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-EC3ST

Stabilität
Ersatzstabverfahren

August 2022

4H-EC3ST

Stabilität
Ersatzstabverfahren

Copyright 2012-2022

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

Mit dem Programm ##-EC3ST (Stabilität) können Stabilitätsnachweise nach den Ersatzstabverfahren des Eurocode 3, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, geführt werden.

- die im Folgenden aufgeführten Nachweis können entweder nach EC 3-1-1, 6.3, (bei Raumtemperatur) oder im Brandfall nach EC 3-1-2, 4.2, geführt werden.
- Querschnittsklassifizierung
  Es können Querschnitte der Klassen 1, 2 oder 3 entsprechend EC 3-1-1, 5.5, nachgewiesen werden. Die Nachweisklasse kann vorgegeben oder vom Programm die kleinstmögliche Klasse berechnet werden. Optional kann eine Ausnutzung der vorhandenen Klasse bezogen auf die mögliche Klasse ausgewiesen werden.
- Spannungsnachweis
  Nach EC 3-1-1, 6.3.3(2), sind zusätzlich zu den Stabilitätsnachweisen Querschnittsnachweise an den Bauteilenden zu führen, die optional zugeschaltet und in die Gesamttragfähigkeit einbezogen werden können. Der Querschnittsnachweis erfolgt je nach Querschnittsklasse elastisch (QK 3) oder plastisch (QK 1 + 2). Das elastische Verfahren basiert auf EC 3-1-1, 6.2.1(5), während das plastische Verfahren mit Dehnungsiteration erfolgt.
- Biegeknicken
  Der Nachweis für Biegeknicken um beide Achsen kann nach EC 3-1-1, 6.3.1, geführt werden. Optional kann zusätzlich der Nachweis für Drillknicken nach EC 3-1-1, 6.3.1.4, gewählt werden. Es kann das Versagen um die y-y-Achse und/oder die z-z-Achse berücksichtigt werden. Der Nachweis des Biegeknickens wird für Doppel-T-, T-, U, L sowie rechteckige und runde Hohlprofile geführt.
- Biegedrillknicken
  Das Biegedrillknicken kann nach EC 3-1-1, 6.3.2, für reine Momentenbelastung oder nach 6.3.3 für kombinierte Normalkraft- und ein- oder zweiachsige Momentenbelastung nachgewiesen werden. Die Interaktionsparameter werden nach EC 3-1-1, Anh. B, berechnet. Der Nachweis des Biegedrillknickens wird nur für doppeltsymmetrische Doppel-T-Querschnitte geführt.
- die Materialsicherheitsbeiwerte γ_{M0} und γ_{M1} können entweder vom Programm nach EC 3-1-1, 6.1(1), gesetzt oder frei vorgegeben werden. Im Brandfall ist zudem der Beiwert $\gamma_{M,fi}$ verfügbar.
- die NDP-Parameter können über die Parameterliste eines nationalen Anwendungsdokuments manipuliert werden
- als Querschnittsformen stehen folgende Profiltypen zur Auswahl
  geschweißtes doppeltsymmetrisches I-Profil, geschweißtes einfachsymmetrisches I-Profil, geschweißtes T-Profil, U-Profil, L-Profil, Kreisrohr, Rechteckrohr
- der Stab ist an beiden Enden gabelgelagert
- zusätzlich können Zwischenlager in y- oder z-Richtung gewählt werden
- bei Einfeldsystemen kann der Knicklängenbeiwert gewählt werden
- der Wölbeinspanngrad kann aus der Stirnplattensteifigkeit berechnet oder frei vorgegeben werden
- der Druckgurt kann entweder durch Trapezbleche oder Querträger seitlich gehalten sein. Ist der Druckgurt durch Trapezbleche gestützt, kann dies nach EC 3-1-3, 10.1.5, berücksichtigt werden. Die gebräuchlichsten Trapezblechformen sind in einer Datenbank hinterlegt. Trapezbleche mit Setzbolzen können ebenfalls behandelt werden. Es werden sowohl die Drehbettung als auch die Schubfeldsteifigkeit berücksichtigt. Sind Querträger zur Stabilisierung des Obergurts vorgesehen, reduzieren sie zudem die Knicklänge. Alternativ können Drehbettung und Schubfeldsteifigkeit direkt vorgegeben werden.
- der Lastangriffspunkt (Schwerpunkt, Schubmittelpunkt, Trägerober- oder -unterkante) kann vorgegeben werden
- für den Stab können verschiedene Momentenverläufe vorgegeben werden. Die daraus resultierenden Beiwerte k_c, ζ, C_{my}, C_{mz}, C_{mLT}, k_{yy}, k_{zz}, k_{zy} und k_{yz} können frei vorgegeben oder vom Programm ermittelt werden.
- Brandfall
  Die Stahltemperatur kann vorgegeben oder vom Programm berechnet werden. Zur Ermittlung der Temperatur ist die Feuerwiderstandsdauer festzulegen. Es wird die Einheitstemperaturkurve verwendet. Das Profil kann ungeschützt oder bekleidet sein. Eine Abschattung durch Wände oder Decken kann berücksichtigt werden.

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 4H-EC3ST von detailliertem Computerwissen unabhängig zu halten.

Das vorliegende Handbuch beschreibt die Handhabung des Programms. Informationen zu dem jeweiligen Eigenschaftsblatt finden Sie zusätzlich über den lokalen Hilfebutton.

Zur 4H-EC3ST-Dokumentation gehört neben diesem Manual das Handbuch

DTE®-DeskTopEngineering.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit 4H-EC3ST.

pcae GmbH

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
El.	Element
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.

Inhaltsverzeichnis

1 Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten 5
2 Bauteil erzeugen 7
3 Eingabeoberfläche 9
3.1 Nachweise, Material, Querschnitt 11
3.1.1 Nachweise 11
3.1.2 Stahlgüte 11
3.1.3 Materialsicherheitsbeiwerte 12
3.1.4 Querschnitt 12
3.2 System 13
3.2.1 Systemlänge 13
3.2.2 Zwischenlager 13
3.2.3 Knicklängenbeiwerte 14
3.2.4 Wölbeinspanngrad 14
3.3 Drehelastische Lagerung am Obergurt des Trägers 15
3.3.1 Trapezbleche 15
3.3.2 Querträger 17
3.3.3 Vorgabe der Kennwerte 18
3.4 Nachweise im Brandfall 19
3.5 Bemessungsschnittgrößen 21
3.5.1 Eingabefunktionen 21
3.6 Darstellung der Ausnutzungen 22
3.7 Druckeinstellungen 23
3.8 Nachweise 24
3.8.1 Nachweis der Querschnittsklassifizierung 24
3.8.2 Drehfeder- und Schubfeldsteifigkeit 25
3.8.3 Nachweis gegen Biegeknicken 28
3.8.4 Nachweis gegen Biegedrillknicken um die Hauptachse 29
3.8.5 Stabilität im Brandfall 30
3.8.6 Beispiele 32
3.9 Nationale Anhänge zu den Eurocodes 37
4 Literaturverzeichnis 38
5 Index 41

1 Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten

Die Installation des DTE®-Systems und das Überspielen des Programms ⁄⁄-EC3ST auf Ihren Computer erfolgt über einen selbsterläuternden Installationsdialog.

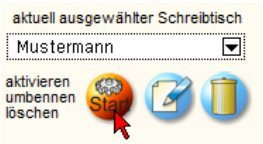
Sofern Sie bereits im Besitz anderer ⁄⁄-Programme sind und diese auf Ihrem Rechner installiert sind, lesen Sie bitte Abs. 2, Bauteil erzeugen, auf S. 7 weiter.

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.

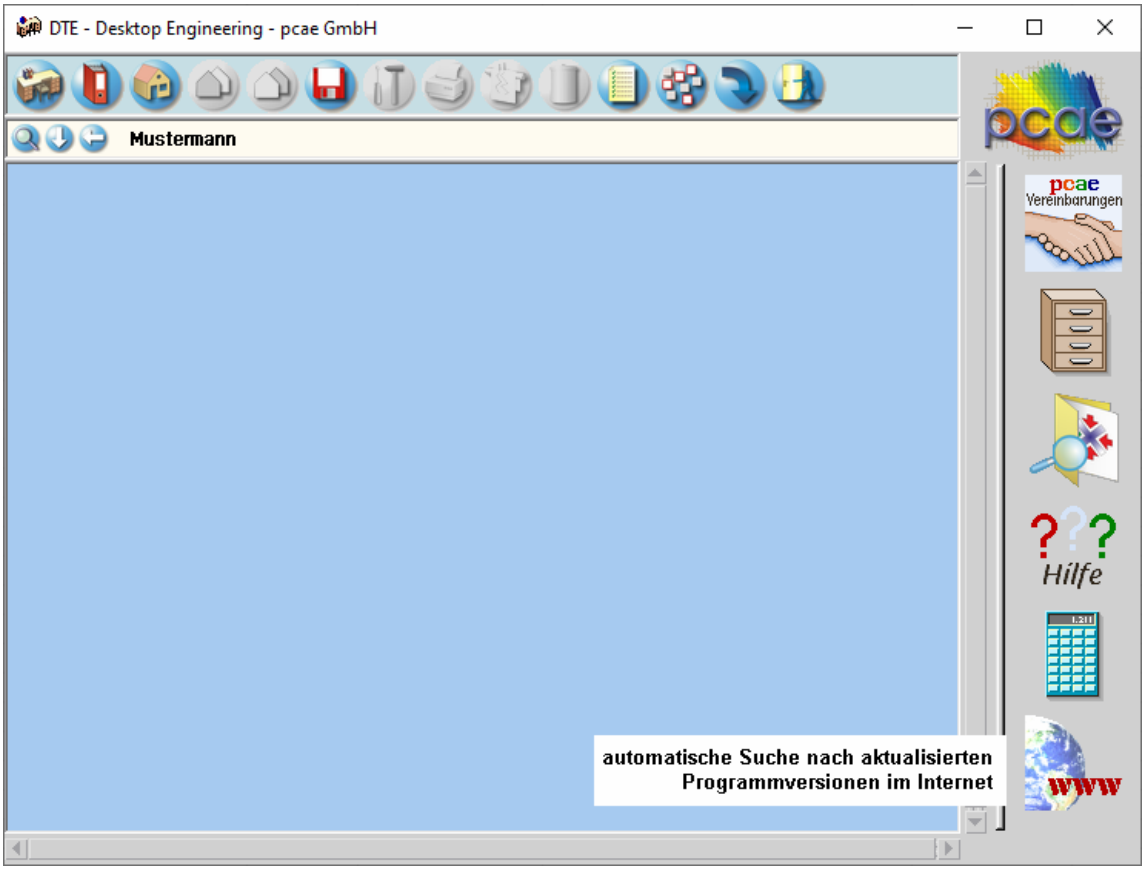


Nach Bestätigen über das ***Hakensymbol*** erscheint wieder die Schreibtischauswahl, in die der neue Name bereits eingetragen ist. Drücken Sie auf ***Start*** und die DTE®-Schreibtischoberfläche erscheint auf dem Bildschirm.

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

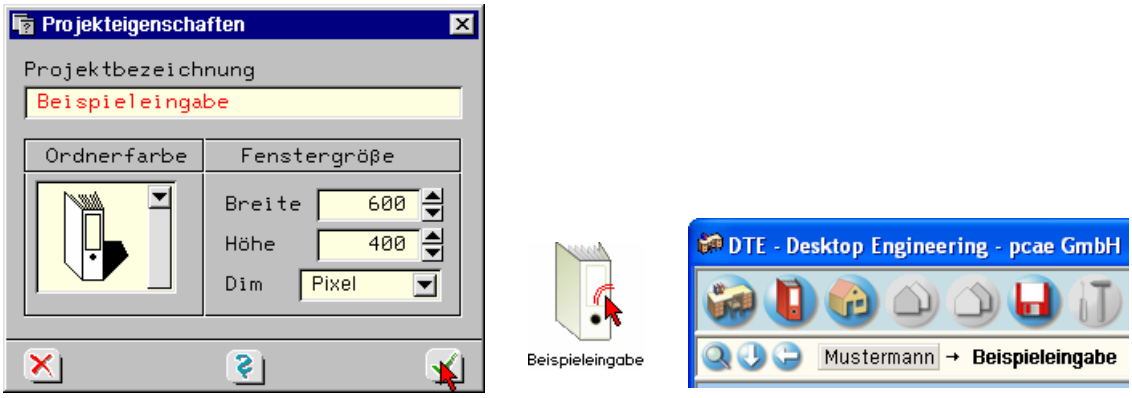
öffnet die Mehrfachauswahl zur gleichzeitigen Bearbeitung von Bauteilen

eröffnet Verwaltungsfunktionen

schließt den geöffneten Ordner/beendet die DTE®-Sitzung

2 Bauteil erzeugen

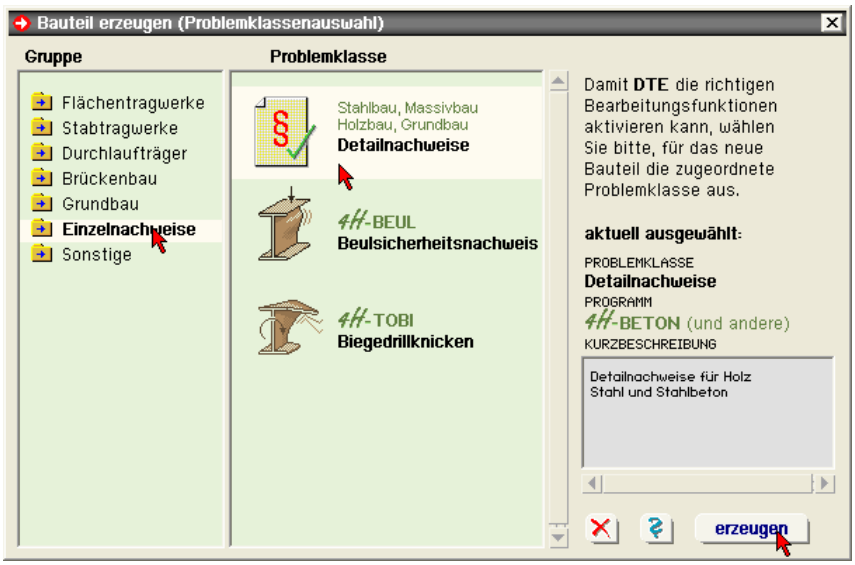
Durch Erzeugung eines ***Ordners*** besteht die Möglichkeit, Bauteile einem bestimmten Projekt zuzuordnen. Ein Ordner wird durch Anklicken des nebenstehenden Symbols erzeugt. Der Ordner erscheint auf dem DTE®-Desktop und kann, nachdem ihm eine Bezeichnung und eine Farbe zugeordnet wurden, per Doppelklick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

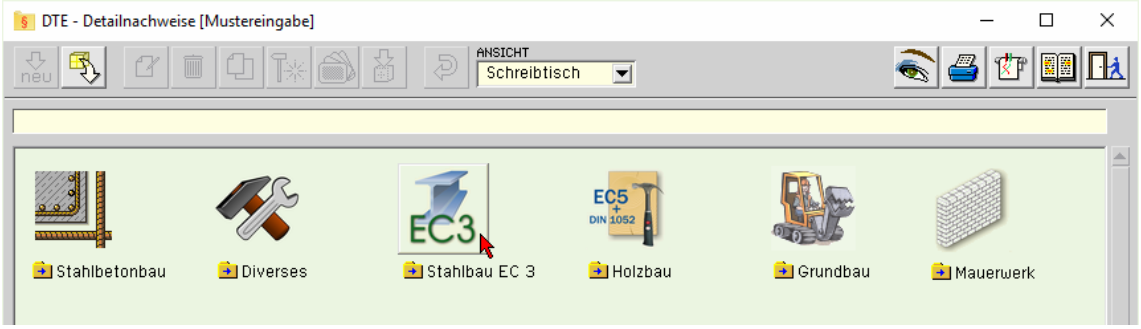


Der schwarze Rahmen der neuen Bauteilikone lässt sich mit der Maus über den Schreibtisch bewegen. Klicken Sie die LMT an der Stelle, an der das Bauteil auf dem Schreibtisch platziert werden soll. Das Eigenschaftsblatt *Name und Bezeichnung* erscheint.

