

4H-QUER dünn- u. dickwandige Querschnitte

Seite neu erstellt November 2015

• Kontakt



• Programmübersicht



• Bestellformular



Infos auf dieser Seite

... als pdf



• Eingabeoberfläche		• Objekte modellieren		• Theorie	
• Allgemeines		• Allgemeines		• Koordinatensysteme	
• dünnwandige Querschnitte ...		• Undo-Service		• Schwerpkt, Tr.-Momente	
• dickwandige Querschnitte		• Doppelklickfunktionen		• Verwölbung, Schubmittelpunkt	
• Oberfläche		• Auswählen u. Abwählen		• Schnittgrößen, Spannungen ..	
• Koordinatensysteme		• löschen, kopieren, ausschn.		• Wagner-Effekt	
		• Modellieren-Fenster		• Schubkorrekturfaktoren	
• Querschnittsverwaltung				• mehrteilige Querschnitte	
		• Hilfsmittel		• plastische Widerstandsmom.	
• Objekte erzeugen		• Konstruktionskoordinatensyst.		• Finite Elemente	
• Allgemeines		• Darstellungseigenschaften		• ausgewiesene Werte	
• dünnw. Objekte erzeugen		• Maßlinien u. Fangrasterpunkte		• alternative Berechnung	
• dickw. Objekte erzeugen		• DXF-Vorlagen		• Literatur	
• Stahleinlagen		• Elemente neu nummerieren ...			
		• Querschnitte tabellarisch			
		• Querschnitt drucken			
		• Querschnitt plotten			
		• Querschnitt visualisieren			

Eingabeoberfläche

• Allgemeines

4H-QUER dient der Analyse von Stabquerschnitten und der Berechnung der Querschnittskennwerte, die für die Ermittlung zur Aufnahme von Schnittgrößen wesentlich sind.

4H-QUER kann als eigenständiges Programm aus der DTE[®]-Schreibtischschublade heraus aufgerufen werden. Viele **pcae**-Rechenprogramme ermöglichen den Import von in 4H-QUER definierten Querschnitten, um diese mit Stäben von Stabwerken oder Anschlüssen zu verknüpfen.

4H-QUER unterscheidet auf oberster Ebene zwischen *dünnwandigen* und *dickwandigen Querschnitten*.

• dünnwandige Querschnitte

Dünnwandige Querschnitte werden als Netzwerk von Knotenpunkten und diese verbindende Linien beschrieben.

Linien können gerade oder kreisbogenförmig sein und verfügen über eine Dicke, die als konstant oder linear veränderlich festgelegt werden kann.

An den Linienenden können Abrundungen definiert werden, die den Übergang von einer Linie zur nächsten beschreiben.

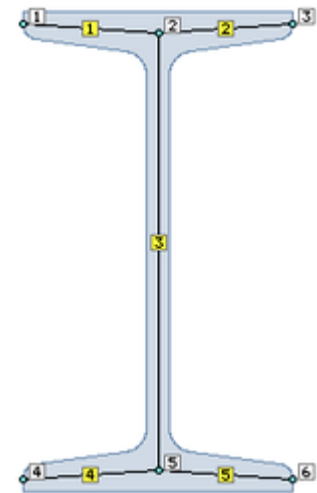
An den freien Enden können darüber hinaus Abschrägungen angegeben werden.

Dies alles stellt sicher, dass die Profile des DTE[®]-Profilmanagers (mit Ausnahme der Elliptischen Rohre) geometrisch korrekt beschrieben werden können.

Nebenstehend ist ein typisches Beispiel eines dünnwandigen Querschnitts dargestellt. Es besteht aus 6 Knotenpunkten und 5 Linien, die gemeinsam ein Doppel-T-Profil der IPN-Familie abbilden.

Man beachte, dass die meisten **pcae**-Programme beim Import von 4H-QUER-Querschnitten einen bestimmten Typ vorschreiben!

Hierbei sind die dünnwandigen Querschnitte i.d.R. dem Stahlbau zugeordnet.

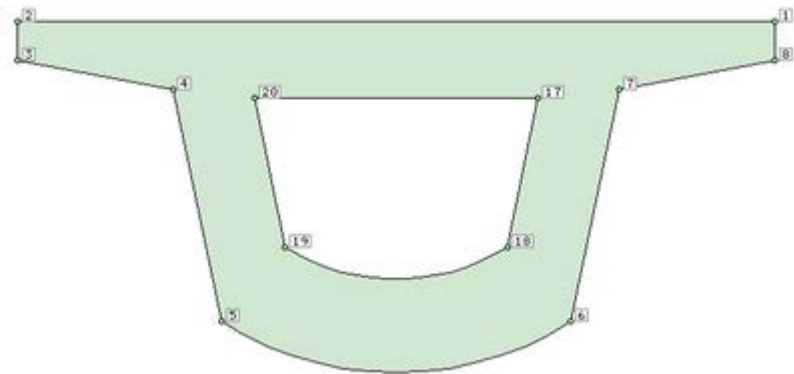


• dickwandige Querschnitte

Dickwandige Querschnitte werden als polygonal umrandete Flächen eingegeben.

Die einzelnen Polygonabschnitte können gerade oder kreisbogenförmig sein.

Wie dem nebenstehenden Beispiel entnommen werden kann, können zusätzlich zur Außenkontur weitere Polygonzüge zur Definition von Aussparungen erzeugt werden.



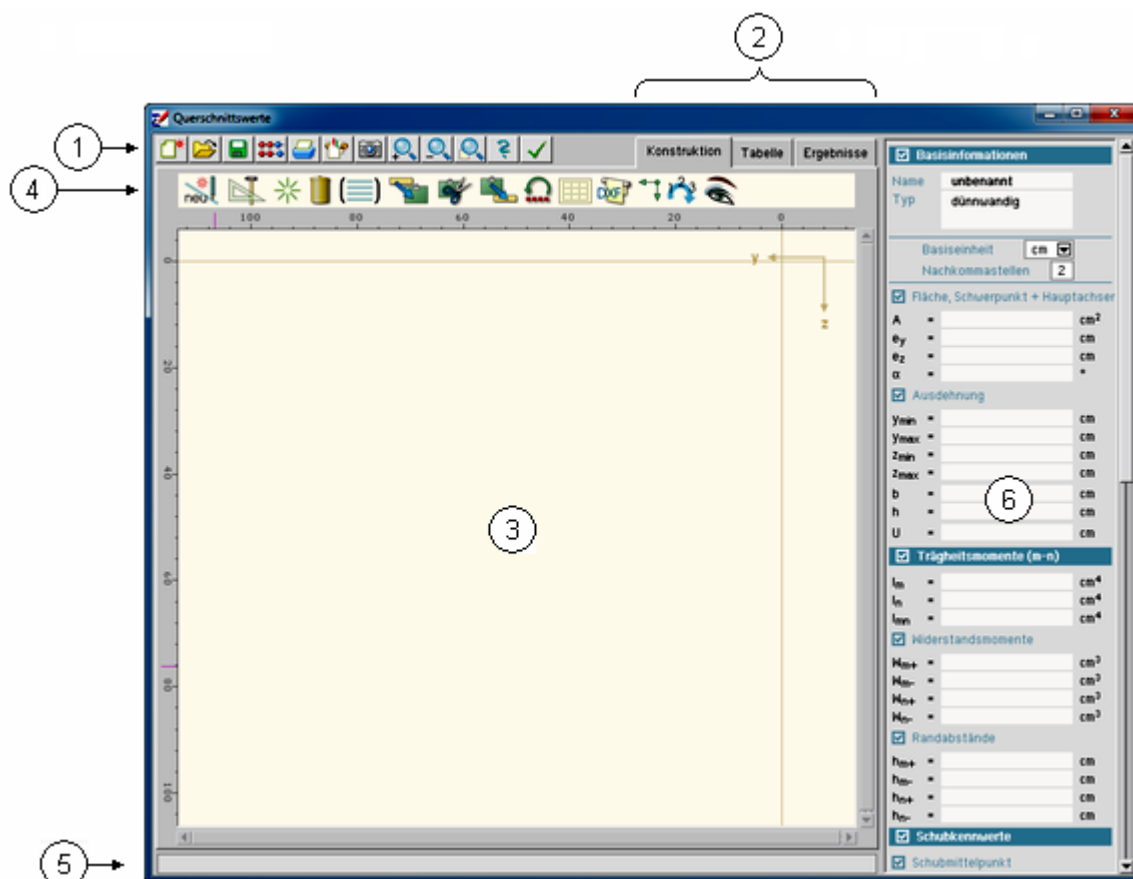
Weiterhin können dem Querschnitt punkt- und linienförmige Stahleinlagen sowie Spannstähle mit Hüllrohren hinzugefügt werden.

Auf diese Weise lassen sich Netto-, Brutto- und ideelle Querschnittswerte ermitteln.

In den **pcae**-Stabwerksprogrammen sind dickwandige Querschnitte den Stahlbeton- und Holzstäben zugeordnet.

• Oberfläche

Nachfolgend ist das 4H-QUER-Bearbeitungsfenster im Normalmodus dargestellt.



Hierin bedeuten

Hauptbuttonleiste - 1



Erzeugung eines neuen Querschnitts.

Der Inhalt des Konstruktionsfensters wird gelöscht und der Zustand wird auf voreingestellte Werte gesetzt. Der Benutzer wird gefragt, ob ein dünn- oder ein dickwandiger Querschnitt erstellt werden soll.



Laden eines gespeicherten Querschnitts.

Das Eigenschaftsblatt zur Verwaltung gespeicherter Querschnitte wird auf der Seite [Verwaltung](#) erläutert.



Speichern des aktuell bearbeiteten Querschnitts



Bei dickwandigen Querschnitten werden die Schubkennwerte mithilfe eines Finite-Elemente-Programms ermittelt. Da dies einen kurzen Augenblick dauert, wird die Berechnung erst auf Anforderung durch Anklicken des [Abacus](#)-Buttons gestartet.



Der aktuell bearbeitete Querschnitt wird auf dem Drucker ausgegeben.

Weitere Informationen zur Druckausgabe s. Querschnitt [drucken](#).



Der aktuell bearbeitete Querschnitt wird in einem vorgegebenen Maßstab in eine Plotdatei geschrieben. Zur Weiterverarbeitung wird das DTE®-eigene Planerstellungsmodule aufgerufen.



Der aktuell bearbeitete Querschnitt wird an das DTE®-eigene FotoView-Programm zur realistischen dreidimensionalen Darstellung weitergegeben.



Durch Anklicken des [Zoom](#)-Buttons erscheint ein Fadenkreuz im Konstruktionsfenster, mit dem ein rechteckförmiger Teilbereich ausgewählt werden kann, der dann vergrößert dargestellt wird.



Mithilfe dieses Buttons wird auf den vorangegangenen Zoomzustand zurückgesprungen.



Dieser Buttons stellt sicher, dass der gesamte Arbeitsbereich im Fenster erscheint.

Die Größe des Arbeitsbereichs kann vom Benutzer festgelegt werden. Näheres hierzu s. [Darstellungseigenschaften](#).



Aufruf dieses Helpdokuments



Ende der Bearbeitung von Querschnitten mit 4H-QUER. Das Fenster wird geschlossen.

Wurde 4H-QUER von anderen **pcae**-Programmen zur Übernahme von Querschnitten aufgerufen, erfolgt eine Nachfrage, ob der aktuelle Querschnitt übergeben werden soll.

Register - 2

Es werden drei Register angeboten

- Konstruktion Dies ist der Normalmodus von 4H-QUER. Hier können Querschnitte mit grafischen Hilfsmitteln konstruiert werden. Entsprechende Werkzeuge werden bereitgestellt.
- Tabelle Im Register *Tabelle* können dieselben Daten tabellarisch eingegeben, überprüft und geändert werden.
- Ergebnisse Im Ergebnisregister werden Ergebnisse des aktuellen Querschnitts dargestellt, die sich (wie etwa Funktionsverläufe) nicht an einzelnen Parametern festmachen lassen.

Konstruktionsfenster - 3

Im Konstruktionsfenster werden die Objekte *Knotenpunkte* und *Linien* (bei dünnwandigen Querschnitten) bzw. *Polygonzüge* (bei dickwandigen Querschnitten) dargestellt.

Objekte können dort durch Anklicken oder Umfahren (Rechteck aufspannen) ausgewählt werden.

Ausgewählte Objekte können bearbeitet (**modelliert**) werden.

Konstruktionsschalttafeln - 4

Die Konstruktionsschalttafeln werden nur im Normalmodus (Konstruktionsregister) angeboten und dienen der grafischen Modellierung der aktuell im Konstruktionsfenster definierten Objekte.



Hinzufügen neuer Elemente zum aktuellen Querschnitt.

Die hierdurch hervorgerufenen Auswahlmenüs unterscheiden sich bei dünnwandigen und dickwandigen Querschnitten. Näheres s. **Objekte erzeugen**.



... ausgewählte Objekte können verschoben, verdreht, vergrößert, gespiegelt, ausgerichtet und verschnitten werden. Näheres s. **Modellieren**.



... alle ausgewählten Objekte werden abgewählt



... alle ausgewählten Objekte werden gelöscht



... alle ausgewählten Objekte werden gruppiert.

Die Objekte einer derart erzeugten Gruppe lassen sich nur noch gemeinsam auswählen. Darüber hinaus sind Gruppen vor bestimmten Modellierungsaktionen geschützt.



... die ausgewählten Objekte werden kopiert. Diese Funktion kann auch über die Tastatur mit [Strg][C] initiiert werden.



... die ausgewählten Objekte werden ausgeschnitten.

Das Ausschneiden entspricht dem Kopieren, jedoch werden die ausgewählten Objekte danach im Konstruktionsfenster gelöscht.

Diese Funktion kann auch über die Tastatur mit [Strg][X] initiiert werden.



... die zuvor kopierten Objekte werden eingefügt. Diese Funktion kann auch über die Tastatur mit [Strg][P] initiiert werden.



... die letzte Modellierungsaktion wird rückgängig gemacht. Diese Funktion kann auch über die Tastatur mit [Strg][Z] initiiert werden.



In einem speziellen Eigenschaftsblatt kann ein Hintergrundraster (mit Fangrasteroption) definiert und eingeblendet werden. Näheres s. **Maßlinien** und Fangrasterpunkte.



... eine DXF-Datei kann als Hintergrundbild geladen werden.

Auch für die Kontrollpunkte der DXF-Vorlage kann eine Kontrollpunktanziehung definiert werden.

Näheres s. **DXF**-Vorlagen.



Diese Schaltfläche dient dem An- bzw. Abschalten des Konstruktionskoordinatensystems (**KKS**). Hiermit können Punkte untereinander vermessen und Abstände korrigiert werden.



... Knoten und Linien können auf Basis einer geometrischen Ordnung neu durchnummeriert werden



Aufruf des Darstellungseigenschaftsblatts.

Hierin wird bestimmt mit welchen Informationen der Querschnitt im Konstruktionsfenster dargestellt werden soll. Ferner werden Dimensionen und Voreinstellungen festgelegt.

Informationszeile - 5

Hier werden nützliche Informationen und ggf. Interaktionsaufforderungen eingeblendet.

Ergebnisfenster - 6

Hier werden die zum aktuellen Zustand des Querschnitts gehörenden statischen Kennwerte angezeigt.

Hierzu wird der Querschnitt nach jeder Modellierungsaktion neu berechnet. Allein die Schubkennwerte dickwandiger Querschnitte müssen separat durch Anklicken des **Abacus**-Buttons in der Hauptbuttonleiste angefordert werden.

Die Bedeutungen der einzelnen ausgewiesenen Werte werden im theoretischen Kapitel von *4H-QUER* ausgewiesene **Werte** erklärt.

• Koordinatensysteme

In *4H-QUER* wird zwischen drei Koordinatensystemen unterschieden.

[x,y,z] ist das Beschreibungskoordinatensystem.

