

4H-EC3FK Knotenblech mit freier Anschlusskonfig. Detailinformationen

Seite überarbeitet Januar 2024

• Kontakt

• Programmübersicht

• Bestelltext

Infos auf dieser Seite

... als pdf

- Eingabeoberfläche
- Allgemeines
- Ber.-Einstellg. / Knotenblech
- Schweißnahtanschlüsse
- Schraubanschlüsse
- Schnittgrößen
- Schnittgrößenimport
- Ergebnisübersicht
- FEM-Ergebnisse
- Lastverteilung / Nachweise
- Spannungsnachw. Scheibe
- Beschreibung Ergebnisse
- Stahlsorten
- Ausdrucksteuerung
- nationale EC-Anhänge

Knotenblech mit freier Anschlusskonfiguration



EC 3, Knotenblech mit freier Anschlusskonfiguration

Mit dem Programm 4H-EC3FK, 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 folgende Symbole die dahinter liegende Parameterauswahl kenntlich machen.

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

Materialiensicherheit (genormt)

Beanspruchbarkeit von Querschnitten γ_{M0} 1.00

Beanspruchbarkeit von Verbindungsmitteln γ_{M2} 1.25

einheitliche Stahlsorte
 Stahlsorte Vorgabe

einheitliche Schweißnähte
 Kehlnaht
 Stumpfnah, 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
ohne Anschlussprofile
nur Kantennähte

Knotenblech
Kantennähte nur zum Lastabtrag
Nähte an Profilen nur zum Lasteintrag

Verbindungsblech
Gleichgewichtsverbindung
kein Lastabtrag

Blech mit freier Anschlusskonfiguration

Knotenblech

rechteckig polygonal //-Quer

	x	y	Nr
	mm	mm	-
	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

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

Bild vergrößern 

Berechnungseinstellungen, Knotenblech

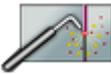
Im ersten Registerblatt werden allgemeine Einstellungen zur Berechnung festgelegt und das Knotenblech beschrieben.

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

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



Befestigung: Schrauben

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



Bemessungsschnittgrößen

Die Schnittgrößen werden im vierten Registerblatt festgelegt und können entweder 'per Hand' eingegeben oder aus einem *4H*-Stabwerksprogramm importiert werden.

Der Querschnitt wird zur Info maßstäblich am Bildschirm dargestellt.



Ergebnisübersicht

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



Ergebnisse der FEM-Rechnung

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



nationaler Anhang

Weiterhin ist zur vollständigen Beschreibung der Berechnungsparameter der dem Eurocode zuzuordnende nationale Anhang zu wählen.

Über den **NA-Button** wird das entsprechende Eigenschaftsblatt aufgerufen.



Ausdrucksteuerung

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



Druckliste einsehen

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



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 Querschnitt 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.

Allgemeines

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 **4H-EC3FK**, Knotenblech mit freier Anschlusskonfiguration, ist ein zur EC3-Familie von **pcae** passendes Modul und berechnet unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit das beliebig konfektionierte Knotenblech mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode.

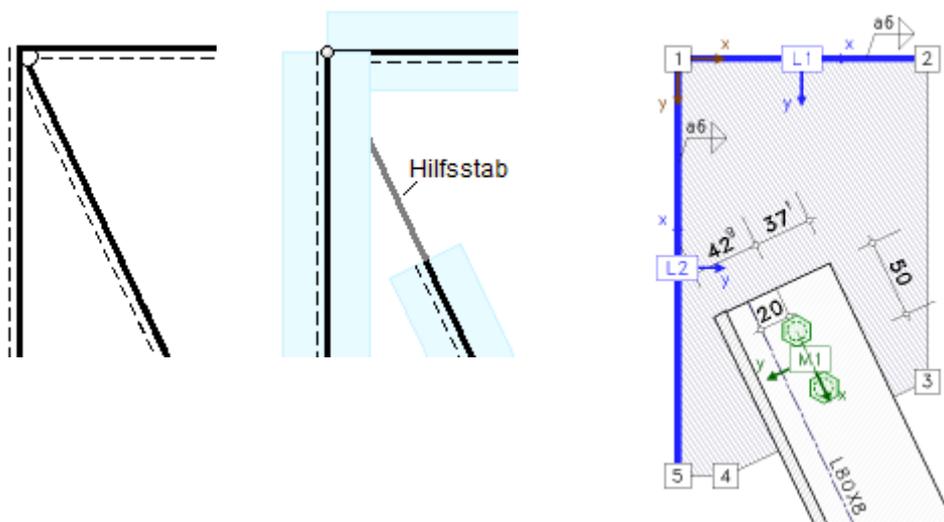
Die ebene Belastung des Knotenblechs wird über angeschraubte oder angeschweißte Stabprofile eingebracht. Im Nachlauf wird die Tragfähigkeit des Knotenblechs, der Schraub- und Schweißnahtanschlüsse sowie der Querschnitte der Stabprofile für die eingebrachten oder resultierenden Schnittgrößen nach DIN 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: 4H-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 fünf Stäbe können über Schrauben befestigt 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.

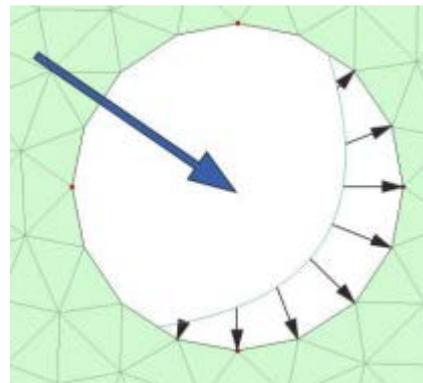
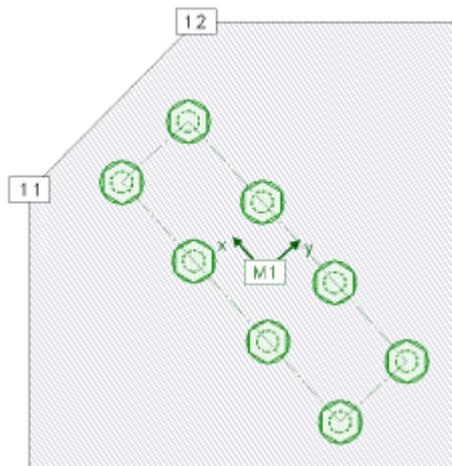
Programmintern wird eine nahezu starre Lagerung der Schrauben und der Linien in Längsrichtung angenommen. Die Lagerung der Linien in Querrichtung erfolgt intern mit 1/100 der Steifigkeit in Längsrichtung.

Belastung

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

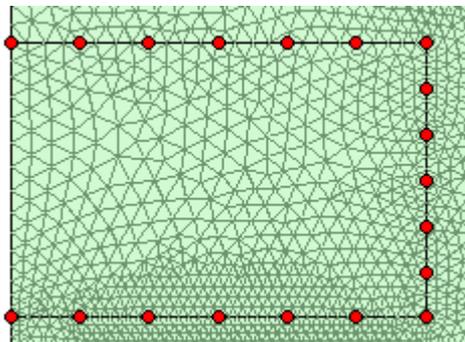
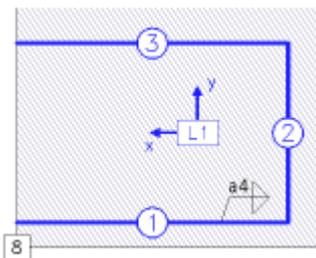
Schrauben: Die Schnittgrößen z.B. aus einer Rahmenberechnung wirken im Zentrum M des Schraubenbilds und werden linear auf die Achsen der zugehörigen Schraubenmitglieder verteilt.

Da die Schrauben ihre Last über den Lochrand an das Knotenblech übertragen, wird die Einzellast analog der Lochleibungsspannung auf den Rand aufgebracht.

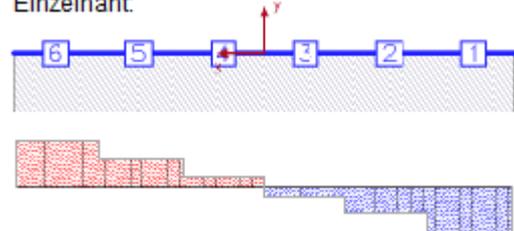


Schweißnähte: Analog zur Lasteinleitung in eine Schraubengruppe wirken die Schnittgrößen einer Schweißnaht im Zentrum L der Nahtgruppe. Eine Nahtlinie wird in sechs Abschnitte aufgeteilt, für die jeweils eine mittlere (konstante) Belastung aus den Lastschnittgrößen ermittelt wird.

Nahtgruppe:



Einzelnaht



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 4H-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 μ), der Schrauben (Lochdurchmesser d_0 , Federsteifigkeit c_f) und der Schweißnähte (Federsteifigkeiten längs c_{fl} und quer c_{fq} zur Naht) erforderlich.

Um einen realitätsnahen Schnittgrößenverlauf besonders in lokal eng begrenzten Bereichen hoher Spannungspicks 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 Flächenträgerergebnisse 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

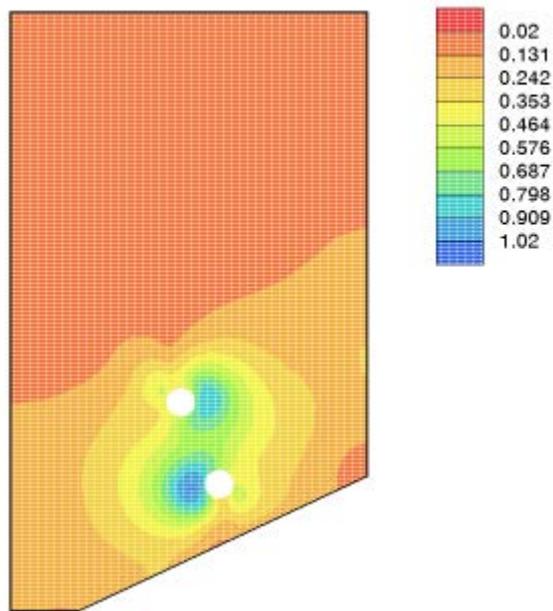
Kno	x mm	y mm	u_x mm	u_y mm	u mm	n_{xx} kN/m	n_{yy} kN/m	n_{xy} kN/m	σ N/mm ²	τ N/mm ²	σ_v N/mm ²	U_p
86	807.5	1701.3	0.035	-0.009	0.037	-2564.12	346.32	807.60	137.68	40.38	154.43	0.657
91	871.7	2133.3	-0.065	0.041	0.077	-2174.09	-350.49	1259.20	101.09	62.96	148.70	0.648
92	857.7	2112.1	-0.068	0.038	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; σ, τ, σ_v : Spannungen
 U_p : Ausnutzung des Knotenblechs

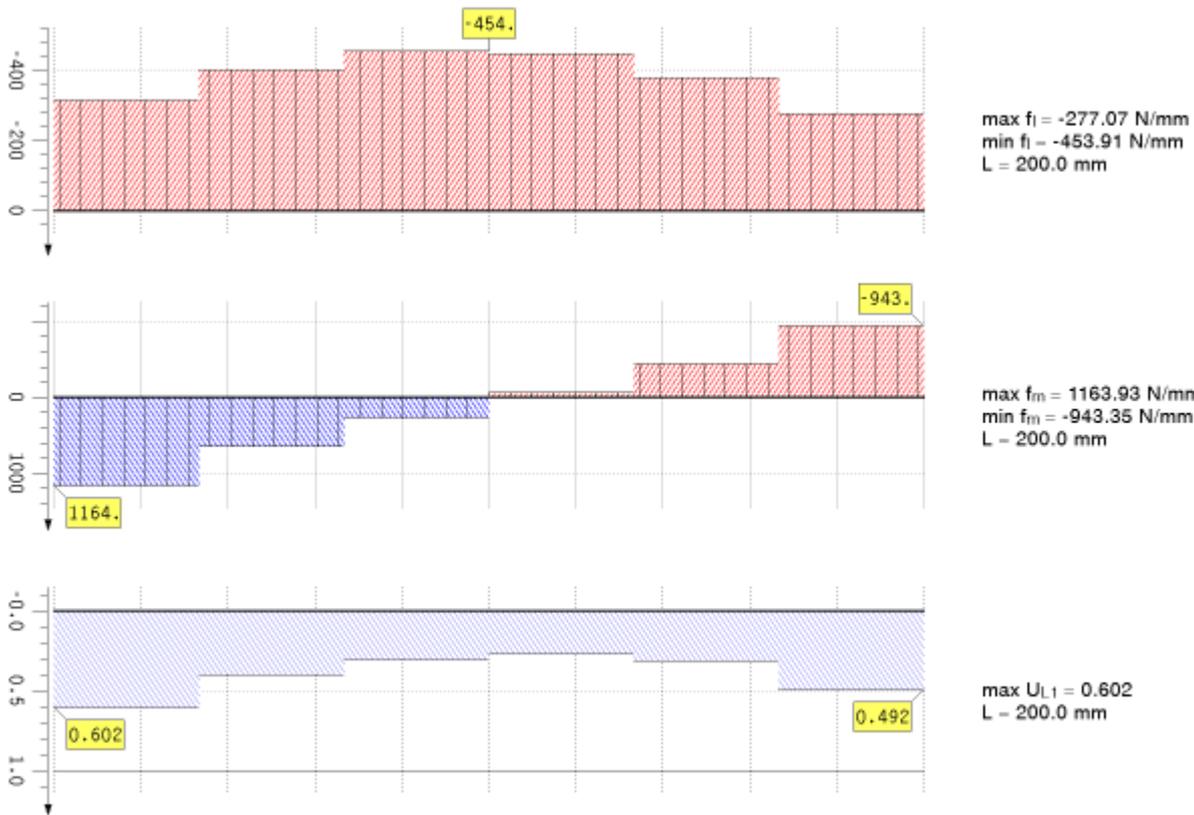
Konturenplots der Spannungsausnutzungen ermöglichen es, auf einen Blick die über- aber auch die schwach belasteten Bereiche zu erkennen.

Ausnutzung des Knotenblechs U_p

max $U_p = 1.029$



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	σ_x N/mm ²	τ N/mm ²	σ_v N/mm ²	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_{x0}, n_{yy}, n_{xy} : Normalkräfte; n_{x0}, n_{yy}, 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

Berechnungseinstellungen, Knotenblech



im Register 1 werden allgemeine Einstellungen der Berechnung festgelegt und das Knotenblech beschrieben.

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

Materialsicherheit (genormt)

Beanspruchbarkeit von Querschnitten γ_{M0} 1.00

Beanspruchbarkeit von Verbindungsmitteln γ_{M2} 1.25

einheitliche Stahlsorte
 Stahlsorte S235 Vorgabe

einheitliche Schweißnähte
 Kehlnaht
 Stumpfnah, nicht durchgeschweißt
 wirksame Nahtdicke a 4.0 mm

einheitliche Schrauben
 Schraubengröße M12 Vorgabe
 Festigkeitsklasse 8.8 Vorgabe
 normale Schlüsselweite große Schlüsselweite
 nicht vorgespant
 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

Blechdicke t_p 10.0 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

Bild vergrößern

Allgemeines

Im Programm 4H-EC3FK können die Eingabedaten über die Copy-Paste-Funktion von einem Bauteil in ein anderes desselben Typs exportiert werden.

▷ Daten exportieren (copy)

▷ Daten importieren (paste)

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.

