



Tutorium

- HE400B mit angeschweißter Flanschverstärkung
- Überprüfung des Querschnitts
- Praktische Übungen mit dem Modellieren-Fenster
- Konstruktion eines regelmäßigen Sechsecks

• HE400B mit angeschweißter Flanschverstärkung

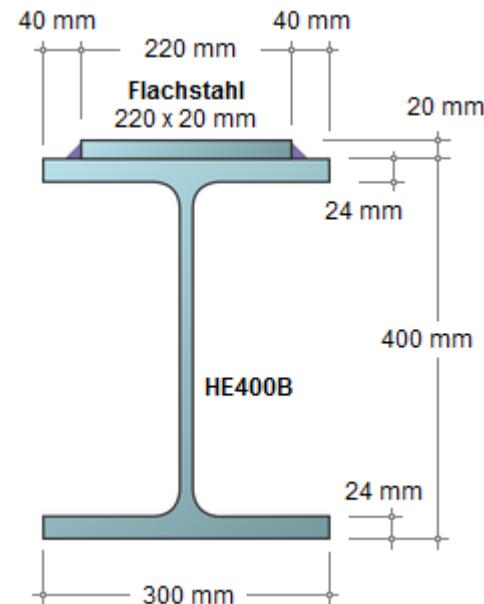
An einen HE400B soll an den oberen Flansch als Kopfverstärkung ein Flachstahl 220x20 mm wie dargestellt angeschweißt werden.

Da der Träger später in 4H-FRAP importiert werden soll, wird er als dünnwandiger Querschnitt beschrieben.

Es werden nun die einzelnen Schritte zur Definition des Querschnitts und die Reaktionen des Programms 4H-QUER gezeigt.

Da hierbei u.a. die Techniken zur Erzeugung und zum Modellieren geübt werden sollen, empfiehlt es sich, die entsprechenden Eingaben selbst vorzunehmen.

Anweisungen, die auffordern, bestimmte Aktionen durchzuführen, werden grün hinterlegt dargestellt.



Starten Sie 4H-QUER durch einen Doppelklick auf das entsprechende Symbol in der DTE®-Schublade, falls das 4H-QUER-Fenster nicht bereits geöffnet ist.

Querschnitte



Klicken Sie auf den nebenstehend dargestellten Button, um einen neuen Querschnitt zu erzeugen.

Der Inhalt des Konstruktionsfensters wird gelöscht und alle Eigenschaften auf einen voreingestellten Wert gesetzt.

4H-QUER muss nun wissen, ob der neue Querschnitt vom Typ **dünnwandig** oder **dickwandig** sein soll.

Wählen Sie den Typ **dünnwandig** und bestätigen dies über den grünen Haken.



Klicken Sie auf die nebenstehend dargestellte Schaltfläche.

Es erscheint ein symbolisches Untermenü, das diverse Möglichkeiten anbietet, Elemente in das Konstruktionsfenster zu laden.



Wenn Sie den Mauszeiger über die Symbole gleiten lassen, erscheint ein Fähnchen, das die zugeordnete Funktion näher erläutert.
Näheres hierzu s. [Dünnwandige Objekte erzeugen](#).



Klicken Sie auf die nebenstehend dargestellte Schaltfläche.

Hierdurch wird der DTE®-Profilmanager aufgerufen. Unter der Überschrift *Profile mit parallelen Flanschflächen* findet sich im linken Fenster die Profilfamilie HE-B. Durch Anklicken werden alle Profile dieser Reihe im mittleren Fenster eingeblendet. Wird hierin das Profil HE400B angeklickt, erscheinen dessen Parameter im dritten Fenster.

Wir notieren $A = 198.00 \text{ cm}^2$, $I_y = 57680.00 \text{ cm}^4$, $I_T = 357.00 \text{ cm}^4$.

Bild vergrößern

Um den ausgewählten Querschnitt an 4H-QUER zu übergeben, klicken Sie im Profilmanager in der Kopfzeile auf den grünen Haken rechts oben.

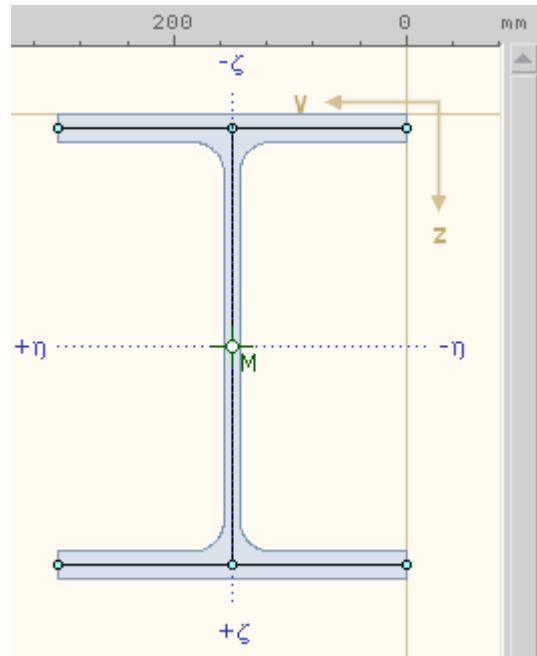
Das Profil erscheint im Konstruktionsfenster.

Die unmittelbar errechneten Parameter können dem Ergebnisfenster entnommen werden. Es ergeben sich

$$A = 197.78 \text{ cm}^2, \quad I_m = 57680.93 \text{ cm}^4, \quad I_T = 307.32 \text{ cm}^4.$$

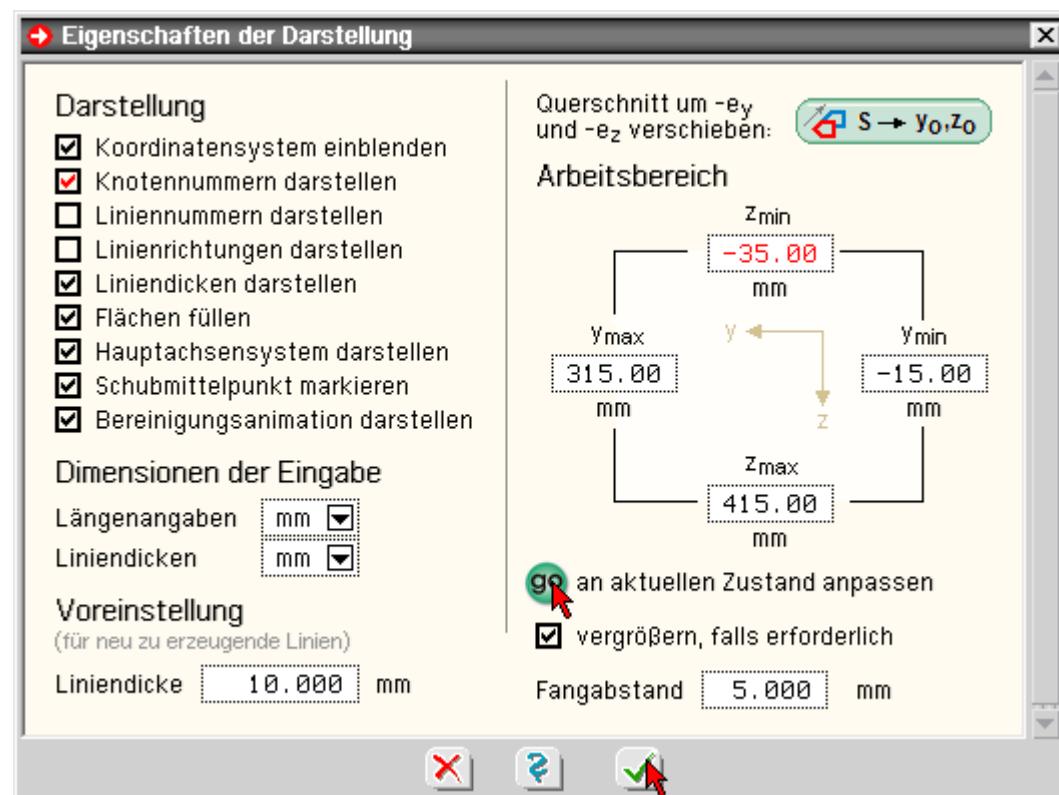
Während sich die Werte für die Fläche A und das Trägheitsmoment I_m praktisch nur durch einen Rundungsfehler unterscheiden, erkennt man deutliche Differenzen beim Vergleich der Werte für I_T .

Der Grund hierfür liegt in der Theorie dünnwandiger Querschnitte begründet und wird in Alternative Berechnung der [Schubkennwerte](#) erläutert.



Klicken Sie auf das [Augesymbol](#).

Aktivieren Sie im Eigenschaftsblatt **Eigenschaften der Darstellung** unter der Überschrift **Darstellung** den Schalter **Knotennummern darstellen** und klicken Sie unter der Überschrift **Arbeitsbereich** auf den **go**-Button. Da wir am oberen Rand des Profils noch etwas mehr Platz benötigen, korrigieren Sie den Wert für z_{\min} auf -35.00 mm.



