\tau_a) = 1.68$  kN/cm  $F_{Ed}(\tau_p) = -2.65$  kN/cm  
Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche:  $\sigma_a = 4.20$  kN/cm<sup>2</sup>  $\tau_a = 4.20$  kN/cm<sup>2</sup>  $\tau_p = 6.61$  kN/cm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{1,w,Ed} = (\sigma_a^2 + 3 \cdot (\tau_a^2 + \tau_p^2))^{1/2} = 14.20$  kN/cm<sup>2</sup>  
beidseitige Naht:  $\sigma_{1,w,Ed}/2 = 7.10$  kN/cm<sup>2</sup>  
Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1):  $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 36.00$  kN/cm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{1,w,Ed} = 7.10$  kN/cm<sup>2</sup>  $< f_{1w,d} = 36.00$  kN/cm<sup>2</sup>  $\Rightarrow U = 0.197 < 1$  **o.k.**  
 $\sigma_{2,w,Ed} = |\sigma_a| = 4.20$  kN/cm<sup>2</sup>  
beidseitige Naht:  $\sigma_{2,w,Ed}/2 = 2.10$  kN/cm<sup>2</sup>  
Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.2):  $f_{2w,d} = 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 25.92$  kN/cm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{2,w,Ed} = 2.10$  kN/cm<sup>2</sup>  $< f_{2w,d} = 25.92$  kN/cm<sup>2</sup>  $\Rightarrow U = 0.081 < 1$  **o.k.**  
:  
Ausnutzung der Schweißnähte:  $U_{sa} = 0.197 < 1$  **o.k.**

Der besseren Übersichtlichkeit halber werden die Bemessungskräfte und Ausnutzungen der Schweißnähte zudem in Form von Liniengrafiken angegeben.

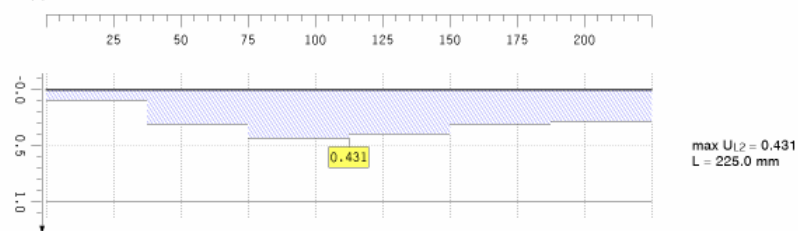
**Schnittkräfte längs  $f_l$  und quer  $f_m$**   
Gruppe L1:



**Ausnutzung  $U_{L1}$**   
Gruppe L1:



**Ausnutzung  $U_{L2}$**   
Gruppe L2:

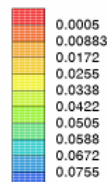
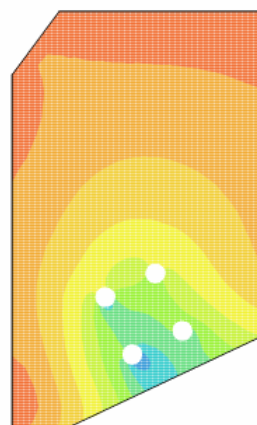


## Nachweis des Knotenblechs

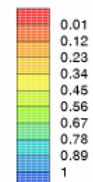
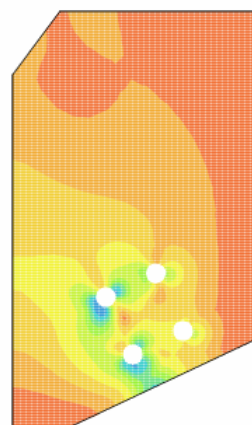
Die FEM-Ergebnisse des Knotenblechs liegen in grafischer Form als Konturenplot oder als Tabelle vor. Die Grafiken vermitteln einen Gesamteindruck des Tragverhaltens des Knotenblechs.

**Knotenblech**

**Verschiebungen  $u$  [mm]**  
max  $u$  = 0.0758 mm



**Ausnutzung  $U_p$**   
max  $U_p$  = 1.000





In den Tabellen werden die extremalen (minimalen und maximalen) Ergebnisse gelb unterlegt. Es werden die Verschiebungen, bezogenen Normalspannungen sowie zusätzlich die Normal-, Schub- und Vergleichsspannungen, die der Spannungsausnutzung zu Grunde liegen, protokolliert.

#### Ausnutzung

Kno	x mm	y mm	u <sub>x</sub> mm	u <sub>y</sub> mm	u mm	n <sub>xx</sub> kN/m	n <sub>yy</sub> kN/m	n <sub>xy</sub> kN/m	σ N/mm <sup>2</sup>	τ N/mm <sup>2</sup>	σ <sub>v</sub> N/mm <sup>2</sup>	U <sub>p</sub>
120	56.39	186.04	0.021	0.050	0.054	1020.77	-1082.50	1744.45	121.45	116.30	235.21	1.000
121	54.27	184.61	0.020	0.042	0.047	969.92	703.10	1954.70	57.86	130.31	233.01	0.992
122	52.87	182.48	0.019	0.036	0.041	830.89	1799.15	1595.00	225.48	0.00	0.00	0.959
129	82.00	218.64	0.044	0.059	0.074	-1292.81	604.78	-1158.50	111.93	77.23	174.42	0.742
130	80.61	220.78	0.044	0.062	0.076	-232.86	-673.01	-1662.94	39.47	110.86	196.03	0.834

x,y: Knotenkoordinaten; u<sub>x</sub>,u<sub>y</sub>,u: Verschiebungen; n<sub>xx</sub>,n<sub>yy</sub>,n<sub>xy</sub>: bezogene Normalspannungen; σ,τ,σ<sub>v</sub>: Spannungen; σ<sub>v</sub>=0: σ,τ Hauptspannungen  
U<sub>p</sub>: Ausnutzung

## Zusammenfassung

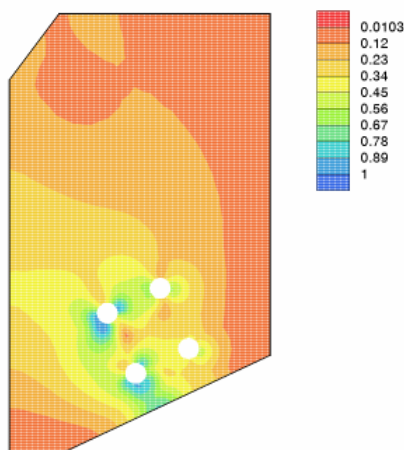
Das Endergebnis wird - aufgeschlüsselt nach den Verbindungsmitteln - ausgegeben.

Maximale Ausnutzung der Schrauben [Lk 1]	max U <sub>sc</sub> = 0.926 < 1 o.k.
Maximale Ausnutzung der Schweißnähte [Lk 1]	max U <sub>sa</sub> = 0.431 < 1 o.k.
Maximale Ausnutzung des Knotenblechs [Lk 1]	max U <sub>p</sub> = 1.000 ≤ 1 o.k.
Maximale Ausnutzung	max U = 1.000 ≤ 1 o.k.

Nachweis erbracht

Bei Bedarf wird die maximale Ausnutzung des Knotenblechs (FEM-Berechnung) aus allen Lastkombinationen grafisch (Konturenplot) und tabellarisch (mit zugehörigen Größen) dargestellt.

