



4H- STATIKPROGRAMME
AUS HANNOVER

DTE Desktop[®]
Engineering



pcae GmbH

Kopernikusstr. 4A

30167 Hannover

Tel 0511/70083-0

Fax 0511/70083-99

Internet www.pcae.de

Mail dte@pcae.de



4H-EC3LS

Laschenstoß

August 2022

4H-EC3LS

Laschenstoß

Copyright 2017-2022

2. erweiterte Auflage, August 2022

pcae GmbH, Kopernikusstr. 4 A, 30167 Hannover

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

Änderungen an Programm und Beschreibung vorbehalten.

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

Ferner finden Sie **Verbesserungen und Tipps im Internet unter www.pcae.de**.

Von dort können zudem aktualisierte Programmversionen herunter geladen werden. S. hierzu auch *automatische Patch-Kontrolle* im DTE[®]-System.

Produktbeschreibung

Das Programm *##-EC3LS*, Laschenstoß, weist einen Laschenanschluss für typisierte Doppel-T-Profile oder Flachstähle unter einachsiger Beanspruchung nach Eurocode 3 nach.

Folgende Leistungsmerkmale werden bereitgestellt

- die Materialsicherheit kann entweder normenkonform vorbelegt oder vom Anwender eingegeben werden
- die Trägerprofile können entweder dem *pcae*-eigenen Profilmanager entnommen oder als typisierte Querschnitte parametrisiert eingegeben werden
- die Parameter der Schrauben und Stahlsorten können entweder über deren Bezeichnungen einer *pcae*-eigenen Listbox entnommen oder vom Anwender vorgegeben werden
- die Stahlsorte kann für die Verbindungsbleche (Trägerprofile, Obergurt-, Untergurt-, Stegglaschen) einzeln gewählt werden. Alternativ kann eine einheitliche Stahlsorte festgelegt werden.
- die Schraubensorte kann für die Verbindungselemente (Obergurt-, Untergurt-, Stegglaschen) einzeln gewählt werden. Alternativ kann eine einheitliche Schraubensorte festgelegt werden.
- die Trägerprofile links und rechts können innerhalb ihrer Profilkategorie (Doppel-T-Profil oder Flachstahl) unterschiedlich gewählt werden. Alternativ können beide Trägerprofile vereinheitlicht werden.
- die Gurtlaschen oben und unten können unterschiedlich gewählt werden. Alternativ können beide Gurtverbindungen vereinheitlicht werden.
- zusätzlich kann die Querschnittstragfähigkeit ermittelt werden, wobei die Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* oder *Elastisch-Plastisch* gewählt werden können
- Import- / Exportfunktionen
- Schnittgrößenimport aus *pcae*-Stabwerksprogrammen und über Text-Importschnittstelle
- Import/Export aus/zu den Programmen *##-EC3BT*, biegesteifer Trägeranschluss, und *##-EC3IH*, typisierter IH-Anschluss
- im Ausgabeprotokoll wird bei Bedarf der Rechenweg in ausführlicher Form dargestellt, so dass jeder Zahlenwert nachvollzogen werden kann. Natürlich kann das Statikdokument auch wesentlich reduziert werden.
- Export der Konstruktionszeichnung im DXF-Format zur Weiterbearbeitung in einem CAD-System
- englischsprachige Druckdokumentenausgabe

Die Programmentwicklung erfolgt nahezu ausschließlich durch Bauingenieure.

Die interaktiven Steuermechanismen des Programms sind aus anderen Windows- Anwendungen bekannt. Wir haben darüber hinaus versucht, weitestgehend in der Terminologie des Bauingenieurs zu bleiben und *##-EC3LS* von detailliertem Computerwissen unabhängig zu halten.

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



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

Zur *##-EC3LS*-Dokumentation gehört neben diesem Handbuch das Manual

DTE®-DeskTopEngineering.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit *##-EC3LS*.

Hannover, im August 2022

Abkürzungen und Begriffe

Um die Texte zu straffen, werden folgende Abkürzungen benutzt:

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



signalisiert Anmerkungen

Buttons

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



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

Index

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

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

Doppelklick

zweimaliges schnelles Betätigen der LMT

blank

Leerzeichen

Cursor

Schreibmarke in Texten, Zeigesymbol bei Mausbedienung

icon

oder Ikon, Piktogramm, Bildsymbol

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

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



Bricht Eigenschaftsblätter ohne Änderung der Eingabewerte ab.



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



Ruft das Online-Hilfesystem.



Bestätigt die Eingaben und schließt das Eigenschaftsblatt.



Löschen-Button vernichtet Eingaben mit Nachfrage.



Datenzustand
überprüfen

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

Inhaltsverzeichnis

1	Programminstallation	5
2	Bauteil erzeugen	7
3	Eingabeoberfläche	9
3.1	Materialparameter, Trägerprofil, Berechnungsoptionen	11
3.2	Anschlussparameter	13
3.2.1	Anschlusskonfigurationen	13
3.2.2	Druckausgabe	16
3.3	Schnittgrößen	17
3.3.1	Schnittgrößen importieren	17
3.4	Ergebnisübersicht	19
4	Berechnung und Nachweise	20
4.1	Nachweis eines Laschenstoßes nach EC 3	20
4.2	Lastaufteilung mittels Linienquerschnitt	23
4.3	Querschnittsnachweis n. EC 3	25
5	Grundkomponenten eines Anschlusses	26
5.1	Blech mit Zug, Druck, Schub	26
5.1.1	Anwendungsvoraussetzung	26
5.1.2	Tragfähigkeit	26
5.1.3	Programmanwendung	26
5.2	Schrauben mit Zugbeanspruchung	27
5.2.1	Anwendungsgrenzen	27
5.2.2	Programmanwendung	27
5.3	Schrauben mit Abscherbeanspruchung	27
5.3.1	Anwendungsgrenzen	27
5.3.2	Programmanwendung	27
5.4	Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung	28
5.4.1	Anwendungsgrenzen	28
5.4.2	Programmanwendung	28
6	Basisverbindungen	29
6.1	Schraubenparameter	29
6.2	Tragfähigkeit von Schraubenverbindungen	30
7	Allgemeines	33
7.1	Stahlsorten	33
7.2	Ausdrucksteuerung	33
7.3	Nationale Anhänge zu den Eurocodes	34
8	Literaturverzeichnis	35
9	Index	38

Programminstallation

Die Installation des DTE®-Systems und das Überspielen des Programms *##-EC3LS* auf Ihren Computer erfolgt über einen selbsterläuternden Installationsdialog.

Sofern Sie bereits im Besitz anderer *##*-Programme sind und diese auf Ihrem Rechner installiert sind, lesen Sie bitte Abs. 2, Bauteil erzeugen, auf S. 7 weiter.



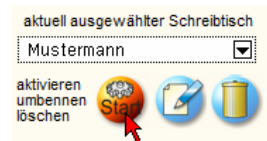
Nach erfolgreicher Installation befindet sich das DTE®-**Startsymbol** auf Ihrer Windowsoberfläche. Führen Sie bitte darauf den Doppelklick aus.

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



Schreibtischname

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

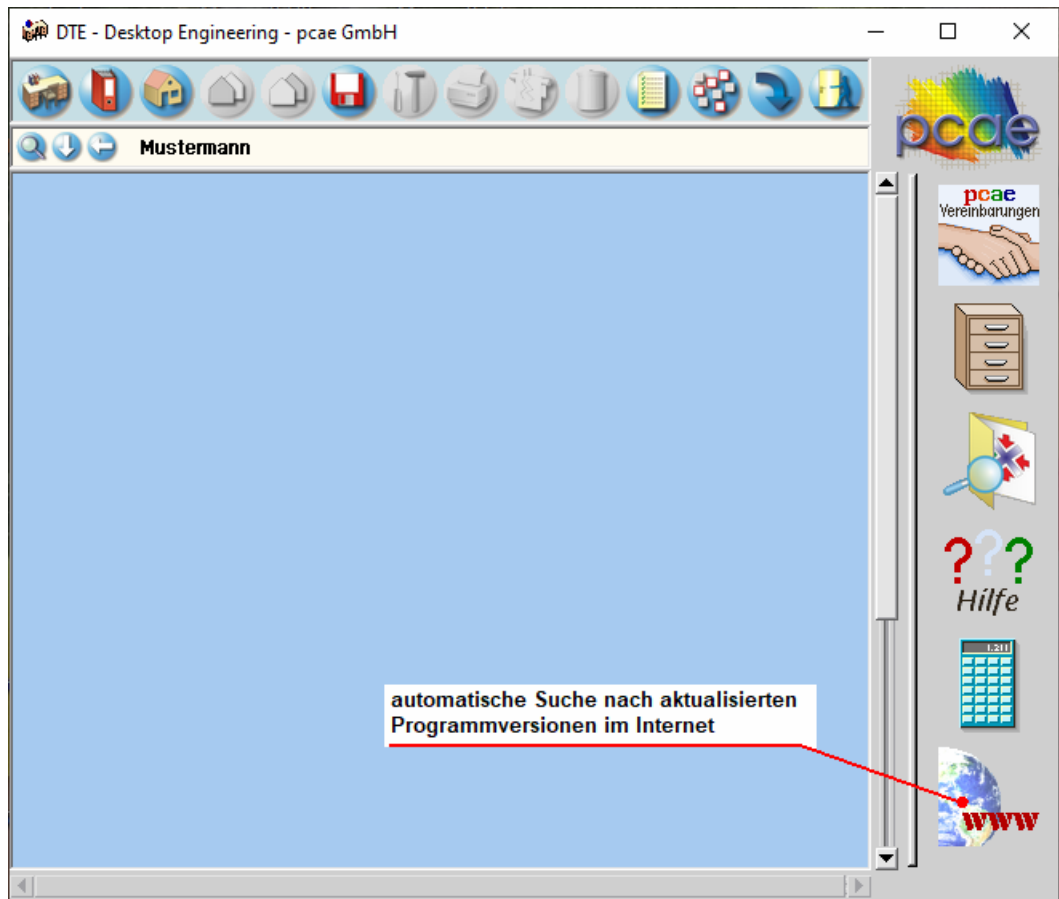


Nach Bestätigen über das **Hakensymbol** erscheint wieder die Schreibtischauswahl, in die der neue Name bereits eingetragen ist. Drücken Sie auf **Start** und die DTE®-Schreibtischoberfläche erscheint auf dem Bildschirm.

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



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



Steuerbuttons

Im oberen Bereich des Schreibtisches sind Interaktionsbuttons lokalisiert.

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

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

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

Bauteil erzeugen



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



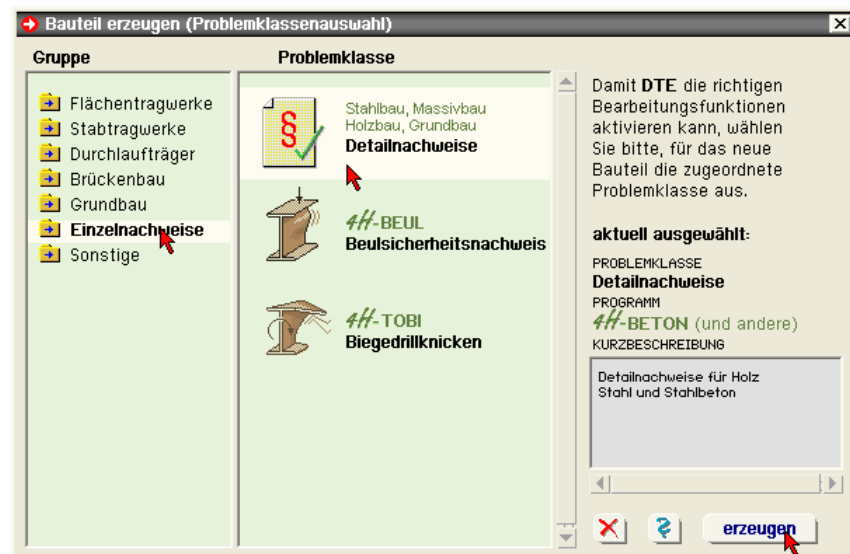
Aus dem Eintrag in der Schreibtischkopfzeile ist zu erkennen, in welchem Ordner sich die Aktion aktuell befindet.



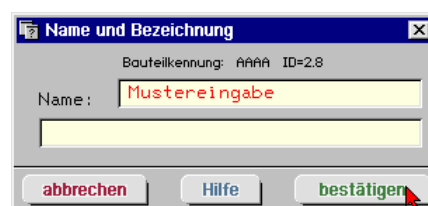
Der Ordner kann durch das **beenden**-Symbol wieder geschlossen werden.