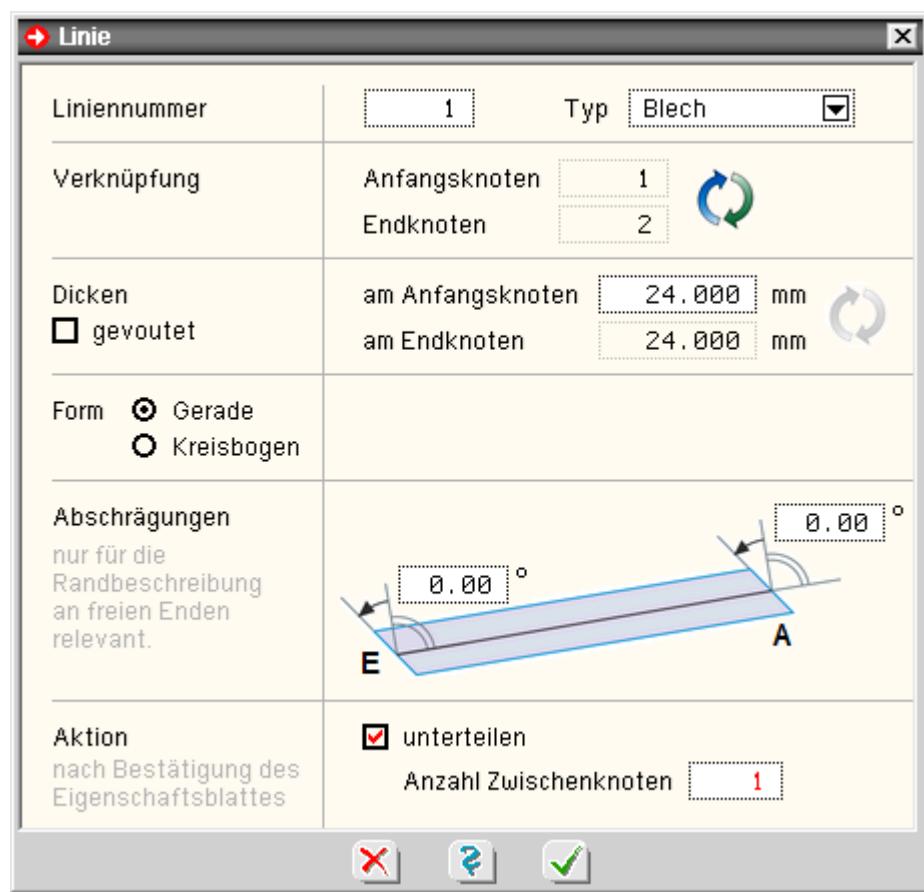
Hierdurch wird der Arbeitsbereich optimal an den aktuellen Inhalt und unser weiteres Vorhaben angepasst. Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts (grüner Haken) erscheint der Querschnitt in voller Größe im Konstruktionsfenster.



Speichern Sie den Querschnitt durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Buttons. Geben Sie dem Querschnitt den Namen **HE400B**. Wir werden auf den Querschnitt zu einem späteren Zeitpunkt im Tutorium zurückkommen.

Führen Sie einen Doppelklick über der Linie 1 (zwischen Knoten 1 und Knoten 2) aus.

Es erscheint das individuelle Eigenschaftsblatt der Linie 1.

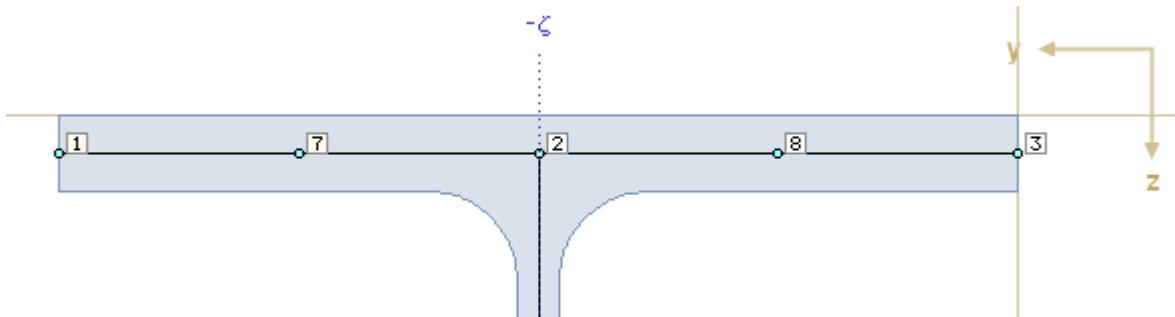


Aktivieren Sie im unteren Bereich des Eigenschaftsblatts den Schalter **unterteilen** (Anzahl Zwischenknoten = 1) und klicken auf den grünen Haken (bestätigen).

Im Konstruktionsfenster erscheint der Knoten 7. Die ehemalige Linie 1 verbindet nun die Knoten 1 und 7. Eine neu erzeugte Linie (mit der Nummer 6) verbindet die Knoten 7 und 2. Auf die Parameter im Ergebnisfenster hat dies keine Auswirkungen, da das Profil durch die Knoteneinfügeoperation geometrisch nicht verändert wurde.

Führen Sie die letzten beiden Aktionen mit der Linie 2 durch, die die Knoten 2 und 3 verbindet.

Das Profil sollte nun im oberen Bereich wie folgt aussehen



Wir wollen nun eine neue Linie einfügen.



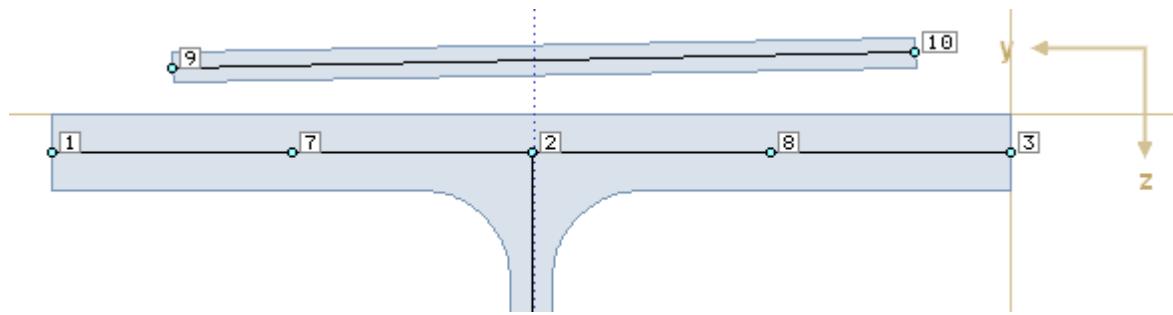
Klicken Sie auf die nebenstehend dargestellte Schaltfläche ...

... und anschließend auf dieses Symbol, um eine neue Linie manuell zu erzeugen.

Es erscheint ein Fadenkreuz im Konstruktionsfenster.

Fahren Sie das Fadenkreuz oberhalb des Knotens 7 und klicken Sie die linke Maustaste. Fahren Sie das Fadenkreuz nun oberhalb des Knotens 8 und klicken abermals auf die linke Maustaste.

Es kommt nicht darauf an, die genaue Position zu treffen. Dies gelingt bei manuellen Modellierungsaktionen sowieso nur in den seltensten Fällen. Im Konstruktionsfenster sollte nun in etwa Folgendes dargestellt werden



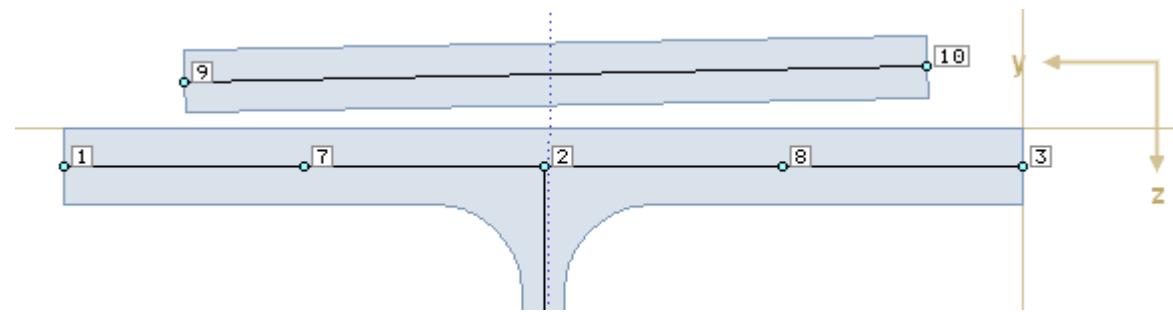
Sollte die Aktion im ersten Anlauf missglückt sein, hilft die *undo-Funktion*: Ein Klick auf den nebenstehend dargestellten Button macht eine misslungene Aktion rückgängig.

Führen Sie nun auf der neuen Linie zwischen Knoten 9 und 10 einen Doppelklick aus.

Es erscheint das individuelle Eigenschaftsblatt der Linie 8.

Legen Sie hierin für die Linie eine konstante Dicke von 20.00 mm fest und bestätigen Sie das Eigenschaftsblatt.

