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-EC3SA

SchweißnahtAnschluss

August 2022

4H-EC3SA

SchweißnahtAnschluss

Copyright 2014-2022

4. 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 ⁴⁄⁄-EC3SA, Schweißnahtanschlüsse, führt den Schweißnahtnachweis für beliebige typisierte Profile unter zweiachsiger Beanspruchung nach Eurocode 3 und DIN 18800.

Folgende Leistungsmerkmale werden bereitgestellt

- Profil- und Materialparameter können sowohl aus **pcae**-eigenen Tabellen als auch parametrisiert eingegeben werden.
  Nach DIN 18800 können keine parametrisierten Profile nachgewiesen werden.
- die Schweißverbindung kann mittels einer umlaufenden Naht mit einheitlicher Nahtdicke oder über Einzelnähte mit variabler Länge und Dicke modelliert werden
- zusätzlich kann die Querschnittstragfähigkeit ermittelt werden, wobei nach EC 3 die Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* oder *Elastisch-Plastisch* gewählt werden können.
  Nach DIN 18800 ist nur ein elastischer Nachweis möglich.
- nach EC 3 kann der Schweißnahtnachweis entweder nach dem richtungsbezogenen oder nach dem vereinfachten Verfahren durchgeführt werden
- die Einzelnaht kann entweder als Kehlnaht (mit Endkrater oder voll ausgeführt) oder als durchgeschweißte Stumpfnaht (nur EC 3) ausgeführt werden
- 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.
  Nach DIN 18800 sind keine Ausgabeoptionen verfügbar.
- Export der Konstruktionszeichnung im DXF-Format zur Weiterbearbeitung in einem CAD-System

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 ⁴⁄⁄-EC3SA 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 ⁴⁄⁄-EC3SA-Dokumentation gehört neben diesem Handbuch das Manual

DTE®-DeskTopEngineering.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit ⁴⁄⁄-EC3SA.

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.

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 Anschlussparameter 11
3.2 Schnittgrößen 13
3.2.1 Schnittgrößen importieren 13
3.3 Schweißnahtnachweis n. EC 3 16
3.4 Querschnittsnachweis n. EC 3 17
3.5 Schweißnahtnachweis n. DIN 18800 18
3.5.1 Schubspannungsnachweis 19
3.6 Querschnittsnachweis n. DIN 18800 21
3.6.1 Spannungsnachweis 21
3.6.2 vereinfachter Beulnachweis 21
3.7 Ergebnisübersicht 22
3.8 Theorie dünnwandiger Querschnitte 23
3.9 Ergebnisse dünnwandiger Querschnitte 28
3.10 Tragfähigkeit von Schweißverbindungen 31
3.10.1 Kehlnähte 31
3.10.2 Stumpfnähte 33
3.11 Stahlsorten 33
3.12 Ausdrucksteuerung 34
3.13 Nationale Anhänge zu den Eurocodes 35
4 Literaturverzeichnis 36
5 Index 39

1 Programminstallation

Die Installation des DTE®-Systems und das Überspielen des Programms ⁄⁄-EC3SA auf Ihren Computer erfolgt über einen selbsterläuternden Installationsdialog.

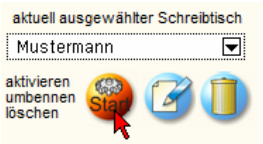
Sofern Sie bereits im Besitz anderer ⁄⁄-Programme sind und diese auf Ihrem Rechner installiert sind, lesen Sie bitte Abs. 2, Bauteil erzeugen, auf S. 7 weiter.

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.

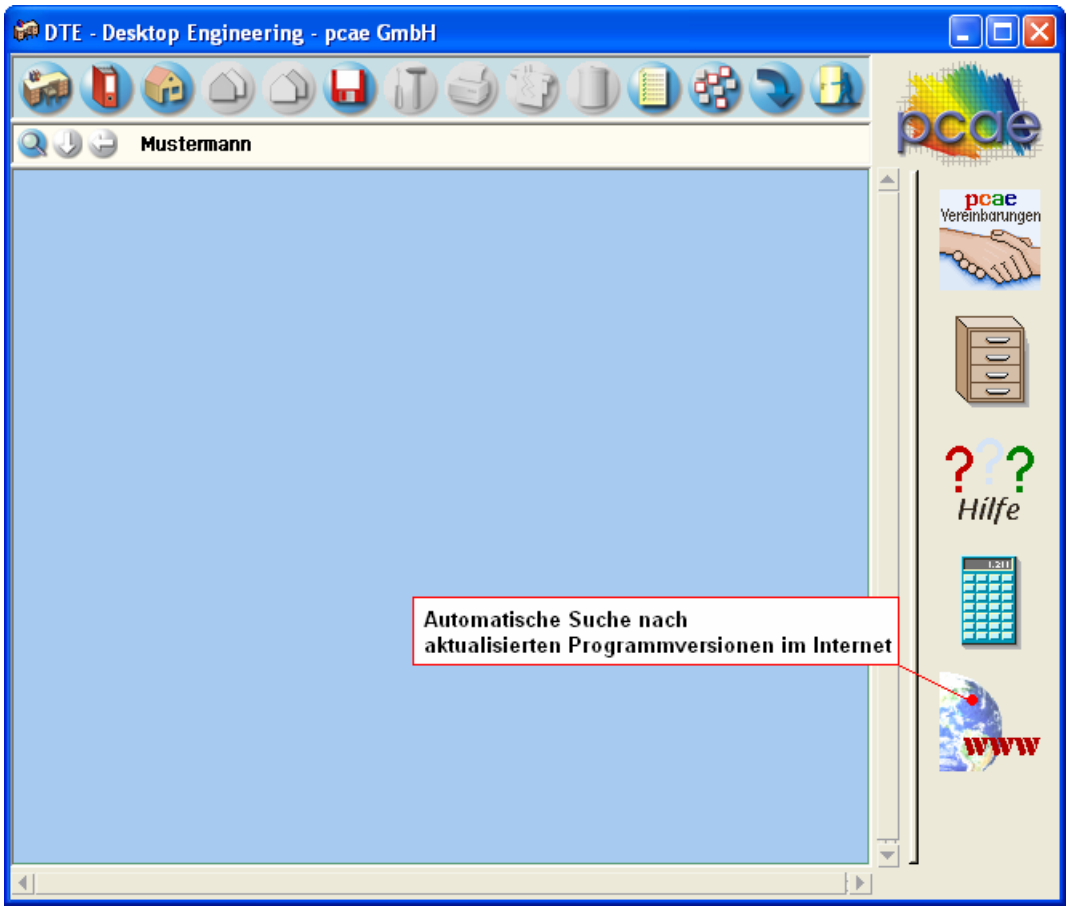


Nach Bestätigen über das ***Hakensymbol*** erscheint wieder die Schreibtischauswahl, in die der neue Name bereits eingetragen ist. Drücken Sie auf ***Start*** und die DTE®-Schreibtischoberfläche erscheint auf dem Bildschirm.

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.*

DTE®-Schreibtisch



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 Planerstellungsmodul des aktivierten Bauteils

löscht das aktivierte Bauteil/Ordner

öffnet die Bearbeitung der Auftragsliste

öffnet die Mehrfachauswahl zur gleichzeitigen Bearbeitung von Bauteilen

eröffnet Verwaltungsfunktionen

schließt den geöffneten Ordner/beendet die DTE®-Sitzung

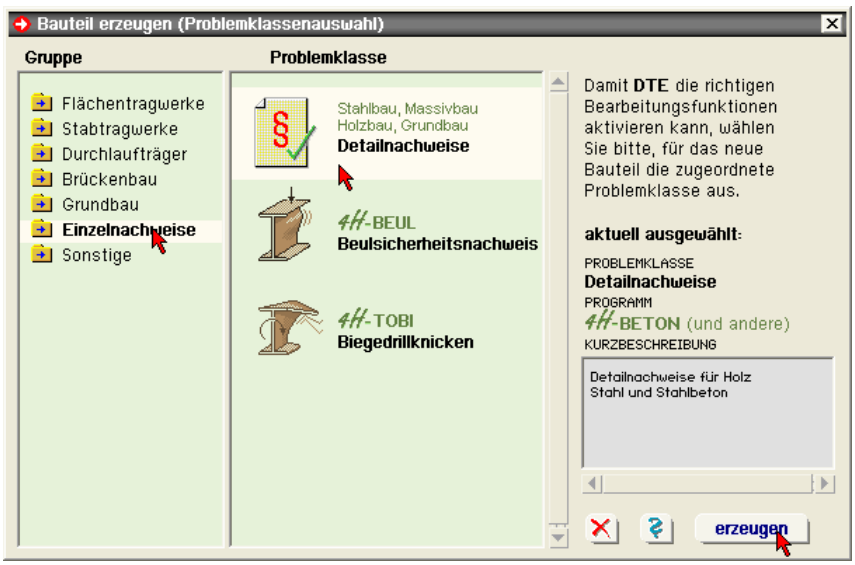
2 Bauteil erzeugen

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.

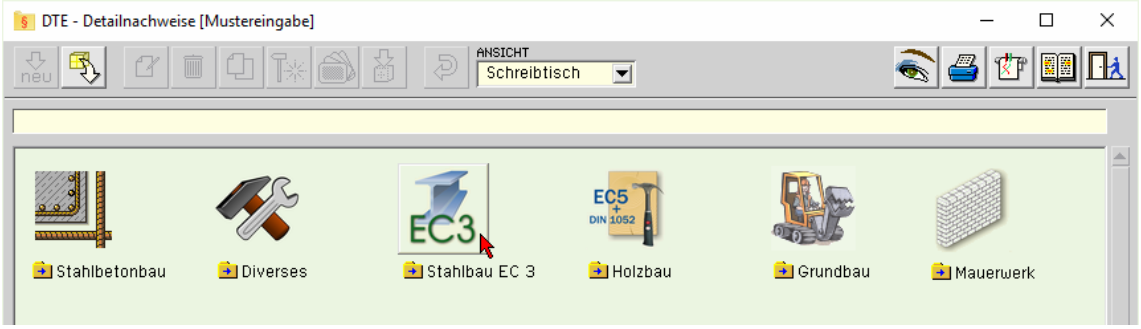
Zur Erzeugung eines neuen Bauteils wird das Schnellstartsymbol in der Kopfleiste des DTE®-Schreibtisches angeklickt. Klicken Sie in dem folgenden Eigenschaftsblatt bitte mit der LMT auf die Gruppe ***Einzelnachweise***, dann auf die Problemklasse ***Detailnachweise*** und abschließend auf den ***erzeugen-Button***.



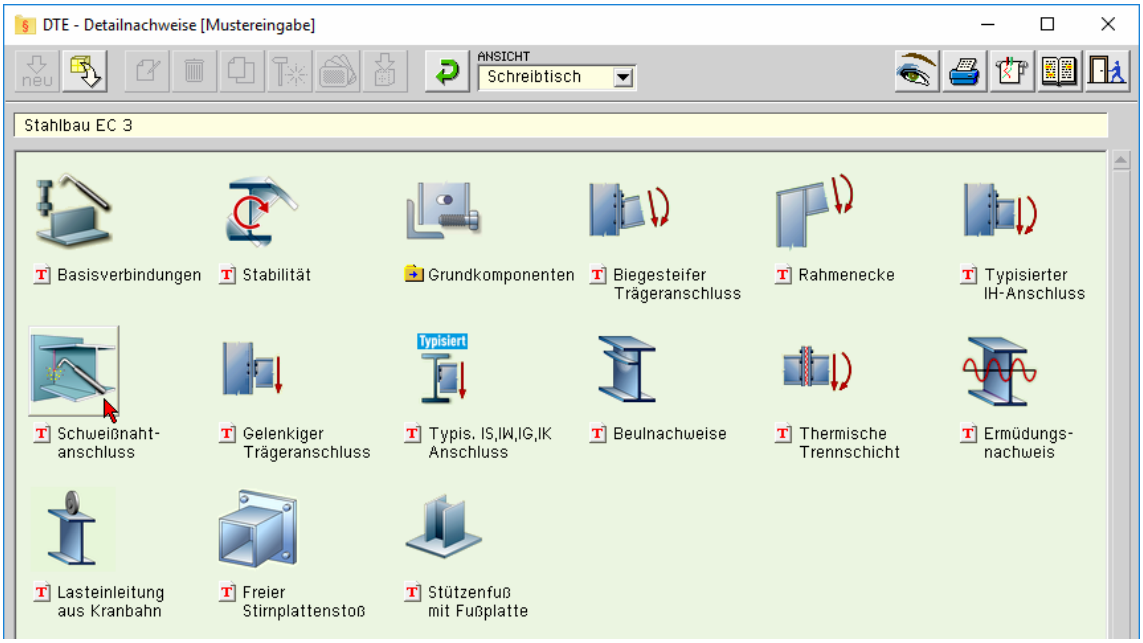
Der schwarze Rahmen der neuen Bauteilikone lässt sich mit der Maus über den Schreibtisch bewegen. Klicken Sie die LMT an der Stelle, an der das Bauteil auf dem Schreibtisch platziert werden soll. Das Eigenschaftsblatt *Name und Bezeichnung* erscheint.

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.