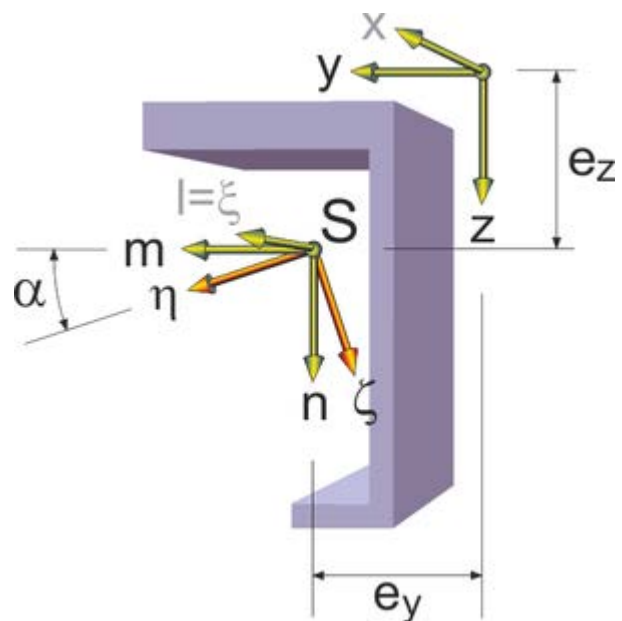
x steht stets senkrecht auf dem Querschnitt.

Im Konstruktionsfenster zeigt **y** nach links und **z** nach unten.

Die Lage des Nullpunkts ist beliebig und kann vom Anwender so gewählt werden, dass die Beschreibung des Querschnitts möglichst einfach gerät.

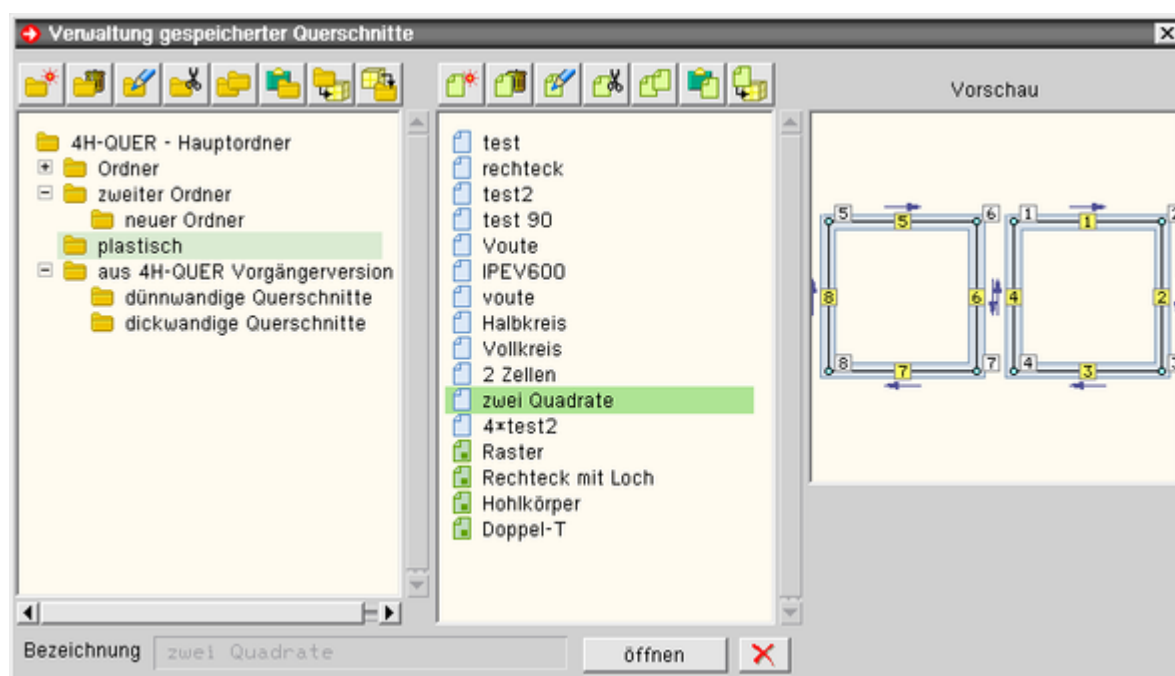
[l,m,n] ist das um **ey** und **ez** in den Schwerpunkt verschobene **[x,y,z]**-System

[ξ,η,ζ] ist das um den Hauptachseneckwinkel α um die l-Achse verdrehte **[l,m,n]**-System



Querschnittsverwaltung

Sollen Querschnitte gespeichert oder gespeicherte Querschnitte in das Konstruktionsfenster geladen oder zu bestehenden Objekten hinzugefügt werden, erscheint das Eigenschaftsblatt *Verwaltung gespeicherter Querschnitte*.



Die Querschnitte werden in übersichtlicher Form in vom Benutzer angelegten Ordnern gespeichert.

Alle Ordner befinden sich im *4H-QUER - Hauptordner*.

Wenn auf dem Rechner bereits die Vorgängerversion von *4H-QUER* installiert war, existiert der Ordner *aus 4H-QUER Vorgängerversion* mit den Unterordnern *dünnwandige Querschnitte* und *dickwandige Querschnitte*.

Die Ordner () werden im linken Fenster des Eigenschaftsblatts zur Auswahl und Bearbeitung in einer Baumstruktur angeboten. Oberhalb dieses Fensters sind Buttons zur Bearbeitung der Ordnerstruktur lokalisiert.



Erzeugen eines neuen Ordners im aktuell ausgewählten Ordner



Löschen des aktuell ausgewählten Ordners



Umbenennen des aktuell ausgewählten Ordners



Ausschneiden des aktuell ausgewählten Ordners



Kopieren des aktuell ausgewählten Ordners



Einfügen des kopierten oder ausgeschnittenen Ordners in den aktuell ausgewählten Ordner



der aktuell ausgewählte Ordner wird in eine externe **pcae**-Paketdienstdatei geschrieben



der Inhalt einer externen **pcae**-Paketdienstdatei wird in den aktuellen Ordner geladen

pcae-Paketdienstdateien können zur Sicherung und zum Austausch benutzereigener Daten verwendet werden.

Im mittleren Fenster werden die Querschnitte angezeigt, die sich im aktuell ausgewählten Ordner befinden.

An dem Symbol ist bereits zu erkennen, ob es sich bei dem Querschnitt um einen dünnwandigen () oder einen dickwandigen () Querschnitt handelt.

Ein ausgewählter Querschnitt wird im Vorschaufenster dargestellt.

Oberhalb des mittleren Fensters befinden sich Buttons zur verwaltungstechnischen Bearbeitung der Querschnitte.



Erzeugen eines neuen Querschnitts im aktuell ausgewählten Ordner



Löschen des aktuell ausgewählten Querschnitts



Umbenennen des aktuell ausgewählten Querschnitts



Ausschneiden des aktuell ausgewählten Querschnitts



Kopieren des aktuell ausgewählten Querschnitts



Einfügen des kopierten oder ausgeschnittenen Querschnitts in den aktuell ausgewählten Ordner



der aktuell ausgewählte Querschnitt wird in eine externe **pcae**-Paketdienstdatei geschrieben

Die Querschnittsverwaltung bietet keine undo-Aktion an. Jedoch werden gelöschte Querschnitte zunächst in einen automatisch temporär erzeugten Ordner mit der Bezeichnung *gelöschte Querschnitte* gespeichert.

gelöschte Querschnitte

Ein versehentlich gelöschter Querschnitt kann über den ausschneiden/einfügen-

Mechanismus wieder in einen regulären Ordner integriert werden.

Wird die Bearbeitung mit 4H-QUER beendet, wird dieser temporäre Ordner mitsamt seinem Inhalt endgültig gelöscht.

Je nach Kontext, aus dem heraus das Eigenschaftsblatt zur Verwaltung aufgerufen wurde, bietet ein Button die Aktionen **speichern**, **öffnen** oder **einfügen** an.

Objekte erzeugen

• Allgemeines

Unter dem Begriff *Objekte* werden bei dünnwandigen Querschnitten Knotenpunkte und Linienelemente und bei dickwandigen Querschnitten geschlossene Polygonzüge verstanden.

In beiden Fällen wird die Erzeugung neuer Objekte mit der nebenstehend dargestellten Schalttafel eingeleitet.

Existieren bereits Objekte im Konstruktionsfenster, werden die neu erzeugten Objekte hinzugefügt und können gemeinsam modelltechnisch weiterbearbeitet werden.

• dünnwandige Objekte erzeugen

Durch Anklicken der o.a. Schalttafel erscheint das nebenstehend dargestellte symbolische Untermenü, in dem verschiedene Aktionen gewählt werden können.



Mit diesem Symbol wird die manuelle Erzeugung von Knotenpunkten und Linienelementen eingeleitet. Es erscheint ein Fadenkreuz, mit dem die zu erzeugenden Linien jeweils vom Anfangsknoten zum Endknoten manuell (durch Bewegen der Maus) erzeugt werden können. Hierbei sind die Aufforderungen in der Informationszeile zu beachten!

Wird die Lage des Endknotens mit der linken Maustaste (LMT) bestätigt, ist die Schleife beendet. Die Bestätigung der Lage des Endknotens mit der rechten Maustaste (RMT) bewirkt, dass 4H-QUER die Eingabe der nächsten Linie erwartet.

Durch Anklicken eines bereits existierenden Knotens wird die zu erzeugende Linie mit diesem verknüpft. Die hier erzeugten Linien haben eine voreingestellte Dicke, die im *Darstellungseigenschaftsblatt* geändert werden kann.

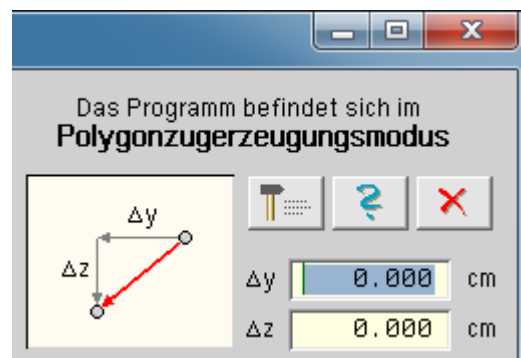
Mit diesem Symbol wird die numerische Erzeugung eines Polygonzugs eingeleitet.

Zunächst werden die Anfangskoordinaten des Polygonzugs abgefragt. Hiernach sind Δy - und Δz -Koordinatenpaare einzugeben, die einen Differenzsprung zum Nachfolgeknoten darstellen.

Die Erzeugung wird von einem am oberen rechten Fensterrand eingeblendeten Schaltflächenensemble unterstützt, das sich zum größten Teil selbst erklärt.

Hinter dem **Hammer**-Button verstecken sich drei nützliche Funktionen

- mit **Koordinatensystem drehen** kann ein Winkel vorgegeben werden, sodass nicht achsenparallele orthogonale Randstrukturen leicht beschrieben werden können
- mit **Linienzugmodus umschalten** kann das $[\Delta y, \Delta z]$ -Koordinatenpaar gegen das $[\Delta l, \alpha]$ -Wertepaar getauscht werden
- mit der Funktion **letzte Linie zurück** kann eine falsche Eingabe rückgängig gemacht werden

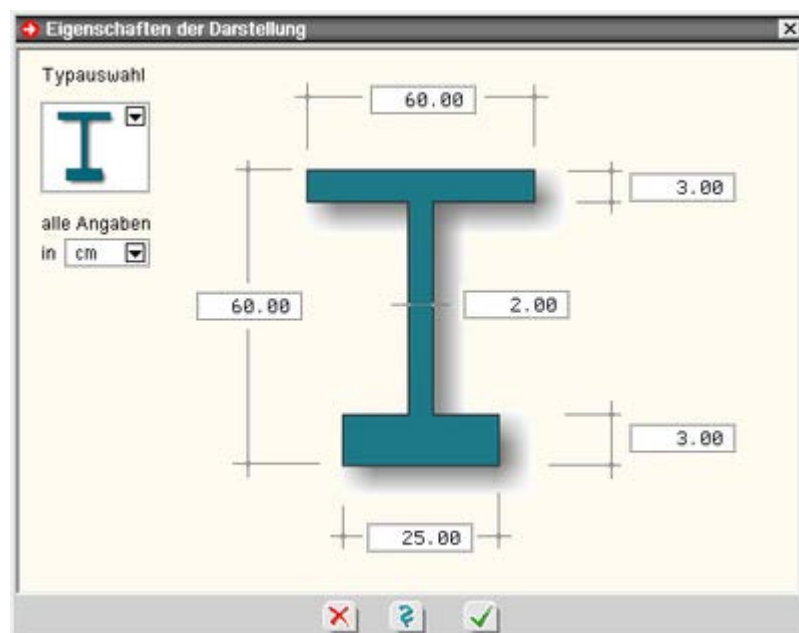


Durch Klicken des **X**-Buttons wird die Eingabe des Polygonzugs beendet.

über dieses Symbol können spezielle, typisierte Querschnitte erzeugt werden. Das nachfolgend dargestellte Eigenschaftsblatt erscheint.

Zunächst wird in einer Auswahlliste der Querschnittstyp bestimmt. Anschließend müssen die angebotenen

Maßlinienwerte dem gewünschten Querschnitt angepasst werden.



Mit diesem Symbol können Profile des Profilmanagers geladen werden.

Zur Auswahl wird der Profilmanager aufgerufen. Dank der Möglichkeiten, Ausrundungen, Abschrägungen und Linien mit gevouteten Dicken zu definieren, werden mit Ausnahme der elliptischen Hohlprofile alle Profile geometrisch exakt übernommen.

Elliptische Hohlprofile werden durch vier Kreisbögen angenähert. Hierbei ist sichergestellt, dass 1.) Höhe und Breite korrekt sind, 2.) die vier Knotenpunkte exakt auf der Ellipse liegen und 3.) die Kreisbögen glatt ineinander übergehen.



Durch Anklicken dieser Schaltfläche erscheint das Eigenschaftsblatt zur **Querschnittsverwaltung**, das ermöglicht, einen bereits definierten Querschnitt in das Konstruktionsfenster zu laden. Hierbei können nur dünnwandige Querschnitte ausgewählt werden.

• dickwandige Objekte erzeugen

Wird die unter **Allgemeines** gezeigte Schalttafel für einen dickwandigen Querschnitt angeklickt, erscheint das nebenstehend dargestellte symbolische Untermenü, in dem zwischen unterschiedlichen Aktionen gewählt werden kann.



Mit diesem Symbol wird die manuelle Erzeugung eines Polygonzugs eingeleitet. Es erscheint ein Fadenkreuz, mit dem der Polygonzug Linie für Linie mit der Maus abgefahren wird.

Bei einem Mausklick (linke Maustaste) wird ein Zwischenknoten erzeugt.

Die Schleife wird beendet, wenn der zuerst erzeugte Knotenpunkt angeklickt und damit der Polygonzug geschlossen wird.

Diese Funktion bietet sich insbesondere an, wenn zuvor ein Fangraster oder eine DXF-Vorlage aktiviert wurden.



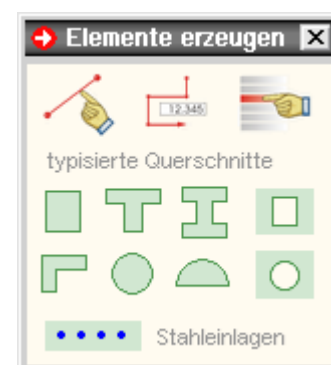
Mit diesem Symbol wird die numerische Erzeugung eines Polygonzugs eingeleitet.

Zunächst werden die Anfangskoordinaten des Polygonzugs abgefragt. Hiernach sind Δy - und Δz -Koordinatenpaare einzugeben, die einen Differenzsprung zum Nachfolgeknoten darstellen.