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



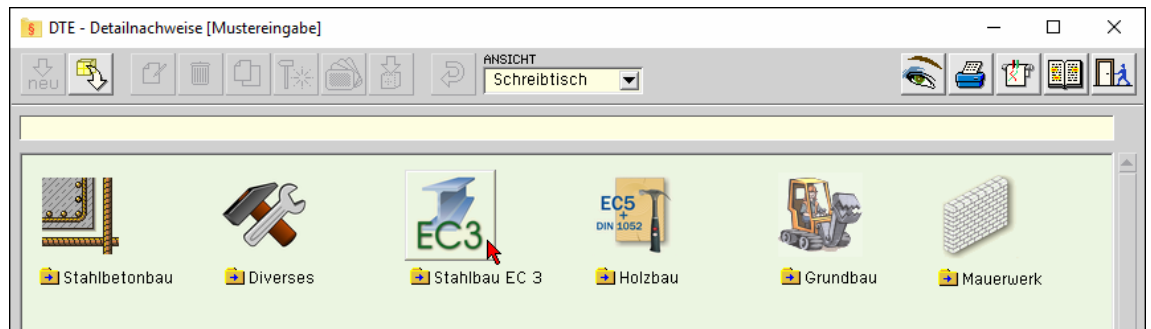
Der schwarze Rahmen der neuen Bauteilkone lässt sich mit der Maus über den Schreibtisch bewegen. Klicken Sie die LMT an der Stelle, an der das Bauteil auf dem Schreibtisch platziert werden soll. Das Eigenschaftsblatt *Name und Bezeichnung* erscheint.



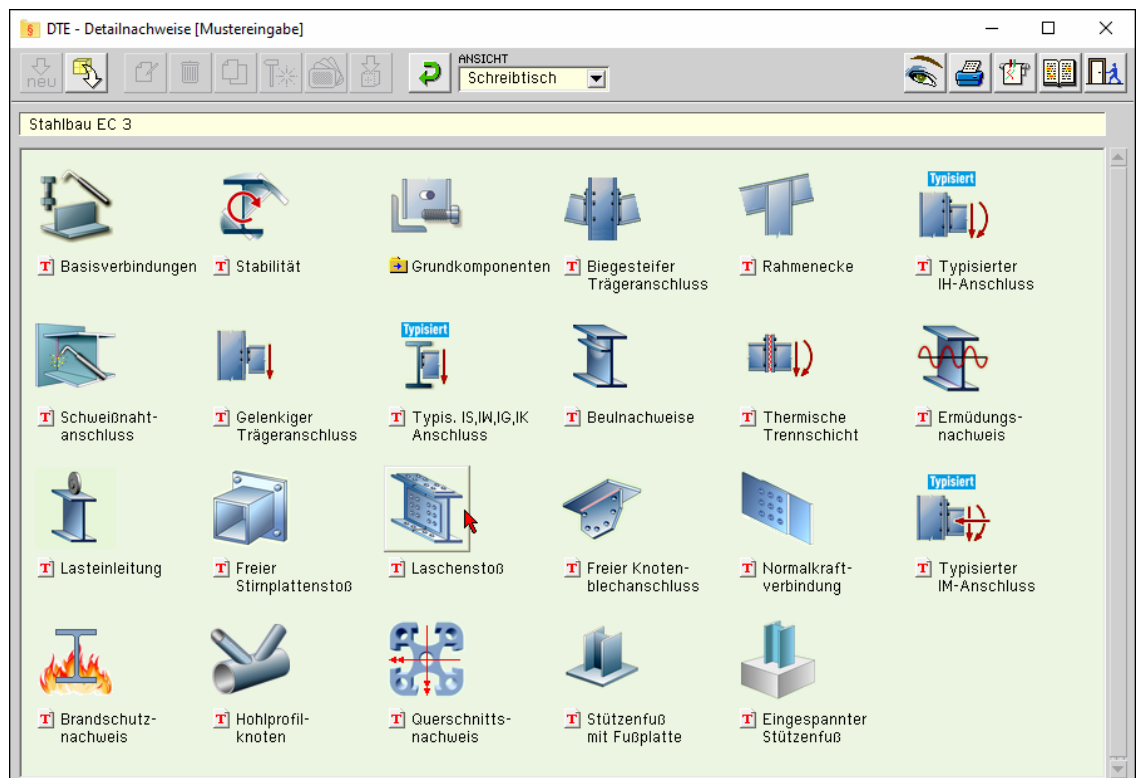


Überschreiben Sie den Begriff *Detailnachweise* zur Identifikation durch einen sinnvollen Text. Nach **Bestätigen** ist das Bauteil mit dem neuen Namen eingerichtet. Durch Doppelklicken des neuen Symbols wird die Verwaltung der DTE®-Detailnachweise geöffnet.

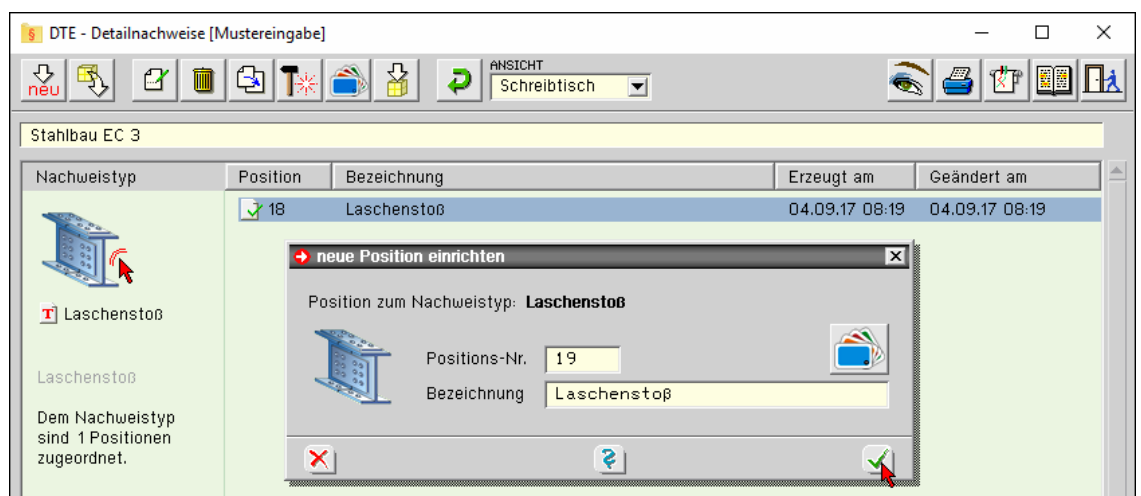
Übersicht Detailnachweise



Übersicht EC 3- Programme



Laschenstoß



Im rechten Bereich des Eigenschaftsblatts erscheint die neue Position in einem Verzeichnis. Klicken Sie hier bitte doppelt auf den neuen Schriftzug. Daraufhin erscheint die Eingabeoberfläche des Nachweistyps *Laschenstoß*.

Eingabeoberfläche



Mit dem Programm *Laschenstoß* kann eine biegesteife Laschenverbindung nachgewiesen werden.

Die zugehörigen Verbindungsparameter werden in eigenen Registerblättern verwaltet, die über folgende Symbole die dahinter liegende Parameterauswahl kenntlich machen. Die Funktionen der einzelnen Buttons werden auf den folgenden Seiten erläutert.



Materialparameter, Trägerprofil, Berechnungsoptionen, s. Abs. 3.1, S. 11

Im ersten Registerblatt werden Materialparameter, Trägerprofile und Berechnungsoptionen ausgewählt. Die Verbindung wird zur visuellen Kontrolle maßstäblich am Bildschirm dargestellt.



Anschlussparameter, s. Abs. 3.2, S. 13

Im zweiten Registerblatt werden die Anschlussparameter ausgewählt. Die Verbindung wird zur visuellen Kontrolle maßstäblich am Bildschirm dargestellt.



Bemessungsschnittgrößen, s. Abs. 3.3, S. 17

Die Schnittgrößen werden im dritten Registerblatt festgelegt und können entweder 'per Hand' eingegeben oder aus einem **pcae**-Programm importiert werden. Um Schnittgrößen importieren zu können, muss das entsprechende **4H**-Programm in der exportfähigen Version installiert sein.

Die Schnittgrößen beziehen sich auf den Profilschwerpunkt und das Koordinatensystem der Statik (x-y-z bzw. l-m-n).



Ergebnisübersicht, s. Abs. 3.4, S. 19

Im dritten Registerblatt werden die Ergebnisse (Ausnutzung) lastfallweise im Überblick dargestellt.



nationaler Anhang, s. Abs. 7.3, S. 34

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



Ausdrucksteuerung, s. Abs. 7.2, S. 33

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



Druckliste einsehen

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



Ausdruck

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



Planbearbeitung

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



Onlinehilfe

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



Eingabe beenden

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

3.1

Materialparameter, Trägerprofil, Berechnungsoptionen



Register 1 enthält Angaben zu den Materialparametern, Berechnungsoptionen und zu den Trägerprofilen. Das zug. Eigenschaftsblatt ist unter Abs. 3 auf S. 9 dargestellt.

Allgemeines

Das Programm *##-EC3LS* berechnet Trägerstöße von Doppel-T-Profilen oder Flachstählen, die mittels Laschen an Flanschen und/oder Steg biegesteif verbunden sind.

Die Eingabedaten können über die Copy-Paste-Funktion von einem Bauteil in ein anderes derselben Programmfamilie (*##-EC3LS*) übertragen werden.

► Daten exportieren (copy)

► Daten importieren (paste)

Dazu ist der aktuelle Datenzustand über den Button **Daten exportieren** in die Zwischenablage zu kopieren. Diese Daten können anschließend über den Button **Daten importieren** aus der Zwischenablage in das aktuell geöffnete Bauteil desselben Typs übernommen werden.

Material

Grundsätzlich kann jedem Verbindungselement ein eigenes Material und ein eigenes Verbindungsmittel zugeordnet werden.

Der Übersichtlichkeit halber kann an dieser Stelle eine einheitliche Stahlgüte für Profile und Bleche gewählt werden.

☒ **einheitliche Stahlsorte**
 Stahlsorte ☐ Vorgabe

Da die Beschreibung der Stahlparameter für Verbindungen nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung der Stahlsorten (s. Abs. 7.1, S. 33) verwiesen.

☒ **einheitliche Schraubensorte**
 Schraubengröße ☐ Vorgabe
 Festigkeitsklasse ☐ Vorgabe
☐ normale Schlüsselweite ☒ große Schlüsselweite
☐ Passschraube FK 8.8 oder 10.9: HU-Schraube planmäßig vorgespannt

Ebenso können einheitliche Schraubengröße und Schraubengüte für den Anschluss der Laschen an die Träger gewählt werden.

Da die Beschreibung der Schrauben für Verbindungen nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung der Schrauben (s. Abs. 6.1, S. 29) verwiesen.

Träger

Der Anschluss besteht aus zwei Trägern gleichen Typs (d.h. entweder zwei Doppel-T-Profile oder zwei Flachstähle), die mittels geschraubter Laschen biegesteif miteinander verbunden sind.

Die beiden Träger können unterschiedliche Abmessungen haben bzw. unterschiedliche Profile aufweisen. Sie können entweder über den *pcae*-eigenen Profilmanager in das Programm importiert oder als parametrisierte Stahlprofile eingegeben werden.

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

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

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

☒ Profil aus Profilmanager
☐ parametrisiertes Stahlprofil
 I-Profil
 Profilname

Zur Definition eines **parametrisierten Stahlprofils** sind Profilhöhe, Stegdicke sowie ggf. Flanscbreiten und -dicken festzulegen.

Bei gewalzten Doppel-T-Profilen wird der Ausrundungsradius r zwischen Flansch und Steg geometrisch berücksichtigt, während geschweißte Blechprofile mit Schweißnähten der Dicke a zusammengefügt sind. Diese Schweißnähte werden **nicht** nachgewiesen.

☐ Profil aus Profilmanager
☒ parametrisiertes Stahlprofil
 Profilkategorie
 Höhe h mm
 Dicke t mm

Berechnungsoptionen Die Abstände der Schrauben untereinander und zum Rand hin können optional überprüft werden. Bei fehlerhaften Schraubenabständen erfolgt keine Berechnung.

Die Aufteilung der Belastung auf die Laschen kann entweder über die Steifigkeiten der Profilbleche oder Laschen erfolgen.