Materialsicherheitsbeiwerte

Im Programm 4H-EC3FK werden für den Spannungsnachweis n. EC 3-1-1 und den Nachweis von Anschlüssen n. EC 3-1-8 folgende Materialsicherheitsbeiwerte herangezogen

Materialsicherheit (genormt)

Beanspruchbarkeit von Querschnitten γ_{M0} 1.00

Beanspruchbarkeit von Verbindungsmitteln γ_{M2} 1.25

Die Werte können entweder den entsprechenden Normen (s. Nationaler **Anhang**) 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 **Stahlorten** verwiesen.

Schrauben

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**).

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.

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** 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.

einheitliche Schrauben

Schraubengröße Vorgabe

Festigkeitsklasse Vorgabe

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

Passschraube

Schraubengewinde in der Scherfuge
 Schraubenschaft in der Scherfuge

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

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

Bei Hohlprofilen wird stets eine durchgeschweißte Stumpfnahnt angenommen.

einheitliche Schweißnähte

Kehlnaht

Stumpfnahnt, nicht durchgeschweißnt

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) und **Register 3** (Schrauben) aus.

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

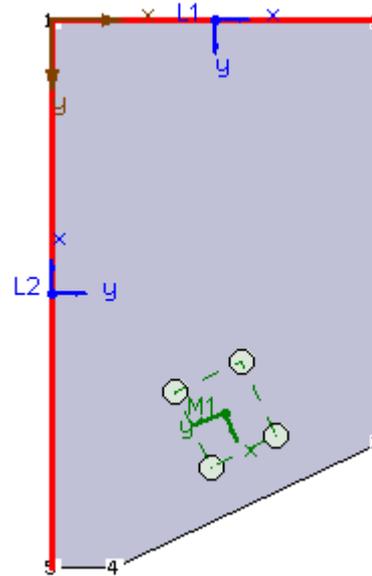
Blech mit Bohrungen

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.



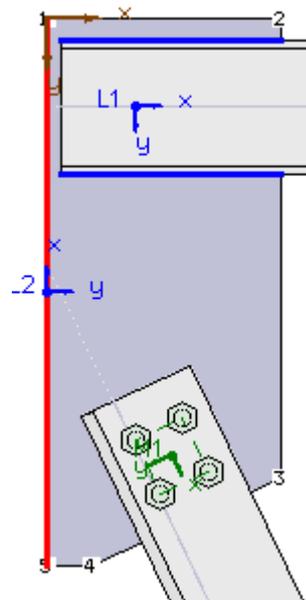
Knotenblech

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.



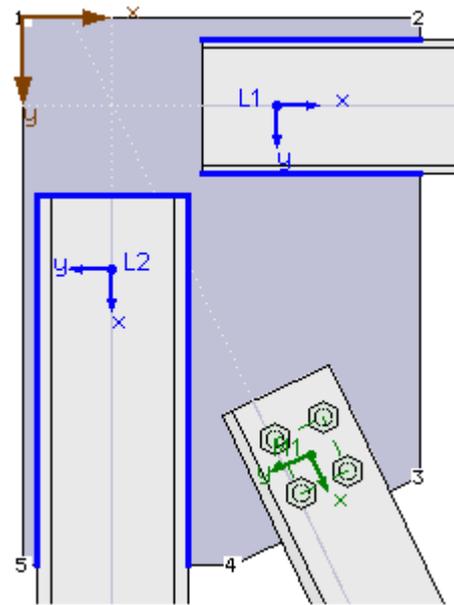
Verbindungsblech

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.

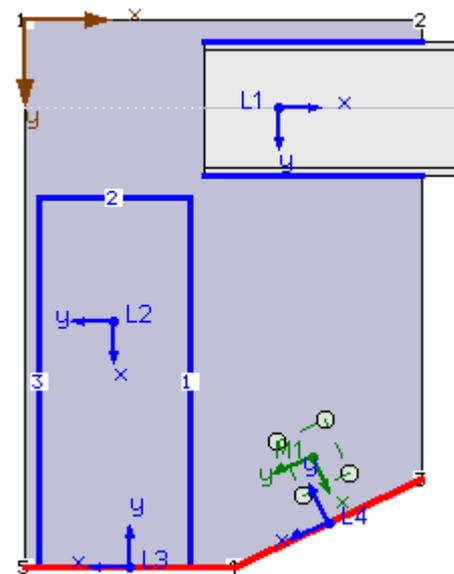


⊙ Blech mit freier Anschlusskonfiguration

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 des Blechs kann rechteckig erfolgen.

Es sind die Blechabmessungen Dicke, Breite, Länge einzugeben.

Knotenblech

⊙ rechteckig ○ polygonal ○ ~~##~~-Quer

Blechdicke t_p 8,0 mm

Blechbreite b_p 480,0 mm

Blechlänge l_p 240,0 mm

Die Eingabe des 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

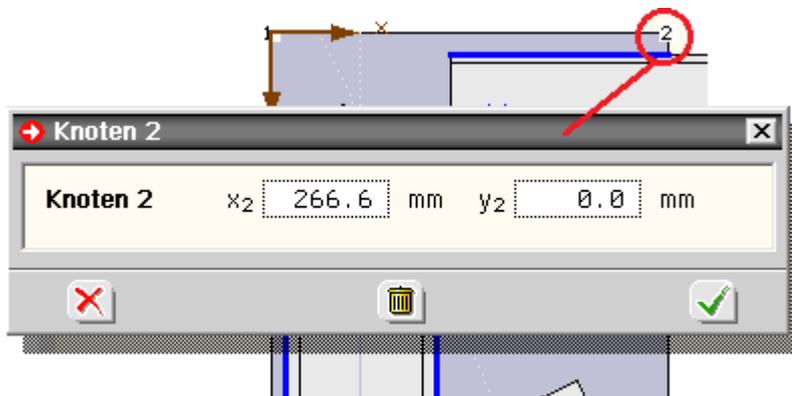
rechteckig
 polygonal
 ~~4H~~-Quer

	x	y	Nr
	mm	mm	-
 	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	20.0	mm
max. Breite	b_p	266.6	mm
max. Länge	l_p	370.0	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 **4H-QUER**, Querschnittswerte, erfolgen (nur bei vorhandener Installation).

Dazu wird das Programm über den Aktions-Button  aufgerufen.

In einer grafischen Oberfläche kann dort das Knotenblech konstruiert und an das aufrufende Programm **4H-EC3FK** übergeben werden.

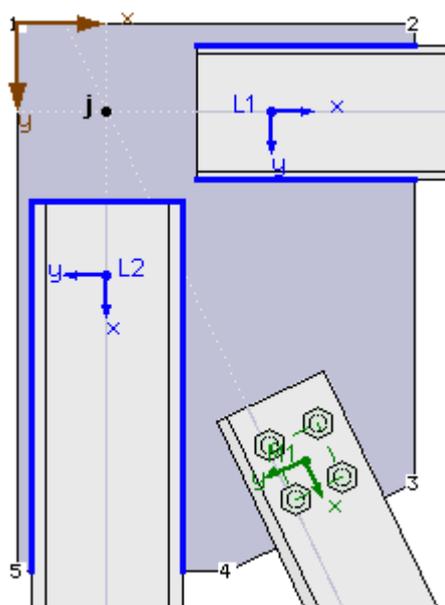
Weitere Informationen zur Bedienung des Programms **4H-QUER** s. zugehöriges [Handbuch](#).

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

Knotenblech

rechteckig
 polygonal
 ~~4H~~-Quer 

Blechdicke	t_p	20.0	mm
max. Breite	b_p	266.6	mm
max. Länge	l_p	370.0	mm



Berechnungsablauf

Das Programm *4H-EC3FK* weist die Tragfähigkeit des Knotenblechanschlusses mittels der FE-Methode nach.

Dabei wird das Knotenblech als FE-Scheibe mit integrierten Schraublöchern (s. [Register 3](#)) und Schweißnähten (s. [Register 2](#)) modelliert. Für die Berechnung sind folgende Parametereinstellungen möglich.

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

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** durchgeführt.

Die **Schweißnähte** 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** 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** der Anschlussprofile für die eingegebenen Schnittgrößenkombinationen durchgeführt werden.

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.

für den FEM-Profi

Federsteifigkeiten der Linienlager	längs	100000	MN/m
	quer	1000	MN/m
Federsteifigkeit der Punktlager		1000	MN/m
mittlere Dichte des Elementnetzes		0,0	1 - 3 (0 = Voreinstellung)

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

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 Querfeder 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.

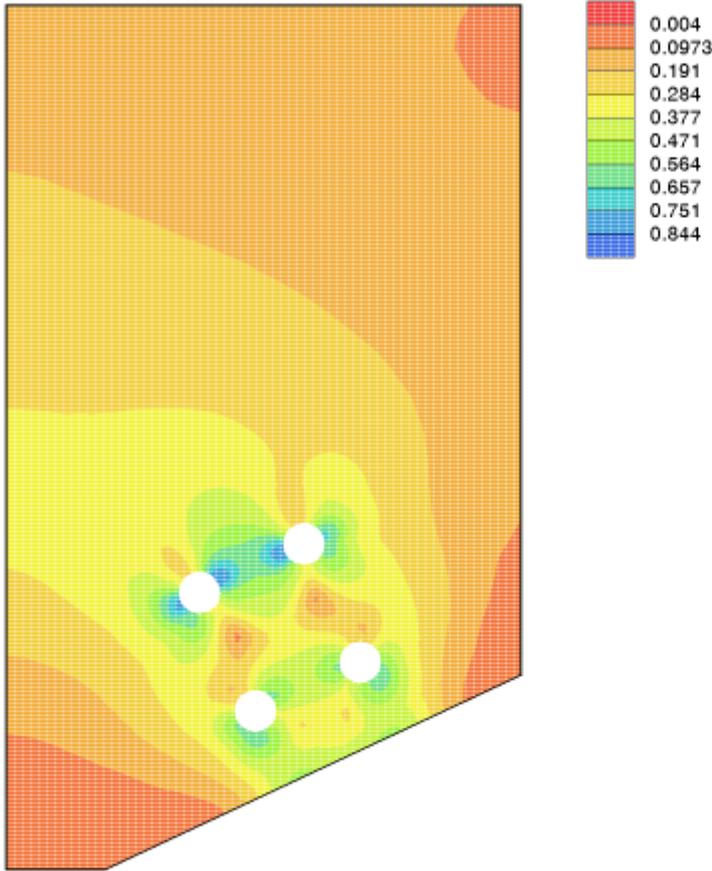
FEM-Ergebnisse

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

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 σ_x, τ, σ_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"/>

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

Ausnutzung U_p
 max $U_p = 0.842$



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	σ N/mm ²	τ N/mm ²	σ_v N/mm ²	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

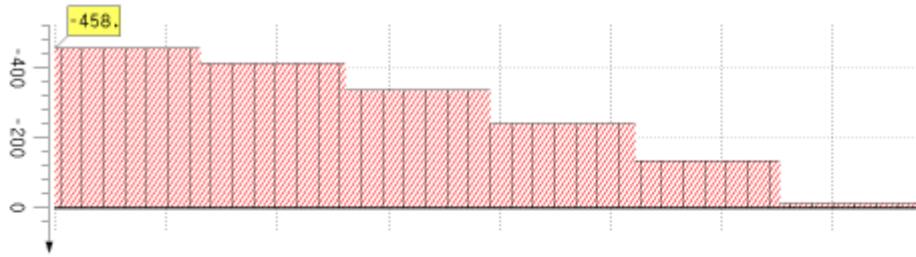
x,y: Knotenkoordinaten; u_x, u_y, u : Verschiebungen; n_{xx}, n_{yy}, n_{xy} : bezogene Normalspannungen; σ, τ, σ_v : Spannungen
 U_p : Ausnutzung des Knotenblechs

In den Tabellen können entweder sämtliche Knotenergebnisse (nicht empfehlenswert) oder die je Ergebnisspalte maßgebenden Ergebnissätze (s. [Ausdrucksteuerung](#), [optimierte Tabelle](#)) zeilenweise dargestellt werden. Die Extremalwerte sind markiert.

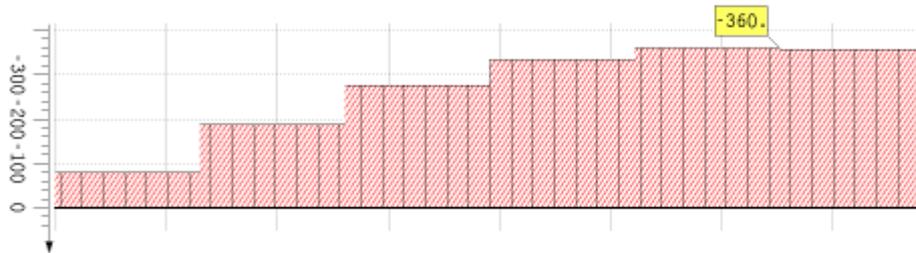
Ebenso können die Schweißnahtkräfte und -ausnutzung in Liniengrafiken dargestellt werden.

Schnittkräfte längs f_l und quer f_m

Naht 1:



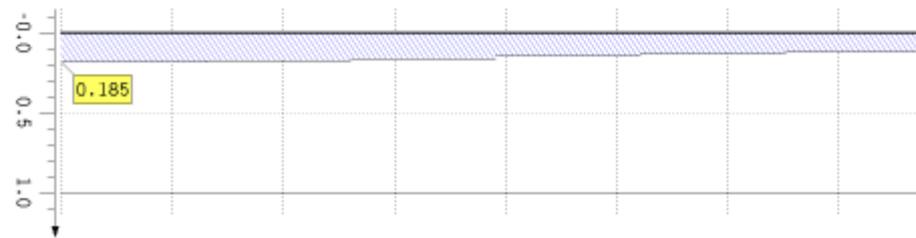
max $f_l = -13.70$ N/mm
 min $f_l = -457.62$ N/mm
 L = 156.6 mm



max $f_m = -78.83$ N/mm
 min $f_m = -359.57$ N/mm
 L = 156.6 mm

Ausnutzung U_{L1}

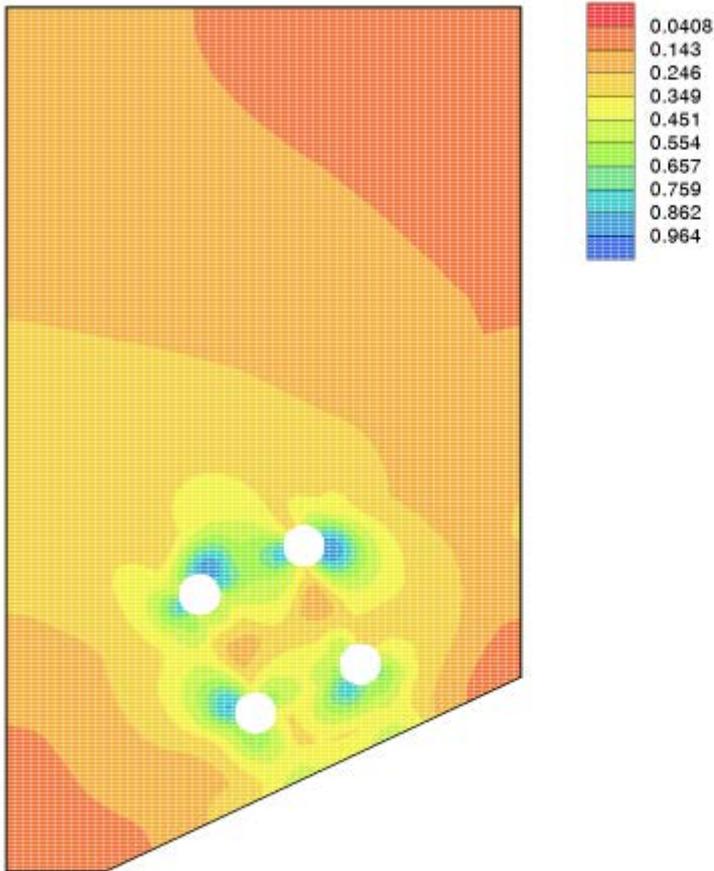
Naht 1:



max $U_{L1} = 0.185$
 L = 156.6 mm

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	u_x mm	u_y mm	u mm	σ_x N/mm ²	τ N/mm ²	σ_y N/mm ²	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