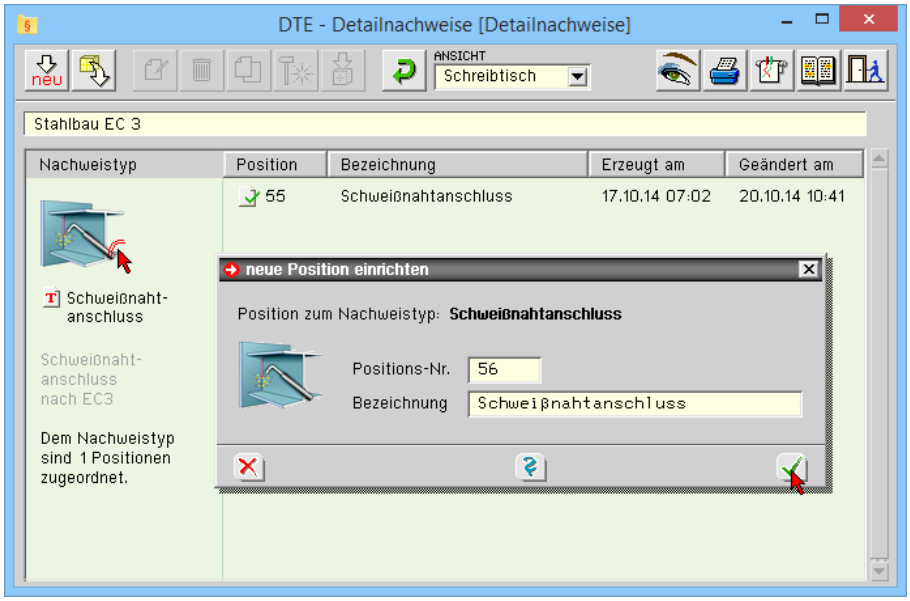
Übersicht Detailnachweise



Übersicht EC 3-Programme



Schweißnahtanschluss

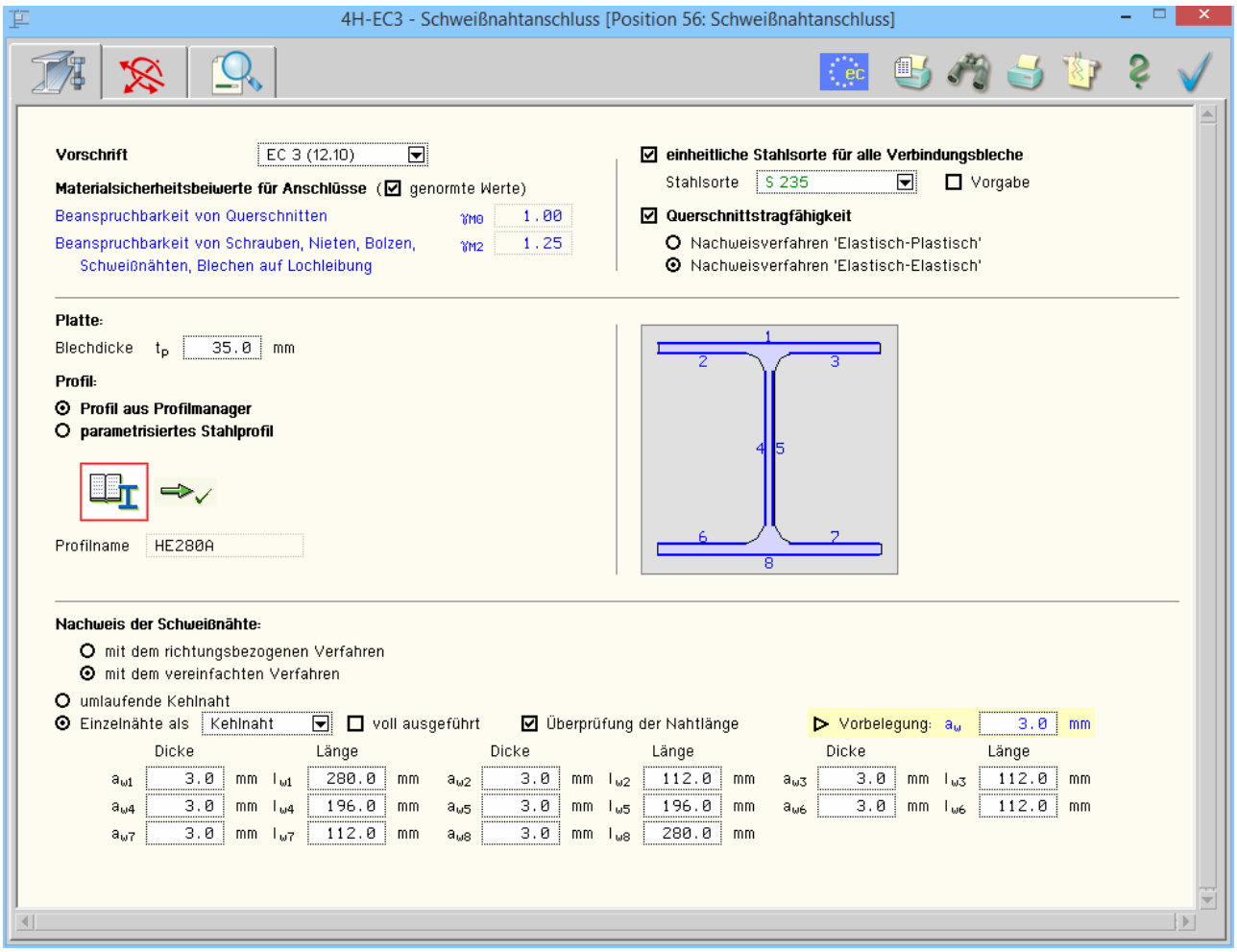


Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts *neue Position* einrichten erscheint die Eingabeoberfläche des Programms *Schweißnahtanschluss*.

3 Eingabeoberfläche

Mit dem Programm *Schweißnahtanschluss* können geschweißte Verbindungen nachgewiesen werden.

Die zugehörigen Verbindungsparameter werden in eigenen Registerblättern verwaltet, die über Symbole die dahinter liegende Parameterauswahl kenntlich machen.



Die Funktionen der einzelnen Buttons werden auf den folgenden Seiten erläutert.

Anschlussparameter, s. Abs. 3.1, S. 11

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

Bemessungsschnittgrößen, s. Abs. 3.2, S. 13

Die Schnittgrößen werden im zweiten 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. 3.7, S. 22

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

nationaler Anhang, s. Abs. 3.13, S. 35

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. 3.12, S. 34

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**-Planerstellungsmodul 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.

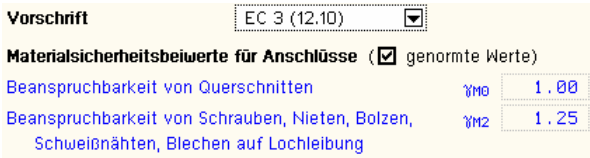
3.1 Anschlussparameter

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

Allgemeines

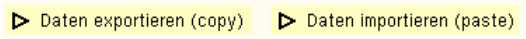
Das Programm 4H-EC3SA berechnet den geschweißten Anschluss eines typisierten Profils an eine Stahlplatte.

Der Nachweis kann nach EC 3-1-8 oder DIN 18800 (veraltet) erfolgen. Dementsprechend sind die Materialsicherheitsbeiwerte zu belegen. Nach EC 3 können die Sicherheitsbeiwerte entweder dem nationalen Anhang (Abs. 3.13, S. 35) entnommen oder direkt vorgegeben werden. Nach DIN 18800 ist der Sicherheitsbeiwert in das Eigenschaftsblatt einzutragen.



Export / Import

Die Eingabedaten können über die Copy-Paste-Funktion von einem Bauteil in ein anderes derselben Programmfamilie (4H-EC3SA) übertragen werden.

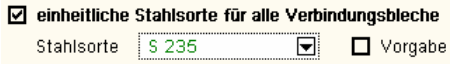


Dazu ist der aktuelle Datenzustand im abgebenden Bauteil über den Button ***Daten exportieren*** in die Zwischenablage zu kopieren und anschließend über den Button ***Daten importieren*** in das aktuell geöffnete Bauteil aus der Zwischenablage zu übernehmen.

Material

Grundsätzlich kann jedem Verbindungselement ein eigenes Material zugeordnet werden.

Der Übersichtlichkeit halber kann an dieser Stelle eine einheitliche Stahlgüte für Profil und Platte gewählt werden.

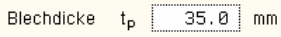


Da die Beschreibung der Stahlparameter für Verbindungen nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung der Stahlsorten (Abs. 3.11, S. 33) verwiesen.

Platte

Mit *Platte* wird das Bauteil bezeichnet, an das das Profil angeschweißt wird.

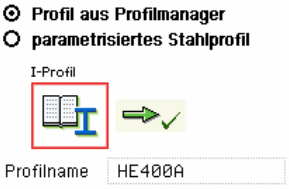
Lediglich die Plattendicke ist für den Nachweis von Relevanz.



Profil

Die Profilkennwerte können entweder über den **pcae**-eigenen ***Profilmanager*** in das Programm importiert oder als parametrisiertes Stahlprofil eingegeben werden. Der Nachweis nach DIN 18800 ist für parametrisierte Profile nicht möglich.

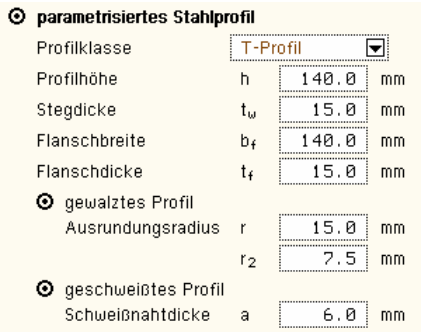
Um ein Profil aus dem Angebot des Profilmanagers zu wählen, ist der grün unterlegte Pfeil zu anzuklicken. Das externe **pcae**-Programm wird aufgerufen und ein Profil kann aktiviert werden. Bei Verlassen des Profilmanagers werden die benötigten Daten übernommen und der Profilname protokolliert.



Zur Definition eines parametrisierten Profils (nur EC 3) sind neben der Profilklasse die Profilhöhe, Stegdicke, Flanschbreite und -dicke festzulegen.

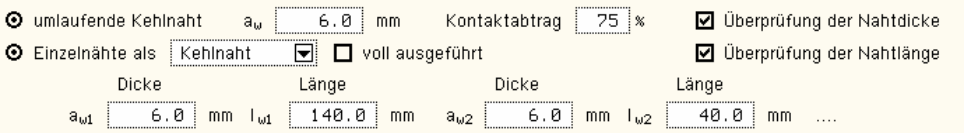
Bei gewalzten Profilen wird der Ausrundungsradius r zwischen Flansch und Steg bzw. r_2 an den äußeren Flanschrändern geometrisch berücksichtigt, während geschweißte Blechprofile mit Schweißnähten der Dicke a zusammengefügt sind. Diese Schweißnähte werden nicht nachgewiesen.

Das Profil wird maßstabsgetreu am Bildschirm dargestellt, wobei die Neigung von Flanschen oder Steg nicht berücksichtigt werden.

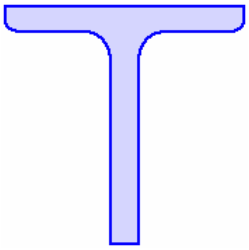


Schweißnähte

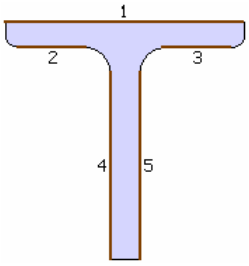
Die Schweißverbindung kann als umlaufende Kehlnaht oder durch Einzelnähte ausführt werden.



Die ***umlaufende Kehlnaht*** mit einer konstanten Nahtdicke a_w wird in einer maßstäblichen Grafik am Bildschirm dargestellt. Bei dieser Schweißart besteht die Möglichkeit, den Anteil der Normalkraft, der über Druckkontakt abgetragen wird und demnach die Schweißnaht nicht belastet, zu bestimmen.



Einzelnähte können entweder als Kehlnaht oder als nicht durchgeschweißte Stumpfnaht (HY-Naht, nur EC 3) ausgeführt werden.



Am Bildschirm wird in einer maßstäblichen Grafik sowohl die Nahtart farblich gekennzeichnet (Kehlnaht blau, Stumpfnaht braun) als auch die Nummer der Naht angegeben.

Einzelnähte verlaufen grundsätzlich entlang der Flansch- bzw. Stegdicken und nicht an Rundungen.

Für alle Einzelnähte gilt, dass Kehlnähte entweder voll ausgeführt (d.h. rechnerisch in ihrer gesamten Länge angesetzt) oder mit Endkrater versehen sein können. Die Nahtlänge kann vor der Berechnung überprüft und die Naht ggf. nicht wirksam werden (nur EC 3).

Für alle Nähte sind Nahtdicke a_w und Nahtlänge l_w anzugeben. Ist die Nahtdicke $a_w = 0$, wird keine Schweißnaht angesetzt.

Bei nicht durchgeschweißten Stumpfnähten darf die Nahtdicke a_w den Maximalwert (t - 3 mm)/2 nicht überschreiten.

Die Eingabe einer Nahlänge $l_w = 0$ führt dazu, dass die Nahtlänge an der entsprechenden Bauteilkante bei der Berechnung in voller Länge angesetzt wird. Eine Reduktion aufgrund von Endkraterausbildung bei Kehlnähten ist jedoch möglich.

Optional können Blech- und Nahtdicke überprüft werden (nur EC 3). Ist der Schalter deaktiviert, wird weder die Unter- noch die Überschreitung der zulässigen Grenzwerte von Blech- und Nahtdicke gemeldet.

Bei Änderung des Profiltyps (Profilmanager oder parametrisiert), bei Auswahl eines neuen Profils aus dem Profilmanager oder bei Bestimmung einer neuen Profilklasse des parametrisierten Stahlprofils werden die Nahtlängen mit Maximalwerten vorbelegt.

Die Schweißnahtdicken können über den Aktionsbutton ▷ mit der blau dargestellten Größe einheitlich belegt werden, wobei nur 'vorhandene' Schweißnähte, d.h. Nähte mit $a_w > 0$, überschrieben werden.