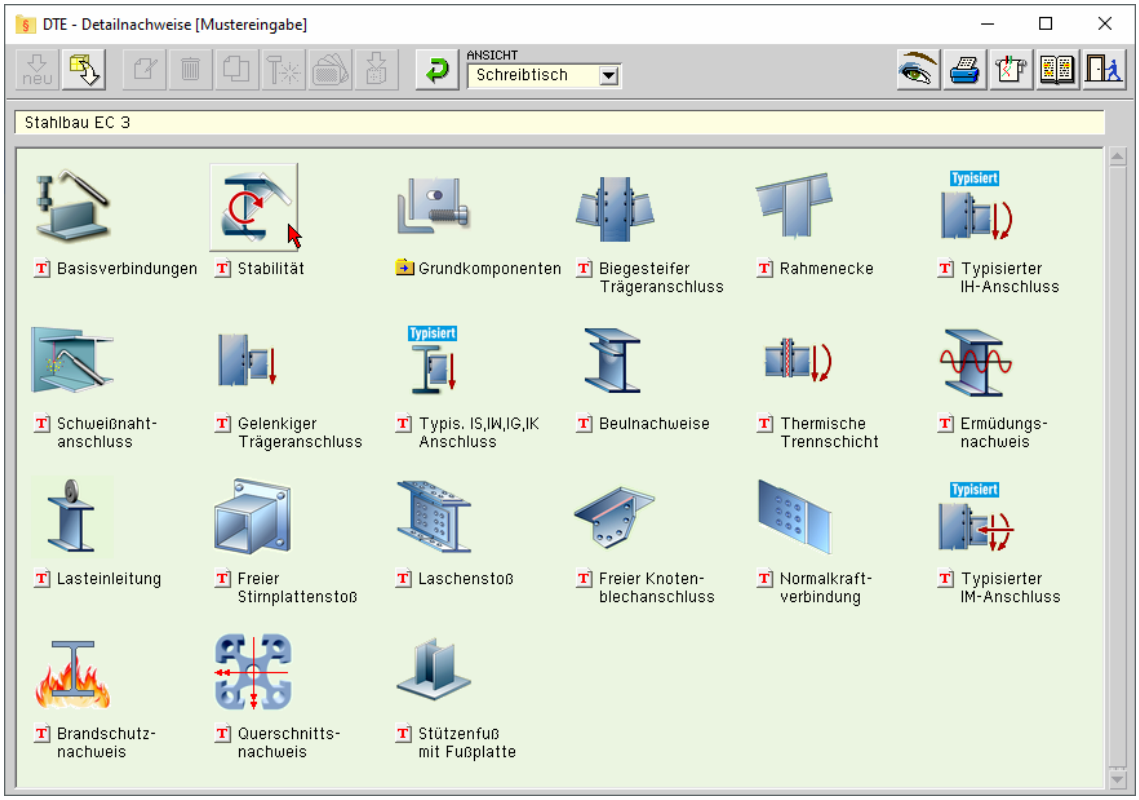
Nach Doppelklick auf das neue Bauteilicon erscheint die Übersicht der installierten Detailnachweisprogramme.

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.

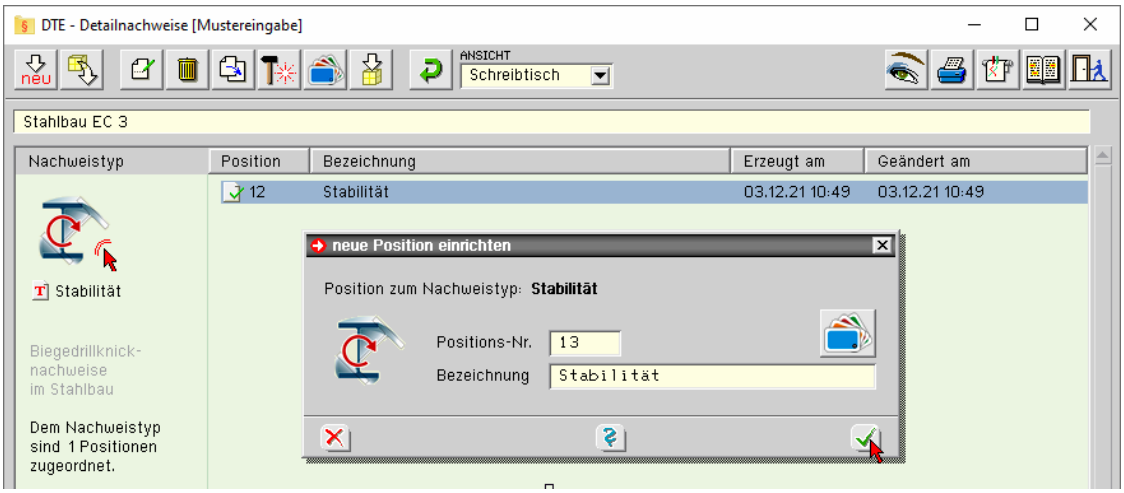
Übersicht Detailnachweise



Übersicht EC 3-Programme



Stabilität

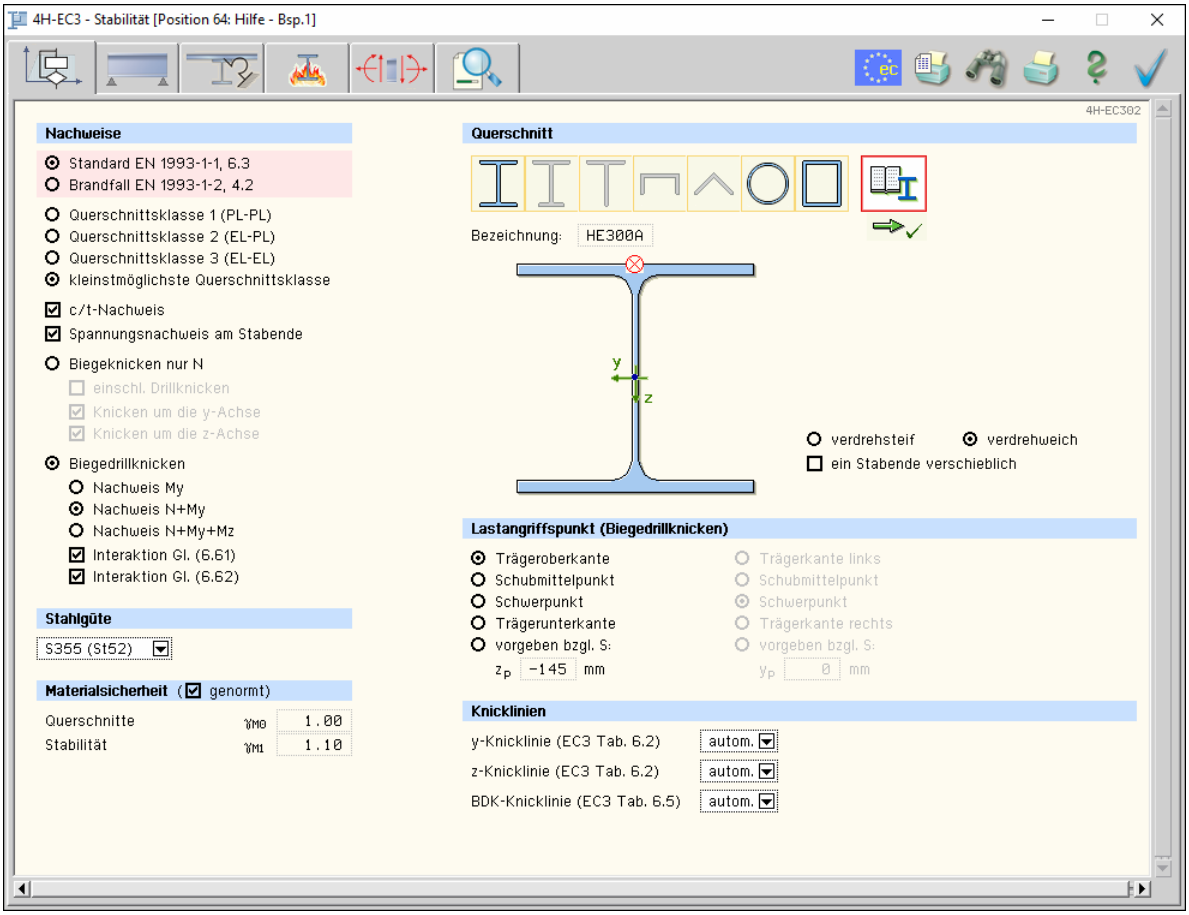


Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts *neue Position einrichten* erscheint die Eingabeoberfläche des Programms *Stabilität*.

3 Eingabeoberfläche

Das Programm 4H-EC3ST führt die Stabilitätsnachweise (Biegeknicken, Biegedrillknicken) bei Normaltemperatur nach Eurocode 3-1-1 oder im Brandfall nach Eurocode 3-1-2.

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



Rechenlaufsteuerung / Material / Geometrie s. Abs. 3.1, S. 11

Im ersten Registerblatt werden die wesentlichen Parameter zum Ablauf der Berechnung festgelegt. Dazu gehören die Materialangaben, die Materialsicherheitsbeiwerte, die Querschnittsgeometrie. Weiterhin können die zu führenden Nachweise ausgewählt werden. Der Querschnitt wird zur Info maßstäblich am Bildschirm dargestellt.

Statisches System s. Abs. 3.2, S. 13

Die Bauteilabmessungen und Lagerbedingungen werden im zweiten Registerblatt angegeben.

Drehbehinderung und Schubfeldsteifigkeit s. Abs. 3.3, S. 15

Im dritten Registerblatt können Trapezbleche oder Querträger zur Vergrößerung der Biegedrillknicksteifigkeit definiert werden.

Parameter für den Brandfall s. Abs. 3.4, S. 19

Die zur Berechnung der Temperatur im Stahlquerschnitt benötigten Parameter werden im vierten Registerblatt festgelegt.

Bemessungsschnittgrößen s. Abs. 3.5, S. 21

Die Schnittgrößen werden im fünften Registerblatt festgelegt. Ebenso werden hier weitere Angaben zum Momentenverlauf und zu Beiwerten gemacht bzw. online berechnet.

Tabellarische Ergebnisübersicht s. Abs. 3.6, S. 22

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

nationaler Anhang s. Abs. 3.9, S. 37

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. 3.7, S. 23

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.

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 Nachweise, Material, Querschnitt

Die Wahl der Nachweise und der Profildaten erfolgt im Registerblatt *Nachweise, Material, Querschnitt* (Eigenschaftsblatt s. S. 9).

3.1.1 Nachweise

Zunächst ist festzulegen, ob der klassische Stabilitätsfall (bei Raumtemperatur) vorliegt oder die Festigkeiten durch eine erhöhte Querschnittstemperatur (im Brandfall) herabgesetzt sind.

- (•) Standard EN 1993-1-1 6.3
- ( ) Brandfall EN 1993-1-2 4.2

Die nachfolgende Beschreibung, insbesondere der ***Normenbezug***, betrifft den Standardfall. Die Nachweisführung im Brandfall wird im Kapitel *Nachweise im Brandfall* beschrieben (s. Abs. 3.8.5, S. 30).

Für Nachweise der Tragfähigkeit werden die Querschnitte gemäß EC 3-1-3, 5.5 in ***Querschnittsklassen*** eingeteilt.

Die Klassifizierung dient der Begrenzung der Beanspruchbarkeit und Rotationskapazität durch lokales Beulen von Querschnittsteilen.

- ( ) Querschnittsklasse 1 (PL-PL)
- (•) Querschnittsklasse 2 (EL-PL)
- ( ) Querschnittsklasse 3 (EL-EL)
- ( ) kleinstmöglichste Querschnittsklasse
- [x] c/t-Nachweis

Im Programm kann die Querschnittsklasse vorgegeben oder es kann die kleinstmögliche Klasse vom Programm berechnet werden. In Abhängigkeit davon werden die Nachweise entweder mit den elastischen oder plastischen Kennwerten geführt.

Die Querschnittsklassen 1 und 2 können die plastischen Tragreserven ausnutzten, während in Querschnittsklasse 3 die elastischen Tragfähigkeiten angesetzt werden. Nachweise in Klasse 4 sind nicht möglich.

Optional kann ein 'Nachweis' geführt und damit eine Ausnutzung berechnet werden, in der Art, dass der vorhandene c/t-Wert ins Verhältnis zum geforderten c/t-Wert gesetzt wird. Das Ergebnis wird unabhängig von den Tragfähigkeitsnachweisen ausgewiesen.