Nachweis der Laschenverbindung

☒ Schraubenabstände überprüfen

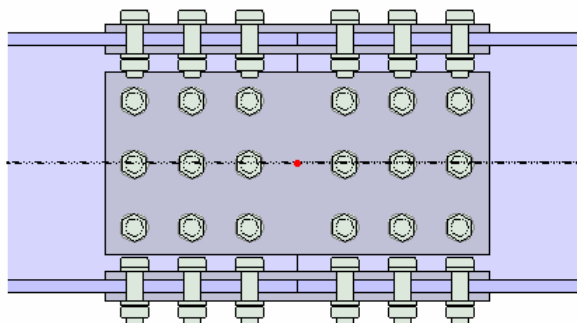
Lastaufteilung über die ☒ Profilsteifigkeiten
☐ Laschensteifigkeiten

☒ Querschnittstragfähigkeit

☐ Nachweisverfahren 'Elastisch-Plastisch'
☒ Nachweisverfahren 'Elastisch-Elastisch'

Die Querschnittstragfähigkeit der Verbindungsträger kann optional entweder plastisch oder elastisch nachgewiesen werden. Die Berechnung wird unter Abs. 4.1, S. 20, erläutert.

Bildschirmgrafik Am Bildschirm werden die geometrischen Daten ausgewertet und der Anschluss in einer maßstäblichen Grafik dargestellt.



3.2

Anschlussparameter



Register 2 enthält Angaben zu den Anschlussparametern sowie zur Druckausgabe.

4H-EC3 - Laschenstoß [Position 19: Laschenstoß]

Spalt zwischen den Trägern s mm

☐ Druckkraftübertragung über Kontakt

☒ Träger mittig

Versatz OK Träger links - rechts Δz mm

Gurtlaschen oben ☒ = unten

☒ Außenlasche ☒ Innenlasche

Dicke t_{la} mm t_{li} mm

Breite b_{la} mm b_{li} mm

Länge l_{la} mm

Schrauben links ☒ = rechts

☒ Gewinde ☐ Schaft liegt in der Scherfuge

Anzahl n_{r1} n_{r2}

Schraubenreihen je Träger und Flanschseite

Randabstand e_1 mm e_2 mm

Zwischen- p_1 mm

Mitte w_1 mm w_2 mm

Trägerwand e_{11} mm e_{22} mm

Steglaschen

☒ Laschen mittig

Abstand OK Träger links - Laschen Δz_{lw} mm

☒ Laschen beidseitig

Dicke t_{lw} mm

Breite b_{lw} mm

Länge l_{lw} mm

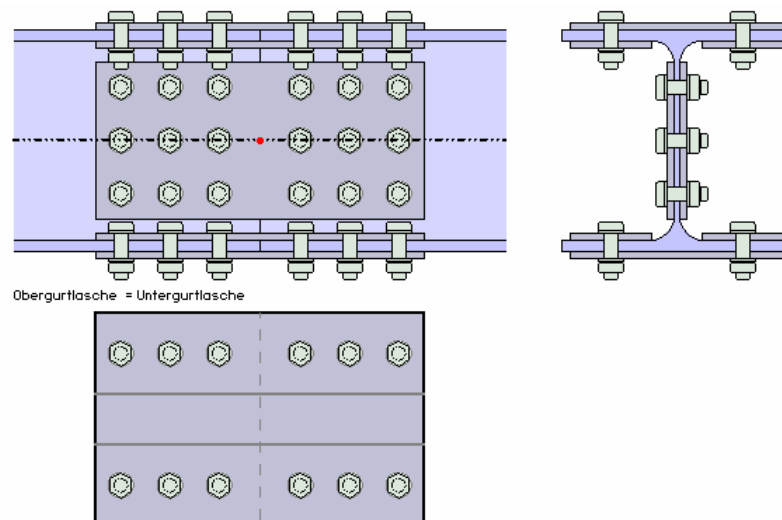
Obergurtlasche = Untergurtlasche

3.2.1

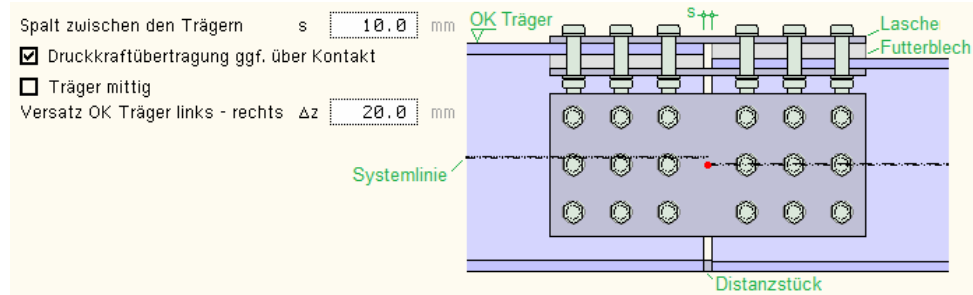
Anschlusskonfigurationen

Es werden die Parameter zur Berechnung eines biegesteifen geschraubten Laschenstoßes angeboten. Der Anschluss wird zur visuellen Kontrolle während der Eingabe am Bildschirm dargestellt; Profile, Laschen, Schrauben und Abstände werden maßstabsgetreu visualisiert.

In Detailskizzen werden die Gurtlaschen sowie ein Schnitt durch die Verbindung (rechter Träger) dargestellt.



Allgemeines



Da Trägerenden oft nicht planparallel geschnitten werden können, kann ein Spalt vorgegeben werden. Besonders bei Doppel-T-Profilen sollte dieser möglichst gering sein, um in den Obergurt- und Untergurtlaschen keine Biegung zu erzeugen. Es wird eine Spaltbreite s von maximal 20 mm zugelassen.

Bei Doppel-T-Profilen kann der Druck über Kontakt übertragen werden, wenn keine Gurtlaschen angeordnet werden. Ist ein Spalt zwischen den Trägern vorhanden, wird hierfür ein Distanzstück im Ober- und Untergurt eingesetzt. Druck über Kontakt zu übertragen ist jedoch nur möglich, wenn die entsprechenden Flansche beider Träger einander gegenüber liegen.

Die Träger können entweder mittig, d.h. mit durchlaufender Systemlinie, oder gegeneinander versetzt miteinander verbunden werden. Dazu werden Futterstücke der entsprechenden Dicke zwischen Lasche und Trägerflansch bzw. Lasche und Trägersteg eingesetzt.

Der Versatz Δz der Oberkanten von Träger links zu Träger rechts kann positiv (OK Träger rechts liegt unterhalb von OK Träger links) oder negativ sein. Der Versatz der Systemlinien darf 20 mm nicht übersteigen.

Gurtlaschen oben / unten

Gurtlaschen oben		<input type="checkbox"/> = unten
<input checked="" type="checkbox"/> Außenlasche	<input checked="" type="checkbox"/> Innenlasche	
Dicke t_{la}	8.0 mm	t_{li} 8.0 mm
Breite b_{la}	260.0 mm	b_{li} 90.0 mm
Länge l_{la}	400.0 mm	
Stahlsorte	S235	<input type="checkbox"/> Vorgabe
Futter t_{fla}	20.0 mm	t_{fli} 19.0 mm

Bei Doppel-T-Profilen können Laschen am Flansch oben oder/und unten angeordnet werden. Sind an den Flanschen Laschen gleicher Abmessungen vorgesehen, kann über den Schalter **= unten** die zusätzliche Eingabe der Parameter unterdrückt werden.

Optional können eine Außenlasche und zwei Innenlaschen (links und rechts des Stegs) gesetzt werden. Dicke und Breite der Laschen sind voneinander unabhängig, die Länge der Innenlasche entspricht derjenigen der Außenlasche.

Außen- und Innenlasche verwenden dieselbe Stahlsorte (s. hierzu auch die Materialbeschreibung, Abs. 3.1., S. 5).

Um Unterschiede in den Abmessungen auszugleichen, werden Futterbleche angeordnet. Sie werden nicht bemessen. Die Dicke der Futterbleche ergibt sich aus den geometrischen Abständen der Trägerprofile und Laschen.

Schrauben links		<input checked="" type="checkbox"/> = rechts
<input checked="" type="radio"/> Gewinde	<input type="radio"/> Schaft liegt in der Scherfuge	
Schraubengröße	M16	<input type="checkbox"/> Vorgabe
Festigkeitsklasse	10.9	<input type="checkbox"/> Vorgabe
<input type="radio"/> normale Schlüsselweite	<input checked="" type="radio"/> große Schlüsselweite	
<input type="checkbox"/> Passschraube	FK 8.8 oder 10.9: HU-Schraube planmäßig vorgespannt	

Anzahl		Schraubenreihen je Träger und Flanschseite	
n_{r1}	3	n_{r2}	1
Randabstand e_1	30.0 mm	e_2	50.0 mm
Zwischen- p_1	60.0 mm		
Mitte w_1	100.0 mm	w_2	160.0 mm
Trägerend e_{11}	45.0 mm	e_{22}	40.0 mm

Außenlasche

Innenlaschen

Die Schrauben können am linken und rechten Träger unterschiedliche Materialgüten, Abmessungen und Abstände aufweisen. Sind gleiche Schraubenbilder vorgesehen, kann über den Schalter **= rechts** die zusätzliche Eingabe der Parameter unterdrückt werden. Zur Materialbeschreibung s. Register 1, Abs. 3.1., S. 5.

Je Träger (links oder rechts) und Flanschhälfte sind die Anzahl Schrauben sowie die Abstände zu den Rändern und zueinander anzugeben. Die Mittenabstände w_1 , w_2 , e_{11} , e_{22} lassen sich daraus berechnen.

Die Gurtlaschen werden maßstäblich am Bildschirm dargestellt.

Steglaschen

Steglaschen

☐ Laschen mittig

 Abstand OK Träger links - Laschen Δz_{lw} mm

☒ Laschen beidseitig

 Dicke t_{lw} mm

 Breite b_{lw} mm

 Länge l_{lw} mm

 Stahlsorte ☐ Vorgabe

 Futter t_{flw} mm

Steglaschen werden bei Doppel-T-Profilen beidseitig des Stegs bzw. bei Flachstäben beidseitig des Blechs angeordnet. Sie können entweder mittig zwischen den Flanschen bzw. Blechrändern (s. Button) oder in einem beliebigen Abstand Δz_{lw} von Oberkante Träger links zur Oberkante der Laschen angeordnet sein.

Dicke, Breite und Länge der Laschen sind vorzugeben. Zur Definition der Stahlsorte s. Materialbeschreibung, Abs. 3.1., S. 5.

Um unterschiedliche Stegdicken der Träger auszugleichen, werden Futterbleche links und rechts zwischen Steg und Laschen angeordnet. Sie werden nicht bemessen.

Schrauben links ☒ = rechts

☒ Gewinde ☐ Schaft liegt in der Scherfuge

 Schraubengröße ☐ Vorgabe

 Festigkeitsklasse ☐ Vorgabe

☐ normale Schlüsselweite ☒ große Schlüsselweite

☐ Passschraube ☒ FK 8.8 oder 10.9: HV-Schraube planmäßig vorgespannt

Anzahl Schraubenreihen n_{r1} n_{r2}

 horizontal vertikal

 Randabstand e_1 mm e_2 mm

 Zwischen- p_1 mm p_2 mm

 Mitte w_1 mm

 Trägerrand e_{11} mm e_{22} mm

☒ Schrauben gleichmäßig

Die Schrauben können am linken und rechten Träger unterschiedliche Materialgüten, Abmessungen und Abstände aufweisen. Sind gleiche Schraubenbilder vorgesehen, kann über den Schalter **= rechts** die zusätzliche Eingabe der Parameter unterdrückt werden. Zur Materialbeschreibung s. Register 1, Abs. 3.1., S. 5.

Je Träger (links oder rechts) sind die Anzahl Schrauben sowie die Abstände zu den Rändern und zueinander anzugeben. Die Mittenabstände w_1 , e_{11} , e_{22} lassen sich daraus berechnen.

Für ein gleichmäßiges Schraubenbild werden die Zwischenabstände p_1 und p_2 vom Programm belegt, wenn der Aktionsbutton **Schrauben gleichmäßig** betätigt wird.