Nachweise

Die Schweißnähte können mit dem *richtungsbezogenen* oder dem *vereinfachten Verfahren* (nur EC 3) nachgewiesen werden. Optional kann auch die Ausnutzung des Querschnitts ermittelt werden.

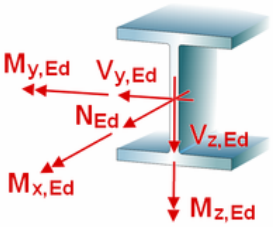
Optional wird auch die Ausnutzung des Querschnitts ermittelt. Außerdem ist das Verfahren zur Aufteilung der Querkräfte auf die Schweißnähte festzulegen (nur EC 3).

Zur Beschreibung der Nachweise nach EC 3 s. Abs. 3.3, S. 16, und nach DIN 18800 s. Abs. 3.5, S. 18.

3.2 Schnittgrößen

Das zweite Register beinhaltet die Masken zur Eingabe der Bemessungsschnittgrößen.

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.

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

	N_{Ed} kN	$M_{y,Ed}$ kNm	$V_{z,Ed}$ kN	$M_{z,Ed}$ kNm	$V_{y,Ed}$ kNm	nur für ○,□-Profile $M_{x,Ed}$ kNm	Bezeichnung
	0.21	0.00	3.16	-0.60	-7.05	48.64	

Im Standardfall

- bewirken die Schnittgrößenkombinationen N, M_y, V_z eine Biegung um die starke Achse des Querschnitts
- bewirken die Schnittgrößenkombinationen N, M_z, V_y eine Biegung um die schwache Achse des Querschnitts
- wird das Torsionsmoment M_x nur für doppelt-symmetrische Querschnitte relevant

3.2.1 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 ***Einlese***-Buttons gegeben.

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

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

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

Import aus einem 4H-Programm

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

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 zugehörenden Schnittgrößen aus den Berechnungsergebnissen des Tragsystems zu extrahieren und dem Detailnachweis zuzuführen.

In der 4H-Programmorganisation gibt es hierzu verschiedene Vorgehensweisen

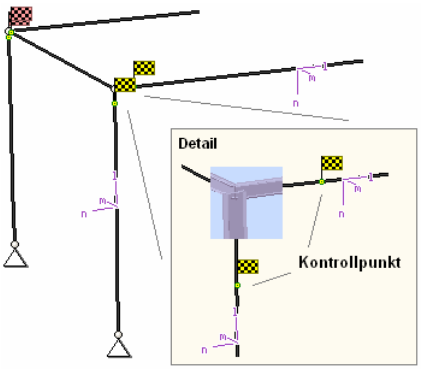
- zum einen können Tragwerks- und Detailprogramm fest miteinander verbunden sein, d.h. die Schnittgrößenübergabe erfolgt intern. Es sind i.A. keine weiteren Eingaben (z.B. Geometrie) notwendig, aber auch möglich (z.B. weitere Belastungen), die Programme bilden eine Einheit. Dies ist z.B. bei dem 4H-Programm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

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

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

Dazu ist an der entsprechenden Stelle ein Kontrollpunkt zu setzen.

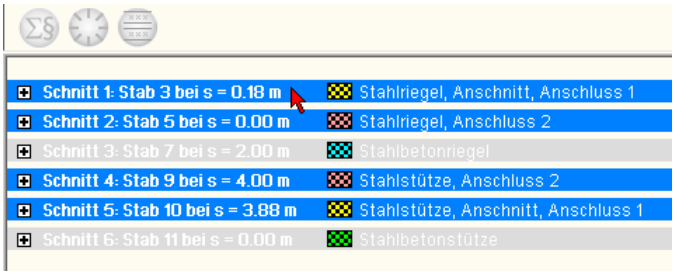
Ausführliche Informationen zum Export entnehmen Sie bitte dem DTE®-Schnittgrößenexport im DTE®-Handbuch.



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

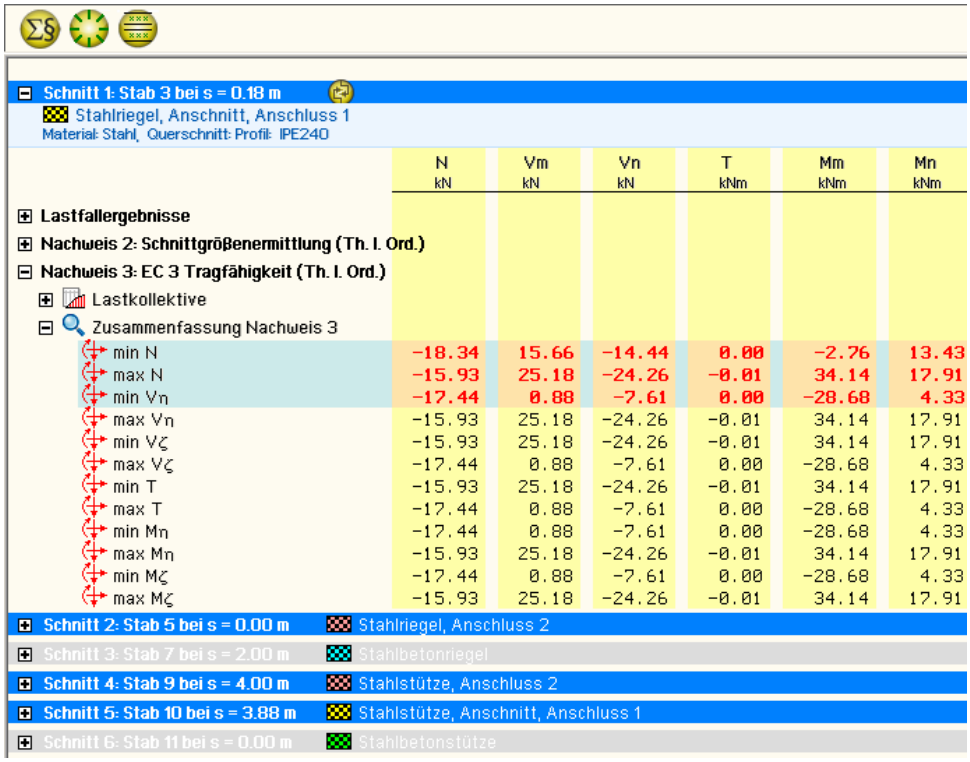
Aus dem aufnehmenden 4H-Programm wird nun über den ***Import***-Button das Fenster zur DTE®-Bauteilauswahl aufgerufen. Hier werden alle berechneten Bauteile dargestellt, wobei diejenigen, die Schnittgrößen exportiert haben, dunkel gekennzeichnet sind.

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



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, Anschnitt, Anschluss 1
Material: Stahl, Querschnitt: Profil: IPE240

	N kN	Vm kN	Vn kN	T kNm	Mm kNm	Mn 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 Vη	-17.44	0.88	-7.61	0.00	-28.68	4.33
max Vη	-15.93	25.18	-24.26	-0.01	34.14	17.91
min Vζ	-15.93	25.18	-24.26	-0.01	34.14	17.91
max Vζ	-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 Mη	-17.44	0.88	-7.61	0.00	-28.68	4.33
max Mη	-15.93	25.18	-24.26	-0.01	34.14	17.91
min Mζ	-17.44	0.88	-7.61	0.00	-28.68	4.33
max Mζ	-15.93	25.18	-24.26	-0.01	34.14	17.91

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

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

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

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

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

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.

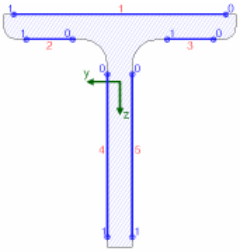
Die Kompatibilität der Querschnitts- und Nachweisparameter zwischen exportierendem und importierendem Programm ist zu gewährleisten.

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

3.3 Schweißnahtnachweis n. EC 3

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

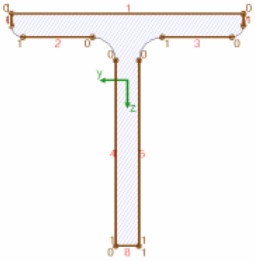
Die Wurzellinien der Einzelnähte bilden den Linienquerschnitt (s. *G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 2*) zur Aufnahme bzw. Weiterleitung der Schnittgrößen.



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

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

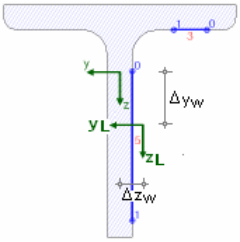
Zur Orientierung ist das Querschnitts-Koordinatenkreuz, auf das die Schnittgrößen bezogen sind, in grün eingefügt.



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

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

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



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

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

Nebenstehend ist für einen Extremfall das um Δy_w und Δz_w abweichende Koordinatensystem des Linienquerschnitts dargestellt.

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 Nahtlänge Σl_w, die Trägheitsmomente $I_{w,y}$, $I_{w,z}$, $I_{w,yz}$ und die Differenzabstände zum Querschnittsschwerpunkt Δy_w, Δz_w ermittelt.

Querschnittswerte bezogen auf den Schwerpunkt des Linienquerschnitts:
ΣA_w = 11.00 cm², Σl_w = 11.0 cm
$I_{w,y}$ = 141.10 cm⁴, $I_{w,z}$ = 21.46 cm⁴, $I_{w,yz}$ = 40.09 cm⁴, Δy_w = -13.9 mm, Δz_w = 31.8 mm

Über eine Interaktionsbeziehung (s. Theorie, mehrteilige Querschnitte Abs. 3.8, S. 23 ff.) können den Einzelnähten Schnittgrößen zugeordnet werden, die im Schwerpunkt der Naht wirken.

Die lokalen Normalkräfte und Biegemomente werden über diese Beziehung ermittelt.

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

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

Schnittgrößenverteilung auf die Einzelnähte:

				Spannungen:	
Naht 3:	N_w = -14.67 kN	$M_{y,w}$ = -0.00 kNm	$M_{z,w}$ = -0.04 kNm	$\tau_{w,y}$ = -16.59 N/mm²	$\tau_{w,z}$ = 0.04 N/mm²
Naht 5:	N_w = 14.88 kN	$M_{y,w}$ = -1.03 kNm	$M_{z,w}$ = -0.04 kNm	$\tau_{w,y}$ = -4.15 N/mm²	$\tau_{w,z}$ = 3.50 N/mm²

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

Schnittgrößenverteilung auf die Einzelnähte:

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

Damit werden die Spannungen in den maßgebenden Nachweispunkten berechnet.

Spannungen in den Endpunkten der Einzelnähte:

Naht 3,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x}$ = -132.81 N/mm²	$\tau_{w,y}$ = -16.59 N/mm²	$\tau_{w,z}$ = 0.04 N/mm²
	Pkt. 1:	$\sigma_{w,x}$ = -13.86 N/mm²	$\tau_{w,y}$ = -16.59 N/mm²	$\tau_{w,z}$ = 0.04 N/mm²
Naht 5,	Pkt. 0:	$\sigma_{w,x}$ = 92.58 N/mm²	$\tau_{w,y}$ = -4.15 N/mm²	$\tau_{w,z}$ = 3.50 N/mm²
	Pkt. 1:	$\sigma_{w,x}$ = -59.51 N/mm²	$\tau_{w,y}$ = -4.15 N/mm²	$\tau_{w,z}$ = 3.50 N/mm²

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

Nachweis für Naht 3, Pkt. 0:

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

$\sigma_s = \sigma_w \cdot \cos(\alpha) - \tau_w \cdot \sin(\alpha)$ = -93.9 N/mm²

$\tau_s = \sigma_w \cdot \sin(\alpha) + \tau_w \cdot \cos(\alpha)$ = -93.9 N/mm²

$\tau_p = \tau_{w,y}$ = 16.6 N/mm²

$\sigma_{1,w,Ed} = (\sigma_s^2 + 3 \cdot (\tau_s^2 + \tau_p^2))^{1/2}$ = 19.00 kN/cm²

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

$\sigma_{1,w,Ed}$ = 19.00 kN/cm² < $f_{1,w,Rd}$ = 36.00 kN/cm² ⇒ Ausnutzung U = 0.528 < 1 **ok.**

$\sigma_{2,w,Ed} = \sigma_s$ = 9.39 kN/cm²

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

$\sigma_{2,w,Ed}$ = 9.39 kN/cm² < $f_{2,w,Rd}$ = 25.92 kN/cm² ⇒ Ausnutzung U = 0.362 < 1 **ok.**

oder dem *vereinfachten Verfahren* nachgewiesen.

Nachweis für Naht 3, Pkt. 0:

Spannungen auf der wirksamen Nahtfläche (α = 45°):

$\sigma_{w,Ed} = (\sigma_{w,x}^2 + \tau_{w,y}^2 + \tau_{w,z}^2)^{1/2}$ = 133.8 N/mm²

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

Tragfähigkeit der Schweißnaht: $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a$ = 20.78 kN/cm, a = 10.0 mm, $f_{vw,d}$ = 207.85 N/mm²

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

Da die Beschreibung der Schweißnahtnachweise nach EC 3 programmübergreifend identisch ist, wird auf die allgemeine Beschreibung des Schweißnahtnachweises verwiesen (Abs. 3.10, S. 31).