Nach EC 3-1-1, 6.3.3(2), sind zusätzlich zu den Stabilitätsnachweisen ***Querschnittsnachweise*** an den Bauteilenden zu führen. Diese können zugeschaltet und in die Gesamttragfähigkeit einbezogen werden.

- [x] Spannungsnachweis

Es kann ein ***Biegeknicknachweis*** nach dem Ersatzstabverfahren in EC 3-1-1, 6.3.1, mit reiner Normalkraftbeanspruchung gewählt werden. Optional kann zusätzlich der Drillknicknachweis nach EC 3-1-1, 6.3.1.4, geführt werden.

- (•) Biegeknicken nur N
  - [x] einschl. Drillknicken
  - [ ] Knicken um die y-Achse
  - [x] Knicken um die z-Achse

Das Knicken kann um die starke (y-) und/oder die schwache (z-) Achse erfolgen.

Es kann ein ***Biegedrillknicknachweis*** n. EC 3-1-1, 6.3.2, gewählt werden. Tritt Biegung mit Druck auf, wird die Tragfähigkeit über die Interaktionsbeziehung n. EC 3-1-1, 6.3.3 (4), nachgewiesen. Die Interaktionsgleichungen können separat ausgewertet werden.

- (•) Biegedrillknicken
  - ( ) Nachweis My
  - (•) Nachweis N+My
  - ( ) Nachweis N+My+Mz
  - [x] Interaktion Gl. (6.61)
  - [x] Interaktion Gl. (6.62)

3.1.2 Stahlgüte

S235 (St37)
- S235 (St37)
- S275 (St44)
- S355 (St52)
- S420 N/NL
- S460 N/NL
- freies Material

Die zu verwendende Stahlgüte wird per Listbox gewählt.

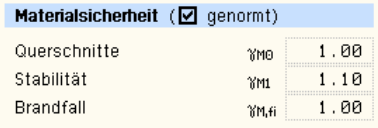
Bei Wahl eines freien Materials werden die benötigten Festigkeitsparameter direkt vorgegeben. Diese Werte entsprechen den Festigkeiten bei Normaltemperatur und werden bei der Berechnung im Brandfall abgemindert.

freies Material

E_{mod}	210000	N/mm²
$f_{y,k}$	235	N/mm²

3.1.3 Materialsicherheitsbeiwerte

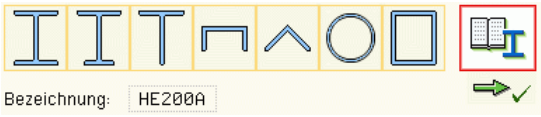
Im Programm ##-EC3ST werden die in EC 3-1-1 (Standard) bzw. EC 3-1-2 (Brandfall) gegebenen Materialsicherheitsbeiwerte verwendet. Die Werte werden entweder den entsprechenden Normen (s. Nationaler Anhang, Abs. 3.9, S. 37) entnommen oder vom Anwender vorgegeben.



Im Brandfall gilt $\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = \gamma_{M,fi}$.

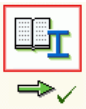
3.1.4 Querschnitt

Der Nachweis für Biegeknicken kann für einfach- und doppeltsymmetrische Querschnitte geführt werden.



Die ersten drei Profile sind geschweißte Blechträger. Die übrigen Profile sind Walzprofile, deren Parameter und Name frei festgelegt werden.

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



Für den Nachweis *Biegeknicken* sind alle vorhandenen Profiltypen erlaubt. Für den Nachweis *Biegedrillknicken* kann nur das doppeltsymmetrische Doppel-T-Profil verwendet werden.

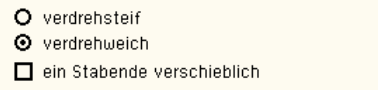
Weitere Querschnitts-Optionen

Biegeknicken

Hinsichtlich der Knicklinien wird bei Hohlprofilen zwischen warmgefertigten und kaltgeformten Querschnitten unterschieden (nicht bei Profilen aus der Bibliothek).

Biegedrillknicken

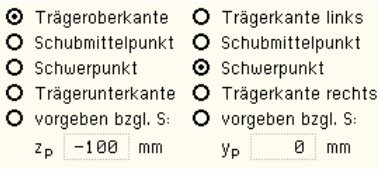
Zur Berechnung der Interaktionsbeiwerte wird zwischen verdrehweichen (offene Querschnitte ohne Drehbehinderung) und verdrehsteifen (ausgesteifte Querschnitte) Profilen differenziert.



Die Berechnungsformeln im EC 3-1-1, Anh. B, beziehen sich auf eine beidseitig gelenkige Lagerung des Stabbauteils. Es besteht die Möglichkeit, auch ein verschiebliches Stabende zu berücksichtigen.

Bezogen auf den Schubmittelpunkt hat der Angriffspunkt der Last günstige oder ungünstige Auswirkungen auf das Biegedrillknicken.

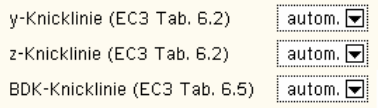
Der Einfluss der Lastexzentrizität wird über die Eingabe des Lastangriffspunkts [y_p, z_p] erfasst. Der Punkt wird in der maßstäblichen Profilskizze markiert.



Knicklinien

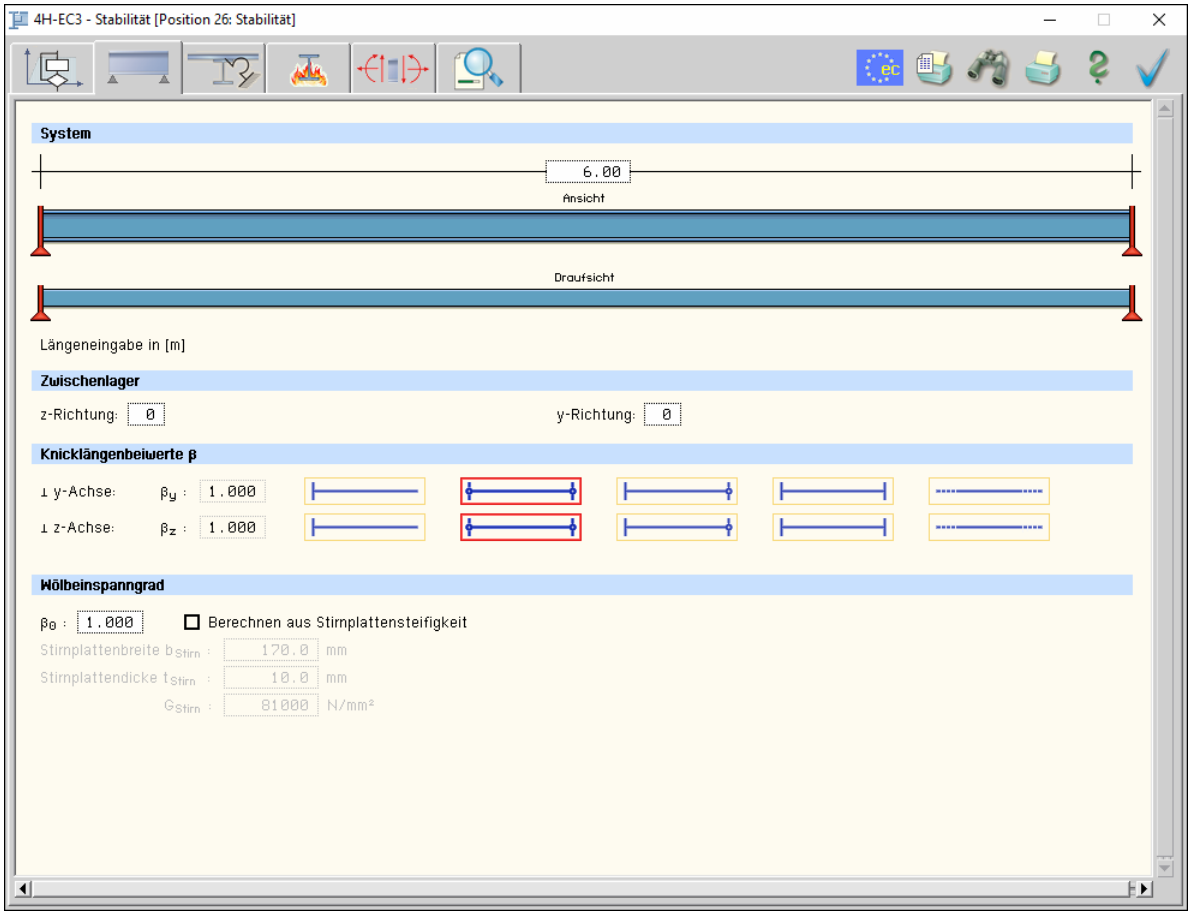
Der Schlankheitsgrad des Bauteils richtet sich nach der zuständigen Knicklinie in Abhängigkeit des Querschnitts.

Die Knicklinien für das Biegeknicken oder Biegedrillknicken können entweder vom Programm nach Norm bestimmt oder vom Anwender festgelegt werden.



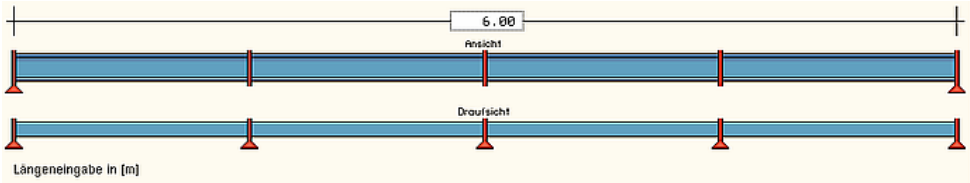
3.2 System

die Angaben über die Lagerung und die Stablängen erfolgen im Registerblatt *System*.



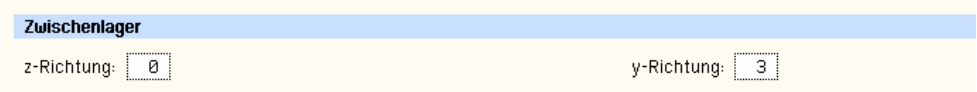
3.2.1 Systemlänge

Die Gesamtlänge L des knick- oder biegedrillknickgefährdeten Stabs wird in das Eingabefeld in der Maßkette eingegeben. Die Stabenden (Stabanfang und -ende) sind gabelgelagert.



3.2.2 Zwischenlager

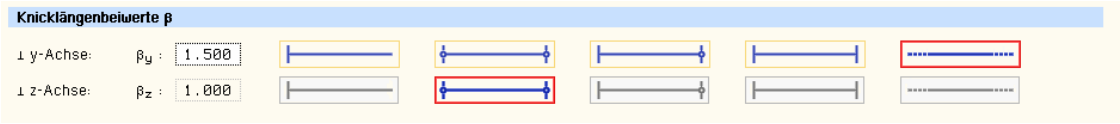
In y- und/oder z-Richtung können Zwischenlager (ebenfalls mit Gabellagerung) angeordnet werden, die zum einen die Knicklänge in der jeweiligen Richtung reduzieren, zum anderen der Seitenstabilität (s. Reg. 3, S. 15) dienen. Die Zwischenlager werden in der Systemgrafik dargestellt.



3.2.3 Knicklängenbeiwerte

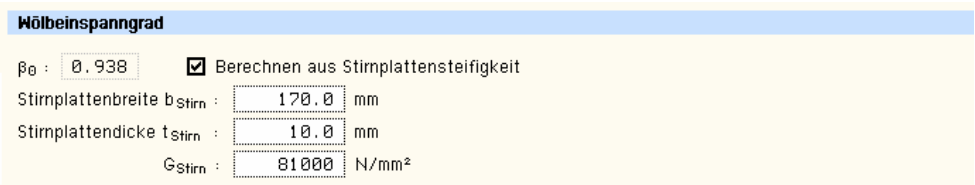
Die Knicklängenbeiwerte β sind in y- und z-Richtung vorzugeben; sie beeinflussen die Knicklänge $L_{cr} = \beta \cdot L$. Sie können entweder über ein Symbol oder 'per Hand' festgelegt werden.

β_y gilt für Knicken um die starke (y-) Achse, β_z für Knicken um die schwache (z-) Achse.



3.2.4 Wölbeinspanngrad

Der Wölbeinspanngrad β_0 kann vorgegeben oder aus der Stirnplattensteifigkeit (nur bei Doppel-T-Profilen) berechnet werden. β_0 = 1 entspricht einer Gabellagerung, β_0 = 0.5 einer starren Wölbeinspannung.



3.3 Drehelastische Lagerung am Obergurt des Trägers

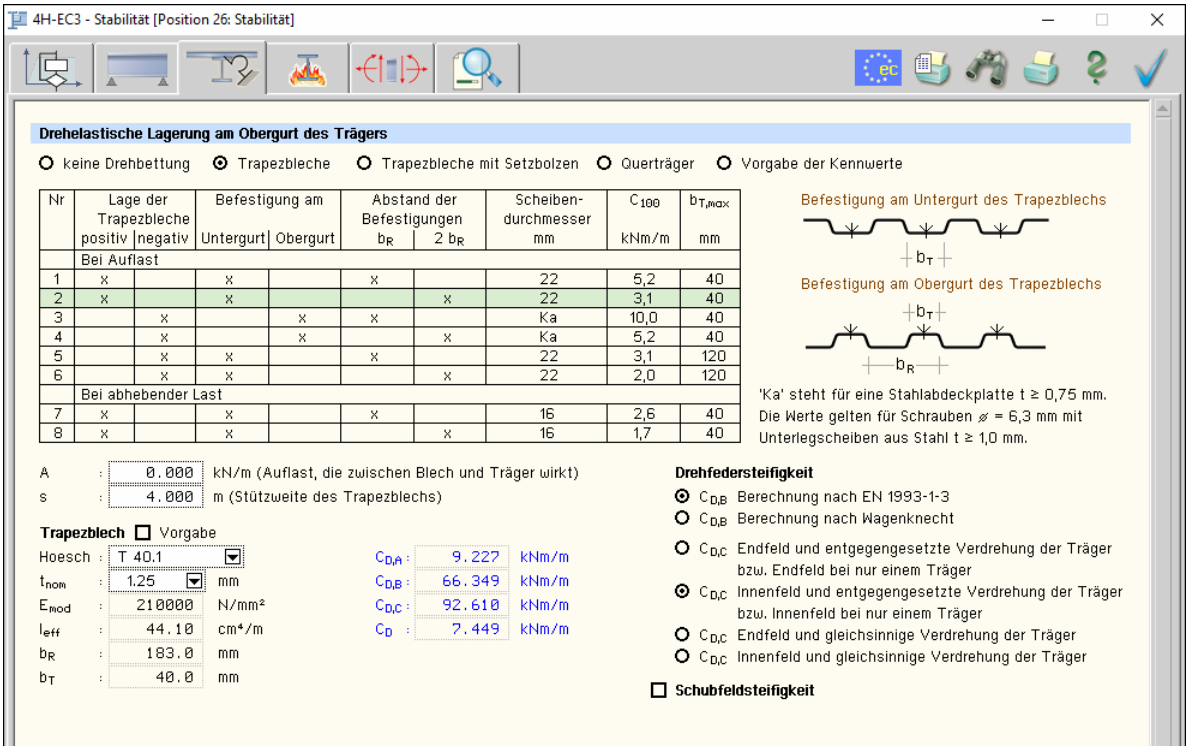
eine evtl. vorhandene ***Drehbettung*** des Trägers kann im Registerblatt *Drehelastische Lagerung* gewählt werden.

