



4H- STATIKPROGRAMME
AUS HANNOVER

DTE Desktop[®]
Engineering



pcae GmbH

Kopernikusstr. 4A

30167 Hannover

Tel 0511/70083-0

Fax 0511/70083-99

Internet www.pcae.de

Mail dte@pcae.de



4H-DULAS

Stahlträger / Stahlstütze

April 2021

4H-DULAS

Stahlträger / Stahlstütze

Copyright 2006 - 2021

pcae GmbH, Kopernikusstr. 4 A, 30167 Hannover

5. erweiterte Auflage, April 2021

Änderungen an Programm und Beschreibung vorbehalten.

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

Teile dieses Handbuches dürfen unter Angabe der Quelle vervielfältigt werden.

Korrekturen und Ergänzungen zum vorliegenden Handbuch sind ggf. auf der aktuellen Installations-CD enthalten. Ergeben sich Abweichungen zur Online-Hilfe, ist diese aktualisiert. Ferner finden Sie **Verbesserungen und Tipps im Internet unter www.pcae.de**.

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

Produktbeschreibung

##DULAS, Stahlträger/Stahlstütze, ist ein Produkt der [pcae](#) GmbH, Hannover.

Das Programm ##DULAS berechnet Stahlträger nach der Theorie der Wölbkrafttorsion und der Elastizitätstheorie II. Ordnung. Für den räumlich belasteten Träger werden unter Berücksichtigung von Imperfektionen Verformungen und Schnittgrößen ermittelt. Anschließend wird überprüft, ob alle Querschnitte ausreichende Tragfähigkeit besitzen. Dazu wird mit den Schnittgrößen am verformten Querschnitt der Spannungsnachweis n. DIN EN 1993-1-1 (EC 3) oder DIN 18800, Teil 2, geführt. Zusätzlich werden die c/t -(b/t)-Verhältnisse überprüft.

Der Tragsicherheitsnachweis nach der Spannungstheorie II. Ordnung kann im Gegensatz zu den Ersatzstabverfahren bei Systemen mit planmäßiger Torsion (z.B. bei U-Profilen mit Lasten im Steg) oder Torsion infolge der geometrisch nichtlinearen Berechnung (Gleichgewicht am verformten System) geführt werden. Somit kann mit ##DULAS für Träger mit nahezu beliebiger Querschnittsgeometrie, Belastung und Lageranordnung neben dem Knicknachweis auch der Biegedrillknicknachweis geführt werden.

Die Leistungsfähigkeit von ##DULAS in Stichworten

- Berechnung räumlich beanspruchter Ein-, Zwei- und Mehrfeldträger nach Theorie I. und/oder II. Ordnung
- Berechnung als schubstarrer räumlicher Balken mit oder ohne Wölbkrafttorsion
- Berücksichtigung von Torsionsmomenten infolge Normalspannungen nach Theorie II. Ordnung (Wagner-Effekt)
- Ausgabe von Meldungen bei Stabilitätsversagen (Knicken, Biegedrillknicken usw.)
- Nachweise n. EC 3, DIN 18800 oder Schnittgrößenermittlung ohne Normenbezug
- Lastkombinationen als Extremalbildungen oder als Lastkollektive bei Nachweisen nach Theorie I. Ordnung
- Lastkombinationen als Generierungsvorschriften (Lastkollektivgruppen) oder als Lastkollektive bei Nachweisen nach Theorie II. Ordnung
- Aufteilung des Systems in Abschnitte unterschiedlicher Materialeigenschaften, Länge, Querschnittsform und Ausrichtung
- neben den Standardstahlgüten gemäß DIN EN 1993 bzw. DIN 18800 können benutzerdefinierte Stahlgüten durch Eingabe der elastischen Moduln und der Fließgrenzen verwendet werden
- als Querschnittsform können die Profile der [pcae](#)-Profildatei, typisierte Querschnitte mit parametrisierter Beschreibung sowie mit dem Programm ##QUER konstruierte dünnwandige Querschnitte verwendet werden
- typisierte Querschnittsformen können innerhalb eines Abschnitts gevoutet sein
- die Querschnitte können in unterschiedlichster Form bzgl. der Systemachse orientiert werden: horizontale Ausrichtung (links, rechts, Schwer- bzw. Schubmittelpunkt), vertikale Ausrichtung (oben, unten, Schwer- bzw. Schubmittelpunkt), Verschiebung in der Querschnittsebene, Drehung um die Trägerachse
- an jeder Stelle eines Querschnitts können Punktlager (Festlager oder Federn in den Verschiebungsrichtungen und Drehfedern um die Trägerachse) vorgesehen werden
- zwischen zwei Schnitten eines Abschnitts können exzentrisch wirkende Linienlager (Festlager oder Federn in den Verschiebungsrichtungen und Drehfedern um die Trägerachse, z.B. Schubfeld, gebundene Drehachse) vorgesehen werden
- die Verschiebungen, die Verdrehungen und die Verwindung der Trägerenden und der Teilungspunkte der Abschnitte können exzentrisch zur Trägerachse gelagert werden (z.B. Festhaltung, Einspannung, Wölbfeder)
- optische Kontrolle der Querschnitteigenschaften (Geometrie, Orientierung, Lagerangaben) mit tabellarischer Ausgabe der Querschnittswerte
- als Lastbilder stehen Punktlasten, Linienlasten, Eigengewicht, Temperatur und Zwangsverformungen zur Verfügung, die Richtung der Eigengewichtslasten kann für den Träger geändert werden, so dass z.B. auch Stützen berechnet werden können
- die Lastbilder können an beliebigen Stellen des Trägers unabhängig von der Abschnittsteilung angreifen
- die Lastbilder können exzentrisch bzgl. der Trägerachse wirken und um die Trägerachse gedreht werden
- der Einfluss der Lastexzentrizität auf die Stabilität des Systems wird berücksichtigt

- Imperfektionen werden als Vorverformungen quer zur Trägerachse und als Vorverdrehung um die Trägerachse beschrieben
- der Wirkungsbereich einer Imperfektionsfigur kann zwischen zwei beliebigen Schnitten des Trägers liegen
- der Wert der Imperfektion kann absolut oder bzgl. der Länge des Wirkungsbereichs vorgegeben werden
- Vorverformungen können aus Vorverdrehung, Vorkrümmung und einer konstanten Vorverschiebung zusammengesetzt oder allgemein durch Vorgabe der Anfang- und Endverschiebung und -verdrehung festgelegt werden
- der Einfluss der Imperfektionen auf Lastangriffspunkte und Lagerbedingungen wird berücksichtigt
- die Genauigkeit der nichtlinearen (iterativen) Berechnung kann vom Anwender vorgegeben werden
- die interne Teilung des Systems zur hinreichend genauen Berechnung kann automatisch erfolgen oder von außen beeinflusst werden
- der maximale Abstand der Ergebnispunkte kann vorgegeben werden
- die zu führenden Nachweisverfahren elastisch- elastisch oder elastisch-plastisch bzw. die Nachweise können eingestellt werden
 - plastischer Querschnittsnachweis EC3-1-1 6.2.1(6) entweder Teilschnittgrößenverfahren mit Umlagerung oder Dehnungsiteration oder erweitertes Teilschnittgrößenverfahren oder für Dreiblechquerschnitte TSV (Kindmann)
 - elastischer Querschnittsnachweis EC3-1-1 6.2.1(5)
 - Grenzwerte grenz (c/t) EC3-1-1 Tab. 5.2
- Eingabeassistent zur bequemen Eingabe des Grundsystems
- einfache Änderung des bestehenden Systems: Teilen und Zusammenlegen von Abschnitten, Löschen ausgewählter Objekte, gleichzeitige Änderung mehrerer Objekte
- die Verwaltung der Einwirkung und Lastfälle bzw. der Nachweise und Lastkombinationen erfolgt mit den auch aus anderen **pcae**-Programmen (##-ALFA, ##-NISI, ##-FRAP ...) bekannten Eingabeblättern
- automatische Neuberechnung der Ergebnisse nach jeder Änderung oder Start der Berechnung durch den Anwender
- das System und die Verformungen der Lastfälle und Lastkollektive können räumlich visualisiert werden (Zoom, Drehung, Skalierung der Deformationen usw.)
- die Ergebnisse können für die einzelnen Ergebnisarten (Lastfall, Lastkollektiv, Extremierung, Zusammenfassung usw.) als Liniengrafiken am Bildschirm eingesehen werden
- der Umfang der Ergebnisdarstellung kann angepasst werden (Gleichgewichtsschnittgrößen bzgl. der Durchlaufträgerachse, Nachweisschnittgrößen bzgl. des verformten Hauptachsensystems, lokale oder globale Verformungen, Spannungen, Ausnutzungen usw.)
- die Tabellen und Liniengrafiken der Ergebnisdruklisten können nach den persönlichen Wünschen gestaltet werden
- zur Kontrolle der Berechnung können Detailnachweispunkte definiert werden, für die alle Berechnungsschritte und Zwischenergebnisse aufgeführt werden
- zur Weitergabe von Schnittkräften und Momenten an Detailnachweisprogramme (##-EC3FS, ##-EC3BT, ##-EC3SA, etc.) können Exportpunkte definiert werden (Stabschnitte und Lagerpunkte)

Die Programmentwicklung erfolgt nahezu ausschließlich durch Bauingenieure.

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



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

Zur ##-DULAS-Dokumentation gehören neben diesem Manual die Handbücher das **pcae**-Nachweiskonzept und *DTE®-DeskTopEngineering*.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit ##-DULAS.

Hannover, im April 2021

Abkürzungen und Begriffe

Um die Texte zu straffen, werden folgende **Abkürzungen** benutzt:

Maustasten	RMT	rechte Maustaste drücken
	LMT	linke Maustaste drücken
	LF	Lastfall (Teileinwirkung)
	Nwtyp	Nachweistyp
	El.	Element



signalisiert Anmerkungen

Buttons

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



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

Index

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

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

Doppelklick

zweimaliges schnelles Betätigen der LMT

blank

Leerzeichen

Cursor

Schreibmarke in Texten, Zeigesymbol bei Mausbedienung

icon

oder Ikon, Piktogramm, Bildsymbol

Fangerechteck

Ein Fangerechteck wird durch Drücken der LMT und Ziehen der Maus mit gedrückter LMT aufgespannt. Alle Elemente, die vollständig innerhalb des Rechtecks liegen, werden ausgewählt. Waren Elemente bereits vor dem Aufspannen des Rechtecks ausgewählt und befinden sie sich vollständig in seinem Innenraum, werden sie wieder deaktiviert.

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

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



bricht Eigenschaftsblätter ohne Änderung der Eingabewerte ab.



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



ruft das Online-Hilfesystem.



bestätigt die Eingaben und schließt das Eigenschaftsblatt.



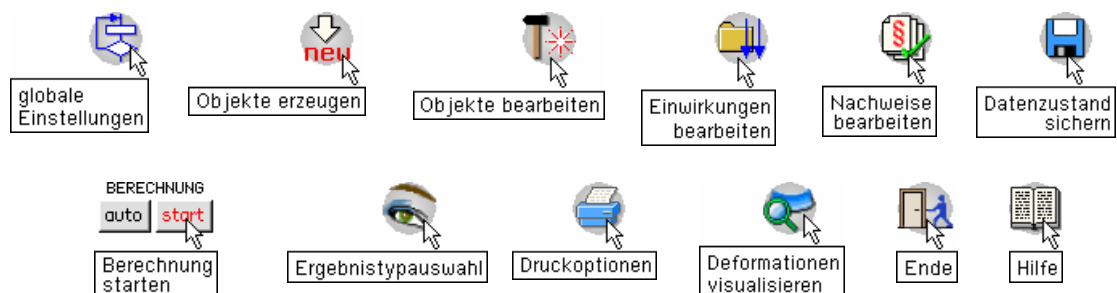
Löschen-Button vernichtet Eingaben mit Nachfrage.



Datenzustand überprüfen

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

Die Funktionen der Buttons zur Steuerung der **##DULAS**-Eingabe werden durch ihre Fähnchen erläutert:



Inhaltsverzeichnis

1	Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten	7
2	Eingabebeispiel	9
2.1	Ordner und Bauteil erzeugen	9
2.2	Eingabeassistent	10
2.2.1	Norm	10
2.2.2	Abschnitte festlegen	10
2.2.3	Lagerungsbedingungen	11
2.2.4	Profilzuordnung	11
2.2.5	Belastung	12
2.2.6	Lastbilder erzeugen	13
2.2.7	Nachweise einrichten	13
2.3	Eingabeoberfläche	14
2.3.1	individuelle Objektauswahl und Lagerung	15
2.3.2	Vereinheitlichen und Querschnitte	15
2.3.3	veränderlicher Querschnitt und Ausrichtung	16
2.3.4	Ausrichtung der Lagerung	18
2.3.5	Lager löschen und Lagerung auf dem Abschnitt	19
2.3.6	Lasteingabe	20
2.3.7	Imperfektionen	22
2.3.8	Berechnung und Darstellung der Ergebnisse	24
2.3.9	Kontrollpunkte	25
2.3.10	Standardlastkollektivbildung	26
2.3.11	Standardextremierung für Nachweise Theorie I. Ordnung	27
2.3.12	Lastweiterleitung	27
2.3.13	Drucklistengestaltung	28
2.3.14	Schlussbemerkung zum Beispielteil	28
3	Allgemeine Erläuterungen	29
3.1	Arbeiten mit dem Eingabemodul	29
3.1.1	Hauptfenster	29
3.1.2	Baumansichtsfenster	29
3.1.3	Objektfenster	30
3.1.4	Ergebnisfenster	31
3.1.5	Elemente der Steuerbuttonzeile	32
3.1.6	Objektauswahl und Doppelklick	33
3.1.7	Assistent	34
3.1.8	Bearbeitung beenden	35
3.2	einführende Bemerkungen	35
3.2.1	globale Einstellungen	35
3.2.1.1	Register <i>Norm</i>	35
3.2.1.2	Register <i>Orientierung</i>	36
3.2.1.3	Register <i>Berechnung</i>	36
3.2.1.4	Register <i>Iteration</i>	37
3.2.1.5	Register <i>Teilung</i>	37
3.2.1.6	Register <i>Nachweis</i>	38
3.2.2	globales Koordinatensystem und Exzentrizitäten	39
3.2.3	Abschnitte und Lagerpunkte	39
3.2.4	Anker und Abstände	40
3.2.5	Kontrollpunkte	41
3.2.5.1	Allgemeines	41
3.2.5.2	Kontrollpunkte verwalten	41
3.2.6	Umfangseinstellungen	42
3.3	Abschnitte	43

3.3.1	Stahlgüte und Querschnitt.....	43
3.3.2	Ausrichtung des Querschnitts	45
3.3.3	Punktfedern.....	46
3.3.4	Linienfedern.....	47
3.3.5	Gelenkfedern.....	48
3.3.6	Abschnittslänge und Teilung	49
3.3.7	optische Kontrolle.....	50
3.4	Lagerpunkte.....	51
3.5	Einwirkungen und Nachweise	51
3.6	Belastungen und Imperfektionen.....	52
3.6.1	Streckenlasten.....	52
3.6.2	Punktlasten.....	53
3.6.3	Imperfektionsbilder	54
3.7	Ergebnispräsentation	57
3.7.1	Darstellung der Ergebnisse.....	57
3.7.2	Darstellungsoptionen im Ergebnisfenster	57
3.7.3	Skalierung der Grafiken	58
3.7.4	Ausgabeoptionen der Ergebnisdruckliste	59
3.8	Theorie und Beispiele.....	60
3.8.1	Theorie	60
3.8.1.1	Koordinatensysteme	60
3.8.1.2	Verschiebungsansatz.....	61
3.8.1.3	Schnittgrößen und Spannungen	61
3.8.1.4	Prinzip der virtuellen Arbeit.....	62
3.8.2	Effekte der Stabformulierung	63
3.8.2.1	Wölbkrafttorsion	63
3.8.2.2	Knicken	65
3.8.2.3	Biegedrillknicken	65
3.8.2.4	Wagner-Effekt	66
3.8.3	Querschnittsnachweis	67
3.8.3.1	Nachweis DIN EN 1993	67
3.8.3.2	Nachweis DIN 18800	69
4	Literaturverzeichnis	70
5	Index	71

1 Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten

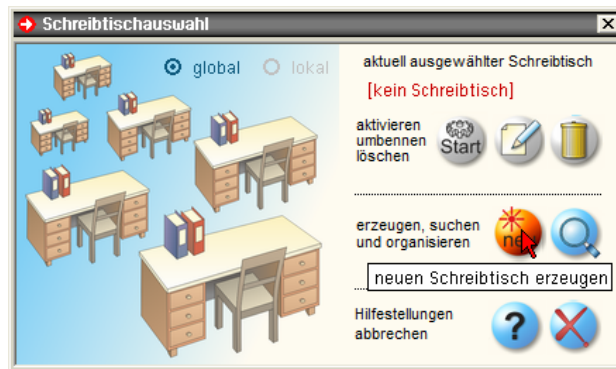
Die Installation des DTE®-Systems und das Überspielen des Programms *##-DULAS* auf Ihren Computer erfolgt über einen selbsterläuternden Installationsdialog.

Sofern Sie bereits im Besitz anderer *##*-Programme sind und diese auf Ihrem Rechner installiert sind, lesen Sie bitte auf S. 9 weiter.

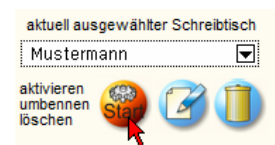
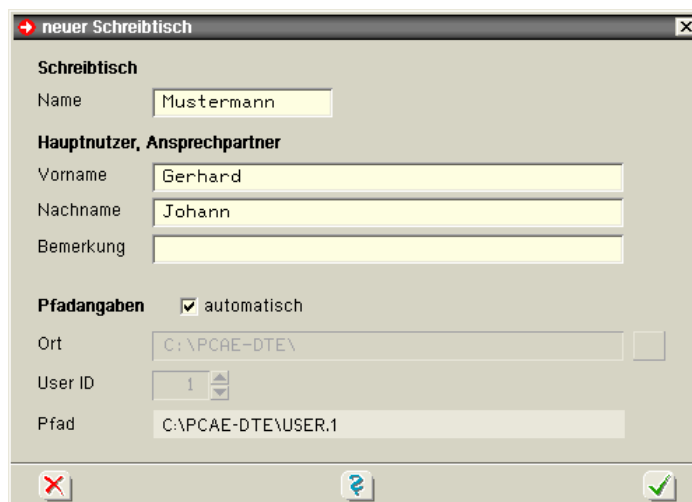


Nach erfolgreicher Installation befindet sich das DTE®-**Startsymbol** auf Ihrer Windowsoberfläche. Führen Sie bitte darauf den Doppelklick aus.

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



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

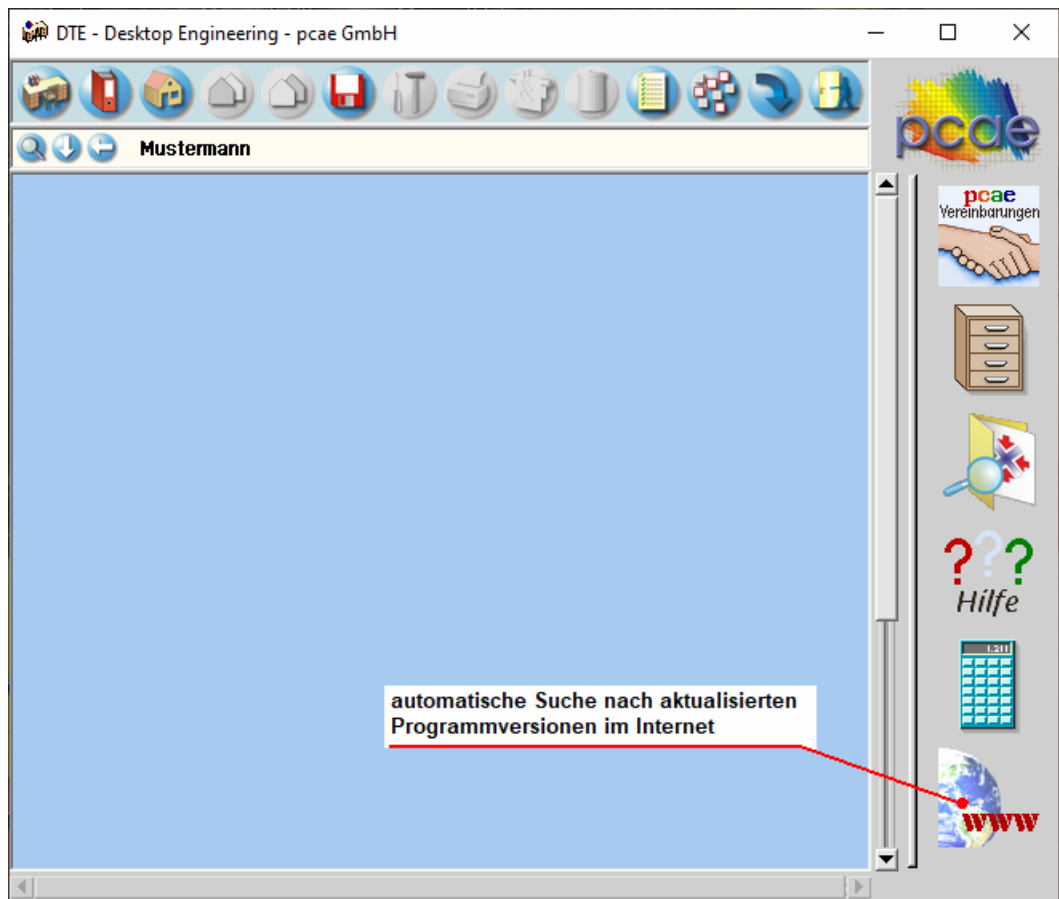


Nach Bestätigen über das **Hakensymbol** erscheint wieder die Schreibtischauswahl, in die der neue Name bereits eingetragen ist. Drücken Sie auf **Start** und die DTE®-Schreibtischoberfläche erscheint auf dem Bildschirm.