Das Ergebnis erscheint unmittelbar im Konstruktionsfenster.



Aktivieren Sie nun das Konstruktionskoordinatensystem (KKS), indem Sie die nebenstehend dargestellte Schaltfläche anklicken.

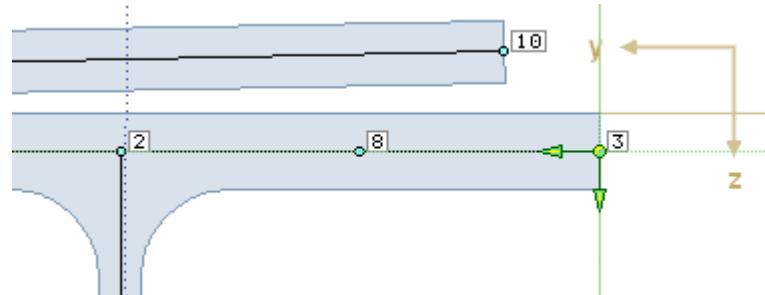
Es erscheint ein kleines Kreuz, das Sie bitte genau über dem Knoten 3 positionieren (linke Maustaste anklicken). In der Informationszeile erscheint die Meldung

Konstruktionskoordinatensystem auf Knoten 3 verlagert

Wir sind nun in der Lage, alle relevanten Knoten vom Knoten 3 aus zu vermessen.

Insbesondere die Knoten 8 und 10 können wir nun leicht in die endgültige Position bringen.

Führen Sie einen Doppelklick auf Knoten 10 aus.



Es erscheint das individuelle Eigenschaftsblatt von Knoten 10.

Hierin können die [y,z]-Koordinaten des Knotens einmal absolut und einmal bzgl. des KKS angegeben werden (grün hinterlegte Eingabefelder).

Da der Knoten 10 per Aufgabenstellung 40 mm horizontal neben und $24/2 + 20/2$ mm = 22 mm oberhalb des Knotens 3 liegen soll, können wir diese Werte unmittelbar in die grünen Felder eintragen. Hierbei ist allein auf das Vorzeichen zu achten.

Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts nimmt der Knoten 10 die gewünschte Position ein.

Führen Sie einen Doppelklick auf Knoten 8 aus.

Konstruktionskoordinatensystem:		
y	40.000	mm
z	-22.000	mm

Aus Gründen, die später einsichtig werden, soll Knoten 8 40 mm neben dem Knoten 3 liegen.

Tragen Sie also die Werte $y = 40 \text{ mm}$ und $z = 0 \text{ mm}$ in die grünen Eingabefelder ein und bestätigen Sie das Eigenschaftsblatt.

Verschieben Sie nun das KKS, indem Sie den Mauscursor über das KKS bewegen, die linke Maustaste drücken und gedrückt halten und das Kreuz über dem Knoten 1 "fallen lassen" (linke Maustaste lösen).

In der Informationszeile erscheint die Meldung

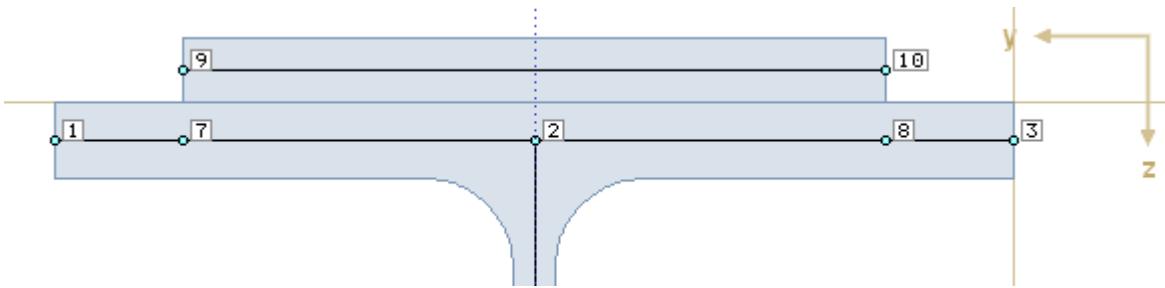
Konstruktionskoordinatensystem auf Knoten 1 verlagert

Von diesem Knoten aus können wie sehr einfach den Knoten 9 (Doppelklick, KKS-Koordinaten: $y = -40 \text{ mm}$, $z = -22 \text{ mm}$) und den Knoten 7 (Doppelklick, KKS-Koordinaten: $y = -40 \text{ mm}$, $z = 0 \text{ mm}$) in die korrekte Position bringen. Beachten Sie hierbei die Vorzeichen.



Klicken Sie auf die nebenstehend dargestellte Schaltfläche, um das KKS, das nun nicht mehr benötigt wird, verschwinden zu lassen.

Der obere Bereich des Konstruktionsfensters sollte nun wie folgt aussehen



Um zu überprüfen, ob alles korrekt ist, kann der Mauscursor über die neue Linie zwischen den Knoten 9 und 10 gefahren werden, ohne diese anzuklicken. Es erscheint ein Fähnchen, das die Dicke von 20 mm und eine Länge von 22 mm ausweist.

Interessant ist nun ein Blick in das Ergebnisfenster.

Wir notieren die Werte $A = 241.78 \text{ cm}^2$, $I_m = 73568.38 \text{ cm}^4$, $I_T = 365.98 \text{ cm}^4$.

Sehr leicht überprüfen lässt sich die Fläche A. Sie muss gegenüber der Version ohne Flachstahl gerade um $22 \cdot 2 = 44 \text{ cm}^2$ größer geworden sein. Tatsächlich ergibt sich: $197.78 + 44 = 241.78 \text{ cm}^2$.

Interessant ist im Ergebnisfenster aber auch die Typisierung des Querschnitts, die ganz oben unter der Überschrift *Basisinformationen* angegeben wird.

Hier wird der Querschnitt als *dünnwandig - 2-teilig, offen* deklariert. Tatsächlich liegen hier zwei unabhängige, nicht miteinander verbundene Teile vor.

Ein Schubfluss zwischen diesen beiden Teilen besteht nicht. Dies soll nun geändert werden.



Klicken Sie auf die nebenstehend dargestellte Schaltfläche ...

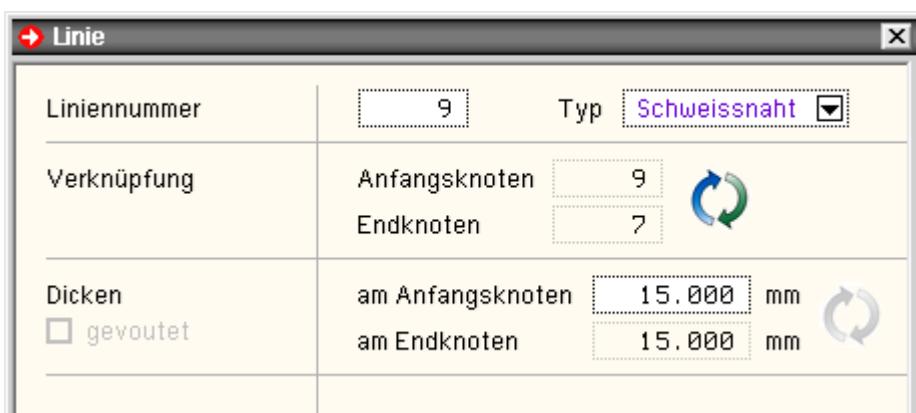
... und anschließend auf dieses Symbol, um eine neue Linie manuell zu erzeugen.

Klicken Sie nun mit der linken Maustaste zunächst den Knoten 9 und sodann den Knoten 7 an.

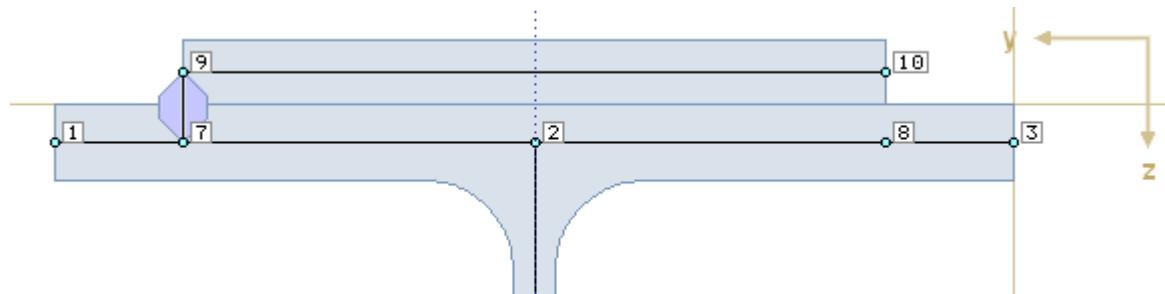
Sie haben nun eine neue Linie zwischen den beiden Knoten erzeugt. Im Ergebnisfenster wird nun als Typisierung *1-teilig, offen* angegeben. Es besteht jetzt also eine Verbindung zwischen den beiden zuvor unabhängigen Teilen.