Maximale Ausnutzung des Blechs max U<sub>p</sub> aus 1 Lk  
max max U<sub>p</sub> = 1.000



Maximale Ausnutzung des Blechs aus 1 Lk: max U<sub>p</sub> mit Zugehörigen

Kno	x mm	y mm	u <sub>x</sub> mm	u <sub>y</sub> mm	u mm	σ <sub>x</sub> N/mm <sup>2</sup>	τ N/mm <sup>2</sup>	σ <sub>v</sub> N/mm <sup>2</sup>	U <sub>p</sub>
120	56.39	186.04	0.021	0.050	0.054	121.45	116.30	235.21	1.000

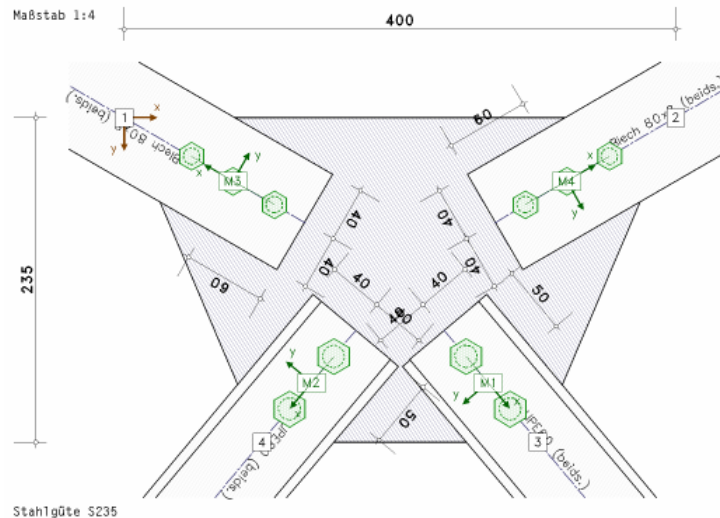
x,y: Knotenkoordinaten; u<sub>x</sub>,u<sub>y</sub>,u: Verschiebungen; n<sub>xx</sub>,n<sub>yy</sub>,n<sub>xy</sub>: Normalkräfte; σ,τ,σ<sub>v</sub>: Spannungen; σ<sub>v</sub>=0: σ,τ Hauptspannungen  
U<sub>p</sub>: Ausnutzung

Aus dem Konturenplot der Knotenblech-Ausnutzungen ist ersichtlich, dass sich ein Schub-Zugversagen im Bereich der Schrauben (Blockversagen von Schraubengruppen) einstellt.

Zwischen zwei Schrauben treten Querspannungen auf und erreichen die maximale Ausnutzung (U<sub>p</sub> = 100%). Damit übertreffen sie die Lochleibungsbeanspruchung der Schrauben (U<sub>M1</sub> = 93%). Die Tragfähigkeit der Schweißnähte ist hier nicht maßgebend (U<sub>L1</sub> = 43%).

## Beispiel 2

Knotenbl.  $t = 10$  mm, 4 x Flachstahl 80x8, geschraubt mit je 3 x M12, 8.8, Stahlgüte S235

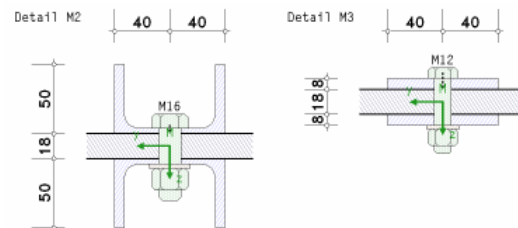


Im Zentrum des Knotenblechs treffen die Wirkungslinien der jeweils beidseitig angeordneten Streben zusammen. Es werden zwei Profiltypen verwendet, die mittels unterschiedlicher Schrauben (Größe und Anordnung) mit dem Blech verbunden werden.

Die in den Streben wirkenden Kräfte  $F_{x,Ed,M1} = F_{x,Ed,M2} = 65$  kN,  $F_{x,Ed,M3} = F_{x,Ed,M4} = 99.58$  kN stehen im Gleichgewicht, daher wird neben den Lasteintragsgruppen M1 bis M4 keine Lastabtragsgruppe benötigt.

Es handelt sich um ein **Verbindungsblech** (s. Register 1, S. 17).

Die Anschlussprofile werden für jede Gruppe im Schnitt dargestellt, hier ein Auszug aus dem Druckdokument.



Nach Kontrolle der Schraubenabstände und Ermittlung der Lastverteilung auf die Schrauben wird für Systeme ohne Auflager (Lastabtragsgruppe) die Gleichgewichtskontrolle aller Lastkombinationen durchgeführt.

Kein Auflager: Gleichgewichtskontrolle Lk 1:  $\Sigma M = 0.00$  kNm,  $\Sigma F_x = 0.00$  kN,  $\Sigma F_y = 0.01$  kN  
 $\Rightarrow$  Gleichgewicht vorhanden, kein Auflager für den Lastabtrag erforderlich o.k.

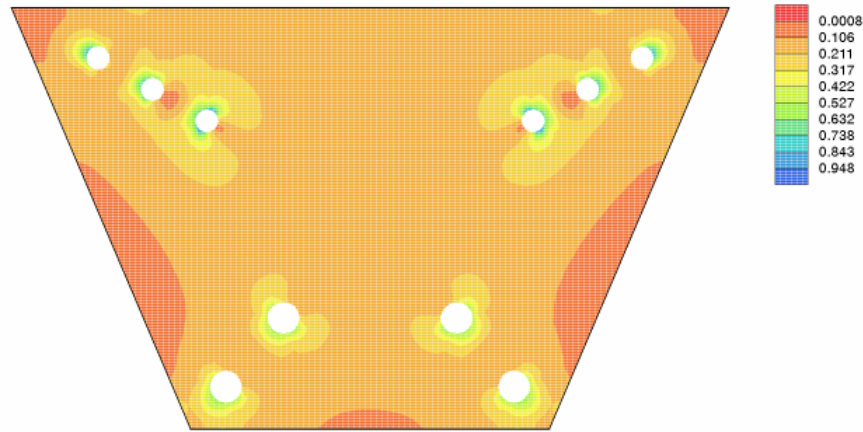
Die Momentensumme und Kräftesummen werden gegen eine geringe Toleranz verglichen. Ist diese überschritten, wird die Berechnung mit einer entsprechenden Fehlermeldung abgebrochen.

Für die FEM-Berechnung wird ein fiktives Punktauflager definiert, das im besten Fall keine Lagerreaktionen erhält. Treten jedoch nennenswerte Größen auf, sind die Ergebnisse nicht vertrauenswürdig und werden verworfen.

Da die Verformungen bei Gleichgewichtssystemen nicht aussagekräftig sind, werden sie nicht berechnet.

Im Endergebnis wird die maximale Ausnutzung des Knotenblechs (FEM-Berechnung) der berechneten Lastkombinationen grafisch und tabellarisch dargestellt. Ist nur eine Lastkombination vorhanden, entspricht dies

Maximale Ausnutzung des Blechs max  $U_p$  aus 1 Lk  
max max  $U_p = 0.948$



Maximale Ausnutzung des Blechs aus 1 Lk: max  $U_p$  mit Zugehörigen

Kno	x mm	y mm	$u_x$ mm	$u_y$ mm	$u$ mm	$\sigma_x$ N/mm <sup>2</sup>	$\tau$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_y$ N/mm <sup>2</sup>	$U_p$
250	104.52	67.64	-0.008	-0.020	0.021	222.83	0.00	0.00	0.948

x,y: Knotenkoordinaten;  $u_x, u_y, u$ : Verschiebungen;  $n_{xx}, n_{yy}, n_{xy}$ : Normalkräfte;  $\sigma_x, \tau, \sigma_y$ : Spannungen;  $\sigma_y=0$ ;  $\sigma_x, \tau$  Hauptspannungen  
 $U_p$ : Ausnutzung

Maximale Ausnutzung der Schrauben [Lk 1]

max  $U_{sc} = 0.870 < 1$  o.k.

Maximale Ausnutzung des Knotenblechs [Lk 1]

max  $U_p = 0.948 < 1$  o.k.

Maximale Ausnutzung

max  $U = 0.948 < 1$  o.k.

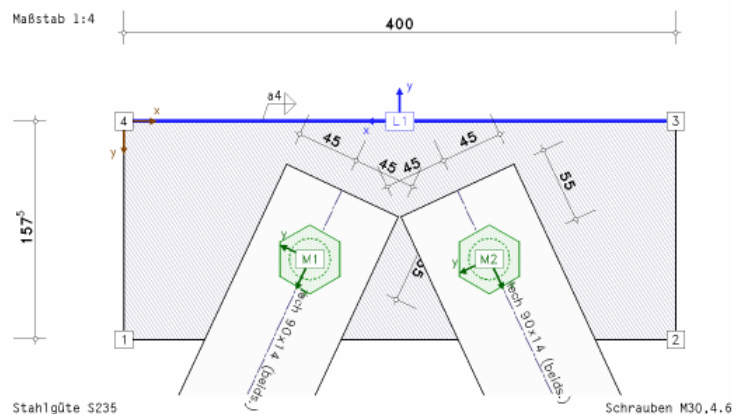
Die maximale Ausnutzung des Knotenblechs tritt bei den Schraubengruppen M1 und M2 auf. Es ist erkennbar, dass die dem Mittelpunkt des Blechs am nächsten liegenden Schrauben durch Querspannungen am höchsten beansprucht werden.