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



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


















Steuerbuttons

Im oberen Bereich des Schreibtischs sind Interaktionsbuttons lokalisiert.

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

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

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

2

Eingabebeispiel

2.1

Ordner und Bauteil erzeugen



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



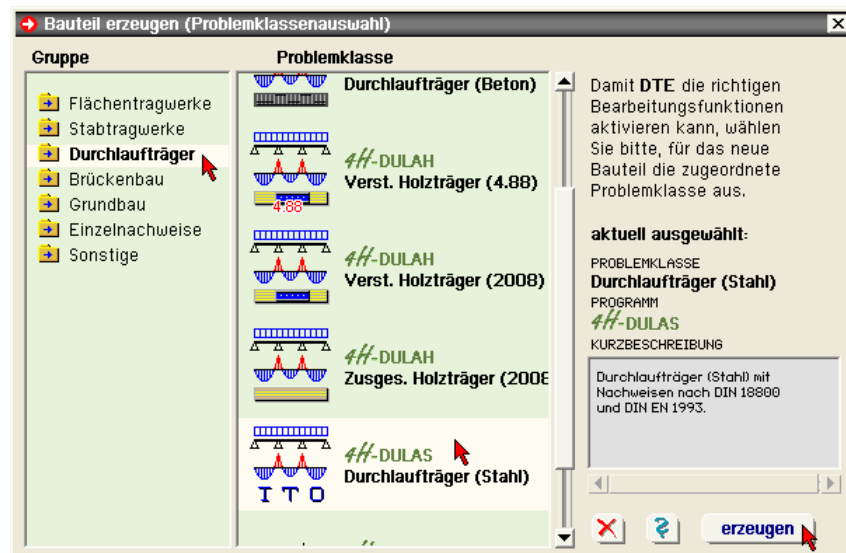
Aus dem Eintrag in der Schreibtischkopfzeile ist zu erkennen, in welchem Ordner sich die Aktion aktuell befindet.



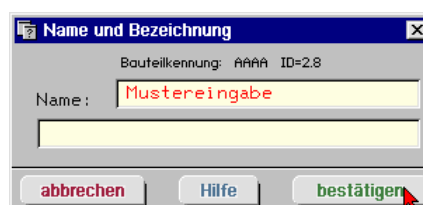
Der Ordner kann durch das **beenden**-Symbol wieder geschlossen werden.

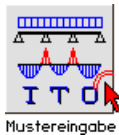


Zur Erzeugung eines neuen Bauteils wird das Schnellstartsymbol in der Kopfleiste des DTE®-Schreibtisches angeklickt. Klicken Sie in dem folgenden Eigenschaftsblatt bitte mit der LMT auf die Gruppe **Durchlaufträger**, dann auf die Problemklasse **Durchlaufträger (Stahl)** und anschließend auf den **erzeugen-Button**.



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





Überschreiben Sie die Worte "Durchlaufträger (Stahl)" zur Identifikation durch einen sinnvollen Text. Nach **Bestätigen** ist das Bauteil mit dem neuen Namen eingerichtet. Durch Doppelklick auf das neue Symbol wird das Bauteil geöffnet und der Eingabeassistent zu **##-DULAS** erscheint.

2.2

Eingabeassistent

Der Eingabeassistent erzeugt mit einem Minimum an erforderlichen Eingaben einen Datensatz, der dann in weiteren Arbeitsschritten zum endgültigen Tragsystem erweitert und verändert werden kann.

Die abgefragten Begriffe werden im Folgenden kurz erläutert, wenn sich ihre Inhalte nicht aus dem Kontext ergeben. In jedem Falle werden wir im späteren Verlauf der Eingabe auf wesentliche Definitionen zurückkommen.

Geben Sie daher bitte die rot markierten Daten entsprechend den folgenden Eigenschaftsblättern ein.

2.2.1

Norm

Im ersten Schritt ist das der Berechnung zugrunde liegende Normenwerk festzulegen. Neben Eurocode 3, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, kann weiterhin nach DIN 18800 berechnet werden.

2.2.2

Abschnitte festlegen

Das Durchlaufträgersystem wird abschnittsweise beschrieben. Ein Abschnitt kann ein Feld zwischen zwei Auflagern sein oder zur Definition einer Voute herangezogen werden. Ferner kann ein **Querschnittssprung** oder ein Wechsel des Profils zur Definition von Abschnitten zwingen. Ein neuer Abschnitt ist immer dann erforderlich, wenn eine systembedingte Änderung des Trägers vorliegt. Die Belastungsbilder hingegen erzwingen eine derartige Unterteilung i.A. nicht.

Für unser kleines Einführungsbeispiel soll eine Teilung in drei Abschnitte ausreichen. Bitte tragen Sie den Wert ein, gehen dann weiter zur nächsten Eingabeseite und legen dort die Abschnittslängen fest.

2.2.3

Lagerungsbedingungen

Auf Seite 4 des Eingabeassistenten werden die Lagerungsbedingungen festgelegt. Jeder der durch die Abschnittsbegrenzungen festgelegten Punkte A, B ... kann für Kräfte, Momente und zusätzlich gegen Verwölbung gefesselt werden.

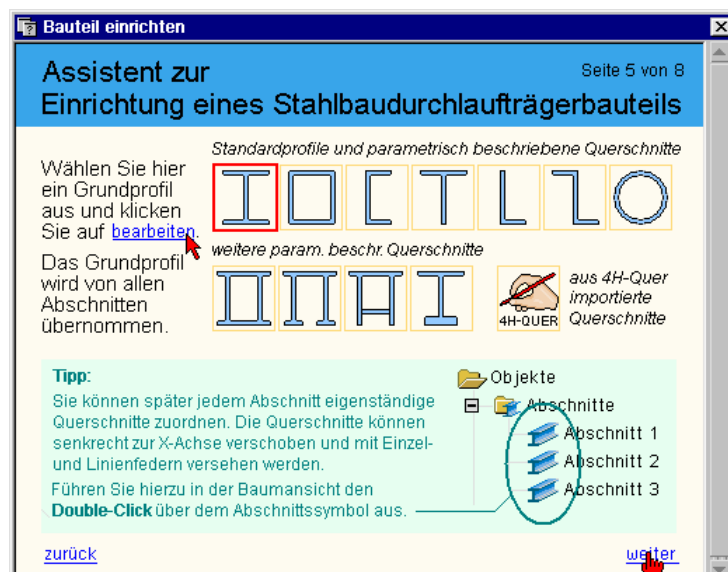
Da der erste Abschnitt ein Kragarm werden soll, sind die Festhaltungen im Punkt A komplett zu lösen. Da das System durch den Fortfall der Fesselung in X-Richtung verschieblich wird, ist ein Punkt zusätzlich für die Kraft X zu lagern.



2.2.4

Profilzuordnung

Auf der fünften Seite des Eingabeassistenten wird dem Träger ein Profil für die Gesamtlänge zugewiesen. Wir wollen es der Einfachheit halber hier bei dem standardmäßig definierten IPE300 belassen. Eine Änderung dieser Einstellung könnte über den **bearbeiten**-Button vorgenommen werden.



2.2.5

Belastung



Mit diesen Angaben ist die Beschreibung der Systemseite bereits abgeschlossen. Die folgenden Seiten dienen zur Beschreibung der Belastungsstruktur. Der zugehörige Assistent zur Laststrukturierung wird über den **Start**-Button auf S. 6 des Eingabeassistenten aufgerufen.

Hierin stehen zwei Lastschemata zur Verfügung. Das voreingestellte Schema **DIN 1055-100 / Eurocode** ist die für das vorliegende Beispiel zutreffende Überlagerungsvorschrift.

Assistent zur Laststrukturierung

Es sind zur Zeit weder Einwirkungen noch Lastfälle definiert. Dieser Assistent will Ihnen dabei helfen, aus wenigen Angaben eine Grundstruktur für die Belastung zu generieren. Diese Struktur kann später nach Belieben verändert werden.

Wählen Sie ein Lastschema

DIN 1055-100 / Eurocode

Für Stahlbetonbauten oder gemischte Systeme mit Stahlbetonteilen, die nach DIN 1055-100 oder Eurocode überlagert werden müssen. Auch für Stahlbaukonstruktionen gemäß DIN 18800, die nach DIN 1055-100 überlagert werden sollen.

abbrechen weiter

Assistent zur Laststrukturierung

Bitte geben Sie die **Anzahl der Lastfälle** für die unterschiedlichen Einwirkungstypen ein.

1 ständige Lasten

veränderliche Nutzlasten

3 Wohn-, Büroräume

0 Versammlungs-, Verkaufsräume

0 Lagerräume

veränderliche Verkehrslasten

Fahrzeuge bis 30 kN **0** Spuren

Fahrzeuge bis 160 kN **0** Spuren

0 Dachlasten ☒ alternativ

0 Schneelasten ☒ alternativ

0 Windlasten ☒ alternativ

0 Temperaturlasten

0 Baugrundsetzungen

abbrechen zurück fertig

Für unsere gegenwärtigen Bedürfnisse reichen die oben markierten Eingaben für vier Lastfälle. Nach Fertigstellung wird die damit festgelegte Belastungsstruktur im Eigenschaftsblatt *Verwaltung der Einwirkungen* in einem Objektbaum zusammengestellt.

Wir sehen hier zwei Einwirkungen mit den darunter befindlichen Lastfällen.

Über die Steuerbuttons im Kopfbereich des Eigenschaftsblattes können Ergänzungen und Änderungen vorgenommen werden. Jedoch stehen diese Funktionen auch später in der eigentlichen Eingabeoberfläche noch zur Verfügung.

Verwaltung der Einwirkungen

Gesamte Belastung

- 1: ständige Lasten
 - 1: Eigengewicht (1)
- 2: Nutzlasten (1)
 - 3: Nutzlasten (1/1)
 - 4: Nutzlasten (1/2)
 - 4: Nutzlasten (1/3)

Klicken Sie auf den nebenstehend dargestellten Button, um eine neue Einwirkung zu erzeugen.

Bitte bestätigen Sie dieses Eigenschaftsblatt über den **Hakenbutton** und gehen dann weiter auf S. 7 des Eingabeassistenten.

2.2.6

Lastbilder erzeugen

Auf der hier dargestellten Seite 7 können die eigentlich immer vorkommenden Grundbelastungen eingetragen und erzeugt werden. Bitte komplettieren Sie die Eingaben wie dargestellt und gehen dann weiter.

Bauteil einrichten Seite 7 von 8

Assistent zur Einrichtung eines Stahlbaudurchlaufträgerbauteils

Erzeugung von Standardlastbildern:

Eigengewicht: ☒ γ : 78.500 kN/m³ in Lastfall 1

☒ zus. q: 1.250 kN/m in Lastfall 1

Verkehrslast: ☒ q: 4.000 kN/m in Lastfall 2

Tipp: Sie können später die hier getroffenen Festlegungen ändern, in dem Sie einen **Double-Click** über dem Lastbildsymbol ausführen.

Weitere Lastbilder (Streckenlasten, Temperaturlasten, Einzellasten, Stützenverschiebungen u.s.w.) können Sie später erzeugen. Klicken Sie hierzu in der symbolischen Kopfzeile des Programms auf den **neu** Button.

[zurück](#) [weiter](#)

2.2.7

Nachweise einrichten

Im letzten Eingabeblatt wollen wir es beim Eintrag der beiden Tragfähigkeitsnachweise belassen. Beachten Sie jedoch die Erläuterungen zu den zusätzlich möglichen Nachweisen vom Typ **Schnittgrößenermittlung**!

Bauteil einrichten Seite 8 von 8

Assistent zur Einrichtung eines Stahlbaudurchlaufträgerbauteils

Welche Nachweise sollen geführt werden?

☒ Tragfähigkeit nach EC3 / Theorie 1. Ordnung

☒ Tragfähigkeit nach EC3 / Theorie 2. Ordnung

☐ Schnittgrößenermittlung / Theorie 1. Ordnung

☐ Schnittgrößenermittlung / Theorie 2. Ordnung

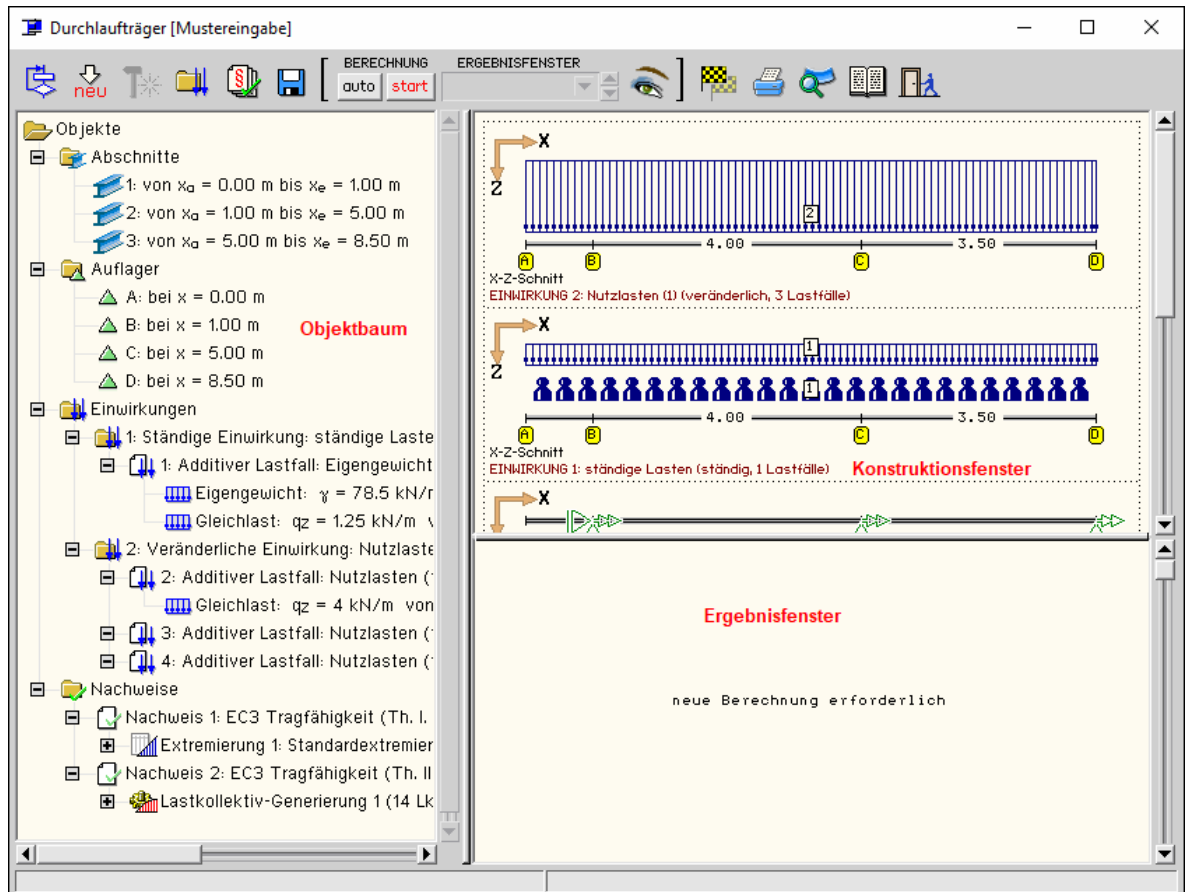
Die Schnittgrößenermittlung wird ohne Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren und Kombinationsbeiwerten durchgeführt. Sie liefert im Wesentlichen die für die Lastweiterleitung maximalen Auflagerkräfte.

Tipp: Auch die hier getroffenen Festlegungen können später geändert bzw. ergänzt werden. Führen Sie hierzu einen **Double-Click** über dem Nachweissymbol aus

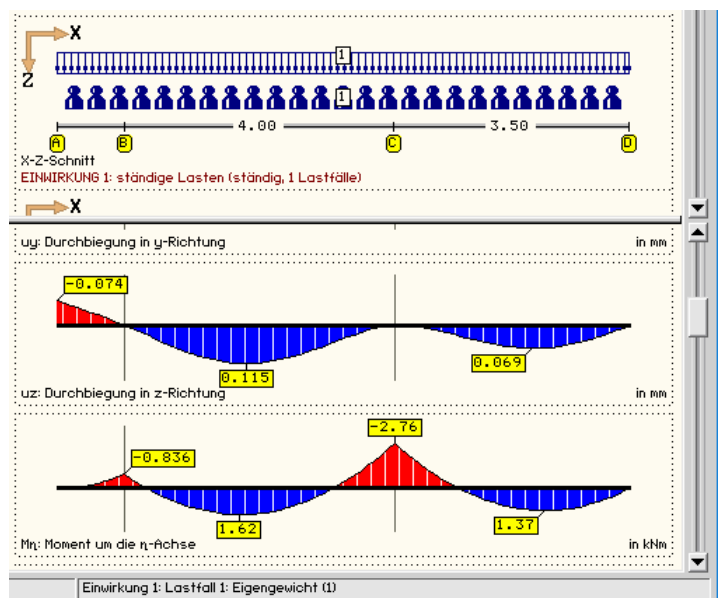
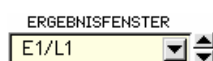
[zurück](#) [fertigstellen](#)

Nach Verlassen des Eingabeassistenten erscheint die eigentliche *##DULAS*- Eingabeoberfläche. Man erkennt hier die Dreiteilung in den Bereich des Objektbaums sowie das Konstruktions- und das Ergebnisfenster.

Im oberen Bereich befinden sich die Steuerbuttons. Hier fällt der abgedunkelte Hammerbutton auf. Wie bei allen *##*-Programmen verhält sich auch diese Eingabeoberfläche **kontextsensitiv**: Es werden nur solche Buttons angeboten, deren Funktionen auf Grund des vorhandenen Auswahlzustandes sinnvoll angeboten werden können. Aktuell sind keine Objekte aktiviert, so dass es auch unsinnig wäre, Modifikationsmöglichkeiten anzubieten.

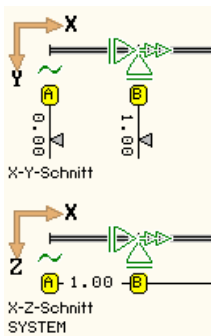


Nach Start der Berechnung werden die Auswahlliste für das Ergebnisfenster zugänglich und die Ergebnisse selbst dargestellt.



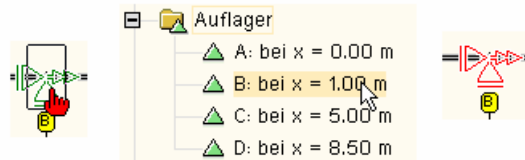
2.3.1

individuelle Objektauswahl und Lagerung

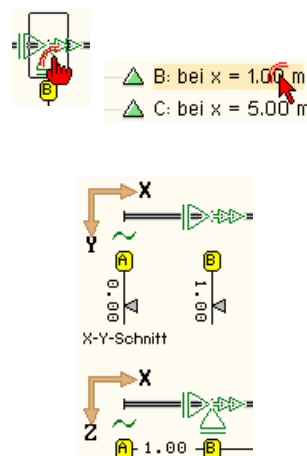


Der Träger wird im Konstruktionsfenster in der X-Z-Ansicht und in der X-Y-Draufsicht dargestellt. Die nebenstehende Darstellung zeigt die im Eingabeassistenten unter Abs. 2.2.3 auf S. 11 zugewiesenen Lagerungsbedingungen. Punkt A ist freigesetzt, was durch die Tilde angezeigt wird.

Die im Eingabeassistenten zugewiesenen Objekteigenschaften können, wie dort schon erwähnt, jederzeit modifiziert werden. Hierzu sind die betroffenen Objekte zu markieren. Diese Auswahl kann durch einfaches Anklicken mit der LMT im Konstruktionsfenster oder im Objektbaum erfolgen. Durch Wiederholung des Anklickens wird das Objekt wieder abgewählt. Ein ausgewähltes Objekt wird rot markiert.