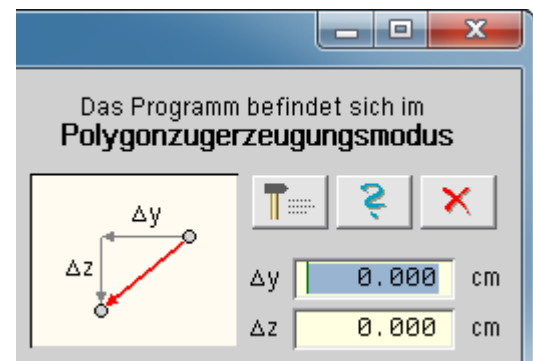
Die Erzeugung wird von einem am oberen rechten Fensterrand eingeblendeten Schaltflächenensemble unterstützt, das sich zum größten Teil selbst erklärt.

Hinter dem **Hammer**-Button verstecken sich drei nützliche Funktionen

- mit **Koordinatensystem drehen** kann ein Winkel vorgegeben werden, sodass nicht achsenparallele orthogonale Randstrukturen leicht beschrieben werden können



- mit **Linienzugmodus umschalten** kann das $[\Delta y, \Delta z]$ -Koordinatenpaar gegen das $[\Delta l, \alpha]$ -Wertepaar getauscht werden
- mit der Funktion **letzte Linie zurück** kann eine falsche Eingabe rückgängig gemacht werden



Durch Klicken des **X**-Buttons wird der Polygonzug geschlossen und der Erzeugungsmodus beendet.

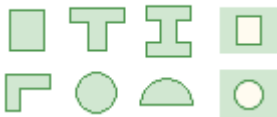


Durch Anklicken dieser Schaltfläche erscheint das Eigenschaftsblatt zur **Querschnittsverwaltung**, das ermöglicht, einen bereits definierten Querschnitt in das Konstruktionsfenster zu laden.

Hierbei können sowohl dickwandige als auch dünnwandige Querschnitte ausgewählt werden.

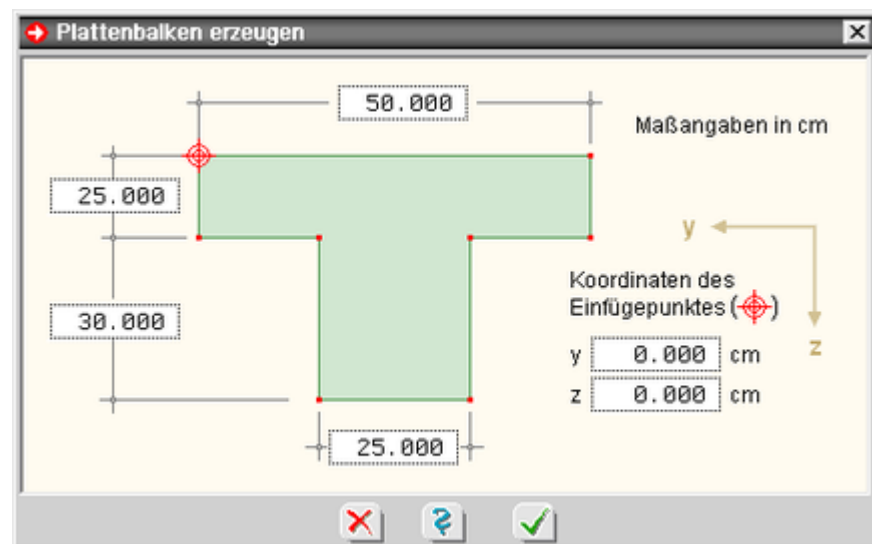
Dünnwandige Querschnitte werden bei der Übernahme in dickwandige Querschnitte umgewandelt.

typisierte Querschnitte



Wird einer der typisierten Querschnitte angeklickt, erscheint ein speziell auf den angeklickten Typ angepasstes Eigenschaftsblatt, in dem vorgegebene Maßlinien ausgefüllt werden können.

Darüber hinaus kann ein Einfügepunkt ausgewählt werden (Punkt anklicken) und dessen Koordinaten festgelegt werden.



• Stahleinlagen



Stahleinlagen

Dem dickwandigen Querschnitt können Stahleinlagen hinzugefügt werden.

Im Ergebnisfenster können dann wahlweise die Netto-, Brutto- oder ideellen Querschnittskennwerte eingesehen werden.

Das Eigenschaftsblatt zur Definition von Stahleinlagen unterscheidet zwischen drei Typen, die in Registern angeboten werden.

punktförmige Stahleinlagen

Hierbei ist der Stahlquerschnitt durch die Anzahl Stahlstäbe mit einem definierten Durchmesser oder direkt durch Vorgabe der Querschnittsfläche anzugeben, die in ihrer Lage punktförmig konzentriert angenommen wird.

Die Lage ist im $[y, z]$ -System vorzugeben.

Bei aktiviertem Konstruktionskoordinatensystem (KKS) kann die Vorgabe auch im KKS-System erfolgen.

Um die ideellen Querschnittskennwerte ermitteln zu können, muss das Verhältnis der Elastizitätsmoduln der Stahleinlage E_s zum Material des Querschnitts (meist Beton) E_c angegeben werden.

Die Gruppenzuordnung ist innerhalb von 4H-QUER ohne Bedeutung, kann aber für importierende Bemessungsprogramme von Relevanz sein.

Stahleinlage erzeugen

punktformige Stahleinlage

Querschnitt: $\odot$ 3 $\varnothing$ 14 mm
 $\bigcirc$ = 4.618 cm²

Lage: $\leftarrow$ 0,0 $\downarrow$ y 0.000 cm
z 0.000 cm

elastische Eigenschaft: $n = \frac{E_s}{E_c} = 7.00$

Gruppe 1

linienförmige Stahleinlagen

Hierbei wird davon ausgegangen, dass sich die Stahleinlagen auf einer Strecke vom Punkt $[y_a, z_a]$ bis zum Punkt $[y_e, z_e]$ kontinuierlich verteilen.

Die Koordinaten sind vorzugeben. Auch hierin kann das KKS benutzt werden.

Stahleinlage erzeugen

linienförmige Stahleinlage

Querschnitt: $\odot$ 3 $\varnothing$ 14 mm
 $\bigcirc$ = 4.618 cm²

Lage: $\leftarrow$ 0,0 $\downarrow$ y_a 15.000 cm
z_a 0.000 cm
y_e 25.000 cm
z_e 0.000 cm

elastische Eigenschaft: $n = \frac{E_s}{E_c} = 7.00$

Gruppe 1

Hüllrohr mit Spannstahleinlage

Hierbei sind zunächst Durchmesser und Lage des Hüllrohrs festzulegen.

Diese Werte beeinflussen die Netto-Kennwerte des Querschnitts.

Des Weiteren müssen Durchmesser und Lage des Spannstahls im Hüllrohr festgelegt werden.

Alle weiteren Angaben gelten wie zuvor beschrieben.

- **Allgemeines**

Außerdem wird die manuelle Verschiebeaktion nur für Knoten zugelassen, die nicht mit anderen Objekten zu einer Gruppe zusammengefasst wurden.

- **Undo-Service**



Die Undo-Funktion kann auch über die Tastenkombination [Strg][Z] aktiviert werden.

- **Doppelklickfunktionen**

Da bei dünnwandigen wie auch bei dickwandigen Querschnitten jeweils Linien und Knotenpunkte angeklickt werden können, müssen hier vier Eigenschaftsblätter erläutert werden.

individuelles Linieneigenschaftsblatt dünnwandiger Querschnitte

Wird bei einem dünnwandig beschriebenen Querschnitt eine Linie doppelt angeklickt, erscheint ihr individuelles Eigenschaftsblatt. Die Inhalte sind zeilenweise thematisch geordnet.

Linie

Liniennummer	2	Typ	Blech
Verknüpfung	Anfangsknoten	2	
	Endknoten	5	
Dicken ☐ gevoutet	am Anfangsknoten	20.000	mm
	am Endknoten	20.000	mm
Form ☒ Gerade ☐ Kreisbogen			
Abschrägungen nur für die Randbeschreibung an freien Enden relevant.	10.00°0.00°		
Aktion nach Bestätigung des Eigenschaftsblattes	☐ unterteilen Anzahl Zwischenknoten 0		

In der Zeile *Liniennummer* werden die Nummer und der Typ der Linie festgelegt.

Liniennummern sind eindeutig zu vergeben, um Irritationen im Protokoll und bei der tabellarischen Bearbeitung zu vermeiden. 4H-QUER wird bei der Erzeugung neuer Linien stets noch nicht vorhandene Nummern vergeben.

Der *Typ* unterscheidet zwischen *Blech* und *Schweißnaht*.

Während der Typ *Blech* einen normalen Teil des Querschnitts beschreibt wird der Typ *Schweißnaht* nur bei der Betrachtung des Schubflusses berücksichtigt. Ein Beispiel hierzu befindet sich im Tutorium.

In der Zeile *Verknüpfung* werden die Nummern von Anfangs- und Endknoten ausgewiesen.

Durch Klicken des Symbols hinter diesen Angaben werden Anfangs- und Endknoten vertauscht. Dies hat Einfluss auf die positive Linienrichtung und somit auf das Vorzeichen der Schubflüsse, wie sie im Register *Ergebnisse* dargestellt werden.

In der Zeile *Dicken* wird die Dicke des Blechs angegeben, die konstant oder linear veränderlich (gevoutet) sein kann.

Die *Form* einer Linie ist entweder *gerade* oder *kreisbogenförmig*. Die Voreinstellung ist *Gerade*. Durch Umschalten auf *Kreisbogen* wird das Eigenschaftsblatt um zusätzliche Eingabefelder erweitert.

Form
☐ Gerade
☒ Kreisbogen

Ay,zE

rα+s

y	79.3333	cm
z	20.0000	cm
r	22.6667	cm
s	12.0000	cm
α	123.8550	°

Vorschau:

Im mittleren Teil können die den Kreisbogen definierenden Größen eingegeben werden, die in der Skizze auf der linken Seite erläutert werden.

Da die Größen nicht unabhängig voneinander sind, werden bei Vorgabe eines Werts die jeweils anderen Werte berechnet und aktualisiert. Das Ergebnis der aktuellen Einstellungen kann unter der Überschrift *Vorschau* überprüft werden.



Durch Anklicken der nebenstehend dargestellten Schaltfläche verschwindet das Eigenschaftsblatt temporär und gibt den Blick frei auf die Linie. Durch Bewegen der Maus kann nun der Kreisbogen manuell verändert werden.

Mit einem Mausklick wird die Position festgelegt und das Eigenschaftsblatt erscheint wieder, in dem die derart definierten Kreisbogenwerte angezeigt werden.



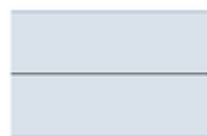
Das Anklicken der nebenstehend dargestellten Schaltfläche bewirkt, dass der jeweils andere Teil des Vollkreises gewählt wird. Die Reaktion des Programms kann ausprobiert und in der Vorschau skizze überprüft werden.



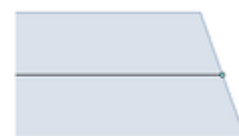
Das Anklicken der nebenstehend dargestellten Schaltfläche bewirkt, dass die Kreisbogensehne auf die andere Seite des Kreises springt. Auch dies wird umgehend in der Vorschau skizze angezeigt.

In der Zeile *Abschrägungen* können Linien an freien Enden abgeschrägt werden.

Voreingestellt sind die Werte für die Abschrägungen 0.0, was besagt, dass das Blech senkrecht zur Mittellinie abgeschnitten ist.



ohne Abschrägung



um 20° abgeschrägt

In der Zeile *Aktion* kann festgelegt werden, ob die Linie bei Bestätigen des Eigenschaftsblatts unterteilt werden soll. Hierbei ist die Anzahl der Zwischenknoten, die kontinuierlich über die Linie verteilt werden, vorzugeben.

individuelles Knoteneigenschaftsblatt dünnwandiger Querschnitte

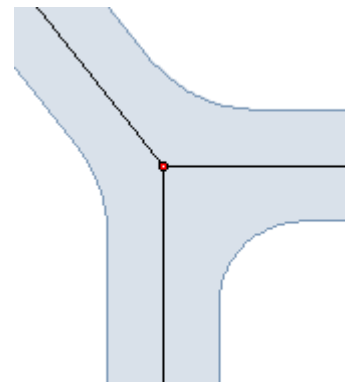
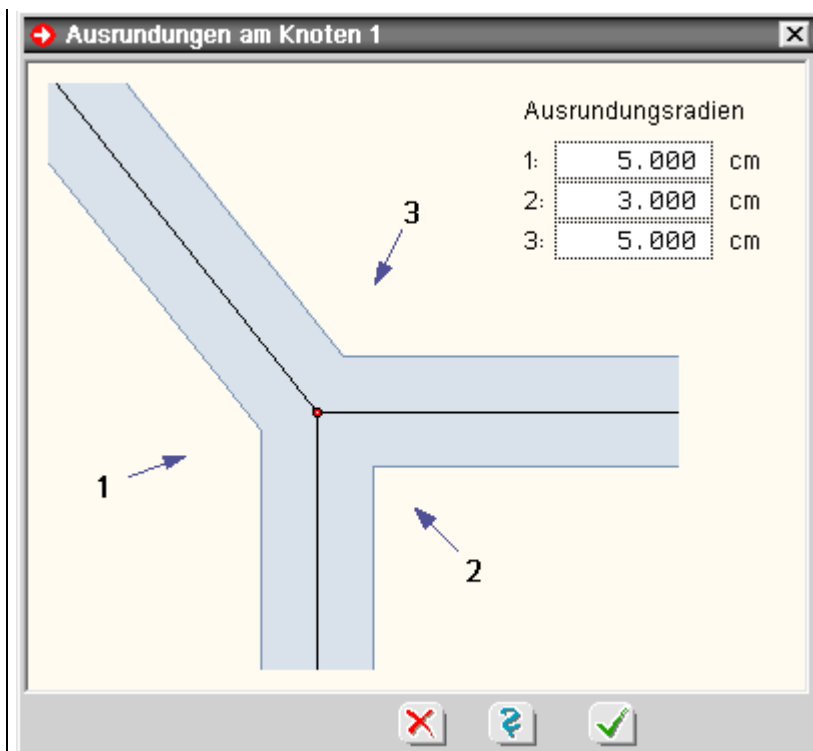
Wird bei einem dünnwandig beschriebenen Querschnitt ein Knotenpunkt doppelt angeklickt, erscheint sein individuelles Eigenschaftsblatt.

Hierin wird zunächst die Knotennummer festgelegt. Knotennummern sind eindeutig zu vergeben, um Irritationen im Protokoll und bei der tabellarischen Bearbeitung zu vermeiden. 4H-QUER wird bei der Erzeugung neuer Punkte stets noch nicht vorhandene Nummern vergeben.

Weiterhin werden hier die [y,z]-Koordinaten festgelegt. Ist das Konstruktionskoordinatensystem (**KKS**) aktiviert, kann dies auch bzgl. dessen Lage und Orientierung erfolgen.

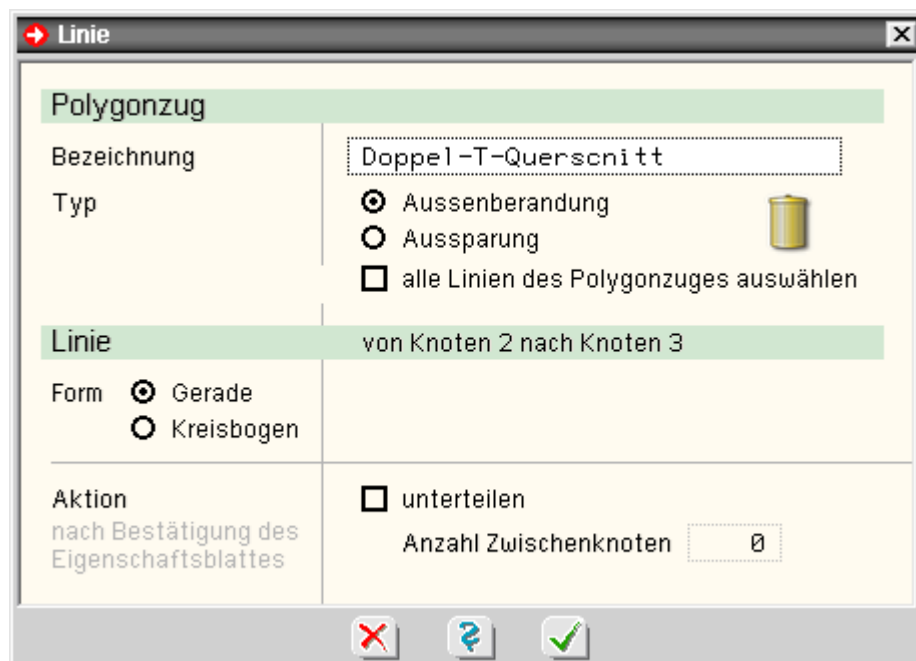
Letztlich wird in diesem Eigenschaftsblatt der Zugang zur Definition von Ausrundungen angeboten. Es erscheint ein Eigenschaftsblatt, in dem die Situation des Knotens und der angeschlossenen Stäbe dargestellt wird. Die möglichen Ausrundungsstellen werden nummeriert und dargestellt.