Leider ist nun auch die Querschnittsfläche A um einen cm^2 angewachsen, was so nicht erwünscht ist und geändert werden soll.

Doppelklicken Sie die soeben erzeugte Linie 9, um ihre individuellen Eigenschaften zu bearbeiten. Wählen Sie als Typ **Schweißnaht**, geben Sie der Linie die Dicke 15 mm und bestätigen die Eigenschaften.



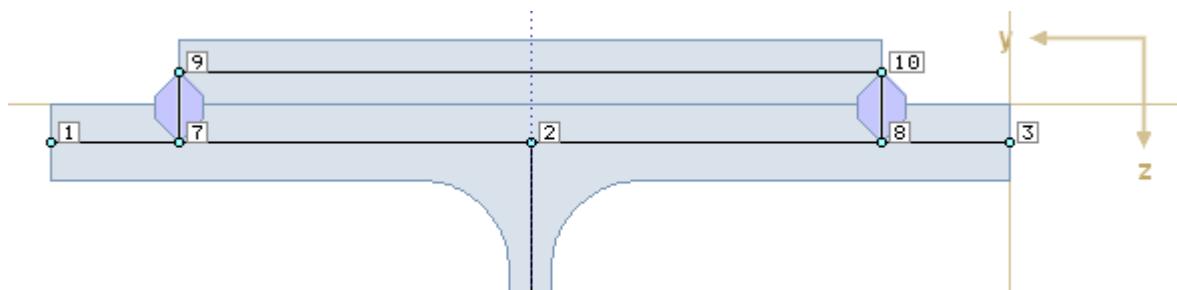
Im Konstruktionsfenster erscheint folgende Abbildung



Linien vom Typ *Schweißnaht* werden bei der Ermittlung von Parametern, die für die Normalkraft und Biegung wesentlich sind (Fläche, Biegeträgheitsmomente, Widerstandsmomente etc.), nicht berücksichtigt. Sie werden auch nicht mit den normalen Linien (vom Typ *Blech*) verschnitten. Sehr wohl werden sie jedoch bei der Analyse des Schubflusses berücksichtigt.

Im Ergebnisfenster ist zu erkennen, dass es sich nach wie vor um einen einteiligen, offenen Querschnitt handelt, die Querschnittsfläche A jedoch wieder ihren ursprünglichen Wert angenommen hat.

Führen Sie nun die gleichen Aktionen auf der anderen Seite durch: Erzeugen Sie eine Linie zwischen den Knoten 10 und 8 und erklären Sie diese zu einer 15 mm dicken Schweißnaht.

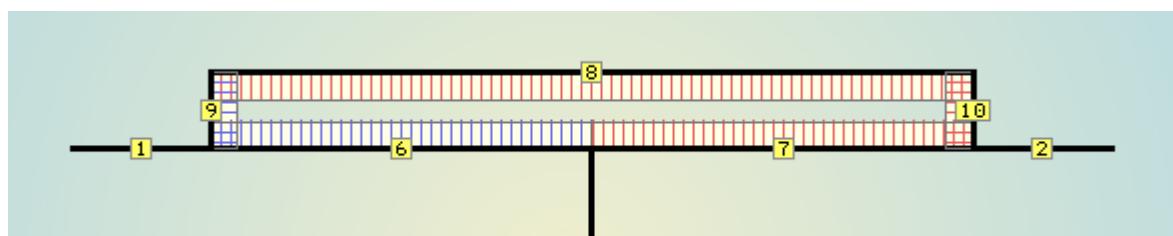


Im Ergebnisfenster lesen wir als Typisierung *einteilig, 1-zellig*. Tatsächlich hat sich nun eine geschlossene Zelle gebildet, durch die der Schubfluss zirkulieren kann.

Des Weiteren lesen wir ab $A = 241.78 \text{ cm}^2$, $I_m = 73568.38 \text{ cm}^4$, $I_T = 776.57 \text{ cm}^4$.

Während A und I_m vollkommen unbeeindruckt von den neu hinzugefügten Schweißnähten bleiben, hat sich das Torsionsträgheitsmoment I_T mehr als verdoppelt.

Der Grund dafür kann im Register *Ergebnisse* betrachtet werden. Der Ergebnistyp *Schubkraftverlauf infolge $M_t = 1 \text{ kNm}$* zeigt, dass im Inneren der Zelle ein Schubfluss gemäß der zweiten Bredt'schen Formel einem äußeren Torsionsmoment Paroli bieten kann.



Speichern Sie den Querschnitt durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Buttons und vergeben Sie



einen sinnvollen Namen. Sie können auf den erstellten Querschnitt später z.B. aus den Stabwerksprogrammen **4H-FRAP**, **4H-NISI** etc. zugreifen.

• Überprüfung des Querschnitts

Der bisher bearbeitete Querschnitt soll nun überprüft werden. Dies soll geschehen, indem die Kontur des Querschnitts als dickwandiger Querschnitt beschrieben wird. Unser besonderes Augenmerk wird hierbei wieder auf den Kenngrößen A , I_m und I_T liegen.



Klicken Sie auf den nebenstehend dargestellten Button, um einen neuen Querschnitt zu erzeugen.

Der Inhalt des Konstruktionsfensters wird gelöscht und alle Eigenschaften auf einen voreingestellten Wert gesetzt. 4H-QUER muss nun wissen, ob der neue Querschnitt vom Typ *dünnwandig* oder *dickwandig* sein soll.

Wählen Sie den Typ **dickwandig** und bestätigen dies über den grünen Haken.



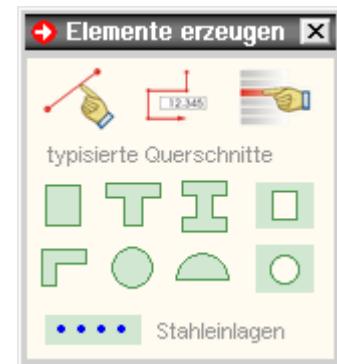
Klicken Sie auf die nebenstehend dargestellte Schaltfläche.

Es erscheint ein symbolisches Untermenü, das diverse Möglichkeiten anbietet, Elemente in das Konstruktionsfenster zu laden.

Wenn Sie den Mauszeiger über die Symbole gleiten lassen, erscheint ein Fähnchen, das die zugeordnete Funktion näher erläutert. Näheres hierzu s. **Dickwandige Objekte erzeugen**.



Klicken Sie auf die nebenstehend dargestellte Schaltfläche und laden Sie den zuvor gespeicherten Querschnitt *HE400B*.



4H-QUER ist in der Lage, dünnwandig definierte, gespeicherte Querschnitte beim Laden automatisch in dickwandige Querschnitte umzuwandeln. Der umgekehrte Weg funktioniert jedoch nicht.

Der nebenstehend abgebildete Querschnitt erscheint im Konstruktionsfenster.

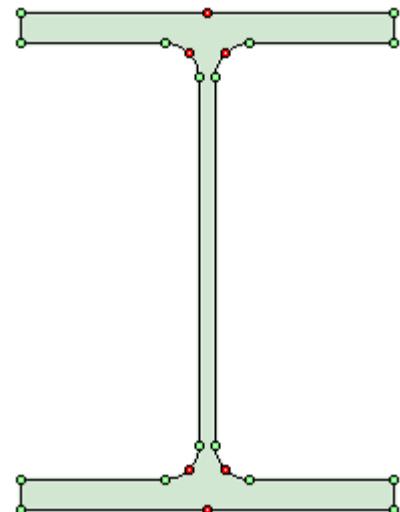
Hierin sind einige Knoten zu erkennen, die zur Beschreibung des Querschnitts nicht unbedingt erforderlich sind. Es sind dies die Seitenmittenknoten an den Flanschen und die Knoten in der Mitte der Ausrundungsradien (hier rot = ausgewählt dargestellt).