Durch Doppelklick mit der LMT auf ein Objekt entweder im Konstruktionsfenster oder im **Objektbaum** werden die zugehörigen Objekteigenschaften eingeblendet. Bei Doppelklick auf ein Lager erscheint das Eigenschaftsblatt der Lagerungsbedingungen. Hier kann z.B. durch Eindrücken des entsprechenden Buttons die Horizontallagerung freigesetzt werden.



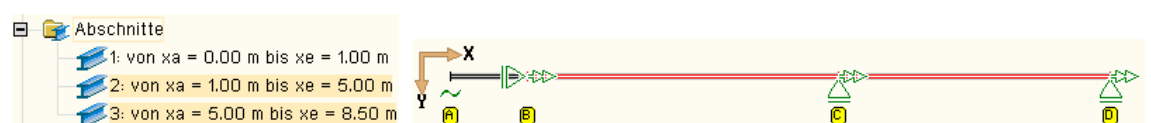
Nach **Bestätigen** der Änderungen wird die Darstellung im Konstruktionsfenster sofort angepasst.

Der oben gezeigte Aufruf durch **Doppelklick** ruft die Eigenschaften genau dieses einen markierten Objekts auf. Eigenschaften anderer gleichartiger, markierter Objekte werden von den vorgenommenen Änderungen nicht berührt.

2.3.2

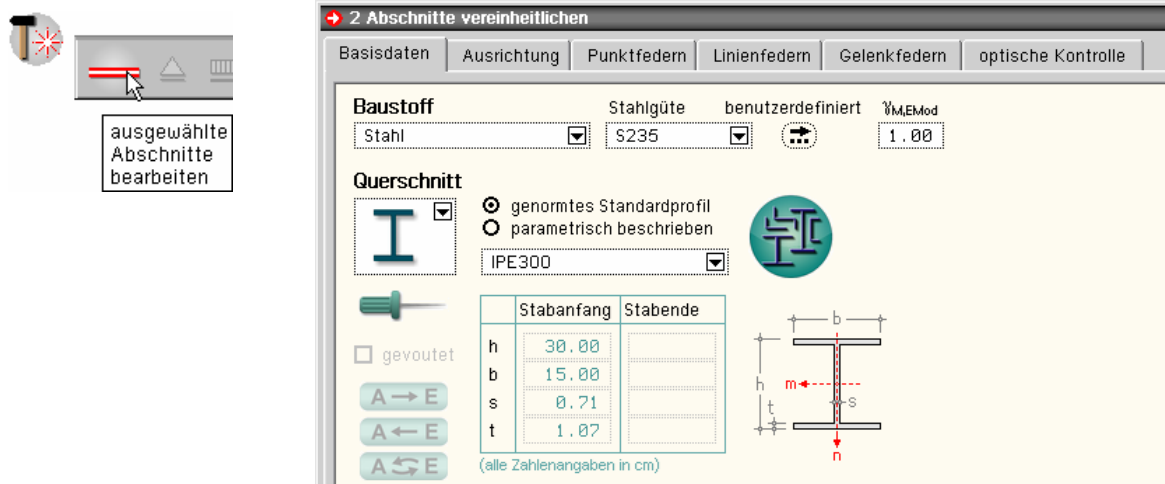
Vereinheitlichen und Querschnitte

Sollen mehrere Objekte mit geänderten Parametern versehen werden, sind diese in der unter Abs. 2.3.1 beschriebenen Form zu aktivieren.

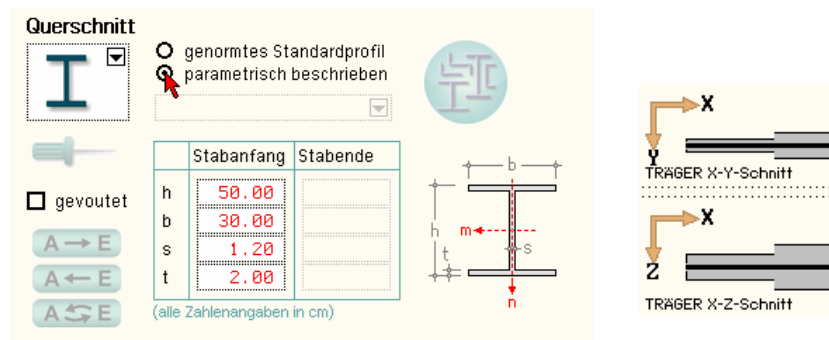


Durch Anklicken des Buttons **Objekte bearbeiten** öffnet sich ein Menü über das die **Abschnittseigenschaften** aufgerufen werden können.

Im Register *Basisdaten* können die Querschnitte der markierten Abschnitte über den **bearbeiten**-Button verändert werden. In dem daraufhin erscheinenden Eigenschaftsblatt *Stahlbau-Profil* kann ein Standardprofil über seinen Namen oder den **Profilmanager** bestimmt werden.



Alternativ steht die **parametrisierte Profilbeschreibung** durch direkte Angabe der Profilabmessungen zur Verfügung. Tragen Sie bitte die Parameter wie unten dargestellt ein und **bestätigen** abschließend.

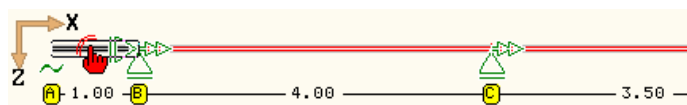


Auch diese Änderungen werden nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts sofort im Konstruktionsfenster protokolliert. In der Darstellung werden lediglich die äußeren Umrisslinien angezeigt. Die dicke schwarze Linie innerhalb des Querschnitts symbolisiert den **Schwerachsenverlauf**, an dem die Querschnitte standardmäßig ausgerichtet werden.

2.3.3

veränderlicher Querschnitt und Ausrichtung

Die beiden geänderten Abschnitte sind noch aktiviert. Klicken Sie nun bitte den Kragarm doppelt an und aktivieren anschließend die parametrisierte Querschnittsbeschreibung.



Der Kragarm soll als **Voute** ausgebildet werden. Ändern und ergänzen Sie dazu bitte wie dargestellt im Eigenschaftsblatt *Basisdaten*.

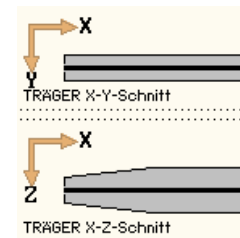
Querschnitt

☒ genormtes Standardprofil
☐ parametrisch beschrieben

☒ gevoutet

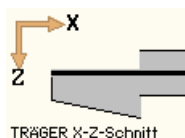
	Stabanfang	Stabende
h	30.00	50.00
b	30.00	30.00
s	1.20	1.20
t	2.00	2.00

(alle Zahlenangaben in cm)



Mit diesen Angaben ergibt nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts sich der rechts dargestellte Verlauf der Querschnittsränder. Der X-Z-Schnitt weist offensichtlich ein nicht angestrebtes Ergebnis aus.

Klicken Sie für die nun erforderlichen Anpassungen den Kragarm nochmals doppelt an und wechseln im Abschnittseigenschaftsblatt auf das Register *Ausrichtung*. Klicken Sie dort in der Zeile *vertikale Ausrichtung* auf das Pfeilsymbol in der Spalte *Abschnittsanfang* und ändern die Ausrichtung auf die Querschnittsoberkante. Die Grafik im rechten Bereich des Eigenschaftsblattes erläutert die Bezeichnungen.



Abschnitt 1

Basisdaten Ausrichtung Punktfedern Linienfedern Gelenkfedern optische Kontrolle Teilung

Beschreiben Sie hier die Stelle, an der die globale X-Achse die Querschnittsebene durchstößt.

☐ linear veränderlich über die Abschnittslänge

	Abschnittsanfang	Abschnittsende
horizontale Ausrichtung (y-Richtung)	Schwerpkt. <input type="checkbox"/> + 0.00 cm	Schwerpkt. <input type="checkbox"/> + 0.00 cm
vertikale Ausrichtung (z-Richtung)	oben <input type="checkbox"/> Nullpunkt <input checked="" type="checkbox"/> oben <input type="checkbox"/> unten <input type="checkbox"/> Schwerpkt. <input type="checkbox"/> Schubm.pkt. <input type="checkbox"/>	oben <input type="checkbox"/> + 0.00 cm

Verdrehung φ

Der Querschnitt wird um den o. a. Punkt gedreht!

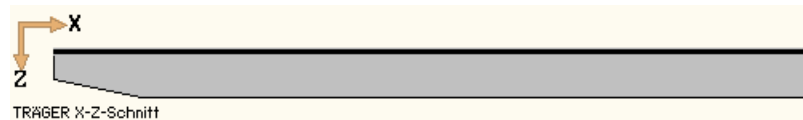
horizontale und vertikale Ausrichtungspunkte

Nach Bestätigen ergibt sich damit der gezeigte Querschnittsverlauf, der für die Voute bereits das angestrebte Ziel zeigt. Jedoch sind die konstanten Abschnitte noch nicht in der gewünschten Lage. Allerdings ist *##-DULAS* auch in der Lage einen derartigen Querschnittssprung zu verarbeiten.



Beide konstante Abschnitte müssten weiterhin markiert sein. Klicken Sie bitte wieder die Buttons **Objekte bearbeiten** und **ausgewählte Abschnitte bearbeiten** an. Schalten Sie auch deren Verlauf auf **oben** um. Da die Aktivierung des Eigenschaftsblatts jetzt nicht durch Doppelklick auf einen Abschnitt erfolgte, werden die Änderungen nach Bestätigen von allen markierten Abschnitten übernommen.

	Abschnittsanfang	Abschnittsende
horizontale Ausrichtung (y-Richtung)	Schwerpkt. <input type="text" value="0.00"/> cm	Schwerpkt. <input type="text" value="0.00"/> cm
vertikale Ausrichtung (z-Richtung)	oben <input type="text" value="0.00"/> cm	oben <input type="text" value="0.00"/> cm

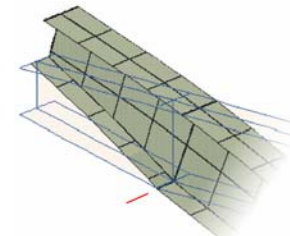
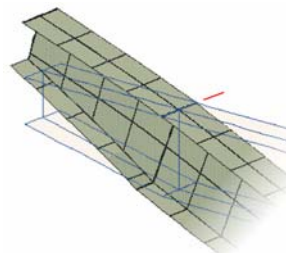


2.3.4

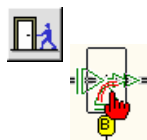
Ausrichtung der Lagerung

Im vorhergehenden Abs. 2.3.3 wurde die Querschnittsausrichtung behandelt. Wie im Eigenschaftsblatt Register *Ausrichtung* erläutert, wird hierdurch festgelegt, an welcher Stelle die X-Achse den Querschnitt durchstößt. Dies hat Auswirkungen auf die bereits festgelegten Angriffspunkte der globalen Lagerungen in den Punkten B bis D.

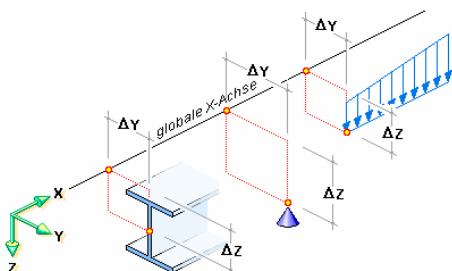
Eine neuerliche Berechnung und anschließende Darstellung der Deformationen verdeutlicht diese Auswirkungen.



In der Deformationsgrafik zeigen die blauen Linien das unverformte System an. Man erkennt in der linken Figur, dass im Punkt B auf Grund der auf die X-Achse bezogenen Vertikallagerung die Querschnittsoberkante des verformten Systems mit der unverformten Figur zusammenfällt. (Die Darstellung kann über die gezeigten Buttons gedreht und gezoomt werden).



Üblicherweise ist bei einem Träger die Unterkante gelagert. Zur Anpassung der Lagerungsgeometrie schließen Sie bitte die Visualisierung und klicken den Lagerpunkt doppelt an. Daraufhin erscheint wieder das bereits aus Abs. 2.3.1, S. 15, bekannte Eigenschaftsblatt *Auflager*. Nach Eintragen der erforderlichen **Exzentrizität** und neuer Berechnung ergibt sich die erwartete Deformationsfigur (rechte Deformationsdarstellung oben).



Exzentrizität bzgl. Systemachse		YZ-Verdrehung um (ΔY, ΔZ)	
ΔY	<input type="text" value="0.00"/> cm	ΔZ	<input type="text" value="50.00"/> cm
		φ	<input type="text" value="0.00"/> °

2.3.5

Lager löschen und Lagerung auf dem Abschnitt

Dem aufmerksamen Leser werden bei Betrachtung des Eigenschaftsblatts *Abschnitt* unter Abs. 2.3.2, S. 15, und 2.3.3, S. 16, die Register *Punktfedern*, *Linienfedern* und *Gelenkfedern* aufgefallen sein.

Mit den dort zugänglichen Eingabemechanismen können zusätzlich zu den globalen Lagerungen auf die Querschnittsgeometrie bezogene Festhaltungen erzeugt werden. Bei *Linienfedern* denke man hierbei z. B. an eine *gebundene Drehachse*.



Schließen Sie bitte die Ergebnisvisualisierung wieder.

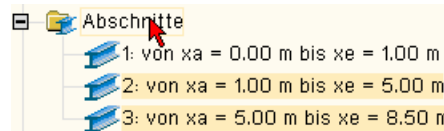
Wir wollen nun das Lager in Punkt C entfernen. Dies kann einerseits durch Doppelklick auf das Lager und das Mülleimersymbol im Eigenschaftsblatt *Auflager* erfolgen, s. Abs. 2.3.4, S. 18.

Die zweite Möglichkeit besteht durch einfaches Anklicken des Lagers, das dadurch genauso wie die immer noch aktivierten Abschnitte rot markiert wird, und den **Button ausgewählte Objekte bearbeiten** und das dortige **Mülleimersymbol**. Da jedoch wie gesagt auch die Abschnitte markiert sind, würden diese gleich mit gelöscht. Daher sind sie vorher zu deaktivieren. Dies kann durch Anklicken mit der LMT oder über den Button **ausgewählte Objekte abwählen** erfolgen. Im letzteren Falle muss das Lager dann wieder markiert werden, um es anschließend löschen zu können.



ausgewählte Objekte abwählen

Eine weitere Möglichkeit zu Deaktivierung ergibt sich über den Objektbaum. Durch zweimaliges Anklicken des Ordners *Abschnitte* werden zuerst alle Abschnitte markiert und dann abgewählt. Anschließend kann das Lager über das **Mülleimersymbol** gelöscht werden.



Klicken Sie den nunmehr 7.50 m langen Abschnitt doppelt an und wechseln dann in das Register *Punktfedern*. Erzeugen Sie dort drei Eingabezeilen durch Anklicken des **neu**-Buttons.

Abschnitt 2

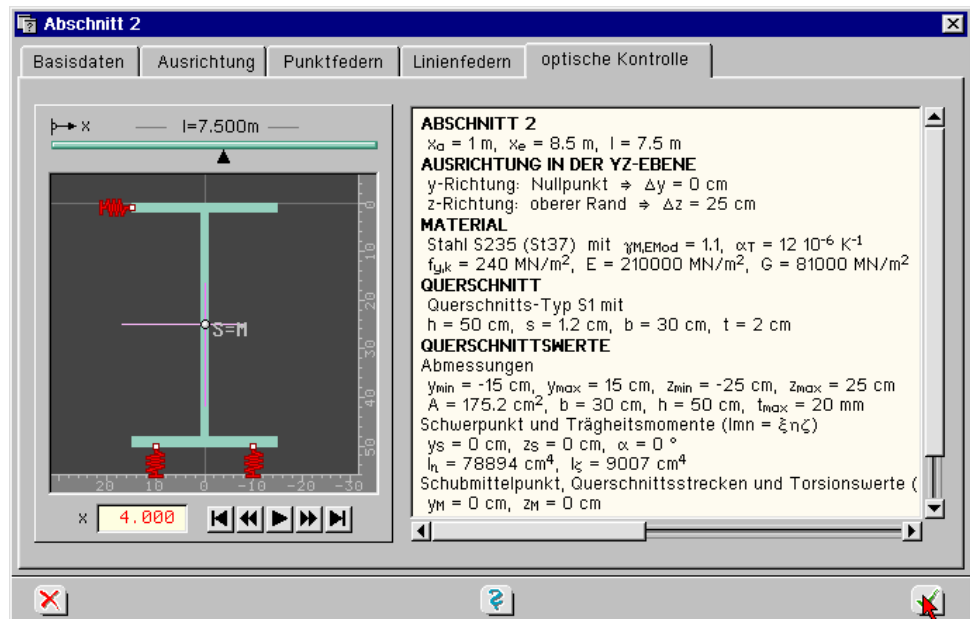
Basisdaten | Ausrichtung | Punktfedern | Linienfedern | Gelenkfedern | optische Kontrolle | Teilung

Punktfedern

	Ort Δx m	horizontale Position (y) cm		vertikale Position (z) cm		Federtyp und Federkonstante kN, m	Verdrehung ϕ °
1:	4.00	rechts	5.00	unten	0.00	z-Feder	0.00
						-1.00	
2:	4.00	links	-5.00	unten	0.00	z-Feder	0.00
						-1.00	
3:	4.00	links	0.00	oben	1.00	y-Feder	0.00
						50000.00	
neu							

Ergänzen Sie bitte die Eingaben wie oben gezeigt. Die Definitionen der Positionen sind analog zu denen im Register *Ausrichtung*, s. S. 17. Unter der Eingabe der *Federkonstante* repräsentiert ein Wert < 0 eine starre Lagerung.

Die Eingaben können sofort im Register *optische Kontrolle* visualisiert werden.



Eine nachfolgende Berechnung zeigt den Erfolg der Eingabe.

Da mit diesen Erläuterungen vom Prinzip her alles Wesentliche zur Systembeschreibung angeschnitten wurde, wollen wir in unserer kleinen Einleitung nun zur Lasteingabe kommen.

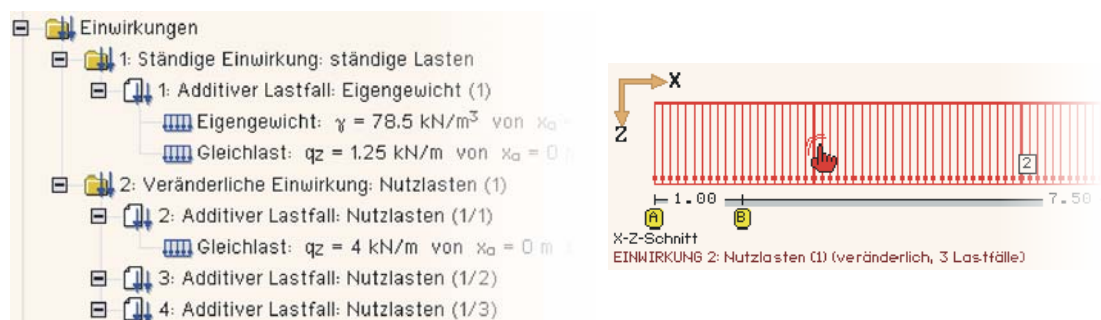
Zur Vertiefung der Informationen wird auf den zweiten Teil Allgemeine Erläuterungen, S. 29 ff., in diesem Handbuch verwiesen.

2.3.6

Lasteingabe

Ein Blick auf den Objektbaum zeigt uns an, dass mit den Lastangaben innerhalb des Eingabeassistenten (Abs. 2.2.5, S. 12) vier Lastfälle erzeugt wurden, von denen aber nur zwei Lastfälle Lastbilder aufweisen.

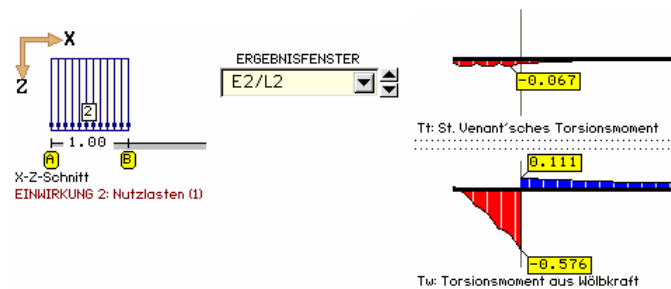
Wir wollen im Folgenden die Gleichlast in LF 2 feldweise aufteilen. Klicken Sie hierzu bitte das **Streckenlastbild** doppelt an.