Besonderheiten bei doppelt-symmetrischen Querschnitten mit umlaufenden Kehlnähten

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

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

3.4 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:

Bemessungsgrößen:	N_{Ed} = 0.21 kN, $V_{z,Ed}$ = 3.16 kN, $M_{z,Ed}$ = -0.60 kNm, $V_{y,Ed}$ = -7.05 kN
elast. Spannungen:	max σ_x = 12.8 N/mm², min σ_x = -12.7 N/mm², max τ = 6.0 N/mm², max σ_v = 12.8 N/mm²
zul. Spannungen:	σ_{Rd} = 235.0 N/mm², τ_{Rd} = 135.7 N/mm²
Ausnutzungen:	Tragfähigkeit U_σ = 0.054 < 1 **ok.**, c/t-Verhältnis $U_{c/t}$ = 0.046 < 1 **ok.**

Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch

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

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

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

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

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

plastischer Querschnittsnachweis:
Bemessungsgrößen: N_{Ed} = 0.21 kN, $V_{z,Ed}$ = 3.16 kN, $M_{z,Ed}$ = -0.60 kNm, $V_{y,Ed}$ = -7.05 kN
elast. Spannungen: max σ_x = 12.8 N/mm², min σ_x = -12.7 N/mm², max τ = 6.0 N/mm², max σ_v = 12.8 N/mm²
Ausnutzungen: Tragfähigkeit U_σ = 0.043 < 1 ok., c/t-Verhältnis $U_{c/t}$ = 0.046 < 1 ok.

Die Grenzwerte 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.

3.5 Schweißnahtnachweis n. DIN 18800

Bemessung von Schweißnähten für Biegung und Normalkraft

Die Spannungsberechnung für Schweißnähte, die durch Biegemomente und Normalkräfte beansprucht werden, erfolgt gemäß den Regeln der Technischen Biegelehre analog zur Berechnung eines allgemeinen Stahlquerschnitts.

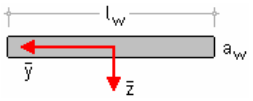
Die einzelnen Schweißnahtanteile des Nahtbildes sind gemäß ihrer geometrischen Anordnung alle am Abtrag der Schnittgrößen beteiligt. Für die Berechnung der Querschnittswertanteile werden die Nahtflächen als in der Wurzellinie konzentriert betrachtet (Kehlnähte).

Die Querschnittswerte des Nahtbildes ergeben sich durch Summation der Anteile der Einzelnähte.

Eigenträgheitsmomente von Schweißnähten

Die Eigenträgheitsmomente einer einzelnen Schweißnaht können wie bei einem schmalen Rechteckquerschnitt berechnet werden.

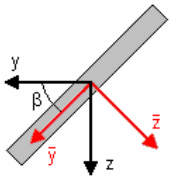
$$i_y = \frac{a_w^3 \cdot l_w}{12} \quad \text{... und ...} \quad i_z = \frac{a_w \cdot l_w^3}{12}$$



Transformation der Trägheitsmomente bei geneigten Nähten

Da auch senkrechte und geneigte Schweißnähte vorkommen können, muss das Eigenträgheitsmoment vom lokalen Koordinatensystem in das globale y-z-Koordinatensystem des Stahlquerschnitts transformiert werden.

$$I_y = \bar{I}_y \cdot \cos^2\beta + \bar{I}_z \cdot \sin^2\beta$$
$$I_z = \bar{I}_z \cdot \cos^2\beta + \bar{I}_y \cdot \sin^2\beta$$
$$I_{yz} = (\bar{I}_z - \bar{I}_y) \cdot \sin\beta \cdot \cos\beta$$



Die Gesamtfläche A_w der Schweißnähte eines Nahtbildes ergibt sich als Summe der Flächen der Einzelnähte.

Im weiteren Verlauf der Berechnung wird der Schwerpunkt des Nahtbildes berechnet. Die Gesamtträgheitsmomente des Nahtbildes können dann aus den transformierten Einzelträgheitsmomenten und den Steiner-Anteilen der Einzelnähte aufsummiert werden.

Für die Spannungsberechnung werden die Hauptträgheitsmomente und Hauptachsenwinkel des Nahtbildes benötigt.

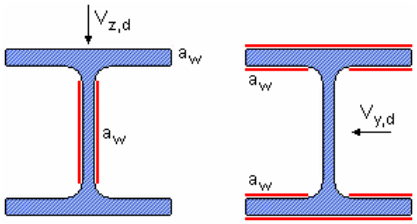
Nach der Transformation der Belastung auf das Hauptachsensystem kann die Spannungsberechnung erfolgen. Für einen beliebigen Punkt auf einer Schweißnaht lässt sich die Normalspannung nach der Gleichung berechnen

$$\sigma_{(\zeta,\eta)} = \frac{N}{A_w} + \frac{M_\eta \cdot \zeta}{I_\eta} - \frac{M_\zeta \cdot \eta}{I_\zeta}$$

I_η und I_ζ sind die Hauptträgheitsmomente des Nahtbildes; M_η und M_ζ sind die auf die Hauptachsen transformierten Biegemomente.

Bei umlaufenden Schweißnähten ist der Berechnungsablauf ähnlich wie zuvor beschrieben. Als zusätzlicher Rechenschritt wird hier die Schweißnaht automatisch in einzelne Abschnitte aufgeteilt, die als Einzelnähte behandelt werden.

Bemessung von Schweißnähten für Querkräfte



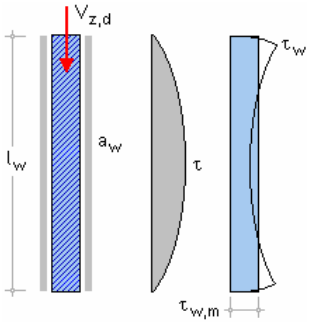
Gemäß DIN 18800, El. 821, sind beim Spannungsnachweis die Flächen anzusetzen, die aufgrund ihrer Lage vorzugsweise in der Lage sind, die vorhandenen Schnittgrößen in der Verbindung zu übertragen.

Bei Querkräften sind dies die Nähte, die parallel zur eingetragenen Querkraft verlaufen.

Bei einem I-förmigen Profil werden die Querkräfte in z-Richtung also von den Stegnähten und die Querkräfte in y-Richtung von den Flanschnähten übertragen.

Es gibt Schweißnahtbilder, die nicht zur Übertragung von Querkräften herangezogen werden können. Z.B. sind Flanschnähte nicht in der Lage, V_z-Lasten aufzunehmen, weil die Flansche in z-Richtung eine zu geringe Biegesteifigkeit aufweisen.

3.5.1 Schubspannungsnachweis



Die Schubspannungsverteilung in der Schweißnaht weicht von der aus der Biegetheorie bekannten Parabelform ab.

Die Schubspannung ist am Nahtende = 0 und erreicht sehr schnell unweit des Nahtendes ihren Höchstwert.

Diese hohen Schubspannungen werden durch einen Verzerrungssprung zwischen der steifen Stirnplatte und dem Schweißnahtende verursacht.

Für die Bemessung wird der Schubspannungsverlauf durch eine konstante Schubspannung angenähert.

$$\tau_{w,m} = \frac{V_{z,d}}{A_{w,q}}$$

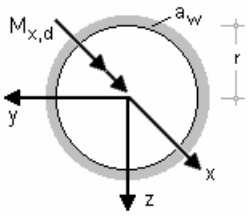
Hierin ist $A_{w,q}$ der Anteil der Schweißnahtfläche, der vorzugsweise in der Lage ist, Querkräfte in z-Richtung zu übertragen. Für den gezeigten Rechteckquerschnitt gilt

$$A_{w,q} = 2 \cdot l_w \cdot a_w$$

3.5.1.1 Bemessung von Schweißnähten für Torsionsmomente

Die Schweißnahtbemessung für Torsionsmomente kann für Rundrohre und -stähle, Rechteckrohr- und Rechteckprofile und Flachstähle mit umlaufender Kehlnaht erfolgen.

Rundrohr und Rundstahl



Die Bemessung der Schweißnähte erfolgt für diese Profiltypen analog der Bemessung eines dünnwandigen Kreisrings mit der Wandstärke a_w.

Die Schubspannung, die von einem Torsionsmoment in der Schweißnaht erzeugt wird, kann berechnet werden mit

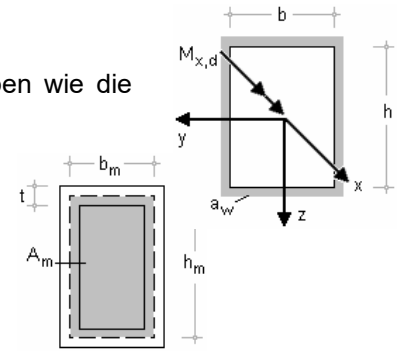
$$\tau_T = \frac{M_{x,d}}{W_T}$$

Die Gleichung für das im Nenner stehende Torsionswiderstandsmoment lautet

$$W_T = \pi \cdot r^2 \cdot a_w$$

Das Torsionsmoment erzeugt eine konstante umlaufende Schubspannung in der Schweißnaht, die zu der Schubspannung aus Querkraft addiert werden muss.

Rechteckrohre, Rechteckquerschnitte und Flachstähle

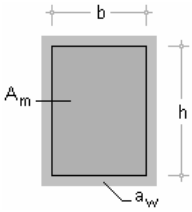


Die Bemessung der Schweißnähte erfolgt für diese Profiltypen wie die Bemessung eines dünnwandigen Hohlkastens.

Dieses Bemessungsmodell gilt für umlaufende Schweißnähte.

Hohlkastenquerschnitt: Gemäß der 1. Bredt'schen Formel kann ein Hohlkasten mit der Wandstärke t mit Hilfe der folgenden Gleichungen bearbeitet werden

$$\tau_T = \frac{M_{x,d}}{W_T} \quad \text{... mit ...} \quad W_T = 2 \cdot A_m \cdot t \quad \text{... und ...} \quad A_m = b_m \cdot h_m$$



Rechteckquerschnitt mit umlaufender Kehlnaht: Bei der Berechnung der umlaufenden Schweißnaht kann analog vorgegangen werden.

Die Schubspannung in der umlaufenden Kehlnaht eines rechteckigen Querschnitts ergibt sich somit zu

$$\tau_T = \frac{M_{x,d}}{W_T} \quad \text{... mit ...} \quad W_T = 2 \cdot b \cdot h \cdot a_w$$

... und ... $A_m = b \cdot h$ als Fläche zwischen den Wurzellinien der Schweißnähte (Querschnittsfläche des Rechtecks)

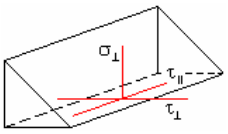
Durch das Torsionsmoment wird in der umlaufenden Kehlnaht eine konstante Schubspannung erzeugt, die zu der Schubspannung aus Querkraft zu addieren ist.

3.5.1.2 Bemessung von Schweißnähten bei zusammengesetzter Beanspruchung

Treten in den Schweißnähten Normalspannungen und Schubspannungen gleichzeitig auf, sind die Spannungen zu kombinieren.

Beim Nachweis des Bauteils selbst ist der Vergleichsspannungsnachweis zu führen. Für den Nachweis der Schweißnähte hingegen ist gemäß DIN 18800, El. 825, mit einem Vergleichswert $\sigma_{w,v}$ zu arbeiten, der berechnet wird mit

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_\perp^2 + \tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2}$$



Der Vergleichswert darf nicht mit der aus dem Querschnittsnachweis bekannten Vergleichsspannung verwechselt werden. Die Vergleichsspannung führt eine mehraxiale Bauteilbeanspruchung rechnerisch auf eine einaxiale Beanspruchung zurück. Der Vergleichswert hingegen ist keine reale Spannung in der Schweißnaht, sondern ein Versuchswert.

Gemäß El. 825 ist nun nachzuweisen, dass der Vergleichswert die Grenzschweißnahtspannung nicht überschreitet

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,d}} \leq 1$$

Die Grenzschweißnahtspannung ergibt sich gemäß El. 829 zu

$$\sigma_{w,R,d} = \frac{\alpha_w \cdot f_{y,k}}{\gamma_M}$$

wobei der Abminderungsfaktor α_w von der Nahtgüte, der Stahlgüte und der Beanspruchungsart abhängig ist; er kann DIN 18800,Teil 1, Tab.11, entnommen werden.

3.6 Querschnittsnachweis n. DIN 18800

3.6.1 Spannungsnachweis

Die Querschnittsbemessung erfolgt für Lastkombinationen nach Theorie I. Ordnung (lineare Berechnung) mit dem Verfahren *Elastisch-Elastisch*.

Dazu werden sowohl die Normalspannungen n. Gl. 31, die Schubspannungen n. Gl. 32 als auch die Vergleichsspannungen n. Gl. 33 nachgewiesen. Örtlich begrenzte Plastifizierungen n. El. 747, 749 bzw. 750 sind nicht zugelassen.

Die elastischen Normal-, Schub- und Vergleichsspannungen werden in jedem Eckpunkt durch Addition der Einzelteile aus den Schnittgrößen berechnet

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_\eta \cdot \zeta}{I_\eta} - \frac{M_\zeta \cdot \eta}{I_\zeta}$$

$$\tau = -Q_\eta \cdot \frac{\int_0^s \eta t \cdot ds}{I_\zeta \cdot t} - Q_\zeta \cdot \frac{\int_0^s \zeta t \cdot ds}{I_\eta \cdot t} + \tau_0 \cdot \frac{t_0}{t} \pm T \cdot \frac{t}{I_T}$$

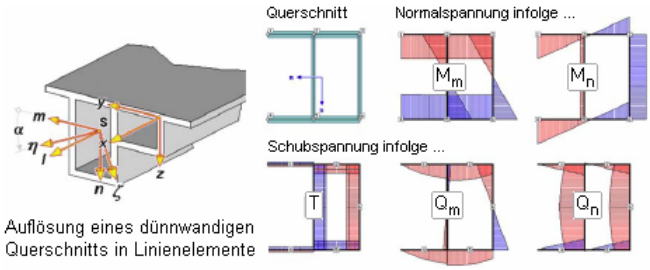
$$\sigma_V = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

Für die extremalen Spannungen werden die Ausnutzungen berechnet. Die Spannungsausnutzung ist das Maximum aus den Ausnutzungen der Normal-, Schub- und Vergleichsspannungsnachweise

$$U_\sigma = \max\left(\frac{\sigma}{\sigma_{Rd}}, \frac{\tau}{\tau_{Rd}}, \frac{\sigma_V}{\sigma_{V,Rd}}\right)$$

3.6.2 vereinfachter Beulnachweis

Stehen einzelne Querschnittsteile unter Druckbeanspruchung, kann ein vereinfachter Beulnachweis über den grenz(b/t)-Nachweis geführt werden.