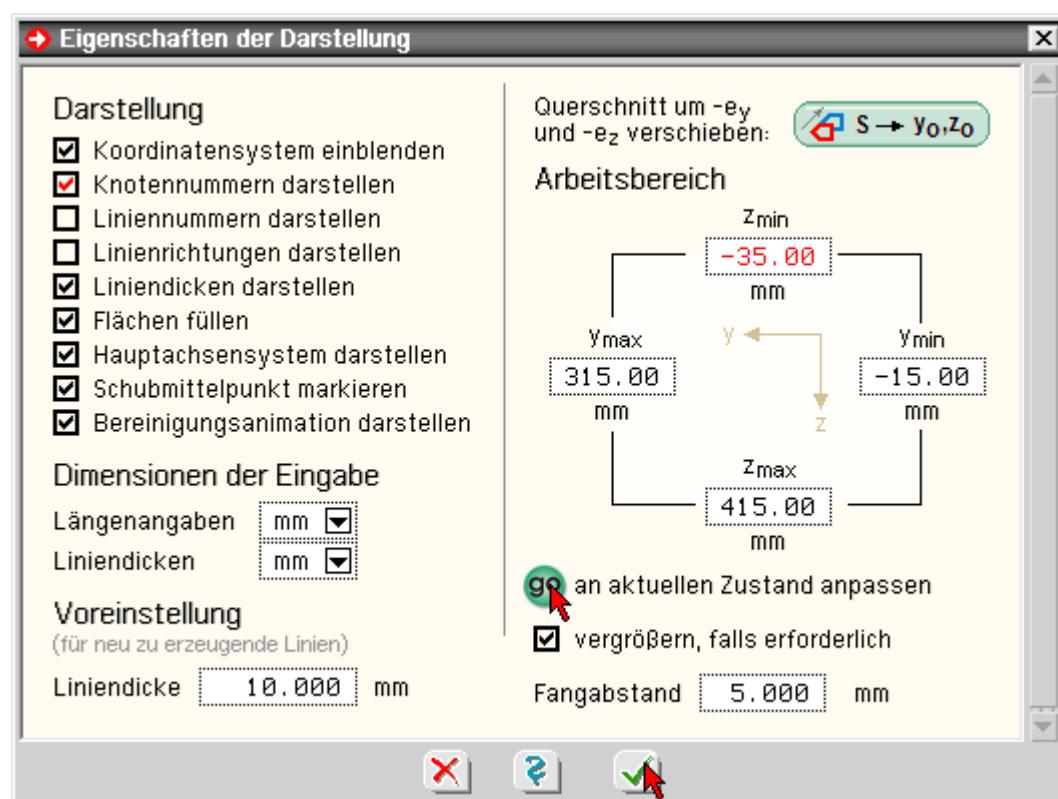
Wählen Sie diese Knoten durch Anklicken aus und klicken auf das Müllimersymbol oder alternativ auf die [Entf]-Taste ihrer Tastatur.



Klicken Sie auf das **Augesymbol**.



Aktivieren Sie im Eigenschaftsblatt *Eigenschaften der Darstellung* unter der Überschrift *Darstellung* den Schalter **Knotennummern darstellen** und klicken Sie unter der Überschrift *Arbeitsbereich* auf den **go**-Button. Da wir am oberen Rand des Profils noch etwas mehr Platz benötigen, korrigieren Sie den Wert für z_{min} auf -35.00 mm.



Hierdurch wird der Arbeitsbereich optimal an den aktuellen Inhalt und unser weiteres Vorhaben angepasst.

Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts (grünen Haken anklicken) erscheint der Querschnitt in voller Größe im Konstruktionsfenster.

Es ist zu erkennen, dass die vorangegangene Löschoperation Lücken in der Nummerierung erzeugt hat.

 Klicken Sie auf die nebenstehend dargestellte Schaltfläche, um diesen Missstand zu beheben.

Bevor wir am oberen Flansch die Verstärkung einbauen, schauen wir ins Ergebnisfenster.

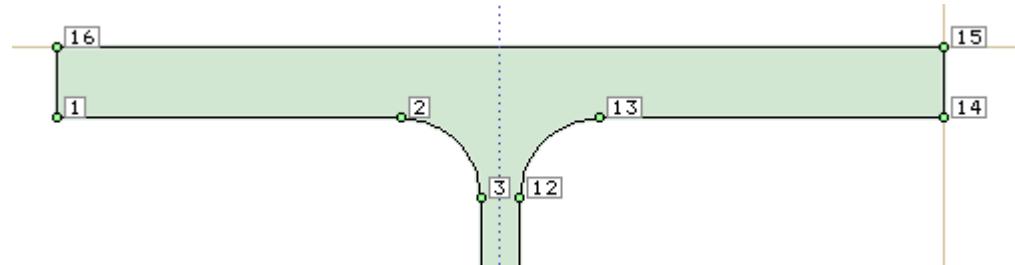
Mit $A = 197.78 \text{ cm}^2$, $I_m = 57680.90 \text{ cm}^4$ ergeben sich dieselben Werte, die bereits der Profilmanager für den HE400B ausgewiesen hat. Einen Wert für I_T bekommen wir unmittelbar nicht.

Bei dickwandig beschriebenen Querschnitten bedarf es einer etwas umfänglicheren FE-Analyse, die nicht automatisch (bei Querschnittsänderung) angestoßen wird.

 Klicken Sie auf den nebenstehend dargestellten Button, um dies nachzuholen. Den abgefragten Dichtefaktor können Sie auf **automatisch** belassen.

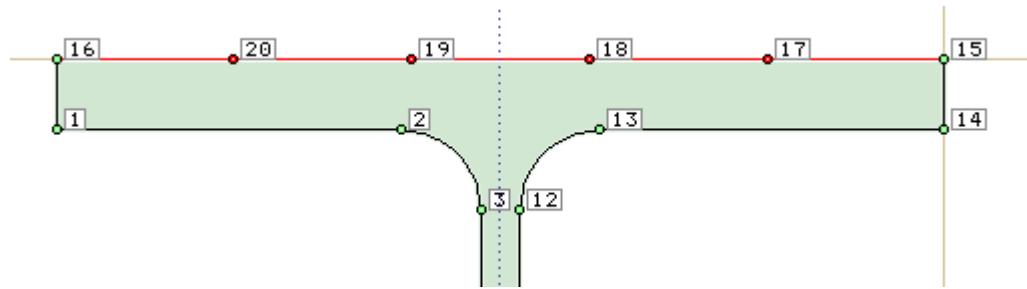
Nach durchgeföhrter Berechnung ergibt sich $I_T = 361.80 \text{ cm}^4$. Dieser Wert weicht von dem vom Profilmanager ausgewiesenen Tabellenwert um 1.3 % ab.

Wenden wir uns nun der Modellierung der Flanschverstärkung zu. Der obere Bereich des Querschnitts im Konstruktionsfenster stellt sich wie folgt dar



Doppelklicken Sie die obere horizontale Linie (von Knoten 15 nach Knoten 16). Es erscheint das individuelle Eigenschaftsblatt der Linie. Aktivieren Sie den Schalter **unterteilen** und wählen 4 Zwischenknoten.

Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts (grüner Haken) erscheinen die neuen Knoten im Konstruktionsfenster.



◀ Aktivieren Sie nun das Konstruktionskoordinatensystem (KKS), indem Sie auf die nebenstehend dargestellte Schaltfläche klicken.

Es erscheint ein kleines Kreuz, das Sie bitte genau über dem Knoten 15 positionieren ([linke Maustaste anklicken](#)). In der Informationszeile erscheint die Meldung

Konstruktionskoordinatensystem auf Knoten 15 verlagert

Wir sind nun in der Lage, alle relevanten Knoten vom Knoten 15 aus zu vermessen. Insbesondere die Knoten 18 und 17 können wir nun leicht in die endgültige Position bringen.

Führen Sie einen Doppelklick auf dem Knoten 18 aus.

Es erscheint das individuelle Eigenschaftsblatt des Knotens 18.

Hierin können die [y,z]-Koordinaten des Knotens absolut oder bzgl. des KKS angegeben werden (grün hinterlegte Eingabefelder).

Da per Aufgabenstellung Knoten 18 40 mm horizontal neben und 20 mm oberhalb des Knotens 15 liegen soll, können wir diese Werte unmittelbar [in die grünen Felder eintragen](#).

Konstruktionskoordinatensystem:
 y mm
 z mm

Hierbei ist allein auf das Vorzeichen zu achten. Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts nimmt Knoten 18 die gewünschte Position ein.

Führen Sie einen Doppelklick auf dem Knoten 17 aus und tragen in die grün hinterlegten Eingabefelder $y = 40$ mm und $z = 0$ mm ein.

Verschieben Sie das KKS nun in den Knoten 16.

Führen Sie einen Doppelklick auf dem Knoten 19 aus und tragen in die grün hinterlegten Eingabefelder $y = -40$ mm und $z = -20$ mm ein.

Führen Sie einen Doppelklick auf dem Knoten 20 aus und tragen in die grün hinterlegten Eingabefelder $y = -40$ mm und $z = 0$ mm ein.

Durch die vorangegangenen Aktionen erhielten einige Linien und Punkte den Status **ausgewählt** (rot dargestellt).

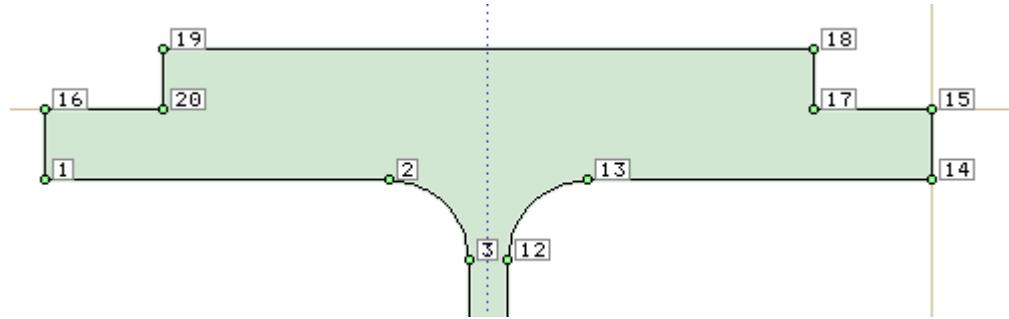


Um dies zu ändern, klicken Sie auf das nebenstehend dargestellte Symbol.