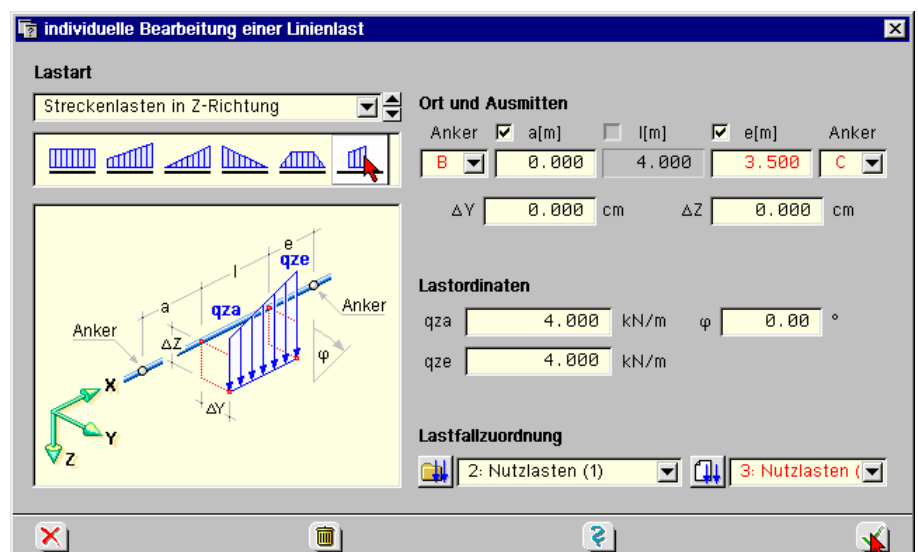
Durch Änderung des Endankers von Punkt C auf Punkt B wird die Streckenlast auf den Kragarm beschränkt.



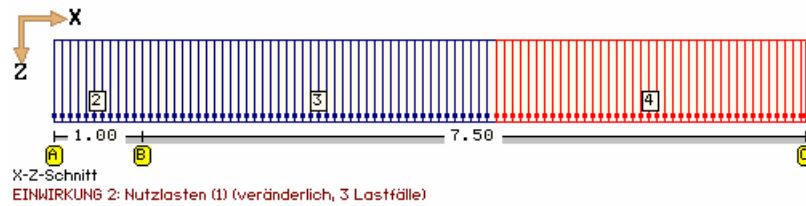
Die Lasten können mit Exzentrizitäten bzgl. der X-Achse versehen und darüber hinaus geneigt werden. Die hier eingegebene Ausmitte schlägt sich demgemäß in einem Torsionsmoment nieder. Zur Darstellung ist eine Neuberechnung durchzuführen und das Ergebnisfenster auf LF 2 umzuschalten.



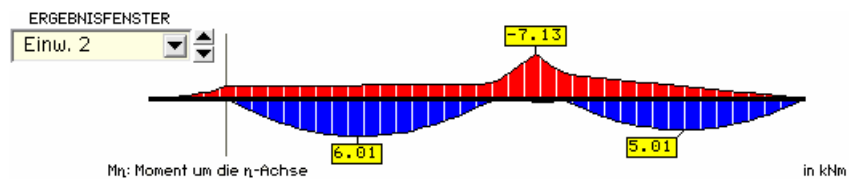
Zur Erzeugung der neuen Streckenlast im Feld 2 klicken Sie bitte die Buttons **neue Objekte** und **Linienlast erzeugen** an. In dem daraufhin erscheinenden Eigenschaftsblatt zur Linienlast-eingabe ergänzen Sie bitte die Eingaben wie unten markiert.



Wiederholen Sie jetzt bitte selbstständig den Vorgang und erzeugen ein weiteres Streckenlastbild im LF 4 auf dem zweiten Bereich des Abschnitts zwischen den Punkten B und C. Das Ergebnis der Eingaben sollte dann folgende Belastungsdarstellung ergeben.



Die veränderliche Einwirkung 2 umfasst nun drei mit Lastbildern versehene Lastfälle, die sich additiv zueinander verhalten und damit einzeln oder gemeinsam auftreten können. Dementsprechend muss das Gesamtergebnis der **Einwirkung 2** eine **Extremierung** darstellen. Der dargestellte Biegemomentenverlauf ist daher auch eine Umhüllende der Ergebnisse aus den Lastfällen 2 bis 4.



In der beschriebenen Form können nun beliebig weitere Einzel- und Linienlasten in räumlicher Ausrichtung erzeugt werden. Jedoch sind dies lediglich Wiederholungen des gezeigten Prinzips. Wir wollen die Lasteingabe daher abschließen und zur Eingabe von Imperfektionen übergehen.

2.3.7

Imperfektionen

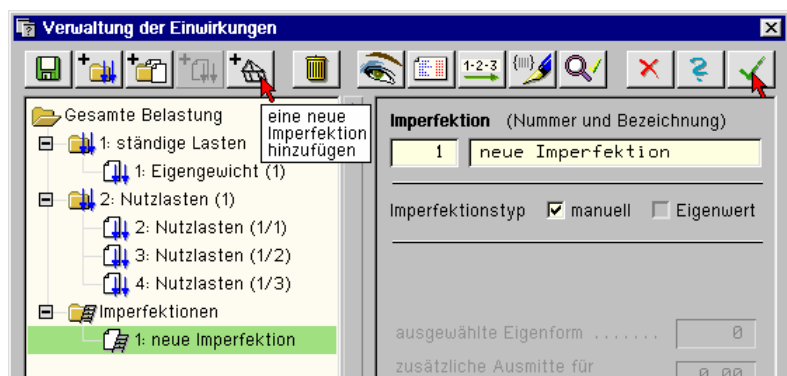
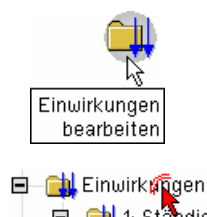
Imperfektionen dienen zur Berücksichtigung von geometrischen Ungenauigkeiten in der Systemherstellung. Genauso wie Lastbilder Lastfällen werden Imperfektionsbilder Imperfektionen zugeordnet.



Imperfektionen wirken sich ausschließlich bei nichtlinearen Berechnungen aus!

Im Eingabeassistenten erfolgten keine Abfragen zu Imperfektionen, so dass im Eigenschaftsblatt *Verwaltung der Einwirkungen* unter Abs. 2.2.5, S. 12, lediglich Einwirkungen aber keine Imperfektionen auftraten.

Daher ist vor Eingabe entsprechender Lastbilder zumindest eine Imperfektion zu erzeugen, um ihr die Lastbilder zuordnen zu können. Klicken Sie hierzu bitte entweder den Button **Einwirkungen bearbeiten** an oder benutzen Sie den Doppelklick auf den Eintrag **Einwirkungen** im Objektbaum. Über den Button **eine neue Imperfektion hinzufügen** im Eigenschaftsblatt *Verwaltung der Einwirkungen* erfolgt die gewünschte Aktion.





Zur Interaktion in den Eigenschaftsblättern *Verwaltung der Einwirkungen* und *Verwaltung der Nachweise* s. separates Handbuch das [pcae-Nachweiskonzept](http://www.pcae.de) (als pdf unter www.pcae.de).



Durch Anklicken der Buttons **neue Objekte erzeugen** und in dem dadurch erscheinenden Menü **Imperfektion erzeugen** erscheint das Eigenschaftsblatt *neues Imperfektionsbild erzeugen*.

Neues Imperfektionsbild erzeugen

Imperfektion in der XY-Ebene **Beschreibungsart** normenkonform

Stützwerte w_c, w_0, ϕ_0

Ort und Ausdehnung Anker ☒ a [m] ☐ l [m] ☒ e [m] Anker A 0.000 8.500 0.000 C

Stützwerte berechnen

konst. Verschiebung $w_c = 0.000$ mm
 Vorkrümmung $w_0 = 30.000$ mm
 Schiefstellung $\phi_0 = 0.000$ %

Ergebnis (qualitativ)

Einheiten mm, % **Drehwinkel** $\phi = 0.00$ °

Imperfektionszuordnung 1: neue Imperfektion

Durch die hier gezeigte Eingabe ergibt sich eine **Vorkrümmung** über die gesamte Trägerlänge mit einem Stich von 30 mm. Die Imperfektion bewirkt damit u. A. Lastaußermitten, die zu Zusatzbeanspruchungen des Trägers führen, die dann wiederum zusätzliche Verformungen bewirken. Innerhalb der nichtlinearen Berechnung nach **Theorie II. Ordnung** streben die ermittelten Ergebnisse während der Iteration Endwerten zu. Die Toleranzwerte können unter den *globalen Einstellungen* im Register *Iteration* modifiziert werden.



globale Optionen

Norm Orientierung Berechnung **Iteration** Teilung Nachweis

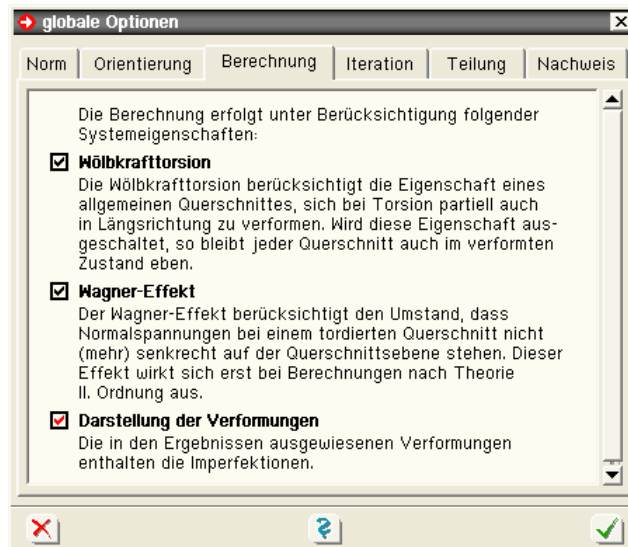
max. Anzahl der Iterationsschritte 50

Die Iteration wird automatisch beendet, wenn die Differenzen in den Ergebnissen zweier aufeinanderfolgender Iterationen an keiner Stelle die nachfolgend aufgeführten Toleranzen überschreiten:

Toleranz der Verschiebungen 0.00010 mm
 Toleranz der Verdrehungen 0.00010 %
 Toleranz der Verdrehung 0.00010 %/m
 Toleranz der Schnittkräfte 0.00010 kN
 Toleranz der Momente 0.00010 kNm
 Toleranz des Wölbbimoments 0.00010 kNm²

Die Ergebnisse der nichtlinearen Berechnungen weisen standardmäßig Deformationen allein aus Belastungen und Zusatzbelastungen aus. Die Verformungen aus den Imperfektionen können jedoch hinzugefügt werden. Hierfür existiert ein Schalter im Register *Berechnung*.

Beachten Sie hier bitte auch die weiteren Auswahlmöglichkeiten!

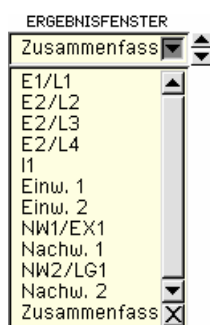


2.3.8

Berechnung und Darstellung der Ergebnisse



Wie bereits vorgeführt, können die Ergebnisse nach der Berechnung im Ergebnisfenster eingesehen werden.



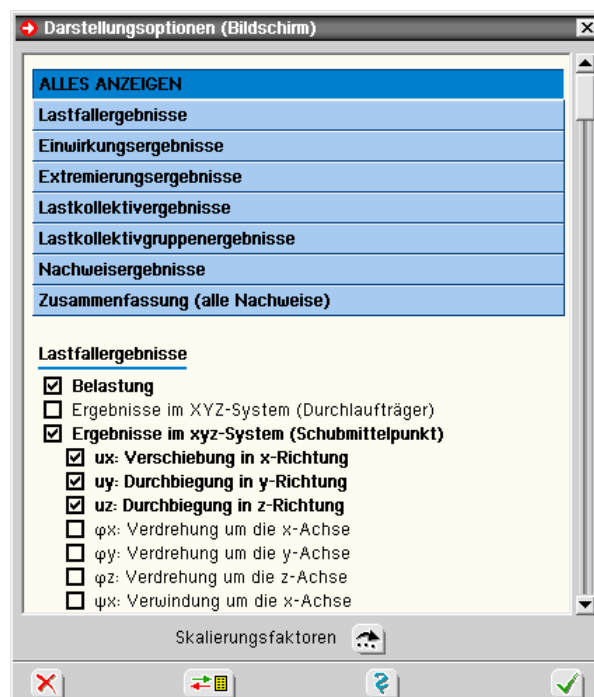
Zu folgenden Oberbegriffen können Ergebnisse abgerufen werden:

- Einwirkung und darunter befindlicher Lastfall (Ei/Lj)
- Imperfektion (Ii)
- Extremierung Einwirkung (Einw. i)
- linearer Nachweis und darunter befindliche Extremierung (Nwi/Exj)
- nichtlinearer Nachweis und darunter befindliche Lastkollektive oder Lastkollektivgruppen (Nwi/LKj/LGj)
- Umhüllende aller Ergebnisse eines Nachweises (Nachw. i)
- Umhüllende aller Nachweise (Zusammenfass.)

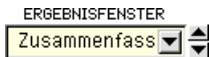


Ergebnistypauswahl

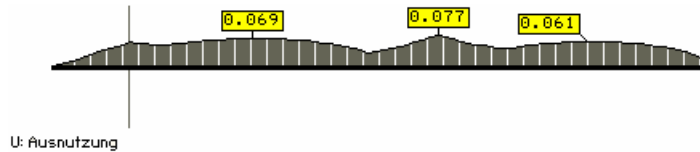
Welche Ergebnisse dargestellt werden sollen, kann im Eigenschaftsblatt *Darstellungsoptionen* (Bildschirm) festgelegt werden. Weiterhin können hier Erläuterungen zu den in den Grafiken benutzten Kürzeln entnommen werden.



Welch gewaltige Menge an darstellbaren Ergebnissen vorliegt, erkennen Sie, wenn Sie den Scrollbalken des Eigenschaftsblatts nach unten bewegen.



Die **Zusammenfassung** liefert, wie bereits erwähnt, die Quintessenz aus allen Nachweisen. Der Verlauf der Ausnutzung U zeigt, wo der Durchlaufträger die höchsten Beanspruchungen erfährt.



2.3.9

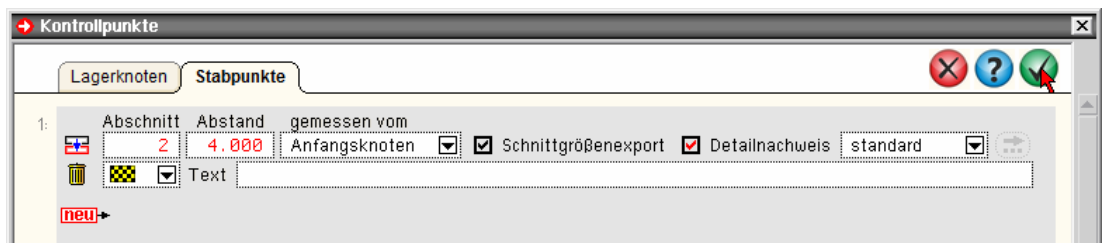
Kontrollpunkte

Die Grafik der Ausnutzung zeigt den Höchstwert im Bereich des unter Abs. 2.3.5, S. 19, definierten Mittelaufagers. Aus welchen Belastungen sich diese Beanspruchungen ergeben ist hier natürlich nicht ersichtlich.

Über diesen Sachverhalt gibt ein an diesem Ort gesetzter Detailnachweispunkt Aufschluss, der im Eigenschaftsblatt *Kontrollpunkte* gesetzt werden kann.



Kontrollpunkte bearbeiten



Druckliste am Bildschirm einsehen

Nach Anklicken der beiden dargestellten Buttons (und evtl. erforderlicher neuer Berechnung) erscheint die *##-DULAS-Ergebnisdruckliste* im DTE®-Viewer auf dem Bildschirm.

Der Viewer besitzt eine Reihe von Interaktionselementen, die wie folgt reagieren:



Sprung auf die erste Seite des Dokumentes



Sprung auf die vorangehende Seite



Eingabe der gewünschten Seitennummer



Sprung zur nächsten Seite



Sprung auf die letzte Seite des Dokumentes



Suchen einer Seite, die eine bestimmte Tabelle oder Grafik enthält



Zoom-Ausschnitt manuell festlegen



zurück zum vorangegangenen Ausschnitt



Dokumentenseite ins Fenster einpassen



manuelle Vorgabe des Zoom-Faktors (1:1 ... 1:10)



Mit Hilfe des nebenstehend dargestellten Buttons kann ein benutzerdefinierter Ausschnitt in eine Windows-**Bitmap-Datei** (BMP) gespeichert werden. Diese Datei kann in vielen Windows-Anwendungen (Windows-Paint, Word-für-Windows, Corel-Draw etc.) eingefügt werden.



Mit dem **Suchen**-Button kann ein bestimmtes Kapitel der Druckliste angesprungen werden.

[-] Zusammenfassung Nachweis 1: EC3 Tragfähigkeit (...)	6
[-] extreme Schnittgrößen im Hauptachsensystem	6
[-] extreme Schnittgrößen im Hauptachsensystem	8
[-] Stahlnachweiseergebnisse	8
[-] Stahlnachweiseergebnisse	9
[-] Lagerreaktionen der Punkte (yF-fach)	10
[-] Zusammenfassung Nachweis 2: EC3 Tragfähigkeit (...)	10
[-] extreme Schnittgrößen im Hauptachsensystem	10
[-] extreme Schnittgrößen im Hauptachsensystem	12
[-] Stahlnachweiseergebnisse	13
[-] Stahlnachweiseergebnisse	14
[-] Lagerreaktionen der Punkte (yF-fach)	14
[-] Zusammenfassung	14
[-] Ausnutzungen	14
[-] Abschnitt 2 bei x = 5,00 m	15
[-] Querschnittsbeschreibung	15
[-] Lastfallergebnisse	15
[-] Nachweis 1: EC3 Tragfähigkeit (Th. I. Ord.)	15
[-] Ergebnisse der Lastkombinationen	15
[-] Nachweis der Lastkombinationen	16
[-] Nachweis 2: EC3 Tragfähigkeit (Th. II. Ord.)	26
[-] Ergebnisse der Lastkombinationen	27
[-] Nachweis der Lastkombinationen	27
[-] Zusammenfassung aller Nachweise	36

Zusammenfassung:

$\sigma_{\max} = 5.81 \text{ MN/m}^2$	$1.35 \cdot Lf1 + 1.5 \cdot (Lf2 + Lf3 + Lf4) + -1 \cdot Ip1$
$\sigma_{\min} = -5.81 \text{ MN/m}^2$	$1.35 \cdot Lf1 + 1.5 \cdot (Lf2 + Lf3 + Lf4) + -1 \cdot Ip1$
$\tau = 4.24 \text{ MN/m}^2$	$1.35 \cdot Lf1 + 1.5 \cdot (Lf3 + Lf4) + Ip1$
$\sigma_v = 7.77 \text{ MN/m}^2$	$1.35 \cdot Lf1 + 1.5 \cdot (Lf3 + Lf4) + Ip1$
$U_{\sigma, p1} = 0.034$	$1.35 \cdot Lf1 + 1.5 \cdot (Lf3 + Lf4) + Ip1$
$\text{grenz}(c/t)_{o-o} = 0.045$	$1.35 \cdot Lf1 + 1.5 \cdot (Lf3 + Lf4) + Ip1$
$\text{grenz}(c/t)_{-o-o} = 0.077$	$1.35 \cdot Lf1 + 1.5 \cdot (Lf2 + Lf3 + Lf4) + -1 \cdot Ip1$
$U = 0.077$	$1.35 \cdot Lf1 + 1.5 \cdot (Lf2 + Lf3 + Lf4) + -1 \cdot Ip1$

Max. Ausnutzung: $U = 0.077 \leq 1 \Rightarrow$ **Nachweis erfüllt**

Zusammenfassung aller Nachweise

Lastkombination Ausnutzung: $Nw2: 1.35 \cdot Lf1 + 1.5 \cdot (Lf2 + Lf3 + Lf4) + -1 \cdot Ip1$
Max. Ausnutzung: $U = 0.077 \leq 1 \Rightarrow$ **Nachweis erfüllt**

Aus dem Druckprotokoll ist ersichtlich, welche Lastfallkombination die maximale Ausnutzung geliefert hat.

2.3.10

Standardlastkollektivbildung



Nachweise bearbeiten

##-DULAS stellt für Nachweise nach Theorie II. Ordnung eine Automatik zur Erstellung der zur Berechnung erforderlichen Lastkollektive bereit. Diese Standardlastkollektive können als Lastkollektivgruppe belassen oder aufgelöst werden. Im ersten Falle ist das darstellbare Ergebnis eine Extremierung der gesamten Gruppe, s. Abs. 2.3.8, S. 24.

Wird eine Lastkollektivgruppe aufgelöst, ergeben sich so viele Ergebnisse, wie die Gruppe Lastkollektive umfasst. Dadurch werden zwar Detailinformationen zugänglich, aber der Ausgabebumfang wächst gewaltig.



ein neues Lastkollektiv hinzufügen

Wenn einzelne Lastkollektivinformationen dennoch gewünscht werden, empfiehlt es sich, diese dem Nachweis nochmals hinzuzufügen. Dies erfolgt über den Button **ein neues Lastkollektiv hinzufügen**.