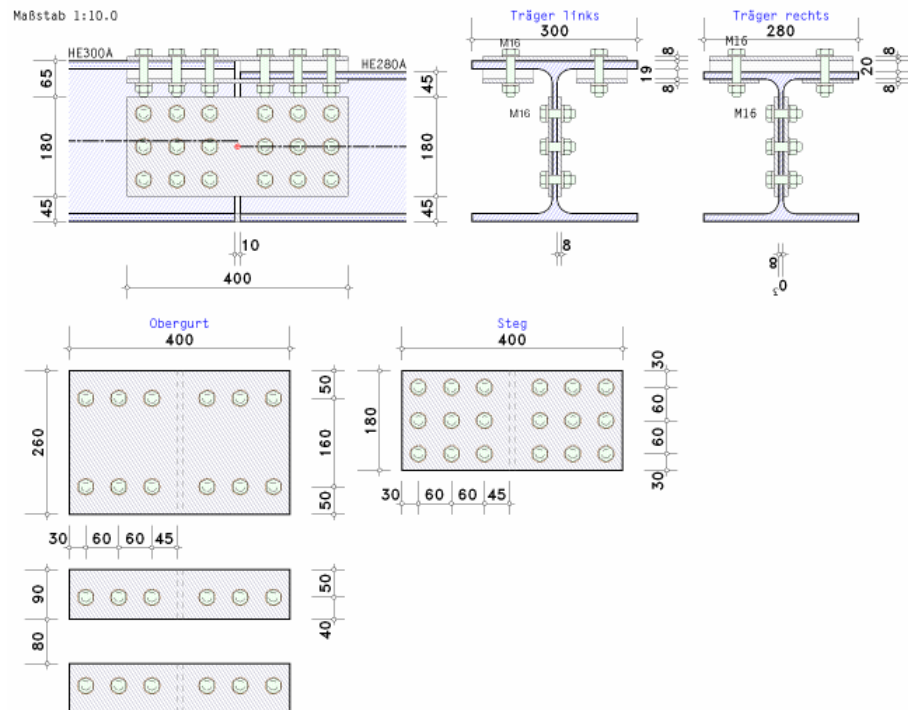
Die Steglaschen sind in der Ansichtsskizze maßstäblich am Bildschirm dargestellt.

3.2.2

Druckausgabe

Die Druckausgabe kann durch die Ausdrucksteuerung (Abs. 7.2, S. 33) beeinflusst werden.

Eingabeparameter Im Statikdokument wird zunächst eine maßstäbliche Darstellung der eingegebenen Verbindung angelegt. Die wesentlichen Abmessungen werden vermaßt. Ggf. werden Detailausschnitte hinzugefügt. Ist der Maßstab vom Anwender vorgegeben, wird er in der Grafik protokolliert.



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

Die zu bemessenden Schnittgrößen (s.a. Register 3, Abs. 3.3, S. 17) werden lastfallweise ausgegeben. Nach Bedarf werden nun die der Bemessung zu Grunde liegenden Teilsicherheitsbeiwerte angefügt.

Berechnung

Optional werden zunächst die Schraubenabstände an Flanschen und Steg überprüft. Tritt ein Fehler auf, wird die Berechnung mit einer entsprechenden Meldung abgebrochen.

Danach erfolgt lastfallweise der Nachweis (s. Abs. 4.1, S. 20) der Verbindung. Abschließend kann optional ein Querschnittsnachweis (s. Abs. 4.3, S. 25) für die Trägerprofile geführt werden.

Ergebnis

Nach erfolgter Berechnung wird das Endergebnis - die maximale Ausnutzung - aus allen Schnittgrößenkombinationen protokolliert.

Maximale Ausnutzung [Lk 10]: $\max U = 0.780 < 1$ **ok.**

Nachweis erbracht

3.3

Schnittgrößen

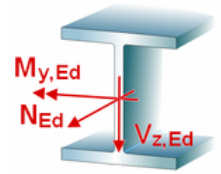


Das dritte Register beinhaltet die Masken zur Eingabe der Bemessungsschnittgrößen.

Die Schnittgrößen wirken in der Stoßebene der Verbindung und beziehen sich auf die Systemachse des rechtsseitigen Trägers.

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

Es können bis zu 10.000 Schnittgrößenkombinationen eingegeben werden.



	$N_{j,b,Ed}$ kN	$M_{j,b,Ed}$ kNm	$V_{j,b,Ed}$ kN	Bezeichnung	
1	-43.66	-6.59	-1.61		

Zeile löschen
 Zeile duplizieren
 neue Zeile anhängen

3.3.1

Schnittgrößen importieren

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

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



Import aus einer Text-Datei

Die Schnittgrößenkombinationen können aus einer Text-Datei im ASCII-Format eingelesen werden. Die Datensätze müssen in der Text-Datei in einer bestimmten Form vorliegen; der entsprechende Hinweis wird bei Betätigen des **Einlesen**-Buttons gegeben.

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

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

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

Import aus einem **##**-Programm

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

Ausführliche Informationen zum Export können dem DTE[®]-Handbuch entnommen werden.

Die statische Berechnung eines Bauteils beinhaltet i.A. die Modellbildung mit anschließender Berechnung des Tragsystems sowie nachfolgender Einzelnachweise von Detailpunkten. Bei der Beschreibung eines Details sind die zugehörigen Schnittgrößen aus den Berechnungsergebnissen des Tragsystems zu extrahieren und dem Detailnachweis zuzuführen.

In der **##**-Programmorganisation gibt es hierzu verschiedene Vorgehensweisen

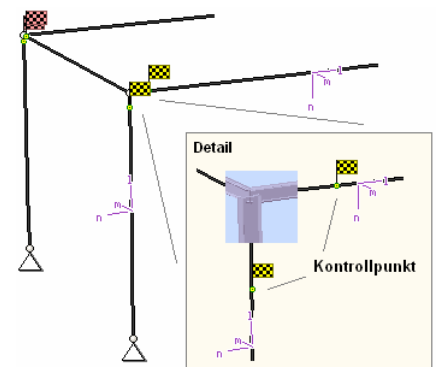
- zum einen können Tragwerks- und Detailprogramm fest miteinander verbunden sein, d.h. die Schnittgrößenübergabe erfolgt intern. Es sind i.A. keine weiteren Eingaben (z.B. Geometrie) notwendig, aber auch möglich (z.B. weitere Belastungen); die Programme bilden eine Einheit. Dies ist z.B. bei dem **##**-Programm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

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

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

Dazu ist an der entsprechenden Stelle ein Kontrollpunkt zu setzen.

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



Nach einer Neuberechnung des Rahmens stehen die Exportschnittgrößen dem aufnehmenden #-Programm (z.B. #-BETON, #-EC3LS, #-EC3SA, 4H-EC3BT, 4H-EC3RE, 4H-EC3GT, 4H-EC3TT etc.) zum Import zur Verfügung.



Aus dem aufnehmenden #-Programm wird nun über den **Import**-Button das Fenster zur DTE®-Bauteilauswahl aufgerufen. Hier werden alle berechneten Bauteile dargestellt, wobei diejenigen, die Schnittgrößen exportiert haben, dunkel gekennzeichnet sind.

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

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

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

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

Schnitt 1: Stab 3 bei s = 0.18 m						
Stahlriegel, Anschl. 1						
Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE240						
	N	Vm	Vn	T	Mm	Mn
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
Lastfallergebnisse						
Nachweis 2: Schnittgrößenermittlung (Th. I. Ord.)						
Nachweis 3: EC 3 Tragfähigkeit (Th. I. Ord.)						
Lastkollektive						
Zusammenfassung Nachweis 3						
min N	-18.34	15.66	-14.44	0.00	-2.76	13.43
max N	-15.93	25.18	-24.26	-0.01	34.14	17.91
min Vn	-17.44	0.88	-7.61	0.00	-28.68	4.33
max Vn	-15.93	25.18	-24.26	-0.01	34.14	17.91
min Vz	-15.93	25.18	-24.26	-0.01	34.14	17.91
max Vz	-17.44	0.88	-7.61	0.00	-28.68	4.33
min T	-15.93	25.18	-24.26	-0.01	34.14	17.91
max T	-17.44	0.88	-7.61	0.00	-28.68	4.33
min Mn	-17.44	0.88	-7.61	0.00	-28.68	4.33
max Mn	-15.93	25.18	-24.26	-0.01	34.14	17.91
min Mz	-17.44	0.88	-7.61	0.00	-28.68	4.33
max Mz	-15.93	25.18	-24.26	-0.01	34.14	17.91
Schnitt 2: Stab 5 bei s = 0.00 m						
Stahlriegel, Anschl. 2						
Schnitt 3: Stab 7 bei s = 2.00 m						
Stahlbetonriegel						
Schnitt 4: Stab 9 bei s = 4.00 m						
Stahlstütze, Anschl. 2						
Schnitt 5: Stab 10 bei s = 3.88 m						
Stahlstütze, Anschl. 1						
Schnitt 6: Stab 11 bei s = 0.00 m						
Stahlbetonstütze						

In #EC3LS sind Normalkraft N , Querkraft V_n und Moment M_m importierbar, was durch gelbe Hinterlegung der Spalten angezeigt wird.

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



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

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

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



Die Kompatibilität der Querschnitts- und Nachweisparameter zwischen exportierendem und importierendem Programm ist zu gewährleisten.

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

3.4

Ergebnisübersicht



Das vierte Register gibt einen Überblick über die ermittelten Ergebnisse.

Lastkombination	Ausnutzung
Lastkombination 1	78%
Laschennachweis	78%
Spannungen im Obergurt	11%
Laschen	18%
Schrauben	24%
Spannungen im Steg	12%
Laschen	78%
Schrauben	46%
Querschnittsnachweis	14%
Nachweis c/t-Wert	21%
Lastkombination 2	107%
Laschennachweis	107%
Spannungen im Obergurt	15%
Laschen	24%
Schrauben	32%
Spannungen im Steg	14%
Laschen	107%
Schrauben	58%
Querschnittsnachweis	15%
Nachweis c/t-Wert	24%
Gesamt	107%

Tragfähigkeit nicht gewährleistet (s. Druckliste) !!

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

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

Zur besseren Fehleranalyse oder zur Einschätzung der Tragkomponenten werden bei weniger als drei Lastkombinationen zudem die Einzelberechnungsergebnisse protokolliert.

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

Wenn die Ursache des Fehlers nicht sofort ersichtlich ist, sollte die Druckliste in der ausführlichen Ergebnisdarstellung (s. Abs. 7.2, S. 33) geprüft werden.

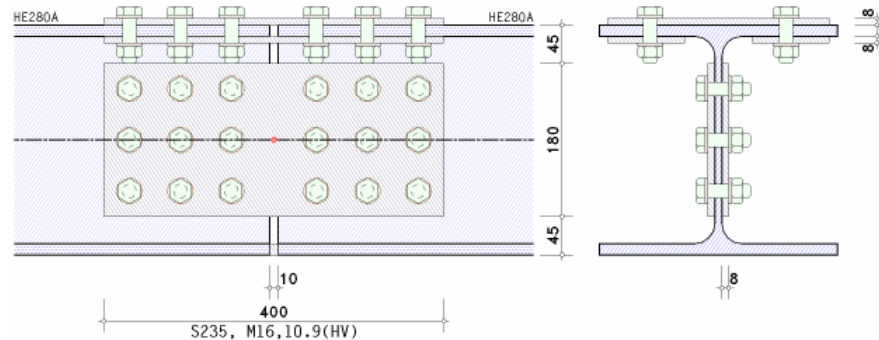
4

Berechnung und Nachweise

4.1

Nachweis eines Laschenstoßes nach EC 3

Das Programm *##-EC3LS*, Laschenstoß, weist einen mittels Laschen biegesteif verbundenen Trägerstoß entspr. Eurocode 3 nach. Anhand des folgenden Beispiels wird der Berechnungsablauf erläutert.



Zwei Träger sollen mittels Laschen biegesteif gestoßen werden. Der Trägerabstand wird mit $s = 10$ mm abgeschätzt. Am Obergurt werden Außen- und Innenlaschen sowie beidseitig Steg-laschen jeweils der Dicke $t = 8$ mm und Länge $l = 400$ mm angeordnet. Am Untergurt soll eine ggf. vorhandene Druckkraft über Kontakt übertragen werden.

Es wird eine Lastkombination mit $N_{Ed} = 41.56$ kN, $M_{Ed} = -153,6$ kNm und $V_{Ed} = 128$ kN untersucht.

Zunächst werden die Abstände der Schraubenreihen (Rand- und Lochabstände) überprüft.

Abstände der Schraubenreihen am Obergurt

Randabstand:	$e_2 = 50.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 21.6 \text{ mm}$	$e_2 = 50.0 \text{ mm} < 4 \cdot t_{min} + 40 \text{ mm} = 72.0 \text{ mm}$
Randabstand:	$e_2 = 40.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 21.6 \text{ mm}$	$e_2 = 40.0 \text{ mm} < 4 \cdot t_{min} + 40 \text{ mm} = 72.0 \text{ mm}$
Lochabstand:	$p_2 = 160.0 \text{ mm} > 2.4 \cdot d_0 = 43.2 \text{ mm}$	$p_2 = 160.0 \text{ mm} > \min(14 \cdot t_{min}, 200 \text{ mm}) = 112.0 \text{ mm} \quad !!$
Randabstand:	$e_1 = 30.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 21.6 \text{ mm}$	$e_1 = 30.0 \text{ mm} < 4 \cdot t_1 + 40 \text{ mm} = 72.0 \text{ mm}$
Lochabstand:	$p_1 = 60.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 39.6 \text{ mm}$	$p_1 = 60.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t_{min}, 200 \text{ mm}) = 112.0 \text{ mm}$
Randabstand:	$e_1 = 45.0 \text{ mm} > 1.2 \cdot d_0 = 21.6 \text{ mm}$	$e_1 = 45.0 \text{ mm} < 4 \cdot t_1 + 40 \text{ mm} = 72.0 \text{ mm}$
Lochabstand:	$p_1 = 100.0 \text{ mm} > 2.2 \cdot d_0 = 39.6 \text{ mm}$	$p_1 = 100.0 \text{ mm} < \min(14 \cdot t_{min}, 200 \text{ mm}) = 112.0 \text{ mm}$

Maximale Rand- und Lochabstände müssen nur zur Vermeidung von Korrosion sowie zur Verhinderung lokalen Beulens eingehalten werden.