Die Gefahr des Biegedrillknickens eines Doppel-T-Profils kann durch die Anordnung einer Drehbettung am Druckgurt (Obergurt) erheblich reduziert werden. Dazu zählen Trapezbleche, die gleichzeitig als Dacheindeckung fungieren oder auch in gleichmäßigen Abständen angebrachte Querträger.

Trapezbleche können durch ihre Schubfeldsteifigkeit das Biegedrillknicken u.U. sogar gänzlich verhindern.

Auf der sicheren Seite liegend werden für die Bemessung im Brandfall die Zusatzsteifigkeiten durch die drehelastische Lagerung am Obergurt vernachlässigt.

3.3.1 Trapezbleche



Drehfedersteifigkeit

Die Drehfedersteifigkeit C_D berechnet sich aus den drei Steifigkeitsanteilen $C_{D,A}$ der Verbindung zwischen Trapezblech und Träger, $C_{D,B}$ der Profilverformung des Trägers, $C_{D,C}$ des Trapezblechs.

Für die Berechnung der Steifigkeit der Verbindung zwischen Trapezblech und Träger $C_{D,A}$ ist in der angegebenen Tabelle die betreffende Zeile zu markieren.

Nr	Lage der Trapezbleche positiv	negativ	Befestigung am Untergurt	Obergurt	Abstand der Befestigungen b_R	$2\ b_R$	Scheibendurchmesser mm	C_{100} kNm/m	$b_{T,max}$ mm
	Bei Auflast								
1	x		x		x		22	5,2	40
2	x		x			x	22	3,1	40
3		x		x	x		Ka	10,0	40
4		x		x		x	Ka	5,2	40
5		x	x		x		22	3,1	120
6		x	x			x	22	2,0	120
	Bei abhebender Last								
7	x		x		x		16	2,6	40
8	x		x			x	16	1,7	40

Trapezbleche mit Setzbolzen können nicht am Obergurt des Trapezblechs befestigt werden. Daher wird eine entsprechend angepasste Tabelle angeboten.

Nr	Lage der Profilbleche		Befestigung am		Abstand der Befestigungen		C_{100} kNm/mm	$b_{T,max}$ mm
	positiv	negativ	Untergurt	Obergurt	b_R	$2\,b_R$	positiv	negativ
	Bei Auflast							
1	x		x		x		4,0	40
2	x		x			x	3,1	40
5		x	x		x		3,1	120
6		x	x			x	2,0	120

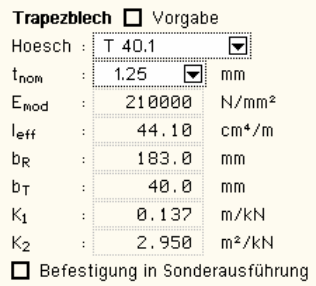
Die Lage (positiv/negativ), der Befestigungsort (Untergurt/Obergurt) und der Abstand der Befestigungen ($b_R/2 \cdot b_R$) sind bei der Konstruktion zu berücksichtigen.

Bei Auflast ist die Last, die zwischen Trapezblech und Träger wirkt, anzugeben (A ≤ 12 kN/m).

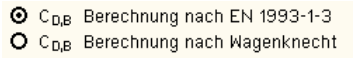
Außerdem ist das Trapezblech auszuwählen.

In der programminternen Datenbank sind Trapezprofile der Fa. Hoesch hinterlegt. Die Auswahl erfolgt über eine Listbox.

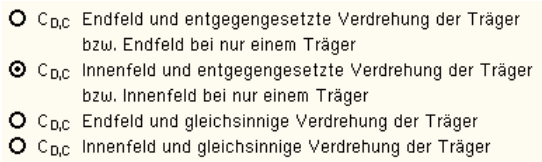
Bei Aktivierung der Option ***Vorgabe*** können die benötigten Parameter 'per Hand' eingegeben werden.



Die Berechnung der Drehbettung aus der Profilverformung des Trägers $C_{D,B}$ kann entweder nach Eurocode oder Wagenknecht erfolgen.



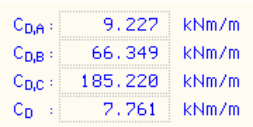
Zur Berechnung der Profilverformung des Trapezblechs $C_{D,C}$ ist die Lagerung des oder der Träger (Endfeld/Innenfeld) sowie bei Anordnung mehrerer Träger die Verdrehungsrichtung der Trägerprofile zueinander zu beachten.



Es wird unterschieden zwischen einer entgegengesetzten Verdrehung der Trägerquerschnitte, d.h. dass die Träger dem stabilisierenden Trapezblech nachgeben (einer dreht nach links, einer nach rechts), und der gleichsinnigen Verdrehung, d.h. dass die Träger ihre Verdrehung (alle drehen nach rechts oder links) dem Trapezblech aufzwingen.

Außerdem geht die Stützweite des Trapezblechs in die Berechnung ein.

Die Teilfedersteifigkeiten werden zu der Ersatzfedersteifigkeit C_D zusammengefasst und am Bildschirm protokolliert.



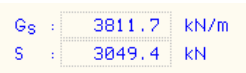
Schubfeldsteifigkeit

Des Weiteren kann optional die Schubfeldsteifigkeit des Trapezblechs ausgenutzt werden, um die Biegedrillknickgefährdung zu reduzieren.

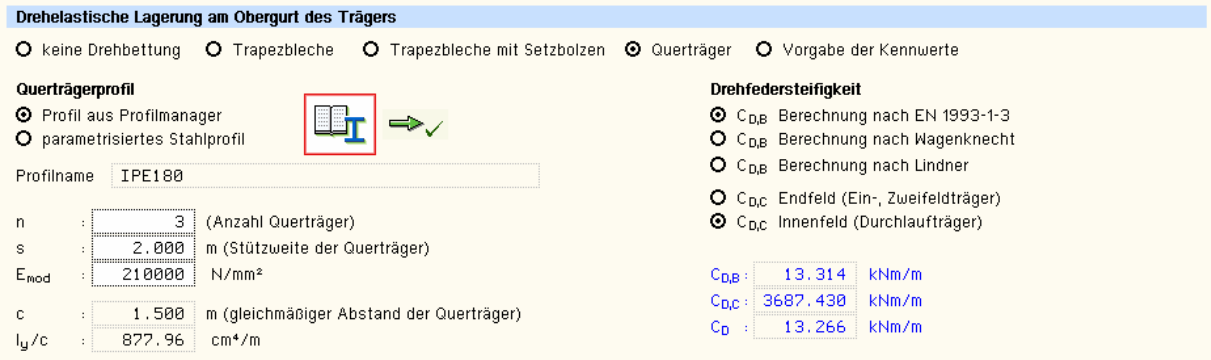
Dazu ist die Anzahl Schubfelder, die der Aussteifung dienen, anzugeben. Die Stützweite des Trapezblechs s entspricht auch der Länge eines Schubabschnitts. Die Schubfeldlänge L_S wird am Bildschirm protokolliert.

Optional kann untersucht werden, ob die Schubfeldsteifigkeit ausreicht, um ein Biegedrillknickversagen auszuschließen. Wird der ***Check***-Button deaktiviert, erfolgt ein Biegedrillknicknachweis.

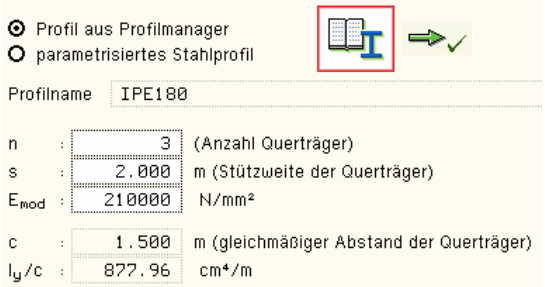
Es werden die ideelle Schubsteifigkeit G_S und die resultierende Schubfeldsteifigkeit S am Bildschirm protokolliert.



3.3.2 Querträger

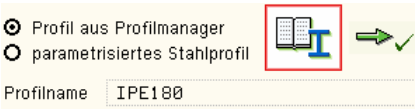


Drehfedersteifigkeit



Gleichmäßig am Obergurt des Trägers befestigte Querträger können den Träger gegen Biegedrillknicken sichern.

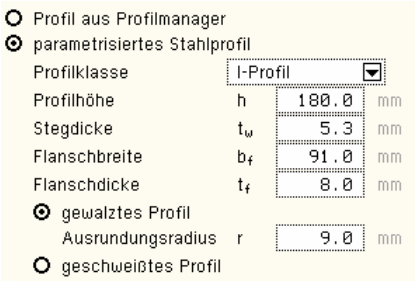
Der Querschnitt des Querträgers kann entweder über den **pcae**-eigenen Profilmanager in das Programm importiert oder als parametrisiertes Stahlprofil eingegeben werden.



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

Das externe Programm wird aufgerufen und ein Profil kann ausgewählt werden.

Bei Verlassen des Profilmanagers werden die benötigten Daten übernommen und der Profilname protokolliert. Die hinterlegten Profilparameter können am Bildschirm eingesehen werden, wenn auf ***parametrisiertes Stahlprofil*** umgeschaltet wird.



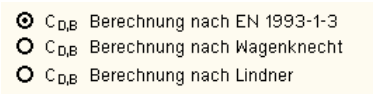
Zur Definition eines ***parametrisierten Stahlprofils*** ist zunächst die Profilklasse festzulegen. Es können nur Doppel-T-Profile ausgewählt werden.

In Abhängigkeit davon werden Profilhöhe, Stegdicke sowie Flanschbreite und -dicke zur Eingabe angeboten.

Flanschneigungen werden nicht berücksichtigt.

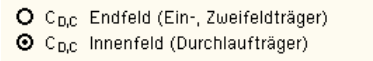
Bei gewalzten Doppel-T-Profilen wird der Ausrundungsradius r zwischen Flansch und Steg geometrisch berücksichtigt, während ein geschweißtes Blechprofil mit Schweißnähten (Kehlnähte der Dicke a oder durchgeschweißte Stumpfnähte) zusammengefügt ist.

Die Anzahl Querträger korrespondiert mit den Zwischenlagern in y-Richtung (s. Register *System* Abs. 3.2, S. 13). Es sind mindestens zwei Querträger anzuordnen, um eine drehstabilisierende Wirkung zu erzielen. Der sich daraus ergebende gleichmäßige Abstand c und das bezogene Trägheitsmoment I_c/c werden protokolliert.



Die ***Drehfedersteifigkeit*** C_D berechnet sich aus den zwei Steifigkeitsanteilen $C_{D,B}$ der Profilverformung des Trägers und $C_{D,C}$ der Querträger. Die Verbindung zwischen den Querträgern und dem Träger ist hier unmaßgeblich.

Die Berechnung der Drehbettung aus der Profilverformung des Trägers $C_{D,B}$ kann entweder nach Eurocode, Wagenknecht oder Lindner erfolgen.



Zur Berechnung der Drehbettung der Querträger $C_{D,C}$ ist die Lagerung des Trägers (Endfeld / Innenfeld) zu beachten.

Außerdem gehen die Stützweite der Querträger sowie der E-Modul der Querträger in die Berechnung von $C_{D,C}$ ein.

Die Teilfedersteifigkeiten werden zu der Ersatzfedersteifigkeit C_D zusammengefasst und am Bildschirm protokolliert.

$C_{D,B}$:	13.314	kNm/m
$C_{D,C}$:	3687.430	kNm/m
C_D :	13.266	kNm/m

Schubfeldsteifigkeit

Das Schubfeld kann durch Querträger nicht ausgesteift werden.

3.3.3 Vorgabe der Kennwerte

Drehelastische Lagerung am Obergurt des Trägers

○ keine Drehbettung ○ Trapezbleche ○ Trapezbleche mit Setzbolzen ○ Querträger ◉ Vorgabe der Kennwerte

Drehfedersteifigkeit

C_D : 7.761 kNm/m

Schubfeldsteifigkeit

S : 3049.4 kN

Die Steifigkeiten können auch 'per Hand' vorgegeben werden.

3.4 Nachweise im Brandfall

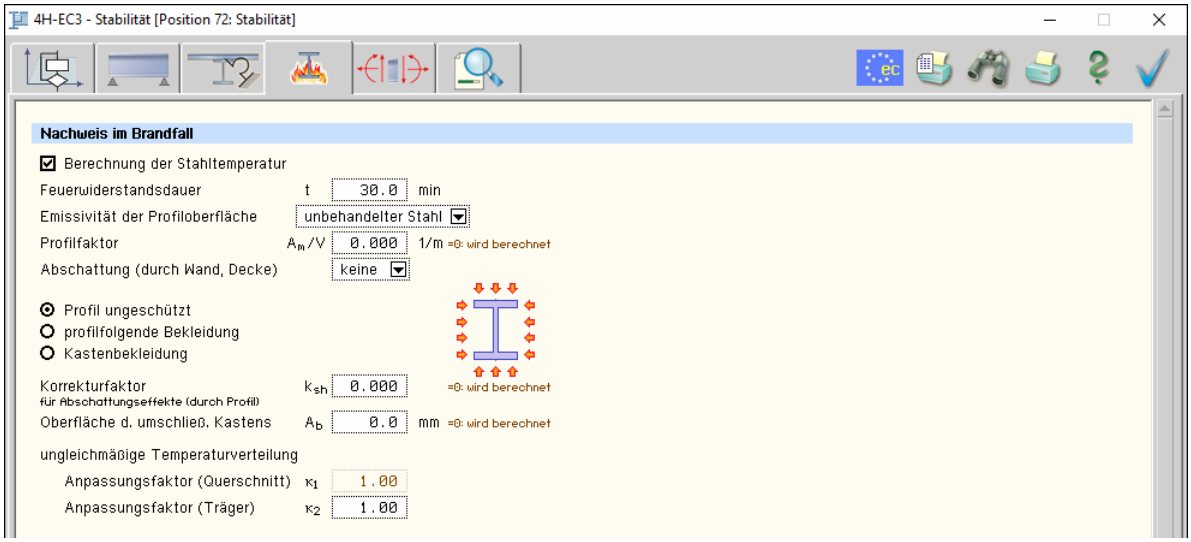
im Registerblatt *Nachweise im Brandfall* werden Parameter zur Berechnung der Stahltemperatur im Brandfall abgefragt.