Programmgestützte Erzeugung von Lastkollektiv-Tabellen

Überlagerungsregel: Eurocode

führende Einwirkung: 2: Nutzlasten (1)

Nachweistyp: Tragfähigkeit

Kombinationstyp:

Grundeinstellungen auf Standard setzen

Auswahl der am Lastkollektiv beteiligten Lastfälle

- ☒ 1: Eigengewicht (1)
- ☒ 2: Nutzlasten (1/1)
- ☒ 3: Nutzlasten (1/2)
- ☒ 4: Nutzlasten (1/3)

Imperfektionen:

☐ -1: neue Imperfektion

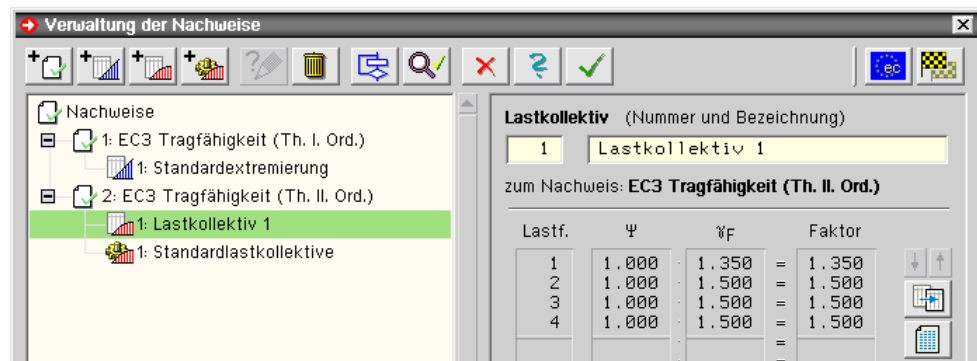
Das Symbol hinter den Eigengewichtslastfällen bedeutet:

- ☒ ungünstig wirkend
- ☐ günstig wirkend

Sie können den aktuellen Zustand des Symbols durch Anklicken verändern.

Nachdem dem Lastkollektiv eine Bezeichnung vergeben wurde, werden die beteiligten Lastfälle mit der LMT markiert und das Lastkollektiv generiert.

Die Tabelle der Lastfälle und Faktoren korrespondiert mit dem Protokoll unter Abs. 2.3.9 auf S. 25.

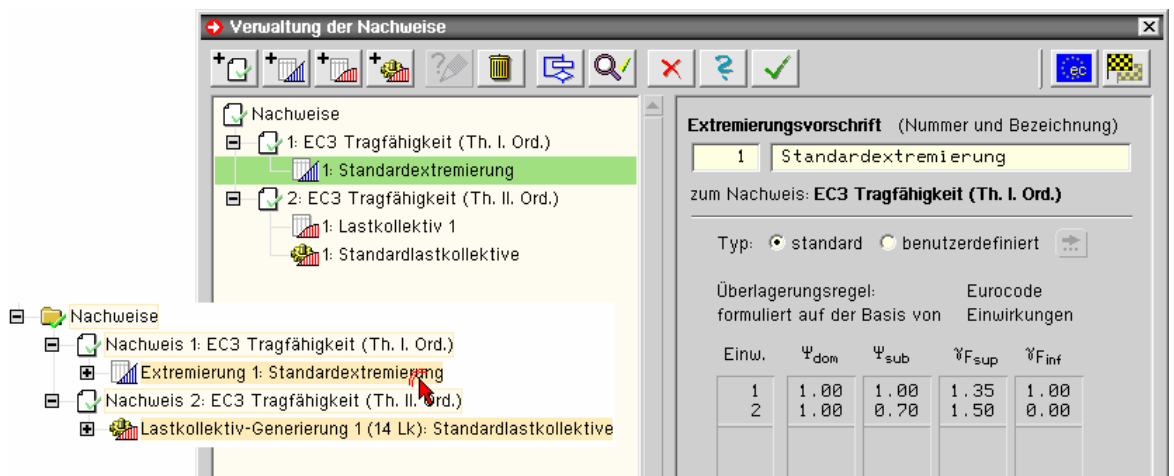


Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts erfolgt eine Neuberechnung und die Ergebnisse können wie gewohnt eingesehen werden.

2.3.11

Standardextremierung für Nachweise Theorie I. Ordnung

Analog zur Standardlastkollektivbildung für nichtlineare Berechnungen werden für Nachweise n. Th. I. Ord. automatisch Standardextremierungen gebildet. Bei Doppelklick auf den entsprechenden Eintrag im Objektbaum öffnet sich die Verwaltung der Nachweise und zeigt im rechten Bereich des Eigenschaftsblatts die Einwirkungen mit den zugehörigen **Lastkombinations-** und **Teilsicherheitsbeiwerten**.



Zur Interaktion in den Eigenschaftsblättern *Verwaltung der Einwirkungen* und *Verwaltung der Nachweise* s. separates Handbuch das **pcae-Nachweiskonzept**.

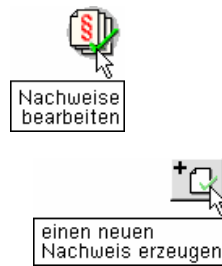
2.3.12

Lastweiterleitung

Sämtliche Nachweisergebnisse werden inkl. der zugehörigen Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte ausgewiesen.

Die unter Abs. 2.3.8, S. 24, erwähnten Ergebnisse der Einzellastfälle und extremierten Einwirkungen bewegen sich auf charakteristischem Niveau.

Einerseits können diese Einzelergebnisse zur Lastweiterleitung herangezogen werden. Eine weitere Möglichkeit der vollständigen Extremierung auf charakteristischem Niveau bilden die Nachweise **Schnittgrößenermittlung Th. I. und II. Ordnung**, die über die *Verwaltung der Nachweise* eingerichtet werden können.



→ einen neuen Nachweis hinzufügen

Zuordnung zum Nachweistyp

Schnittgrößenermittlung (Th. I. Ord.)

EC 3 Tragfähigkeit (Th. I. Ord.)

EC 3 Tragfähigkeit (Th. II. Ord.)

Schnittgrößenermittlung (Th. I. Ord.)

Schnittgrößenermittlung (Th. II. Ord.)

BEZEICHNUNG: Schnittgrößenermittlung (Th. I. Ord.)
Schnittgrößenermittlung ohne Nachweise
interne Nummer = 999

MATERIAL: alle Materialien

KOMBI-TYPEN: Extremierungen erlaubt
Lastkollektive erlaubt

NACHWEISTYP: frei wählbar

KOMBI-REGEL: einstellbar

OPTIONEN: keine

RECHENMODUS: lineare Schnittgrößenermittlung

Für den Nachweis n. Th. I. Ord. wird wie in Abs. 2.3.11, S. 27, beschrieben automatisch eine Standardkombination erzeugt, die nun auf charakteristischem Niveau formuliert ist.

Für den Nachweis n. Th. II. Ord. sind Lastkollektive manuell einzurichten; s. Abs. 2.3.10, S. 26.

Zum Export von Schnittgrößen zu einem ##-Detailnachweisprogramm s. Abs. 2.3.9, S. 25.

2.3.13

Drucklistengestaltung



Die Gestaltung des Druckausgabedokumentes erfolgt analog zur Auswahl der auf dem Bildschirm darzustellenden Ergebnisse, s. Abs. 2.3.8, S. 24, in einem gesonderten Eigenschaftsblatt, in dem die einzelnen Protokollfragmente markiert werden.

Erläuterungen zur Drucklistengestaltung s. Abs. 3.7.4, S. 59.

→ Darstellungsoptionen (Drucker)

ALLES ANZEIGEN

Systembeschreibung

Lastfallergebnisse

Einwirkungsergebnisse

Extremierungsergebnisse

Lastkollektivergebnisse

Lastkollektivgruppenergebnisse

Nachweisergebnisse

Zusammenfassung (alle Nachweise)

Systembeschreibung

☒ Tabellen

☒ allgemeine Informationen

☒ Nachweisoptionen

☒ DIN EN Nachweisparameter

☒ benutzerdef. Stahlgüten

☒ Abschnitte

☒ Stabquerschnitte

☒ Querschnittswerte

☒ Punktlaster

Linientabellen

2.3.14

Schlussbemerkung zum Beispielteil

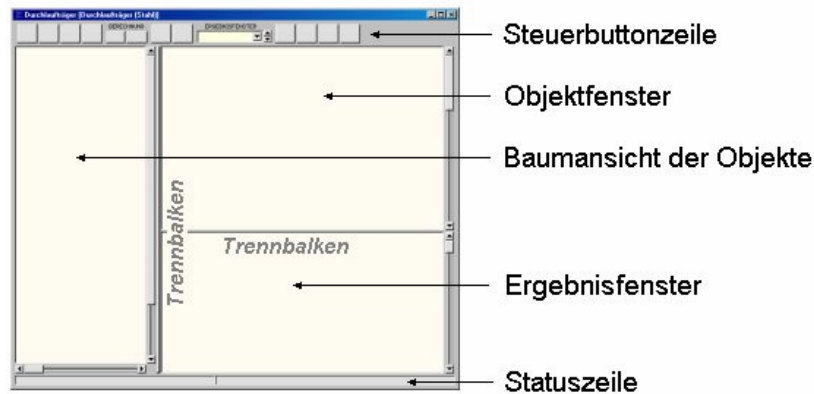
Hiermit ist die Einführung in ##DULAS an Hand der Beispieleingabe abgeschlossen. Der anschließende allgemeine Beschreibungsteil gibt detaillierte Informationen zu den einzelnen Eigenschaftsblättern sowie Anmerkungen zur Theorie.

3 Allgemeine Erläuterungen

3.1 Arbeiten mit dem Eingabemodul

3.1.1 Hauptfenster

Das Hauptfenster ist in die Steuerbuttonzeile, die Statuszeile sowie in drei weitere Unterfenster eingeteilt.



Die Steuerbuttonzeile (Abs. 3.1.5, S. 32) enthält interaktive Steuerelemente, mit deren Hilfe die Aktionen des Programms eingeleitet bzw. gesteuert werden. Im Objektfenster (Abs. 3.1.3, S. 30) werden die wesentlichen Objekte (hier: Abschnitte, Lagerpunkte, Lastbilder) auswählbar dargestellt. Die Baumansicht der Objekte (Abs. 3.1.2, S. 29) bietet ebenfalls alle definierten Objekte in einer explorerähnlichen Darstellung zur Auswahl an. Im Ergebnisfenster (Abs. 3.1.4, S. 31) werden die Rechenergebnisse zum aktuell definierten System dargestellt. Die Statuszeile weist Informationen zu laufenden Aktionen aus.

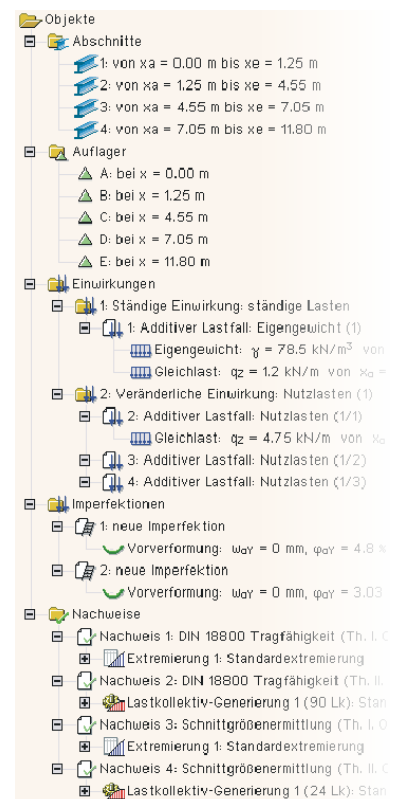
Die Trennbalken ermöglichen das Vergrößern bzw. Verkleinern eines Unterfensters zu Lasten der anderen Fenster. Hierzu muss der Trennbalken mit der Maus angefahren werden bis der Mauscursor sein Layout ändert. Bei gedrückt gehaltener linker Maustaste kann nun der vertikale Trennbalken horizontal – bzw. der horizontale Trennbalken vertikal verschoben werden.

3.1.2 Baumansichtsfenster

Nebenstehend ist beispielhaft der Inhalt des Baumansichtsfensters dargestellt. Es bietet alle definierten Objekte in Form eines Baumes ähnlich dem des Windows-Explorers zur Auswahl an.

Befindet sich vor einem Element in der Baumansicht ein -Symbol, so bewirkt das Anklicken dieses Symbols das Schließen des Elements: Die diesem Element zugeordneten Unterelemente werden ausgeblendet. Befindet sich vor einem Element in der Baumansicht ein -Symbol, so bewirkt das Anklicken dieses Symbols das Öffnen des Elements: Die diesem Element zugeordneten Unterelemente werden wieder eingeblendet.

Durch einfaches Anklicken mit der linken Maustaste wird ein Objekt aus- bzw. abgewählt. Es können gleichzeitig mehrere auch unterschiedliche Objekte ausgewählt sein. Wird ein übergeordnetes Element (Ordner, auch Baumknoten genannt) ausgewählt, so werden hierdurch alle Unterelemente dieses Objektes aus- bzw. abgewählt. Mit ausgewählten Objekten können bestimmte Aktionen durchgeführt werden.












Das Angebot dieser Aktionen befindet sich hinter dem nebenstehend dargestellten **bearbeiten**-Symbol, von dem aus diese Aktionen eingeleitet werden.

Der Zustand der aktuellen Auswahl wird im Objektfenster synchronisiert. Durch Doppelklick auf ein Objekt im Objektbaum erscheint sein individuelles Eigenschaftsblatt auf dem Bildschirm, in dem die Objekteigenschaften direkt geändert werden können.

Die im Baumansichtsfenster befindlichen unterschiedlichen Objekttypen sind nachfolgend mit ihrem grafischen Symbol aufgelistet.

-  Abschnitt
-  Lagerpunkt
-  Einwirkung
-  Lastfallgruppe
-  Lastfall
-  Streckenlastbild
-  Einzellastbild
-  Imperfektionsfall
-  Imperfektionsbild
-  Nachweis
-  Extremalbildungsvorschrift
-  Lastkollektiv
-  Lastkollektivbildungsgesetz

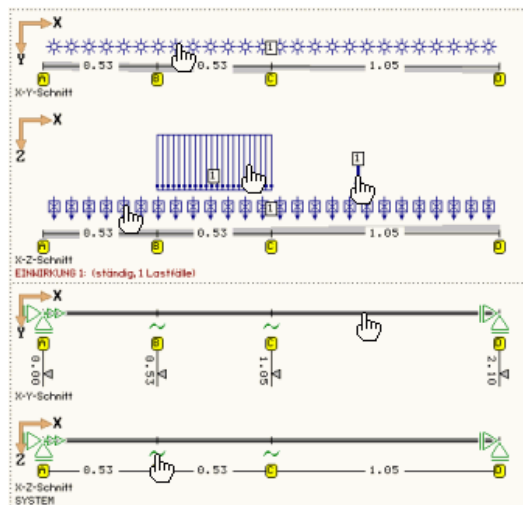
Ein *Abschnitt* ist eine Teilstrecke des gesamten Durchlaufträgers. Abschnitte werden von links nach rechts mit 1 beginnend durchnummeriert. *Lagerpunkte* befinden sich an den Durchlaufträgerenden sowie zwischen den Abschnitten. Dementsprechend gibt es immer einen Lagerpunkt mehr als Abschnitte. Lagerpunkte werden mit A, B, C ... von links nach rechts aufsteigend gekennzeichnet. Eine *Einwirkung* bündelt die Belastung einer bestimmten Ursache (Verkehr, Wind, Schnee, ...). Ihr sind stets Lastfälle zugeordnet. Mit einer *Lastfallgruppe* können die ihr zugeordneten Lastfälle additiv bzw. alternativ geschaltet werden. Ein *Lastfall* enthält *Einzelasten* und/oder *Streckenlasten*, wobei die Lastbilder eines Lastfalls stets gemeinsam wirken. Ein *Imperfektionsfall* enthält *Imperfektionsbilder*. Diese bestehen aus Vorverformungen und Schiefstellungen und werden nur bei der nichtlinearen Berechnung benötigt. Einem linearen *Nachweis* sollte stets eine *Extremalbildungsvorschrift* zugeordnet sein, die festlegt wie die Schnittgrößen und Verformungen der unterschiedlichen Einwirkungen zu überlagern sind, um die Nachweisschnittgrößen zu bilden. Einem nichtlinearen Nachweis sollten stets mehrere *Lastkollektive* oder ein *Lastkollektivbildungsgesetz* zugeordnet sein.

3.1.3

Objektfenster

Im Objektfenster können die definierten Objekte geometrisch visuell überprüft werden. Darüber hinaus können die dargestellten Objekte im Objektfenster (wie auch im Baumansichtsfenster) durch einmaliges Anklicken aus- bzw. abgewählt und durch einen Doppelklick aktiviert werden. Ein ausgewähltes Objekt ändert sich in der Farbgebung, so dass jederzeit kontrolliert werden kann, welche Objekte ausgewählt sind.

Die Aktivierung durch einen Doppelklick ruft das individuelle Eigenschaftsblatt des Objektes zur Bearbeitung hervor.

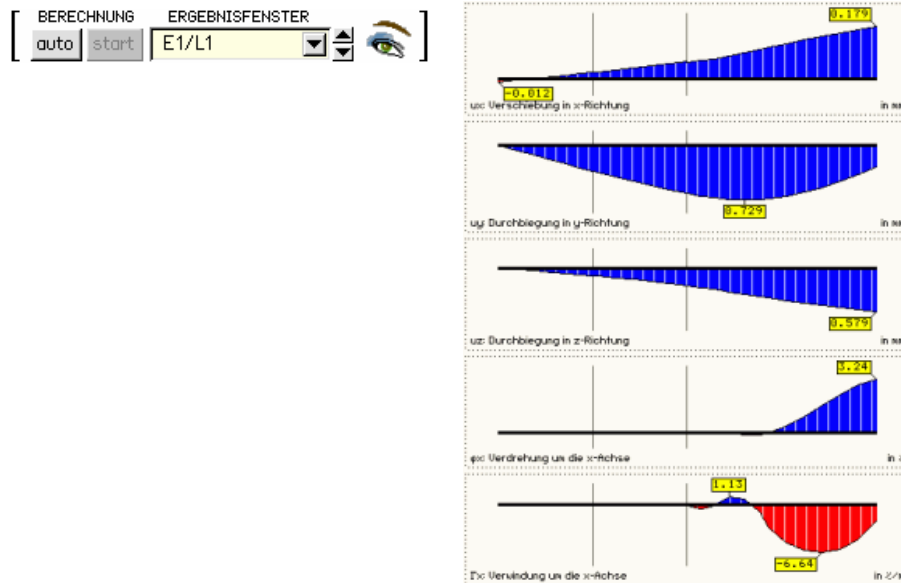


Achten Sie beim Arbeiten im Objektfenster auf den Mauszeiger: Immer wenn er die Form einer Hand annimmt, befindet sich die Maus über einem auswählbaren Objekt.

3.1.4

Ergebnisfenster

Im Ergebnisfenster werden die Ergebnisse des zuletzt durchgeführten Rechenlaufs dargestellt. Man beachte, dass der Inhalt dieses Fensters stark von den in der Kopfleiste angebotenen in eckigen Klammern gesetzten Steuerelementen abhängt!



auto Mit dem **auto**-Button wird die Aktualisierung der Ergebnisse gesteuert. Bei eingedrücktem Button wird das Rechenprogramm automatisch nach jeder Änderung des Systems bzw. der Belastung eine neue Berechnung der Ergebnisse durchführen und somit den Inhalt des Ergebnisfensters auf aktuellem Stand halten.

start Ist der **auto**-Button gelöst (nicht eingedrückt, erhaben), muss der Rechenlauf und somit die Aktualisierung des Ergebnisfensterinhaltes durch Anklicken des **Start**-Buttons angestoßen werden. Diese Einstellung bietet sich ggf. aus Zeitgründen bei rechenintensiven Problemstellungen mit vielen Nachweisen und Lastkollektiven an.

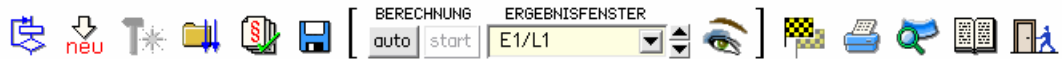
E1/L1 Mit den Elementen der Auswahlliste wird festgelegt, von welchem Lastfall, welcher Einwirkung bzw. welchem Nachweis die Ergebnisse in das Ergebnisfenster eingeblendet werden sollen.



Ein Mausklick auf das Symbol **Ergebnistypauswahl** ruft ein Eigenschaftsblatt auf, in dem die einzelnen Liniengrafiken im Ergebnisfenster aus- bzw. abgewählt werden können.

S. auch Abs. 3.7.2, *Darstellungsoptionen im Ergebnisfenster*, S. 57.

Mit Hilfe der Steuerbuttons in der symbolischen Kopfleiste des Programms werden einige maßgebliche Aktionen gesteuert.



Mit dem Symbol **globale Einstellungen** werden optionale Einstellungen bzgl. des nachfolgenden Rechenlaufs festgelegt.

neu



Befindet sich der Mauszeiger über dem **neu**-Symbol, so erscheint ein Pulldown-Menü mit drei weiteren Symbolen, mit deren Hilfe eine neue Linienlast, eine neue Einzellast und ein neues Imperfektionsbild erzeugt werden können (von links nach rechts).