Sind minimale Abstände nicht eingehalten (rote Ausrufezeichen), wird die Berechnung mit einer Fehlermeldung abgebrochen. Die Überschreitung maximaler Abstände (blaue Ausrufezeichen) wird lediglich kommentiert, es erfolgt kein Berechnungsabbruch. Schraubenreihen am Steg analog.

Nun erfolgt die lastfallweise Berechnung des Laschenstoßes.

Aus den Bemessungsgrößen ergeben sich die elastischen Spannungen am Nettoquerschnitt (d.h. unter Abzug aller Schraubenlöcher) zu

Elastische Spannungen am Nettoquerschnitt

$N_{Ed} = 41.56$ kN, $M_{y,Ed} = -153.60$ kNm

Querschnittswerte: $A = 88.27$ cm², $z_s = 141.8$ mm, $I_y = 12754.20$ cm⁴, $y_s = -140.0$ mm, $I_z = 4382.07$ cm⁴

Spannungen in den Querschnittspunkten

Pkt. 1:	$y = 0.0$ mm	$z = 37.0$ mm	$\sigma_x = 131.17$ N/mm ²
Pkt. 2:	$y = 0.0$ mm	$z = 233.0$ mm	$\sigma_x = -105.31$ N/mm ²
Pkt. 3:	$y = 140.0$ mm	$z = 6.5$ mm	$\sigma_x = 167.97$ N/mm ²
Pkt. 4:	$y = -140.0$ mm	$z = 6.5$ mm	$\sigma_x = 167.97$ N/mm ²
Pkt. 5:	$y = 140.0$ mm	$z = 263.5$ mm	$\sigma_x = -142.11$ N/mm ²
Pkt. 6:	$y = -140.0$ mm	$z = 263.5$ mm	$\sigma_x = -142.11$ N/mm ²

Die Querschnittspunkte 1 und 2 liegen auf dem Steg oben und unten, Punkte 3, 4 auf dem Obergurt, Punkte 5, 6 auf dem Untergurt. Die dort vorhandenen Spannungen werden bei der Berechnung der Profilelemente (Bleche) verwendet.

Die Aufteilung der Belastung wird am Bruttoquerschnitt vorgenommen. Zur Erläuterung s. Abs. 4.2, S. 23. Mit den berechneten Schnittgrößen werden nun die Verbindungsmittel an Ober-, Untergurt und Steg nachgewiesen.

Obergurt

Schnittgrößen im Flansch: $N = N_{fo} = 569.06$ kN

Lastanteile: Außenlasche $f_a = 59.1\%$, je Innenlasche $f_i = 20.5\%$

Die am Obergurt wirkende Normalkraft wird flächenanteilig auf die Laschen übertragen.

Um zu gewährleisten, dass der Flansch die lokale Belastung aufnehmen und übertragen kann, wird das Trägerblech für die maßgebende Spannung nachgewiesen.

Träger

Zug

$A_{\text{net}} \cdot 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 822.18 \text{ kN} < A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 855.40 \text{ kN}$, $A_{\text{net}} = 31.72 \text{ cm}^2$, $A = 36.40 \text{ cm}^2 \Rightarrow$ Lochabzug berücksichtigen
maximale Normalspannung: $\sigma_x = 167.97 \text{ N/mm}^2$ (s.o.)

zulässige Normalspannung: $\sigma_{Rd} = 235.00 \text{ N/mm}^2$

Nachweis: $\sigma_x = 167.97 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\sigma x} = 0.715 < 1$ **ok.**

Steht der Flansch unter Druck oder ist bei Zug der Lochabzug zu berücksichtigen, wird die am Nettoquerschnitt ermittelte Spannung übernommen. Andernfalls erfolgt der Nachweis für die Normalspannung $\sigma_x = N/A$.

Die Berechnung der Laschen erfolgt für die anteiligen Normalkräfte.

Außenlasche

Zug

Breite des Nettoquerschnitts $b_{\text{net}} = b - \Delta b = 224.0 \text{ mm}$ mit $\Delta b = 2 \cdot n_2 \cdot d_0 = 36.0 \text{ mm}$, $d_0 = d + \Delta d$

Tragfähigkeit eines Blechs mit Zugbeanspruchung:

$N_{pL,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 488.80 \text{ kN}$

$N_{u,Rd} = (0.9 \cdot A_{\text{net}} \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 464.49 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit $F_{t,Rd} = \min(N_{pL,Rd}, N_{u,Rd}) = 464.49 \text{ kN}$

Nachweis: $F_{Ed} = 569.06 \text{ kN} < F_{t,Rd} / \alpha = 786.05 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.724 < 1$ **ok.**

Innenlaschen analog. Zur näheren Erläuterung der Berechnung s. Grundkomponente 9 Abs. 5.1, S. 26.

Die Belastung der Schrauben wird über die Auswertung des Punktequerschnitts ermittelt. Bei einachsiger Belastung ergeben sich hier stets nur T_y -Kräfte.

Schrauben

Punktequerschnitt

Querschnittsfläche $A' = \sum f_{t,i} = 6.00$, polares Trägheitsmoment $I_p' = \sum (f_{t,i} \cdot (\sum y_i^2 + \sum z_i^2)) = 528.00 \text{ cm}^2$

Schwerpunktskoordinaten $y_s' = -110.0 \text{ mm}$, $z_s' = 130.0 \text{ mm}$

Schnittgrößen im Schwerpunkt $V_y' = 569.1 \text{ kN}$, $V_z' = -0.0 \text{ kN}$, $M_x' = 0.00 \text{ kNm}$

Beanspruchung $T_{y,i} = (V_y' / A' - M_x' / I_p' \cdot z_i)$, $T_{z,i} = (V_z' / A' + M_x' / I_p' \cdot y_i)$, $T_i = (T_{y,i}^2 + T_{z,i}^2)^{1/2}$

Schraube 1 $y_1 = -50.0 \text{ mm}$ $z_1 = 50.0 \text{ mm}$ $T_{y,1} = 94.84 \text{ kN}$ $T_{z,1} = 0.00 \text{ kN}$ $T_1 = 94.84 \text{ kN}$
etc.

Für die maximale Schraubenlast wird der Nachweis auf Abscheren geführt. Jede Schraube wird auf Lochleibung von Flansch, Außen- und Innenlasche unter Berücksichtigung der vorhandenen Rand-, Lochabstände und Belastungsrichtung nachgewiesen.

Abscheren

Abschertragfähigkeit je Scherfuge $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 62.80 \text{ kN}$, $\alpha_v = 0.50$

Abschertragfähigkeit je Schraube (2-schnittig): $\sum F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 125.60 \text{ kN}$

Nachweis: $F_{Ed} = T_1 = 94.84 \text{ kN} < F_{v,Rd} = 125.60 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.755 < 1$ **ok.**

Lochleibung

Schraube 1:

Flansch (2-schnittig)

Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d) / \gamma_{M2} = 128.96 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 0.86$

Außenlasche (1-schnittig)

Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d) / \gamma_{M2} = 51.20 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 0.56$

Innenlaschen (1-schnittig)

Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d) / \gamma_{M2} = 51.20 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 0.56$

Minimale Lochleibungstragfähigkeit: $\min F_{b,Rd} = 102.40 \text{ kN}$

Nachweis: $F_{Ed} = T_1 = 94.84 \text{ kN} < F_{b,Rd} = 102.40 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.926 < 1$ **ok.**

etc.

Zur näheren Erläuterung der Berechnung s. für Abscheren GK 11 (Abs. 5.3, S. 27) und Lochleibung GK 12 (Abs. 5.4, S. 28).

Da der Untergurt über Kontakt abtragen soll, wird lediglich der Trägerflansch für die am Nettoquerschnitt berechnete Normalspannung nachgewiesen.

Untergurt

Schnittgrößen im Flansch: $N = N_{t0} = -536.28 \text{ kN}$

Druckkraftübertragung über Kontakt

Träger

Druck

maximale Normalspannung: $\sigma_x = 142.11 \text{ N/mm}^2$ (s.o.)

zulässige Normalspannung: $\sigma_{Rd} = 235.00 \text{ N/mm}^2$

Nachweis: $\sigma_x = 142.11 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\sigma x} = 0.605 < 1$ **ok.**

Während die Flansche lediglich Normalkräfte übertragen, wirken auf den Steg und die Stegflanschen Normalkraft, Querkraft und Moment.

Steg

Schnittgrößen im Steg: $N = N_w = 8.79 \text{ kN}$, $M = M_{y,w} = 11.44 \text{ kNm}$, $V = V_{z,w} = 128.00 \text{ kN}$
Lastanteile: Je Lasche $f_a = 50\%$

Dementsprechend wird das Trägerelement (Steg) für Biegung mit Normal- und Querkraft nachgewiesen.

Träger

Biegung und Schub

$A_{net} \cdot 0.9 \cdot f_{td} / \gamma_{M2} = 294.45 \text{ kN} < A \cdot f_{td} / \gamma_{M0} = 368.48 \text{ kN}$, $A_{net} = 11.36 \text{ cm}^2$, $A = 15.68 \text{ cm}^2 \Rightarrow$ Lochabzug berücksichtigen
maximale Normal-, Schubspannung: $\sigma_x = 131.17 \text{ N/mm}^2$ (s.o.), $\tau = V / A_{vz} = 40.32 \text{ N/mm}^2$
zulässige Normal-, Vergleichs-, Schubspannung: $\sigma_{Rd} = 235.00 \text{ N/mm}^2$, $\tau_{Rd} = 135.68 \text{ N/mm}^2$
Nachweis: $\sigma_x = 131.17 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\sigma x} = 0.558 < 1$ **ok.**
 $\tau = 40.32 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = 135.68 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\tau} = 0.297 < 1$ **ok.**
 $\sigma_v = 148.60 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\sigma v} = 0.632 < 1$ **ok.**
Gesamt: $\max U = 0.632 < 1$ **ok.**

Werden die Stegflanschen auf Biegung beansprucht, sind die Laschenspannungen ggf. unter Lochabzug zu ermitteln, für die die erforderlichen Nachweise geführt werden.

Lasche

Biegung und Schub

$A_{net} \cdot 0.9 \cdot f_{td} / \gamma_{M2} = 261.27 \text{ kN} < A \cdot f_{td} / \gamma_{M0} = 338.40 \text{ kN}$, $A_{net} = 10.08 \text{ cm}^2$, $A = 14.40 \text{ cm}^2 \Rightarrow$ Lochabzug berücksichtigen
Querschnittswerte: $A = 10.08 \text{ cm}^2$, $z_s = 90.0 \text{ mm}$, $I_y = 283.95 \text{ cm}^4$, $y_s = -4.0 \text{ mm}$, $I_z = 0.54 \text{ cm}^4$

Spannungen in den Querschnittspunkten

Pkt. 1: $y = 0.0 \text{ mm}$, $z = 0.0 \text{ mm}$, $\sigma_x = -176.99 \text{ N/mm}^2$
Pkt. 2: $y = 0.0 \text{ mm}$, $z = 180.0 \text{ mm}$, $\sigma_x = 185.70 \text{ N/mm}^2$
maximale Normal-, Schubspannung: $\sigma_x = 185.70 \text{ N/mm}^2$, $\tau = 1.5 \cdot V / A = 66.67 \text{ N/mm}^2$
zulässige Normal-, Vergleichs-, Schubspannung: $\sigma_{Rd} = 235.00 \text{ N/mm}^2$, $\tau_{Rd} = 135.68 \text{ N/mm}^2$
Nachweis: $\sigma_x = 185.70 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\sigma x} = 0.790 < 1$ **ok.**
 $\tau = 66.67 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = 135.68 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\tau} = 0.491 < 1$ **ok.**
 $\sigma_v = 218.68 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 235.00 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U_{\sigma v} = 0.931 < 1$ **ok.**
Gesamt: $\max U = 0.931 < 1$ **ok.**

Nun werden auch hier die Nachweise für Abscheren und Lochleibung geführt.