Dazu werden die Druckspannungen eines dünnwandigen Querschnitts nach Tab. 13, 14 (Verfahren E-E) für den Linienquerschnitt ermittelt.

Die Ausnutzung vorh(b/t)/grenz(b/t) wird für alle Linien maximiert, wobei sich unterschiedliche Werte für beidseitig (z.B. Steg, (b/t)o-o) und einseitig gelagerte (z.B. eine Gurtseite, (b/t)o--) Plattenstreifen ergeben.

Die maximale Ausnutzung aus Querschnittsbeulen ergibt sich zu

$$U_{b/t} = \max\left((b/t)_{0\text{-}0}, (b/t)_{0\text{--}}\right)$$

3.7 Ergebnisübersicht

Das dritte Register gibt einen Überblick über die ermittelten Ergebnisse.

Lastfall	Ausnutzung
Lastfall 1	**61%**
Querschnitt Träger	43%
Schweißnähte	61%
Lastfall 2	**91%**
Querschnitt Träger	64%
Schweißnähte	91%
Lastfall 3	**127%**
Querschnitt Träger	89%
Schweißnähte	127%
Gesamt	**127%**

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 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 (Abs. 3.12, S. 34) geprüft werden.

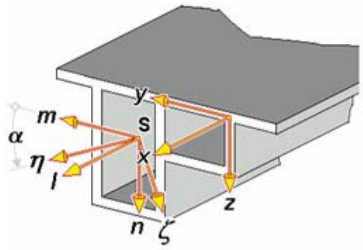
3.8 Theorie dünnwandiger Querschnitte

Koordinatensysteme

Die klassische Stabtheorie geht von der Formerhaltung des Querschnitts aus.

Die Querschnittslage lässt sich im lokalen xyz-Querschnittskoordinatensystem über drei Verschiebungen u_x, u_y, u_z und drei Verdrehungen φ_x, φ_y, φ_z beschreiben.

Bei der Theorie der Wölbkrafttorsion wird die Verwölbung des Querschnitts durch das Produkt der Einheitsverwölbung ω mit der Verwindung ψ_x beschrieben.



Neben dem xyz-Querschnittskoordinatensystem, in dem der Querschnitt modelliert wird, gibt es das durch den Schwerpunkt S mit den Koordinaten (e_y, e_z) verlaufende lmn-System, dessen Achsen parallel zu den xyz-Achsen verlaufen (Entkopplung der Fläche und der Trägheitsmomente), und das durch S verlaufende $\xi\eta\zeta$-Hauptachsensystem (Entkopplung der Trägheitsmomente).

Zur Beschreibung der Torsion wird der Schubmittelpunkt M mit den Koordinaten (y_M, z_M) als Drehpunkt verwendet (z.B. normierte Einheitsverwölbung ω, Entkopplung der Biegung und Wölbkrafttorsion).

Die Berechnung der Querschnittswerte und der Spannungen aus Biegung erfolgt am vollständigen Modell mit Verschneidungen, Abschrägungen und Ausrundungen.

Die Verteilung der Schubflüsse, der Schubspannungen und der Verwölbung längs der Mittellinien wird am Linienmodell unter Berücksichtigung der veränderlichen Dicke ermittelt.

Schwerpunkt, Trägheitsmomente und Hauptachsen

Bei einer konstanten Spannungsverteilung verschwinden die Biegemomente im Schwerpunkt.

Die Schwerpunktskoordinaten (e_y, e_z) lassen sich mit der Querschnittsfläche A und den statischen Momenten S_y bzw. S_z berechnen.

$$e_y = S_z / A \;\ldots\text{ und }\ldots\; e_z = S_y / A \;\ldots\text{ mit }\ldots\; S_z = \int_A y \cdot dA \;\ldots\text{ und }\ldots\; S_y = \int_A z \cdot dA$$

Mit den Trägheitsmomenten im Schwerpunkt lassen sich im linear elastischen Fall die Schnittgrößen der Biegung aus der Dehnung ε_S und den Krümmungen κ_m, κ_n ermitteln.

$$N = E \cdot A \cdot \varepsilon_S \;\ldots\ldots\; M_m = E \cdot (I_m \cdot \kappa_m - I_{mn} \cdot \kappa_n) \;\ldots\ldots\; M_n = E \cdot (-I_{nm} \cdot \kappa_m + I_n \cdot \kappa_n)$$

$$I_m = \int_A (z - e_z)^2 \cdot dA \;\ldots\ldots\; I_n = \int_A (y - e_y)^2 \cdot dA \;\ldots\ldots\; I_{mn} = \int_A (y - e_y) \cdot (z - e_z) \cdot dA$$

Das $\xi\eta\zeta$-Hauptachsensystem ist bzgl. des Querschnittskoordinatensystems um den Winkel α verdreht. Im Hauptachsensystem ist das Deviationsmoment I_{mn} gleich Null, so dass die Krümmungen und Momente der Hauptbiegerichtungen entkoppelt sind.

$$\eta = (y - e_y) \cdot \cos\alpha + (z - e_z) \cdot \sin\alpha \;\ldots\ldots\; \zeta = -(y - e_y) \cdot \sin\alpha + (z - e_z) \cdot \cos\alpha$$

$$I_\eta = \int_A \zeta^2 \cdot dA = I_m \cdot \cos^2\alpha + I_n \cdot \sin^2\alpha - 2 \cdot I_{mn} \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha$$

$$I_\zeta = \int_A \eta^2 \cdot dA = I_m \cdot \sin^2\alpha + I_n \cdot \cos^2\alpha + 2 \cdot I_{mn} \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha$$

$$I_{\eta\zeta} = \int_A \eta \cdot \zeta \cdot dA = (I_m - I_n) \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha + I_{mn} \cdot (\cos^2\alpha - \sin^2\alpha) = 0$$

$$\alpha = 0.5 \cdot \arctan\left(\frac{2 \cdot I_{mn}}{I_n - I_m}\right)$$

Der Hauptachsendrehwinkel ist bis auf ein Vielfaches von 90° bestimmt. Der Winkel wird so gewählt, dass er bzgl. des Querschnittskoordinatensystems betragsmäßig möglichst klein ist.

Verwölbung und Schubmittelpunkt

Für dünnwandige Querschnitte berechnet sich die Wölbordinate $\omega_{D,0}$ für den Drehpunkt D mit den Koordinaten (y_D, z_D) als Integral des Hebelarms r_D der Querschnittspunkte zum Drehpunkt längs der Profilkoordinate s (β: Winkel der Tangente an die Mittellinie).

$$\omega_{D,0}(s) = \int_0^s r_D \cdot ds \quad \text{... mit ...} \quad r_D = (y - y_D)\cdot \sin\beta - (z - z_D)\cdot \cos\beta$$

Es wird davon ausgegangen, dass die Verwölbung in Dickenrichtung konstant ist. Die mittlere Querschnittsdehnung der zugehörigen Einheitsverwölbung ω_D ist Null, so dass bei reiner Verwölbung (im linear elastischen Fall) keine Normalkraft vorhanden ist.

$$\omega_D(s) = \omega_{D,0}(s) - \int_A \omega_{D,0} \cdot dA$$

Die Einheitsverwölbungen mit den Drehpunkten (y_D, z_D) und (y_M, z_M) stehen in folgender Beziehung

$$\omega_M = \omega_D + (z_M - z_D)\cdot(y - e_y) - (y_M - y_D)\cdot(z - e_z)$$

Der Schubmittelpunkt (y_M, z_M) ist der Drehpunkt, für den bei reiner Verwölbung (im linear elastischen Fall) keine Biegemomente auftreten. Für den Abstand (y_{SM}, z_{SM}) des Schubmittelpunkts vom Schwerpunkt ergibt sich

$$y_{SM} = y_M - e_y = \frac{R_{Sy}\cdot I_n - R_{Sz}\cdot I_{mn}}{I_m\cdot I_n - I_{mn}^2}$$

$$z_{SM} = z_M - e_z = \frac{R_{Sz}\cdot I_m - R_{Sy}\cdot I_{mn}}{I_m\cdot I_n - I_{mn}^2}$$

$$R_{Sy} = \int_A \omega_S\cdot(z - e_z)\cdot dA \quad \text{... und ...} \quad R_{Sz} = \int_A \omega_S\cdot(y - e_y)\cdot dA$$

Schnittgrößen und Spannungen

Die Schnittgrößen ergeben sich durch Integration der Normal- bzw. Schubspannungen über den Querschnitt. Die Schnittkräfte wirken in Richtung der verformten Querschnittsachsen, die Momente drehen um die entsprechenden Achsen in positiver Richtung (Rechte-Hand-Regel).

$$N = \int_A \sigma_x\cdot dA \;\ldots\; M_y = \int_A \sigma_x\cdot z\cdot dA \;\ldots\; M_z = -\int_A \sigma_x\cdot y\cdot dA \;\ldots\; M_\omega = \int_A \sigma_x\cdot\omega\cdot dA$$

$$V_y = \int_A \tau_{xy}\cdot dA \;\ldots\; V_z = \int_A \tau_{xz}\cdot dA \;\ldots\; T_t = \int_A \left(\tau_{xz}\cdot\left(y - y_M - \frac{\partial\omega}{\partial z}\right) - \tau_{xy}\cdot\left(z - z_M + \frac{\partial\omega}{\partial y}\right)\right)\cdot dA$$

Mit den Biegemomenten im Hauptachsensystem, den Torsionsschnittgrößen um den Schubmittelpunkt und den entsprechenden Trägheitsmomenten können im linear elastischen Fall die Normalspannungen aus den Schnittgrößen ermittelt werden.

$$\varepsilon_x(y,z) = u'(y,z) = u'_S - (y - e_y)\cdot\varphi'_z + (z - e_z)\cdot\varphi'_y - \omega_M(y,z)\cdot\vartheta''$$

$$\sigma_x(y,z) = E\cdot\varepsilon_x(y,z) = \frac{N}{A} - (y - e_y)\cdot\frac{I_m\cdot M_n + I_{mn}\cdot M_m}{I_m\cdot I_n - I_{mn}^2} + (z - e_z)\cdot\frac{I_n\cdot M_m + I_{mn}\cdot M_n}{I_m\cdot I_n - I_{mn}^2} + \omega_M\cdot\frac{M_\omega}{C_M}$$

$$\varepsilon_x(\eta,\zeta) = u'(\eta,\zeta) = u'_S - \eta\cdot\varphi'_\zeta + \zeta\cdot\varphi'_\eta - \omega_M(\eta,\zeta)\cdot\vartheta''$$

$$N = E\cdot A\cdot u'_S \;\ldots\; M_\eta = E\cdot I_\eta\cdot\varphi'_\eta \;\ldots\; M_\zeta = E\cdot I_\zeta\cdot\varphi'_\zeta \;\ldots\; M_\omega = -E\cdot C_M\cdot\vartheta''$$

$$\sigma_x(\eta,\zeta) = E\cdot\varepsilon_x(\eta,\zeta) = \frac{N}{A} - \eta\cdot\frac{M_\zeta}{I_\zeta} + \zeta\cdot\frac{M_\eta}{I_\eta} + \omega_M\cdot\frac{M_\omega}{C_M} \;\ldots\; I_\eta = \int_A \zeta^2\cdot dA \;\ldots\; I_\zeta = \int_A \eta^2\cdot dA \;\ldots\; C_M = \int_A \omega_M{}^2\cdot dA$$

Für dünnwandige Querschnitte werden zur Berechnung des Schubflusses T und der Schubspannung τ_{xs} in Richtung der Profilmittellinien die statischen Momente S_η, S_ζ, S_ω und die Profildicken t in Abhängigkeit der Profilkoordinate s benötigt.

$$V_\eta = -M'_\zeta \;\ldots\; V_\zeta = M'_\eta \;\ldots\; T_w = M'_\omega \;\ldots\; T_t = G \cdot I_T \cdot \vartheta'$$

$$S_\zeta(s) = \int_{A(s)} \eta \cdot ds \;\ldots\; S_\eta(s) = \int_{A(s)} \zeta \cdot ds \;\ldots\; S_\omega(s) = \int_{A(s)} \omega_M \cdot ds$$

$$T(s) = -\frac{S_\zeta(s)}{I_\zeta} \cdot V_\eta - \frac{S_\eta(s)}{I_\eta} \cdot V_\zeta - \frac{S_\omega(s)}{C_M} \cdot T_w + \vartheta_{Tt,B}(s) \cdot T_t = \vartheta_{V\eta}(s) \cdot V_\eta + \vartheta_{V\zeta}(s) \cdot V_\zeta + \vartheta_{T\omega}(s) \cdot T_w + \vartheta_{Tt,B}(s) \cdot T_t$$

$$\tau_{xs}(s,\lambda) = \frac{T(s)}{t(s)} + \frac{T_t \cdot t(s)}{I_T} = \frac{\vartheta_{V\eta}(s)}{t(s)} \cdot V_\eta + \frac{\vartheta_{V\zeta}(s)}{t(s)} \cdot V_\zeta + \frac{\vartheta_{T\omega}(s)}{t(s)} \cdot T_w + \frac{\vartheta_{Tt,B}(s)}{t(s)} \cdot T_t + \lambda \cdot t(s) \cdot \mu_{Tt,S}(s) \cdot T_t \;\ldots\; -1 \le \lambda \le 1$$

T_t ist dabei das primäre Torsionsmoment aus *St. Venant'scher Torsion* und T_w das sekundäre Torsionsmoment aus *Wölbkrafttorsion*.