Hierin können die Ausrundungsradien festgelegt werden. Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts erscheint das Ergebnis im Konstruktionsfenster.



individuelles Linieneigenschaftsblatt dickwandiger Querschnitte

Wird bei einem dickwandig beschriebenen Querschnitt eine Linie doppelt angeklickt, erscheint ihr individuelles Eigenschaftsblatt.



Hierin werden im oberen Bereich zunächst Angaben zum gesamten Polygonzug gemacht.

Bezeichnung und *Typ* sind festzulegen. Ein Polygonzug ist entweder vom Typ **Außenberandung** oder vom Typ **Aussparung**.

Eine Aussparung muss stets vollständig in einem Polygonzug vom Typ **Außenberandung** liegen.

Durch Klicken des **Mülleimersymbols** wird der gesamte Polygonzug gelöscht.

Unter der Überschrift *Linie* kann die Linie zum Kreisbogen erklärt oder unterteilt werden. Die daraus resultierenden Interaktionsmöglichkeiten und Programmreaktionen wurden bereits im Eigenschaftsblatt der Linien dünnwandiger Querschnitte vorgestellt. Weitere Informationen s. [dort](#).

individuelles Knoteneigenschaftsblatt dickwandiger Querschnitte

Wird bei einem dickwandig beschriebenen Querschnitt ein Knotenpunkt doppelt angeklickt, erscheint sein individuelles Eigenschaftsblatt.

Es ist identisch zum entsprechenden Eigenschaftsblatt von **Knoten** dünnwandiger Querschnitte; nur können hier keine Ausrundungen definiert werden.

individuelles Gruppeneigenschaftsblatt

Wird bei dünnwandigen Querschnitten ein Objekt, das zuvor mit anderen Objekten zu einer Gruppe zusammengefasst wurde, doppelt angeklickt, erscheint das individuelle Gruppeneigenschaftsblatt.

Hierin wird einzig die Möglichkeit angeboten, die Gruppe wieder aufzulösen.



• Auswählen und Abwählen

Die im Konstruktionsfenster dargestellten Objekte können durch einfaches Anklicken oder durch Umfahren ausgewählt und wieder abgewählt werden.

Mittels Aufspannen eines Rechtecks durch Mausbewegung bei gedrückter linker Maustaste werden beim Lösen der Maustaste alle Objekte ausgewählt, die sich vollständig im Rechteck befinden.

Ausgewählte Objekte werden rot markiert.

Werden ausgewählte Objekte neuerlich angeklickt oder umfahren, werden sie wieder abgewählt.

Zu einer Gruppe zusammengefasste Objekte können nur gemeinsam aus- bzw. abgewählt werden.

 Die nebenstehend dargestellte Schaltfläche stellt den Zustand *alle Objekte abgewählt* her.

Die im nachfolgenden Absatz beschriebenen Modellierungstechniken werden ausschließlich auf die ausgewählten Objekte angewandt.

• ausgewählte Objekte löschen, kopieren, ausschneiden, einfügen, gruppieren

Die nachfolgenden Operationen können bei Bearbeitung dünnwandiger Querschnitte genutzt werden.

Die Funktion *Löschen* wird auch bei dickwandigen Querschnitten angeboten.

 **Löschen:** Durch Klicken der nebenstehend dargestellten Schaltfläche werden alle ausgewählten Objekte gelöscht. Das Drücken der [Entf]-Taste auf der Tastatur besitzt die gleiche Funktion.

 **Kopieren:** Alle ausgewählten Objekte werden in einen programminternen Speicher kopiert. Alternativ kann die [Strg][C]-Kombination auf der Tastatur genutzt werden.

 **Ausschneiden:** Alle ausgewählten Objekte werden in einen programminternen Speicher kopiert und im Konstruktionsfenster gelöscht ([Strg][X]-Kombination auf der Tastatur).

 **Einfügen:** Der Inhalt des programminternen Speichers wird im Konstruktionsfenster eingefügt ([Strg][V]-Kombination auf der Tastatur).

 **Gruppieren:** Alle ausgewählten Objekte werden zu einer Gruppe zusammengefasst.

• Modellieren-Fenster

 Durch Klicken der dargestellten Schaltfläche erscheint das *Modellieren*-Fenster auf dem Sichtgerät (s.u.). Hierin werden Aktionen wie *Verschieben*, *Verdrehen*, *Vergrößern* und *Spiegeln* etc. ausgewählter Objekte eingeleitet.

Das Fenster kann neben dem 4H-QUER-Fenster positioniert werden, um den Blick auf das Konstruktionsfenster nicht zu versperren, und bietet seine Funktionen in sechs Registern an.

Bei dünnwandigen Querschnitten werden in (fast) allen Registern die Optionsschalter **auf Duplikat anwenden** und **anschließend bereinigen** angeboten.

auf Duplikat anwenden

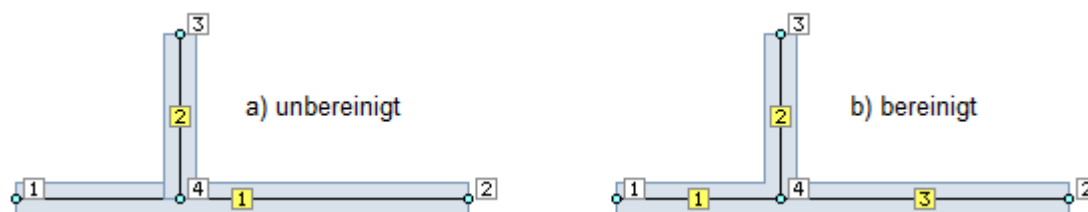
Ist dieser Schalter aktiviert, wird die angeforderte Aktion nicht mit den ausgewählten Objekten selbst, sondern mit einer zuvor erzeugten Kopie der ausgewählten Objekte durchgeführt.

anschließend bereinigen

Die Konstruktion von Linien und Knoten wurde bereits als Netzwerk vorgestellt. Bei einem Netzwerk werden die Knoten untereinander mit Linien verbunden.

4H-QUER macht sich dies bei der Ermittlung des Schubflusses zu Nutze. Der Schub fließt von einer Linie zu den anderen am selben Knoten angeschlossenen Linien. Bei geschlossenen Systemen ergibt sich hierdurch zudem ein Ringfluss, der besonders geeignet ist, Torsionsmomente aufzunehmen.

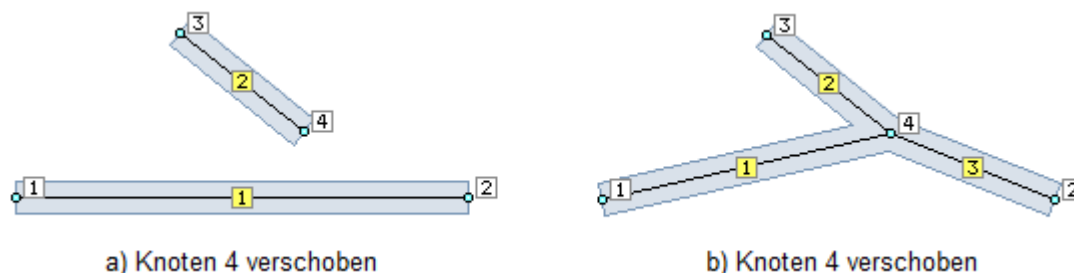
Bei der Netzwerkbeschreibung in grafischer Form existiert jedoch eine Falle, wie die folgende Skizze zeigt.



Im Teil a) sind zwei Linien zu erkennen. Linie 1 verbindet die Knoten 1 und 2. Linie 2 verbindet die Knoten 3 und 4. Auch wenn es geometrisch so aussieht, es besteht keine Verbindung zwischen den beiden Linien.

In der Teilskizze b) ist diese Situation bereinigt. Linie 1 verbindet nun die Knoten 1 und 4 und eine neu hinzugefügte Linie 3 verbindet die Knoten 4 und 2. Ein Schubfluss zwischen den Linien 1, 2 und 3 ist nun über den Knoten 4 möglich.

Jedoch kann die automatische Bereinigung auch nicht gewünschte Effekte nach sich ziehen. Betrachten wir, wie sich eine nachfolgende Verschiebeaktion des Knotens 4 in den Teilskizzen a) und b) auswirkt.



Da der Knoten 4 in Skizze a) keine Verbindung zur Linie 1 besitzt, hat die Verschiebeaktion allein Auswirkungen auf die Form der Linie 2. In Skizze b) betrifft die Verschiebeaktion aber alle drei angeschlossenen Linien.

Wenn nachfolgende Modellierungsaktionen auf soeben modellierte Teilbereiche angewandt werden sollen, ist der Optionsschalter ggf. zu deaktivieren.

ausgewählte Objekte verschieben

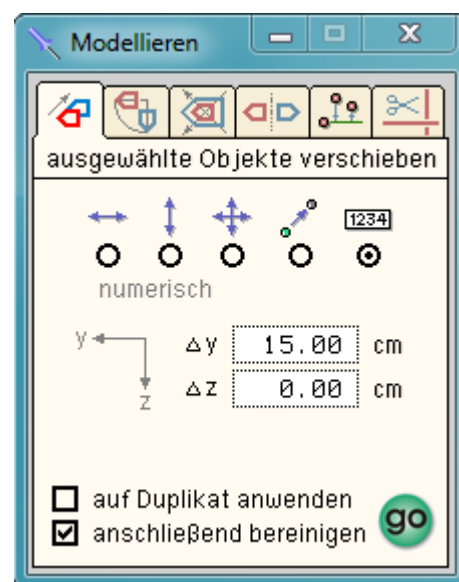
Im ersten Register des *Modellieren*-Fensters werden Aktionen zum Verschieben ausgewählter Objekte angeboten.

Die Symbole über den alternativen Schaltflächen weisen auf eine horizontale, eine vertikale und eine beliebige manuelle Verschiebeaktion hin. Des Weiteren kann eine *Punkt-zu-Punkt*-Verschiebeaktion eingeleitet oder eine Verschiebeaktion numerisch beschrieben werden.

Die ersten drei Aktionen beschreiben Verschiebungen, die mit der Maus gesteuert werden. Hierbei bestimmt die Pixelauflösung des Bildschirms ggf. die Genauigkeit des Ergebnisses.

Bei der *Punkt-zu-Punkt*-Verschiebeaktion sind Start- und Zielknoten anzuklicken. Die Verschiebung wird vom Programm aus den Differenzkoordinaten ermittelt.

Bei der numerischen Verschiebung sind die Koordinaten Δy und Δz direkt vorzugeben. Man beachte, dass Δy positiv nach links und Δz positiv nach unten verschieben!



Der **go**-Button führt die gewählte Aktion aus.

ausgewählte Objekte verdrehen

Im zweiten Register des *Modellieren*-Fensters werden Aktionen zum Verdrehen ausgewählter Objekte angeboten.

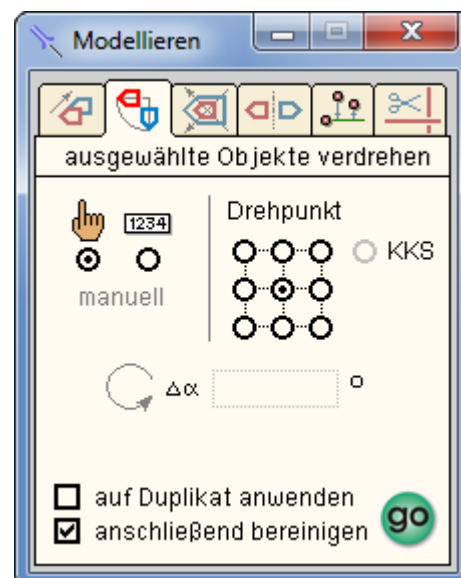
Hierin wird zunächst zwischen manueller und numerisch beschriebener Drehung unterschieden.

Bei manueller Verdrehung wird die Drehung durch Bewegen der Maus und bei numerischer Verdrehung durch Vorgabe eines Drehwinkels festgelegt.

Als Drehpunkte können der Mittelpunkt, die Eckpunkte oder die Seitenmittelpunkte eines fiktiven, die ausgewählten Objekte umspannenden Rechtecks angegeben werden.

Ist das Konstruktionskoordinatensystem aktiviert, kann auch dessen Nullpunkt zum Drehpunkt erklärt werden.

Der **go**-Button führt die gewählte Aktion aus.



ausgewählte Objekte dehnen

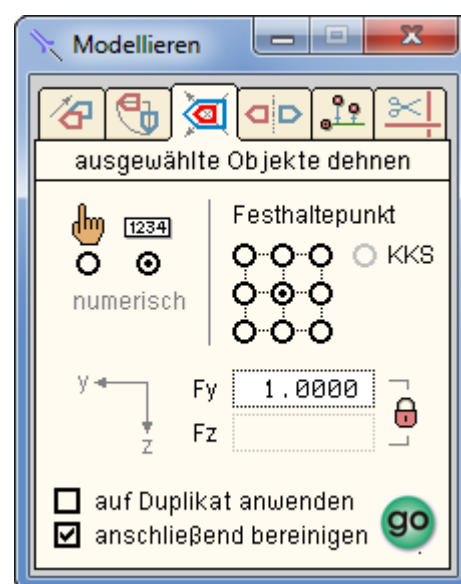
Im dritten Register des *Modellieren*-Fensters werden Aktionen zum Dehnen ausgewählter Objekte angeboten.

Ausgehend von einem Festhaltepunkt werden hierbei die Abstände der Knoten zueinander den Strahlensatzgesetzen folgend vergrößert (Faktor > 1) oder verkleinert (Faktor < 1).

Auch eine Punktspiegelung (Faktor < 0.0) kann manuell oder numerisch (mit Vorgabe des Faktors) erfolgen.

I.A. ist bei der numerischen Dehnung der Faktor für die Dehnung in y-Richtung gleich dem des Faktors in z-Richtung, was bewirkt, dass das Ergebnis der ursprünglichen Form ähnlich ist (gleiche Winkel- und Längenverhältnisse). Das Schloss hinter den Zahleneingabefeldern kann geöffnet werden, um diese Bindung zu lösen.

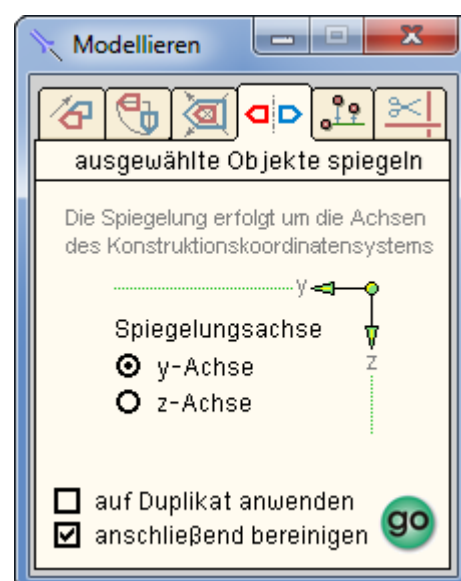
Der **go**-Button führt die gewählte Aktion aus.



ausgewählte Objekte spiegeln

Im vierten Register des *Modellieren*-Fensters werden Aktionen zum Spiegeln ausgewählter Objekte angeboten.