Das **bearbeiten**-Symbol kann nur aktiviert werden, wenn mindestens ein Objekt ausgewählt ist. Befindet sich der Mauszeiger über diesem Symbol, so erscheint ein Pulldown-Menü mit weiteren Symbolen, mit deren Hilfe die aktuell ausgewählten Objekte bearbeitet werden können. Sind mehrere Objekte desselben Typs aktiviert, so spricht man auch vom "Vereinheitlichen". Von links nach rechts bedeuten: Bearbeitung der ausgewählten Abschnitte, der ausgewählten Lagerpunkte, der ausgewählten Linienlasten, der ausgewählten Einzellasten, der ausgewählten Imperfektionsbilder, Abwählen aller aktuell ausgewählten Objekte, Löschen aller aktuell ausgewählten Objekte.

Ein Mausklick auf das Symbol **Einwirkungen bearbeiten** ruft ein Eigenschaftsblatt hervor, in dem die Struktur von Einwirkungen und Lastfällen sowie die Imperfektionen definiert und bearbeitet werden können.

Ein Mausklick auf das Symbol **Nachweise bearbeiten** ruft ein Eigenschaftsblatt hervor, in dem die zu führenden Nachweise und die diesen zugeordneten Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive definiert und bearbeitet werden können.



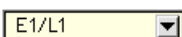
Ein Mausklick auf das **Diskettensymbol** sorgt dafür, dass der aktuelle Datenzustand in der zum Bauteil gehörenden Eingabedatei auf der Festplatte gespeichert wird.



Mit dem **auto**-Button wird die Aktualisierung der Ergebnisse gesteuert. Ist dieser Button eingedrückt, wird das Rechenprogramm automatisch nach jeder Änderung des Systems bzw. der Belastung eine neue Berechnung der Ergebnisse durchführen und somit den Inhalt des Ergebnisfensters aktualisieren.



Ist der **auto**-Button gelöst (nicht eingedrückt, erhaben), muss der Rechenlauf und somit die Aktualisierung des Ergebnisfensterinhaltes durch Anklicken des **Start**-Buttons angestoßen werden. Diese Einstellung bietet sich bei rechenintensiven Problemstellungen mit vielen Nachweisen und Lastkollektiven an.



Mit den Elementen der Auswahlliste wird festgelegt, von welchem Lastfall, welcher Einwirkung bzw. welchem Nachweis die Ergebnisse in das Ergebnisfenster eingeblendet werden sollen.



Ein Mausklick auf das Symbol **Ergebnistypauswahl** ruft ein Eigenschaftsblatt hervor, in dem die Ergebnistypen im Ergebnisfenster aus- bzw. abgewählt werden können.



Ein Mausklick auf das Symbol **Kontrollpunkte bearbeiten** ruft ein Eigenschaftsblatt hervor, in dem die Kontrollpunkte (Lagerpunkte und Stabpunkte zum Schnittgrößenexport bzw. für detaillierte Zwischenergebnisse) definiert und bearbeitet werden können, s. Abs. 3.2.5, S. 41.



Befindet sich der Mauszeiger über dem **Drucker**-Symbol, erscheint ein Pulldown-Menü mit drei weiteren Symbolen, mit deren Hilfe der Umfang der Ergebnisdrukliste eingestellt, die Drucklisten am Bildschirm eingesehen oder der Druckmanager zur Ausgabe des Druckdokumentes auf dem Drucker aufgerufen werden kann (von links nach rechts).



Ein Mausklick auf das Symbol **Deformationen visualisieren** ruft das Visualisierungswerkzeug auf, um sich den Verformungszustand der berechneten Lastfälle/Lastkollektive ansehen zu können.



Ein Mausklick auf das **Hilfe**-Symbol ruft die Online-Hilfe auf.



Ein Mausklick auf das **Ende**-Symbol beendet die Eingabesitzung nach absichernder Abfrage.

Im Baumansichtsfenster und im Objektfenster können Objekte (Abschnitte, Lagerpunkte und Lastbilder) durch einmaliges Anklicken mit der linken Maustaste ausgewählt werden. Ausgewählte Objekte werden im Baumansichtsfenster und im Objektfenster farblich markiert, so dass die aktuelle Auswahl jederzeit optisch kontrolliert werden kann.



Ausgewählte Objekte können mit Hilfe des oben dargestellten **bearbeiten**-Buttons bearbeitet werden. Hierbei muss in dem sodann erscheinenden Pulldown-Menü entschieden werden, welcher Objekttyp bearbeitet werden soll.

Sind mehrere Objekte des zu bearbeitenden Objekttyps ausgewählt, werden alle Objekte nach Bestätigen des durch diese Aktion aufgerufenen Eigenschaftsblatts die aktuell festgelegten Eigenschaften erhalten. Man spricht in diesem Zusammenhang vom **Vereinheitlichen**.

Die Eigenschaften eines einzelnen Objekts können auch per Doppelklick auf das Objekt im Baumansichtsfenster und im Objektfenster editiert werden. Dazu wird das zugehörige Eigenschaftsblatt aufgerufen, in dem die Eigenschaften des Objekts unabhängig vom Status anderer möglicherweise ausgewählter Objekte individuell bearbeitet werden können.

Wird ein neu angelegtes Stahldurchlaufträgerbauteil aus DTE[®] heraus erstmalig gestartet, erscheint ein Assistent, der mit Hilfe weniger Angaben ein dem vorliegenden Problem möglichst gut entsprechendes System generiert. Hierbei werden dem Benutzer acht formularartige Seiten angeboten, die die wesentlichen Daten zum zu berechnenden System abfragen. Durch Anklicken der [weiter](#)- bzw. [zurück](#)-Links kann durch die Formulare navigiert werden. Sämtliche Festlegungen können natürlich im Nachhinein geändert werden.

Seite 1 Hier ist die zugrunde liegende Norm anzugeben.

Seite 2 Hier ist die Anzahl der gewünschten Abschnitte anzugeben. S. hierzu Abs. 3.2.3, *Abschnitte und Lagerpunkte*, S. 39.

Seite 3 Hier sind die Abschnittslängen einzutragen.

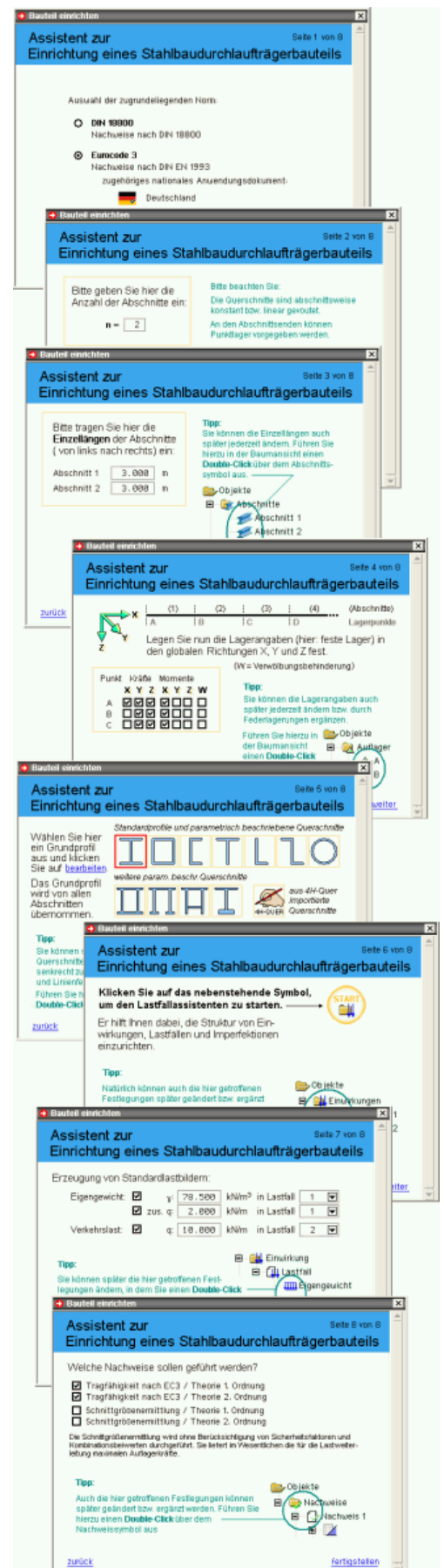
Seite 4 Hier sind die Lagerangaben an den Lagerpunkten A, B, C ... anzugeben. Dabei wird von fester Lagerung der Verformungen ausgegangen. Näheres zu den Angaben s. Abs. 3.4, *Lagerpunkte*, S. 51.

Seite 5 Hier ist der Querschnitt festzulegen. Wählen Sie zunächst einen der angebotenen Querschnittstypen aus und klicken dann auf den Link [bearbeiten](#), um den Querschnitt genauer zu beschreiben. Der Assistent wird allen Abschnitten den so charakterisierten Querschnitt zuordnen. Besitzt das Bauteil abschnittsweise unterschiedliche Querschnitte, kann dies im Nachhinein geändert werden. S. hierzu auch Abs. 3.3.1, *Stahlgüte und Querschnitt*, S. 43.

Seite 6: Hier geht es um die Struktur von Einwirkungen und Lastfällen. Die Verwaltung dieser Laststruktur verfügt über einen eigenen Assistenten, der durch Anklicken des [Start](#)-Symbols aktiviert wird.

Seite 7: Legen Sie hier die Ordinaten einiger Standardlastbilder fest.

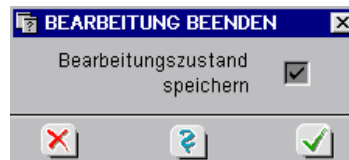
Seite 8: Legen Sie hier fest, welche Nachweise geführt werden sollen.



Nach Anklicken des **fertigstellen**-Symbols auf Seite 8 generiert der Assistent den gewünschten Eingabedatensatz und startet den eigentlichen Dialog, in dem die definierten Objekte in der Baumansicht wie auch im Objektfenster zur interaktiven Bearbeitung dargestellt werden.

3.1.8 Bearbeitung beenden

Hier können Sie entscheiden, ob die Bearbeitung mit oder ohne vorherige Sicherung des aktuellen Datenzustandes erfolgen soll. Klicken Sie auf den symbolischen **abbrechen**-Button, um mit der Bearbeitung fortzufahren.



3.2 einführende Bemerkungen

3.2.1 globale Einstellungen

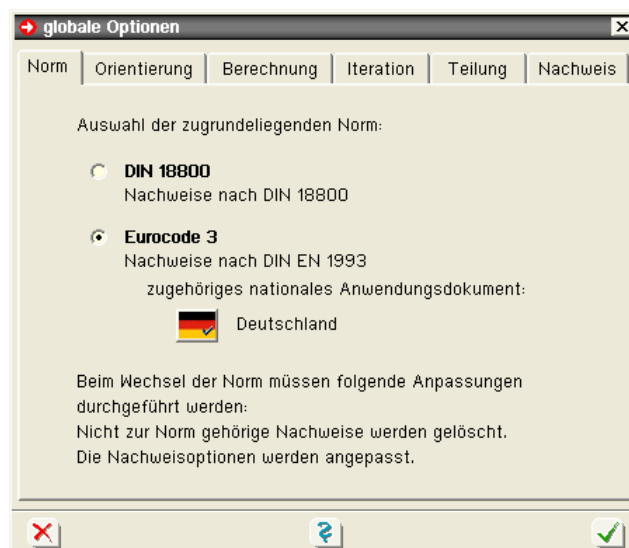


Durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Symbols, das sich ganz links in der Kopfzeile des Hauptfensters befindet, wird das Eigenschaftsblatt zur Bearbeitung der globalen Eigenschaften aktiviert. Es verfügt über sechs Register.

3.2.1.1 Register *Norm*

Im ersten Register kann die zugrunde liegende Norm gewählt werden (DIN EN 1993 (EC 5) oder DIN 18800). Je nach Norm werden dann die entsprechenden Nachweisoptionen verwendet.

Beim Umschalten des Normenwerks müssen die Nachweiseinstellungen angepasst werden. Eventuell schon eingerichtete, nicht zur Norm gehörige Nachweise werden gelöscht.



3.2.1.2

Register *Orientierung*

Im zweiten Register kann die Wirkungsrichtung der (durch ein Gewichtssymbol gekennzeichneten) Eigengewichtslasten festgelegt werden.

Von Natur aus handelt es sich bei dem zu bearbeitenden Bauteil um einen horizontal liegenden Träger, dessen Längsachse sich an der globalen X-Achse orientiert und dessen Gewichtslasten nach unten (in globaler Z-Richtung) wirken. Um mit dem Programm aber auch **Stützen** und schief liegende Balken (wie etwa die Sparren eines geneigten Daches) berechnen zu können, kann die Richtung der Eigengewichtslasten vom Standard abweichend verändert werden.



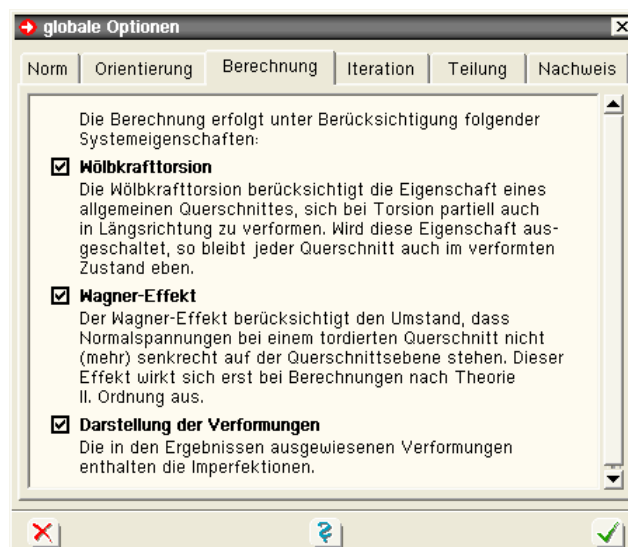
3.2.1.3

Register *Berechnung*

Das Programm berechnet die Verformungen und Schnittgrößen i. A. unter Berücksichtigung der **Wölbkrafttorsion** und des **Wagner-Effektes**.

Um diese Effekte im Einzelfall besser studieren zu können und um bestehende statische Berechnungen, die ohne Berücksichtigung dieser Effekte aufgestellt wurden, überprüfen (nachrechnen) zu können, lassen sich diese Effekte einzeln oder gemeinsam abschalten.

Zusätzlich kann man festlegen, ob Imperfektionen in den Verformungen der Lastkollektive enthalten sein sollen oder nur die **Zusatzverformungen** dargestellt werden.



3.2.1.4

Register *Iteration*

Die nichtlineare Berechnung erfolgt iterativ. Um die Gefahr auszuschließen, eine Endlosschleife abzuarbeiten (dies kann passieren, wenn bei einem gegebenen System keine Konvergenz hergestellt werden kann), ist die maximale Anzahl der zu berechnenden Iterationsschritte pro Lastkollektiv begrenzt. Auf **Konvergenz** wird erkannt, wenn die sich ergebenden Differenzen in den Verformungen und Schnittgrößen zweier aufeinander folgender Iterationsschritte in allen Punkten des Systems kleiner als die im Eigenschaftsblatt ausgewiesenen Toleranzen sind. In diesem Fall wird die Iteration vorzeitig beendet.

Konvergiert die Berechnung auch nach Durchführung der maximalen Anzahl von Iterationen nicht, ist dies ein Kriterium dafür, dass die (mit einem Sicherheitsfaktor erhöhten) Lasten des zur Berechnung anstehenden Lastkollektivs vom System nicht aufgenommen werden können. Es erfolgt eine entsprechende Warnung des Rechenprogramms.

globale Optionen

Norm | Orientierung | Berechnung | **Iteration** | Teilung | Nachweis

max. Anzahl der Iterationsschritte:

Die Iteration wird automatisch beendet, wenn die Differenzen in den Ergebnissen zweier aufeinanderfolgender Iterationen an keiner Stelle die nachfolgend aufgeführten Toleranzen überschreiten:

Toleranz der Verschiebungen	<input type="text" value="0.00010"/> mm
Toleranz der Verdrehungen	<input type="text" value="0.00010"/> %
Toleranz der Verdrehung	<input type="text" value="0.00010"/> %/m
Toleranz der Schnittkräfte	<input type="text" value="0.00010"/> kN
Toleranz der Momente	<input type="text" value="0.00010"/> kNm
Toleranz des Wölbmoments	<input type="text" value="0.00010"/> kNm²

Buttons: [X] [?] [✓]

3.2.1.5

Register *Teilung*

Das Programm arbeitet mit Polynomen dritten Grades als Ansatzfunktion für die Verformungen einzelner Teilabschnitte (Elemente). Da die tatsächlichen Lösungen der zugrunde liegenden Differentialgleichungen aber zum Teil aus trigonometrischen bzw. hyperbolischen (bei Berechnungen nach Theorie II. Ordnung) und Exponentialfunktionen (bei Wölbkrafttorsion) sowie Kombinationen aus beiden (bei elastischer Bettung) bestehen, liefert diese Vorgehensweise nur eine Näherung der exakten Lösung.

globale Optionen

Norm | Orientierung | Berechnung | Iteration | **Teilung** | Nachweis

☒ automatische Teilung:

maximale Elementlänge: m

Faktor für Knicklänge ($\epsilon=1\%$):

Faktor für Wöblänge:

Faktor für elastische Länge:

Teilung gevouteter Abschnitte:

Merke:
Faktoren < 1 verkleinern die vom Programm gewählte Elementlänge!

maximaler Abstand der Ergebnispunkte: m

Buttons: [X] [?] [✓]

Der Fehler der Näherung kann (ähnlich wie bei der Finiten Elemente Methode) durch hinreichende Teilung verkleinert werden, so dass sein Effekt keinen Einfluss mehr auf die Zuverlässigkeit der berechneten Ergebnisse hat. Im fünften Register des Eigenschaftsblatts *globale Optionen* können die programminternen Festlegungen zur Teilung der Abschnitte modifiziert werden. I.d.R. wird empfohlen, die Schaltfläche **automatisch** zu aktivieren (Voreinstellung), so dass die von **pcae** überprüften Einstellungen bei der Abschnittsteilung zu Grunde gelegt werden.

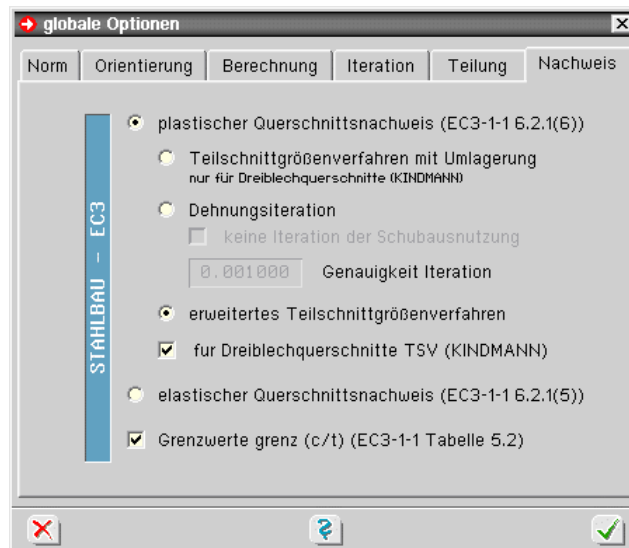


Merke: Zu große Elemente können die Ergebnisse bis zur Unbrauchbarkeit verfälschen. Zu kleine Elemente erhöhen den Rechenaufwand, ohne dabei einen messbaren Genauigkeitsgewinn zu erlangen.

3.2.1.6

Register *Nachweis*

Im letzten Register können die Nachweisoptionen eingestellt werden. Für alle berechneten Lastkombinationen (extremale Schnittgrößen, Lastkollektivergebnisse, ...) werden alle Ergebnispunkte des Durchlaufträgers nachgewiesen. Diese Nachweisprozedur reagiert auf die im 6. Register angebotenen Einstellungen, die für den gesamten Träger - also für alle definierten Abschnitte - gelten.



Der Querschnittsnachweis (s. Abs. 3.8.3, S. 67) kann je nach zugrunde liegender Norm nach dem Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch* (DIN 18800, El. 747, bzw. DIN EN 1993-1-1, Abschnitt 6.2.1(5)) oder nach dem Nachweisverfahren *Elastisch-Plastisch* (E-P) geführt werden (DIN 18800, El. 757, bzw. DIN EN 1993-1-1, Abschnitt 6.2.1(6)).

Für Dreiblechquerschnitte (I-, C-, U-, Z-, L-, T-Querschnitte) und Flacheisen bzw. Rohre als Profile kommt das Teilschnittgrößenverfahren mit Umlagerung (nach Kindmann) zur Anwendung.