Für Querschnitte mit geschlossenen Zellen kommen noch Schubspannungen aus den Schubflüssen der einzelnen Zellen hinzu.

Die Faktoren ϑ entsprechen den Einheitsschubflüssen der entsprechenden Schnittgröße.

Die Schubspannungen aus V_η, V_ζ und T_w bzw. T_t der Zellen sind nach Voraussetzung konstant in Dickenrichtung. Die Schubspannung aus T_t der einzelnen Querschnittslinien ist in Dickenrichtung linear veränderlich und verschwindet auf der Mittellinie.

Wagner-Effekt

Neben dem primären Torsionsmoment T_t tritt bei Berechnungen nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung des Wagner-Effekts das Torsionsmoment T_σ infolge Normalspannungen auf.

$$T_\sigma = \int_A \sigma_x \cdot r_M^2 \cdot dA \cdot \vartheta' = \int_A \sigma_x \cdot \left((y - y_M)^2 + (z - z_M)^2\right) \cdot dA \cdot \vartheta' = K_\sigma \cdot \vartheta'$$

Der Wagner-Koeffizient K_σ lässt sich aus den Schnittgrößen im Hauptachsensystem berechnen.

$$K_\sigma = N \cdot i_M^2 + M_\eta \cdot r_\zeta - M_\zeta \cdot r_\eta + M_\omega \cdot r_\omega$$

Die Querschnittsstrecken ergeben sich durch Integration des Quadrats des Schwerpunktabstands r_S über den Querschnitt.

$$i_M^2 = \frac{I_\eta + I_\zeta}{A} + \eta_M^2 + \zeta_M^2 = i_p^2 + \eta_M^2 + \zeta_M^2 \;\ldots\; r_\eta = \frac{1}{I_\zeta} \cdot \int_A \eta \cdot r_S^2 \cdot dA - 2 \cdot \eta_M \;\ldots\; r_\zeta = \frac{1}{I_\eta} \cdot \int_A \zeta \cdot r_S^2 \cdot dA - 2 \cdot \zeta_M \;\ldots\; r_\omega = \frac{1}{C_M} \cdot \int_A \omega_M \cdot r_S^2 \cdot dA$$

Schubkorrekturfaktoren

Die Schubkorrekturfaktoren werden zur Ermittlung der Schubflächen bzw. Schubsteifigkeiten bei der Berechnung von schubweichen Stäben benötigt. Die mittlere Schubgleitungen γ_{xy} und γ_{xz} stehen mit den zugehörigen Querkräften in Beziehung.

$$\gamma_{xy} = \kappa_y \cdot \frac{V_y}{G \cdot A} \;\ldots\; \gamma_{xz} = \kappa_z \cdot \frac{V_z}{G \cdot A} \;\ldots\; A_{Vy} = \frac{A}{\kappa_y} \;\ldots\; A_{Vz} = \frac{A}{\kappa_z}$$

$$\kappa_y = \frac{A}{V_y^2} \cdot \int_A \left(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2\right) \cdot dA = A \cdot \int_s \frac{\vartheta_{Ty}^2}{t} \cdot ds \;\ldots\; \kappa_z = \frac{A}{V_z^2} \cdot \int_A \left(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2\right) \cdot dA = A \cdot \int_s \frac{\vartheta_{Tz}^2}{t} \cdot ds \;\ldots\; \kappa_{yz} = A \cdot \int_s \frac{\vartheta_{Ty} \cdot \vartheta_{Tz}}{t} \cdot ds$$

ϑ_{Ty} und ϑ_{Tz} sind dabei die Einheitsschubflüsse der Querkräfte in y- und z-Richtung. Aus den κ-Werten lassen sich die Schubkorrekturfaktoren in einem um den Winkel α verdrehten Koordinatensystem berechnen.

$$\kappa_\eta = \cos^2\alpha \cdot \kappa_y + \sin^2\alpha \cdot \kappa_z + 2 \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha \cdot \kappa_{yz} \;\ldots\; \kappa_\zeta = \sin^2\alpha \cdot \kappa_y + \cos^2\alpha \cdot \kappa_z - 2 \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha \cdot \kappa_{yz}$$

mehrteilige Querschnitte

Falls nicht alle Querschnittsteile miteinander verbunden sind, liegt ein mehrteiliger Querschnitt vor. Bei einem derart gespreizten Querschnitt wird davon ausgegangen, dass die einzelnen Teile durch Riegel oder Platten so miteinander gekoppelt sind, dass sie sich affin zueinander verformen.

Den Schubmittelpunkt des Gesamtquerschnitts erhält man durch gewichtete Summation der Schubmittelpunkte der Teile. Die Verwölbung mit dem Schubmittelpunkt (y_M, z_M) als Drehachse des i-ten Teils im Gesamtquerschnitt kann aus der Verwölbung des Teils mit dem i-ten Schubmittelpunkt ($y_{M,i}$, $z_{M,i}$) als Drehachse berechnet werden.

Die Verschiebung u in Richtung der Stabachse bzw. die Längsspannung für den linear-elastischen Fall kann dann lokal für jedes Teil formuliert werden.

$$y_M = \frac{\left(\sum_i y_{M,i}\cdot I_{m,i} - \sum_i z_{M,i}\cdot I_{mn,i}\right)\cdot \sum_i I_{n,i} + \left(\sum_i z_{M,i}\cdot I_{n,i} - \sum_i y_{M,i}\cdot I_{mn,i}\right)\cdot \sum_i I_{mn,i}}{\sum_i I_{m,i}\cdot \sum_i I_{n,i} - \left(\sum_i I_{mn,i}\right)^2}$$

$$z_M = \frac{\left(\sum_i z_{M,i}\cdot I_{n,i} - \sum_i y_{M,i}\cdot I_{mn,i}\right)\cdot \sum_i I_{m,i} + \left(\sum_i y_{M,i}\cdot I_{m,i} - \sum_i z_{M,i}\cdot I_{mn,i}\right)\cdot \sum_i I_{mn,i}}{\sum_i I_{m,i}\cdot \sum_i I_{n,i} - \left(\sum_i I_{mn,i}\right)^2}$$

$$\omega_M = \omega_{M,i} - (y - e_{y,i})\cdot(z_{M,i} - z_M) + (z - e_{z,i})\cdot(y_{M,i} - y_M)$$

$$u = \left(u_S + \alpha\cdot(e_{z,i} - e_z)\cdot\varphi_y - \alpha\cdot(e_{y,i} - e_y)\cdot\varphi_z\right) + (z - e_{z,i})\cdot\left(\varphi_y - (y_{M,i} - y_M)\cdot\vartheta'\right) - (y - e_{y,i})\cdot\left(\varphi_z - (z_{M,i} - z_M)\cdot\vartheta'\right) - \omega_{M,i}\cdot\vartheta'$$

$$\begin{aligned}\sigma_{x,i}(y,z) &= \frac{N}{A} - \left((y - e_{y,i}) + \alpha\cdot(e_{y,i} - e_y)\right)\cdot\frac{I_m\cdot M_n + I_{mn}\cdot M_m}{I_m\cdot I_n - I_{mn}^2} + \left((z - e_{z,i}) + \alpha\cdot(e_{z,i} - e_z)\right)\cdot\frac{I_n\cdot M_m + I_{mn}\cdot M_n}{I_m\cdot I_n - I_{mn}^2} \\ &\quad + \left(\omega_{M,i} - (y - e_{y,i})\cdot(z_{M,i} - z_M) + (z - e_{z,i})\cdot(y_{M,i} - y_M)\right)\cdot\frac{M_\omega}{C_M} \\ &= \left(\frac{N}{A} - \alpha\cdot(e_{y,i} - e_y)\cdot\frac{I_m\cdot M_n + I_{mn}\cdot M_m}{I_m\cdot I_n - I_{mn}^2} + \alpha\cdot(e_{z,i} - e_z)\cdot\frac{I_n\cdot M_m + I_{mn}\cdot M_n}{I_m\cdot I_n - I_{mn}^2}\right) \\ &\quad - (y - e_{y,i})\cdot\left(\frac{I_m\cdot M_n + I_{mn}\cdot M_m}{I_m\cdot I_n - I_{mn}^2} + (z_{M,i} - z_M)\cdot\frac{M_\omega}{C_M}\right) + (z - e_{z,i})\cdot\left(\frac{I_n\cdot M_m + I_{mn}\cdot M_n}{I_m\cdot I_n - I_{mn}^2} + (y_{M,i} - y_M)\cdot\frac{M_\omega}{C_M}\right) + \omega_{M,i}\cdot\frac{M_\omega}{C_M}\end{aligned}$$

Die Querschnittsteile können biegesteif oder biegeschlaff miteinander verbunden sein. Die Verteilung der Normalkräfte hängt vom Grad α der Biegekopplung ab (biegesteif: α = 1, biegeschlaff: α = 0).

Der Wert von α hat über den Steiner-Anteil der Teile Einfluss auf die Trägheitsmomente des Gesamtquerschnitts. Die Querschnittswerte des Gesamtquerschnitts erhält man durch Summation der Querschnittswerte der Teile.

$$A = \sum_i A_i \;\ldots\ldots\; e_y = \frac{\sum_i e_{y,i}\cdot A_i}{A} \;\ldots\ldots\; e_z = \frac{\sum_i e_{z,i}\cdot A_i}{A}$$

$$I_m = \sum_i \left(I_{m,i} + \alpha\cdot(e_{z,i} - e_z)^2\cdot A_i\right) \;\ldots\ldots\; I_n = \sum_i \left(I_{n,i} + \alpha\cdot(e_{y,i} - e_y)^2\cdot A_i\right)$$

$$I_{mn} = \sum_i \left(I_{mn,i} + \alpha\cdot(e_{y,i} - e_y)\cdot(e_{z,i} - e_z)\cdot A_i\right) \;\ldots\ldots\; I_T = \sum_i I_{T,i}$$

$$C_M = \sum_i \left(C_{M,i} + (y_{M,i} - y_M)^2\cdot I_{m,i} + (z_{M,i} - z_M)^2\cdot I_{n,i} - 2\cdot(y_{M,i} - y_M)\cdot(z_{M,i} - z_M)\cdot I_{mn,i}\right)$$

Die Normalkräfte verteilen sich im Verhältnis der Teilflächen.

$$N_i = \int_{A_i} \sigma_{x,i}\cdot dA = \frac{A_i}{A}\cdot N + \alpha\cdot A_i\cdot\left(\frac{(e_{z,i} - e_z)\cdot I_n - (e_{y,i} - e_y)\cdot I_{mn}}{I_m\cdot I_n - I_{mn}^2}\cdot M_m + \frac{(e_{z,i} - e_z)\cdot I_{mn} - (e_{y,i} - e_y)\cdot I_m}{I_m\cdot I_n - I_{mn}^2}\cdot M_n\right)$$

Wenn die Krümmungen der Querschnittsteile identisch sind, lassen sich die (linear elastischen) Momente $M_{m,i}$ und $M_{n,i}$ der Teile bzgl. ihrer Schwerpunkte aus den Momenten M_m und M_n des Gesamtquerschnitts berechnen.

$$M_{m,i} = \int_{A_i} \sigma_{x,i}\cdot(z - e_{z,i})\cdot dA = \frac{I_{m,i}\cdot I_n - I_{mn,i}\cdot I_{mn}}{I_m\cdot I_n - I_{mn}^2}\cdot M_m + \frac{I_{m,i}\cdot I_{mn} - I_{mn,i}\cdot I_m}{I_m\cdot I_n - I_{mn}^2}\cdot M_n + \frac{(y_{M,i} - y_M)\cdot I_{m,i} - (z_{M,i} - z_M)\cdot I_{mn,i}}{C_M}\cdot M_\omega$$

$$M_{n,i} = -\int_{A_i} \sigma_{x,i}\cdot(y - e_{y,i})\cdot dA = \frac{I_{n,i}\cdot I_{mn} - I_{mn,i}\cdot I_n}{I_m\cdot I_n - I_{mn}^2}\cdot M_m + \frac{I_{n,i}\cdot I_m - I_{mn,i}\cdot I_{mn}}{I_m\cdot I_n - I_{mn}^2}\cdot M_n + \frac{(z_{M,i} - z_M)\cdot I_{n,i} - (y_{M,i} - y_M)\cdot I_{mn,i}}{C_M}\cdot M_\omega$$

Für die Aufteilung der Querkräfte ergeben sich dann ähnliche Beziehungen.