Schweißnahtanschlüsse



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

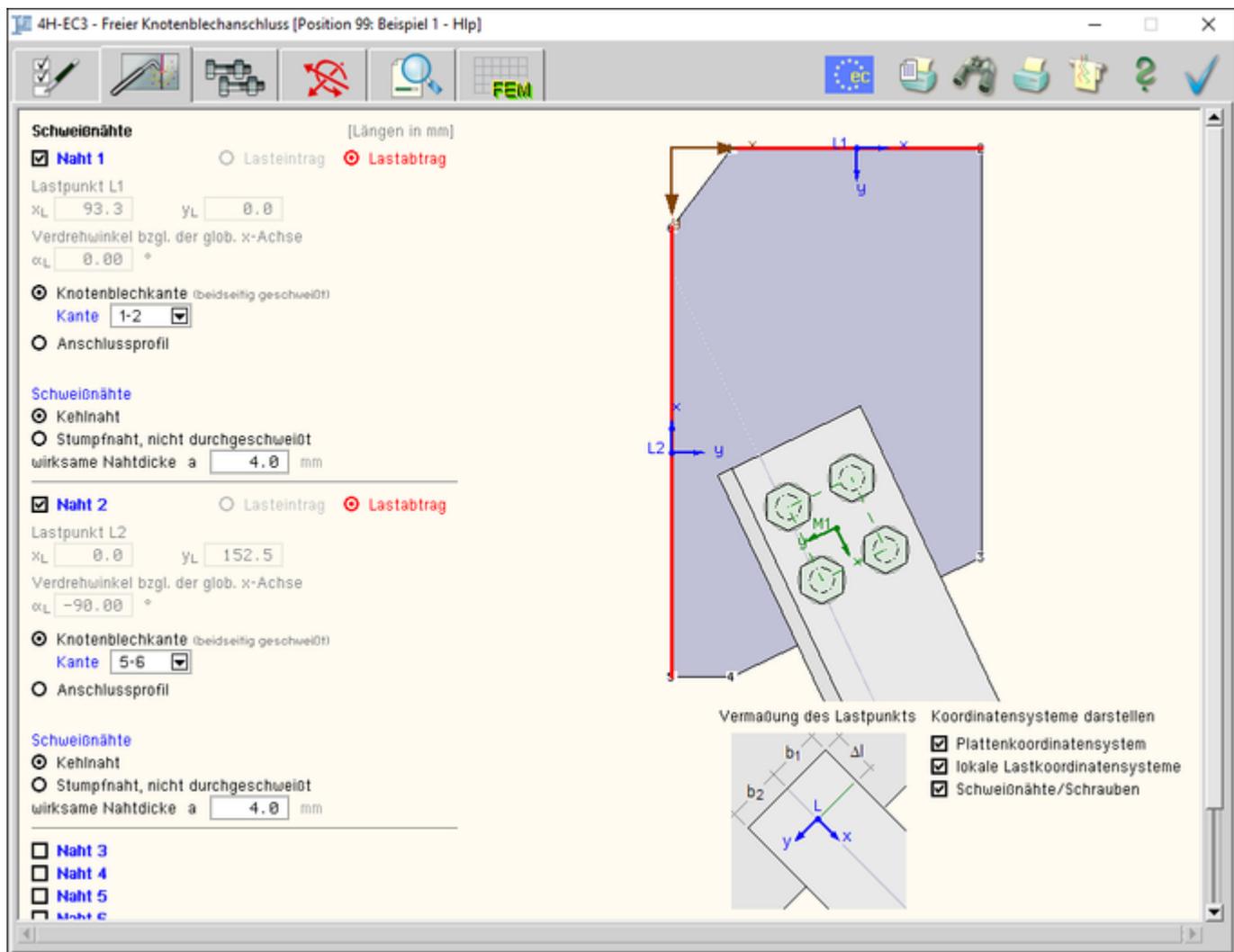


Bild vergrößern

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](#)).

Schweißnähte [Längen in mm]

Naht 1 Lasteintrag Lastabtrag

Lastpunkt L1

x_L y_L

Verdrehwinkel bzgl. der glob. x-Achse

α_L °

Mittelpunkt

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 α_L kann der Anschluss eindeutig platziert werden.

Ist eine Nahtgruppe aktiviert, stehen drei Gruppentypen zur Auswahl.

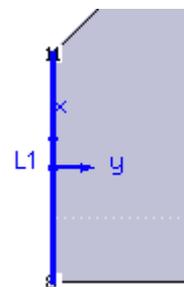
- Aus einer Liste ist die Randkante des Knotenblechs auszuwählen, die als beidseitig geschweißte Naht das Blech am Rahmensystem fixiert.

Knotenblechkante

Kante

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

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



- 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** 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 Δl vom Stabende verschoben.

Bei Bedarf kann der Lastpunkt um Δx 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.

- 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.

⊙ Anschlussprofil

- Profil aus Profilmanager 
- parametrisiertes Stahlprofil

Profilname

Anschluss von Schenkel 1 Schenkel 2

Profil horizontal gespiegelt

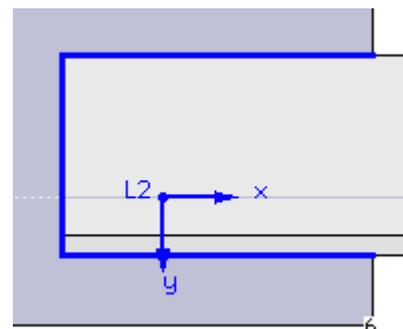
Stirnnaht

einseitiger beidseitiger Anschluss

Vermaßung des Lastpunkts L

b_1 b_2 [zur Info](#)

Δl

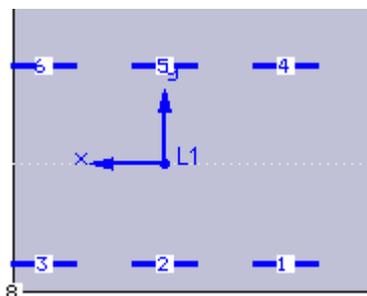


frei: Anzahl Einzelnähte

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.

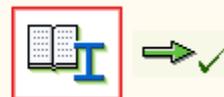
Bei gewalzten Profilen wird der Ausrundungsradius r zwischen Flansch und Steg bzw. r_2 an den äußeren Flanschrändern geometrisch berücksichtigt, während geschweißte Blechprofile mit Schweißnähten der Dicke a zusammengefügt sind.

Diese Schweißnähte werden **nicht** nachgewiesen.

Anschlussprofil

Profil aus Profilmanager

parametrisiertes Stahlprofil



parametrisiertes Stahlprofil

Profilklasse	T-Profil	
Profilhöhe	h	140.0 mm
Stegdicke	t_w	15.0 mm
Flanschbreite	b_f	140.0 mm
Flanschdicke	t_f	15.0 mm
<input checked="" type="radio"/> gewalztes Profil	Ausrundungsradius	r 15.0 mm
		r_2 7.5 mm
<input checked="" type="radio"/> geschweißtes Profil	Schweißnahtdicke	a 6.0 mm

Schraubanschlüsse



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

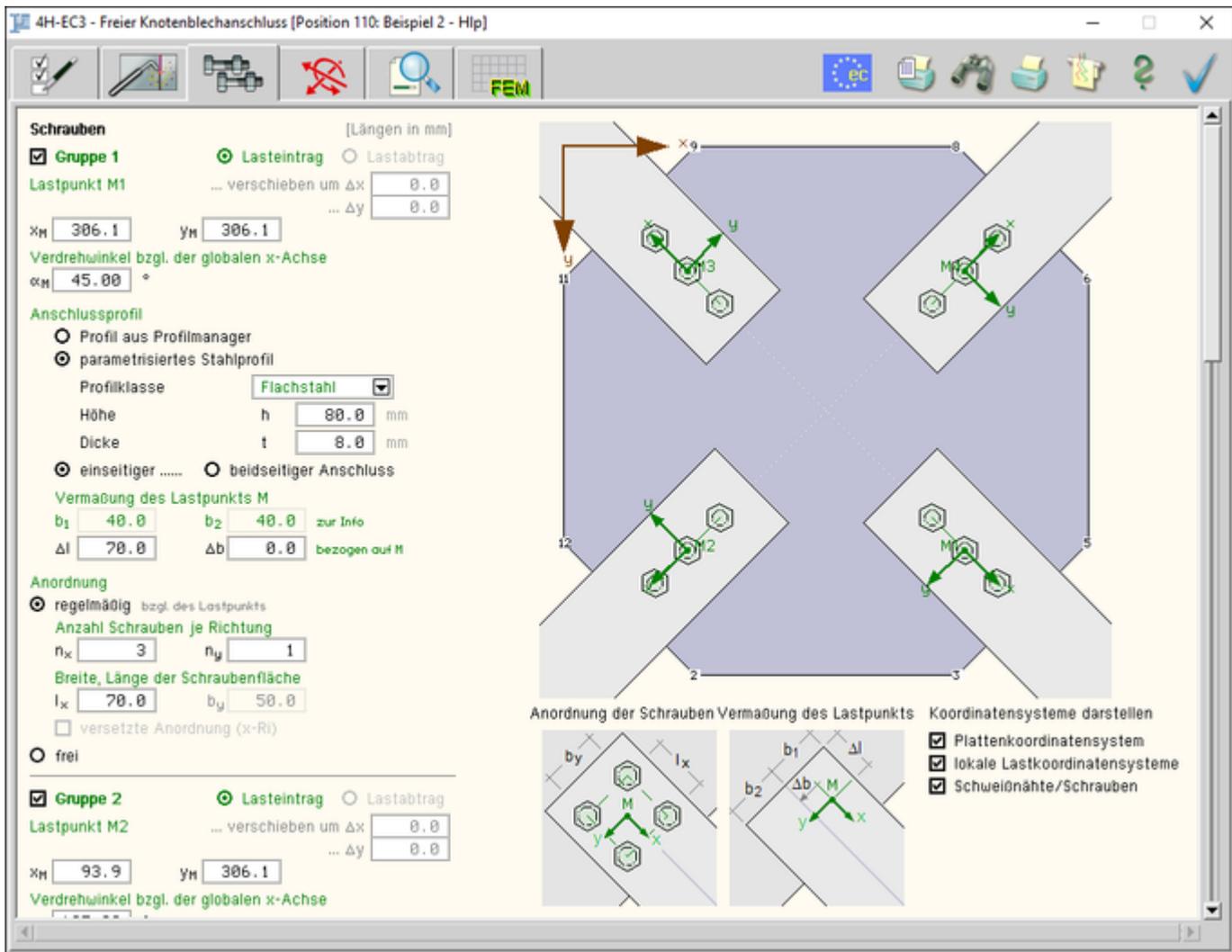


Bild vergrößern

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](#)).



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 α_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.

Anschlussprofil

Profil aus Profilmanager  

parametrisiertes Stahlprofil

Profilname

einseitiger beidseitiger Anschluss

Vermaßung des Lastpunkts M

b_1	<input type="text" value="60.0"/>	b_2	<input type="text" value="60.0"/>	zur Info
Δl	<input type="text" value="90.0"/>	Δb	<input type="text" value="0.0"/>	

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

Seine Profilkennwerte werden abgefragt, wobei die Einstellung **einheitliche Stahlsorte** des **Registers 1** 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 Δl vom Stabende und um Δb von der Schwerachse des Anschlussprofils angeordnet.

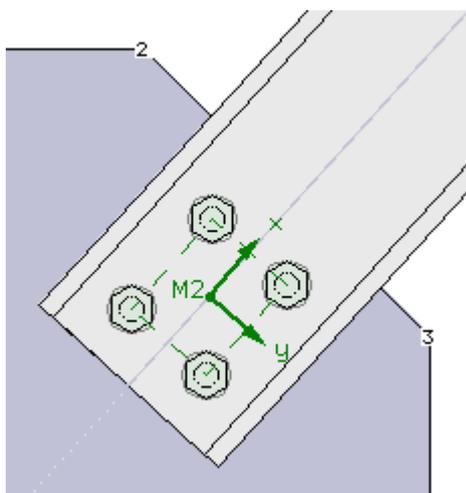
Bei Bedarf kann der Lastpunkt um $\Delta x, \Delta y$ längs bzw. quer zur lokalen Stabachse verschoben werden.

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.



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

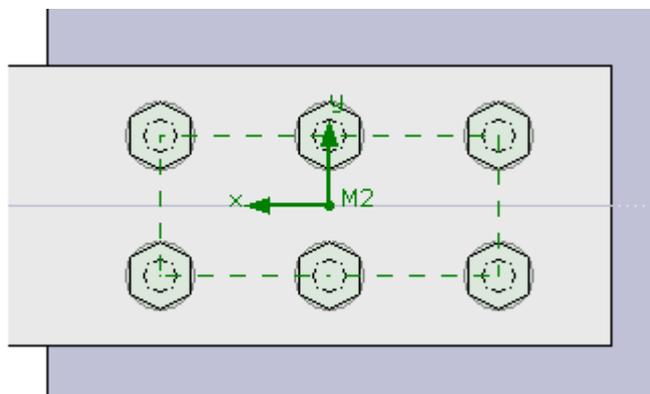
Anzahl Schrauben je Richtung

n_x n_y

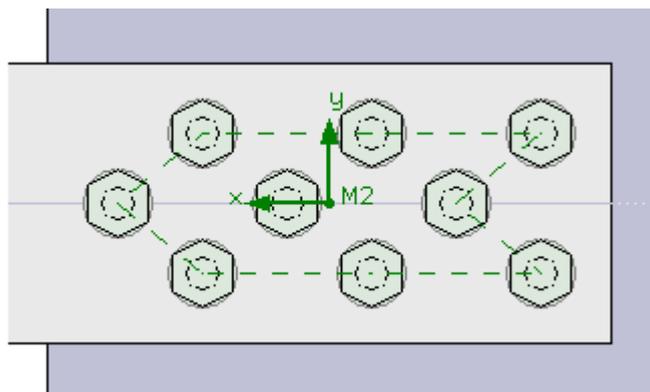
Breite, Länge der Schraubenfläche

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.