Abscheren

Abschertragfähigkeit je Scherfuge $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2} = 62.80 \text{ kN}$, $\alpha_v = 0.50$
Abschertragfähigkeit je Schraube (2-schnittig): $\Sigma F_{v,Rd} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 125.60 \text{ kN}$
Nachweis: $F_{Ed} = T_3 = 61.60 \text{ kN} < F_{v,Rd} = 125.60 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.490 < 1$ **ok.**

Lochleibung

Schraube 1:

Steg (2-schnittig)

Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{td} \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 79.36 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 0.86$

2 Laschen (1-schnittig)

Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{td} \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2} = 51.20 \text{ kN}$, $k_1 = 2.50$, $\alpha_b = 0.56$

Minimale Lochleibungstragfähigkeit: $\min F_{b,Rd} = 51.20 \text{ kN}$

Nachweis: $F_{Ed} = T_1 = 60.46 \text{ kN} < F_{b,Rd} = 79.36 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.762 < 1$ **ok.**

etc.

Abschließend wird die Querschnittstragfähigkeit des Trägers im Stoßbereich nachgewiesen. Beispielhaft wird hier der elastische Nachweis aufgeführt.

Querschnittstragfähigkeit

elastischer Querschnittsnachweis für $N = 41.56 \text{ kN}$, $M_y = -154.24 \text{ kNm}$, $V_z = 128.00 \text{ kN}$

elast. Spannungen: $\max \sigma_x = 15.66 \text{ kN/cm}^2$, $\min \sigma_x = -14.81 \text{ kN/cm}^2$, $\max \tau = 6.49 \text{ kN/cm}^2$, $\max \sigma_v = 17.89 \text{ kN/cm}^2$

$\max \sigma_x$ bei $y = 140.0 \text{ mm}$, $z = -135.0 \text{ mm}$: $\sigma_x = 15.66 \text{ kN/cm}^2$, $\tau = 0.00 \text{ kN/cm}^2$, $\sigma_v = 15.66 \text{ kN/cm}^2$

$\min \sigma_x$ bei $y = 140.0 \text{ mm}$, $z = 135.0 \text{ mm}$: $\sigma_x = -14.81 \text{ kN/cm}^2$, $\tau = 0.00 \text{ kN/cm}^2$, $\sigma_v = 14.81 \text{ kN/cm}^2$

$\max \tau$ bei $y = 0.0 \text{ mm}$, $z = 0.0 \text{ mm}$: $\sigma_x = 0.43 \text{ kN/cm}^2$, $\tau = 6.49 \text{ kN/cm}^2$, $\sigma_v = 11.26 \text{ kN/cm}^2$

$\max \sigma_v$ bei $y = 0.0 \text{ mm}$, $z = -128.5 \text{ mm}$: $\sigma_x = 14.93 \text{ kN/cm}^2$, $\tau = 5.69 \text{ kN/cm}^2$, $\sigma_v = 17.89 \text{ kN/cm}^2$

zul. Vergleichsspannung: $\text{zul } \sigma_v = 23.50 \text{ kN/cm}^2$

Nachweis: $\sigma_v = 17.89 \text{ kN/cm}^2 < \text{zul } \sigma_v = 23.50 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U_{\sigma v} = 0.761 < 1$ **ok.**

Ausnutzungen: Tragfähigkeit $U_{\sigma} = 0.761 < 1$ **ok.**, c/t-Verhältnis $U_{c/t} = 0.484 < 1$ **ok.**

Nähere Informationen zur Nachweisführung s. Abs. 4.3, S. 25.

Je Lastfall wird die maximale Ausnutzung protokolliert.

Maximale Ausnutzung

Maximale Ausnutzung: $\max U_{rechts} = 0.931 < 1$ **ok.**

Steg - Laschen

4.2

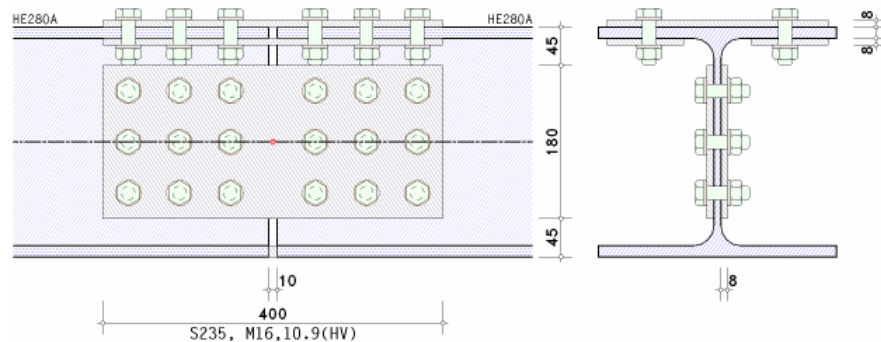
Lastaufteilung mittels Linienquerschnitt

Der Lastfluss erfolgt vom rechtsseitigen Träger über die Laschen in den linksseitigen Träger. Laschen und Schrauben dienen als Übertragungselemente und müssen entsprechend ausgelegt sein.

Dazu wird der Lastanteil auf die Laschen für jeden Träger bestimmt. Dabei sollen die Gurtlaschen nur Normalkräfte, die Steglaschen Normalkräfte, Querkkräfte und Biegemomente übernehmen.

Da die Anordnung der Laschen variabel ist, wird das Verfahren des Linienquerschnitts, das schon bei der Schweißnahtberechnung (s. z.B. Handbuch zu EC3SA, Schweißnahtanschluss) zum Tragen gekommen ist, auf den Laschenquerschnitt übertragen.

Grundsätzlich stehen zwei Verfahren zur Auswahl, die im Folgenden für den dargestellten Anschluss erläutert werden.

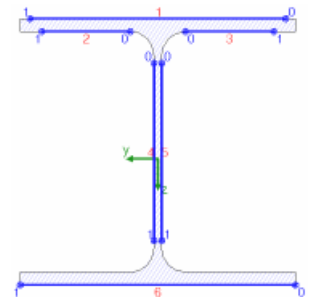


Aufteilung nach den Steifigkeiten der Laschen

Beispielhaft sind nebenstehend die Laschen, die den Linienquerschnitt bilden, dargestellt. Liniendicke und -länge entsprechen denen der Laschen.

Der Druckkontakt unten wird durch eine Linie modelliert, deren Dicke und Länge der Flanschdicke und -länge des betrachteten Profils entspricht.

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



Für jeden Punkt werden die Spannungen ermittelt. Zur Orientierung ist das Querschnitts-Koordinatenkreuz, auf das die Schnittgrößen bezogen sind, in grün eingefügt.

Bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts werden die Querschnittsfläche ΣA_w , ggf. die Querschnittsflächen in y- und z-Richtung $A_{w,y}$, $A_{w,z}$, die gesamte Linielänge Σl_w , die Trägheitsmomente $I_{w,y}$, $I_{w,z}$, $I_{w,yz}$ und die Differenzabstände zum Querschnittsschwerpunkt Δy_w , Δz_w ermittelt.

Über eine Interaktionsbeziehung (s. *Theorie mehrteilige Querschnitte* im Handbuch zu EC3SA) können den Einzellinien Schnittgrößen zugeordnet werden, die im Schwerpunkt der Linie wirken. Die lokalen Normalkräfte und Biegemomente werden über diese Beziehung ermittelt.

Da die Querkraftaufteilung unabhängig von der Momenten-/Normalkraftverteilung erfolgt, sind zwei Verfahren zur Verteilung der Querkkräfte auf die Linien verfügbar.

- nach der konventionellen Methode wird die Querkraft denjenigen Laschen zugeordnet, die in Richtung der entsprechenden Querkraftkomponente verlaufen, d.h. horizontale Laschen tragen V_y , vertikale Laschen V_z .
- alternativ wird die Querkraft in Abhängigkeit der Steifigkeiten auf die Laschen verteilt. Dies entspricht der Theorie der Aussteifungssysteme, die jedoch im strengen Sinne nur gilt, wenn sich die Laschen unabhängig voneinander verformen können, und hier nicht verfolgt wird.

Damit werden die Spannungen in den maßgebenden Nachweispunkten berechnet.

Bemessungsgrößen bezogen auf den Schwerpunkt des Profils:

$$N_{Ed} = 41.56 \text{ kN}, \quad M_{y,Ed} = -153.60 \text{ kNm}, \quad V_{z,Ed} = 128.00 \text{ kN}$$

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$$\Sigma A_w = 100.40 \text{ cm}^2, \quad A_{w,z} = 28.80 \text{ cm}^2, \quad \Sigma I_w = 108.0 \text{ cm}^4$$

$$I_{w,y} = 13340.45 \text{ cm}^4, \quad I_{w,z} = 4420.59 \text{ cm}^4, \quad \Delta z_w = -3.3 \text{ mm}$$

Spannungen in den Endpunkten der Linien:

Linie 1, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 163.58 \text{ N/mm}^2$

Linie 2, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 148.61 \text{ N/mm}^2$

Linie 3, Pkt. 0: siehe Linie 2

Pkt. 1: siehe Linie 2

Linie 4, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 111.77 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z} = 44.44 \text{ N/mm}^2$

Pkt. 1: $\sigma_{w,x} = -95.48 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z} = 44.44 \text{ N/mm}^2$

Linie 5, Pkt. 0: siehe Linie 4

Pkt. 1: siehe Linie 4

Linie 6, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = -147.29 \text{ N/mm}^2$

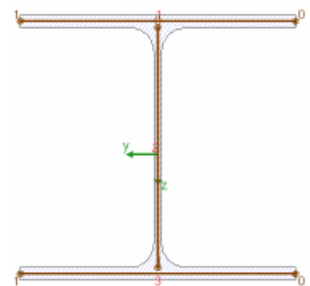
Extremale Spannungen $\sigma_{w,x,max} = 163.6 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{w,x,min} = -147.3 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z,max} = 44.4 \text{ N/mm}^2$

Aufteilung nach den Steifigkeiten der Profilelemente

Bei diesem Verfahren werden Steifigkeiten der Linien nach den Steifigkeiten der Trägerflansche und des Trägerstegs gebildet.

Sind an einem Profileil (Flansche, Steg) keine Laschen befestigt, werden diese Linien nicht modelliert.

Der Druckkontakt unten wird so behandelt als wäre eine Lasche vorhanden.



Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:

$$\Sigma A_w = 92.32 \text{ cm}^2, \quad A_{w,y} = 72.80 \text{ cm}^2, \quad A_{w,z} = 19.52 \text{ cm}^2, \quad \Sigma I_w = 80.4 \text{ cm}^4$$

$$I_{w,y} = 12999.62 \text{ cm}^4, \quad I_{w,z} = 4757.31 \text{ cm}^4, \quad \Delta y_w = 0.0 \text{ mm}, \quad \Delta z_w = -6.8 \text{ mm}$$

Spannungen in den Endpunkten der Linien:

Linie 1, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 156.33 \text{ N/mm}^2$

Pkt. 1: $\sigma_{w,x} = 156.33 \text{ N/mm}^2$

Linie 2, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = 148.65 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z} = 65.57 \text{ N/mm}^2$

Pkt. 1: $\sigma_{w,x} = -139.65 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z} = 65.57 \text{ N/mm}^2$

Linie 3, Pkt. 0: $\sigma_{w,x} = -147.33 \text{ N/mm}^2$

Pkt. 1: $\sigma_{w,x} = -147.33 \text{ N/mm}^2$

Extremale Spannungen $\sigma_{w,x,max} = 156.3 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{w,x,min} = -147.3 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{w,z,max} = 65.6 \text{ N/mm}^2$

Daraus ergibt sich die Schnittgrößenverteilung für das Verfahren *Aufteilung nach den Steifigkeiten der Laschen* zu

Schnittgrößenverteilung

Obergurt: $N_{to} = 554.25 \text{ kN}$

Steg: $N_w = 11.73 \text{ kN}$, $M_{y,w} = 4.48 \text{ kNm}$, $V_{z,w} = 128.00 \text{ kN}$

Untergurt: $N_{tu} = -536.15 \text{ kN}$

Daraus ergibt sich die Schnittgrößenverteilung für das Verfahren *Aufteilung nach den Steifigkeiten der Profilelemente* zu

Schnittgrößenverteilung

Obergurt: $N_{to} = 569.06 \text{ kN}$

Steg: $N_w = 8.79 \text{ kN}$, $M_{y,w} = 11.44 \text{ kNm}$, $V_{z,w} = 128.00 \text{ kN}$

Untergurt: $N_{tu} = -536.28 \text{ kN}$



pcae empfiehlt, die Schnittgrößenverteilung nach der Aufteilung der Belastung nach den **Steifigkeiten der Profilelemente** vorzunehmen, da i.A. die Trägerelemente für die Belastung ausgelegt sind.