$$V_m = -M'_n = \int_A (y - e_y) \cdot \sigma'_x \cdot dA = \sum_i \int_{A_i} \left((y - e_{y,i}) + (e_{y,i} - e_y) \right) \cdot \sigma'_x \cdot dA = \sum_i \left(-M'_{n,i} + (e_{y,i} - e_y) \cdot N'_i \right)$$

$$V_n = M'_m = \int_A (z - e_z) \cdot \sigma'_x \cdot dA = \sum_i \int_{A_i} \left((z - e_{z,i}) + (e_{z,i} - e_z) \right) \cdot \sigma'_x \cdot dA = \sum_i \left(M'_{m,i} + (e_{z,i} - e_z) \cdot N'_i \right)$$

$$V_{m,i} = \frac{I^+_{n,i} \cdot I_m - I^+_{mn,i} \cdot I_{mn}}{I_m \cdot I_n - I^2_{mn}} \cdot V_m - \frac{I^+_{n,i} \cdot I_{mn} - I^+_{mn,i} \cdot I_n}{I_m \cdot I_n - I^2_{mn}} \cdot V_n - \frac{(z_{M,i} - z_M) \cdot I_{n,i} - (y_{M,i} - y_M) \cdot I_{mn,i}}{C_M} \cdot T_\omega$$

$$V_{n,i} = -\frac{I^+_{m,i} \cdot I_{mn} - I^+_{mn,i} \cdot I_m}{I_m \cdot I_n - I^2_{mn}} \cdot V_m + \frac{I^+_{m,i} \cdot I_n - I^+_{mn,i} \cdot I_{mn}}{I_m \cdot I_n - I^2_{mn}} \cdot V_n + \frac{(y_{M,i} - y_M) \cdot I_{m,i} - (z_{M,i} - z_M) \cdot I_{mn,i}}{C_M} \cdot T_\omega$$

... mit ... $I^+_{m,i} = I_{m,i} + \alpha \cdot (e_{z,i} - e_z)^2 \cdot A_i$ ... und ... $I^+_{n,i} = I_{n,i} + \alpha \cdot (e_{y,i} - e_y)^2 \cdot A_i$

... und ... $I^+_{mn,i} = I_{mn,i} + \alpha \cdot (e_{y,i} - e_y) \cdot (e_{z,i} - e_z) \cdot A_i$

Die Torsionsmomente und das Wölbbimoment verteilen sich im Verhältnis der Querschnittswerte auf die einzelnen Teile.

$$T_{t,i} = \frac{I_{T,i}}{I_T} \cdot T_t \;\ldots\ldots\; T_{w,i} = \frac{C_{M,i}}{C_M} \cdot T_w \;\ldots\ldots\; M_{\omega,i} = \frac{C_{M,i}}{C_M} \cdot M_\omega$$

Die Schnittgrößen des Gesamtquerschnitts erhält man durch Summation der Teilschnittgrößen.

$$N_i = \sum_i N_i \;\ldots\ldots\; M_m = \sum_i \left(M_{m,i} + (e_{z,i} - e_z) \cdot N_i \right) \;\ldots\ldots\; M_n = \sum_i \left(M_{n,i} - (e_{y,i} - e_y) \cdot N_i \right)$$

$$M_\omega = \sum_i \left(M_{\omega,i} + (y_{M,i} - y_M) \cdot M_{m,i} + (z_{M,i} - z_M) \cdot M_{n,i} \right)$$

$$V_m = \sum_i V_{m,i} \;\ldots\ldots\; V_n = \sum_i V_{n,i} \;\ldots\ldots\; T_t = \sum_i T_{t,i}$$

$$T_w = M'_\omega = \sum_i \left(T_{w,i} - (z_{M,i} - z_M) \cdot V_{m,i} + (y_{M,i} - y_M) \cdot V_{n,i} \right)$$

3.9 Ergebnisse dünnwandiger Querschnitte

Ergebnisse im y-z-Querschnittskoordinatensystem

A		Querschnittsfläche
e_y	$= \frac{1}{A} \cdot \int_A y \cdot dA$	y-Koordinate Schwerpunkt
e_z	$= \frac{1}{A} \cdot \int_A z \cdot dA$	z-Koordinate Schwerpunkt
α	$= \frac{1}{2} \cdot \arctan\left(\frac{2 \cdot I_{mn}}{I_n - I_m}\right)$	Hauptachsendrehwinkel
h_{y+}		maximale y-Koordinate Randabstand
h_{y-}		minimale y-Koordinate Randabstand
h_{z+}		maximale z-Koordinate Randabstand
h_{z-}		minimale z-Koordinate Randabstand
h_y	$= h_{y+} - h_{y-}$	Abmessung in y-Richtung
h_z	$= h_{z+} - h_{z-}$	Abmessung in z-Richtung
t_{max}		maximale Liniendicke
t_{min}		minimale Liniendicke
κ_y	$= \frac{A}{V_y^2} \cdot \int_A (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2) \cdot dA$	Schubkorrekturfaktor in y-Richtung
κ_z	$= \frac{A}{V_z^2} \cdot \int_A (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2) \cdot dA$	Schubkorrekturfaktor in z-Richtung
A_{Vy}	$= \frac{A}{\kappa_y}$	Schubfläche in y-Richtung
A_{Vz}	$= \frac{A}{\kappa_z}$	Schubfläche in z-Richtung
U_a		Querschnittsumfang außen
U_i		Querschnittsumfang innen
U	$= U_a + U_i$	Querschnittsumfang

Torsion und Verwölbung

y_M		y-Koordinate Schubmittelpunkt
z_M		z-Koordinate Schubmittelpunkt
y_{SM}	$= y_M - y_S = \frac{R_{Sy} \cdot I_n - R_{Sz} \cdot I_{mn}}{I_m \cdot I_n - I_{mn}^2}$	Abstand Schubmittelpunkt/Schwerpunkt: y-Koordinate
z_{SM}	$= z_M - z_S = \frac{R_{Sz} \cdot I_m - R_{Sy} \cdot I_{mn}}{I_m \cdot I_n - I_{mn}^2}$	Abstand Schubmittelpunkt/Schwerpunkt: z-Koordinate
η_M		Schubmittelpunkt im Hauptachsensystem: η-Koordinate
ζ_M		Schubmittelpunkt im Hauptachsensystem: ζ-Koordinate
$I_{T,S}$		Saint Venant'sches Torsionsträgheitsmoment der Linien
$I_{T,B}$		Bredt'sches Torsionsträgheitsmoment der Zellen
I_T	$= I_{T,S} + I_{T,B}$	(Gesamt)Torsionsträgheitsmoment
R_{Sy}	$= \int_A \omega_S \cdot (z - e_z) \cdot dA$	Wölbmoment (im Schwerpunkt) um die y-Achse
R_{Sz}	$= \int_A \omega_S \cdot (y - e_y) \cdot dA$	Wölbmoment (im Schwerpunkt) um die z-Achse
C_M	$= I_{\omega,M} = \int_A \omega_M^2 \cdot dA$	Wölbwiderstand bzgl. Schubmittelpunkt
C_S	$= I_{\omega,S} = \int_A \omega_S^2 \cdot dA =$	
	$= C_M + R_{Sy} \cdot (y_M - e_y) - R_{Sz} \cdot (z_M - e_z)$	Wölbwiderstand bzgl. Schwerpunkt
$I_{p,M}$	$= I_p + A \cdot (\eta_M^2 + \zeta_M^2) = A \cdot i_M^2$	polarer Trägheitsradius bzgl. Schubmittelpunkt
$i_{\omega,M}$	$= \sqrt{\frac{C_M}{I_{p,M}}}$	Wölbträgheitsradius
ω_{M+}		maximale Verwölbung
ω_{M-}		minimale Verwölbung
$W_{\omega+}$	$= \frac{C_M}{\omega_{M+}}$	Wölbwiderstandsmoment der maximalen Verwölbung
$W_{\omega-}$	$= \frac{C_M}{\lvert\omega_{M-}\rvert}$	Wölbwiderstandsmoment der minimalen Verwölbung
$W_{el,\omega}$	$= \min(\lvert W_{\omega+}\rvert, \lvert W_{\omega-}\rvert)$	Wölbwiderstandsmoment

Ergebnisse im m-n-Schwerpunktsystem

$I_m = \int_A (z - e_z)^2 \cdot dA$ ..... Trägheitsmoment um die m-Achse

$I_n = \int_A (y - e_y)^2 \cdot dA$ ..... Trägheitsmoment um die n-Achse

$I_{mn} = \int_A (y - e_y) \cdot (z - e_z) \cdot dA$ .... Deviationsmoment (Zentrifugalmoment) im Schwerpunktsystem

$i_m = \sqrt{I_m / A}$ ..... Trägheitsradius um die m-Achse

$i_n = \sqrt{I_n / A}$ ..... Trägheitsradius um die n-Achse

$i_{mn} = \sqrt{I_{mn} / A}$ ..... Trägheitsradius bzgl. der m-n-Achsen

h_{m+} ..... Randabstand: maximale m-Koordinate

h_{m-} ..... Randabstand: minimale m-Koordinate

h_{n+} ..... Randabstand: maximale n-Koordinate

h_{n-} ..... Randabstand: minimale n-Koordinate

$W_{m+} = \frac{I_m}{h_{n+}}$ ..... Widerstandsmoment um die m-Achse, positive n-Seite

$W_{m-} = \frac{I_m}{|h_{n-}|}$ ..... Widerstandsmoment um die m-Achse, negative n-Seite

$W_{n+} = \frac{I_n}{h_{m+}}$ ..... Widerstandsmoment um die n-Achse, positive m-Seite

$W_{n-} = \frac{I_n}{|h_{m-}|}$ ..... Widerstandsmoment um die n-Achse, negative m-Seite

$W_{el,m} = \min(W_{m+}, W_{m-})$ ..... Widerstandsmoment um die m-Achse

$W_{el,n} = \min(W_{n+}, W_{n-})$ ..... Widerstandsmoment um die n-Achse

$\kappa_m = \frac{A}{V_m^2} \cdot \int_A (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2) \cdot dA$ ... Schubkorrekturfaktor in m-Richtung

$\kappa_n = \frac{A}{V_n^2} \cdot \int_A (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2) \cdot dA$ ... Schubkorrekturfaktor in n-Richtung

$A_{Vm} = A / \kappa_m$ ..... Schubfläche in m-Richtung

$A_{Vn} = A / \kappa_n$ ..... Schubfläche in n-Richtung

Ergebnisse im η-ζ-Hauptachsensystem

$I_\eta = \int_A \eta^2 \cdot dA$ ..... Trägheitsmoment um die η-Achse

$I_\zeta = \int_A \zeta^2 \cdot dA$ ..... Trägheitsmoment um die ζ-Achse

$I_p = \int_A r_S^2 \cdot dA = I_\eta + I_\zeta = I_m + I_n$ polares Trägheitsmoment

$i_\eta = \sqrt{I_\eta / A}$ ..... Trägheitsradius um die η-Achse

$i_\zeta = \sqrt{I_\zeta / A}$ ..... Trägheitsradius um die ζ-Achse

$i_p = \sqrt{I_p / A}$ ..... polarer Trägheitsradius

$h_{\eta+}$ ..... Randabstand: maximale η-Koordinate

$h_{\eta-}$ ..... Randabstand: minimale η-Koordinate

$h_{\zeta+}$ ..... Randabstand: maximale ζ-Koordinate

$h_{\zeta-}$ ..... Randabstand: minimale ζ-Koordinate

$h_{\eta-} = h_{\eta+} - h_{\eta-}$ ..... Abmessung in η-Richtung

$h_{\zeta+} = h_{\zeta+} - h_{\zeta-}$ ..... Abmessung in ζ-Richtung

$W_{\eta+} = \frac{I_\eta}{h_{\zeta+}}$ ..... Widerstandsmoment um die η-Achse, positive ζ-Seite

$W_{\eta-} = \frac{I_\eta}{|h_{\eta-}|}$ ..... Widerstandsmoment um die η-Achse, negative ζ-Seite

$W_{\zeta+} = \frac{I_\zeta}{h_{\eta+}}$ ..... Widerstandsmoment um die ζ-Achse, positive η-Seite

$W_{\zeta-} = \frac{I_\zeta}{|h_{\eta-}|}$ ..... Widerstandsmoment um die ζ-Achse, negative η-Seite

$W_{el,\eta} = \min(W_{\eta+}, W_{\eta-})$ ..... Widerstandsmoment um die η-Achse

$W_{el,\zeta} = \min(W_{\zeta+}, W_{\zeta-})$ ..... Widerstandsmoment um die ζ-Achse

$\kappa_\eta = \frac{A}{V_\eta^2} \cdot \int_A (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2) \cdot dA$ ... Schubkorrekturfaktor in η-Richtung

$\kappa_\zeta = \frac{A}{V_\zeta^2} \cdot \int_A (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2) \cdot dA$ ... Schubkorrekturfaktor in ζ-Richtung

$A_{V\eta} = A/\kappa_\eta$ ..... Schubfläche in η-Richtung

$A_{V\zeta} = A/\kappa_\zeta$ ..... Schubfläche in ζ-Richtung

$$i_M = \sqrt{\frac{I_\eta + I_\zeta}{A} + \eta_M^2 + \zeta_M^2} =$$

$$= \sqrt{i_p^2 + \eta_M^2 + \zeta_M^2}$$ ..... Querschnittsstrecke in Längsrichtung

$$r_\eta = \frac{1}{I_\zeta} \cdot \int_A \eta \cdot r_S^2 \cdot dA - 2 \cdot \eta_M$$ Querschnittsstrecke in η-Richtung

$$r_\zeta = \frac{1}{I_\eta} \cdot \int_A \zeta \cdot r_S^2 \cdot dA - 2 \cdot \zeta_M$$ Querschnittsstrecke in ζ-Richtung

$$r_\omega = \frac{1}{C_M} \cdot \int_A \omega_M \cdot r_S^2 \cdot dA$$ ..... Querschnittsstrecke der Verwölbung

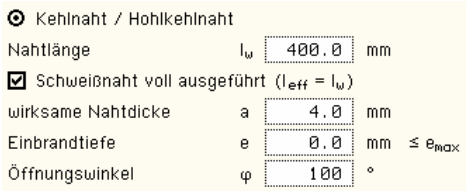
3.10 Tragfähigkeit von Schweißverbindungen

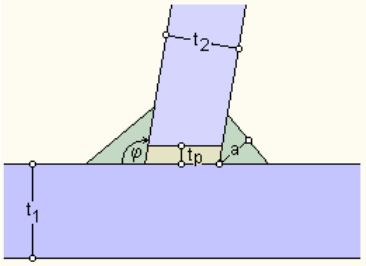
Schweißverbindungen können nach EC 3-1-8, 4, bemessen werden, wenn die zu verschweißenden Blechdicken 4 mm bzw. bei Hohlprofilen 2.5 mm oder mehr aufweisen.