Die Ausnutzung aus den Hauptnormalspannungen ist maßgebend, daher ist in der Tabelle die Vergleichsspannung zu Null gesetzt.

Die Ausnutzung erreicht die maximale Ausnutzung ( $U_p = 95\%$ ) und übertrifft damit die maximale Beanspruchung der Schrauben einschl. Anschlussprofil ( $U_{sc} = 87\%$ ).

### Beispiel 3

**Knotenblech  $t = 21$  mm, 2 x Blech 90x14 (beidseitig) angeschraubt mit je 1 x M30, Fk 4.8 (Bolzen), Stahlgüte S235**



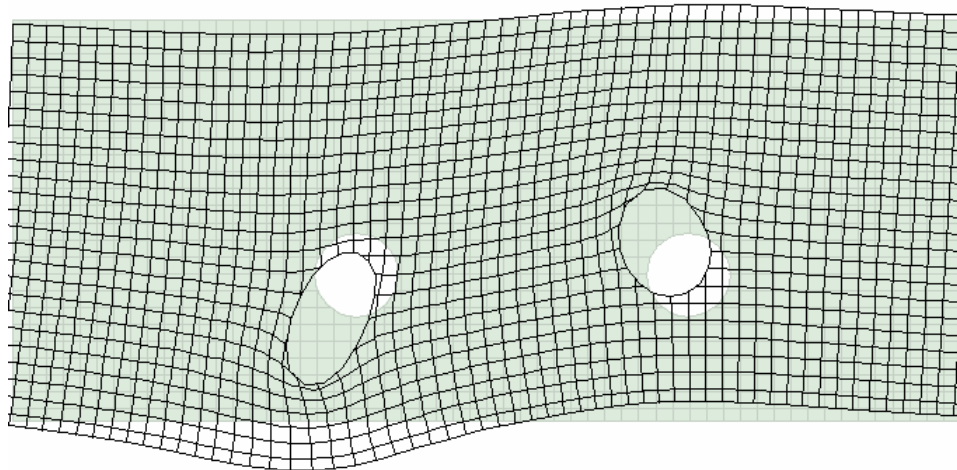
Das Knotenblech entspricht dem Steg des Tragbauteils (1/2 HE360M) mit einer Dicke von 21 mm, einer Länge (lichte Steghöhe) von 157,5 mm und einer fiktiven Breite von 400 mm.

Daran befestigt sind beidseitig zwei Zugbleche (Augenstäbe, die Ausrundung wird nicht berücksichtigt) mit je einer Schraube M30, wobei die Bolzenfestigkeitsklasse Fk 4.8 als benutzerdefinierte Festigkeit mit  $f_{ub} = 420$  N/mm<sup>2</sup> vorgegeben wird.



Das Knotenblech wird am Flansch des T-Profiles mit einer beidseitigen Stumpfnahat  $a = 4 \text{ mm}$  angeschweißt. Da es sich um eine interne Rechengröße handelt, wird sie im Weiteren nicht näher betrachtet. Ein Nachweis wird nicht geführt.

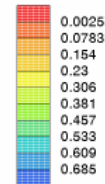
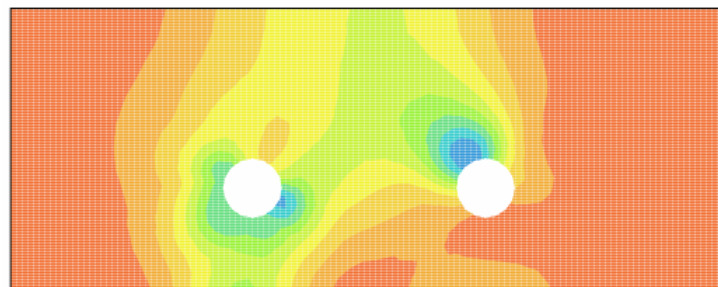
Die Schrauben sind durch die Streben mit einer Kraft  $F_x = \pm 150 \text{ kN}$  belastet.



In der Visualisierungsgrafik der Verformung ist zu erkennen, wie sich der Einfluss des Blechrandes bei der Verformung der Schraubenlöcher auswirkt.

Die Zugbelastung der linken Strebe führt zwar auf Grund des geringen Abstands zum Blechrand zu einer größeren Lochverformung und damit zu erhöhten Querspannungen, jedoch hemmt das Linienlager (die Schweißnaht) die Lochverformung der rechten Schraube und führt zu höheren Druckspannungen am Lochrand in Krafrichtung.

Maximale Ausnutzung des Blechs max  $U_p$  aus 1 Lk  
max max  $U_p = 0.685$



Maximale Ausnutzung des Blechs aus 1 Lk: max  $U_p$  mit Zugehörigen

Kno	x mm	y mm	$u_x$ mm	$u_y$ mm	$u$ mm	$\sigma_x$ N/mm <sup>2</sup>	$\tau$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_v$ N/mm <sup>2</sup>	$U_p$
184	252.50	82.29	-0.026	-0.033	0.042	70.16	83.59	160.89	0.685

$x, y$ : Knotenkoordinaten;  $u_x, u_y, u$ : Verschiebungen;  $n_{xx}, n_{yy}, n_{xy}$ : Normalkräfte;  $\sigma_x, \tau, \sigma_y$ : Spannungen;  $\sigma_{\varphi}=0$ :  $\sigma_x, \tau$  Hauptspannungen  
 $U_p$ : Ausnutzung

Maximale Ausnutzung der Schrauben [Lk 1]

max  $U_{sc} = 0.644 < 1$  o.k.

Maximale Ausnutzung des Knotenblechs [Lk 1]

max  $U_p = 0.685 < 1$  o.k.

Maximale Ausnutzung

max  $U = 0.685 < 1$  o.k.

Das Ergebnis zeigt eine relativ geringe Ausnutzung des Knotenblechs, eine weitere Steigerung der Belastung ist demnach möglich.

Jedoch wurden bolzenspezifische Nachweise (Biegung, Abscheren mit Biegung) nicht berücksichtigt, so dass zwar das Knotenblech höhere Spannungen ertragen kann, allerdings das Anschlusselement ggf. versagt.

## 3.13 Basisverbindungen

### 3.13.1 Tragfähigkeit von Schweißverbindungen

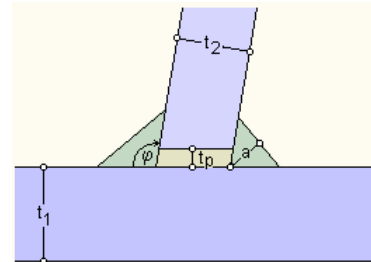


Schweißverbindungen können nach EC 3-1-8, 4, bemessen werden, wenn die zu verschweißenden Blechdicken 4 mm bzw. bei Hohlprofilen 2.5 mm oder mehr aufweisen.

Die Norm behandelt Kehlnähte, Schlitznähte, Stumpfnähte und Lochschweißungen.

#### 3.13.1.1 Kehlnähte

☉ Kehlnaht / Hohlkehlnaht			
Nahtlänge	$l_w$	400.0	mm
☑ Schweißnaht voll ausgeführt ( $l_{eff} = l_w$ )			
wirksame Nahtdicke	$a$	4.0	mm
Einbrandtiefe	$e$	0.0	mm $\leq e_{max}$
Öffnungswinkel	$\varphi$	100	°



Wird keine Nahtlänge vorgegeben, werden die Ergebnisse auf den lfd. m bezogen.

Bei vorgegebener Länge kann die Schweißnaht voll ausgeführt sein, d.h. die wirksame Nahtlänge entspricht dem eingegebenen Wert oder die Länge ist um den 2-fachen Betrag der Kehlnahtdicke zu reduzieren.

Eine Länge von weniger als 30 mm oder des 6-fachen der Nahtdicke sollte zur Übertragung von Kräften nicht in Betracht gezogen werden (EC 3-1-8, 4.5.1).

Die wirksame Nahtdicke einer Kehlnaht sollte größer als 3 mm sein (EC 3-1-8, 4.5.2).

Nach NA-DE ist zusätzlich bei einer Blechdicke von 3 mm und mehr eine Mindestdicke von

$$a \geq \sqrt{\max t} - 0.5$$

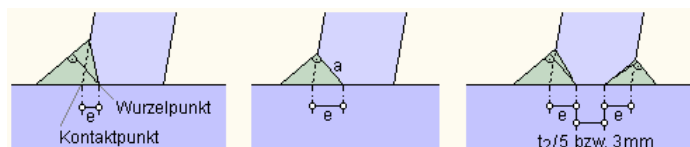
vorgeschrieben.