Bei dünnwandigen Profilen wird davon ausgegangen, dass die thermische Beanspruchung durch den Brand eine gleichmäßige Temperatur im Material erzeugt. Die Festigkeit des Stahls wird dadurch z.T. stark herabgesetzt, so dass durch einen Spannungsnachweis die Standfestigkeit nach einer Mindestzeit (Feuerwiderstandsdauer) nachgewiesen werden muss.

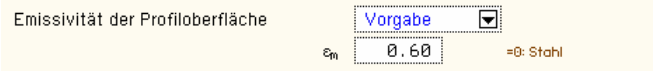
Es wird die Einheits-***Temperaturzeitkurve*** n. EC 1-1-2, 3.2.1, verwendet.

Die Berechnung der Stahltemperatur erfolgt nach EC 1-1-2 unter Berücksichtigung des Profilfaktors (Formfaktor des Querschnitts) sowie einer ggf. vorhandenen Profilummantelung.

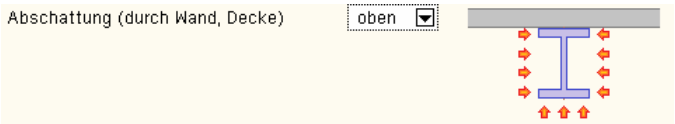
Es werden Eingabefelder für die erforderlichen Werte angeboten. Sind sie nicht belegt, kann das Programm diese Werte berechnen.



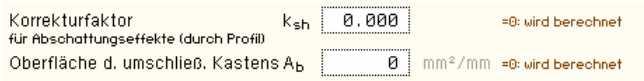
Bei ungeschützten Profilen entwickelt sich die Temperatur abhängig von der Absorbitivität (Emissivität) der Bauteiloberfläche. Es besteht die Möglichkeit, diese anzugeben. Programmintern wird sie für ***unbehandelten Stahl*** und ***feuerverzinkten Stahl*** vorbelegt. Alternativ kann ein Wert vorgegeben werden.



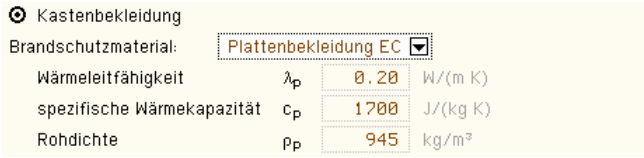
Das Profil kann durch angrenzende Bauteile teilweise vor der Hitze geschützt sein. Diese ***Abschattungseffekte*** durch eine Wand oder aufliegende Deckenplatte können berücksichtigt werden. Sie werden grafisch verdeutlicht.



Ist das Profil ungeschützt, werden Abschattungseffekte durch das Profil selbst über einen Korrekturfaktor berücksichtigt. Der entsprechende Beiwert kann vorgegeben oder vom Programm berechnet werden.



Andernfalls sind die Materialparameter der Bekleidung vorzugeben. Im deutschen Anhang des EC 3-1-2, Anhang AA, sind Werte für Putz- und Plattenbekleidung dokumentiert, die hier angewählt werden können.



Alternativ können die Parameter frei belegt und ein Name vergeben werden kann. Feuchtigkeit und Dicke des Dämmmaterials sind ebenfalls anzugeben.

Feuchtigkeitsgehalt	p_p	0.0	%
Dicke	d_p	25.0	mm

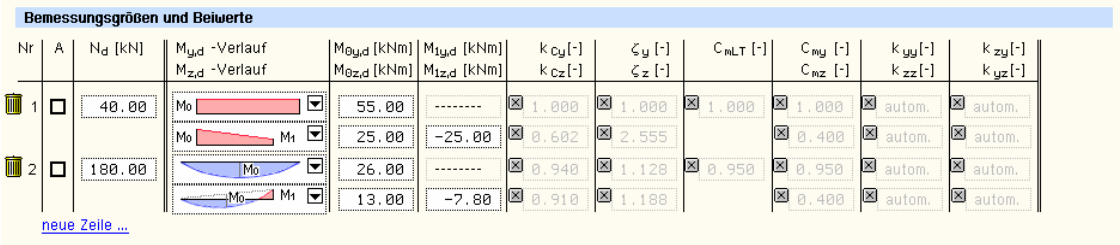
Beim Brandschutznachweis wird eine gleichmäßige ***Temperaturverteilung*** sowohl über den Querschnitt als auch in Stablängsrichtung angenommen.

ungleichmäßige Temperaturverteilung		
Anpassungsfaktor (Querschnitt)	κ_1	0.85
Anpassungsfaktor (Träger)	κ_2	1.00

Um z.B. Temperaturdifferenzen durch Abschattung (Querschnitt) oder an Auflagern (Träger) auszugleichen, kann die Brandlast durch Anpassungsfaktoren abgemindert werden.

3.5 Bemessungsschnittgrößen

die Bemessungsschnittgrößen werden in das Registerblatt *Bemessungsschnittgrößen und Beiwerte* eingetragen.



Maximal 20 Schnittgrößenkombinationen können eingegeben werden.

In Abhängigkeit vom gewählten Nachweis werden nur die Eingabegrößen angezeigt, die zur Berechnung benötigt werden.

Es wird von einer über den Stab konstant verlaufenden Normalkraft (N_d als Druckkraft positiv) ausgegangen. Der Eingabewert des Biegemoments $M_{0,d}$ bezieht sich auf die Momentenverteilung in der Listbox.

Der Spannungsnachweis wird an den Stabenden geführt, daher ist die (max.) Querkraft V_d dieser Stelle einzugeben.

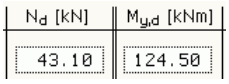
3.5.1 Eingabefunktionen

ein Klick auf den Mülleimer löscht die betreffende Eingabezeile

neue Zeile ...

ein Klick auf den Text *neue Zeile* erzeugt eine Zeile für eine weitere Bemessungskombination

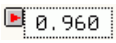
über die Option *A* wird die betreffende Schnittgrößenkombination in der außergewöhnlichen Situation nachgewiesen



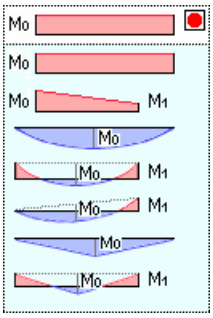
Die Schnittgrößen werden in den zugehörigen Eingabefeldern eingegeben. Es werden grundsätzlich Bemessungsschnittgrößen vorgegeben.

Druckkräfte werden positiv eingegeben!

Einige Eingabefelder besitzen einen Optionsbutton. Ist dieser deaktiviert (kenntlich durch das x), wird der Eingabewert automatisch vom Programm berechnet. Das Eingabefeld ist daher inaktiv.



Ein Klick auf das x aktiviert das Eingabefeld. Der betreffende Wert kann nun vom Anwender eingegeben werden.



Über die Listbox und den ψ-Parameter wird die Form des ***Momentenverlaufs*** festgelegt. Der Momentenverlauf hat Einfluss auf die k_c und die C-Werte. Je nach Verlaufstyp ist die Eingabe des ψ-Parameters zur Festlegung des Verhältnisses der Momente nötig.

Bei den Momentenverläufen Nr. 1 bis 3 entspricht $M = M_0$, wohingegen bei den Momentenverläufen Nr. 4 bis 7 für M das "eingehängte" Parabelmoment M_0 einzusetzen ist. Der Wert ψ ist positiv für negative Stützmomente.

3.6 Darstellung der Ausnutzungen

im Registerblatt *Ergebnisse* werden die Ausnutzungen der einzelnen Teilnachweise sowie die Gesamtausnutzung angezeigt.

Lk	Teilnachweis	Ausnutzung
1	c/t - Verhältnis bzgl. Querschnittsklasse 2	53%
	Spannungsnachweis	36%
	Biegeknicken	15%
	Biegedrillknicken	90%
	gesamt	**90%**
2	c/t - Verhältnis bzgl. Querschnittsklasse 2	53%
	Spannungsnachweis	68%
	Biegeknicken	19%
	Biegedrillknicken	109%
	gesamt	**109%**
	Gesamtnachweis	**109%**

Überschreitungen der Ausnutzungen werden durch rote Balken angezeigt.

Je Lastkombination werden die Ausnutzungen der Teilnachweise sowie deren gesamte Ausnutzung aufgelistet.

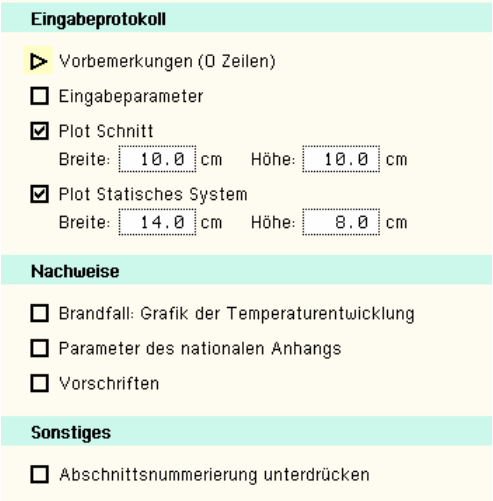
Bei mehr als fünf Lastkombinationen wird nur das Gesamtergebnis jeder Lastkombination protokolliert.

3.7 Druckeinstellungen

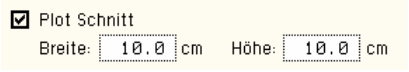
Eingabeparameter und Ergebnisse werden in einer Druckliste ausgegeben, deren Umfang über die folgenden Optionen beeinflusst werden kann.

Für die Detail-Position können ***Vorbemerkungen*** in das Druckdokument eingefügt werden. Der Text kann in den dafür vorgesehenen Text-Editor (erreichbar über ▷) eingegeben werden. Die benötigte Zeilenanzahl wird angegeben.

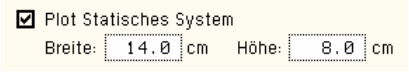
Anschließend werden die ***Eingabeparameter*** und die Materialsicherheitsbeiwerte, Bemessungskräfte und Knickbeiwerte ausgedruckt.



Das gewählte Profil kann optional im Schnitt maßstäblich dargestellt werden. Der Maßstab wird auf die vorgegebene Breite und Höhe bezogen.



Das gewählte System kann optional mit allen Längenangaben dargestellt werden. Es wird in einen Bildbereich der vorgegebenen Breite und Höhe eingepasst



Zur Erläuterung kann bei einer Stabilitätsuntersuchung im Brandfall die ***Temperaturentwicklung*** des Querschnitts grafisch ausgegeben werden.

Zu Beginn der Ausgabe der Nachweisergebnisse können die für die Berechnung maßgebenden ***Parameter des nationalen Anhangs*** angeben werden.

Am Ende des Dokuments kann eine Liste der verwendeten ***Vorschriften*** (Normen) folgen.

Das Statikdokument wird in strukturierter Form durchnummeriert, die auch mit dem **pcae**-eigenen Verwaltungsprogramm **Prolog** korrespondiert. Optional kann die Abschnittsnummerierung unterdrückt werden.

3.8 Nachweise

3.8.1 Nachweis der Querschnittsklassifizierung

Bei druckbeanspruchten, dünnwandigen Querschnitten ist der Nachweis gegen lokales Beulen einzelner Querschnittsteile notwendig.

Der allgemeine Beulsicherheitsnachweis ist in EC 3-1-5 geregelt. In EC 3-1-1, 5.5, ist der Nachweis der Querschnittsklassifizierung als vereinfachter Beulnachweis angegeben.

Die Querschnittsklassen sind gemäß EC 3-1-1, 5.5(1), wie folgt definiert

- Klasse 1 Querschnitte können plastische Gelenke oder Fließzonen mit ausreichender plastischer Momententragfähigkeit und Rotationskapazität für die plastische Berechnung ausbilden
- Klasse 2 Querschnitte können die plastische Momententragfähigkeit entwickeln, haben aber aufgrund örtlichen Beulens nur eine begrenzte Rotationskapazität
- Klasse 3 Querschnitte erreichen für eine elastische Spannungsverteilung die Streckgrenze in der ungünstigsten Querschnittsfaser, können aber wegen örtlichen Beulens die plastische Momententragfähigkeit nicht entwickeln
- Klasse 4 Querschnitte sind solche, bei denen örtliches Beulen vor Erreichen der Streckgrenze in einem oder mehreren Teilen des Querschnitts auftritt

  Querschnitte der Klasse 4 können vom Programm nicht behandelt werden.

Maßgebend für die Einordnung in die Klassen sind das Verhältnis von Länge zu Dicke der Querschnittsbleche (c/t-Verhältnis), die Lagerung der Blechenden und die Spannungsverläufe über die Querschnittsteile.

Außerdem wird die Stahlfestigkeit über den Beiwert ε berücksichtigt.

Die Einstufung erfolgt gemäß EC 3-1-1, Tab. 5.2.

3.8.2 Drehfeder- und Schubfeldsteifigkeit

Sind Träger am Druckgurt (Obergurt) mit anderen Bauteilen verbunden, können sich diese stabilisierend auf den biegedrillknickgefährdeten Träger auswirken. Voraussetzung ist, dass das aussteifende Bauteil eine kontinuierliche Stützung bildet, wie es z.B. bei Trapezblechen der Fall ist.

Auch können mehrere Querträger eine drehelastische Bettung hervorrufen.