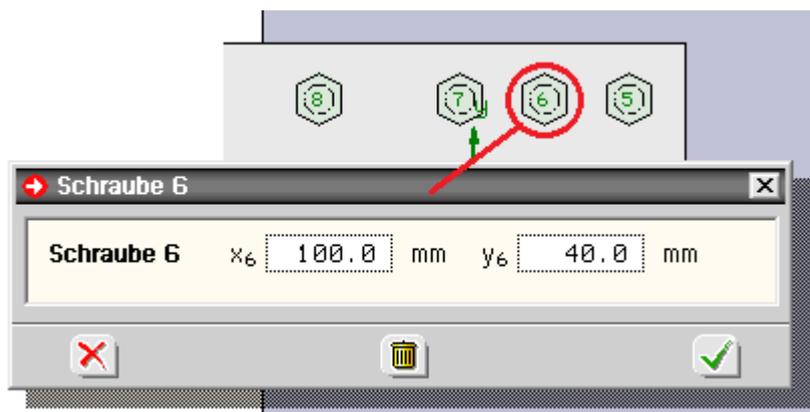
frei

	x	y
	mm	mm
1:	130.0	100.0
2:	100.0	100.0
3:	70.0	100.0
4:	20.0	100.0
5:	130.0	40.0
6:	100.0	40.0
7:	70.0	40.0
8:	20.0	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.



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

Gruppe 1 Lasteintrag Lastabtrag
 Lastpunkt M1 Mittelpunkt
 x_M 134.3 y_M 151.5

Schnittgrößen



Das vierte Register beinhaltet die Masken zur Eingabe der Bemessungsschnittgrößen.

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

Schnittgrößen bezogen auf die Lastpunkte im Knoten-KoS die Lastpunkte im Stab-KoS x_j 200.0 mm Kräfte / Momente in kN / kNm
 y_j 200.0 mm

Punkte für den Lasteintrag über Anschlussprofile erhalten die Kennung +, Schnittgrößen können importiert werden.
 Punkte für den Lastabtrag erhalten die Kennung x, 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

Bild vergrößern

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.

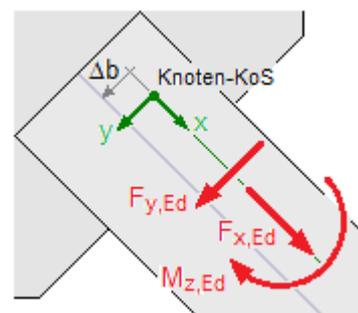
Die Vorzeichendefinition der Lastpunkte entspricht dem x,y-Koordinatensystem (KoS) der Statik, d.h. dem l,m-System der **pcae**-Tragwerksprogramme.

Es stehen drei Varianten der Lasteingabe zur Verfügung.

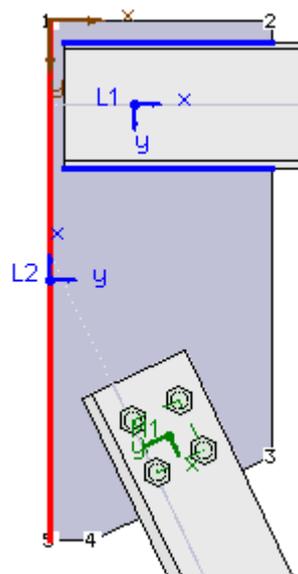
- **Schnittgrößen bezogen auf** **die Lastpunkte im Knoten-KoS**

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.



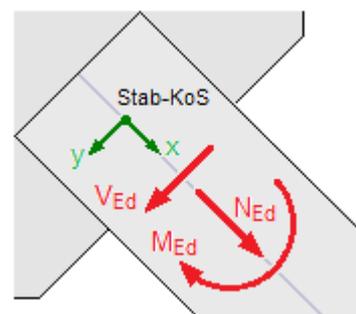
Zur Info wird das Knotenblech am Bildschirm maßstäblich dargestellt. Die Knoten-KoS sind eingezeichnet.



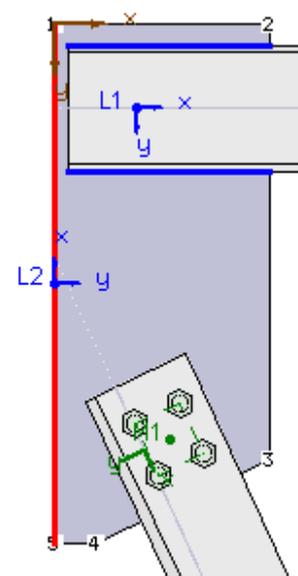
• **Schnittgrößen bezogen auf die Lastpunkte im Stab-KoS**

Sind Anschlussprofile definiert, können die Schnittgrößen auf das KoS des Anschlussstabs der betrachteten Gruppe bezogen sein, d.h. die Exzentrizität Δb (s. Schraubengruppen, [Register 3](#)) 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} , $V_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$.



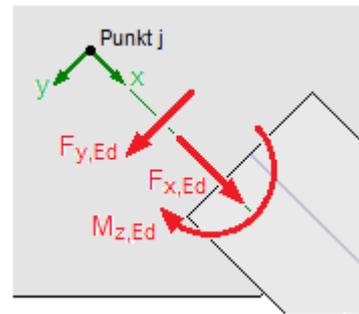
Zur Info wird das Knotenblech am Bildschirm maßstäblich dargestellt. Die Stab-KoS sind eingezeichnet.



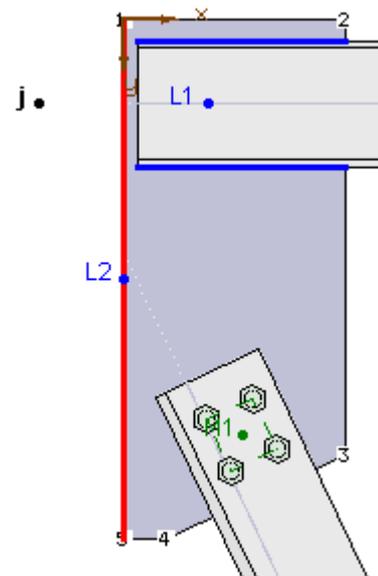
Schnittgrößen bezogen auf \odot x_j 277.0 mm
 y_j 310.0 mm

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 α 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: ξ, η, ζ) 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.

Lastkombination	Lastpunkt	$F_{x,Ed}$	$F_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	
		N_{Ed}	V_{Ed}	M_{Ed}	
		kN	kN	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			

Lastteilen 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.

Schnittgrößen importieren

Detailnachweisprogramme zur Bemessung von Anschlüssen (Träger/Stütze, Trägerstöße, Knotenblech), Fußpunkten

(Stütze/Fundament) etc. benötigen Schnittgrößenkombinationen, die häufig von einem Tragwerksprogramm zur Verfügung gestellt werden.

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

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

Schnittgrößen aus **4H**-Programm importieren



Schnittgrößen aus Text-Datei einlesen



• Import aus einem **4H**-Programm

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

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

• Import aus einer Text-Datei

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

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

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

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

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

Schnittgrößenimport

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

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

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

- zum anderen können Detailprogramme - wie **4H-EC3FK** -Schnittgrößen von in Tragwerksprogrammen speziell festgelegten Exportpunkten über ein zwischengeschaltetes Export/Import-Tool einlesen.

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

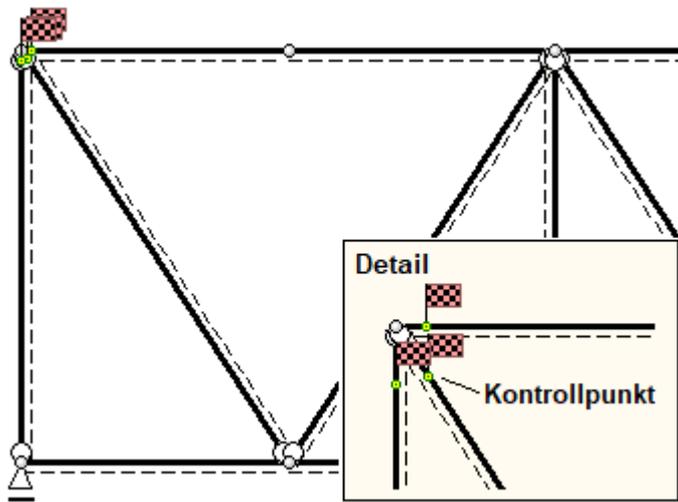
Zunächst sind im exportierenden **4H**-Programm (z.B. **4H-NISI**) die Stellen zu kennzeichnen, deren Schnittgrößen beim nächsten Rechenlauf exportiert, d.h. für den Import bereitgestellt, werden sollen.

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[®]-**Schnittgrößenexport**.

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 abzubrechen, 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 Stimplatte	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** 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
Schnitt M1		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

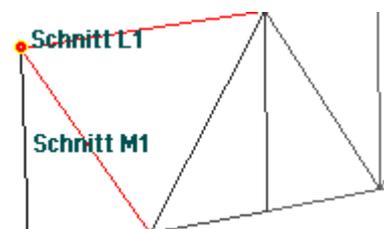
Nun werden die Schnitte den einzelnen Abteilungen (hier die Lastpunkte $M1$, $L1$, $L2$) in der Schnittgrößentabelle zugeordnet.

Dazu wird der entsprechende Eintrag (hier *Punkt 6*) angewählt 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	V _η	V _ζ	T	M _η	M _ζ	Kommentar	
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm		
Nachweis 1: EC 3 Tragfähigkeit (Th. II. Ord.) <input checked="" type="checkbox"/> alle auswählen <input type="checkbox"/> alle abwählen								
Generierung 1: Generierungsvorschrift 1 <input checked="" type="checkbox"/> alle auswählen <input type="checkbox"/> alle abwählen								
	LK 1	25.87	0.05	0.11	0.00	0.00	Lf1+1.5*Lf2 <input checked="" type="checkbox"/>	
	LK 2	31.68	0.06	0.14	0.00	0.00	1.35*Lf1+1.5*Lf2	
	LK 3	27.75	0.05	0.11	0.00	0.00	Lf1+1.5*Lf3	
	LK 4	33.59	0.06	0.14	0.00	0.00	1.35*Lf1+1.5*Lf3	
	LK 5	37.53	0.04	0.10	0.00	0.00	Lf1+1.5*(Lf2+Lf3)	
	LK 8	21.93	0.07	0.16	0.00	0.00	1.35*Lf1	
	LK 6	43.77	0.05	0.13	0.00	0.00	1.35*Lf1+1.5*(Lf2+Lf3)	
	LK 7	16.20	0.05	0.12	0.00	0.00	Lf1	
Zusammenfassung Nachweis 1 <input checked="" type="checkbox"/> alle auswählen <input type="checkbox"/> alle abwählen								
	min N	16.20	0.05	0.12	0.00	0.00	Lf1 <input checked="" type="checkbox"/>	
	max N	43.77	0.05	0.13	0.00	0.00	1.35*Lf1+1.5*(Lf2+Lf3) <input checked="" type="checkbox"/>	
	min Q	37.53	0.04	0.10	0.00	0.00	Lf1+1.5*(Lf2+Lf3) <input checked="" type="checkbox"/>	
	max Q	21.93	0.07	0.16	0.00	0.00	1.35*Lf1 <input checked="" type="checkbox"/>	
	min M	25.87	0.05	0.11	0.00	0.00	Lf1+1.5*Lf2	
	max M	25.87	0.05	0.11	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						

Bild vergrößern

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

Schnitt M1			Schnitt L1			Schnitt L2		
N	V η	V ζ	N	V η	V ζ	N	V η	V ζ
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?

Das aufnehmende Programm bestückt nun die Schnittgrößentabelle.

	Last-kombi-nation	Last-punkt	F _{x,Ed} kN	F _{y,Ed} kN	M _{z,Ed} kNm	
	1	M1+ ▾	25.87	0.12	0.00	 Zeile löschen neu → neue Zeile anhängen
		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.

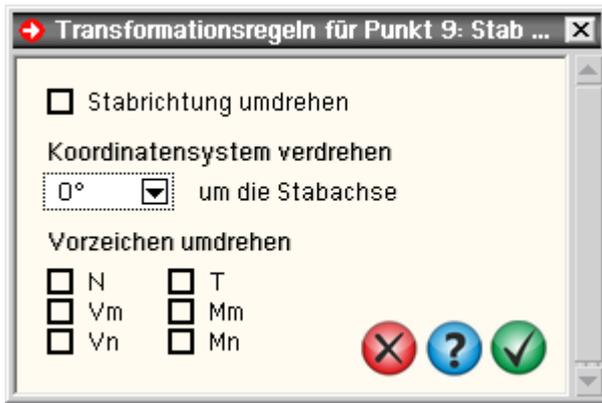
Dann werden die Schnittgrößen ohne weitere Transformationen eingelesen. Es ist dann darauf zu achten, dass die Stabdefinition des exportierenden Programms mit der aktuellen übereinstimmt.

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.

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 93%
Lastkombination 1	81%	
Knotenblech	75%	
Schrauben (inkl. Anschlussblech)	64%	
Schweißnähte (inkl. Anschlussblech)	81%	
Lastkombination 2	93%	▷ maßgeb. Lk anzeigen
Knotenblech	82%	
Schweißnähte (inkl. Anschlussblech)	93%	
Gesamt	93%	

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.

Lastkombination 3	149%	▷ maßgeb. Lk anzeigen
Knotenblech	46%	
Schrauben (inkl. Anschlussblech)	149%	
Schweißnähte (inkl. Anschlussblech)	39%	
Gesamt	149%	

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 geprüft werden.

FEM-Ergebnisse



das sechste Register stellt die FEM-Ergebnisse grafisch dar

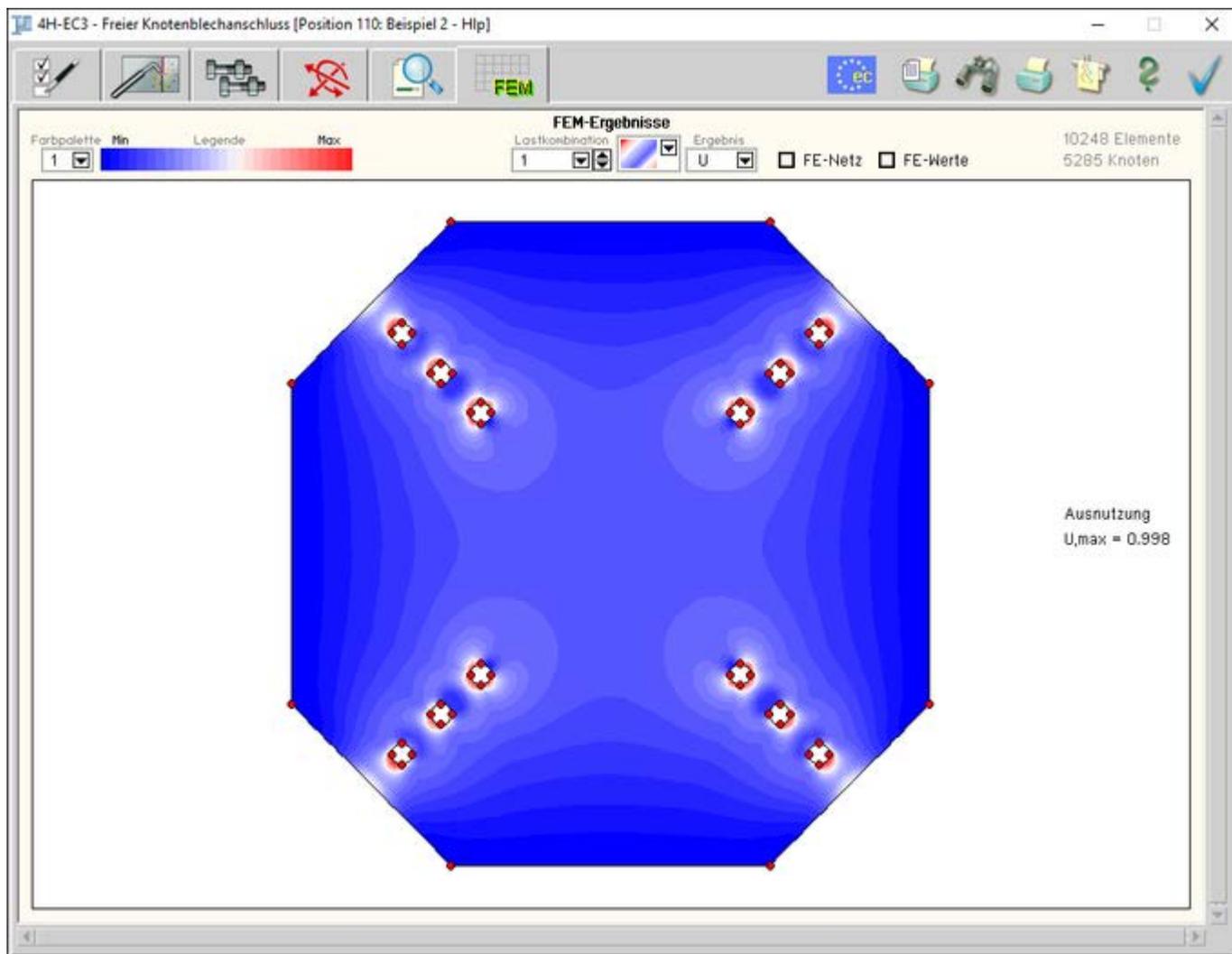


Bild vergrößern

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

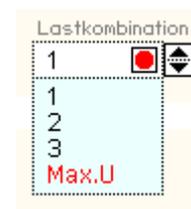
Dazu gehören die Verformungen u und bezogenen Spannungen n . Zusätzlich können die Traglastausnutzungen U visualisiert werden, die aus der Auswertung der nachfolgenden Bemessung resultieren.