In Anlehnung an DIN 18800 wird auch nach NA-DE die maximale Schweißnahtdicke überprüft.

$$a \leq 0.7 \cdot \min t$$

Ist kein Futterblech angeordnet, kann die Kehlnaht tief eingebrannt sein, d.h. die Naht trägt gegenüber einer nicht eingebrannten Kehlnaht nicht so stark auf. Der Eingabewert der wirksamen Nahtdicke wird davon nicht beeinflusst!

Die maximale Einbrandtiefe ist an geometrische Gegebenheiten geknüpft (s.a. T-Stöße in EC 3-1-8, 4.7.3)

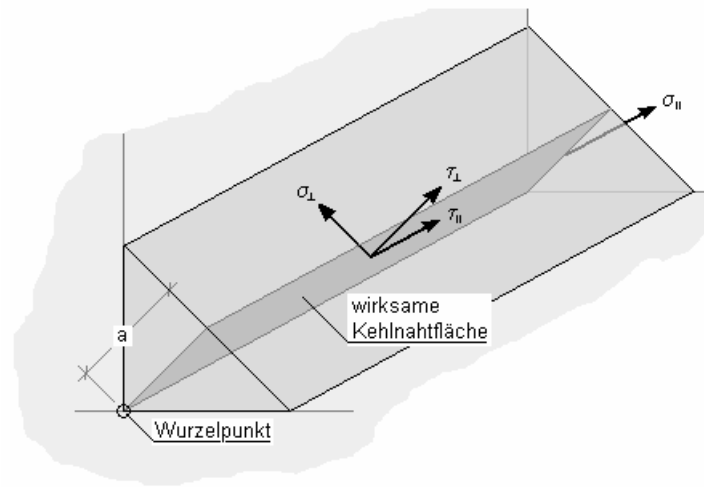


Der Öffnungswinkel bezeichnet den Winkel zwischen den zu verschweißenden Anschlussblechen und sollte bei Kehlnähten zwischen 60° und 120° liegen. Kleinere Winkel sind zugelassen, werden aber wie nicht durchgeschweißte Stumpfnähte behandelt (EC 3-1-8, 4.3.2.1).

Die Tragfähigkeit von Kehlnähten kann mit Hilfe des richtungsbezogenen Verfahrens oder des vereinfachten Verfahrens ermittelt werden.

## richtungsbezogenes Verfahren

Die Kräfte werden aufgeteilt in Anteile parallel und rechtwinklig zur Längsachse der Schweißnaht und normal und orthogonal zur Lage der wirksamen Kehlnahtfläche. Die Lage der wirksamen Kehlnahtfläche wird im Wurzelpunkt konzentriert angenommen.



Die auf die Kehlnaht einwirkenden Spannungen ergeben sich zu

$$\begin{aligned}\sigma_{\perp} &= \frac{F_{Ed}(\sigma_{\perp})}{a} && \text{Normalspannung senkrecht zur Schweißnahtachse} \\ \sigma_{||} &= 0 && \text{Normalspannung parallel zur Schweißnahtachse} \\ \tau_{||} &= \frac{F_{Ed}(\tau_{||})}{a} && \text{Schubspannung in der Ebene der Kehlnahtfläche senkrecht zur Schweißnahtachse} \\ \tau_{\perp} &= \frac{F_{Ed}(\tau_{\perp})}{a} && \text{Schubspannung in der Ebene der Kehlnahtfläche parallel zur Schweißnahtachse}\end{aligned}$$

Die Tragfähigkeit einer Kehlnaht ist ausreichend, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind.

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{... und ...} \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{... mit ...} \quad f_u = \min(f_u(\text{Blech 1}), f_u(\text{Blech 2}))$$

## vereinfachtes Verfahren

Die Resultierende aller auf die Kehlnaht einwirkenden Kräfte muss die folgende Bedingung erfüllen.

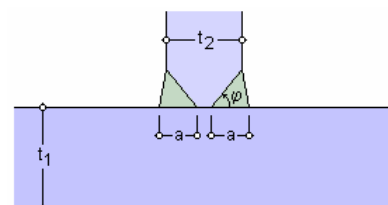
$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \quad \text{... mit ...} \quad F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a \quad \text{... und ...} \quad \text{Scherfestigkeit } f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{... mit ...} \quad f_u \text{ s.o.}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{F_{Ed}^2(\sigma_{\perp}) + F_{Ed}^2(\tau_{\perp}) + F_{Ed}^2(\tau_{||})}$$

### 3.13.1.2

## Stumpfnähte

⊕ Stumpfnah	
○ durchgeschweißt	
⊙ nicht durchgeschweißt	
Nahtlänge	$l_w$ 400, 0 mm
wirksame Nahtdicke	$a$ 4, 0 mm
Öffnungswinkel	$\varphi$ 90 °
$\varphi = 0^\circ$ : geschweißter Stoß	
⊕ einseitige Schweißnaht	
○ beidseitige Schweißnaht	



Stumpfnähte können durchgeschweißt oder nicht durchgeschweißt ausgeführt werden.

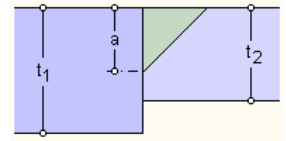
Eine durchgeschweißte Stumpfnah ist eine Schweißnaht mit vollständigem Einbrand und vollständiger Verschmelzung des Schweißwerkstoffs mit dem Grundmaterial über die gesamte Dicke der Verbindung (EC 3-1-8, 4.3.4(1)), d.h.  $a = t_2/2$  bei beidseitiger Schweißung bzw.  $a = t_2$  bei einseitiger Schweißung.

Bei einer nicht durchgeschweißten Stumpfnahht ist die Durchschweißung daher kleiner als die volle Dicke des Grundmaterials (EC 3-1-8, 4.3.4(2)).

Die Tragfähigkeit von durchgeschweißten Stumpfnähten ist mit der Tragfähigkeit des schwächeren der verbundenen Bauteile gleichzusetzen, während die Tragfähigkeit von nicht durchgeschweißten Stumpfnähten wie für Kehlnähte zu ermitteln ist (EC 3-1-8, 4.7.1+2).

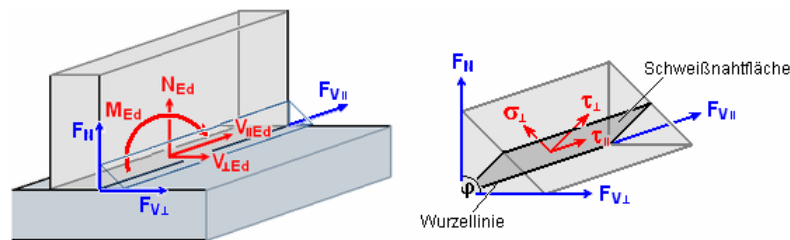
Bei einem Öffnungswinkel von  $0^\circ$  wird ein Stoß verschweißt.

Die maximale Schweißnahtdicke ist auf die Dicke des dünnsten Anschlussblechs beschränkt.



### 3.13.1.3

### Umrechnung von Blechschnittgrößen in Schweißnahtkräfte



Schnittgrößen, die im Anschlussblech wirken, werden in die Bemessungsspannungen bzw. resultierende Bemessungskraft der Schweißnaht umgerechnet, die in der Schweißnahtfläche wirken.

Bei beidseitiger Naht halbieren sich die Kräfte (s. Vorfaktor 0.5). Die Normalkraft im Blech  $N_{Ed}$  wirkt als Zugkraft senkrecht zur Nahtachse, das Biegemoment  $M_{Ed}$  dreht senkrecht zur Nahtachse um  $V_{Ed}$  und erzeugt zusätzlich zur Normalkraft Zug in der Wurzellinie.

Bei einseitigem Anschluss von Kehlnähten oder nicht durchgeschweißten Stumpfnähten sollte das sich aus der Exzentrizität ergebende Zusatzmoment berücksichtigt werden, sofern es Zug in der Schweißnahtwurzel erzeugt (EC 3-1-8, 4.12).

Es gelten folgende Beziehungen.