Es wird stets um die Achsen des Konstruktionskoordinatensystems (**KKS**) gespiegelt, das zuvor entsprechend zu platzieren ist. Ist das KKS nicht aktiviert, kann keine Spiegelung durchgeführt werden. Andererseits sind die gewünschte Achse auszuwählen und der **go**-Button anzuklicken.



ausgewählte Knoten ausrichten

Im fünften Register des *Modellieren*-Fensters werden Aktionen zum Ausrichten ausgewählter Knoten angeboten. Hierzu werden acht Alternativen angeboten.

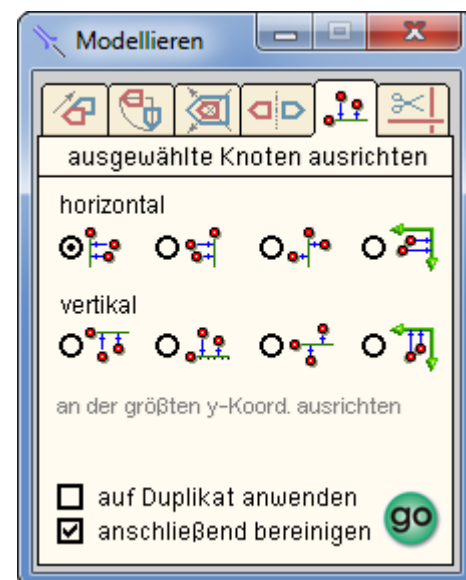
In der ersten Zeile erfolgt die Ausrichtung (von links nach rechts)

- an der größten y-Koordinate
- an der kleinsten y-Koordinate
- an der mittleren y-Koordinate
- an der z-Achse des Konstruktionskoordinatensystems

In der zweiten Zeile erfolgt die Ausrichtung

- an der kleinsten z-Koordinate
- an der größten z-Koordinate
- an der mittleren z-Koordinate
- an der y-Achse des Konstruktionskoordinatensystems

Der **go**-Button führt die gewählte Aktion aus.

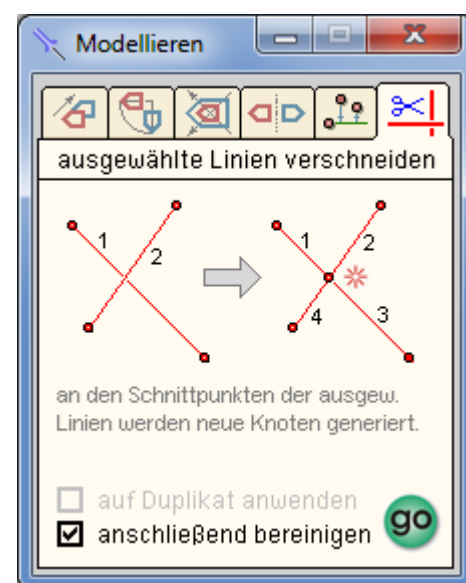


ausgewählte Linien verschneiden

Dieses Register verfügt über keine Optionsschalter und gilt nur für dünnwandig beschriebene Querschnitte.

Durch Klicken des **go**-Buttons werden alle ausgewählten Linien miteinander verschnitten, wenn sie einander überlappen.

Hierzu werden wie in der Skizze dargestellt im Schnittpunkt der Linien ein zusätzlicher Knoten und zwei weitere Linien erzeugt.



Hilfsmittel

• Konstruktionskoordinatensystem

Das Konstruktionskoordinatensystem (KKS) kann durch Anklicken des nebenstehenden Buttons im Konstruktionsfenster jederzeit aktiviert bzw. deaktiviert werden.

Das KKS versteht sich als Konstruktionshilfe, mit der in der Ebene sehr einfach Punkte von beliebigen Positionen aus vermessen werden können.

Das aktivierte KKS kann beliebig im Darstellungsfenster positioniert und jederzeit verschoben werden. Hierzu wird die Maus im Nullpunkt des KKS's positioniert und mit gedrückt gehaltener linker Maustaste verschoben.

Wird das KKS hierbei direkt über einem Knoten abgelegt, nimmt es die genaue Position des Knotens ein und es erfolgt eine entsprechende Meldung in der Informationszeile.

+

Knoten

X

Nummer

1

y

60.000

cm

z

40.000

cm

Konstruktionskoordinatensystem:

y

20.000

cm

z

0.000

cm

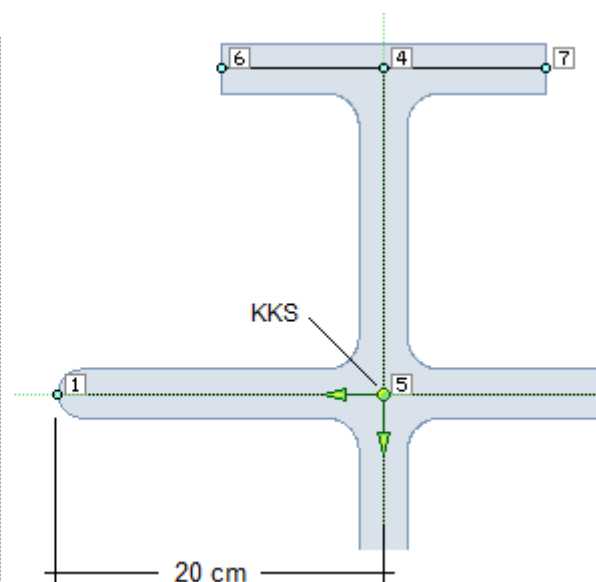
↻

Ausrundungen bearbeiten

✖

↺

✓



Wenn das KKS aktiviert ist, werden die Knotenkoordinaten im individuellen Eigenschaftsblatt der Knoten alternativ zum globalen y-z-System auch im y-z-System des KKS angeboten.

Zur Kenntlichmachung sind die entsprechenden Eingabefelder grün hinterlegt. Beispielhaft kann der o.a. Abbildung entnommen werden, dass der Knoten 1 die Absolutkoordinaten $y = 60.00$ cm und $z = 40.00$ cm hat. Er liegt 20 cm neben dem auf Knoten 5 platzierten KKS.

Dies kann auch dem individuellen Eigenschaftsblatt von Knoten 1 entnommen werden. Wird nun der grün hinterlegte y-Wert in 15 cm geändert, rutscht der Knoten 1 5.00 cm näher an den Knoten 5 heran.

Das KKS kann auch verdreht werden. Hierzu wird die Maus über einem der Richtungspfeile des KKS's positioniert und mit gedrückter linker Maustaste verdreht.

Wird die Maustaste gelöst, während die Maus auf einen Knoten zeigt, verdreht sich die entsprechende Achse präzise auf diesen Knoten. Auch hier erfolgt eine entsprechende Meldung in der Statuszeile.

Wie in der nachfolgenden Abbildung zu erkennen ist, funktioniert der oben beschriebene Eingabemechanismus auch bei schief liegenden Strukturen.

+

Knoten

X

Nummer

1

y

58.794

cm

z

46.840

cm

Konstruktionskoordinatensystem:

y

20.000

cm

z

0.000

cm

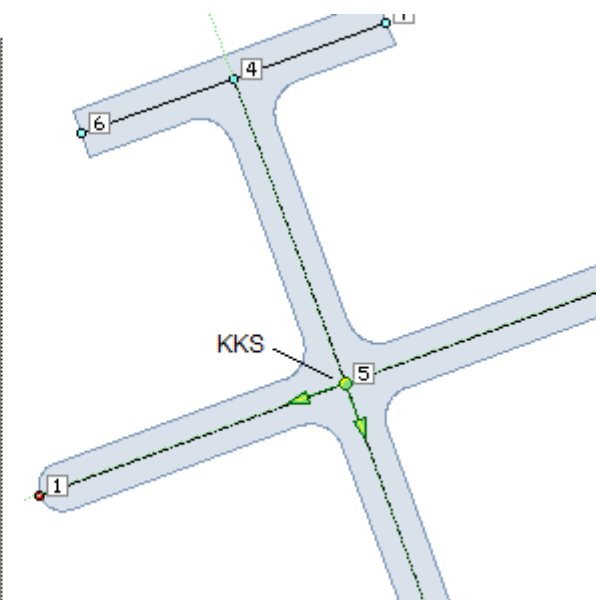
↻

Ausrundungen bearbeiten

✖

↺

✓



Nach Doppelklicken des Koordinatenursprungs des KKS erscheint das Eigenschaftsblatt des Konstruktionskoordinatensystems auf dem Sichtgerät, in dem Lage und Drehwinkel numerisch eingestellt werden können.

Hier können auch Inkremente festgelegt werden, die die Koordinatensystemangaben und somit die Lage des KKS nach jeder Bestätigung des Eigenschaftsblatts automatisch um einen konstanten Wert verändern.

Da das KKS beliebig positioniert und verdreht werden kann, können Knoten in beliebiger Form untereinander vermessen und in ihrer ebenen Lage konstruiert werden.

Maßlinien und Fangrasterpunkte



Über die nebenstehend dargestellte Schaltfläche wird das Eigenschaftsblatt zur Definition von Maßlinien und Fangrasterpunkten aufgerufen.

Maßlinien, Fangrasterpunkte

Gruppe 1

ny

dy₆

dy₅

dy₄

dy₃

dy₂

dy₁

y₀

y

z

Fangrasterpunkte

Längenangaben in

cm

ny

4

nz

6

y₀

0.000

z₀

0.000

dy₁

15.000

dz₁

10.000

dy₂

35.000

dz₂

35.000

dy₃

10.000

dz₃

10.000

dz₄

35.000

dz₅

10.000

dz₁

dz₂

dz₃

dz₄

dz₅

nz

☒ Raster einblenden

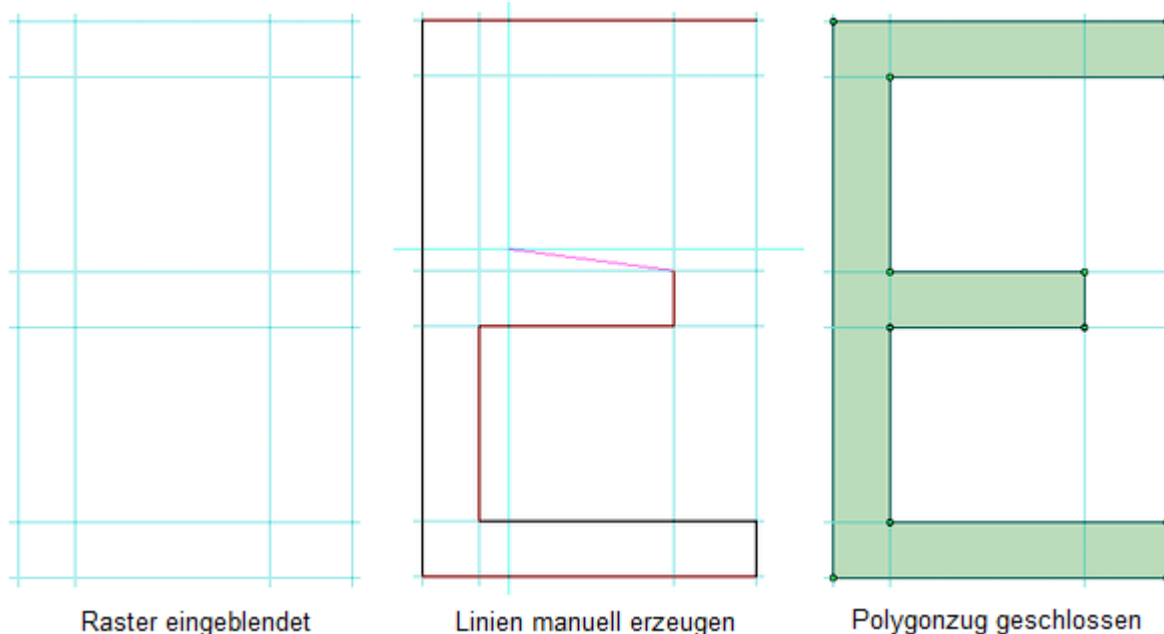
☒ Rasterpunktanziehung

Hierin sind zunächst die Dimension für die nachfolgenden Längenangaben und die Anzahlen (n_y , n_z) der Rasterlinien pro Koordinatenrichtung vorzugeben.

Anschließend sind die Startkoordinaten (y_0, z_0) und die Rasterlinienabstände (dy_i, dz_i) einzugeben.

Für einen Querschnitt können bis zu sechs Gruppen von Rasterlinienblöcken vorgegeben werden. Eine entsprechende Auswahl befindet sich im Eigenschaftsblatt oben rechts.

Die Optionsschalter unten rechts legen fest, ob das definierte Raster im Konstruktionsfenster eingeblendet und die Rasterpunktanziehung aktiviert werden sollen.



Wird das Eigenschaftsblatt im oben dargestellten Zustand bestätigt, erscheint das Raster im Konstruktionsfenster. Werden nun Linien manuell erzeugt und wird dabei darauf geachtet, dass ein Mausklick stets in der Nähe eines Rasterpunkts erfolgt, übernimmt der Knoten die exakten Koordinaten des Rasterpunkts. Es entfällt hierdurch der Nachteil des Genauigkeitsverlusts durch die Pixelauflösung des Bildschirms.

• DXF-Vorlagen



Durch Klicken der dargestellten Schaltfläche erscheint das Eigenschaftsblatt zum DXF-Vorlagen-Import.

Hierin können beliebig viele DXF-Vorlagen verwaltet werden.

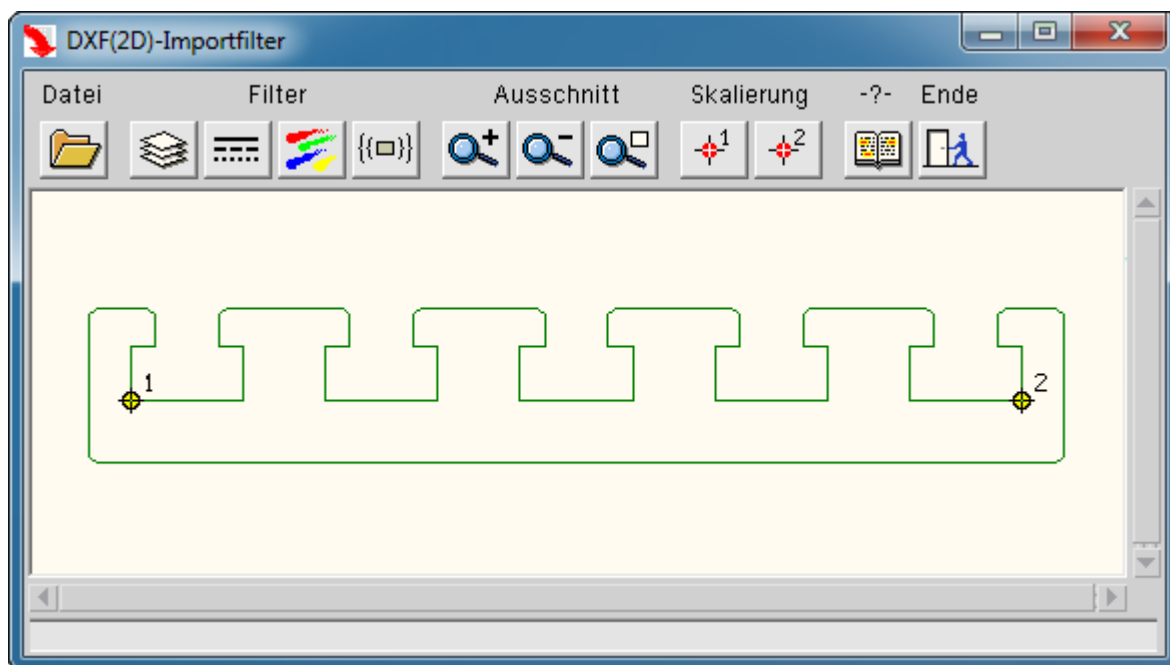
Jede definierte Vorlage kann ausgewählt und in das Konstruktionsfenster eingeblendet werden.