Die drehelastische Bettung berechnet sich nach EC 3-1-1, BB.2.2 (analog EC 3-1-3, 10.1.5.2), mit

$$\frac{1}{C_{\vartheta,k}} = \frac{1}{C_{\vartheta R,k}} + \frac{1}{C_{\vartheta C,k}} + \frac{1}{C_{\vartheta D,k}} \quad \text{... mit ...}$$

$C_{\vartheta R,k}$ Verdrehsteifigkeit (je Längeneinheit) des stabilisierenden Bauteils unter der Annahme einer steifen Verbindung mit dem Träger

$C_{\vartheta C,k}$ Verdrehsteifigkeit (je Längeneinheit) der Verbindung zwischen dem Träger und dem stabilisierenden Bauteil

$C_{\vartheta D,k}$ Verdrehsteifigkeit (je Längeneinheit) infolge Querschnittsverfomungen des Trägers

Die Bezeichnungen im Programm sind analog EC 3-1-3 gewählt, d.h.

$$C_{\vartheta R,k} = C_{D,C} \quad \text{... und ...} \quad C_{\vartheta C,k} = C_{D,A} \quad \text{... und ...} \quad C_{\vartheta D,k} = C_{D,B} \quad \text{... und ...} \quad C_{\vartheta,k} = C_D$$

Der Träger darf als ausreichend biegedrillknickgesichert angesehen werden, wenn gilt

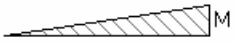
$$C_{\vartheta,k} > \frac{M_{pl,k}^2}{E \cdot I_z} \cdot K_\vartheta \cdot K_v \quad \text{... mit ...}$$

$C_{\vartheta,k}$ Verdrehsteifigkeit (je Längeneinheit Trägerlänge), die durch das stabilisierende Bauteil (z.B. Dachkonstruktion) und die Verbindung mit dem Träger wirksam ist

$M_{pl,k}$ charakteristischer Wert der plastischen Momententragfähigkeit des Trägers

K_ϑ 0.35 für die elastische und 1.00 für die plastische Berechnung

K_v Faktor zur Berücksichtigung des Momentenverlaufs und der Art der Verdrehbarkeit des drehbehindert gestützten Trägers

Momentenverlauf	freie Drehachse	gebundene Drehachse
	4.0	0
	3.5	0.12
	3.5	0.23
	2.8	0
	1.6	1.0
$\psi \leq -0.3$	1.0	0.7

Eine ***gebundene Drehachse*** liegt vor, wenn infolge der Schubfeldsteifigkeit (s.u.) des aussteifenden Elements die Lage der Drehachse für das Biegedrillknicken am Obergurt festgehalten wird.

Nach Wagenknecht wirkt sich die Drehfeder positiv auf die Torsionssteifigkeit aus, d.h. für die Berechnung des Biegedrillknickwiderstands wird vereinfachend ein Ersatztorsionsmoment I_T* verwendet

$$I_T^* = I_T + \Delta I_T \quad \text{... mit ...} \quad \Delta I_T = (C_D \cdot c^2) / (G \cdot \pi^2)$$

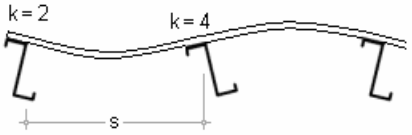
Diese Näherung gilt streng genommen nur für gabelgelagerte Einfeldträger mit Gleichstreckenlast ohne negative Randmomente.

Drehfedersteifigkeit

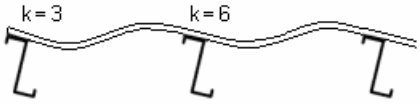
Die Drehbettung aus der Biegesteifigkeit des abstützenden Bauteils (Trapezblech, Querträger) wird n. EC 3-1-3, 10.1.5.2(4), ermittelt mit

$C_{D,C} = \frac{k \cdot E \cdot I_{eff}}{s}$ ... mit k als Koeffizient für folgende Fälle

Endfeld und Verdrehung
Innenfeld und Verdrehung



Endfeld und Verdrehung
Innenfeld und Verdrehung



I_{eff} wirksames Flächenmoment 2. Grades je Breiteneinheit des Profilblechs
s Pfettenabstand

I.A. wird für Ein- und Zweifeldträger bei Betrachtung des Endfelds der Wert k = 2 und bei Durchlaufträgern bei Betrachtung des Innenfelds der Wert k = 4 gesetzt.

Die Drehbettung aus der Anschlusssteifigkeit wird nur für Trapezbleche n. EC 3-1-3, 10.1.5.2(5), ermittelt mit

$C_{D,A} = C_{100} \cdot k_{ba} \cdot k_t \cdot k_{bR} \cdot k_A \cdot k_{bT}$ ... mit ...

$k_{ba} = (b_a/100)^2$ ... wenn ... $b_a < 125$ mm
$k_{ba} = 1.25 \cdot (b_a/100)$ ... wenn ... $125 \text{ mm} \le b_a < 200$ mm
$k_t = (t_{nom}/0.75)^{1.1}$ ... wenn ... $t_{nom} \ge 0.75$ mm positive Lage
$k_t = (t_{nom}/0.75)^{1.5}$ ... wenn ... $t_{nom} \ge 0.75$ mm negative Lage
$k_t = (t_{nom}/0.75)^{1.5}$ ... wenn ... $t_{nom} < 0.75$ mm
$k_{bR} = 1.0$ ... wenn ... $b_R \le 185$ mm
$k_{bR} = 185/b_R$ ... wenn ... $b_R > 185$ mm

bei Auflast
$k_A = 1.0 + (A - 1.0) \cdot 0.08$ ... wenn ... $t_{nom} \equiv 0.75$ mm positive Lage
$k_A = 1.0 + (A - 1.0) \cdot 0.16$ ... wenn ... $t_{nom} \equiv 0.75$ mm positive Lage
$k_A = 1.0 + (A - 1.0) \cdot 0.095$ ... wenn ... $t_{nom} \equiv 1.00$ mm negative Lage
$k_A = 1.0 + (A - 1.0) \cdot 0.095$ ... wenn ... $t_{nom} \equiv 1.00$ mm negative Lage

lineare Interpolation für t zwischen $t \equiv 0.75$ mm und $t \equiv 1.00$ mm zulässig
Gleichung gilt nicht für $t < 0.75$ mm
bei $t > 1$ mm ist in der Gleichung $t \equiv 1$ mm zu setzen

bei abhebender Last
$k_A = 1.0$ ... und ... $k_{bT} = \sqrt{b_{T,max}/b_T}$ ... wenn $b_T > b_{T,max}$, sonst $k_{bT} \equiv 1$

$A \le 12$ in kN/m ist die Last in kN/m, die zwischen Blech und Pfette wirkt
b_a Breite des Pfettengurts in mm
b_R Rippenabstand des Profilblechs in mm
b_T Breite des Profilblechgurts, der mit der Pfette verbunden ist

Die Beiwerte C_{100} und $B_{T,max}$ sind EC 3-1-3, Tab. 10.3, zugeordnet zur Lage der Profilbleche (positiv, negativ), zum Befestigungsort (Unter-, Obergurt) und zum Abstand der Befestigung (in jeder Rippe, nur in jeder zweiten Rippen) zu entnehmen.

Die Drehbettung aus der *Profilverformung des Trägers* selbst wird folgendermaßen ermittelt

nach EC 3-1-3, 10.1.5.1(4)

$$C_{\vartheta D,k} = \frac{E}{4\cdot(1-\nu^2)\cdot(h_w/t_w^3 + b_{mod}/t_f^3)}$$ ... dabei gilt für ein I-Profil

t_w, t_f	Blechdicken von Steg und Flansch des Trägers
$b_{mod} \approx b_f/2$	Abstand zwischen Verbindungsmittel und Trägersteg
h_w, b_f	Steghöhe, Flanschbreite des Trägers

nach Wagenknecht

$$C_{\vartheta D,k} = \frac{E\cdot t_w^3}{4\cdot h_w}$$

nach Lindner (nur für Querträger)

$$C_{\vartheta D,k} = \frac{E\cdot G\cdot t_f^3\cdot b_f\cdot t_w^3}{3\cdot h_w}$$

Erfolgt die drehelastische Lagerung durch Querträger, ist die Drehbettung aus der Berechnung nach EC 3-1-3 oder Wagenknecht auf eine wirksame Breite $b_{eff} = h_{Träger} + b_{Querträger}$ zu beziehen.

Schubfeldsteifigkeit

Trapezbleche besitzen in ihrer Ebene auch eine Schubfeldsteifigkeit, die das Biegedrillknicken, d.h. das Ausweichen in Richtung des Schubfelds, verhindern kann.

N. EC 3-1-1, BB.2.1 und EC 3-1-3, 10.1.1(6), darf der Träger in der Ebene der Trapezbleche als starr gelagert betrachtet werden, wenn gilt

$$S \geq \left(E\cdot I_w\cdot\pi^2/L^2 + G\cdot I_T + E\cdot I_z\cdot\pi^2/L^2\cdot 0.25\cdot h^2\right)\cdot 70/h^2$$ ... mit ...

S	Schubsteifigkeit der Bleche (je Längeneinheit Trägerlänge) im Hinblick auf die Verformungen eines Trägers in der Blechebene
I_w	Wölbflächenmoment des Trägers
I_T	Torsionsflächenmoment des Trägers
I_z	Flächenträgheitsmoment des Trägerquerschnitts um die schwache Querschnittsachse
L	Länge des Trägers
h	Höhe des Trägers

Die vorhandene Schubsteifigkeit je auszusteifendem Träger berechnet sich mit

$$S = G_s\cdot L_s/n$$ ... mit ...

$$G_s = \frac{10^4}{K_1 + K_2/L_s}$$ ideeller Schubmodul des Trapezblechs

K_1, K_2	Schubfeldbeiwerte n. Herstellerdatenblatt des Trapezblechs
L_s	Schubfeldlänge in m
n	Anzahl auszusteifender Träger

Bei Befestigung des Trapezblechs nur in jeder 2. Rippe wird 0.2 · S angesetzt.

3.8.3 Nachweis gegen Biegeknicken

Der Nachweis gegen Biegeknicken erfolgt nach dem Ersatzstabverfahren aus EC 3, 6.3.1. Es wird für dünnwandige offene und Hohl-Profile der Querschnittsklassen 1 bis 3 angewandt.

Die Nachweisgleichung hat die Form

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1.0 \qquad \text{... EC 3, Gl. (6.46)} \quad \text{... mit ...}$$

N_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft

$N_{b,Rd}$ ... der Biegebeanspruchbarkeit

Dabei gilt

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \qquad \text{... EC 3, Gl. (6.47)}$$

Der Wert χ ergibt sich aus

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0 \qquad \text{... EC 3, Gl. (6.49)} \quad \text{... mit ...}$$

$$\Phi = 0.5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot \left(\bar{\lambda} - 0.2\right) + \bar{\lambda}^2\right)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} \qquad \text{... EC 3, Gl. (6.50)}$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.9 \cdot \varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

α Imperfektionsbeiwert gemäß EC 3, Tab. 6.1 und 6.2, für die maßgebende Knicklinie

N_{cr} ideale Verzweigungslast für den maßgebenden Knickfall

i Trägheitsradius für die maßgebende Knickebene

L_{cr} Knicklänge in der betrachteten Knickebene

Bei Bauteilen mit offenen Querschnitten kann u.U. auch Drill- oder Biegdrillknicken maßgebend werden. Die Schlankheit ergibt sich in diesem Falle zu:

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \qquad \text{... EC 3, Gl. (6.52)}$$

3.8.4 Nachweis gegen Biegedrillknicken um die Hauptachse

Der Nachweis gegen Biegedrillknicken erfolgt nach dem Ersatzstabverfahren aus [3], 6.3.2.3. Das Verfahren ist für gewalzte oder gleichartige geschweißte Querschnitte unter Biegebeanspruchung erlaubt. Es wird für doppelsymmetrische Doppel-T-Profile der Querschnittsklassen 1 bis 3 angewandt.

Die Nachweisgleichung hat die Form

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \le 1.0 \qquad \text{... EC 3, Gl. (6.54)}$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \qquad \text{... EC 3, Gl. (6.55) ... mit ...}$$

$W_y = W_{pl,y}$ ... für Querschnitte der Klassen 1 oder 2

$W_y = W_{el,y}$ ... der Klasse 3

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} \qquad \text{... jedoch ...} \quad \begin{cases} \chi_{LT} \le 1.0 \\ \chi_{LT} \le \dfrac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases}$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left(1 + \alpha_{LT} \cdot \left(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}\right) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2\right)$$

$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$ Höchstwert

$\beta = 0.75$ Mindestwert

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

Die Biegedrillknicklinien werden entsprechend EC 3, Tab. 6.5, berücksichtigt.

Das Biegdrillknickmoment wird wie folgt bestimmt:

$$M_{cr} = \zeta \cdot N_{cr} \cdot \left(\sqrt{c^2 + \left(\beta_z \cdot \frac{z_p}{2}\right)^2} + \beta_z \cdot \frac{z_p}{2}\right) \qquad \text{... mit ...}$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I_z}{(\beta_z \cdot l)^2}$$

$$c^2 = \frac{(\beta_z \cdot l)^2}{I_z} \cdot \left(\frac{I_\omega}{(\beta_0 \cdot l)^2} + \frac{G \cdot I_T}{E \cdot \pi^2}\right)$$

Die ζ-Werte werden nach [13] ermittelt.

Zur Berücksichtigung der Momentenverteilung zwischen den seitlichen Lagerungen darf χ_{LT} wie folgt modifiziert werden:

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \qquad \text{... jedoch ...} \quad \begin{cases} \chi_{LT} \le 1.0 \\ \chi_{LT} \le \dfrac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases}$$

$$f = 1 - 0.5 \cdot (1 - k_c) \cdot \left[1 - 2.0 \cdot \left(\bar{\lambda}_{LT} - 0.8\right)^2\right] \qquad \text{... jedoch ...} \quad f \le 1.0$$

Hohlprofile sind nach EC 3-1-1, 6.3.2.1(2), nicht biegedrillknickgefährdet, der Abminderungsfaktor ist also nicht relevant ($\chi_{LT,mod} = 1$).

Die Momenten-Querkraft-Interaktion wird n. EC 3-1-1, 6.2.8, durch eine Verringerung der Streckgrenze berücksichtigt,

$$\text{Für } V_{Ed} > V_{pl,Rd}/2 \text{ gilt } f_y = (1 - \rho) \cdot f_y \text{ ... mit ... } \rho = \left(2 \cdot V_{Ed}/V_{pl,Rd} - 1\right)^2$$

wobei sich die Querkraft aus der Momentenverteilung (s. EC 3-1-1, Tab. 6.6) ergibt.