Bemessungswerte der im Wurzelpunkt wirkenden Kräfte

$$\begin{aligned} F_{N,Ed} &= 0.5 \cdot (N_{Ed} + M_{Ed} \cdot A_w / W_w) / l_{eff} \quad \dots \quad A_w = a \cdot l_{eff} \quad \dots \quad W_w = a \cdot l_{eff}^2 / 6 \\ F_{V_{II},Ed} &= 0.5 \cdot V_{II,Ed} / l_{eff} \\ F_{V_{\perp},Ed} &= 0.5 \cdot V_{\perp,Ed} / l_{eff} \end{aligned}$$

Bemessungswerte der auf die wirksame Nahtfläche einwirkenden Kräfte ( $\alpha = \varphi/2$ )

$$\begin{aligned} F_{Ed}(\sigma_{\perp}) &= F_{N,Ed} \cdot \sin \alpha + F_{V_{\perp},Ed} \cdot \cos \alpha \\ F_{Ed}(\tau_{\perp}) &= F_{N,Ed} \cdot \cos \alpha - F_{V_{\perp},Ed} \cdot \sin \alpha \\ F_{Ed}(\tau_{\parallel}) &= F_{V_{II},Ed} \end{aligned}$$

aus exzentrischer Belastung bei einseitiger Schweißnaht

$$\begin{aligned} \text{Zusatzmoment senkrecht zur Naht} \quad \Delta M_{\perp} &= N_{Ed} \cdot e_{\perp} \quad \dots \quad \text{mit} \quad e_{\perp} = t_2/2 - e + a/2 \cdot \cos \alpha \\ \text{Zusatzspannung} \quad \Delta \sigma_{\perp} &= \Delta M_{\perp} / W_{w,\perp} \quad \dots \quad \text{mit} \quad W_{w,\perp} = l_{eff} \cdot a^2 / 6 \end{aligned}$$

Bemessungswert der auf die wirksame Nahtfläche einwirkenden resultierenden Kraft

$$F_{w,Ed} = (F_{Ed}^2(\sigma_{\perp}) + F_{Ed}^2(\tau_{\perp}) + F_{Ed}^2(\tau_{\parallel}))^{0.5}$$

Bemessungswerte der auf die wirksame Nahtfläche einwirkenden Spannungen

$$\sigma_{\perp} = F_{Ed}(\sigma_{\perp}) / a \quad \dots \quad \tau_{\perp} = F_{Ed}(\tau_{\perp}) / a \quad \dots \quad \tau_{\parallel} = F_{Ed}(\tau_{\parallel}) / a$$

Die Berechnung der Tragfähigkeit erfolgt mit den Parametern der genormten Größen oder mit den vom Anwender eingegebenen Werten. Durch Betätigen des Buttons **Vorgabe** werden die im Programm verwendeten Parameter freigegeben und können verändert werden.

Die Rechenparameter für die gängigen Schraubengrößen M12, M16, M20, M22, M24, M27, M30, M36 und die nach EC 3-1-8, 3.1(2), zugelassenen Festigkeitsklassen 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.8, 8.8, 10.9 sind im Programm hinterlegt.

Die in Deutschland nicht vorgesehenen **Festigkeitsklassen** (s. NA-DE) sind gekennzeichnet; bei Anwahl des deutschen Nationalen Anhangs können diese nicht verwendet werden.

Schraubenverbindungen sind auf Abscheren, Gleiten, Lochleibung zwischen Schaft und Anschlussblechen und Zug zu bemessen.

<b>Verbindungsmittel</b>		Schraube	<input checked="" type="checkbox"/> Vorgabe
Schraubengröße		M20	<input checked="" type="checkbox"/> Vorgabe
Schaftdurchmesser	d	20.0	mm
Nennlochspiel	$\Delta d$	2.0	mm
Bruttofläche	A	3.142	cm <sup>2</sup>
Spannungsfläche	$A_s$	2.450	cm <sup>2</sup>
Schraubenkopf - Schlüsselweite	$d_s$	32.0	mm
Schraubenkopf - Eckenmaß	$d_e$	35.03	mm
Schraubenkopfhöhe	$t_k$	12.5	mm
Höhe der Mutter	$t_m$	16.0	mm
Durchmesser der Unterlegscheibe	$d_p$	37.0	mm
Blechdicke der Unterlegscheibe	$t_p$	4.0	mm
Festigkeitsklasse		8.8	<input type="checkbox"/> Vorgabe
<input type="radio"/> normale Schlüsselweite <input checked="" type="radio"/> große Schlüsselweite <small>FK 8.8 oder 10.9: HV-Schraube planmäßig vorgespannt</small>			
<input type="checkbox"/> gleitfeste Verbindung (kontrolliert voll vorgespannt)			
<input type="radio"/> normales Lochspiel <input type="radio"/> kurzes Langloch $\perp$ Kraftrichtung <input checked="" type="radio"/> großes Langloch $\perp$ Kraftrichtung		<input type="radio"/> übergroßes Loch <input type="radio"/> kurzes Langloch $\parallel$ Kraftrichtung <input type="radio"/> großes Langloch $\parallel$ Kraftrichtung	
großes Lochspiel $\Delta d_{\text{groß}}$		5.0	mm
<input checked="" type="checkbox"/> Senkschraube $t_{k,s}$ 12.5 mm $t_{m,s}$ 0.0 mm			

Bei den gängigen Schraubengrößen kann zwischen normaler und großer Schlüsselweite (Schraubenkopfgröße) unterschieden werden. Die Auswirkungen betreffen die Schraubengeometrie in Eckenmaß/Schlüsselweite/Höhe des Schraubenkopfes, Höhe der Mutter und Blechdicke/Durchmesser der Unterlegscheiben.

Bei normaler Schlüsselweite wird nur eine Unterlegscheibe, bei großer Schlüsselweite werden zwei Unterlegscheiben angeordnet.

Hochfeste Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 oder 10.9 mit großer Schlüsselweite und normalem Lochspiel werden programmintern als planmäßig vorgespannt, in einer gleitfesten Verbindung als kontrolliert voll vorgespannt angesehen (EC 3-1-8, 3.1.2).

Wird die Schraube als **Senkschraube** verwendet, reduzieren sich der Lochleibungswiderstand und die Zugtragfähigkeit infolge der um die Versenkung des Kopfes  $t_{k,s}$  und/oder der Mutter  $t_{m,s}$  verringerten Blechdicke.

Das Nennlochspiel bestimmt die Lochleibungstragfähigkeit und den Gleitwiderstand.

Im EC 3-1-8 werden die im Bild oben angegebenen Locharten unterschieden.

<b>Verbindungsmittel</b>		Injektionsschrauben	<input checked="" type="checkbox"/> Vorgabe
Schraubengröße		M20	<input type="checkbox"/> Vorgabe
Festigkeitsklasse		8.8	<input type="checkbox"/> Vorgabe
Festigkeit des Injektionsharzes		$f_{b, \text{resin}}$	240.0 N/mm <sup>2</sup>

### 3.13.3

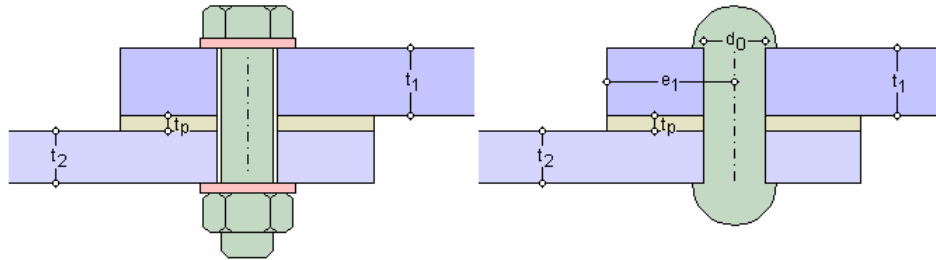
### Tragfähigkeit von Schraubenverbindungen



Schrauben (einschl. Injektionsschrauben) und Niete können auf Abscheren (EC 3-1-8, 3.6+3.7+3.9) und Zug (EC 3-1-8, 3.6) beansprucht werden, wohingegen Bolzenverbindungen auf Abscheren und Biegung (EC 3-1-8, 3.13.2) bemessen werden.

#### 3.13.3.1

#### Schrauben und Niete



Zur Ermittlung der Tragfähigkeit sind Schraubenverbindungen in Kategorien einzuteilen (Niete sind nicht vorgespannt und können demnach nur nach Kategorie A und/oder D bemessen werden).