4.3

Querschnittsnachweis n. EC 3

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

Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch

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

elastischer Querschnittsnachweis für $N = -27.71 \text{ kN}$, $M_y = 23.75 \text{ kNm}$, $V_z = -38.05 \text{ kN}$
max σ_v bei $y = 0.0 \text{ mm}$, $z = -138.0 \text{ mm}$: $\sigma_x = -2.04 \text{ kN/cm}^2$, $\tau = -1.48 \text{ kN/cm}^2$, $\sigma_v = 3.28 \text{ kN/cm}^2$
Nachweis: $\sigma_v = 3.28 \text{ kN/cm}^2 < \text{zul } \sigma_v = 23.50 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U = 0.140 < 1$ **ok.**
Ausnutzungen: Tragfähigkeit $U_\sigma = 0.140 < 1$ **ok.**, c/t -Verhältnis $U_{c/t} = 0.181 < 1$ **ok.**

Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch

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

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

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

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

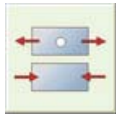
Eine Begrenzung der Grenzbiegemomente wie in DIN 18800, El. 755, ist in DIN EN 1993 nicht erforderlich.

plastischer Querschnittsnachweis für $N = -27.71 \text{ kN}$, $M_y = 23.75 \text{ kNm}$, $V_z = -38.05 \text{ kN}$
zul. Normal-/Schubspannung: zul $\sigma_{Rd} = 23.50 \text{ kN/cm}^2$, zul $\tau_{Rd} = 13.57 \text{ kN/cm}^2$
Obergurt: Grenznormalkräfte $N_{\max,0} = 987.00 \text{ kN}$, $N_{\min,0} = -987.00 \text{ kN}$
Untergurt: Grenznormalkräfte $N_{\max,U} = 987.00 \text{ kN}$, $N_{\min,U} = -987.00 \text{ kN}$
Steg: Querkraft $V_s = -38.05 \text{ kN}$, Schubspannung $\tau_s = 1.62 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow U_{\tau,s} = 0.120$
Grenznormalkräfte $N_{\max,s} = 547.36 \text{ kN}$, $N_{\min,s} = -547.36 \text{ kN}$
Hauptbieg.: Normalkraft $N = -27.71 \text{ kN}$, Grenznormalkräfte $N_{\max} = 2521.36 \text{ kN}$, $N_{\min} = -2521.36 \text{ kN} \Rightarrow U_N = 0.011$
Moment $M_y = 23.75 \text{ kNm}$, Grenzmomente $M_{y,\max} = 310.08 \text{ kNm}$, $M_{y,\min} = -310.08 \text{ kNm} \Rightarrow U_{M_y} = 0.077$
Gesamt (ggf. aus Laststeigerung): max $U = 0.120 < 1$ **ok.**
Ausnutzungen: Tragfähigkeit $U_\sigma = 0.120 < 1$ **ok.**, c/t -Verhältnis $U_{c/t} = 0.181 < 1$ **ok.**

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

5 Grundkomponenten eines Anschlusses

5.1 Blech mit Zug, Druck, Schub



EC 3-1-1, 6.2, Grundkomponente 9, bei Träger-Stützenverbindungen und Trägerstößen

5.1.1 Anwendungsvoraussetzung

Wahlweise kann die Tragfähigkeit eines Blechs mit Zug-, Druck- oder Schubbeanspruchung berechnet werden.

5.1.2 Tragfähigkeit

Zugbelastung

Der Bemessungswert der Zugbeanspruchbarkeit eines Querschnitts mit Löchern ergibt sich als der kleinere Wert von

- dem Bemessungswert der plastischen Beanspruchbarkeit des Bruttoquerschnitts

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

- und dem Bemessungswert der **Zugbeanspruchbarkeit** des Nettoquerschnitts längs der kritischen Risslinie durch die Löcher

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Druckbelastung Der Bemessungswert der **Druckbeanspruchbarkeit** ist anzusetzen mit

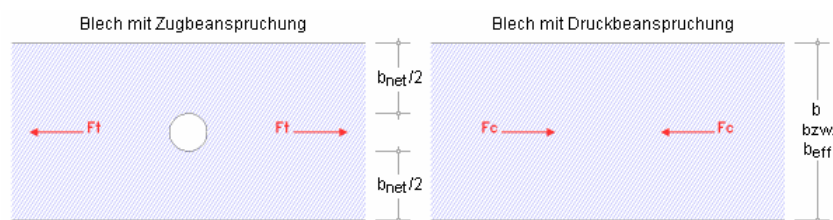
$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \dots \text{für Querschnitte der Klasse 1, 2 oder 3}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \dots \text{für Querschnitte der Klasse 4}$$

Schubbelastung Der Bemessungswert der Schubbeanspruchbarkeit ist anzusetzen mit

$$V_{pl,Rd} = (A_v \cdot f_y) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) \quad \dots \text{plastische Querkrafttragfähigkeit}$$

$$V_{u,Rd} = (A_{v,net} \cdot f_u) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}) \quad \text{Querkrafttragfähigkeit unter Lochabzug (n. EC 3 i.A. nicht erforderlich)}$$



5.1.3 Programmanwendung

Es werden nur die wesentlichen Parameter zur Berechnung der Tragfähigkeit der Grundkomponente 9 angefordert. Die Stahlsorte kann einer Liste der gängigen Typen entnommen werden oder per Hand in das Eigenschaftsblatt eingegeben werden.

Grundkomponente 9: Blech mit Zug- oder Druckbeanspruchung			
Stahlsorte	<input type="text" value="S 275"/>	<input type="checkbox"/> Vorgabe	
Blechedicke	t	<input type="text" value="8.0"/>	mm
Blechbreite	b _{eff} bzw. b	<input type="text" value="280.0"/>	mm
<input checked="" type="checkbox"/> Zug	Netto-Blechbreite	b _{net}	<input type="text" value="220.0"/> mm
<input checked="" type="checkbox"/> Druck	Querschnittsklasse	<input type="text" value="2"/>	
<small>plastische Momentenragfähigkeit, begrenzte Rotationskapazität</small>			

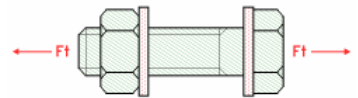
Bei Zugbeanspruchung ist neben Stahlgüte, Blechedicke und Blechbreite die Netto-Blechbreite, d.h. die Blechbreite unter Lochabzug, anzugeben. Die Netto-Querschnittsfläche ergibt sich dann zu $A_{net} = t \cdot b_{net}$.

Bei Druckbeanspruchung ist zusätzlich die Querschnittsklasse des Profils vorzugeben.

5.2 Schrauben mit Zugbeanspruchung



EC 3-1-8, 6.2.6.4 bis 6, Grundkomponente 10, bei Träger-Stützenverbindungen und Trägerstößen



5.2.1 Anwendungsgrenzen

Schrauben sind die Verbindungsmittel der Grundkomponenten 4 (*Stützenflansch mit Biegebeanspruchung*), 5 (*Stirnblech mit Biegebeanspruchung*) und 6 (*Flanschwinkel mit Biegebeanspruchung*).

In dieser Grundkomponente wird die Zugtragfähigkeit normaler und Edelstahl-Schrauben nach Kategorie D ermittelt. Nähere Informationen finden Sie in der Programmbeschreibung der *Basisverbindungen*, Abs. 6.2, S. 30, zur Berechnung der Zugtragfähigkeit von Schrauben.

5.2.2 Programmanwendung

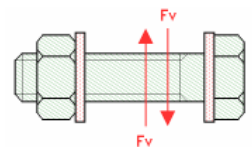
Grundkomponente 10: Schraube mit Zugbeanspruchung			
Schraubengröße	<input type="text" value="20"/>	<input type="checkbox"/> Vorgabe	
Festigkeitsklasse	<input type="text" value="8.8"/>	<input type="checkbox"/> Vorgabe	
<input type="radio"/> normale Schlüsselweite <input checked="" type="radio"/> große Schlüsselweite			
FK 8.8 oder 10.9: HU-Schraube (vorgespannt)			

Es werden nur die wesentlichen Parameter zur Berechnung der Tragfähigkeit der Grundkomponente 10 angefordert. Die Schraubenparameter können Listen der gängigen Typen und Güten entnommen werden oder per Hand in das Eigenschaftsblatt eingegeben werden.

5.3 Schrauben mit Abscherbeanspruchung



EC 3-1-8, 3.6, Grundkomponente 11, bei Träger-Stützenverbindungen und Trägerstößen



5.3.1 Anwendungsgrenzen

In dieser Grundkomponente wird die Abschertragfähigkeit von normalen und Edelstahl-Schrauben nach Kategorie A ermittelt. Nähere Informationen finden Sie in der Programmbeschreibung der *Basisverbindungen*, Abs. 6.2, S. 30, zur Berechnung der Abschertragfähigkeit von Schrauben.

5.3.2 Programmanwendung

Grundkomponente 11: Schraube mit Abscherbeanspruchung			
Schraubengröße	<input type="text" value="20"/>	<input type="checkbox"/> Vorgabe	
Festigkeitsklasse	<input type="text" value="8.8"/>	<input type="checkbox"/> Vorgabe	
<input type="radio"/> normale Schlüsselweite <input checked="" type="radio"/> große Schlüsselweite			
FK 8.8 oder 10.9: HU-Schraube (vorgespannt)			
<input checked="" type="checkbox"/> Flanschverstärkung (Futterblech) t_p	<input type="text" value="10.0"/>	mm	

Es werden nur die wesentlichen Parameter zur Berechnung der Tragfähigkeit der Grundkomponente 11 angefordert. Die Schraubenparameter können Listen der gängigen Typen und Güten entnommen werden oder per Hand in das Eigenschaftsblatt eingegeben werden.

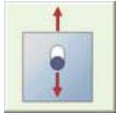
Ein Futterblech muss nur angegeben werden, wenn die Schraube die Scherkraft über das Futterblech überträgt.

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

Die Schertragfähigkeit ist von der Lage der Scherfuge zum Schraubenschaft abhängig. Sie ist geringer, wenn das Gewinde in der Scherfuge liegt.

5.4

Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung

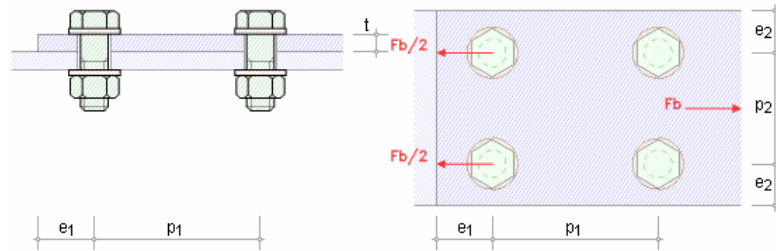


EC 3-1-8, 3.6, Grundkomponente 12, bei Träger-Stützenverbindungen und Trägerstößen

5.4.1

Anwendungsgrenzen

In dieser Grundkomponente wird die Lochleibungstragfähigkeit normaler und Edelstahl-Schrauben nach Kategorie A ermittelt. Nähere Informationen finden Sie in der Programmbeschreibung der *Basisverbindungen*, s. Abs. 6.2, S. 30, zur Berechnung der Lochleibungstragfähigkeit von Schrauben.



5.4.2

Programmanwendung

Grundkomponente 12: Schraube mit Lochleibungsbeanspruchung

Schrauben: Schraubengröße ☐ Vorgabe
 Festigkeitsklasse ☐ Vorgabe
☐ normale Schlüsselweite ☒ große Schlüsselweite
 FK 8.8 oder 10.9: HV-Schraube (vorgespannt)

Blech: Blechdicke t mm
 Stahlsorte ☐ Vorgabe

Es werden nur die wesentlichen Parameter zur Berechnung der Tragfähigkeit der Grundkomponente 12 angefordert. Die Stahlgüten und Schraubenparameter können Listen der gängigen Typen und Güten entnommen werden oder per Hand in das Eigenschaftsblatt eingeben werden.

In Kraftrichtung:

☐ am Rand liegende Schraube
☒ innen liegende Schraube

Randabstand e_1 mm
 Lochabstand p_1 mm

In Kraftrichtung:

☒ am Rand liegende Schraube
☐ innen liegende Schraube

Randabstand e_1 mm
 Lochabstand p_1 mm

Quer zur Kraftrichtung:

Randabstand e_2 mm
 Lochabstand p_2 mm

Die Lochleibungstragfähigkeit betrifft Schraube und Anschlussblech, da die Zugkraft die Kontaktflächen von Schraube und Blech belastet.