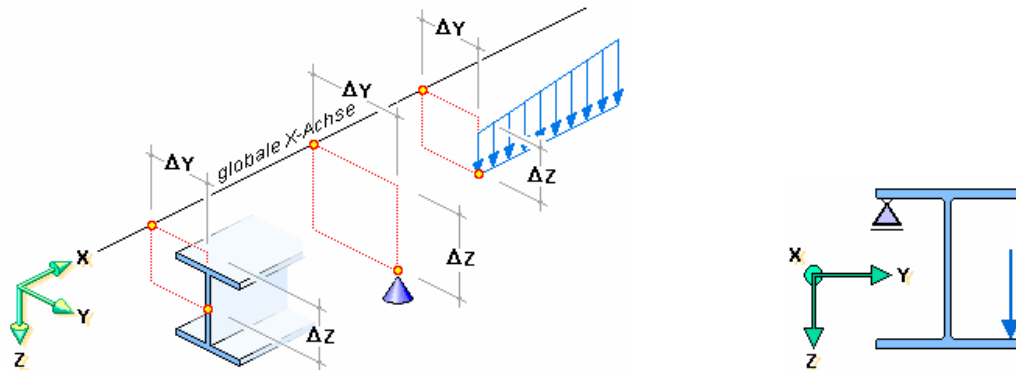
Für Nachweise nach DIN EN 1993 kann für beliebige dünnwandige Querschnitte das Verfahren der Dehnungsiteration oder das erweiterte Teilschnittgrößenverfahren gewählt werden. Voreingestellt ist das erweiterte Teilschnittgrößenverfahren, wobei für Dreiblechquerschnitte das Teilschnittgrößenverfahren mit Umlagerung nach Kindmann verwendet wird (durch Schalter einstellbar).

Zur Überprüfung der Arbeitsweise des Nachweisprozesses dient die Definition von Detailnachweispunkten (s. Abs. 2.3.9, S. 25). In der für die Detailnachweispunkte erzeugten Druckliste sind alle Zwischenergebnisse (z.B. extremale Lastkombinationen mit zugehörigen Größen, errechnete Spannungen, maßgebende Lastfallfaktoren etc.) enthalten.

3.2.2

globales Koordinatensystem und Exzentrizitäten

Das globale X-Y-Z-Koordinatensystem ist wie alle anderen von **pcae** verwendeten Systeme ein orthogonales Rechtssystem. Es dient der Ausrichtung und Vermessung der Abschnitte, Lager und Lastbilder. Die X-Achse zeigt in Längsrichtung des Durchlaufträgers, s. Skizze.



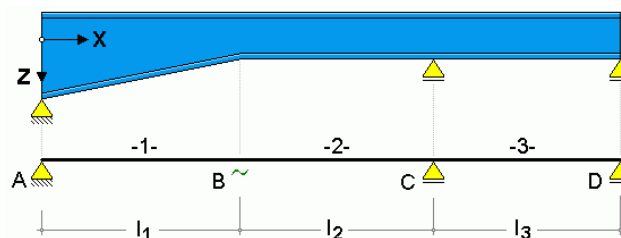
Mit Hilfe der Exzentrizitäten ΔY und ΔZ können Abschnitte, Lager sowie Angriffspunkte von Lastbildern in der Ebene senkrecht zur X-Achse verrückt werden. Deshalb können Gegebenheiten, wie sie im Bild oben rechts dargestellt sind, in einfacher Weise beschrieben und vom Rechenprogramm berücksichtigt werden.

Die Lage der globalen Achse im Durchlaufträger wird i. A. so gewählt werden, dass eine möglichst einfache Beschreibung der Lagerbedingungen und Lasten erfolgen kann. Die Ausrichtung der Querschnitte, s. Abs. 3.3.2, S. 45, kann dann bequem bei den Abschnittseigenschaften vorgenommen werden.

3.2.3

Abschnitte und Lagerpunkte

Der zu berechnende Durchlaufträger wird in n Abschnitte unterteilt. Da ein Trägerabschnitt immer von einem bestimmten Querschnittstyp ist und konstante bzw. linear veränderliche Querschnittswerte aufweist, muss der Träger an den Stellen, an denen er einen Querschnittsknick oder -sprung aufweist, unterteilt werden. Darüber hinaus können einem Träger an den Querschnittsenden Einzellager zugeordnet werden. Aus diesen Randbedingungen ergibt sich die erforderliche Abschnittsteilung.



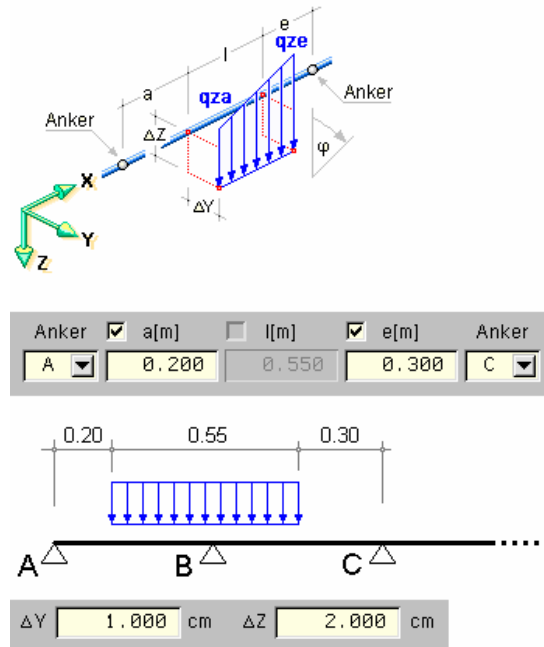
Abschnitte werden von links nach rechts mit 1 beginnend durchnummeriert. Lagerpunkte befinden sich an den Durchlaufträgerenden sowie zwischen den Abschnitten. Dementsprechend gibt es immer einen Lagerpunkt mehr als Abschnitte. Lagerpunkte werden mit A, B, C ... von links nach rechts aufsteigend gekennzeichnet.

3.2.4

Anker und Abstände

Die geometrische Beschreibung der Lastbilder bezieht sich stets auf den gesamten Durchlaufträger und ist unabhängig von der Abschnittsteilung. Um Teilstreckenlasten festlegen zu können, bedient man sich der Anker ggf. unter Berücksichtigung von Abständen. Ein Anker ist hierbei einer der definierten Lagerpunkte A, B, C, Hierbei müssen zwei der drei Teillängen a , l oder e angegeben werden. a und e können i. A. auch 0.0 oder negativ sein.

In der folgenden Skizze sind die Angaben im Eigenschaftsblatt sowie das Resultat beispielhaft angegeben.



Weiterhin können die Lasten außermittig, mit einem Abstand von der X-Achse in Y- und in Z-Richtung verschoben werden. Hierzu sind die Eingabefelder ΔY und ΔZ zu verwenden.

3.2.5

Kontrollpunkte

3.2.5.1

Allgemeines

Kontrollpunkte sind Punkte im System, die für den Benutzer hinsichtlich der Ergebnisse des Rechenlaufs von besonderem Interesse sind. In #DULAS sind Kontrollpunkte entweder Lagerknoten oder Stabpunkte.

Während bei den Lagerknoten das Augenmerk auf den Reaktionskräften des Lagers liegt, sind bei Stabpunkten die Schnittgrößen an einer bestimmten Stelle des Durchlaufträgers interessant.

Kontrollpunkte können zu Detailnachweis- und/oder zu Schnittgrößenexportpunkten erklärt werden.

- für Detailnachweispunkte werden detaillierte Informationen zum Rechenlauf angefordert. Jedes Mal, wenn ein solcher Punkt vom Programm bearbeitet wird, wird ein Protokoll erzeugt, in dem die berechneten und überlagerten Schnittgrößen sowie die Entscheidungen und Berechnungen des Nachweis- bzw. Bemessungsmoduls bzgl. dieses speziellen Punkts nachvollziehbar aufgelistet werden.

Der Umfang dieser ausführlichen Informationen kann vom Benutzer festgelegt werden.

Nach durchgeführter Berechnung enthält die Druckliste jeweils ein Kapitel für jeden Detailnachweispunkt.

- für Schnittgrößenexportpunkte werden sämtliche Schnittgrößen bzw. Lagerreaktionskräfte, die lastfallweise oder durch Auswertung von Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektiven vom Rechenprogramm ermittelt wurden, in einer Datei gespeichert, die von Programmen zu einem späteren Zeitpunkt eingelesen und ausgewertet werden können. Ergebnisse der Wölbkrafttorsion (Bimoment, Verdrillung etc.) werden von #DULAS nicht exportiert. Alle Schnittgrößen (auch das Torsionsmoment) beziehen sich auf den Schwerpunkt.



Die von **pcae** angebotenen Detailprogramme zum Nachweis von Trägerstößen, Rahmenecken, Anschlüssen etc. können diese Schnittgrößen aufnehmen und weiterverarbeiten, wenn das nebenstehend dargestellte Symbol angeboten wird.



Schnittgrößenexport

Das Schubladenwerkzeug Schnittgrößenexport, das seit DTE® Version 4.05 in der Schreibstischschublade angeboten wird, ist ebenfalls in der Lage, auf die gespeicherten Schnittgrößen der Kontrollpunkte zuzugreifen.

Die exportierten Größen können mit diesem Werkzeug auf dem Drucker ausgegeben, in eine externe Textdatei (zur Weiterverarbeitung in einem Editor) oder in eine XML-Datei (um sie z.B. in Microsoft Excel zu laden) geschrieben werden.

Nähere Informationen sind im DTE®-Hilfedokument zu finden.

3.2.5.2

Kontrollpunkte verwalten



Durch Klicken des nebenstehend dargestellten Buttons, der sich in der Kopfzeile des Eingabemoduls befindet, erscheint das Fenster der Kontrollpunktverwaltung.



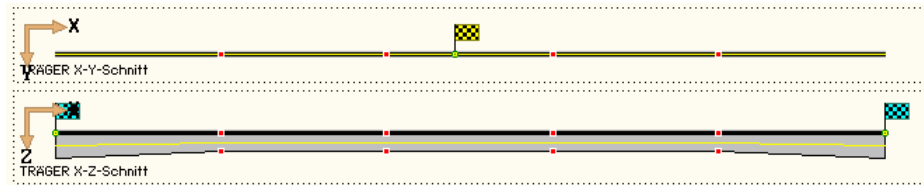
In den beiden angebotenen Registern werden Lagerknoten und Stabpunkte angegeben.

Während Lagerknoten allein durch Vorgabe der Knotennummer in ihrer Lage eindeutig gekennzeichnet sind, ist bei Stabknoten der Abstand vom Anfangs- oder Endknoten anzugeben. Bei den Knoten ist zu beachten, dass die Knotennummern 1, 2, 3, ... den Auflagern A, B, C, ... entsprechen.

Weiterhin ist durch Setzen logischer Schalter anzuzeigen, ob es sich um einen Schnittgrößenexport- oder (und) um einen Detailnachweispunkt handelt. Im letzteren Fall können Angaben zum Umfang der Ausgabe in der Druckliste gemacht werden, s. Abs. 3.2.6, S. 42.

Jedem Kontrollpunkt kann ein farbiges Fähnchensymbol zugeordnet werden. Darüber hinaus empfiehlt es sich, dem Kontrollpunkt eine Bezeichnung zuzuweisen.

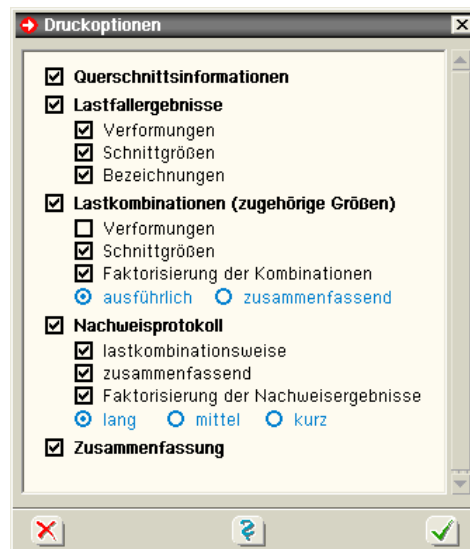
Kontrollpunkte werden im Eingabemodul in der Systemdarstellung durch ihr Fähnchensymbol angezeigt.



3.2.6

Umfangseinstellungen

In diesem Eigenschaftsblatt kann der Umfang der Ausgabe für einen Detailnachweispunkt (S. Abs. 2.3.9, S. 25) gesteuert werden. Die Einstellungen können für jeden Detailnachweispunkt unterschiedlich vorgenommen werden.



3.3

Abschnitte

3.3.1

Stahlgüte und Querschnitt

Im ersten Register des Eigenschaftsblatts zur Festlegung der Abschnittseigenschaften werden das Material und der Querschnitt des Trägerabschnitts festgelegt.

Stahlgüte

In der Auswahlliste kann ein Material gemäß DIN EN 1993 bzw. DIN 18800 ausgewählt werden.

Mit dem daneben angegebenen $\gamma_{M,Emodul}$ kann festgelegt werden, mit welchem Wert der Elastizitätsmodul bei der Berechnung der Verformungen und Schnittgrößen abgemindert werden soll. Dieser Wert ist nur für Nachweise nach DIN 18800 relevant. I.d.R. ist dies gemäß DIN 18000 der Materialsicherheitsbeiwert für Stahl ($\gamma_{M,Emodul} = 1.1$). Durch Vorgabe einer 1.0 in diesem Eingabefeld findet keine Abminderung statt.

DIN EN 1993 (EC 3) verlangt keine Abminderung des Elastizitätsmoduls. Je nach gewählter Norm ist die Voreinstellung von $\gamma_{M,Emodul}$ der Vorschrift entsprechend gewählt.

Soll eine Stahlsorte verwendet werden, die nicht in der Standardliste enthalten ist, muss sie zunächst als benutzerdefinierte Stahlgüte deklariert werden.

Durch Drücken des **Pfeil**-Buttons unter *benutzerdefiniert* wird ein Eigenschaftsblatt angezeigt, in dem bis zu zehn verschiedene Stahlgüten aktiviert und hinsichtlich ihrer elastischen Eigenschaften definiert werden können.

In #DULAS werden neben der Bezeichnung nur die elastischen Moduln und die Fließgrenzen f_{yk} anhängig von der Erzeugnisdicke benötigt. Die Liste der Stahlgüten wird nach Aktivierung der benutzerdefinierten Stahlgüte entsprechend erweitert.

Querschnitt

Die nachfolgend dargestellten Profile können wahlweise als genormte Profile dem DTE®-Profilmanager entnommen oder parametrisiert beschrieben werden.

Parametrisiert beschriebene Querschnitte können als über den Stab linear veränderliche Querschnitte (Vouten) festgelegt werden. Bei der Parametereingabe ist die im Eigenschaftsblatt angegebene Skizze zu beachten!

Querschnitt

☒ genormtes Standardprofil
☐ parametrisch beschrieben

IPE300

	Stabanfang	Stabende
h	30.00	
b	15.00	
s	0.71	
t	1.07	

(alle Zahlenangaben in cm)

☐ gevoutet

A → E
A ← E
A ↔ E



Die nebenstehend dargestellten Profile können ausschließlich parametrisiert (auch gevoutet) beschrieben werden.



Dieses Symbol steht für den Querschnittsimport aus dem Querschnittswerteprogramm **4H-QUER**. Wenn Sie über das Querschnittswerteprogramm **4H-QUER** verfügen, können dort weitere Querschnitte (Typ *dünnwandig*) konstruieren und in das Stahldurchlaufträgerprogramm importieren.

Für die Untersuchung des Biegedrillknickens sind genaue Werte des Torsionsträgheitsmoments und der Wölbparameter wichtig. **4H-QUER** bietet die Möglichkeit, diese Werte mit Hilfe der FE-Methode unter Berücksichtigung der tatsächlichen Querschnittsgeometrie (Berechnung als dickwandiger Querschnitt mit Ausrundungen, gevouteten Flanschen etc.) zu ermitteln und nach **4H-DULAS** zu übergeben.



Ist der Optionsschalter **genormtes Standardprofil** aktiviert, kann der Profilmanager durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Buttons aufgerufen werden. Die geometrischen Basisparameter (h, b, t, s) des gewählten Profils werden in der Tabelle eingeblendet.



Wird in diesem Zustand die links abgebildete **Pinnwandnadel** angeklickt, werden die eingeblendeten Profilparameter als Eingabeparameter für einen parametrisiert beschriebenen Querschnitt übernommen.

Nach Schließen des Eigenschaftsblatts durch Anklicken des **bestätigen**-Buttons werden die Angaben vom Abschnitt (bzw. von den aktuell ausgewählten Abschnitten) übernommen.

S. auch

- Ausrichtung des Querschnitts s. Abs. 3.3.2, S. 45
- Punktfedern s. Abs. 3.3.3, S. 46
- Linienfedern s. Abs. 3.3.4, S. 47
- Gelenkfedern s. Abs. 3.3.5, S. 48
- optische Kontrolle s. Abs. 3.3.7, S. 50
- Abschnittslänge und Teilung s. Abs. 3.3.6, S. 49

3.3.2

Ausrichtung des Querschnitts

Im zweiten Register des Eigenschaftsblatts zur Festlegung der Abschnittseigenschaften wird die Ausrichtung des Querschnitts festgelegt.

Abschnitt 2

Basisdaten Ausrichtung Punktfedern Linienfedern Gelenkfedern optische Kontrolle Teilung

Beschreiben Sie hier die Stelle, an der die globale X-Achse die Querschnittsebene durchstößt.

☒ linear veränderlich über die Abschnittslänge

	Abschnittsanfang	Abschnittsende
horizontale Ausrichtung (y-Richtung)	<input type="text" value="Nullpunkt"/> <input type="button" value="↔"/> + <input type="text" value="0.00"/> cm	<input type="text" value="Nullpunkt"/> <input type="button" value="↔"/> + <input type="text" value="0.00"/> cm
vertikale Ausrichtung (z-Richtung)	<input type="text" value="oben"/> <input type="button" value="↕"/> + <input type="text" value="15.00"/> cm	<input type="text" value="oben"/> <input type="button" value="↕"/> + <input type="text" value="25.00"/> cm

Verdrehung φ ° Der Querschnitt wird um den o. a. Punkt gedreht!

horizontale und vertikale Ausrichtungspunkte

Festzulegen ist hier der Punkt in der Querschnittsebene, durch den die globale X-Achse verläuft. S. auch Abs. 3.2.2, *globales Koordinatensystem und Exzentrizitäten*, S. 39.

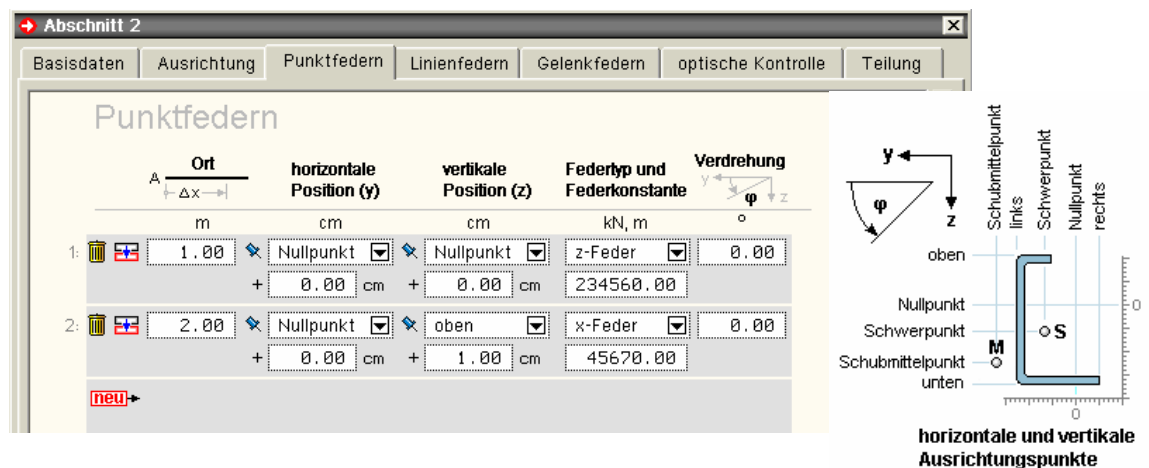
Dieser Punkt wird mit einem Abstand von einem wählbaren (dem Querschnitt zugeordneten) Ausrichtungspunkt beschrieben. Die möglichen Ausrichtungspunkte sind neben dem Schwerpunkt und dem **Schubmittelpunkt** die horizontalen bzw. vertikalen Ränder (oben, unten, rechts, links) und der Nullpunkt des Querschnitts. Bei *##*-QUER-importierten Querschnitten ist der Nullpunkt der Ursprung des **Beschreibungskoordiensystems**. Bei allen anderen Querschnitten ist es der Mittelpunkt des umgebenden Rechtecks.

Zusätzlich kann der Querschnitt um den so definierten Punkt mit dem Winkel φ gedreht werden.