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.

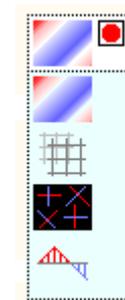


Für diese Ergebnisse wird in einer weiteren Listbox der Ergebnistyp festgelegt.

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.

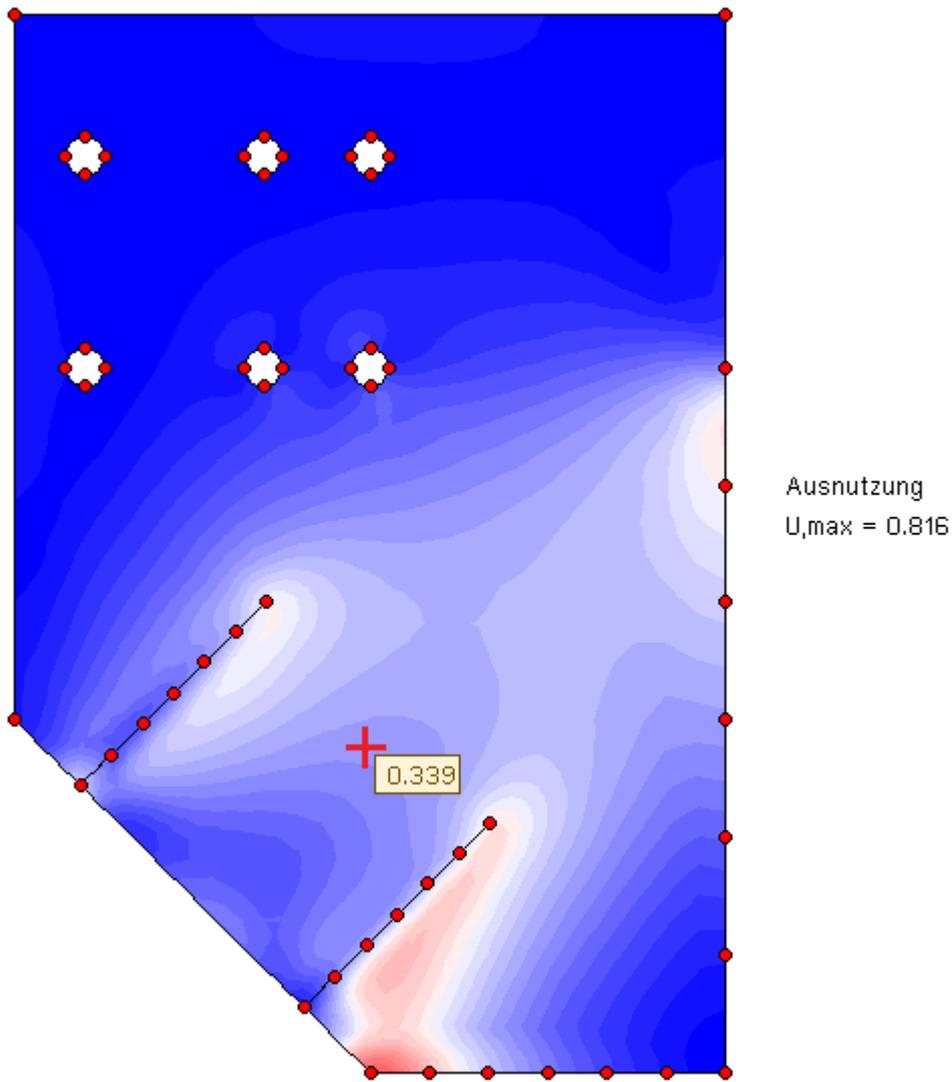
Aus zwei Farbpaletten kann die Einfärbung des Konturenplots gewählt werden.

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

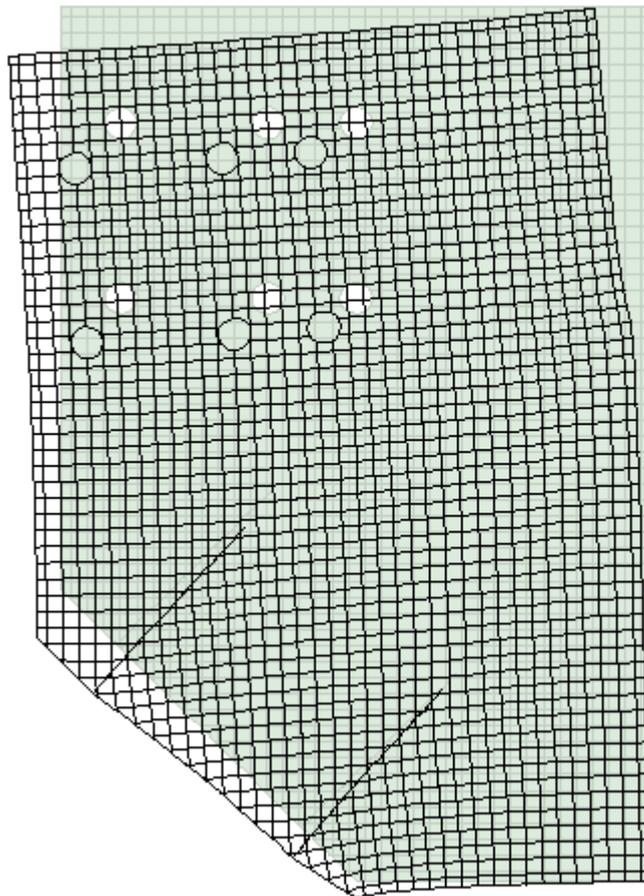


Darstellung der Ergebnisse am Bildschirm (Beispiele)

- Konturenplot der Ausnutzungen mit Angabe eines beliebig ausgewählten FE-Werts.
Zur Info wird die maximale Ausnutzung protokolliert.

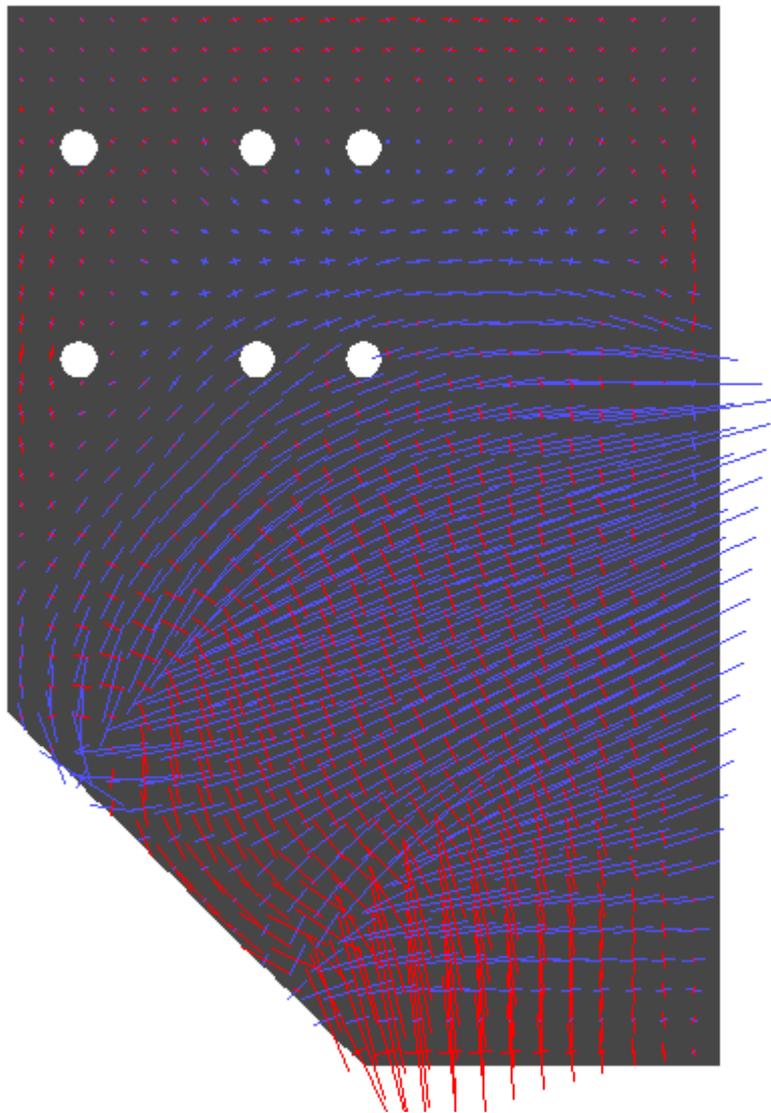


- Verformungsfigur. Zur Info wird die maximale Verschiebung angegeben.



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

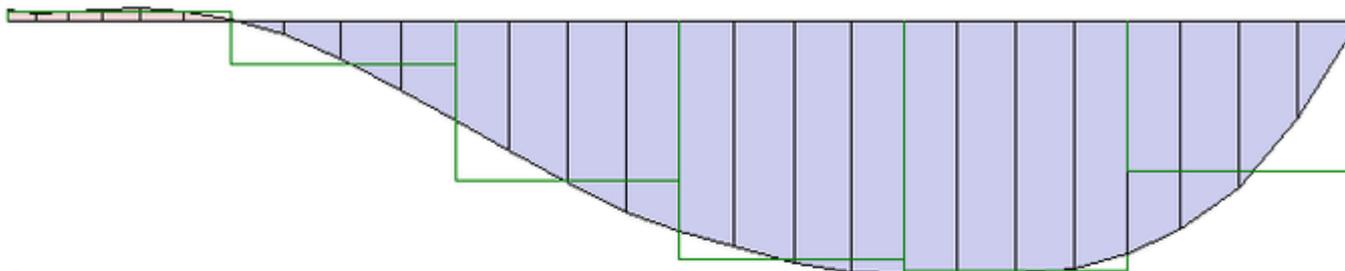
- Vektordarstellung der bezogenen Normalkräfte



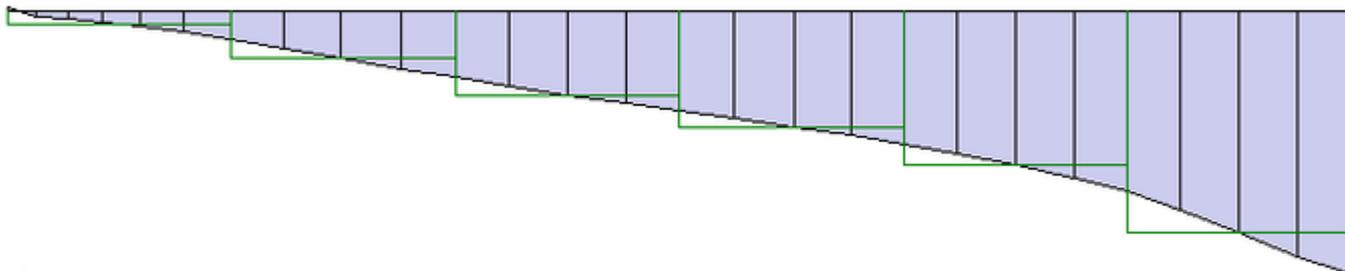
bezogene Spannungen
nxx,min = -40.7 N/mm²
nxx,max = 107.0 N/mm²
nyy,min = -143.1 N/mm²
nyy,max = 54.0 N/mm²
nxy,min = -58.5 N/mm²
nxy,max = 28.5 N/mm²

- Liniengrafik einer Schweißnaht (Lagerlinie)

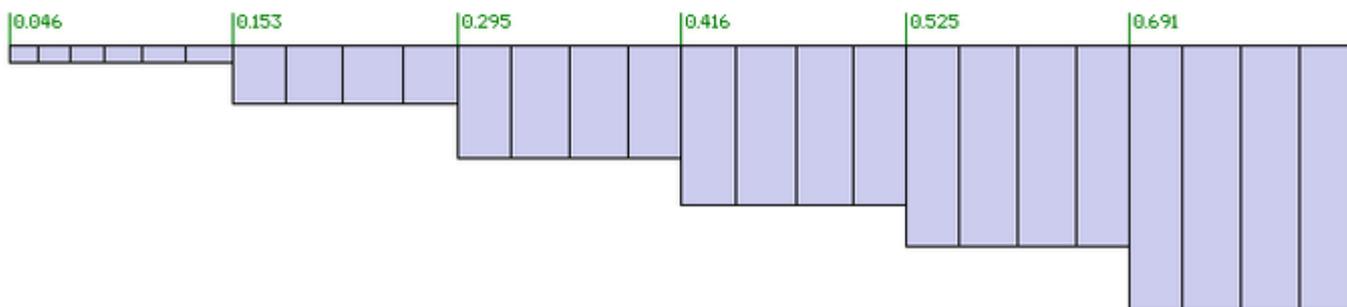
f_{längs} Länge = 200.0 mm, Min = -17.4 N/mm, Max = 384.5 N/mm
 Bemessungswerte: Min = -13.2 N/mm, Max = 378.4 N/mm



f_{quer} Länge = 200.0 mm, Min = -15.7 N/mm, Max = 1635.2 N/mm
 Bemessungswerte: Min = 89.3 N/mm, Max = 1379.5 N/mm



U_L Max = 0.691



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_L.

Zur Darstellung des Druckdokuments s. [Beschreibung der Ergebnisse](#).