#### Scherbeanspruchung

Kategorie A: Scher-/Lochleibungsverbindung für Schrauben aller Festigkeitsklassen ohne Vorspannung

Bemessungswert der Schertragfähigkeit

Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit

Kategorie B: Gleitfeste Verbindung (GZG) für hochfeste vorgespannte Schrauben

Bemessungswert des Gleitwiderstands im GZG

Bemessungswert der Schertragfähigkeit

Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit

Kategorie C: Gleitfeste Verbindung (GZT) für hochfeste vorgespannte Schrauben

Bemessungswert des Gleitwiderstands im GZT

Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit

bei Zugverbindungen: Bemessungswert des plastischen Widerstands des Nettoquerschnitts im kritischen Schnitt durch die Schraubenlöcher

#### Zugbeanspruchung

Kategorie D: Zugbeanspruchung für Schrauben aller Festigkeitsklassen ohne Vorspannung

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit

Bemessungswert der Durchstanztragfähigkeit

Kategorie E: Zugbeanspruchung für hochfeste vorgespannte Schrauben

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit

Bemessungswert der Durchstanztragfähigkeit

### 3.13.3.2

## Berechnung der Tragfähigkeiten von Schrauben und Nieten

Beispielhaft ist hier das Eingabeblatt zur Berechnung der Tragfähigkeit einer Schraube dargestellt.

☒ einschnittiger Anschluss  
☐ mehrschnittiger Anschluss

Kategorie der Scherverbindungen C

☐ Gewinde liegt in der Scherfuge  
☒ Schaft liegt in der Scherfuge

In Krafrichtung:

Randabstand  $e_1$  50.0 mm

Lochabstand  $p_1$  70.0 mm

☒ innen liegende Schraube  
☐ am Rand liegende Schraube

Quer zur Krafrichtung:

Randabstand  $e_2$  30.0 mm

Lochabstand  $p_2$  55.0 mm

☐ innen liegende Schraube  
☒ am Rand liegende Schraube

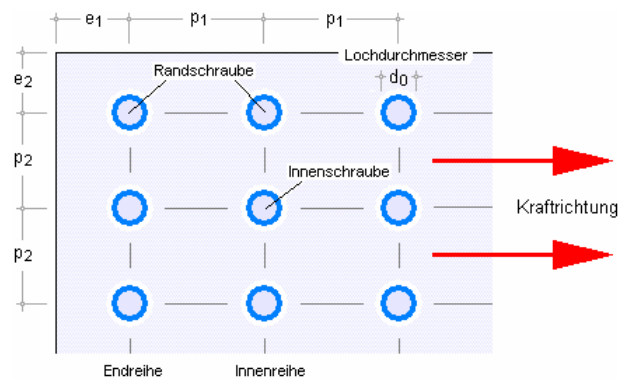
☒ einschnittiger Anschluss  
☐ mehrschnittiger Anschluss

Gleitflächenklasse A

Nettoquerschnitt im kritischen Schnitt  $A_{net}$  11.250 cm<sup>2</sup>

Kategorie der Zugverbindungen E

Die Abstände sind folgendermaßen definiert:



Rand- und Lochabstände werden nach EC 3-1-8, Tab.3.3, überprüft.

Ist der Lochabstand  $p_1 = 0$ , besteht der Anschluss nur aus einer Schraubenreihe (s. bes. Regel zur Lochleibungstragfähigkeit für einschnittige Schraubenverbindungen).

Ist auch  $p_2 = 0$ , besteht die Verbindung nur aus einer Schraube / einem Niet.



Verbindungen mit nur einem Niet sind nicht zu verwenden (EC 3-1-8, 3.6.1(10))!

### Abscheren je Scherfuge

Schraube

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot \bar{A}}{\gamma_{M2}} \quad \text{mit} \quad \begin{cases} \text{Gewinde in der Scherfuge} & \left\{ \begin{array}{l} \alpha_v = 0.6 \quad \text{für} \quad \dots \text{FK 4.6, 5.6, 8.8} \\ \alpha_v = 0.5 \quad \text{für} \quad \dots \text{FK 4.8, 5.8, 6.8, 10.9} \end{array} \right\} \quad \dots \text{und} \quad \bar{A} = A_s \\ \text{Schaft in der Scherfuge} & \alpha_v = 0.6 \quad \dots \quad \text{und} \quad \bar{A} = A \end{cases}$$

Niet

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ur} \cdot A_0}{\gamma_{M2}}$$

Die Abschertragfähigkeit wird nur angesetzt, wenn die Schraubenlöcher ein normales Lochspiel haben (EC 3-1-8, 3.6.1(4)).

Übertragen Schrauben oder Niete Scherkräfte über Futterbleche, ist die Schertragfähigkeit abzumindern mit

$$\beta_p = \frac{9 \cdot d}{8 \cdot d + 3 \cdot t_p} \leq 1.0 \quad \dots \quad (\text{EC 3-1-8, 3.6.1(12)})$$

### Lochleibung

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad \dots \text{ mit } \dots \quad \alpha_b = \min \left( \alpha_d, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1.0 \right)$$

Beiwert  $\alpha_d$  in Kraftrichtung

- in der Endreihe liegende Schrauben/Niete  $\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0}$
- in der Innenreihe liegende Schrauben/Niete  $\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}$

Beiwert  $k_1$  quer zur Kraftrichtung

- am seitlichen Rand liegende Schrauben/Niete  $k_1 = \min \left( 2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5 \right)$
- innen liegende Schrauben/Niete .....  $k_1 = \min \left( 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5 \right)$

Die Lochleibungstragfähigkeit wird bei Schraubenverbindungen mit großem Lochspiel auf 80%, mit Langlöchern, deren Längsachse quer zur Kraftrichtung verläuft, auf 60% abgemindert (EC 3-1-8, Tab.3.4, 1)).

Bei Senkschrauben wird bei der Berechnung der Lochleibungstragfähigkeit die Blechdicke  $t$  abzüglich der Hälfte der Senkung angesetzt (EC 3-1-8, Tab.3.4, 2)).

In einschnittigen Anschlüssen mit nur einer Schraubenreihe ( $p_1 = 0$  und  $n = 1$ ) ist die Lochleibungstragfähigkeit zu begrenzen

$$\Rightarrow k_1 \cdot \alpha_b \leq 1.5.$$



Verbindungen mit nur einem Niet sollten nicht verwendet werden (EC 3-1-8, 3.6.1(10))!

### Zug

Schraube

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad \dots \text{ mit } \dots \quad \begin{cases} k_2 = 0.63 & \text{bei Senkschrauben} \\ k_2 = 0.9 & \text{sonst} \end{cases}$$

Niet

$$F_{t,Rd} = \frac{0.6 \cdot f_{ur} \cdot A_0}{\gamma_{M2}}$$

### Durchstanzen

Schraube (bei Niet nicht erforderlich)

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

### Kombination von Scher-/Lochleibung und Zug

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1.0$$



## Gleiten

im GZT

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,C}$$

im GZG

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3,ser}} \cdot F_{p,C}$$

$F_{p,C} = 0.7 \cdot f_{ub} \cdot A_s$  Vorspannkraft bei Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9

$k_s = 1.0$  für Schrauben in Löchern mit normalem Lochspiel

$k_s = 0.85$  ..... übergroßen Löchern

$k_s = 0.85$  ..... kurzen Langlöchern  $\perp$  Krafrichtung

$k_s = 0.7$  ..... großen Langlöchern  $\perp$  Krafrichtung

$k_s = 0.76$  ..... kurzen Langlöchern  $\parallel$  Krafrichtung

$k_s = 0.63$  ..... großen Langlöchern  $\parallel$  Krafrichtung

$n$  ..... Anzahl Reiboberflächen (=1 bei einschnittigen Verbindungen)

$\mu$  ..... Reibungszahl für vorgespannte Schrauben nach Gleitflächenklassen (s. EC 3-1-8, 3.9.1, Tab.3.7)

Bei kombinierter Scher- und Zugbeanspruchung ist der Gleitwiderstand je Schraube wie folgt anzunehmen (EC 3-1-8, 3.9.2):

im GZT

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot (F_{p,C} - 0.8 \cdot F_{t,Ed})$$

im GZG

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3,ser}} \cdot (F_{p,C} - 0.8 \cdot F_{t,Ed,ser})$$

## Querschnittsversagen bei Zugverbindungen

Bemessungswert des plastischen Widerstands des Nettoquerschnitts im kritischen Schnitt durch die Schraubenlöcher (EC 3-1-1, 6.2)

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

## 4 Allgemeines

### 4.1 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®-Schreibtischs heraus aufgerufen (Beschreibung s. Handbuch *DTE®-DeskTopEngineering*). Einen direkten Zugang zu diesem Werkzeug liefert die kleine Schaltfläche hinter dem **Schraubenziehersymbol**.