Der Nachweis für Bauteile, die auf Biegung und Druck beansprucht werden, wird nach EC 3, 6.3.3, geführt.

Die Nachweisgleichungen haben die Form

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \qquad \text{... EC 3, Gl. (6.61)}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \qquad \text{... EC 3, Gl. (6.62)}$$

$N_{Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$	Bemessungswerte der Druckkraft und der einwirkenden maximalen Momente um die y-y-Achse und z-z-Achse
χ_y, χ_z	Abminderungsbeiwerte für Biegeknicken n. 6.3.1
χ_{LT}	... für Biegedrillknicken n. 6.3.2
$k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$	Interaktionsfaktoren werden nach EC 3, Anhang B, Verfahren 2, bestimmt

3.8.5 Stabilität im Brandfall

Ebenso wie die Spannungsnachweise werden die Stabilitätsnachweise mit den reduzierten Festigkeiten geführt. Die Nachweisführung erfolgt auf Traglastebene.

Die im Folgenden beschriebenen Nachweise gelten für Querschnittsklassen 1 bis 3.

Biegeknicken

N. 4.2.3.2 berechnet sich die Knickfestigkeit druckbeanspruchter Bauteile der Querschnittsklassen 1 bis 3 zu

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} \cdot A \cdot k_{y,0} \cdot f_y / \gamma_{M,fi} \quad \text{... mit ...}$$

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_\theta + \sqrt{\varphi_\theta^2 - \bar{\lambda}_\theta^2}} \quad \text{... und ...} \quad \varphi_\theta = 0.5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot \bar{\lambda}_\theta + \bar{\lambda}_\theta^2\right) \quad \text{... und ...} \quad \alpha = 0.65 \cdot \sqrt{235 / f_y} \quad \text{... und ...}$$

$$\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} \cdot \sqrt{k_\theta / k_{E,\theta}}$$

Im Unterschied zur Bemessung bei Normaltemperatur wird für $\chi_{min,fi}$ der kleinere der beiden Werte $\chi_{fi,y}$ und $\chi_{fi,z}$ verwendet. Der Imperfektionsbeiwert α ist auf die Streckgrenze bei Normaltemperatur f_y zu beziehen.

Die Knicklänge sollte i.A. der Knicklänge bei Normaltemperatur entsprechen. Wenn das betrachtete Bauteil ein Durchlaufträger oder eine durchlaufende Stütze ist und sich in einem abgeschlossenen Brandraum befindet, darf die Knicklänge im Brandfall reduziert werden auf $l_{fi} = 0.7 \cdot L$ im Endfeld bzw. lfi = 0.5 · L im Innenfeld mit der Feldlänge L.

Eine seitliche Aussteifung darf berücksichtigt werden, wenn sie den gleichen Feuerwiderstand aufweist wie das auszusteifende Bauteil.

Biegedrillknicken

N. 4.2.3.3(4) berechnet sich die Biegedrillknickbeanspruchbarkeit eines Bauteils mit einem Querschnitt der Klassen 1 bis 3 bei gleichmäßiger Temperaturverteilung zu

$$M_{b,fi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} \cdot W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta,com} \cdot f_y / \gamma_{M,fi} \quad \text{... mit ...}$$

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\Phi_{LT,\theta,com} + \sqrt{\Phi_{LT,\theta,com}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2}}$$

$$\Phi_{LT,\theta,com} = 0.5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot \bar{\lambda}_{LT,\theta,com} + \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2\right) \quad \text{... und ...} \quad \alpha = 0.65 \cdot \sqrt{235 / f_y} \quad \text{... und ...}$$

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \bar{\lambda}_{LT} \cdot \sqrt{k_{y,\theta,com} / k_{E,\theta,com}}$$

$k_{y,\theta,com}$ und $E_{\theta,com}$ sind die Abminderungsfaktoren des Materials bei maximaler Temperatur im Druckflansch. Vereinfachend können die Faktoren für die maximale Temperatur θ_a im Querschnitt verwendet werden.

Interaktion Druck und Biegung

Die Tragfähigkeit von auf Biegung und Druck beanspruchten Bauteilen wird n. EC 3-1-2, 4.2.3.5, nachgewiesen mit

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{min,fi} \cdot A \cdot k_{y,0} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} + \frac{k_y \cdot M_{y,fi,Ed}}{W_y \cdot k_{y,0} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} + \frac{k_z \cdot M_{z,fi,Ed}}{W_z \cdot k_{y,0} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} \leq 1 \qquad \text{EC 3-1-2 Gl. 4.21 a+c}$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} \cdot A \cdot k_{y,0} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,fi} \cdot W_y \cdot k_{y,0} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} + \frac{k_z \cdot M_{z,fi,Ed}}{W_z \cdot k_{y,0} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} \leq 1 \qquad \text{EC 3-1-2 Gl. 4.21 b+d}$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} \cdot A \cdot k_{y,0} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} \leq 1 \quad \text{... mit ...} \quad \mu_{LT} = 0.15 \cdot \bar{\lambda}_{z,0} \cdot \beta_{M,LT} - 0.15 \leq 0.9$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{y,fi} \cdot A \cdot k_{y,0} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} \leq 3 \quad \text{... mit ...} \quad \mu_y = (2 \cdot \beta_{M,y} - 5) \cdot \bar{\lambda}_{y,0} + 0.44 \cdot \beta_{M,y} + 0.29 \leq 0.8$$

$$\text{... mit ...} \quad \bar{\lambda}_{y,20°C} \leq 1.1$$

$$k_z = 1 - \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} \cdot A \cdot k_{y,0} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} \leq 3 \quad \text{... mit ...} \quad \mu_z = (1.2 \cdot \beta_{M,z} - 3) \cdot \bar{\lambda}_{z,0} + 0.71 \cdot \beta_{M,z} - 0.29 \leq 0.8$$

wobei $W_y = W_{y,pl}$, $W_z = W_{z,pl}$ bei Querschnitten der Klasse 1 und 2 und $W_y = W_{y,el}$, $Wz = W_{z,el}$ bei Querschnitten der Klasse 3 gesetzt werden.

Der Anpassungsfaktor für den Momentenverlauf wird EC 3-1-2 Bild 4.2, entnommen.

Momentenverlauf	Anpassungsfaktor β_M
Endmomente $-1 \leq \psi \leq 1$ M_1 $\psi \cdot M_1$	$\beta_{M,\psi} = 1.8 - 0.7 \cdot \psi$
Momente aus Querlasten in Tragwerksebene M_Q	$\beta_{M,Q} = 1.3$ $\beta_{M,Q} = 1.4$
Momente aus Querlasten in Tragwerksebene mit zusätzlichen Endmomenten ΔM M_Q	$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} \cdot (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$ $M_Q = \lvert \max M \rvert$ nur aus Querlast $\Delta M = \lvert \max M \rvert$ ..... bei Momentenverläufen ohne Vorzeichenwechsel $\Delta M = \lvert \max M \rvert + \lvert \min M \rvert$ bei Momentenverläufen mit Vorzeichenwechsel

3.8.6 Beispiele

Das Programm ***4H***-EC3ST führt die Stabilitätsnachweise Biegeknicken und Biegedrillknicken unter Normaltemperatur oder im Brandfall für ausgewählte dünnwandige Querschnitte der Klasse 1 bis 3.

Nähere Informationen zum Biegeknicken finden Sie unter Abs. 3.8.3, S. 28.

... zum Biegedrillknicken finden Sie unter Abs. 3.8.4, S. 29.

... zur Berechnung im Brandfall finden unter Abs. 3.8.5, S. 30.

Im Folgenden wird beispielhaft der Berechnungsablauf dargestellt. Beispiel 1 behandelt den Biegedrillknicknachweis eines Rahmenriegels bei Normaltemperatur; Beispiel 2 stellt den Biegedrillknicknachweis einer Stütze im Brandfall dar.

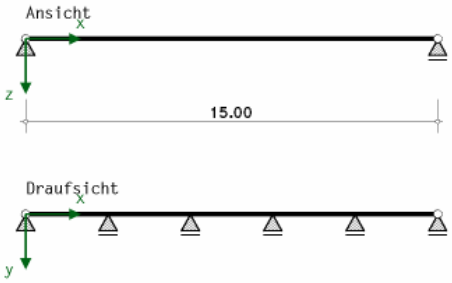
Bsp. 1: Rahmenriegel, L = 15 m, IPE 450, S 355, seitlich ausgesteift durch vier Querträger (aus Kommentar EC 3, Kap. IV.12)

Ein Riegel wird durch Normalkraft und Biegung um die starke Achse (y-Achse) beansprucht. Der Lastangriffspunkt befindet sich in Mitte der Trägeroberkante. Die Stabenden sind gabelgelagert.

Der Obergurt wird seitlich durch vier Querträger (Stützweiten 5 m) gehalten, die in dieser Richtung auch die Knicklänge des Riegels reduzieren.

Zusätzlich zu den Stabilitätsnachweisen werden der c/t- und der Spannungsnachweis geführt.

Das System wird grafisch dargestellt und zeigt die Lage der Zwischenlager, die hier durch die Pfetten (Querträger) in y-Richtung gebildet werden.



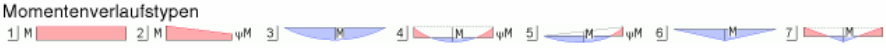
In diesem Beispiel werden die Schnittgrößen für einen Biegedrillknicknachweis N+M_y (Momentenverlaufstyp 5) definiert. Für den Spannungsnachweis, der am Stabende zu führen ist, wird die zugehörige Querkraft eingetragen.

1.8. Bemessungsschnittgrößen (Lastkombinationen)

Lk	N_d kN	Typ -y-	$M_{0y,d}$ kNm	ψ_y -	$k_{c,y}$ -	ζ_y -	$V_{z,d}$ kN
1	24.00	5	393.80	0.798	0.910	1.993	-230.70

N_d: konstante Normalkraft im Stab; Typ (y): Momentenverlaufstyp je Richtung; $M_{0y,d}, \psi_y$: Bezugsgrößen des Momentenverlaufs
$k_{c,y}, \zeta_y$: Beiwerte für die Berechnung; $V_{z,d}$: maximale Querkraft am Stabende

Momentenverlaufstypen



Die vier Querträger bewirken eine drehelastische Einspannung, die näherungsweise durch eine Vergrößerung des Torsionsträgheitsmoments berücksichtigt wird. Der Drehfederanteil durch die Querträger wird nach Lindner (s. Abs. 3.8.2, S. 25) bestimmt.

1.9. Drehelastische Bettung durch 4 Querträger
Profil IPE180
$h = 180.0$ mm, $t_w = 5.3$ mm, $b_f = 91.0$ mm, $t_f = 8.0$ mm, $r = 9.0$ mm
$A = 23.95$ cm², $I_y = 1316.94$ cm⁴, $I_z = 100.83$ cm⁴, $I_T = 5.15$ cm⁴, $y_s = -45.5$ mm, $z_s = 90.0$ mm
$E = 210000$ N/mm², $c = 3.000$ m (Abstand), $I_y/c = 4389797$ mm³, $s = 6.000$ m (Stützweite)
$C_{D,B}$: Berechnung nach Lindner, $C_{D,C}$: Innenfeld
$C_{D,B} = 26.620$ kNm/m, $C_{D,C} = 614.572$ kNm/m, $C_D = 25.515$ kNm/m $\Rightarrow$ **$I_T^* = 95.91$ cm⁴**
$I_T^* = I_T + \Delta I_T$ mit $I_T = 67.10$ cm⁴, $\Delta I_T^* = (C_D \cdot c^2)/(G \cdot \pi^2) = 28.81$ cm⁴

Die Querträger werden im Abstand c derart am Hauptträger angebracht, dass sie das seitliche Ausweichen des Druckgurts verhindern bzw. reduzieren. Die Länge der Querträger (Stützweite) wird mit s bezeichnet. Aus der Gesamtsteifigkeit der Drehfeder lässt sich ein vergrößertes Torsionsträgheitsmoment I_T* berechnen.

2. Nachweise

2.1. Querschnittsklassifizierung

2.1.1. Lastkombination 1 ⇒ Querschnittsklasse 1

Nr	c mm	t mm	c/t -	ε -	σ1 N/mm²	σ2 N/mm²	Tab 5.2	α -	ψ -	kσ -	Klasse -
1	69.3	14.6	4.75	0.814	205.19	205.19	Eins. 1/1	---	---	---	1
2	69.3	14.6	4.75	0.814	205.19	205.19	Eins. 1/1	---	---	---	1
3	378.8	9.4	40.30	0.814	178.84	-173.98	Beids. 3/1	0.509	---	---	1
4	69.3	14.6	4.75	0.814	-200.34	-200.34	---------	---	---	---	---
5	69.3	14.6	4.75	0.814	-200.34	-200.34	---------	---	---	---	---

Druckspannungen haben entsprechend EC 3 ein positives Vorzeichen.
Die Nachweise erfolgen in der **vorgegebenen** Querschnittklasse 2: $U_{c/t}$ = 0.611 < 1 ok

Voraussetzung für die weitere Berechnung ist die Einordnung des Querschnitts in eine Klasse, die die Lastaufnahmekapazität kennzeichnet (s. Theorie Klassifizierung Abs. 3.8.1, S. 24). Querschnitte der Klasse 3 müssen elastisch, Querschnitte der Klassen 1 und 2 dürfen plastisch nachgewiesen werden.

Es besteht die Möglichkeit, das Nachweisverfahren zu steuern, indem eine Querschnittsklasse vorgegeben wird. Der Nachweis wird geführt mit $U_{c/t}$ = vorh (c/t) / zul (c/t).

In diesem Beispiel soll der Träger plastisch nachgewiesen werden, daher wurde die Querschnittsklasse 2 vorgegeben.

2.2. Spannungsnachweis gemäß EN 1993-1-1, 6.2

Nr	N_{Ed} kN	$M_{y,Ed}$ kNm	$V_{z,Ed}$ kN	σx N/mm²	τ N/mm²	σv N/mm²	U -
1	-24.00	314.25	-230.70	---	---	---	0.595

max U = 0.595 < 1 ok

Nach EC 3-1-1, 6.3.3(2) ist an den Bauteilenden zusätzlich ein Querschnittsnachweis zu führen.