Die Norm behandelt Kehlnähte, Schlitznähte, Stumpfnähte und Lochschweißungen.

Die Anschlussbleche werden hier nicht bemessen.

3.10.1 Kehlnähte





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

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

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

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

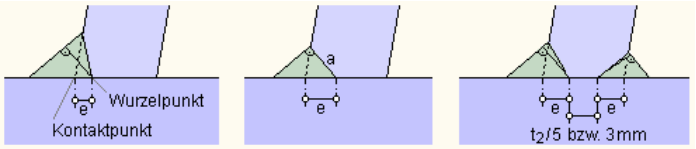
Nach NA-DE ist zusätzlich bei einer Blechdicke von 3 mm und mehr eine Mindestdicke von

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

vorgeschrieben.

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

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

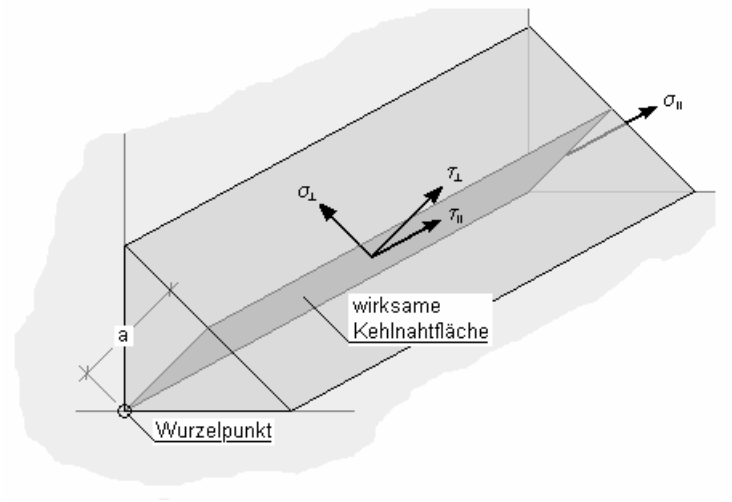


Der Öffnungswinkel bezeichnet den Winkel zwischen den zu verschweißenden Anschlussblechen und sollte bei Kehlnähten zwischen 60° und 120° liegen. Kleinere Winkel sind zugelassen, werden aber wie nicht durchgeschweißte Stumpfnähte behandelt (EC 3-1-8, 4.3.2.1).

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

richtungsbezogenes Verfahren

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



Die auf die Kehlnaht einwirkenden Spannungen ergeben sich zu

$\sigma_\perp = \frac{F_{Ed}(\sigma_\perp)}{a}$ Normalspannung senkrecht zur Schweißnahtachse

$\sigma_\parallel = 0$ Normalspannung parallel zur Schweißnahtachse

$\tau_\parallel = \frac{F_{Ed}(\tau_\parallel)}{a}$ Schubspannung in der Ebene der Kehlnahtfläche senkrecht zur Schweißnahtachse

$\tau_\perp = \frac{F_{Ed}(\tau_\perp)}{a}$ Schubspannung in der Ebene der Kehlnahtfläche parallel zur Schweißnahtachse

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

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3\cdot(\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2)} \le \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{... und ...} \quad \sigma_\perp \le \frac{0.9\cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{... mit ...} \quad f_u = \min\left(f_u(\text{Blech 1}), f_u(\text{Blech 2})\right)$$

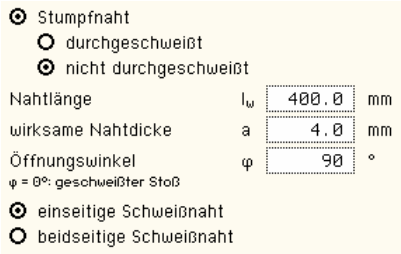
vereinfachtes Verfahren

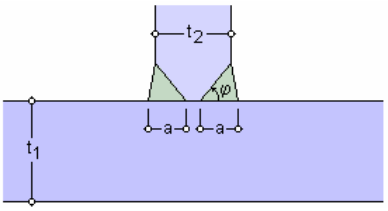
Die Resultierende aller auf die Kehlnaht einwirkenden Kräfte muss die folgende Bedingung erfüllen:

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

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

3.10.2 Stumpfnähte





Stumpfnähte können durchgeschweißt oder nicht durchgeschweißt ausgeführt werden.

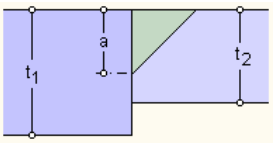
Eine durchgeschweißte Stumpfnaht ist eine Schweißnaht mit vollständigem Einbrand und vollständiger Verschmelzung des Schweißwerkstoffs mit dem Grundmaterial über die gesamte Dicke der Verbindung (EC 3-1-8, 4.3.4(1)), d.h. $a = t_2/2$ bei beidseitiger Schweißung bzw. $a = t_2$ bei einseitiger Schweißung.

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

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

Bei einem Öffnungswinkel von 0° wird ein Stoß verschweißt.

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

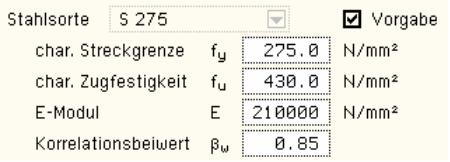


3.11 Stahlsorten

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.

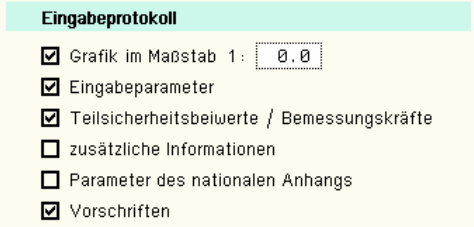


Der E-Modul wird nur bei der Bemessung einer Schraubverbindung mit Bolzen, der Korrelationsbeiwert nur bei der Bemessung einer Schweißverbindung mit Kehlnähten oder einer Lochschweißung relevant.

3.12 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.

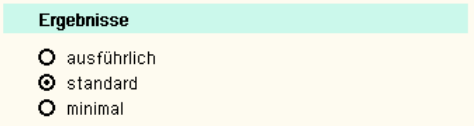


Anschließend werden die ***Eingabeparameter*** und die ***Teilsicherheitsbeiwerte*** bzw. ***Bemessungskräfte*** ausgedruckt.

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.

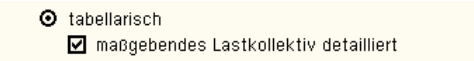
Zum Schluss kann eine Liste der verwendeten ***Vorschriften*** (Normen) abgedruckt werden.



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.



Optional kann das maßgebende Lastkollektiv, das zur maximalen Ausnutzung geführt hat, in der Standard-Form angefügt werden.

3.13 Nationale Anhänge zu den Eurocodes

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

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

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

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

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

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

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

4 Literaturverzeichnis

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 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

/18/ 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

/19/ DIN 18800-1, Stahlbauten - Teil 1: Bemessung und Konstruktion; Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe November 2008

Bemessung

/20/ E. Kahlmeyer, K. Hebestreit, W. Vogt: Stahlbau nach EC3, Bemessung und Konstruktion, Träger - Stützen - Verbindungen, 6. Auflage, Werner-Verlag, 2012

/21/ R. Kindmann, M. Stracke: Verbindungen im Stahl- und Verbundbau, 3. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 2012

/22/ R. Kindmann, M. Krüger: Stahlbau Teil 1: Grundlagen, 5. Aufl., Verl. Ernst & Sohn, 2013

/23/ R. Kindmann: Stahlbau Teil 2: Stabilität und Theorie II. Ordnung, 4. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 2008

/24/ R. Kindmann, J. Frickel: Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit, Grundlagen, Methoden, Berechnungsverfahren, Beispiele, Verlag Ernst & Sohn, 2002

/25/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 1: Tragwerksplanung, Grundlagen, 5. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014

/26/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 2: Verbindungen und Konstruktionen, 3. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2011

/27/ G. Wagenknecht: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 3: Komponentenmethode, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014

/28/ D. Ungermann, K. Weynand, J.-P. Jaspart, B. Schmidt: Momententragfähige Anschlüsse mit und ohne Steifen, Stahlbau Kalender 2005, Verlag Ernst & Sohn, 2005

/29/ D. Ungermann, S. Schneider: Stahlbaunormen DIN EN 1993-1-8: Bemessung von Anschlüssen, Stahlbau Kalender 2013, Verlag Ernst & Sohn, 2013

/30/ 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

/31/ Björn Schmidt: Zum Tragverhalten von geschraubten momententragfähigen Stirnplattenverbindungen mit 4 Schrauben in jeder Schraubenreihe, Dissertation, TU Dortmund, 2008

/32/ Beispiele zur Bemessung von Stahltragwerken nach DIN EN 1993 Eurocode 3, baufo-rumstahl e.V., Verlag Ernst & Sohn Gmbh & Co. KG

/33/ K. Weynand, R. Oerder: Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau nach DIN EN 1993-1-8, Stahlbau Verlag- und Service GmbH, Gesamtausgabe 2013

/34/ L. Nasdala, B. Hohn, R. Rühl: Bemessung von Stirnplattenanschlüssen mit elastomerer Zwischenschicht, Bauingenieur, Bd. 80, Dezember 2005

/35/ Y. Ciupack, H. Pasternak: Thermisch getrennte Stirnplattenstöße, Bauingenieur, Bd. 88, Dezember 2013

/36/ Druckschrift Kerncompactlager, Calenberg Ingenieure GmbH, Salzhemmendorf, www.calenberg-ingenieure.de

/37/ ECCS Document No. 126: European Recommentdations for the Design of Simple Joints in Steel Structures. ECCS TC10 - Structural Connections, 2009. J.P. Jaspart, J.F. Demonceau, S. Renkin, M.L. Guillaume

/38/ 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

/39/ 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

/40/ 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

/41/ 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

/42/ 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

/43/ C. Seeßelberg: Kranbahnen, 4. Auflage, Bauwerk BBB, Beuth Verlag GmbH, 2014

/44/ A. Steurer: Das Tragverhalten und Rotationsvermögen geschraubter Stirnplattenverbindungen, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Zürich, Dezember 1999

/45/ T. Laufs, C. Radlbeck: Aluminiumbau-Praxis nach Eurocode 9, Berechnung und Konstruktion,Bauwerk, Bauwerk, Beuth-Verlag GmbH, 2015

/46/ J.-M. Franssen, P. Vila Real: Fire Design of Steel Structures, 2nd Edition, ECCS - European Convention for Constructional Steelwork, 2015

/47/ DASt-Richtlinie 027: Ermittlung der Bauteiltemperatur feuerverzinkter Stahlbauteile im Brandfall, Ausgabe Nov. 2020

/48/ M. Mensinger, M. Stadler: Brandschutznachweise, Workshop Eurocode 3 - Rechenbeispiele, 8. November 2008, München

/49/ Berechnungsrichtlinie für die Querschnitts- und Stabbemessung nach Eurocode 3 mit Schwerpunkt auf semi-kompakten Querschnitten; TU Graz Institut für Stahlbau, Lessingstr. 25/38010 Graz

/50/ W. Martin: ζ-Werte für den Biegedrillknicknachweis von I-Profilen

/51/ J. Lindner, J. Scheer, H. Schmidt: Stahlbauten, Erläuterungen zu DIN 18800 Teil 1 bis Teil 4, Beuth-Kommentare

/52/ J. Lindner: Stabilisierung von Trägern durch Trapezbleche, Stahlbau 56 (1987), S. 9-15

/53/ R. Puthli: Hohlprofilkonstruktionen im Geschossbau - Ausblick auf die europäische Normung, Stahlbau-Kalender 2002, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2002

/54/ R. Puthli, R. Ummenhofer, J. Wardenier, I. Pertermann: Anschlüsse mit Hohlprofilen nach DIN EB 1993-1-8, Stahlbau-Kalender 2011, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2011

/55/ 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

/56/ 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

5 Index

Abkürzungen 2
Anhang nationaler 35
Anschlussparameter 11
Ausdrucksteuerung 34
Bauteil erzeugen 7
blank 2
Buttons 2
Cursor 2
Einwirkung 2
Einzelnähte 12
e-Mail 6
Extremalbildungsvorschrift 2
Installation 5
Kehlnaht 31
Kehlnaht umlaufende 12
Kontextsensitivität 6
Lastbild 2
Lastfall 2
Lastkollektiv 2
mehrteilige Querschnitte 26
Ordner 7
Profil parametrisiertes 11
Profilmanager 11
Querkraftaufteilung 16
Querschnitte mehrteilige 26
Querschnittsnachweis DIN 18800 21
Querschnittsnachweis EC 3 17
richtungsbezogenes Verfahren 32
Schnittgrößen 13
Schnittgrößenimport 13
Schreibtisch 6
Schreibtischauswahl 5
Schweißnahtnachweis DIN 18800 18
Schweißnahtnachweis EC 3 16
Schweißverbindung 31
Stahlsorte 33
Startsymbol 5
Steuerbutton 6
Stumpfnaht 33
Theorie dünnw. Qu. 23
vereinfachtes Verfahren 32