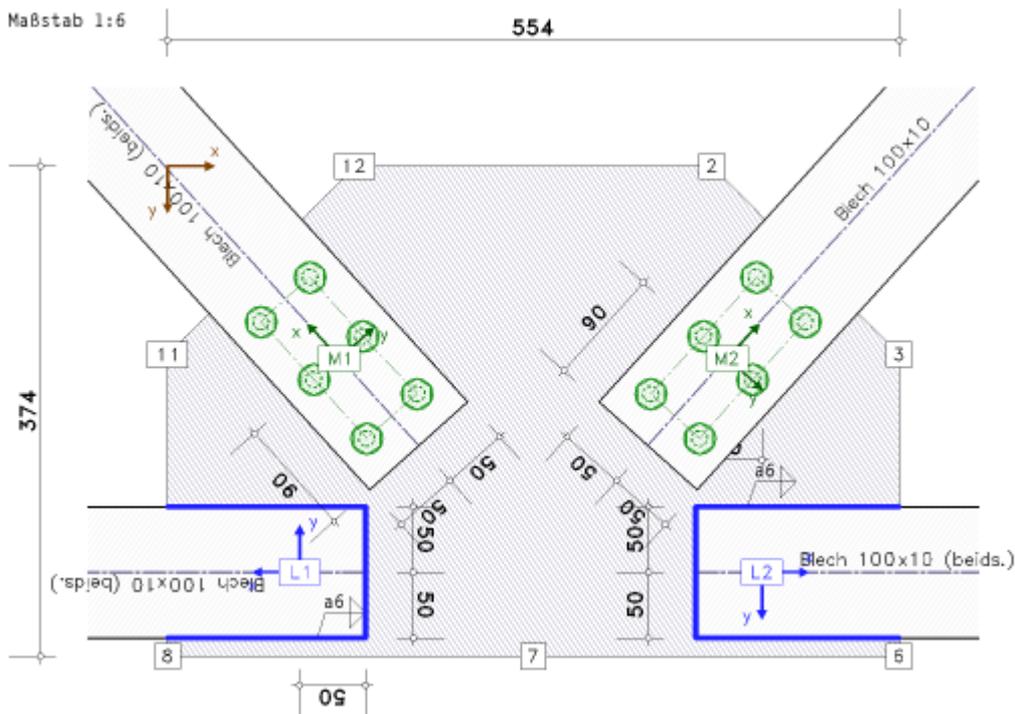
Lastverteilung und Nachweise

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

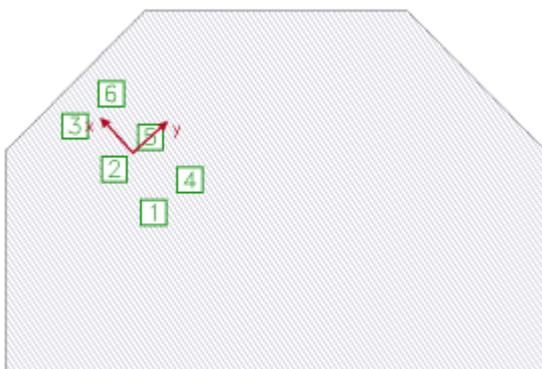
Die Anschlusspunkte werden als Lastpunkte (M - Schrauben, L - Schweißnähte) bezeichnet, da über sie entweder Schnittgrößen in das Modell eingeleitet oder aus dem Modell weitergeleitet werden.

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. [Modellierung des Anschlusses](#)), mit dessen Hilfe eine einwirkende Schnittgröße auf die Einzelpunkte verteilt wird.



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



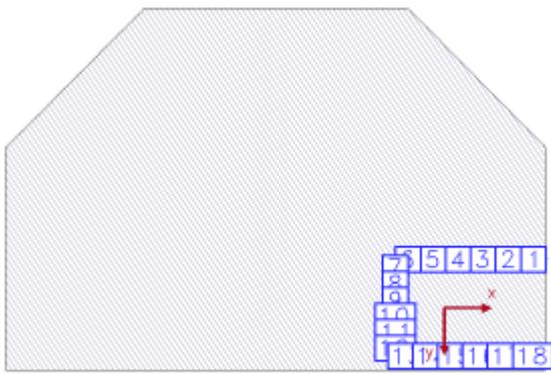
Die Schrauben sind je Gruppe durchnummeriert. Die x,y-Koordinaten beziehen sich auf das Scheibenkoordinatensystem, die Kräfte F_x, F_y auf das Schraubenkoordinatensystem.

Schrauben:

Gruppe M1

Schraube 1:	x = 151.4 mm	y = 207.8 mm	$F_x = -19.79$ kN	$F_y = 0.71$ kN
Schraube 2:	x = 111.2 mm	y = 163.2 mm	$F_x = -6.03$ kN	$F_y = -11.68$ kN
Schraube 3:	x = 71.1 mm	y = 118.6 mm	$F_x = 7.73$ kN	$F_y = -24.07$ kN
Schraube 4:	x = 188.5 mm	y = 174.4 mm	$F_x = -9.46$ kN	$F_y = 12.17$ kN
Schraube 5:	x = 148.4 mm	y = 129.8 mm	$F_x = 4.29$ kN	$F_y = -0.21$ kN
Schraube 6:	x = 108.2 mm	y = 85.2 mm	$F_x = 18.05$ kN	$F_y = -12.60$ 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 φ zur x-Achse des Schweißnahtkoordinatensystems wirken.

Schweißnähte:

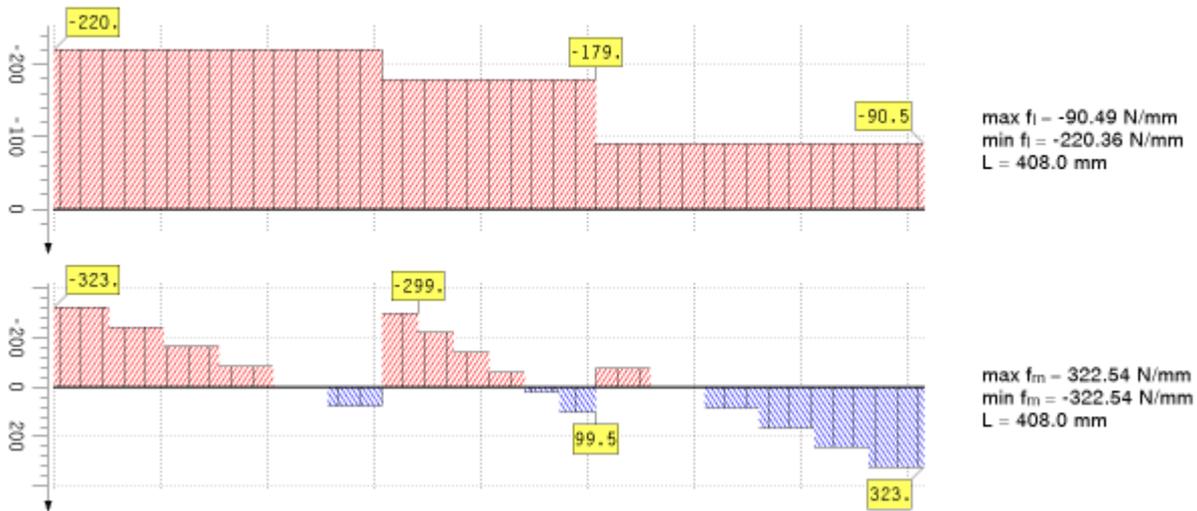
Jede Einzelnaht wird 6-fach unterteilt, der Mittelpunkt einer Teilnaht wird belastet.

Gruppe L2

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

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

**Schnittkräfte längs f_l und quer f_m
Gruppe L2:**



Berechnung eines 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)

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

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

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

Damit ergibt sich für jeden Punkt bzw. jede Schraube i

$$T_{y,i} = f_{v,ti} \cdot \left[\frac{V_y}{A'} - \frac{M_x}{I'_p} \cdot z_i \right] \quad \text{und} \quad T_{z,i} = f_{v,ti} \cdot \left[\frac{V_z}{A'} + \frac{M_x}{I'_p} \cdot y_i \right] \quad \text{und} \quad T_i = \sqrt{T_{y,i}^2 + T_{z,i}^2}$$

$T_{y,i}, T_{z,i}$... 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](#).

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](#).

Die Lochleibungstragfähigkeit wird je Schraube und Lastrichtung ermittelt.

Nach ECCS wird die resultierende Lochleibungstragfähigkeit einer Schraube als Minimalwert der vektoriellen Addition der Krafrichtungen 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.**

Nachweise der Schweißnähte

Die Schweißnähte werden entweder mit dem richtungsbezogenen oder vereinfachten Verfahren nachgewiesen. Informationen zur Berechnung der Tragfähigkeit s. allgemeine Beschreibung der [Schweißnähte](#).

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

Nachweis der Schweißnähte

Abschn. 1: $F_1 = -5.66 \text{ kN}$, $F_m = -8.28 \text{ kN}$, $l_1 = 25.7 \text{ mm}$

Kräfte auf der wirksamen Nahtfläche: $F_{Ed}(\sigma_s) = -2.28 \text{ kN/cm}$ $F_{Ed}(\tau_s) = 2.28 \text{ kN/cm}$ $F_{Ed}(\tau_p) = -2.20 \text{ kN/cm}$

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche: $\sigma_s = 3.80 \text{ kN/cm}^2$ $\tau_s = 3.80 \text{ kN/cm}^2$ $\tau_p = 3.67 \text{ kN/cm}^2$

$\sigma_{1,w,Ed} = (\sigma_s^2 + 3 \cdot (\tau_s^2 + \tau_p^2))^{1/2} = 9.91 \text{ kN/cm}^2$

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.**

$\sigma_{2,w,Ed} = |\sigma_s| = 3.80 \text{ kN/cm}^2$

beidseitige Naht: $\sigma_{2,w,Ed}/2 = 1.90 \text{ kN/cm}^2$

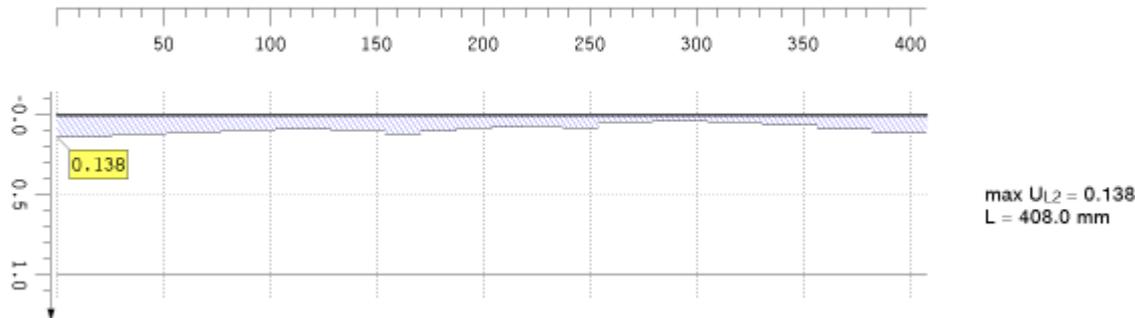
Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.2): $f_{2w,d} = 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 25.92 \text{ kN/cm}^2$

$\sigma_{2,w,Ed} = 1.90 \text{ kN/cm}^2 < f_{2w,d} = 25.92 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.073 < 1$ **o.k.**

⋮

Ausnutzung der Schweißnähte: $\max U_{L2} = 0.138 < 1$ **o.k.**

Gruppe L2:



Spannungsnachweis für Scheiben n. EC 3

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

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).

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

$$\sigma_x = n_{xx} / t_p$$

$$\sigma_y = n_{yy} / t_p$$

$$\tau = n_{xy} / t_p$$

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 σ_{12} und die Hauptschubspannung τ_{12} zu beachten

$$\sigma_{12} = |\sigma_{mid}| + \sqrt{\sigma_{mid}^2 + \tau^2} \quad \dots \text{ mit } \dots \sigma_{mid} = 0.5 \cdot (\sigma_x + \sigma_y)$$

$$\tau_{12} = \sqrt{\Delta\sigma^2 + \tau^2} \quad \dots \text{ mit } \dots \Delta\sigma = 0.5 \cdot (\sigma_x - \sigma_y)$$

Die Teilausnutzungen ergeben sich zu

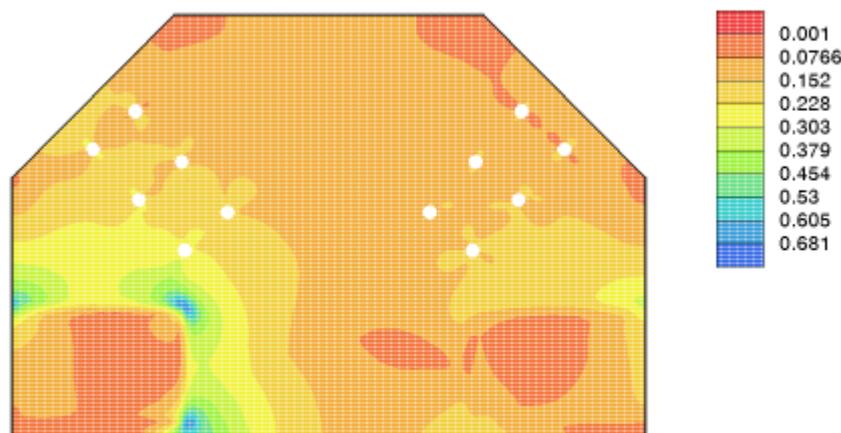
$$U_\sigma = \sigma_{12} / \sigma_{Rd} \quad \dots \text{ mit } \dots \sigma_{Rd} = f_y / \gamma_{M0}$$

$$U_\tau = \tau_{12} / \tau_{Rd} \quad \dots \text{ mit } \dots \tau_{Rd} = f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$$

$$U_{\sigma_V} = \sigma_V / \sigma_{Rd}$$

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

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

Ausnutzung U_p max $U_p = 0.676$ **Ausnutzung**

Kno	x mm	y mm	σ N/mm ²	τ N/mm ²	σ_v N/mm ²	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; σ, τ, σ_v : Spannungen; U_p : Ausnutzung**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 zusammzusetzen, d.h. zu konstruieren.

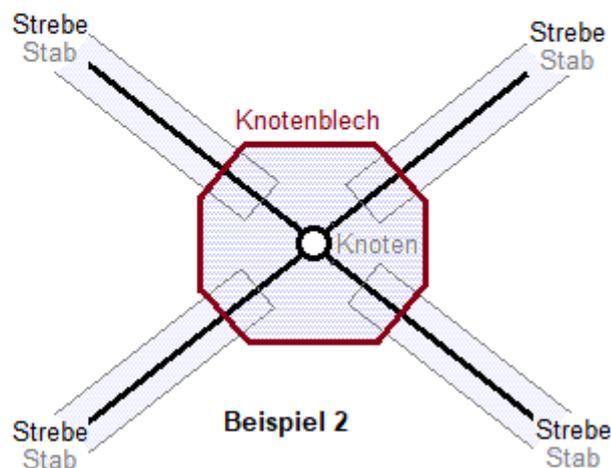
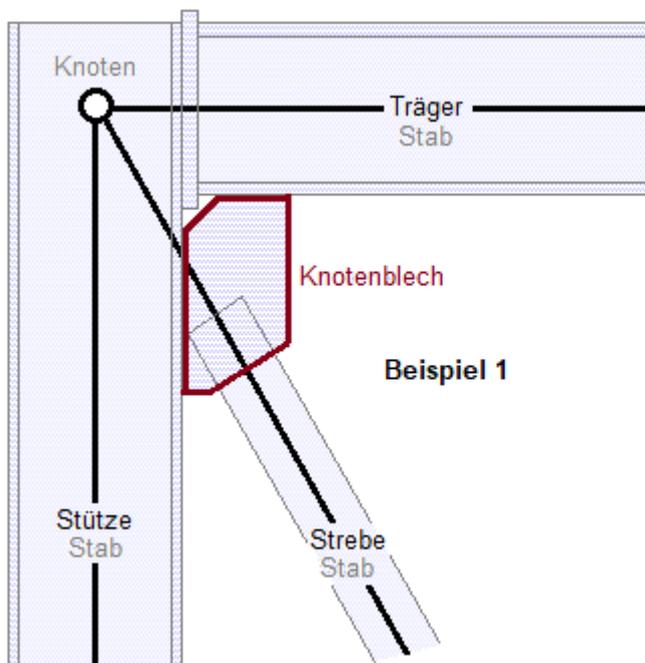
Die Ausbildung der Knoten, der Verbindungspunkte der Stäbe, erfordert eine besondere Aufmerksamkeit, da einerseits die in der Statik angenommene Steifigkeit (steif, gelenkig, nachgiebig) in die Realität umzusetzen ist, als auch die konstruktiven Bedingungen zur Gestaltung des Anschlusses beachtet werden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

Im vorliegenden Programm 4H-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' zum Knotenpunkt des Tragsystems.