### 4.2 Stahlsorten

In **pcae**-Programmen werden folgende typisierten Stahlsorten vorgehalten (s. EC3-1-1, 3.2.1, Tab.3.1)

- S 235 (auch W und H)
- S 275 (auch N/NL, M/ML, H, NH/NLH und MH/MLH)
- S 355 (auch N/NL, M/ML, W, H, NH/NLH und MH/MLH)
- S 450, S 460 (auch N/NL, M/ML, Q/QL/QL1, H, NH/NLH und MH/MLH)

Natürlich können die zur Bemessung in diesem Programm verwendeten Parameter verändert und an geeignete Produktnormen angepasst werden.

Stahlsorte	S 275	<input checked="" type="checkbox"/> Vorgabe
char. Streckgrenze	$f_y$	275.0 N/mm <sup>2</sup>
char. Zugfestigkeit	$f_u$	430.0 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul	E	210000 N/mm <sup>2</sup>
Korrelationsbeiwert	$\beta_w$	0.85

Der E-Modul wird nur bei der Bemessung einer Schraubverbindung mit Bolzen, der Korrelationsbeiwert nur bei der Bemessung einer Schweißverbindung mit Kehlnähten oder einer Lochschweißung relevant.

## Ausdrucksteuerung

Eingabeparameter und Ergebnisse werden in einer **Druckliste** ausgegeben, deren Umfang über die folgenden Optionen beeinflusst werden kann.

Zunächst kann eine maßstäbliche **grafische Darstellung** der Basisverbindung in die Liste eingefügt werden.

Der Maßstab kann entweder vorgegeben werden oder die Zeichnung wird im Falle einer Eingabe von 0 größtmöglich in den dafür vorgesehenen Platz gesetzt.

Anschließend werden die **Eingabeparameter** und die **Materialsicherheitsbeiwerte** ausgedruckt.

I.A. reicht die Ausgabe der Typbezeichnungen der Schrauben, Niete, Bolzen sowie der Stahlgüten aus; bei Aktivierung der **zusätzlichen Infos** werden zudem die Rechenparameter ausgegeben.

Im Anschluss an die Ergebnisse sind die zur Bemessung der Basisverbindungen maßgebenden **Parameter des nationalen Anhangs** angeordnet.

Zum Schluss kann eine Liste der verwendeten **Vorschriften** (Normen) abgedruckt werden.

### Eingabeprotokoll

- ☒ Grafik im Maßstab 1:
- ☒ Eingabeparameter
- ☒ Materialsicherheitsbeiwerte
- ☐ zusätzliche Infos
- ☒ Parameter des nationalen Anhangs
- ☒ Vorschriften

### Ergebnisse

- ☐ ausführlich
- ☒ standard
- ☐ minimal

Der Umfang der Ergebnisdarstellung kann **ausführlich**, **standard** oder **minimal** sein

- eine ausführliche Ergebnisausgabe beinhaltet die Ausgabe sämtlicher verwendeter Formeln, um Schritt für Schritt den Lösungswert nachzuvollziehen
- ist dagegen die Ergebnisausgabe minimal, wird nur das Endergebnis ohne weiteren Kommentar ausgedruckt
- im Normalfall reicht die Standardausgabe, bei der nur die wichtigsten Zwischenwerte zusätzlich zum Endergebnis ausgegeben werden

Bei einer großen Anzahl an Lastkombinationen ist es sinnvoll, die Ergebnisse in sehr kompakter Form tabellarisch auszugeben.

- ☒ tabellarisch
- ☐ maßgebendes Lastkollektiv detailliert
- ☒ Lastkollektiv detailliert: Nr.
- ☐ keine detaillierte Ausgabe

Optional kann das maßgebende Lastkollektiv, das zur maximalen Ausnutzung geführt hat, in der Standard-Form angefügt werden. Alternativ kann es sinnvoll sein, den Berechnungsablauf eines frei wählbaren Lastkollektivs ausgeben zu lassen. Es kann auch **keine detaillierte Ausgabe** erfolgen.

Neben der tabellarischen Ausgabe kann auch nur das **maßgebende Lastkollektiv** protokolliert werden.

- ☒ maßgebendes Lastkollektiv

Im Programm #H-EC3FS, freier Stirnplattenstoß, können die FEM-Ergebnisse in einer optimierten Tabelle ausgegeben werden.

- ☒ optimierte Tabelle (FEM-Ergebnisse) nur 4H-EC3FS
- ☒ Bemessungsgrößen nur 4H-EC3BT - Familie  
4H-EC3GT - Familie
- ☒ Zwischenergebnisse
- ☒ Erläuterungsskizzen

In den Programmen der #H-EC3BT-Familie (#H-EC3BT, Biegesteifer Trägeranschluss, #H-EC3RE, Rahmenecke, #H-EC3TT, Thermische Trennschicht, #H-EC3IH, Typisierter IH-Anschluss) und der #H-EC3GT-Familie (#H-EC3GT, Gelenkiger Trägeranschluss, #H-EC3IS, Typis. IS,IW,IG,IK-Anschluss) kann die Herleitung der Bemessungsgrößen protokolliert werden.

Um den Umfang des Berechnungsprotokolls zu reduzieren, kann die Ausgabe von **Zwischenergebnissen** und/oder **Erläuterungsskizzen** unterdrückt werden.

Das Abschalten der Erläuterungsskizzen betrifft nicht die Ausgabe der Übersichtsgrafik (s.o.).



Zum Druckmanager und den dortigen Interaktionsmöglichkeiten sowie zu der zum Lieferumfang gehörenden **englischsprachigen** Druckdokumentenausgabe s. DTE®-Handbuch (s. ggf. www.pcae.de).

## Normen

- /1/ DIN EN 1990, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /2/ DIN EN 1990/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /3/ DIN EN 1991-1-2, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung EN 1991-1-2, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /4/ DIN EN 1991-1-2/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe September 2015
- /5/ DIN EN 1993-1-1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dez. 2010
- /6/ DIN EN 1993-1-1/A1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005/A1:2014, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Juli 2014
- /7/ DIN EN 1993-1-1/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dez. 2018
- /8/ DIN EN 1993-1-2, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung EN 1993-1-2, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /9/ DIN EN 1993-1-2/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /10/ DIN EN 1993-1-3, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-3: Allgemeine Regeln - Ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche; Deutsche Fassung EN 1993-1-3:2006 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /11/ DIN EN 1993-1-3/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-3: Allgemeine Regeln - Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /12/ DIN EN 1993-1-5, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile; Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017 + A2:2019, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Oktober 2019
- /13/ DIN EN 1993-1-5 Berichtigung 1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile; Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017 + A2:2019, Berichtigung 1, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Juli 2020
- /14/ DIN EN 1993-1-5/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /15/ DIN EN 1993-1-8, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /16/ DIN EN 1993-1-8/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe November 2020
- /17/ DIN EN 1993-1-9, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung; Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005 + AC:2009, Deutsches Institut für Nor-

mung e.V., Ausgabe Dezember 2010

- /18/ DIN EN 1993-1-9/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /19/ DIN EN 1993-6, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 6: Kranbahnen; Deutsche Fassung EN 1993-6:2007 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /20/ DIN EN 1993-6/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 6: Kranbahnen; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /21/ DIN EN 1999-1-1, Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln; Deutsche Fassung EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 + A2:2013, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe März 2014
- /22/ DIN EN 1999-1-1/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /23/ DIN 18800-1, Stahlbauten - Teil 1: Bemessung und Konstruktion; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe November 2008