Klicken Sie auf das nebenstehend dargestellte Symbol, um das Konstruktionskoordinatensystem (KKS), das nun nicht mehr gebraucht wird, verschwinden zu lassen.

Der obere Bereich des Querschnitts im Konstruktionsfenster sollte nun aussehen wie nachfolgend dargestellt.





Klicken Sie auf den nebenstehend dargestellten Button, um FEM-Analyse zu starten. Den abgefragten Dichtefaktor können Sie auf **automatisch** belassen.

Dem Ergebnisfenster kann nun entnommen werden $A = 241.78 \text{ cm}^2$, $I_m = 73568.28 \text{ cm}^4$, $I_T = 880.42 \text{ cm}^4$.



Speichern Sie den Querschnitt. Klicken Sie hierzu auf den nebenstehend dargestellten Button und vergeben einen sinnvollen Namen.

Bevor das Tutorium mit weiteren interessanten Beispielen fortgeführt werden soll, werfen wir noch einen Blick auf die gewonnenen Ergebnisse. Für den HE400B ergaben sich

Quelle	$A [\text{cm}^2]$	$I_m [\text{cm}^4]$	$I_T [\text{cm}^4]$
Profilmanager	198.00	57680.00	357.00
4H-QUER (dünnwandig)	197.78	57680.93	307.32
4H-QUER (dickwandig)	197.78	57680.84	361.80

Während die Werte für A und I_m praktisch identisch sind, liefert 4H-QUER beim dünnwandig beschriebenen Querschnitt für I_T einen deutlich geringeren Wert.

Dies liegt daran, dass die Ausrundungen des Profils bei der Schubflussanalyse nach der dünnwandigen Theorie nicht berücksichtigt werden können.

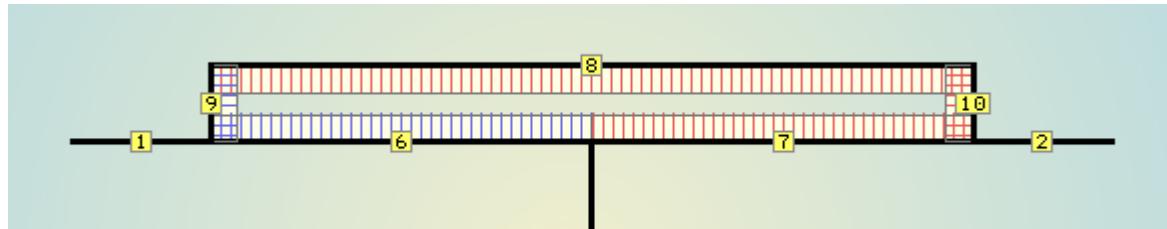
Näheres s. Alternative Berechnung der **Schubkennwerte**.

Für den HE400B mit angeschweißter Flanschverstärkung ergaben sich

Quelle	$A [\text{cm}^2]$	$I_m [\text{cm}^4]$	$I_T [\text{cm}^4]$
4H-QUER (dünnwandig)	241.78	73568.38	776.57
4H-QUER (dickwandig)	241.78	73568.28	880.42

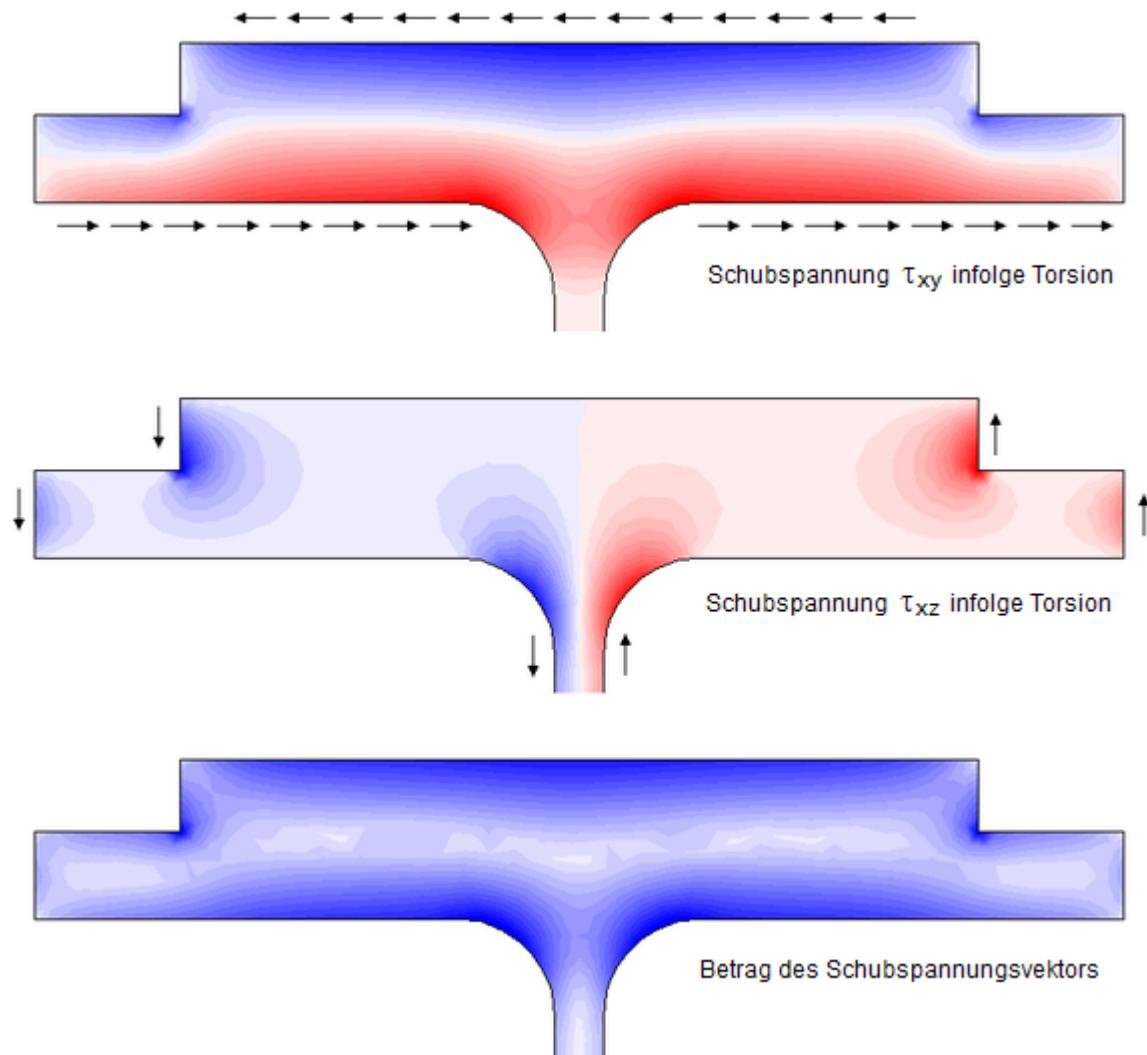
Auch hier sind die Werte für A und I_m praktisch identisch. Die berechneten Werte für I_T unterscheiden sich wiederum erheblich.

Man beachte, dass dem Ringfluss der Schubspannungen nach der dünnwandigen Theorie (hier noch einmal dargestellt)



der sehr viel differenziertere Schubspannungsverlauf aus der FEM-Analyse gegenübersteht.

Die nachfolgenden Bilder können beim dickwandigen Querschnitt dem Register *Ergebnisse* entnommen werden.



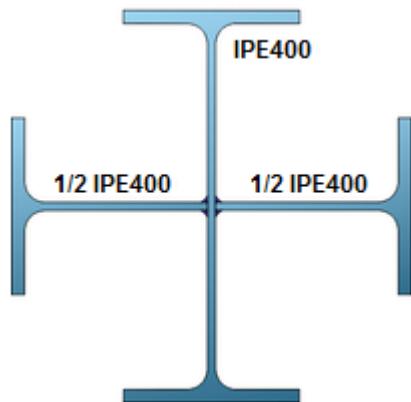
• praktische Übungen mit dem Modellieren-Fenster

Viele Wege führen nach Rom. Aber meistens gibt es einen optimalen Weg, der am schnellsten zum Ziel führt.

In diesem Sinne werden nun noch einige Lösungen zu ausgewählten Aufgabenstellungen vorgestellt.

An einen IPE400 sollen 2 1/2IPE400 wie dargestellt angeschweißt werden.

Der Querschnitt soll mit 4H-QUER erzeugt und gespeichert werden, um ihn später in 4H-FRAP einzuladen und zu verwenden.



Starten Sie 4H-QUER durch Doppelklicken des entsprechenden Symbols in der DTE®-Schublade, falls das 4H-QUER-Fenster nicht bereits geöffnet ist.



Klicken Sie auf den nebenstehend dargestellten Button, um einen neuen Querschnitt zu erzeugen.