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

Besondere Beachtung ist auf die Exzentrizität der Lasteinleitung in das Haupttragssystem 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 Beschreibung der Ergebnisausgabe erfolgt unter Beachtung der Ausführungen unter Bsp. 1 anhand von Beispiel 2 (s.u.).

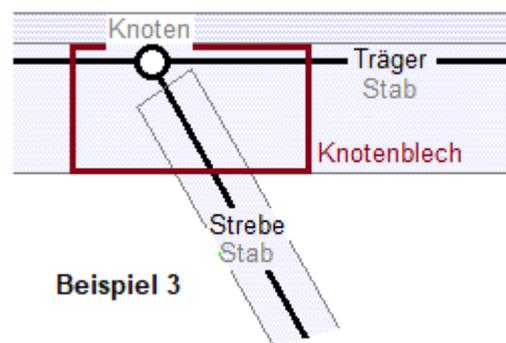
Beispiel 3 behandelt den Fall, dass Streben über einen (gelenkigen) Bolzen an das Tragbauteil angeschlossen werden.

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 Flachstähe.

Eine Kontrolle der Augenstabgeometrie erfolgt nicht.

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



Beispiel 1: Knotenblech $t = 15 \text{ mm}$, L80x8 (beidseitig) angeschraubt mit 4 x M12, 8.8, Stahlgüte S235

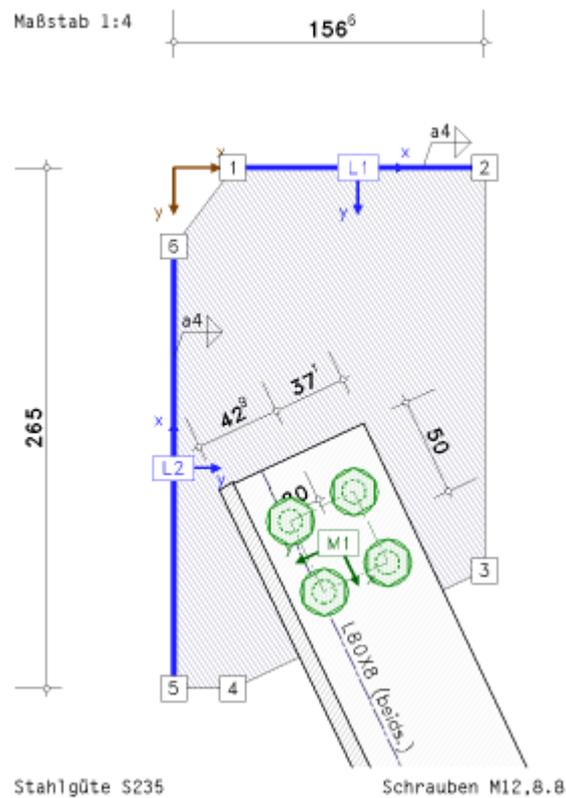
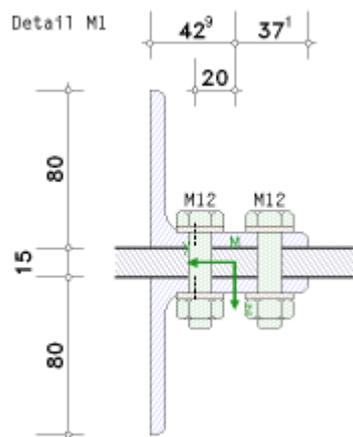
Zwei Seiten des Knotenblechs sind über beidseitige Kehlnähte, $a_w = 4 \text{ mm}$ an das Haupttragssystem geschweißt.

Die Zugkraft $F_{x,Ed} = 150 \text{ kN}$ aus der angeschraubten Diagonalstrebe soll übertragen werden.

Die Schrauben leiten die Last aus dem Lastpunkt in das Blech; die Schweißnähte werden als Linienlager für den Lastabtrag modelliert.

Die Verbindung ist in der maßstäblichen Bildschirmgrafik dargestellt.

Das Anschlussprofil wird detailliert skizziert.



Die Koordinatensysteme der Verbindungselemente sind farblich gekennzeichnet. Für das Knotenblech steht braun, für die Schrauben grün, für die Schweißnähte blau. Diese Konvention wird konsequent eingehalten.

Neben den wesentlichen Abmessungen sind Stahlsorte, Schraubenfestigkeit, Schweißnahtdicken und Profilname sind in der Grafik vermerkt.

Das Knotenblech ist i.A. polygonal berandet. Die Punktnamen sind ebenso wie die Kennpunkte der Verbindungselemente M für Schraubengruppen und L für Schweißnahtgruppen eingezeichnet.

Für jede Schraube werden die minimalen Abstände zu den Rändern und zwischen den Löchern überprüft und protokolliert. Tritt ein Fehler auf, d.h. ist ein Abstand zu gering, erfolgt die Beendigung der Berechnung mit einer entsprechenden Meldung.

Minimale Abstände der Schrauben auf dem Knotenblech (Gruppe 1)

Schraube 1: $e_1 = 64.5 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 15.6 \text{ mm}$,	$e_1 = 64.5 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 72.0 \text{ mm}$
Schraube 1: $p_1 = 35.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 28.6 \text{ mm}$,	$p_1 = 35.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 112.0 \text{ mm}$
Schraube 2: $e_1 = 24.5 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 15.6 \text{ mm}$,	$e_1 = 24.5 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 72.0 \text{ mm}$
Schraube 2: $p_1 = 35.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 28.6 \text{ mm}$,	$p_1 = 35.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 112.0 \text{ mm}$
Schraube 3: $e_1 = 58.9 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 15.6 \text{ mm}$,	$e_1 = 58.9 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 72.0 \text{ mm}$
Schraube 3: $p_1 = 35.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 28.6 \text{ mm}$,	$p_1 = 35.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 112.0 \text{ mm}$
Schraube 4: $e_1 = 24.5 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 15.6 \text{ mm}$,	$e_1 = 24.5 \text{ mm} < 4 \cdot t + 40 \text{ mm} = 72.0 \text{ mm}$
Schraube 4: $p_1 = 35.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 28.6 \text{ mm}$,	$p_1 = 35.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) = 112.0 \text{ mm}$

Ebenso werden die Schweißnahtdicken je Nahtgruppe überprüft. Bei Kantennahten wird vorausgesetzt, dass das Anschlussbauteil dicker ist als das Knotenblech.

Kontrolle der Schweißnahtdicken (Gruppe 1)

Blechdicke $t_1 = 15.0 \text{ mm} > 4 \text{ mm}$ **o.k.**

Blechdicke $t_2 = 15.0 \text{ mm} > 4 \text{ mm}$ **o.k.**

NA-DE: Blechdicke $t_{\max} \geq 3 \text{ mm}$: Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{\min} = t_{\max}^{1/2} - 0.5 = 3.37 \text{ mm}$ **o.k.**

Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} < a_{\max} = t_{\min} = 10.6 \text{ mm}$ **o.k.**

Nahtdicke $a = 4.0 \text{ mm} > a_{\min} = 3 \text{ mm}$ **o.k.**

Die Lasten werden je Lastpunkt eingegeben (hier: nur Lastpunkt M1) und anschließend auf die Gruppenmitglieder verteilt. Bei einer gleichmäßigen Anordnung der Schrauben in Bezug auf den Lastpunkt, wie es in diesem Beispiel der Fall ist, erhält bei einer reinen Zugkraft jede Schraube den gleichen Anteil.

Die berechnete Kraft je Schraube ist auf das globale (Knotenblech-) xy-Koordinatensystem bezogen.

Lastverteilung

Lastkombination 1:

Schrauben:

Gruppe M1

Schraube 1:	x = 90.6 mm	y = 165.1 mm	$F_x = -11.14$ kN	$F_y = 26.17$ kN
Schraube 2:	x = 107.6 mm	y = 201.3 mm	$F_x = 27.28$ kN	$F_y = 8.05$ kN
Schraube 3:	x = 58.9 mm	y = 180.0 mm	$F_x = 4.71$ kN	$F_y = 59.79$ kN
Schraube 4:	x = 76.0 mm	y = 216.2 mm	$F_x = 43.13$ kN	$F_y = 41.67$ kN

Diese Kräfte werden auf das FEM-System aufgebracht und berechnet. Die resultierenden Schnittgrößen werden nachgewiesen.

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: $\max U_{M1} = 0.926 < 1$ **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/cm², $\min \sigma_x = 6.10$ kN/cm², $\max \tau = 0.00$ kN/cm²

zul. Normal-/Schubspannung: $\text{zul } \sigma_{Rd} = 23.50$ kN/cm², $\text{zul } \tau_{Rd} = 13.57$ kN/cm²

Untergurt: Gurtbiegung $M_{\sigma,U} = 1.42$ kNm, Biegespannung $\sigma_U = 6.13$ kN/cm² $\Rightarrow U_{\sigma,U} = 0.261$

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, $d_0 = 13.0$ mm $A_{\text{net}} = 1200.7$ mm² $\Rightarrow \beta = 0.9 \cdot A_{\text{net}} = 1080.66$ mm²

Tragfähigkeit $N_{u,Rd} = \beta \cdot f_u / \gamma_2 = 311.23$ kN

Nachweis: $U_{\text{net}} = N_{Ed} / N_{u,Rd} = 0.241 < 1$ **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_l und F_m , die aus den gemittelten FEM-Ergebnissen (f_l , f_m) resultieren.

Nachweis der Schweißnähte

Abschn. 1: $f_l = -264.59$ N/mm, $f_m = -237.32$ N/mm $\Rightarrow F_l = -5.58$ kN, $F_m = -5.01$ kN, $l_1 = 21.1$ mm

Kräfte auf der wirksamen Nahtfläche: $F_{Ed}(\sigma_s) = -1.68$ kN/cm $F_{Ed}(\tau_s) = 1.68$ kN/cm $F_{Ed}(\tau_p) = -2.65$ kN/cm

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche: $\sigma_s = 4.20$ kN/cm² $\tau_s = 4.20$ kN/cm² $\tau_p = 6.61$ kN/cm²

$\sigma_{1,w,Ed} = (\sigma_s^2 + 3 \cdot (\tau_s^2 + \tau_p^2))^{1/2} = 14.20$ kN/cm²

beidseitige Naht: $\sigma_{1,w,Ed}/2 = 7.10$ kN/cm²

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.1): $f_{1w,d} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 36.00$ kN/cm²

$\sigma_{1,w,Ed} = 7.10$ kN/cm² < $f_{1w,d} = 36.00$ kN/cm² $\Rightarrow U = 0.197 < 1$ **o.k.**

$\sigma_{2,w,Ed} = |\sigma_s| = 4.20$ kN/cm²

beidseitige Naht: $\sigma_{2,w,Ed}/2 = 2.10$ kN/cm²

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Bed.2): $f_{2w,d} = 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 25.92$ kN/cm²

$\sigma_{2,w,Ed} = 2.10$ kN/cm² < $f_{2w,d} = 25.92$ kN/cm² $\Rightarrow U = 0.081 < 1$ **o.k.**

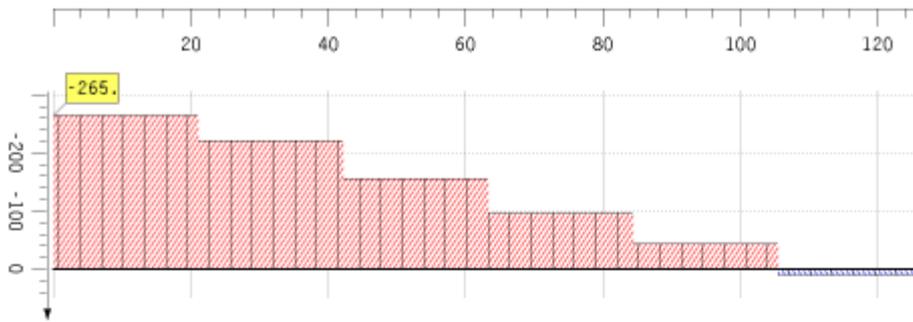
⋮

Ausnutzung der Schweißnähte: $\max U_{L1} = 0.197 < 1$ **o.k.**

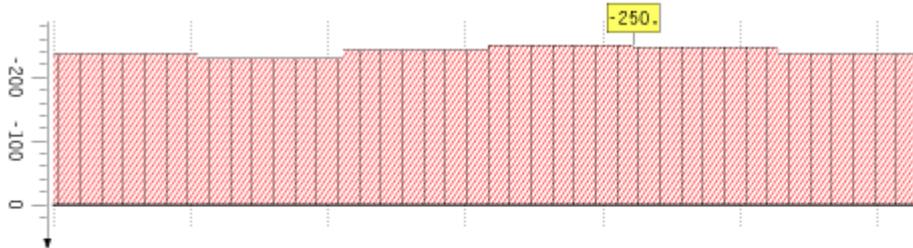
Der besseren Übersichtlichkeit halber werden die Bemessungskräfte und Ausnutzungen der Schweißnähte zudem in Form von Liniengrafiken angegeben.