Das Blech kann, je nach Position der Schraube, einen größeren oder kleineren Widerstand bieten. Daher sind neben der Blechdicke (s.o.) auch die Randabstände e und die Abstände zu den Nachbarschrauben (Lochabstände) einzugeben.

In Kraftrichtung wird zwischen Rand- und Innenschrauben unterschieden; quer zur Kraftrichtung werden - wie bei allen Schraubenverbindungen der Grundkomponenten - stets nur zwei Randschrauben angenommen.

6

Basisverbindungen

6.1

Schraubenparameter

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

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

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

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

Eigenschaftsblattfragment aus #-EC3BV, Basisverbindungen

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

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

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

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

Das Nennlochspiel bestimmt die Lochleibungstragfähigkeit und den Gleitwiderstand.

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

6.2

Tragfähigkeit von Schraubenverbindungen



Schrauben können auf Abscheren (EC 3-1-8, 3.6+3.7+3.9) und Zug (EC 3-1-8, 3.6) beansprucht werden.

Zur Ermittlung der Tragfähigkeit sind Schraubenverbindungen in Kategorien einzuteilen.

Scherbeanspruchung

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

Bemessungswert der Schertragfähigkeit

Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit

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

Bemessungswert des Gleitwiderstands im GZG

Bemessungswert der Schertragfähigkeit

Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit

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

Bemessungswert des Gleitwiderstands im GZT

Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit

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

Zugbeanspruchung

Kategorie D: Zugbeanspruchung für Schrauben aller Festigkeitsklassen ohne Vorspannung

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit

Bemessungswert der Durchstanztragfähigkeit

Kategorie E: Zugbeanspruchung für hochfeste vorgespannte Schrauben

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit

Bemessungswert der Durchstanztragfähigkeit

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

☒ einschittiger Anschluss
☐ mehrschnittiger Anschluss

Kategorie der Scherverbindungen C

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

In Krafrichtung:

Randabstand e_1 50.0 mm
 Lochabstand p_1 70.0 mm

☒ innen liegende Schraube
☐ am Rand liegende Schraube

Quer zur Krafrichtung:

Randabstand e_2 30.0 mm
 Lochabstand p_2 55.0 mm

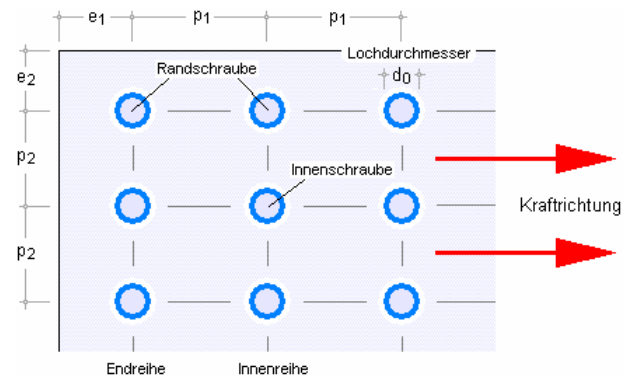
☐ innen liegende Schraube
☒ am Rand liegende Schraube

☒ einschittiger Anschluss
☐ mehrschnittiger Anschluss

Gleitflächenklasse A

Nettoquerschnitt im kritischen Schnitt A_{net} 11.250 cm²

Kategorie der Zugverbindungen E



Eigenschaftsblattfragment aus *EC3BV*, Basisverbindungen

Die Abstände sind gemäß dem Bild rechts definiert.

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

Ist der Lochabstand $p_1 = 0$, besteht der Anschluss nur aus einer Schraubenreihe (s. bes. Regel zur Lochleibungstragfähigkeit für einschnittige Schraubenverbindungen). Ist auch $p_2 = 0$, besteht die Verbindung nur aus einer Schraube.

Abscheren je Scherfuge

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

Die Abschertragfähigkeit wird nur angesetzt, wenn die Schraubenlöcher ein normales Lochspiel haben (EC 3-1-8, 3.6.1(4)). Übertragen Schrauben Scherkräfte über Futterbleche, ist die Schertragfähigkeit abzumindern mit

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

Lochleibung

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

Beiwert α_d in Kraftrichtung

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

Beiwert k_1 quer zur Kraftrichtung

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

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

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

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

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

Zug

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

Durchstanzen

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

Kombination von Scher-/Lochleibung und Zug

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

Gleiten im GZT

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

Gleiten im GZG

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

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

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

$k_s = 0.85$ übergroßen Löchern

$k_s = 0.85$ kurzen Langlöchern \perp Kraftrichtung

$k_s = 0.7$ großen Langlöchern \perp Kraftrichtung

$k_s = 0.76$ kurzen Langlöchern \parallel Kraftrichtung

$k_s = 0.63$ großen Langlöchern \parallel Kraftrichtung

n Anzahl Reiboberflächen (=1 bei einschnittigen Verbindungen)

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

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

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

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

Querschnittsversagen bei Zugverbindungen

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

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

7

Allgemeines

7.1

Stahlsorten

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

S 235 (auch W und H)

S 275 (auch N/NL, M/ML, H, NH/NLH und MH/MLH)

S 355 (auch N/NL, M/ML, W, H, NH/NLH und MH/MLH)

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

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

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

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

7.2

Ausdrucksteuerung

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

Zunächst kann eine maßstäbliche **grafische Darstellung** des Schweißnahtanschlusses in die Liste eingefügt werden. Der Maßstab kann entweder vorgegeben werden oder die Zeichnung wird im Falle einer Eingabe von 0 größtmöglich in den dafür vorgesehenen Platz gesetzt.

Anschließend werden die **Eingabeparameter** und die **Teilsicherheitsbeiwerte** bzw. **Bemessungskräfte** ausgedruckt.

I.A. reicht die Ausgabe der Typbezeichnungen der Verbindungsmittel sowie der Stahlgüten aus; bei Aktivierung der **zusätzlichen Informationen** werden zudem die Rechenparameter ausgegeben.

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

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

Eingabeprotokoll

- ☒ Grafik im Maßstab 1: 0.0
- ☒ Eingabeparameter
- ☒ Teilsicherheitsbeiwerte / Bemessungskräfte
- ☐ zusätzliche Informationen
- ☐ Parameter des nationalen Anhangs
- ☒ Vorschriften

Ergebnisse

- ☐ ausführlich
- ☒ standard
- ☐ minimal

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

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

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

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

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

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

- ☒ maßgebendes Lastkollektiv

Im Programm **4H-EC3FS**, freier Stirnplattenstoß, können die FEM-Ergebnisse in einer optimierten Tabelle ausgegeben werden.

- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> optimierte Tabelle (FEM-Ergebnisse) | nur 4H-EC3FS |
| <input checked="" type="checkbox"/> Bemessungsgrößen | nur 4H-EC3BT - Familie
4H-EC3GT - Familie |
| <input checked="" type="checkbox"/> Zwischenergebnisse | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Erläuterungsskizzen | |

In den Programmen der **4H-EC3BT-Familie** (**4H-EC3BT**, Biegesteifer Trägeranschluss, **4H-EC3RE**, Rahmenecke, **4H-EC3TT**, Thermische Trennschicht, **4H-EC3IH**, Typisierter IH-Anschluss) und der **4H-EC3GT-Familie** (**4H-EC3GT**, Gelenkiger Trägeranschluss, **4H-EC3IS**, Typis. IS,IW,IG,IK-Anschluss) kann die Herleitung der Bemessungsgrößen protokolliert werden.

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

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

7.3

Nationale Anhänge zu den Eurocodes

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

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

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

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

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



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

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

Normen

- /1/ DIN EN 1990, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /2/ DIN EN 1990/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /3/ DIN EN 1991-1-2, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung EN 1991-1-2, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /4/ DIN EN 1991-1-2/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe September 2015
- /5/ DIN EN 1993-1-1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dez. 2010
- /6/ DIN EN 1993-1-1/A1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005/A1:2014, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Juli 2014
- /7/ DIN EN 1993-1-1/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dez. 2018
- /8/ DIN EN 1993-1-2, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung EN 1993-1-2, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /9/ DIN EN 1993-1-2/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /10/ DIN EN 1993-1-3, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-3: Allgemeine Regeln - Ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche; Deutsche Fassung EN 1993-1-3:2006 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /11/ DIN EN 1993-1-3/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-3: Allgemeine Regeln - Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /12/ DIN EN 1993-1-5, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile; Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017 + A2:2019, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Oktober 2019
- /13/ DIN EN 1993-1-5 Berichtigung 1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile; Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017 + A2:2019, Berichtigung 1, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Juli 2020
- /14/ DIN EN 1993-1-5/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /15/ DIN EN 1993-1-8, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010
- /16/ DIN EN 1993-1-8/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe November 2020
- /17/ DIN EN 1993-1-9, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung; Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Dezember 2010

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

Bemessung

- /24/ E. Kahlmeyer, K. Hebestreit, W. Vogt: Stahlbau nach EC3, Bemessung und Konstruktion, Träger - Stützen - Verbindungen, 6. Auflage, Werner-Verlag, 2012
- /25/ R. Kindmann, M. Stracke: Verbindungen im Stahl- und Verbundbau, 3. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 2012
- /26/ R. Kindmann, M. Krüger: Stahlbau Teil 1: Grundlagen, 5. Aufl., Verl. Ernst & Sohn, 2013
- /27/ R. Kindmann: Stahlbau Teil 2: Stabilität und Theorie II. Ordnung, 4. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 2008
- /28/ R. Kindmann, J. Fricke: Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit, Grundlagen, Methoden, Berechnungsverfahren, Beispiele, Verlag Ernst & Sohn, 2002
- /29/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 1: Tragwerksplanung, Grundlagen, 5. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014
- /30/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 2: Verbindungen und Konstruktionen, 3. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2011
- /31/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 3: Komponentenmethode, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014
- /32/ D. Ungermann, K. Weynand, J.-P. Jaspart, B. Schmidt: Momententragfähige Anschlüsse mit und ohne Steifen, Stahlbau Kalender 2005, Verlag Ernst & Sohn, 2005
- /33/ D. Ungermann, S. Schneider: Stahlbaunormen DIN EN 1993-1-8: Bemessung von Anschlüssen, Stahlbau Kalender 2013, Verlag Ernst & Sohn, 2013
- /34/ D. Ungermann, M. Feldmann, O. Oberegge et.al.: Entwicklung eines Bemessungsmodells für geschraubte, momententragfähige Kopfplattenverbindungen mit 4 Schrauben in einer Schraubenreihe auf der Grundlage der prEN 1993-1-8:2003: Forschungsbericht zum Forschungsvorhaben AiF Nr. 15059, Deutscher Ausschuss für Stahlbau (DAST), Stahlbau Verlags- und Service GmbH, 2009
- /35/ Björn Schmidt: Zum Tragverhalten von geschraubten momententragfähigen Stirnplattenverbindungen mit 4 Schrauben in jeder Schraubenreihe, Dissertation, TU Dortmund, 2008
- /36/ Beispiele zur Bemessung von Stahltragwerken nach DIN EN 1993 Eurocode 3, bauforumstahl e.V., Verlag Ernst & Sohn GmbH & Co. KG
- /37/ K. Weynand, R. Oerder: Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach DIN EN 1993-1-8, Stahlbau Verlag- und Service GmbH, Gesamtausgabe 2013
- /38/ L. Nasdala, B. Hohn, R. Rühl: Bemessung von Stirnplattenanschlüssen mit elastomerer Zwischenschicht, Bauingenieur, Bd. 80, Dezember 2005
- /39/ Y. Ciupack, H. Pasternak: Thermisch getrennte Stirnplattenstöße, Bauingenieur, Bd. 88, Dezember 2013
- /40/ Druckschrift Kerncompactlager, Calenberg Ingenieure GmbH, Salzhemmendorf, www.calenberg-ingenieure.de

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

9 Index

Abkürzungen.....	2	Lastbild.....	2
Abscheren.....	27	Lastfall.....	2
Anhang nationaler.....	34	Lastkollektiv	2
Ausdrucksteuerung.....	33	Lochleibung.....	28
Bauteil erzeugen.....	7	Ordner.....	7
blank	2	Querschnittsnachweis EC 3.....	25
Blech	26	Schnittgrößen.....	17
Buttons.....	2	Schnittgrößenimport.....	17
Cursor	2	Schraube.....	27, 29
Druckbeanspruchbarkeit.....	26	Schreibtisch	6
Einwirkung	2	Schreibtischauswahl	5
e-Mail	6	Senkschraube	29
Extremalbildungsvorschrift.....	2	Stahlsorte.....	33
Festigkeitsklasse.....	29	Startsymbol	5
Injektionsschraube	29	Steuerbutton	6
Installation.....	5	Tragfähigkeit Schraube.....	30
Kontextsensitivität.....	6	Zugbeanspruchbarkeit.....	26