Der Inhalt des Konstruktionsfensters wird gelöscht und alle Eigenschaften auf einen voreingestellten Wert gesetzt. 4H-QUER muss nun wissen, ob der neue Querschnitt vom Typ *dünnwandig* oder *dickwandig* sein soll.

Wählen Sie den Typ **dünnwandig** und bestätigen dies über den grünen Haken.



Klicken Sie auf die nebenstehend dargestellte Schaltfläche.

Es erscheint ein symbolisches Untermenü, das diverse Möglichkeiten anbietet, Elemente in das Konstruktionsfenster zu laden.

Wenn Sie den Mauszeiger über die Symbole gleiten lassen, erscheint ein Fähnchen, das die zugeordnete Funktion näher erläutert.

Näheres hierzu s. [Dünnwandige Objekte erzeugen](#).



Klicken Sie auf die nebenstehend dargestellte Schaltfläche.

Bild vergrößern

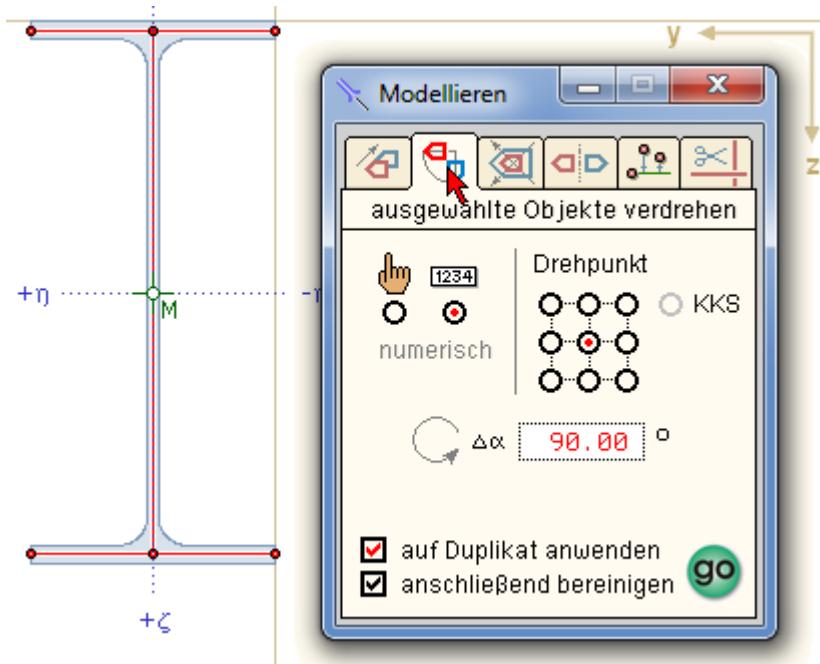
Hierdurch wird der DTE®-Profilmanager aufgerufen. Unter der Überschrift *Profile mit parallelen Flanschflächen* findet sich hierin im linken Fenster die Profilfamilie IPE. Wird diese angeklickt, werden alle Profile dieser Reihe im mittleren Fenster eingeblendet. Wird hierin das Profil IPE400 angeklickt, erscheinen dessen Parameter im dritten Fenster.

Um den ausgewählten Querschnitt an 4H-QUER zu übergeben, klicken Sie im Profilmanager in der Kopfzeile auf den grünen Haken rechts oben.

Der Träger erscheint im Konstruktionsfenster.

Rufen Sie nun das Modellieren-Fenster auf, indem Sie auf die nebenstehend dargestellte Schaltfläche klicken. Verschieben Sie das Fenster an eine Stelle auf dem Sichtgerät, an der es den Blick auf das 4H-QUER-Fenster nicht behindert.

Das zweite Register im Modellieren-Fenster bietet Interaktionsmittel an, mit deren Hilfe ausgewählte Objekte verdreht werden können.



Wählen das zweite Register aus. Wählen Sie hierin als Interaktionstyp **numerisch** (voreingestellt) und als Drehpunkt den Mittelpunkt der ausgewählten Objekte. Geben Sie für $\Delta\alpha$ 90° ein und achten Sie darauf, dass der Schalter **auf Duplikat anwenden** wie in der nebenstehend dargestellten Abbildung aktiviert ist.

Wählen Sie nun im Objektfenster alle Linien aus. Dies geschieht am einfachsten, indem ein Rechteck um die dargestellten Linien aufgespannt wird.

Klicken Sie nun auf den **go**-Button im Modellieren-Fenster.

Klicken Sie auf das **Augesymbol** und klicken Sie unter der Überschrift *Arbeitsbereich* auf den **go**-Button.

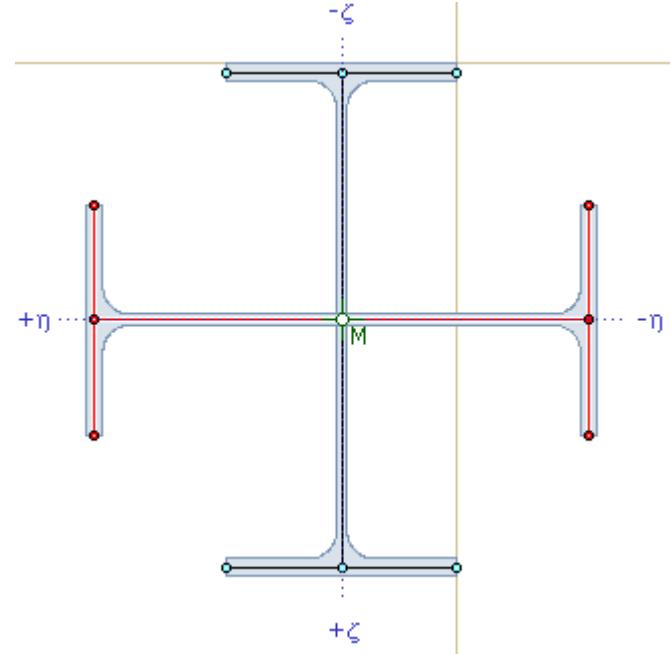
Das Ergebnis dieser Operation kann unmittelbar im Konstruktionsfenster eingesehen werden: Eine Kopie des IPE400 wurde um den Mittelpunkt (der Lage des Originals) um 90° verdreht hinzugefügt.

Die Darstellung im Konstruktionsfenster sieht bereits so aus wie das, was letztlich erreicht werden soll.

Ein Blick in das Ergebnisfenster weist als Typ unter der Überschrift *Basisinformationen 2-teilig, offen* aus.

Die beiden Querschnitte liegen offensichtlich "übereinander" ohne kraftschlüssig miteinander verbunden zu sein.

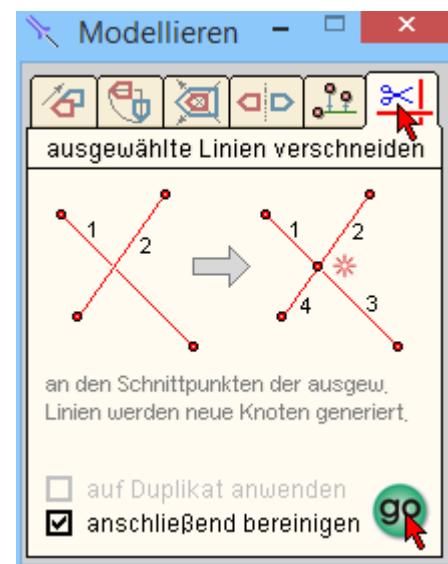
Dies soll nun geändert werden.



Klicken Sie auf die nebenstehend dargestellte Schalttafel, um die aktuell ausgewählten Linien abzuwählen. Wählen Sie daraufhin im Objektfenster durch einfaches Anklicken die beiden Linien aus, die die Stege der Doppel-T-Träger repräsentieren.

Wählen Sie nun im Modellieren-Fenster das letzte Register, um die beiden ausgewählten Linien zu verschneiden. Klicken Sie dort auf den **go**-Button, um die Aktion durchzuführen.

Während wir im Konstruktionsfenster keinen Unterschied zum vorhergehen-



den Zustand bemerken, wird im Ergebnisfenster nun der Typ *einteilig, offen* ausgewiesen.

 Klicken Sie auf die nebenstehend dargestellte Schalttafel, um die Eigenschaften der Darstellung zu ändern. Aktivieren Sie in dem Eigenschaftsblatt die Schalter **Knotennummern und Linienummern darstellen** und klicken Sie unter der Überschrift *Arbeitsbereich* auf den **go**-Button.

Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts kann nun auch im Konstruktionsfenster die Auswirkung der zuletzt durchgeführten Operation studiert werden.

Die Steglinien (3 und 8) wurden in ihrem Schnittpunkt unterteilt. Hierzu wurden ein neuer Knoten 13 und die Linien 11 und 12 generiert.

Im Grunde genommen sind wir mit der Aufgabe fertig. Es könnte aber nun jemand auf die Idee kommen, dass der Querschnitt um die Stegdicke des IPE400 breiter sein müsste, als er hoch ist, da ja die beiden ½IPE400 jeweils von außen (links und rechts) an den Steg des vertikal stehenden IPE400 angeschweißt werden sollen. Falls gewünscht, können wir auch dies bereinigen.