Mit Vorgabe von Δy und Δz kann eine Vorlage im Konstruktionsfenster verschoben werden.

Die Endpunkte der DXF-Linien können zur Kontrollpunktanziehung herangezogen werden.

Das Einfügen einer neuen DXF-Vorlage wird durch Anklicken des **neu**-Buttons eingeleitet. Es erscheint das Fenster des DXF(2D)-Import-Filters, in dem die gewünschte DXF-Datei ausgewählt werden muss. Sie sollte sinnvollerweise einen Querschnitt darstellen.





Der Inhalt der DXF-Datei wird im Fenster des DXF-Importfilters dargestellt. Er kann durch gezieltes Setzen von Filtern inhaltlich reduziert werden.

Durch die Definition zweier Kontrollpunkte werden Lage und Größe des Querschnitts präzise festgelegt.

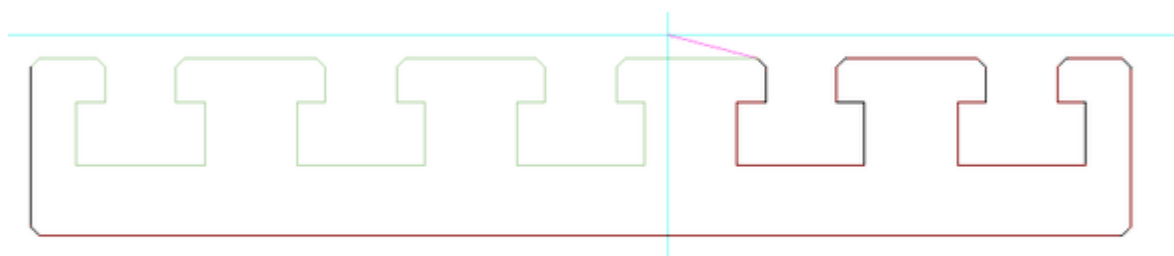
Nach Beendigung des Filterprogramms werden die DXF-Daten in eine DXF-Vorlage umgewandelt und in 4H-QUER importiert.

Nach Schließen des Eigenschaftsblatts zur Verwaltung der DXF-Vorlagen erscheint die DXF-Vorlage im Konstruktionsfenster. Analog zur Vorgehensweise bei der Fangrasterdefinition kann nun bei der manuellen Linienzeugung die Kontrollpunktanziehung genutzt werden.

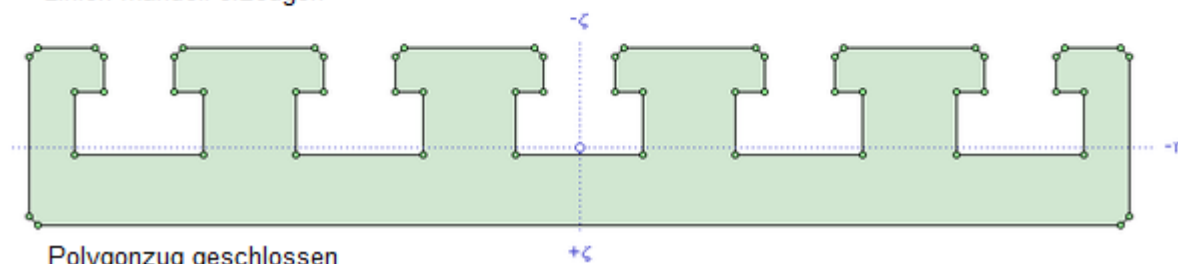
Jeder Knoten, der per Mausklick in der Nähe eines Kontrollpunkts erzeugt wird, erhält die exakten Koordinaten des Kontrollpunkts. Die nachfolgenden Abbildungen erläutern diese Abfolge.



DXF-Vorlage eingeblendet



Linien manuell erzeugen



Polygonzug geschlossen

• Elemente neu durchnummerieren

Durch Klicken der dargestellten Schaltfläche erscheint ein Eigenschafts-blatt, das eine schnelle Durchnummerierung der geometrischen Objekte ermöglicht.

Bei der Erzeugung neuer Objekte wird 4H-QUER stets neue (noch nicht existierende) Objektnummern vergeben. Nach Durchführung diverser Erzeugungs- und Modellierungsoperationen entsteht dadurch mitunter eine unterbrochene Nummerierungsfolge. Durch Löschaktionen entstehen z.B. Lücken in der Reihenfolge.

Daher kann am Ende der Modellierungsarbeiten der Wunsch bestehen, die Knoten- und Liniennummern neu zu vergeben.

Im nebenstehend dargestellten Eigenschaftsblatt, das bei dünnwandigen Querschnitten angeboten wird, kann dies sehr einfach durchgeführt werden. Ziel ist eine geschlossene Durchnummerierung, die einer aus der Geometrie erwachsenen Ordnung folgt.

Bei dickwandigen Querschnitten werden die Knotennummern in der Reihenfolge des Polygonzugs neu durchnummeriert.

→ Nummerierung ✕

Elemente durchnummerieren

beginnend mit

Abstand

☐ von oben nach unten

☒ von links nach rechts

☐ von unten nach oben

☐ von rechts nach links

anwenden auf

☒ Knoten ☒ Linien

✕ ? ✓

- **Querschnitte tabellarisch bearbeiten**

Alternativ zur grafischen Objektbearbeitung wird im Register *Tabelle* die tabellarische Bearbeitung angeboten.

Es kann stets zwischen den Registern *Konstruktion* und *Tabelle* hin- und hergeschaltet werden; es wird immer der gleiche Querschnitt bearbeitet.

Wenngleich die grafische Bearbeitung von **pcae** favorisiert wird, kann auch die tabellarische Bearbeitung Vorteile bieten. Die nachfolgende Abbildung zeigt das 4H-QUER-Fenster in der tabellarischen Bearbeitung eines dünnwandigen Querschnitts.

The screenshot displays the 4H-QUER software interface. The main window shows a table with columns for Knoten (Nodes), y-Koordinate (mm), z-Koordinate (mm), Linie (Line), Anf.-Kno. (Start Node), Endkno. (End Node), Dicke (A) (mm), Dicke (E) (mm), and Bogenstich (mm). The table contains 22 rows of data. To the right of the table, there is a diagram of a beam element. The diagram shows a straight line segment representing a beam element with nodes 'Anf.-Kno.' (Start Node) and 'Endkno.' (End Node). The thickness is labeled 'Dicke (A)' and 'Dicke (E)'. A curved line segment represents a beam element with nodes 'Anf.-Kno.' and 'Endkno.', showing a positive bending moment (+) and the thickness 'Dicke (E)'. Below the diagram, a legend titled 'Bedeutung der Symbole' (Meaning of the Symbols) explains the icons used in the table: a trash can for 'Zeile löschen' (Delete row), a copy icon for 'Zeile duplizieren' (Duplicate row), a red plus icon for 'neue Zeile anhängen' (Append new row), and a menu icon for 'Spaltenmenü' (Column menu).

Knoten	y-Koordinate mm	z-Koordinate mm	Linie	Anf.-Kno.	Endkno.	Dicke (A) mm	Dicke (E) mm	Bogenstich mm
1	1	0.000	1	1	7	20.00	20.00	0.0000
2	2	800.000	2	2	5	20.00	20.00	0.0000
3	3	800.000	3	3	11	20.00	20.00	0.0000
4	4	0.000	4	4	10	20.00	20.00	0.0000
5	5	800.000	5	5	12	20.00	20.00	0.0000
6	6	800.000	6	6	3	20.00	20.00	0.0000
7	7	266.667	7	7	9	20.00	20.00	0.0000
8	8	533.333	8	8	2	20.00	20.00	0.0000
9	9	400.000	9	9	8	20.00	20.00	0.0000
10	10	0.000	10	10	1	20.00	20.00	0.0000
11	11	400.000	11	11	4	20.00	20.00	0.0000
12	12	800.000	12	12	6	20.00	20.00	0.0000
13	13	700.000	13	12	13	20.00	20.00	0.0000
14	14	400.000	14	9	14	20.00	20.00	0.0000
15	15	100.000	15	10	15	20.00	20.00	0.0000
16	16	400.000	16	11	16	20.00	20.00	0.0000
17	17	1050.000	17	5	22	20.00	20.00	0.0000
18	18	1050.000	18	6	21	20.00	20.00	0.0000
19	19	533.333	19	8	23	20.00	20.00	0.0000
20	20	266.667	20	7	24	20.00	20.00	0.0000
21	21	925.000	21	21	18	20.00	20.00	0.0000
22	22	925.000	22	22	17	20.00	20.00	0.0000

Bild vergrößern

Im Hauptfenster werden je eine Tabelle für die Knoten und eine Tabelle für die Linien angeboten.

Skizzen im Ergebnisfenster erklären die einzelnen Tabellenspalten und die Bedeutung der Funktionssymbole.

Es ist zu beachten, dass alle in der Linientabelle angegebenen Anfangs- und Endknoten in der Knotentabelle aufgelistet sein müssen!

Ausrundungen und Abschrägungen können nur grafisch im Konstruktionsfenster definiert werden.

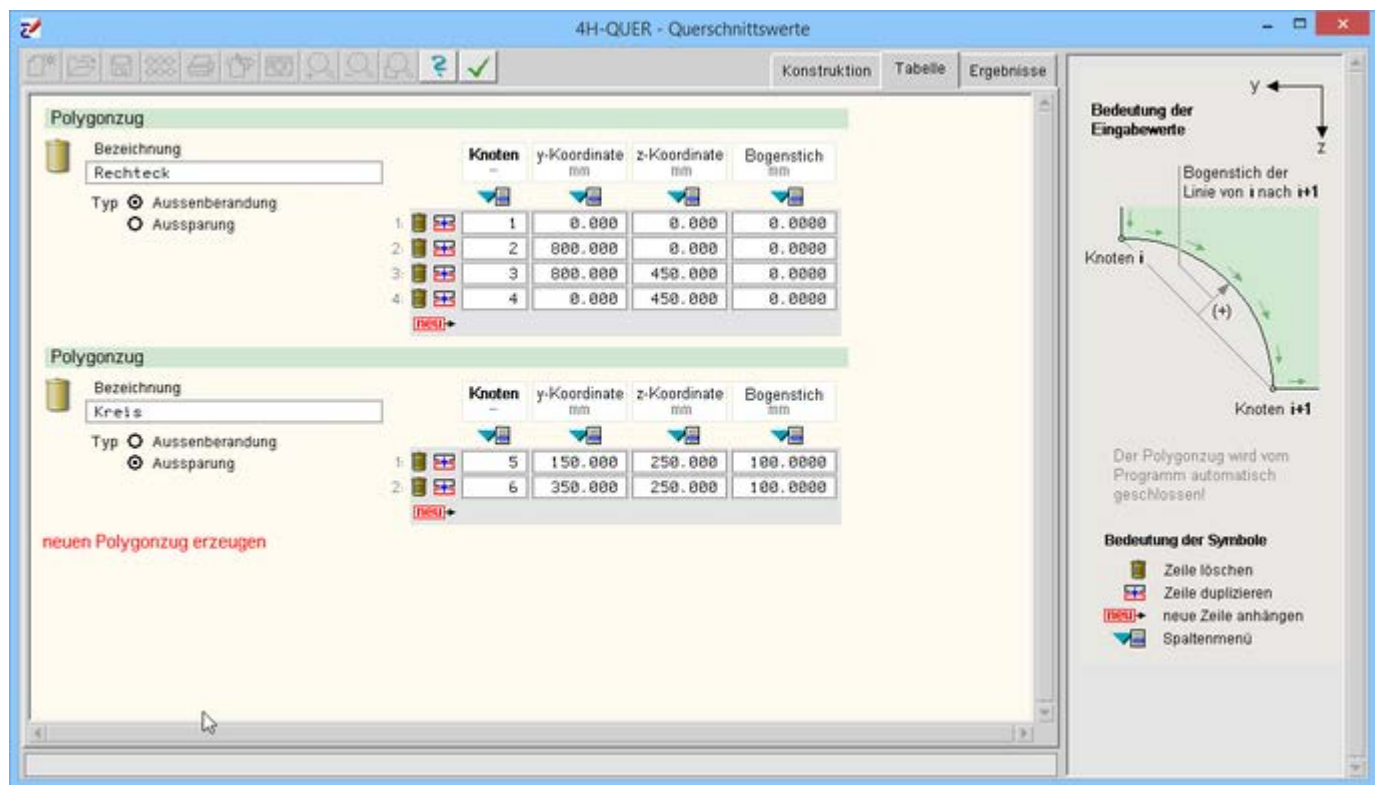


Bild vergrößern

Bei dickwandigen Querschnitten werden die einzelnen Polygonzüge tabellarisch erfasst.

Jeder Polygonzug hat eine eigene Bezeichnung, ist von einem bestimmten Typ und hat eine zugeordnete Knotentabelle. Die Elemente der Tabelle, so sie nicht selbsterklärend sind, werden im Ergebnisfenster erläutert.

• aktuellen Querschnitt drucken



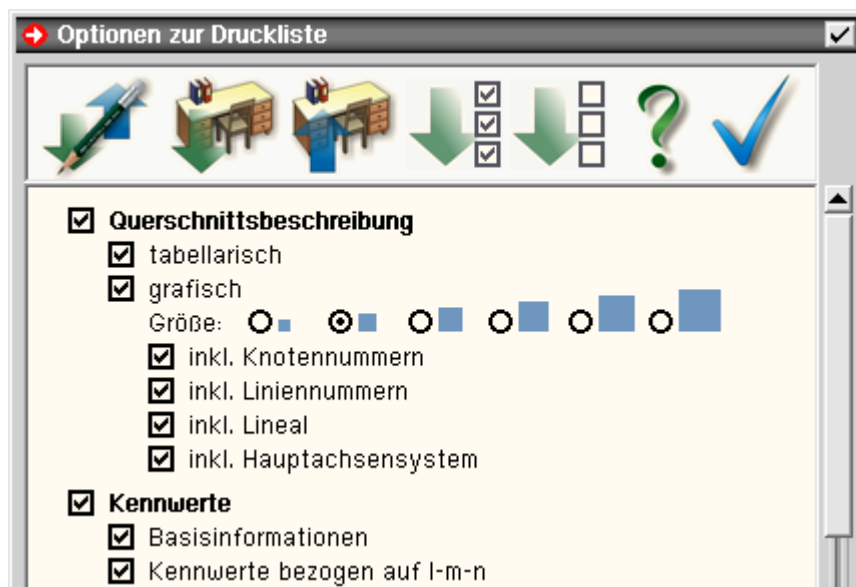
Die Druckausgabe des aktuell geladenen Querschnitts wird durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Buttons eingeleitet.

Es erscheint ein symbolisches Untermenü, in dem (von links nach rechts)

- optionale Einstellungen bzgl. des nachfolgenden Ausdrucks festgelegt,
- der DTE[®]-eigene Viewer zur Vorschau am Sichtgerät gestartet
- und der DTE[®]-Druckmanager zur Ausgabe des Druckdokuments aufgerufen werden kann

Die optionalen Einstellungen sind selbsterklärend. Ihre Auswirkungen können mit Hilfe des Viewers überprüft werden.

Die Schaltflächen in der Kopfzeile des Eigenschaftsblatts dienen dem Speichern, Laden bzw. Setzen der Druckoptionen.