Aus den Eingabegrößen N_d = const., M_d mit Momentenverlauf und max V_d können die Bemessungsgrößen N_{Ed}, M_{Ed}, V_{Ed} berechnet werden, mit denen der Querschnitt plastisch mit der Methode mit Dehnungsiteration (s. Theorie Querschnittsnachweise über den Link in der Onlinehilfe) nachgewiesen wird.

2.3. Biegedrillknicken gemäß EN 1993-1-1, 6.3.3

2.3.1. Biegeknicken für Normalkraft gemäß EN 1993-1-1, 6.3.1

I_p = 35420 cm⁴, I_T = 96 cm⁴, i_p^2 = 35850 mm, c^2 = 67105 mm², i_m^2 = 35850 mm²
Biegeknicken um die y-Achse:
i_y = 184.8 mm, β_z = 1.00 (⊥ z-Achse), $L_{cr,z}$ = 3.000 m, λ_1 = 76.409
λ_y = 1.062, y-Knicklinie a ⇒ α_y = 0.21, Φ_y = 1.155, χ_y = 0.622, **$N_{by,Rd}$ = 1983.40 kN**
Biegeknicken um die z-Achse:
i_z = 41.2 mm, β_y = 1.00 (⊥ y-Achse), $L_{cr,y}$ = 15.000 m, λ_1 = 76.409
λ_z = 0.952, z-Knicklinie b ⇒ α_z = 0.34, Φ_z = 1.081, χ_z = 0.628, **$N_{bz,Rd}$ = 2001.21 kN**

2.3.1.1. Ausnutzungen

Lk	N_d kN	U_y -	U_z -
1	24.00	0.012	0.012

Der Nachweis des Biegedrillknickens beinhaltet den Biegeknicknachweis, der um beide Achsen nur für die Normalkraft geführt. wird. Die Knicklänge senkrecht zur z-Achse wird durch die Querträger reduziert auf $L_{cr,z}$ = 15 / 5 = 3 m. Die Knicklinien werden vom Programm bestimmt.

Das Biegeknicken ist hier also unbedeutend.

2.3.2. Biegedrillknicken gemäß EN 1993-1-1 6.3.2 um die z-Achse

c^2 = 67105 mm², Knicklinie c ⇒ α_{LT} = 0.49, N_{cr} = 3868.88 kN

2.3.2.1. Ausnutzungen

Lk	M_{cr} kNm	λ_{LT} -	f -	Φ_{LT} -	χ_{LT} m	$\chi_{LT,mod}$ m	M_{Ed} kNm	$M_{b,Rd}$ kNm	U -
1	835.08	0.851	0.955	0.882	0.732	0.766	314.25	420.87	0.747

Der Biegedrillknicknachweis wird für das Biegemoment um die schwache Achse (z-Achse) geführt. Die Berechnung von c^2 erfolgt mit dem geänderten Torsionsträgheitsmoment I_T* durch die drehelastische Einspannung der Querträger. Die Knicklinie wird vom Programm bestimmt.

Die ausgewiesenen Ausnutzungen für das reine Biegeknicken und Biegedrillknicken brauchen nicht nachgewiesen zu werden, da sie in die Interaktionsgleichungen eingehen.

2.3.3. Interaktion

Lk	Gl.	C_{my}	k_{yy}	C_{mLT}	k_{zy}	U
		-	-	-	-	-
1	(6.61)	0.400	0.404	0.950	---	0.314
	(6.62)	---	---	0.950	0.998	**0.757**

max U = 0.757 < 1 ok

Bei der Beanspruchung Normalkraft mit Biegemoment sind die Interaktionsgleichungen (6.61) und (6.62) auszuwerten.

3. Endergebnis

Maximale Ausnutzung	U = 0.757 < 1 ok
c/t-Ausnutzung	U = 0.611 < 1 ok

Nachweis erbracht

Im Endergebnis wird die maximale Ausnutzung aus den Stabilitäts- und Spannungsnachweisen ausgegeben. Die c/t-Ausnutzung wird separat angeführt.

Bsp. 2: Stütze, seitlich gehalten, HE200B, S235, t_{fi} = 15 min, Putzbekleidung, allseitig beflammt (aus Fire Design of Steel Structures, Bsp. 5.9, modifiziert)

Eine durchlaufende Stütze ist in der Zwischenetage (Geschosshöhe 3 m) eines aussteifenden Rahmens zu untersuchen. Sie wird zusätzlich zur Druckkraft durch ein Biegemoment (linearer Verlauf) beansprucht. Sie soll im Brandfall 30 Minuten standhalten und wird daher mit Wärmedämmschutz versehen. Der Querschnitt ist allseitig beflammt.

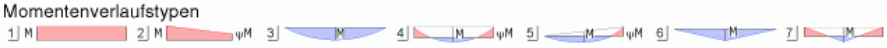
Die Schnittgrößen sind für einen Biegedrillknicknachweis N+M_y (mit ψ =-1 Momentenverlaufstyp 2) definiert.

1.8. Bemessungsschnittgrößen (Lastkombinationen)

Lk	N_d kN	Typ -y-	$M_{0y,d}$ kNm	ψ_y -	$k_{c,y}$ -	ζ_y -
1	800.00	2	50.00	-1.000	0.602	2.555

N_d: konstante Normalkraft im Stab; Typ (y): Momentenverlaufstyp je Richtung; $M_{0y,d}, \psi_y$: Bezugsgrößen des Momentenverlaufs
$k_{c,y}, \zeta_y$: Beiwerte für die Berechnung

Momentenverlaufstypen

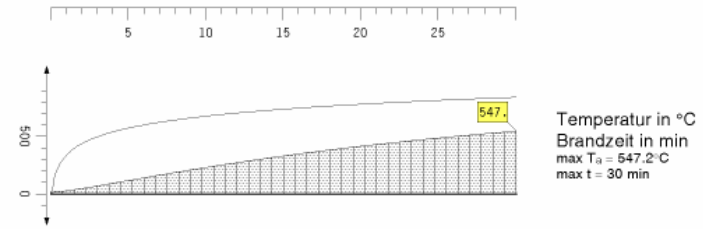


Die Angaben für die Berechnung der Querschnittstemperatur und der daraus folgenden reduzierten Tragfähigkeit betreffen

1.9. Brandschutznachweis
thermische Beanspruchung mit der Einheitstemperaturkurve, Feuerwiderstandsdauer t = 30.0 min
Profil allseitig beflammt
Wärmedämmschutz durch Putzbekleidung n. EC 3-1-2, Anhang AA:
Wärmeleitfähigkeit λ_p = 0.12 W/(m·K), spezifische Wärmekapazität c_p = 1100 J/(kg·K), Rohdichte ρ_p = 550 kg/m³
Dicke des Dämmstoffs d_p = 5.0 mm
Rohdichte Stahl 7850.0 kg/m³, Raumtemperatur 20.0 °C
Brandschutznachweis auf Traglastebene
Anpassungsfaktoren der Biegemomente für eine ungleichmäßige Temperaturverteilung
über den Querschnitt κ_1 = 1.00, entlang des Trägers κ_2 = 1.00

2. Querschnittstemperatur

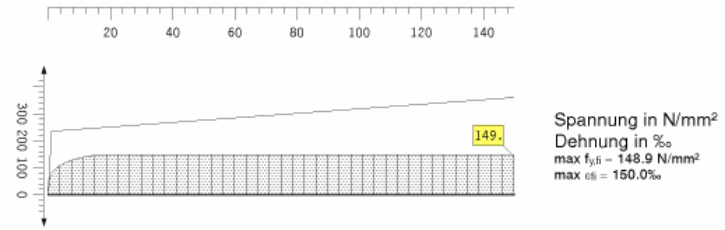
innere Abwicklung der brandbeanspruchten profilfolgenden Verkleidung A_p = 1151.1 mm²/mm
Profilfaktor des geschützten Bauteils A_p/V = 1151.1 / 7808.1 ·10³ = 147.4 1/m
Temperaturentwicklung:



Querschnittstemperatur nach t = 30.0 min: **T_a = 547.2 °C**

Im Brandfall sinkt die Festigkeit des Stahls z.T. massiv. Die thermische Beanspruchung ergibt eine Stahltemperatur von T_a = 547°C für das wärmegedämmte Profil. Die Temperaturentwicklung des Stahlquerschnitts im zeitlichen Verlauf wird im Bezug zur Einheitstemperaturkurve dargestellt.

Abminderungsfaktoren: $k_{y,fi}$ = 0.634, $k_{E,fi}$ = 0.463
Materialkennwerte: $f_{y,fi}$ = 148.9 N/mm², E_{fi} = 97242.3 N/mm²
Grenzdehnungen: $\varepsilon_{y,fi}$ = 20‰, $\varepsilon_{t,fi}$ = 150‰
Spannungsdehnungslinie:



Infolge der Temperaturbelastung sinken die Festigkeitswerte $f_{y,fi} = k_{y,fi} \cdot f_y = 149$ N/mm^2 und $E_{fi} = k_{E,fi} \cdot E = 97242$ N/mm^2. Die Spannungsdehnungslinie des heißen Stahls wird im Vergleich zur 'kalten' Spannungsdehnungslinie dargestellt.

Die Nachweise werden unter Beachtung der Regeln des EC 3-1-2 geführt.

3. Nachweise

3.1. Querschnittsklassifizierung

3.1.1. Lastkombination 1 ⇒ Querschnittsklasse 1

Nr	c mm	t mm	c/t -	ε -	σ1 N/mm²	σ2 N/mm²	Tab 5.2	α -	ψ -	kσ -	Klasse -
1	77.5	15.0	5.17	0.850	183.57	183.57	Eins. 1/1	---	---	---	1
2	77.5	15.0	5.17	0.850	183.57	183.57	Eins. 1/1	---	---	---	1
3	134.0	9.0	14.89	0.850	161.20	43.66	Beids. 3/1	1.000	---	---	1
4	77.5	15.0	5.17	0.850	21.29	21.29	Eins. 1/1	---	---	---	1
5	77.5	15.0	5.17	0.850	21.29	21.29	Eins. 1/1	---	---	---	1

Druckspannungen haben entsprechend EC 3 ein positives Vorzeichen.
Die Querschnittsklassifizierung im Brandfall erfolgt nach EC 3-1-2, 4.2.2.
Die Nachweise erfolgen in der kleinstmöglichen Querschnittklasse 1: **$U_{c/t}$ = 0.675 < 1** ok

Zunächst wird die minimale Querschnittsklasse unter Brandschutzbedingungen bestimmt.

Die Ausnutzung $U_{c/t}$ = (vorh c/t) / (erf c/t) = 0.675 wird protokolliert.

3.2. Biegedrillknicken

3.2.1. Biegeknicken für Normalkraft

I_p = 7700 cm^4, I_T = 60 cm^4, i_p^2 = 9859 mm, c^2 = 4747 mm^2, i_m^2 = 9859 mm^2
Biegeknicken um die y-Achse:
i_y = 85.4 mm, β_z = 0.50 (⊥ z-Achse), $L_{cr,z}$ = 1.500 m, λ_1 = 80.284
λ_y = 0.219, y-Knicklinie 'Brand' ⇒ α_y = 0.65, Φ_y = 0.595, χ_y = 0.871, **$N_{by,Rd}$ = 1012.69 kN**
Biegeknicken um die z-Achse:
i_z = 50.6 mm, β_y = 0.50 (⊥ y-Achse), $L_{cr,y}$ = 1.500 m, λ_1 = 80.284
λ_z = 0.369, z-Knicklinie 'Brand' ⇒ α_z = 0.65, Φ_z = 0.688, χ_z = 0.788, **$N_{bz,Rd}$ = 916.49 kN**

3.2.1.1. Ausnutzungen

Lk	Nd kN	Uy -	Uz -
1	800.00	**0.790**	**0.873**

Anschließend wird der Biegeknicknachweis für beide Richtungen geführt. Die Knicklänge entspricht bei eingespannten Stützen $L_{cr,z} = L_{cr,y} = 0.5 \cdot L = 1{,}5$ m. Die berechneten Ausnutzungen sind Zwischenergebnisse und müssen nicht nachgewiesen werden.

3.2.2. Biegedrillknicken für Biegung um die y-Achse

c^2 = 4747 mm^2, Knicklinie 'Brand' ⇒ α_{LT} = 0.65, N_{cr} = 8531.05 kN

3.2.2.1. Ausnutzungen

Brandfall: $M_{Ed} = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot M_{Ed}$

Lk	Klasse	Mcr kNm	λLT -	f -	ΦLT -	χLT m	χLT,mod m	MEd kNm	Mb,Rd kNm	U -
1	1 ⇒ Wpl,y	1501.52	0.253	1.000	0.614	0.852	0.852	50.00	81.58	**0.613**

3.2.3. Interaktionsnachweis nur mit Gl. (4.21a,c)

Lk	Gl.	μy -	ky -	μLT -	kLT -	U -
1	(4.21a)	0.800	0.368	---	---	**0.982**

max U = 0.982 < 1 ok

Da die Stütze seitlich (d.h. in z-Richtung) gehalten ist, wird nur die Interaktionsgleichung (4.21a für Querschnittsklasse 1) ausgewertet.

3.9 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
Abschattung 19
Anhang nationaler 37
Ausnutzung 22
Bauteil erzeugen 7
Beispiele 32
Bemessungsschnittgrößen 21
Biegedrillknicken 11, 29
Biegeknicken 11, 28
blank 2
Brandfall 19, 30
Cursor 2
Drehachse gebundene 25
Drehbettung 15
Drehfedersteifigkeit 15, 17, 25
Druckeinstellungen 23
Einwirkung 2
e-Mail 6
Extremalbildungsvorschrift 2
Installation 5
Interaktion 31
Knicklängenbeiwert 14
Knicklinie 12
Kontextsensitivität 6
Lastbild 2
Lastfall 2
Lastkollektiv 2
Materialsicherheitsbeiwerte 12
Momentenverlauf 21
Nachweise 11
Normenbezug 11
Ordner 7
Profil parametrisiertes 17
Profilmanager 17
Querschnitt 12
Querschnittsklassen 11
Querschnittsklassifizierung 24
Querschnittsnachweis 11
Querträger 17
Schreibtisch 6
Schreibtischauswahl 5
Schubfeldsteifigkeit 16, 25
Stahlgüte 11
Startsymbol 5
Steuerbutton 6
Systemlänge 13
Temperaturverteilung 20
Temperaturzeitkurve 19
Trapezblech 15
Wölbeinspanngrad 14
Zwischenlager 13