 Klicken Sie auf die nebenstehend dargestellte Schalttafel, um die aktuell ausgewählten Linien abzuwählen. Wählen Sie daraufhin im Objektfenster durch einfaches Anklicken oder Umfahren die beiden Linien aus, die den linken Flansch des liegenden Doppel-T-Trägers repräsentieren.

Fahren Sie den Mauscursor über die Linie 3 (ohne diese anzuklicken). Sie können unmittelbar die Liniendicke = Stegdicke = 8,60 mm ablesen.

Wählen Sie im Modellieren-Fenster das erste Register aus, wählen Sie dort die numerische Verschiebeaktion und tragen in dem numerischen Eingabefeld Δy den Wert $8.60/2 = 4.30$ mm ein. Achten Sie darauf, dass der Schalter **auf Duplikat anwenden nicht** aktiviert ist und klicken auf **go**. Führen Sie dieselbe Aktion mit den Linien des rechten Flansches durch, die mit $\Delta y = -4.30$ mm verschoben werden müssen.

Sie können nun im Ergebnisfenster unter der Überschrift *Ausdehnung* einsehen, dass der Querschnitt eine Höhe $h = 40$ cm und eine Breite von $b = 40,86$ cm hat. Darüber hinaus ist er gegenüber einer Biegung um die n-Achse etwas steifer geworden, was am Trägheitsmoment I_n abgelesen werden kann.

 Prinzipiell kann der Querschnitt nun gespeichert werden. Klicken Sie hierzu auf den nebenstehend dargestellten Button.

Da der Querschnitt später in 4H-FRAP importiert werden soll und dort in einem 3D-Stabwerkssystem hohe Torsionsmomente aufnehmen muss, könnten wir überprüfen, ob eine genauere FE-Analyse nicht ein besseres (höheres) Torsionsträgheitsmoment liefert.

 Klicken Sie hierzu auf den **Abacus**-Button. Achten Sie im folgenden Eigenschaftsblatt darauf, dass der Testmodus angeschaltet ist. Belassen sie alle anderen Einstellungen und bestätigen Sie das Eigenschaftsblatt.

Nach kurzer Berechnung erscheint ein Eigenschaftsblatt, das die wesentlichen Werte aus der dick- und dünnwandigen Berechnung einander gegenüberstellt.

Ergebnis der FEM-Schubspannungsanalyse				
Wert	dickwandig	dünnwandig	Fehler	
I_T	101.457	75.620	25.47 %	
K_η	4.381	4.519	3.15 %	
K_ζ	4.451	4.599	3.33 %	

optionale Einstellungen:

I_T , K_η und K_ζ sollen bei diesem Querschnitt stets am

dünnwandigen Querschnitt

dickwandigen Ersatzquerschnitt

ermittelt werden.



Zu erkennen ist, dass die genauere dickwandige FE-Berechnung ein um ca. 25% höheres Torsionsträgheitsmoment liefert.

Soll auch 4H-FRAP davon profitieren, muss der alternative Schalter **dickwandigen Ersatzquerschnitt** unter der Überschrift *optionale Einstellungen* gesetzt werden.

Dies kann sowohl bei der Schnittgrößenermittlung als auch bei der Nachweisführung innerhalb von 4H-FRAP von Vorteil sein.

Näheres zu diesem Thema s. Alternative Berechnung der **Schubkennwerte**.

• Konstruktion eines regelmäßigen Sechsecks



Als letzte kleine Übung soll nun durch Anklicken des dargestellten Buttons ein regelmäßiges, dickwandiges Sechseck mit einer Kantenlänge von 40 cm erzeugt werden.

Der Inhalt des Konstruktionsfensters wird gelöscht und alle Eigenschaften auf einen voreingestellten Wert gesetzt. 4H-QUER muss nun wissen, ob der neue Querschnitt vom Typ *dünnwandig* oder *dickwandig* sein soll.

Wählen Sie den Typ **dickwandig** und bestätigen dies über den grünen Haken.



Klicken Sie auf die nebenstehend dargestellte Schaltfläche.

Es erscheint ein symbolisches Untermenü, das diverse Möglichkeiten anbietet, Elemente in das Konstruktionsfenster zu laden.

Wenn Sie den Mauszeiger über die Symbole gleiten lassen, erscheint ein Fähnchen, das die zugeordnete Funktion näher erläutert.

Näheres hierzu s. **Dickwandige Objekte erzeugen**.



Klicken Sie auf die nebenstehend dargestellte Schaltfläche.

Hierdurch wird das Werkzeug zur Definition eines (geschlossenen) Polygonzugs aufgerufen.

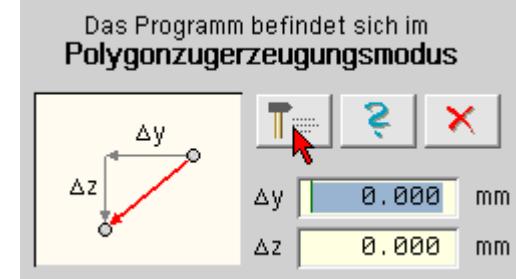


Es erscheint ein Eigenschaftsblatt, in dem die Startkoordinaten des Polygonzugs abgefragt werden. Sie können es ruhig bei der voreingestellten [0,0] belassen.

Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts schaltet 4H-QUER in den Polygonzugerzeugungsmodus um.

Am oberen rechten Rand des 4H-QUER-Fensters erscheinen einige Schalttafeln und Eingabefelder zur Definition der einzelnen zum Polygonzug gehörenden Punkte.

Klicken Sie auf den linken Button mit dem Hammersymbol.



Es erscheint ein Menü.

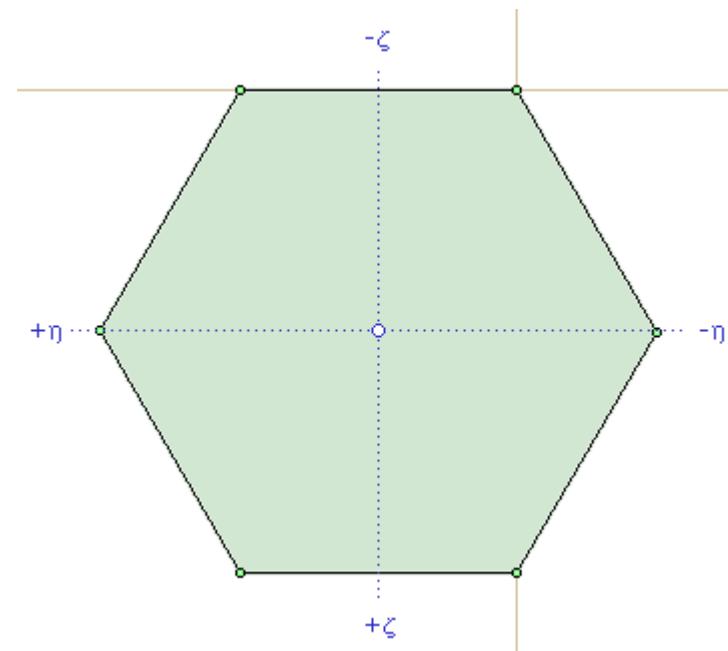
Wählen Sie **Linienzugmodus umschalten**.

An der Skizze, wie auch an den Einträgen vor den numerischen Eingabefeldern ist zu erkennen, dass 4H-QUER nun keine $[\Delta x, \Delta y]$ -Paare, sondern $[\Delta l, \alpha]$ -Werte erwartet.

In der nachfolgenden Eingabe über die Tastatur schaltet 4H-QUER stets zwischen den beiden Eingabefeldern hin- und her. Sobald der zweite Wert eingegeben wurde, wird die so festgelegte Polygonzuglinie im Konstruktionsfenster dargestellt. Eine Eingabe wird mit der Entertaste ([Enter]) bestätigt.

Geben Sie nun Folgendes ein

- 400 [Enter] Da 4H-QUER die Inhalte der Eingabefelder unverändert belässt, müssen die blass dargestellten Zahlen (400) nicht tatsächlich eingegeben, sondern lediglich mit der Entertaste bestätigt werden.
- 0 [Enter]
- 400 [Enter] Nach jeder zweiten Eingabe erscheint die soeben beschriebene Linie direkt im Konstruktionsfenster.
- 60 [Enter]
- 400 [Enter] Erkennt man hierbei einen Eingabefehler, kann dieser mit der Menüfunktion **letzte Linie zurück**, die sich ebenfalls hinter dem Button mit dem Hammersymbol versteckt, rückgängig gemacht werden.
- 120 [Enter]
- 400 [Enter] Wird die letzte Eingabe bestätigt, erkennt 4H-QUER, dass der Polygonzug geschlossen wurde.
- 180 [Enter]
- 400 [Enter]
- 240 [Enter]
- 400 [Enter]
- 300 [Enter]



zur Hauptseite 4H-QUER, Querschnittswerteermittlung



© pcae GmbH Kopernikusstr. 4A 30167 Hannover Tel. 0511/70083-0