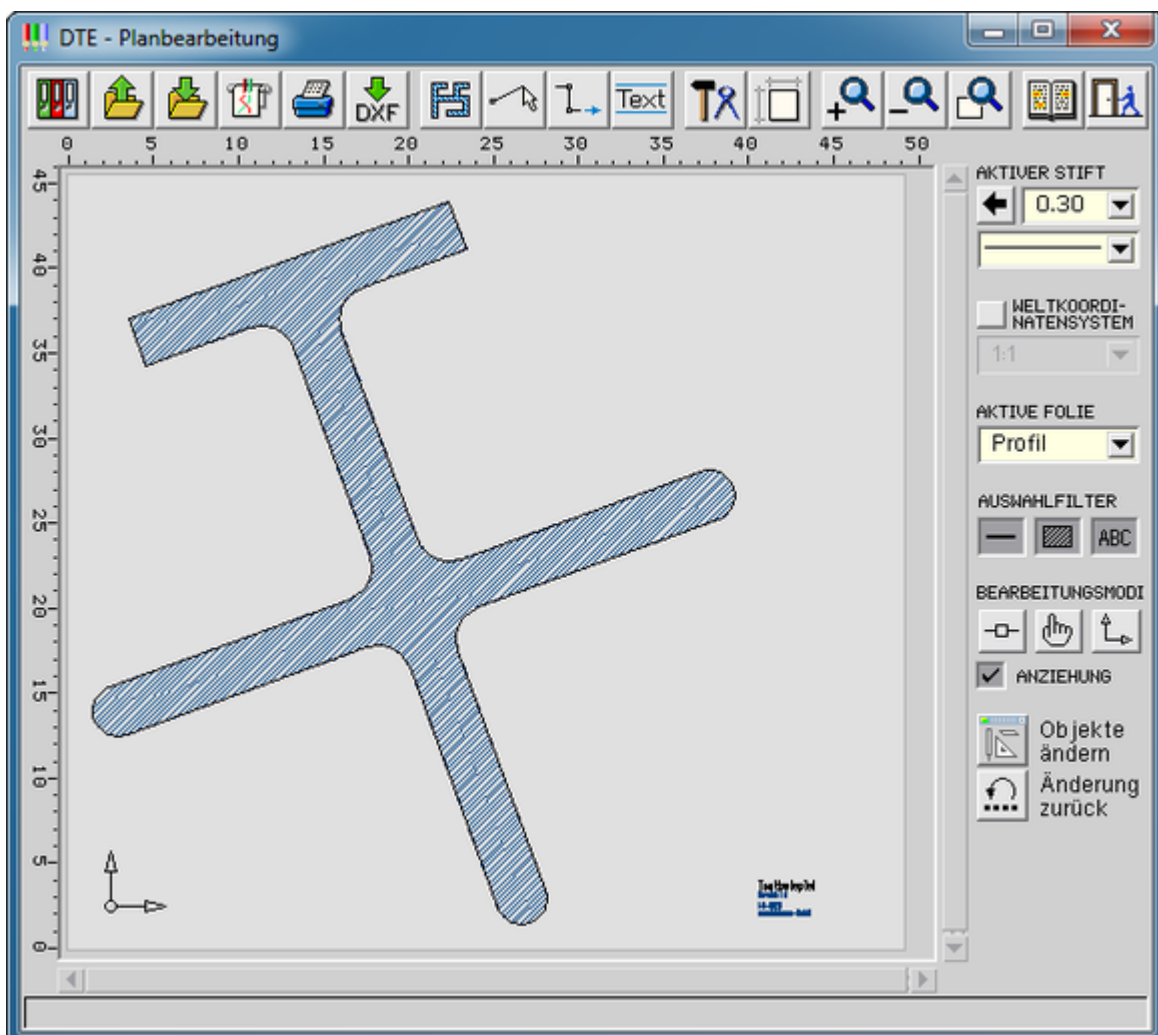


- aktuellen Querschnitt plotten



Durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Buttons wird die Planerstellung zum Querschnitt eingeleitet.

Nach Abfrage eines Maßstabs wird ein Plan vom aktuell geladenen Querschnitts erzeugt und an das DTE®-Planerstellungsmodule weitergeleitet, von dem aus der Plan auf einem Plotter ausgegeben oder zur weiteren Bearbeitung schreibttischglobal gesichert werden kann.



- aktuellen Querschnitt visualisieren



Durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Buttons wird der aktuell geladene Querschnitt an das DTE[®]-FotoView-Programm übergeben.

Hierin kann der Querschnitt dreidimensional gedreht und aus beliebigen Richtungen betrachtet werden.



Theorie

• Koordinatensysteme

Die klassische Stabtheorie geht von der Formerhaltung des Querschnitts aus. Die Querschnittslage lässt sich im lokalen xyz-Querschnittskordinatensystem über drei Verschiebungen u_x , u_y , u_z und drei Verdrehungen ϕ_x , ϕ_y , ϕ_z beschreiben.

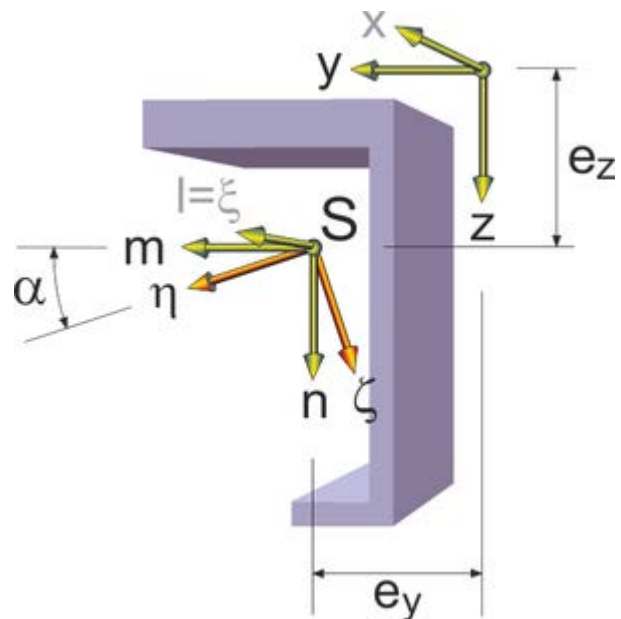
In der Theorie der Wölbkrafttorsion wird die Verwölbung des Querschnitts durch das Produkt der Einheitsverwölbung ω mit der Verwindung ψ_x beschrieben.

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

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

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

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



• Schwerpunkt, Trägheitsmomente und Hauptachsen

Bei einer konstanten Spannungsverteilung verschwinden die Biegemomente im Schwerpunkt.

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

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

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

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

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

Das $\xi\eta\zeta$ -Hauptachsensystem ist bzgl. des Querschnittskoordinatensystems um den Winkel α verdreht.

Im Hauptachsensystem ist das Deviationsmoment I_{mn} gleich Null, so dass die Krümmungen und Momente der Hauptbiegerichtungen entkoppelt sind.

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

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

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

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

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

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

• Verwölbung und Schubmittelpunkt

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

• Schnittgrößen und Spannungen

Die Schnittgrößen ergeben sich durch Integration der Normal- bzw. Schubspannungen über den Querschnitt.

Die Schnittkräfte wirken in Richtung der verformten Querschnittsachsen, die Momente drehen um die entsprechenden Achsen in positiver Richtung (Rechte-Hand-Regel).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Die Faktoren θ entsprechen den Einheitsschubflüssen der entsprechenden Schnittgröße.

Die Schubspannungen aus V_η , V_ζ und T_w bzw. T_t der Zellen sind nach Voraussetzung konstant in Dickenrichtung.

Die Schubspannung aus T_t der einzelnen Querschnittslinien ist in Dickenrichtung linear veränderlich und verschwindet auf der Mittellinie.

• Wagner-Effekt

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

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

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

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

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

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

Schubkorrekturfaktoren

•

Die Schubkorrekturfaktoren werden zur Ermittlung der Schubflächen bzw. Schubsteifigkeiten bei der Berechnung von schubweichen Stäben benötigt.

Die mittleren Schubgleitungen γ_{xy} und γ_{xz} stehen mit den zugehörigen Querkraften in Beziehung.

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

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

ϑ_{Ty} und ϑ_{Tz} sind dabei die Einheitsschubflüsse der Querkraften in y- und z-Richtung.

Aus den κ -Werten lassen sich die Schubkorrekturfaktoren in einem um den Winkel α verdrehten Koordinatensystem berechnen.

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

• mehrteilige Querschnitte

Falls nicht alle Querschnittsteile miteinander verbunden sind, liegt ein mehrteiliger Querschnitt vor.

Bei einem mehrteiligen Querschnitt wird davon ausgegangen, dass die einzelnen Teile durch Riegel oder Platten so miteinander gekoppelt sind, dass sie sich affin zueinander verformen.

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

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

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

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

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

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

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

$$+ \left(\omega_{M,i} - (y - e_{y,i}) \cdot (z_{M,i} - z_M) + (z - e_{z,i}) \cdot (y_{M,i} - y_M) \right) \cdot \frac{M_\omega}{C_M}$$

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

$$- (y - e_{y,i}) \cdot \left(\frac{I_m \cdot M_n + I_{mn} \cdot M_m}{I_m \cdot I_n - I_{mn}^2} + (z_{M,i} - z_M) \cdot \frac{M_\omega}{C_M} \right) + (z - e_{z,i}) \cdot \left(\frac{I_n \cdot M_m + I_{mn} \cdot M_n}{I_m \cdot I_n - I_{mn}^2} + (y_{M,i} - y_M) \cdot \frac{M_\omega}{C_M} \right) + \omega_{M,i} \cdot \frac{M_\omega}{C_M}$$

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

Der Wert von α hat über den Steiner-Anteil der Teile Einfluss auf die Trägheitsmomente des Gesamtquerschnitts.

Die Querschnittswerte des Gesamtquerschnitts erhält man durch Summation der Querschnittswerte der Teile.

$$\begin{aligned}
 A &= \sum_i A_i \dots e_y = \frac{\sum_i e_{y,i} \cdot A_i}{A} \dots e_z = \frac{\sum_i e_{z,i} \cdot A_i}{A} \\
 I_m &= \sum_i \left(I_{m,i} + \alpha \cdot (e_{z,i} - e_z)^2 \cdot A_i \right) \dots I_n = \sum_i \left(I_{n,i} + \alpha \cdot (e_{y,i} - e_y)^2 \cdot A_i \right) \\
 I_{mn} &= \sum_i \left(I_{mn,i} + \alpha \cdot (e_{y,i} - e_y) \cdot (e_{z,i} - e_z) \cdot A_i \right) \dots I_T = \sum_i I_{T,i} \\
 C_M &= \sum_i \left(C_{M,i} + (y_{M,i} - y_M)^2 \cdot I_{m,i} + (z_{M,i} - z_M)^2 \cdot I_{n,i} - 2 \cdot (y_{M,i} - y_M) \cdot (z_{M,i} - z_M) \cdot I_{mn,i} \right)
 \end{aligned}$$

Die Normalkräfte verteilen sich im Verhältnis der Teilflächen.

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

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

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

Für die Aufteilung der Querkkräfte ergeben sich dann ähnliche Beziehungen.

$$\begin{aligned}
 V_m &= -M'_n = \int_A (y - e_y) \cdot \sigma'_x \cdot dA = \sum_i \int_{A_i} \left((y - e_{y,i}) + (e_{y,i} - e_y) \right) \cdot \sigma'_x \cdot dA = \sum_i \left(-M'_{n,i} + (e_{y,i} - e_y) \cdot N'_i \right) \\
 V_n &= M'_m = \int_A (z - e_z) \cdot \sigma'_x \cdot dA = \sum_i \int_{A_i} \left((z - e_{z,i}) + (e_{z,i} - e_z) \right) \cdot \sigma'_x \cdot dA = \sum_i \left(M'_{m,i} + (e_{z,i} - e_z) \cdot N'_i \right) \\
 V_{m,i} &= \frac{I_{n,i}^+ \cdot I_m - I_{mn,i}^+ \cdot I_{mn}}{I_m \cdot I_n - I_{mn}^2} \cdot V_m - \frac{I_{n,i}^+ \cdot I_{mn} - I_{mn,i}^+ \cdot I_n}{I_m \cdot I_n - I_{mn}^2} \cdot V_n - \frac{(z_{M,i} - z_M) \cdot I_{n,i} - (y_{M,i} - y_M) \cdot I_{mn,i}}{C_M} \cdot T_\omega \\
 V_{n,i} &= - \frac{I_{m,i}^+ \cdot I_{mn} - I_{mn,i}^+ \cdot I_m}{I_m \cdot I_n - I_{mn}^2} \cdot V_m + \frac{I_{m,i}^+ \cdot I_n - I_{mn,i}^+ \cdot I_{mn}}{I_m \cdot I_n - I_{mn}^2} \cdot V_n + \frac{(y_{M,i} - y_M) \cdot I_{m,i} - (z_{M,i} - z_M) \cdot I_{mn,i}}{C_M} \cdot T_\omega \\
 &\dots \text{ mit } \dots I_{m,i}^+ = I_{m,i} + \alpha \cdot (e_{z,i} - e_z)^2 \cdot A_i \dots \text{ und } \dots I_{n,i}^+ = I_{n,i} + \alpha \cdot (e_{y,i} - e_y)^2 \cdot A_i \\
 &\dots \text{ und } \dots I_{mn,i}^+ = I_{mn,i} + \alpha \cdot (e_{y,i} - e_y) \cdot (e_{z,i} - e_z) \cdot A_i
 \end{aligned}$$

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

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

Die Schnittgrößen des Gesamtquerschnitts erhält man durch Summation der Teilschnittgrößen.

$$\begin{aligned}
 N_i &= \sum_i N_i \dots M_m = \sum_i \left(M_{m,i} + (e_{z,i} - e_z) \cdot N_i \right) \dots M_n = \sum_i \left(M_{n,i} - (e_{y,i} - e_y) \cdot N_i \right) \\
 M_\omega &= \sum_i \left(M_{\omega,i} + (y_{M,i} - y_M) \cdot M_{m,i} + (z_{M,i} - z_M) \cdot M_{n,i} \right) \\
 V_m &= \sum_i V_{m,i} \dots V_n = \sum_i V_{n,i} \dots T_t = \sum_i T_{t,i} \\
 T_w &= M'_\omega = \sum_i \left(T_{w,i} - (z_{M,i} - z_M) \cdot V_{m,i} + (y_{M,i} - y_M) \cdot V_{n,i} \right)
 \end{aligned}$$

• plastische Widerstandsmomente

Die plastischen Grenzmomente können mit Hilfe der plastischen Widerstandsmomente berechnet werden.

Die zugehörige Spannungsverteilung erzeugt dabei keine Normalkraft; die resultierenden Momente beziehen sich auf den Schwerpunkt.

Für jede Achse, um die das Grenzmoment wirkt (z.B. m-, n-, η -, ζ -Achse), sind zwei evtl. unterschiedliche Widerstandsmomente von Interesse.

Das *maximale plastische Widerstandsmoment* liefert das maximal mögliche Moment um die betrachtete Achse.

Die neutrale Achse ist parallel zur Achse und teilt die Querschnittsfläche in zwei gleiche Teile. Das zum Grenzmoment senkrecht wirkende Moment kann dabei von Null verschieden sein (z.B. unsymmetrische Querschnitte, gedrehte Hauptachsen).

Die Spannungsverteilung des *reduzierten plastischen Widerstandsmoments* liefert das maximal mögliche Moment um die betrachtete Achse unter der Zusatzbedingung, dass das zum Grenzmoment senkrecht wirkende Moment gleich Null ist. Die neutrale Achse ist evtl. zur Momentenachse verdreht.

Die Berechnung der Widerstandsmomente erfolgt mit Hilfe der Dehnungsiteration. Als Stoffgesetz wird hierbei eine bilineare Spannungs-Dehnungs-Beziehung verwendet. Zu dem betrachteten Moment wird iterativ ein Dehnungszustand unter Berücksichtigung der Grenzdehnung (z.B. 20%) und der zu beachtenden Nebenbedingungen (keine Normalkraft, evtl. kein Quermoment) ermittelt. Aus der zugehörigen Spannungsverteilung lassen sich das Grenzmoment und das Widerstandsmoment berechnen.