### **Bemessung**

- /24/ E. Kahlmeyer, K. Hebestreit, W. Vogt: Stahlbau nach EC3, Bemessung und Konstruktion, Träger - Stützen - Verbindungen, 6. Auflage, Werner-Verlag, 2012
- /25/ R. Kindmann, M. Stracke: Verbindungen im Stahl- und Verbundbau, 3. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 2012
- /26/ R. Kindmann, M. Krüger: Stahlbau Teil 1: Grundlagen, 5. Aufl., Verl. Ernst & Sohn, 2013
- /27/ R. Kindmann: Stahlbau Teil 2: Stabilität und Theorie II. Ordnung, 4. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 2008
- /28/ R. Kindmann, J. Frickel: Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit, Grundlagen, Methoden, Berechnungsverfahren, Beispiele, Verlag Ernst & Sohn, 2002
- /29/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 1: Tragwerksplanung, Grundlagen, 5. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014
- /30/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 2: Verbindungen und Konstruktionen, 3. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2011
- /31/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 3: Komponentenmethode, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014
- /32/ D. Ungermann, K. Weynand, J.-P. Jaspart, B. Schmidt: Momententragfähige Anschlüsse mit und ohne Steifen, Stahlbau Kalender 2005, Verlag Ernst & Sohn, 2005
- /33/ D. Ungermann, S. Schneider: Stahlbaunormen DIN EN 1993-1-8: Bemessung von Anschlüssen, Stahlbau Kalender 2013, Verlag Ernst & Sohn, 2013
- /34/ D. Ungermann, M. Feldmann, O. Oberegge et.al.: Entwicklung eines Bemessungsmodells für geschraubte, momententragfähige Kopfplattenverbindungen mit 4 Schrauben in einer Schraubenreihe auf der Grundlage der prEN 1993-1-8:2003: Forschungsbericht zum Forschungsvorhaben AiF Nr. 15059, Deutscher Ausschuss für Stahlbau (DAST), Stahlbau Verlags- und Service GmbH, 2009
- /35/ Björn Schmidt: Zum Tragverhalten von geschraubten momententragfähigen Stirnplattenverbindungen mit 4 Schrauben in jeder Schraubenreihe, Dissertation, TU Dortmund, 2008
- /36/ Beispiele zur Bemessung von Stahltragwerken nach DIN EN 1993 Eurocode 3, bauforumstahl e.V., Verlag Ernst & Sohn GmbH & Co. KG
- /37/ K. Weynand, R. Oerder: Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach DIN EN 1993-1-8, Stahlbau Verlag- und Service GmbH, Gesamtausgabe 2013
- /38/ L. Nasdala, B. Hohn, R. Rühl: Bemessung von Stirnplattenanschlüssen mit elastomerer Zwischenschicht, Bauingenieur, Bd. 80, Dezember 2005
- /39/ Y. Ciupack, H. Pasternak: Thermisch getrennte Stirnplattenstöße, Bauingenieur, Bd. 88,

Dezember 2013

- /40/ Druckschrift Kerncompactlager, Calenberg Ingenieure GmbH, Salzhemmendorf, [www.calenberg-ingenieure.de](http://www.calenberg-ingenieure.de)
- /41/ ECCS Document No. 126: European Recommendations for the Design of Simple Joints in Steel Structures. ECCS TC10 - Structural Connections, 2009. J.P. Jaspart, J.F. Demonceau, S. Renkin, M.L. Guillaume
- /42/ D. Ungermann, R. Puthli, Th. Ummenhofer, K. Weynand: Eurocode 3, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Band 2: Anschlüsse, DIN EN 1993-1-8 mit Nationalem Anhang, Kommentar und Beispiele, 2015
- /43/ B. Braun, U. Kuhlmann: Bemessung und Konstruktion von aus Blechen zusammengesetzten Bauteilen nach DIN EN 1993-1-5, Stahlbau-Kalender 2009, Verlag Ernst & Sohn, 2009
- /44/ U. Kuhlmann, A. Zizza, B. Braun: Stahlbaunormen DIN EN 1993-1-5: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Plattenförmige Bauteile, Stahlbau Kalender 2012, Verlag Ernst & Sohn, 2012
- /45/ R. Timmers, G. Lener, F. Sinur, B. Kövesdi, R. Chacon: Stabilitätsnachweise nach EN 1993-1-5 - Theorie und Beispiele, Stahlbau-Kalender 2015, Verlag Ernst & Sohn, 2015
- /46/ M. Feldmann, U. Kuhlmann, M. Mensinger: Entwicklung und Aufbereitung wirtschaftlicher Bemessungsregeln für Stahl- und Verbundträger mit schlanken Stegblechen im Hoch- und Brückenbau: Forschungsbericht zum Forschungsvorhaben AiF Nr. 14771, Deutscher Ausschuss für Stahlbau (DAST), Stahlbau Verlag GmbH, 2008
- /47/ C. Seeßelberg: Kranbahnen, 4. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014
- /48/ A. Steurer: Das Tragverhalten und Rotationsvermögen geschraubter Stirnplattenverbindungen, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Zürich, Dezember 1999
- /49/ T. Laufs, C. Radlbeck: Aluminiumbau-Praxis nach Eurocode 9, Berechnung und Konstruktion, Bauwerk, Bauwerk, Beuth-Verlag GmbH, 2015
- /50/ J.-M. Franssen, P. Vila Real: Fire Design of Steel Structures, 2nd Edition, ECCS - European Convention for Constructional Steelwork, 2015
- /51/ DAST-Richtlinie 027: Ermittlung der Bauteiltemperatur feuerverzinkter Stahlbauteile im Brandfall, Ausgabe Nov. 2020
- /52/ M. Mensinger, M. Stadler: Brandschutznachweise, Workshop Eurocode 3 - Rechenbeispiele, 8. November 2008, München
- /53/ Berechnungsrichtlinie für die Querschnitts- und Stabbemessung nach Eurocode 3 mit Schwerpunkt auf semi-kompakten Querschnitten; TU Graz Institut für Stahlbau, Lessingstr. 25/38010 Graz
- /54/ W. Martin:  $\zeta$ -Werte für den Biegedrillknicknachweis von I-Profilen
- /55/ J. Lindner, J. Scheer, H. Schmidt: Stahlbauten, Erläuterungen zu DIN 18800 Teil 1 bis Teil 4, Beuth-Kommentare
- /56/ J. Lindner: Stabilisierung von Trägern durch Trapezbleche, Stahlbau 56 (1987), S. 9-15
- /57/ R. Puthli: Hohlprofilkonstruktionen im Geschossbau - Ausblick auf die europäische Normung, Stahlbau-Kalender 2002, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2002
- /58/ R. Puthli, R. Ummenhofer, J. Wardenier, I. Pertermann: Anschlüsse mit Hohlprofilen nach DIN EN 1993-1-8, Stahlbau-Kalender 2011, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2011
- /59/ J. Wardenier, Y. Kurobane, J.A. Packer, G.J. van der Vegte, X.-L. Zhao: Berechnung + Bemessung von Verbindungen aus Rundhohlprofilen unter vorwiegend ruhender Belastung, CIDECT 1, 2. Aufl. 2008/2011
- /60/ J.A. Packer, J. Wardenier, X.-L. Zhao, G.J. van der Vegte, Y. Kurobane: Anschlüsse mit rechteckigen Hohlprofilen unter vorwiegend ruhender Belastung, CIDECT 3, 2. Aufl. 2009/2012

## 6 Index

Abkürzungen.....	3	Lastfall.....	3
Anhang nationaler.....	62	Lastkollektiv .....	3
Bauteil erzeugen .....	9	Ordner .....	9
blank .....	3	Querkraftaufteilung .....	43
Blechschnittgrößen .....	56	Querschnittsnachweis EC 3.....	45
Buttons .....	3	Schnittgrößenimport.....	31
Cursor .....	3	Schraube.....	57
Druckliste .....	63	Schreibtisch .....	8
Einwirkung .....	3	Schreibtischauswahl .....	7
e-Mail .....	8	Schweißnahtkräfte .....	56
Englisch .....	63	Schweißnahtnachweis EC 3 .....	43
Extremalbildungsvorschrift.....	3	Schweißverbindung .....	54
Festigkeitsklasse.....	57	Senkschraube .....	57
Fremdsprache .....	63	Stahlsorte.....	62
Hohlprofil.....	24	Startsymbol .....	7
Injektionsschraube .....	57	Steuerbutton .....	8, 11
Installation .....	7	Stumpfnah.....	55
Kehlnaht.....	54	Tragfähigkeit Niet.....	59
Kontextsensitivität.....	8	Tragfähigkeit Schraube.....	59
Lastbild.....	3		