Schnittkräfte längs f_l und quer f_m

Gruppe L1:



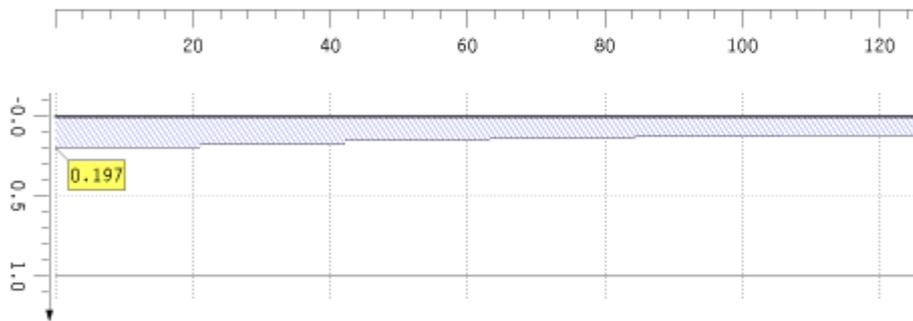
max $f_l = 9.90 \text{ N/mm}$
 min $f_l = -264.59 \text{ N/mm}$
 L = 126.6 mm



max $f_m = -229.03 \text{ N/mm}$
 min $f_m = -250.37 \text{ N/mm}$
 L = 126.6 mm

Ausnutzung U_{L1}

Gruppe L1:

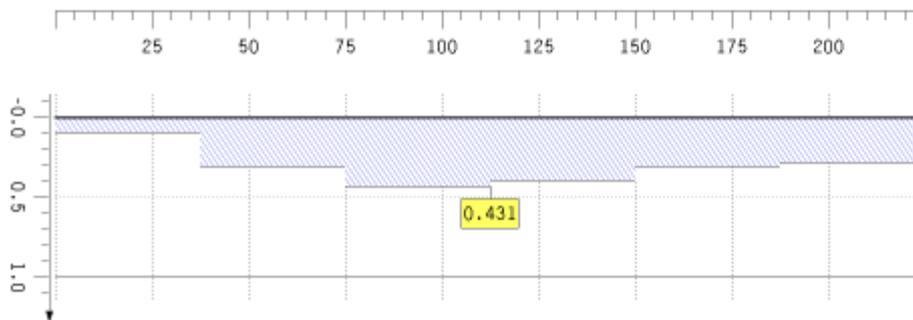


max $U_{L1} = 0.197$
 L = 126.6 mm

⋮

Ausnutzung U_{L2}

Gruppe L2:



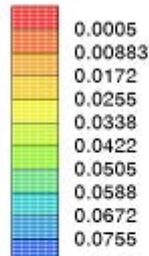
max $U_{L2} = 0.431$
 L = 225.0 mm

Nachweis des Knotenblechs

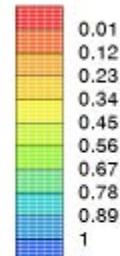
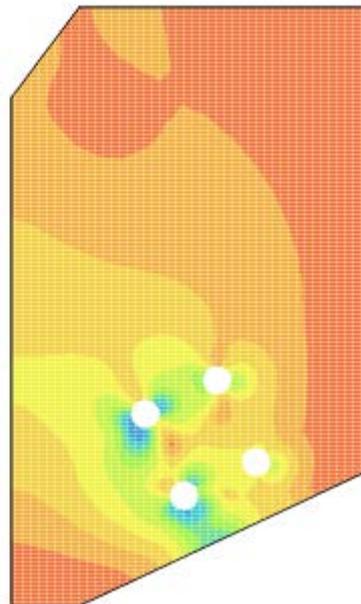
Die FEM-Ergebnisse des Knotenblechs liegen in grafischer Form als Konturenplot oder als Tabelle vor. Die Grafiken vermitteln einen Gesamteindruck des Tragverhaltens des Knotenblechs.

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_x mm	u_y mm	u mm	n_{xx} kN/m	n_{yy} kN/m	n_{xy} kN/m	σ N/mm ²	τ N/mm ²	σ_v N/mm ²	U_p
20	759.7	2227.3	0.034	0.056	0.066	2552.73	-1013.05	-48.15	212.17	3.21	212.24	0.903
120	563.9	1860.4	0.021	0.050	0.054	1020.77	-1082.50	1744.45	121.45	116.30	235.21	1.000
121	542.7	1846.1	0.020	0.042	0.047	969.92	703.10	1954.70	57.86	130.31	233.01	0.992
129	820.0	2186.4	0.044	0.059	0.074	-1292.81	604.78	-1158.50	111.93	77.23	174.42	0.742
130	806.1	2207.8	0.044	0.062	0.076	-232.86	-673.01	-1662.94	39.47	110.86	196.03	0.834

x, y : Knotenkoordinaten; u_x, u_y, u : Verschiebungen; n_{xx}, n_{yy}, n_{xy} : bezogene Normalspannungen; σ, τ, σ_v : Spannungen
 U_p : Ausnutzung

Zusammenfassung

Das Endergebnis wird - aufgeschlüsselt nach den Verbindungsmitteln - ausgegeben.

Maximale Ausnutzung der Schrauben [Lk 1]

max $U_s = 0.926 < 1$ o.k.

Maximale Ausnutzung der Schweißnähte [Lk 1]

max $U_w = 0.431 < 1$ o.k.

Maximale Ausnutzung des Knotenblechs [Lk 1]

max $U_p = 1.000 \leq 1$ o.k.

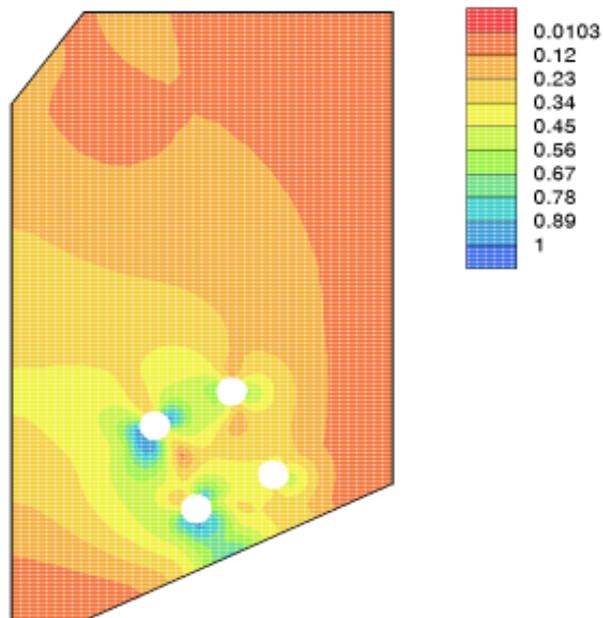
Maximale Ausnutzung

max $U = 1.000 \leq 1$ 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_p aus 1 Lk
 max max $U_p = 1.000$



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	σ_x N/mm ²	τ N/mm ²	σ_y N/mm ²	U_p
120	563.9	1860.4	0.021	0.050	0.054	121.45	116.30	235.21	1.000

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

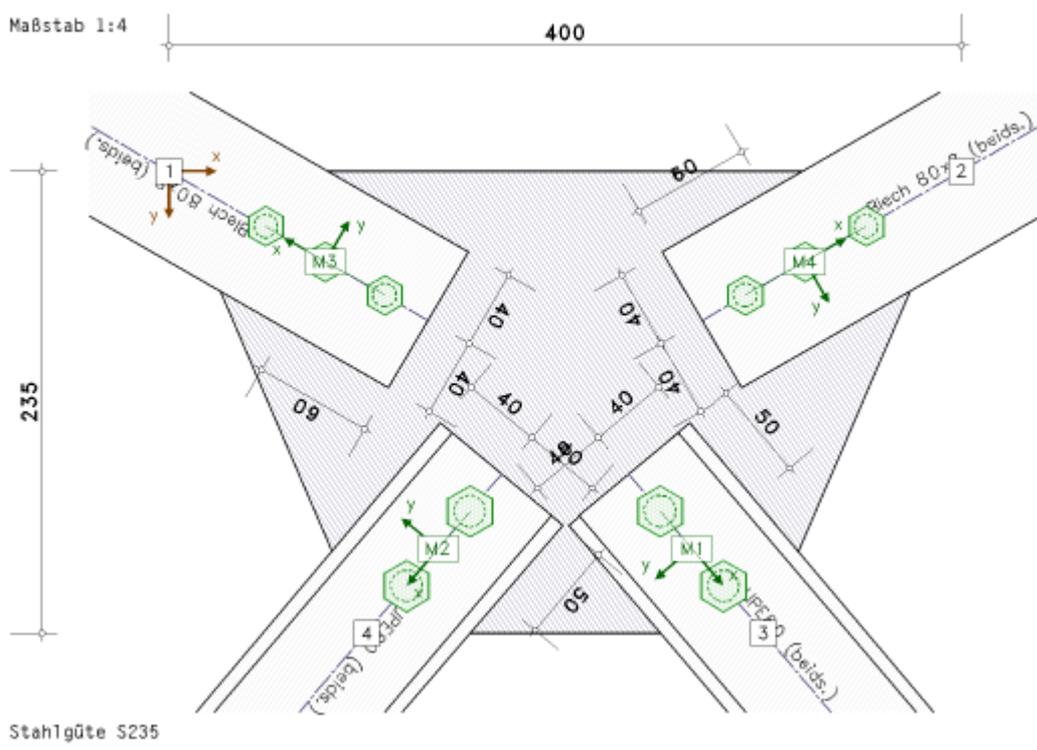
Aus dem Konturenplot der Knotenblech-Ausnutzungen ist ersichtlich, dass sich ein Schub-Zugversagen im Bereich der Schrauben (Blockversagen von Schraubengruppen) einstellt.

Zwischen zwei Schrauben treten Querspannungen auf und erreichen die maximale Ausnutzung ($U_p = 100\%$).

Damit übertreffen sie die Lochleibungsbeanspruchung der Schrauben ($U_{sc} = 93\%$).

Die Tragfähigkeit der Schweißnähte ist hier nicht maßgebend ($U_{sa} = 43\%$).

Beispiel 2: Knotenblech $t = 18$ mm, 2 x UPE80 (beidseitig) angeschraubt mit je 2 x M16, 8.8, 2 x Blech 80x8 (beidseitig) angeschraubt mit je 3 x M12, 8.8, Stahlgüte S235

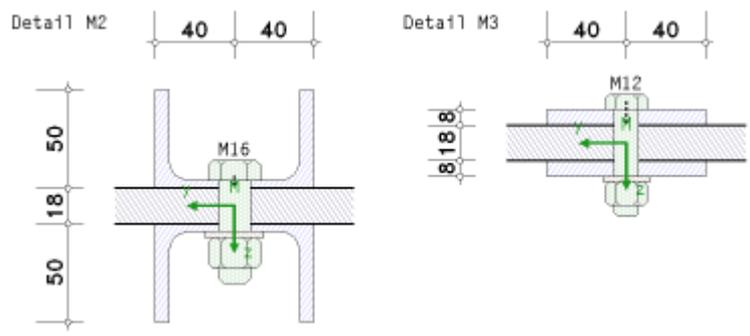


Im Zentrum des Knotenblechs treffen die Wirkungslinien der jeweils beidseitig angeordneten Streben zusammen. Es werden zwei Profiltypen verwendet, die mittels unterschiedlicher Schrauben (Größe und Anordnung) mit dem Blech verbunden werden.

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

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

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: $\Sigma M = 0.00 \text{ kNm}$, $\Sigma F_x = 0.00 \text{ kN}$, $\Sigma F_y = 0.01 \text{ kN}$
 ⇒ Gleichgewicht vorhanden, kein Auflager für den Lastabtrag erforderlich **o.k.**

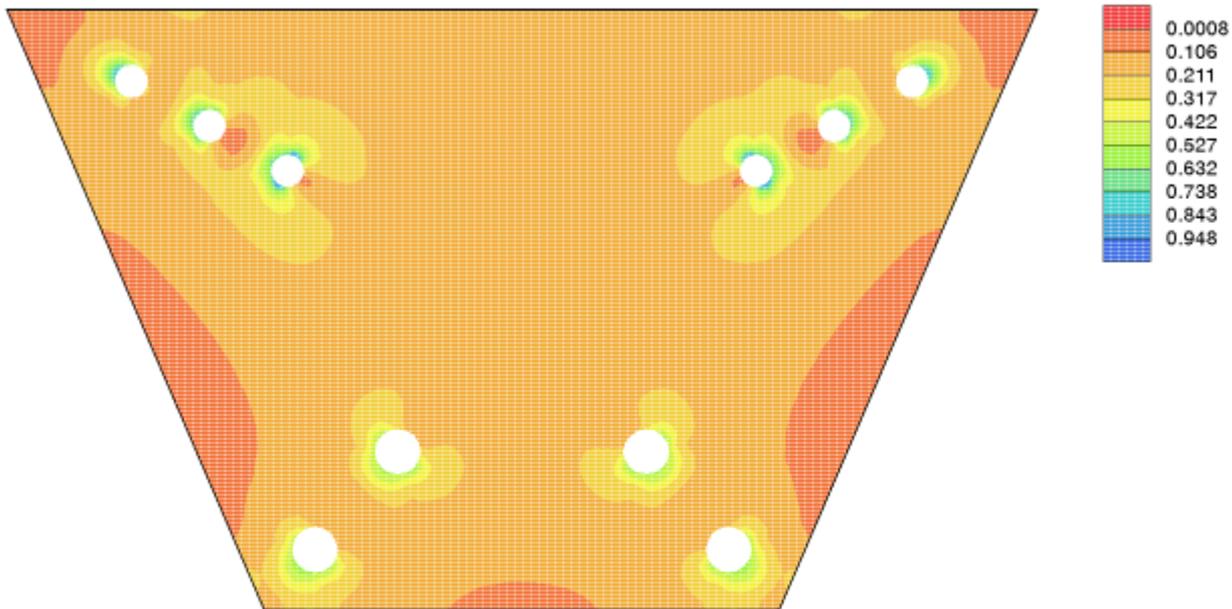
Die Momentensumme und Kräftesummen werden gegen eine geringe Toleranz verglichen. Ist diese überschritten, wird die Berechnung mit einer entsprechenden Fehlermeldung abgebrochen.

Für die FEM-Berechnung wird ein fiktives Punktaulager 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	σ_x N/mm ²	τ N/mm ²	σ_y N/mm ²	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; σ, τ, σ_y : Spannungen; $\sigma_y=0$: σ, τ 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.

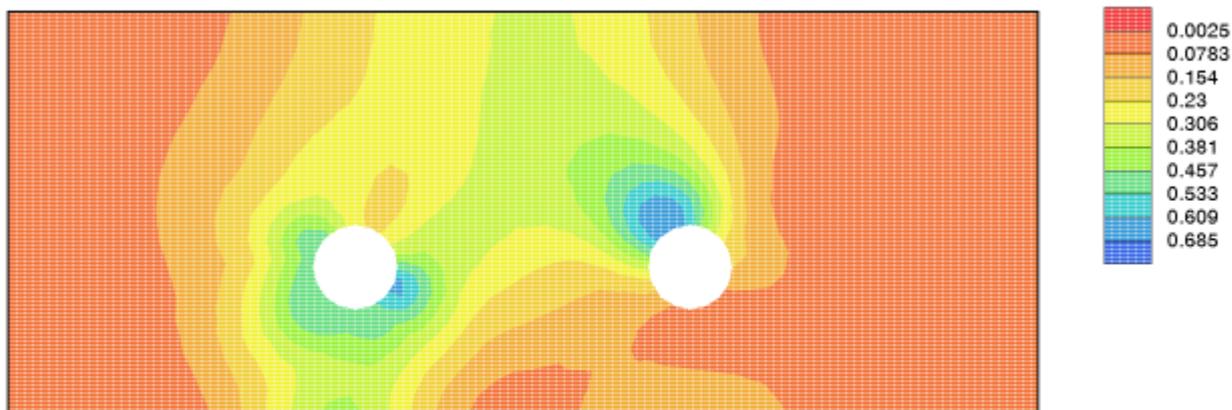
Die maximale Ausnutzung des Knotenblechs tritt bei den Schraubengruppen M1 und M2 auf.

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

Maximale Ausnutzung des Blechs max U_p aus 1 Lkmax 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	σ_x N/mm ²	τ N/mm ²	σ_y N/mm ²	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; σ_x, τ, σ_y : Spannungen; $\sigma_y=0$: σ_x, τ 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.