• **Berechnung von Wölbfunktion und Torsionskennwerten mit der Methode der Finiten Elemente**

Die Verwölbung der primären und sekundären Torsion bzw. des Querkraftschubs berechnen sich mit der Methode der Finiten Elemente aus der Potentialgleichung (in den Hauptachsenkoordinaten η, ζ)

$$\frac{d^2\omega}{d\eta^2} + \frac{d^2\omega}{d\zeta^2} = f(\eta, \zeta)$$

Längs der Querschnittsränder gilt die Randbedingung (mit dem Normalenvektor (n_η, n_ζ))

$$\frac{d\omega}{d\eta} \cdot n_\eta + \frac{d\omega}{d\zeta} \cdot n_\zeta = g(\eta, \zeta)$$

Es werden folgende Funktionen $f(\eta, \zeta)$ und $g(\eta, \zeta)$ für die einzelnen Problemstellungen angesetzt

Primäre Torsion		$f(\eta, \zeta) = 0$		$g(\eta, \zeta) = \eta \cdot n_\zeta - \zeta \cdot n_\eta$
		$\tau_{x\eta} = -G \cdot \vartheta' \cdot \left((\zeta - \zeta_M) + \frac{d\omega_M}{d\eta} \right)$... und ... $\tau_{x\zeta} = G \cdot \vartheta' \cdot \left((\eta - \eta_M) - \frac{d\omega_M}{d\zeta} \right)$		
Sekundäre Torsion		$f(\eta, \zeta) = \frac{\omega_M}{I_\omega}$		$g(\eta, \zeta) = 0$ $\tau_{x\eta} = G \cdot \frac{d\omega}{d\eta}$ $\tau_{x\zeta} = G \cdot \frac{d\omega}{d\zeta}$
Querkraft in η -Richtung		$f(\eta, \zeta) = \frac{\eta}{I_\zeta}$		$g(\eta, \zeta) = 0$ $\tau_{x\eta} = G \cdot \frac{d\omega}{d\eta}$ $\tau_{x\zeta} = G \cdot \frac{d\omega}{d\zeta}$
Querkraft in ζ -Richtung		$f(\eta, \zeta) = \frac{\zeta}{I_\eta}$		$g(\eta, \zeta) = 0$ $\tau_{x\eta} = G \cdot \frac{d\omega}{d\eta}$ $\tau_{x\zeta} = G \cdot \frac{d\omega}{d\zeta}$

Dabei ist ω_M die normierte Verwölbung der primären Torsion und (η_M, ζ_M) der Schubmittelpunkt. Für die Torsionskennwerte ergeben sich dann

$$I_T = \int_A \left(\left((\eta - \eta_M) - \frac{d\omega_M}{d\zeta} \right) \cdot (\eta - \eta_M) + \left((\zeta - \zeta_M) + \frac{d\omega_M}{d\eta} \right) \cdot (\zeta - \zeta_M) \right) \cdot dA$$
$$I_\omega = \int_A \omega_M^2 \cdot dA$$

• **von 4H-QUER ausgewiesene Werte**

In der nachfolgenden Tabelle sind die von 4H-QUER ausgewiesenen Größen zusammengestellt.
Die Größen erscheinen sowohl im Ergebnisfenster des Konstruktionsregisters als auch in der Druckliste.

Fläche, Schwerpunkt + Hauptachsen

A	Querschnittsfläche
e_y	Abstand des Schwerpunkts in y-Richtung von der z-Achse
e_z	... in z-Richtung von der y-Achse
α	Hauptachsenehrehwinkel

Ausdehnung

$y_{\min}$	kleinste y-Koordinate
$y_{\max}$	größte y-Koordinate
$z_{\min}$	kleinste z-Koordinate
$z_{\max}$	größte z-Koordinate
b	Querschnittsbreite (= $y_{\max} - y_{\min}$)
h	Querschnittshöhe (= $z_{\max} - z_{\min}$)
U_a	äußere Mantelfläche/cm
U_i	innere Mantelfläche/cm (nur bei mehrzelligen dünnwandigen Querschnitten bzw. dickwandigen Querschnitten mit Aussparungen)
U	Mantelfläche/cm (= $U_a + U_i$)

Trägheitsmomente (m-n)

I_m	Biegeträgheitsmoment für die Biegung um die m-Achse
I_n	... um die n-Achse
I_{mn}	Deviationsmoment (= 0, falls $\alpha = 0$)
W_{m+}	Widerstandsmoment für Biegung um die n-Achse zur Randspannungsermittlung bei h_{m+}
W_{m-}	... bei h_{m-}
W_{n+}	Widerstandsmoment für Biegung um die m-Achse zur Randspannungsermittlung bei h_{n+}
W_{n-}	... bei h_{n-}
h_{m+}	größter Schwerpunktsabstand in positiver m-Richtung
h_{m-}	... in negativer m-Richtung
h_{n+}	größter Schwerpunktsabstand in positiver n-Richtung
h_{n-}	... in negativer n-Richtung
i_m	Trägheitsradius um die m-Achse
i_n	... um die n-Achse

Trägheitsmomente (η - ζ) (nur für $\alpha \neq 0$)

I_η	Biegeträgheitsmoment für die Biegung um die η -Achse
I_ζ	... um die ζ -Achse
I_p	polares Trägheitsmoment
$W_{\eta+}$	Widerstandsmoment für Biegung um die ζ -Achse zur Randspannungsermittlung bei h_{m+}
$W_{\eta-}$	... bei h_{m-}
$W_{\zeta+}$	Widerstandsmoment für Biegung um die η -Achse zur Randspannungsermittlung bei h_{n+}
$W_{\zeta-}$	... bei h_{n-}
$h_{\eta+}$	größter Schwerpunktsabstand in positiver η -Richtung
$h_{\eta-}$	... in negativer η -Richtung
$h_{\zeta+}$	größter Schwerpunktsabstand in positiver ζ -Richtung
$h_{\zeta-}$	... in negativer ζ -Richtung
i_η	Trägheitsradius um die η -Achse
i_ζ	... um die ζ -Achse
i_p	polarer Trägheitsradius

Schubkennwerte

y_M	y-Koordinate des Schubmittelpunkts
z_M	z-Koordinate des Schubmittelpunkts
y_{SM}	Abstand des Schubmittelpunkts vom Schwerpunkt in y-Richtung ($y_{SM} = y_M - e_y$)
z_{SM}	... in z-Richtung ($z_{SM} = z_M - e_z$)
η_M	η -Koordinate des Schubmittelpunkts
ζ_M	ζ -Koordinate des Schubmittelpunkts
κ_m	Schubflächenbeiwert für Querkräfte in m-Richtung
κ_n	 in n-Richtung

A_m	Schubfläche für Querkkräfte in m-Richtung ($A_m = A / \kappa_m$)
A_n	.. in n-Richtung ($A_n = A / \kappa_n$)
κ_η	Schubflächenbeiwert für Querkkräfte in η -Richtung
κ_ζ	... in ζ -Richtung
A_η	Schubfläche für Querkkräfte in η -Richtung ($A_\eta = A / \kappa_\eta$)
A_ζ	... in ζ -Richtung ($A_\zeta = A / \kappa_\zeta$)
I_T	Torsionsträgheitsmoment
I_W	Wölbwiderstand bzgl. des Schubmittelpunkts (früher: C_M)
R_{Sy}	Wölbmoment im Schwerpunkt um die y-Achse
R_{Sz}	... um die z-Achse
C_S	Wölbwiderstand bzgl. des Schwerpunkts
I_{pM}	polarer Trägheitsradius bzgl. des Schubmittelpunkts
$i_{\omega M}$	Wölbträgheitsradius
ω_{M+}	maximale Verwölbung
ω_{M-}	minimale Verwölbung
$W_{\omega+}$	Wölbwiderstandsmoment der maximalen Verwölbung
$W_{\omega-}$	... der minimalen Verwölbung
i_M	Querschnittsstrecke in Längsrichtung
r_η	... in η -Richtung
r_ζ	... in ζ -Richtung
r_ω	... der Verwölbung

plastische Kennwerte

$W_{ply,max}$	maximales plastisches Widerstandsmoment für Biegung um die m-Achse
$W_{plz,max}$	... um die n-Achse
$W_{pl\eta,max}$	... um die η -Achse
$W_{pl\zeta,max}$	... um die ζ -Achse
$W_{ply,red}$	reduziertes plastisches Widerstandsmoment für Biegung um die m-Achse mit $M_n = 0$
$W_{plz,red}$	... um die n-Achse mit $M_m = 0$
$W_{pl\eta,red}$	... um die η -Achse mit $M_\zeta = 0$
$W_{pl\zeta,red}$	... um die ζ -Achse mit $M_\eta = 0$

• alternative Berechnung der Schubkennwerte

Die Schubkennwerte dünnwandig beschriebener Querschnitte werden i.d.R. durch Auswertung der o.a. Linienintegrale ermittelt. Da dies bei allgemein polygonal umrandeten, dickwandig beschriebenen Querschnitten nicht möglich ist, wurde in 4H-QUER die Finite-Elemente-Lösung eingebaut, die i.A. die besseren Ergebnisse liefert, da sie detailliert auch Ausrundungsbereiche und Abschrägungen berücksichtigen kann.

In bestimmten Fällen ist es wünschenswert, die besseren Ergebnisse auch für dünnwandige Querschnitte bereitzustellen. Dies betrifft insbesondere das Torsionsträgheitsmoment I_T , wenn es zur Weiterverarbeitung (Schnittgrößenermittlung und Nachweisführung) von 4H-FRAP, 4H-NISI oder 4H-DULAS etc. angefordert wird. 4H-QUER ermöglicht dies, indem der dünnwandig beschriebene Querschnitt temporär in einen dickwandigen Querschnitt umgewandelt wird.

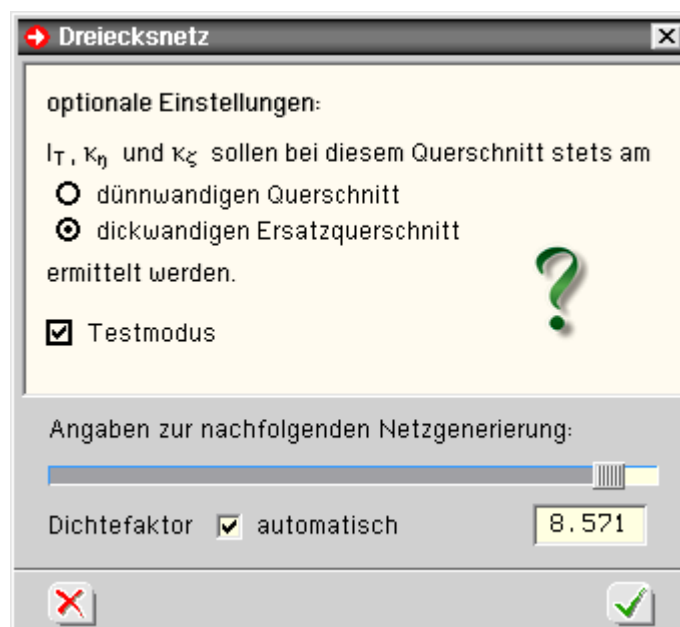
Die Vorgehensweise und der daraus resultierende Vorteil werden an Hand des Standardprofils HE320A erläutert.

Nach Laden des Profils HE320A als dünnwandiges Profil in 4H-QUER wird (durch Auswertung der Linienintegrale) ein Torsionsträgheitsmoment $I_T = 81.63 \text{ cm}^4$ ausgewiesen. Hierbei bleiben die Ausrundungsbereiche notgedrungen unberücksichtigt.



Durch Anklicken des nebenstehend dargestellten **Abacus**-Buttons erscheint ein Eigenschaftsblatt, in dem entschieden werden kann, ob die FEM-Berechnung als Standard zur Ermittlung der Schubkennwerte festgelegt werden soll.

Da man i.d.R. beim erstmaligen Aufruf nicht weiß, ob es sich der Berechnungsmehraufwand lohnt, kann der Testmodus aktiviert werden. Die Angaben zur nachfolgenden Netzgenerierung können auf **automatisch** belassen werden.



Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts erscheint bei aktiviertem Testmodus nach der FE-Berechnung eine Tabelle, in der die Werte für I_T , κ_η und κ_ζ aus den verschiedenen Ansätzen miteinander verglichen werden.

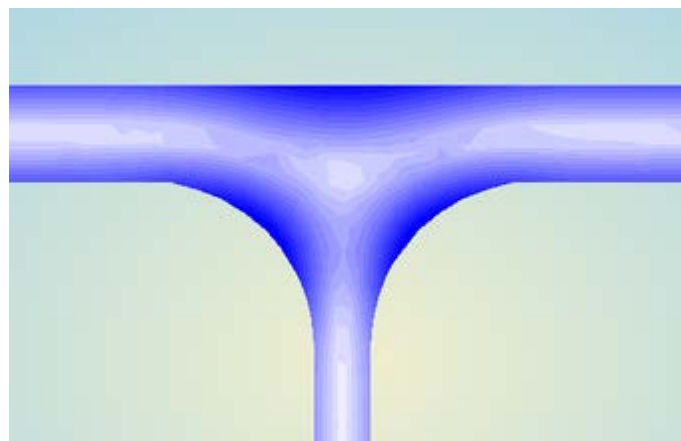
Wie der Abbildung entnommen werden kann, wurde mit Hilfe der FE-Methode ein Torsionsträgheitsmoment $I_T = 109.03 \text{ cm}^4$ ermittelt. Der Unterschied zum dünnwandig berechneten I_T beträgt über 25 %.

Ergebnis der FEM-Schubspannungsanalyse			
Wert	dickwandig	dünnwandig	Fehler
I_T	1090306	816339	25.13 %
κ_η	1.473	1.542	4.65 %
κ_ζ	4.521	4.886	8.07 %

Der Profilmanager weist für den HE320A ein Torsionsträgheitsmoment $I_T = 108.00 \text{ cm}^4$ aus. Der mit der FE-Methode ermittelte Wert stellt somit ein sehr viel besseres Ergebnis gegenüber der Auswertung der Linienintegrale dar.

Wird das Profil HE320A als dickwandiger Querschnitt beschrieben und berechnet, kann im Register *Ergebnisse* der Grund hierfür erkannt werden (s. Abb.).

Die höchsten Spannungskonzentrationen infolge Torsionsbeanspruchung finden sich im Bereich der Ausrundungen, die von der dünnwandigen Theorie nicht berücksichtigt werden können.



Werden die Ausrundungen des HE320A-Profiles auf 0 gesetzt, liefert die FE-Methode den Wert $I_T = 79.98 \text{ cm}^4$ und liegt damit sogar knapp unter dem dünnwandig ermittelten Ergebnis.

Dies zeigt: Bei aus Blechen zusammengesetzten Schweißträgern lohnt sich der Aufwand der FE-Berechnung i.d.R. nicht.

Die optionale Berechnung der Schubkennwerte am dickwandigen Ersatzquerschnitt hat folgende Konsequenzen

- Im Ergebnisfenster erscheint ein neuer Absatz, der die nach FEM berechneten Schubkennwerte zusätzlich zu den dünnwandig ermittelten Kennwerten ausweist.

Dieser Absatz setzt sich farblich von den restlichen Absätzen ab, um kenntlich zu machen, dass es sich hier um besondere Zusatzangaben handelt.

Wird am Querschnitt noch modelliert, muss die Berechnung ggf. durch Anklicken des **Abacus**-Buttons neu gestartet werden.

- Wird der Querschnitt zwecks Import von einem 4H-Rechenprogramm angefordert, werden die per FE-Berechnung verbesserten Werte für I_T , κ_η und κ_ζ übergeben.

Literatur

- Kindmann, R.; Frickel, J.: Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit,

Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2002

- Gruttmann, F.; Wagner, W.; Sauer, R.: Zur Berechnung von Wölbfunktion und Torsionskennwerten beliebiger Stabquerschnitte mit der Methode der finiten Elemente, Universität Karlsruhe (TH), Institut für Baustatik, Mitteilung 3, 1997
- Kraus, M.: Computerorientierte Berechnungsmethoden für beliebige Stabquerschnitte des Stahlbaus, Dissertation, Bochum, Februar 2005

zur Hauptseite *4H-QUER*, Querschnittswerteermittlung



© [pcae](#) GmbH Kopernikusstr. 4A 30167 Hannover Tel. 0511/70083-0