S. auch

- Stahlgüte und Querschnitt s. Abs. 3.3.1, S. 43
- Punktfedern s. Abs. 3.3.3, S. 46
- Linienfedern s. Abs. 3.3.4, S. 47
- Gelenkfedern s. Abs. 3.3.5, S. 48
- optische Kontrolle s. Abs. 3.3.7, S. 50
- Abschnittslänge und Teilung s. Abs. 3.3.6, S. 49

Im dritten Register des Eigenschaftsblatts zur Festlegung der Abschnittseigenschaften können dem Abschnitt beliebig viele Einzelfedern zugeordnet werden.



neu ➔ fügt der aktuellen Tabelle ein (weiteres) Gelenk hinzu

dupliziert das aktuell ausgewählte Gelenk

löscht das aktuell ausgewählte Gelenk

Mit Δx ist der Ort der Feder in Längsrichtung, gemessen vom Abschnittsanfang anzugeben. Die Beschreibung der Position der Feder innerhalb der Querschnittsebene bezieht sich wieder auf die Ausrichtungspunkte, wie sie bereits unter Register 2 *Ausrichtung des Querschnitts* beschrieben wurden. S. hierzu auch Abs. 3.2.2, *globales Koordinatensystem und Exzentrizitäten*, S. 39.

Als **Federart** kann eine Verschiebungsfeder in x-, y- bzw. z-Richtung in kN/m, eine Verdrehungsfeder zur Behinderung der Stabverdrehung um die Abschnittslängsachse in kNm/- oder eine Wölbfeder zur Behinderung der Querschnittsverwölbung in kNm⁴ gewählt werden. Die Federn wirken in Richtung der lokalen Querschnittsachsen. Die dem gewählten Freiheitsgrad zugeordnete Federkonstante muss mit einem Wert > 0.0 angegeben werden. Ein Wert von -1.0 entspricht einer starren Lagerung. Intern wird eine starre Lagerung durch eine Feder mit einer sehr großen Federkonstanten realisiert. Eine Verschiebungsfeder kann zusätzlich in der Querschnittsebene mit dem Winkel φ um die Trägerlängsachse verdreht werden.

Die Federn an derselben Position addieren sich in ihrer Wirkung.

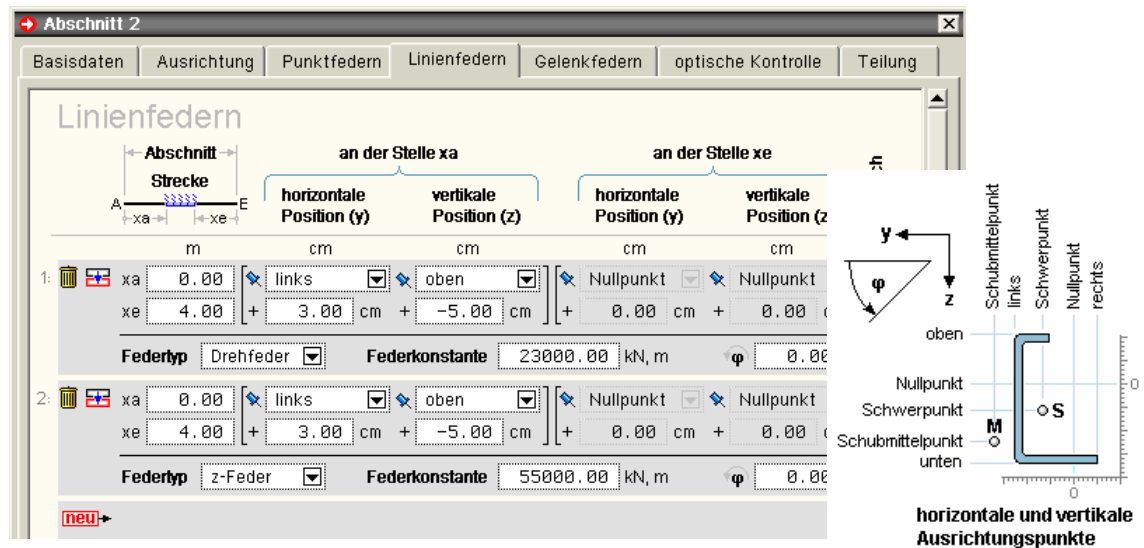
S. auch





- Stahlgüte und Querschnitt s. Abs. 3.3.1, S. 43
- Ausrichtung des Querschnitts s. Abs. 3.3.2, S. 45
- Linienfedern s. Abs. 3.3.4, S. 47
- Gelenkfedern s. Abs. 3.3.5, S. 48
- optische Kontrolle s. Abs. 3.3.7, S. 50
- Abschnittslänge und Teilung s. Abs. 3.3.6, S. 49

3.3.4

Linienfedern

Im vierten Register des Eigenschaftsblatts zur Festlegung der Abschnittseigenschaften können dem Abschnitt beliebig viele Linienfedern zugeordnet werden.



-   fügt der aktuellen Tabelle ein (weiteres) Gelenk hinzu
-  dupliziert das aktuell ausgewählte Gelenk
-  löscht das aktuell ausgewählte Gelenk

x_a und x_e beschreiben den Wirkungsbereich der Linienfeder in Trägerlängsrichtung. Der Wirkungsbereich muss sich auf den Bereich des Abschnitts beschränken. Der Wert x_e ist der Abstand des Federendpunkts vom Abschnittsende. Die Beschreibung der Position der Feder innerhalb der Querschnittsebene bezieht sich wieder auf die Ausrichtungspunkte, wie sie bereits unter Register 2 *Ausrichtung des Querschnitts* beschrieben wurden. S. hierzu auch Abs. 3.2.2, *globales Koordinatensystem und Exzentrizitäten*, S. 39.

Ist die Position der Feder in der Querschnittsebene über die Lauflänge linear veränderlich, muss sie am Anfangspunkt (an der Stelle x_a) und am Endpunkt (an der Stelle x_e) beschrieben werden. Aktivieren Sie hierzu das Kontrollkästchen in der Spalte *veränderlich*. Als Federtyp kann eine Verschiebungsfeder in x-, y- bzw. z-Richtung in kN/m² oder eine Drehfeder zur Behinderung der Stabverdrehung um die Abschnittslängsachse in kNm/m gewählt werden. Die Federn wirken in Richtung der lokalen Querschnittsachsen. Die dem gewählten Freiheitsgrad zugeordnete Federkonstante muss mit einem Wert > 0.0 angegeben werden. Ein Wert von -1.0 entspricht einer starren Lagerung. Intern wird eine starre Lagerung durch eine Feder mit einer sehr großen Federkonstanten realisiert. Eine Verschiebungsfeder kann zusätzlich in der Querschnittsebene mit dem Winkel φ um die Trägerlängsachse verdreht werden.


S. auch

- Stahlgüte und Querschnitt s. Abs. 3.3.1, S. 43
- Ausrichtung des Querschnitts s. Abs. 3.3.2, S. 45
- Punktfedern s. Abs. 3.3.3, S. 46
- Gelenkfedern s. Abs. 3.3.5, S. 48
- optische Kontrolle s. Abs. 3.3.7, S. 50
- Abschnittslänge und Teilung s. Abs. 3.3.6, S. 49

Im fünften Register des Eigenschaftsblatts zur Festlegung der Abschnittseigenschaften können dem Abschnitt beliebig viele Gelenkfedern zugeordnet werden.

 fügt der aktuellen Tabelle ein (weiteres) Gelenk hinzu

 dupliziert das aktuell ausgewählte Gelenk

 löscht das aktuell ausgewählte Gelenk

Mit Hilfe von Gelenkbedingungen können Anschlüsse beschrieben werden, bei denen zwei Stababschnitte oder ein Abschnitt und ein Lagerpunkt nicht starr miteinander verbunden sind.

Der Gelenktyp steuert dabei, welcher Freiheitsgrad durch das Gelenk freigeschnitten und durch eine Feder gekoppelt wird. Es können mehrere Freiheitsgrade gleichzeitig gelöst werden. Dabei ist zu beachten, dass die Position der My- und Mz-Gelenke den Punkt festlegen, um den das Gelenk rotiert.

Analog entspricht die Position der Vy- und Vz-Gelenke dem Drehpunkt um die Stablängsachse.

Werden zusätzlich für die Längsverschiebung bzw. für die Stabtorsion Gelenke angegeben, werden die Positionsangaben der My- und Mz-Gelenke bzw. Vy- und Vz-Gelenke ignoriert.

Die Gelenkfedern addieren sich in ihrer Wirkung; exzentrische Federn in den Krafrichtungen erzeugen dabei zusätzliche Momentenfedern.

Mit Δx ist der Ort des Gelenks in Längsrichtung, gemessen vom Abschnittsanfang oder -ende anzugeben.

Die Beschreibung der Position des Gelenks innerhalb der Querschnittsebene bezieht sich wieder auf die Ausrichtungspunkte, wie sie bereits unter Register 2 *Ausrichtung des Querschnitts* (Abs. 3.3.2, S. 45) beschrieben wurden.

S. hierzu auch *das globale Koordinatensystem und die Exzentrizitäten*, Abs. 3.2.2, S. 39.

Als Gelenkfeder kann eine Verschiebungsfeder in x-, y- bzw. z-Richtung in kN/m, eine Verdrehungsfeder zur Kopplung der Stabverdrehung um die Abschnittslängsachse in kNm/- oder eine Wölbfeder zur Kopplung der Querschnittsverwölbung in kNm⁴ gewählt werden.

Die Gelenke wirken in Richtung der lokalen Querschnittsachsen.

Die dem gewählten Freiheitsgrad zugeordnete Federkonstante muss mit einem Wert > 0.0 angegeben werden. Ein Wert von 0.0 entspricht einem Vollgelenk, ein Wert von -1.0 einer starren Verbindung. Intern wird eine starre Verbindung durch eine Feder mit einer sehr großen Federkonstanten realisiert.

Ein Momenten- bzw. Querkraftgelenk kann zusätzlich in der Querschnittsebene mit dem Winkel φ um die Längsachse verdreht werden.

Durch Angabe des Schnittufers kann bei Gelenken innerhalb des Abschnitts festgelegt werden, auf welcher Seite von eventuell vorhandenen Punktlagern bzw. Punktlasten des Abschnitts das Gelenk eingebaut wird.

Gelenke am Anfang bzw. am Ende des Abschnitts bekommen immer das Schnittufer *rechts* bzw. *links*.

S. auch

- Stahlgüte und Querschnitt s. Abs. 3.3.1, S. 43
- Ausrichtung des Querschnitts s. Abs. 3.3.2, S. 45
- Punktfedern s. Abs. 3.3.3, S. 46
- Linienfedern s. Abs. 3.3.4, S. 47
- optische Kontrolle s. Abs. 3.3.7, S. 50
- Abschnittslänge und Teilung s. Abs. 3.3.6, S. 49

3.3.6

Abschnittslänge und Teilung

Im letzten Register des Eigenschaftsblatts zur Festlegung der Abschnittseigenschaften kann die Abschnittslänge festgelegt werden.



Neben der Änderung der Abschnittslänge im hierfür angebotenen Eingabefeld besteht die Möglichkeit, den Trägerabschnitt über das **Scherensymbol** zu unterteilen.

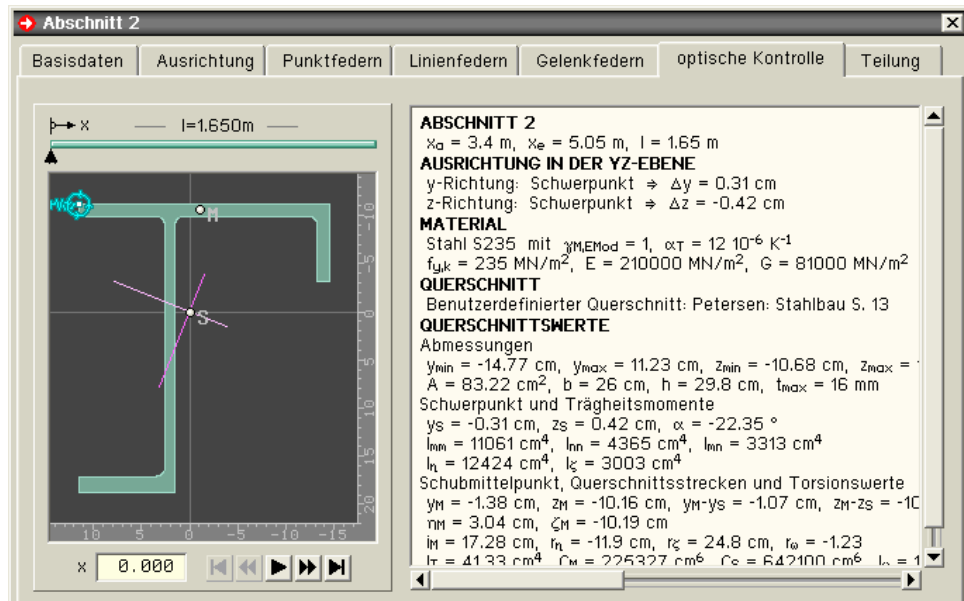
Die Unterteilung kann **regelmäßig** (in äquidistanten Abständen) oder **unregelmäßig** erfolgen.

Beachten Sie, dass die Unterteilung nur erforderlich ist, wenn feste Lager im Bereich des Abschnitts wirken sollen oder wenn Unstetigkeiten des Querschnitts vorliegen (s. auch *Abschnitte und Lagerpunkte*, Abs. 3.2.3, S. 39)!

S. auch

- Stahlgüte und Querschnitt s. Abs. 3.3.1, S. 43
- Ausrichtung des Querschnitts s. Abs. 3.3.2, S. 45
- Punktfedern s. Abs. 3.3.3, S. 46
- Linienfedern s. Abs. 3.3.4, S. 47
- Gelenkfedern s. Abs. 3.3.5, S. 48
- optische Kontrolle s. Abs. 3.3.7, S. 50

Im fünften Register des Eigenschaftsblatts zur Festlegung der Abschnittseigenschaften können die eingegebenen Eigenschaften des Abschnitts optisch kontrolliert werden.



Während auf der rechten Seite die Querschnittsangaben und hieraus resultierenden Querschnittswerte protokolliert werden, kann im linken Bereich an einer visuellen Fahrt vom Abschnittsanfang zum Abschnittsende teilgenommen werden. In dem abgedunkelten "Player"-Fenster sind das globale Koordinatensystem, der Querschnitt inkl. Schwerpunkt und Schubmittelpunkt sowie ggf. Einzel- und Linienlager symbolisch dargestellt.

- ▶ Klicken Sie auf den **Start**-Button, um die Fahrt zu beginnen. Die "Kameraposition" wird sodann mit konstanter Geschwindigkeit über den Abschnitt fahren.
- ▶▶ Klicken Sie auf den **vor**-Button, um auf die nächste nachfolgende relevante Position vorzuspulen. Diese Position wird der Anfang oder das Ende einer Linienfeder, die Position einer Einzelfeder oder das Abschnittsende sein.
- ◀◀ Klicken Sie auf den **zurück**-Button, um auf die nächste vorangegangene relevante Position zurückzuspulen. Diese Position wird der Anfang oder das Ende einer Linienfeder, die Position einer Einzelfeder oder der Abschnittsanfang sein.
- ◀ Klicken Sie auf den **Anfang**-Button, um an den Abschnittsanfang zurückzuspulen.
- ▶ Klicken Sie auf den **Ende**-Button, um an das Abschnittsende vorzuspulen.
- || Klicken Sie auf den **Stop**-Button, um die laufende Reise zu unterbrechen.

S. auch

- Stahlgüte und Querschnitt s. Abs. 3.3.1, S. 43
- Ausrichtung des Querschnitts s. Abs. 3.3.2, S. 45
- Punktfedern s. Abs. 3.3.3, S. 46
- Linienfedern s. Abs. 3.3.4, S. 47
- Gelenkfedern s. Abs. 3.3.5, S. 48
- Abschnittslänge und Teilung s. Abs. 3.3.6, S. 49

3.4

Lagerpunkte

Im Eigenschaftsblatt der Lagerpunkte werden die Lagerangaben festgelegt.

Für die Verformungsfreiheitsgrade Verschiebung in X-Richtung, in Y-Richtung, in Z-Richtung, Verdrehung um die X-Achse, um die Y-Achse, um die Z-Achse und die Querschnittsverwölbung werden jeweils drei Schalter angeboten, mit denen die zugeordnete Verformung gänzlich unterbunden (starres Lager, linker Schalter), von einer Feder abgedämpft (mittlerer Schalter) oder aber als uneingeschränkt verformbar (rechter Schalter) festgelegt werden kann. Es gilt das globale X-Y-Z-Koordinatensystem. Im Falle einer Federlagerung muss die der Feder zugeordneten Federkonstante mit einem Wert > 0.0 angegeben werden.

Das so definierte Lager kann in der Ebene senkrecht zur X-Achse um die Werte ΔY und ΔZ verschoben und um den Wert φ um die X-Achse gedreht werden.

S. hierzu auch Abs. 3.2.2, *globales Koordinatensystem und Exzentrizitäten*, S. 39.

3.5

Einwirkungen und Nachweise

Zur Interaktion in den Eigenschaftsblättern *Verwaltung der Einwirkungen* und *Verwaltung der Nachweise* sowie zu den Nachweisen selbst s. Handbuch das [pcae-Nachweiskonzept](http://www.pcae.de) (als pdf im Internet unter www.pcae.de).

3.6

Belastungen und Imperfektionen

3.6.1

Streckenlasten



Um eine neue Streckenlast zu erzeugen, führen Sie die Maus über das **erzeugen**-Symbol und klicken auf das nebenstehend abgebildete Streckenlastsymbol.

Um eine bestehende Streckenlast zu bearbeiten, führen Sie im Baumansichtsfenster (Abs. 3.1.2, S. 29) oder im Objektfenster (Abs. 3.1.3, S. 30) einen Doppelklick über dem Objekt aus.



Um mehrere bestehende Streckenlasten zu **vereinheitlichen**, wählen Sie die Objekte im Baumansichtsfenster oder im Objektfenster durch einmaliges Anklicken mit der linken Maustaste aus und führen danach die Maus über das **bearbeiten**-Symbol. In dem hierdurch erscheinenden symbolischen Untermenü klicken Sie auf das Streckenlastsymbol.

In all diesen Fällen erscheint das Eigenschaftsblatt zur Bearbeitung der Streckenlasteigenschaften.

Zunächst ist (in der Auswahlliste oben links) die Lastart festzulegen. Hier wird zwischen

- Streckenlasten in X-, Y- und Z-Richtung,
- einem Streckendrillmoment um die Längsachse,
- Eigengewichtslasten und
- Temperaturlasten (ggf. veränderlich in Y- und Z-Richtung)

unterschieden.

Einige dieser Lastarten erlauben eine weitere Unterscheidung wie konstante Rechtecklast, Dreieckslast, Trapezlast etc. Diese Einstellungen können in der zusätzlich angebotenen Symbolleiste ausgewählt werden. Das darunter befindliche größere Fenster zeigt die aktuelle Auswahl mit allen hierzu gehörenden Eingabewerten skizzenhaft an.

Auf der rechten Seite des Eigenschaftsblatts werden die Parameter des links ausgewählten Streckenlastbildes zur Bearbeitung angeboten. Hier sind zunächst die geometrischen Eigenschaften (Anfang der Streckenlast, Ende der Streckenlast, Exzentrizität des Lastangriffspunktes sowie Verdrehung der Lastrichtung) einzugeben. S. hierzu auch Abs. 3.2.4, *Anker und Abstände*, S. 40.

Des Weiteren sind die Lastordinaten und die Zuordnung zu einem Lastfall zu bestimmen. Dazu sind zunächst die Einwirkung und danach der gewünschte Lastfall des Lastbildes auszuwählen.

Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts werden die so editierten Eigenschaften von der Streckenlast (im Falle der Vereinheitlichung von allen ausgewählten Streckenlasten) übernommen.

3.6.2

Punktlasten



Um eine neue Punktlast zu erzeugen, führen Sie die Maus über das **erzeugen**-Symbol und klicken auf das nebenstehend abgebildete Punktlastsymbol.

Um eine bestehende Punktlast zu bearbeiten, führen Sie im Bauman-sichtsfenster (Abs. 3.1.2, S. 29) oder im Objektfenster (Abs. 3.1.3, S. 30) einen Doppelklick über dem Punktlast-Objekt aus.



Um mehrere bestehende Punktlasten zu **vereinheitlichen**, wählen Sie die Objekte im Bauman-sichtsfenster oder im Objektfenster durch einmaliges Anklicken mit der linken Maustaste aus und führen danach die Maus über das **bearbeiten**-Symbol. In dem hierdurch erscheinenden symbolischen Untermenü klicken Sie auf das Punktlastsymbol.

In all diesen Fällen erscheint das Eigenschaftsblatt zur Bearbeitung der Punktlasteigenschaften.

Zunächst ist in der Auswahlliste **Lastart** der Punktlasttyp festzulegen. Hier wird zwischen

- Kraft in X-Richtung in Kombination mit einem Moment um die X-Achse,
- Kraft in Y-Richtung in Kombination mit einem Moment um die Z-Achse,
- Kraft in Z-Richtung in Kombination mit einem Moment um die Y-Achse,
- Zwangsverschiebung Δu_x in Kombination mit einer Zwangsverdrehung $\Delta \varphi_x$,
- Zwangsverschiebung Δu_y in Kombination mit einer Zwangsverdrehung $\Delta \varphi_z$,
- Zwangsverschiebung Δu_z in Kombination mit einer Zwangsverdrehung $\Delta \varphi_y$,
- Verschiebungssprung Δu_x in Kombination mit einem Verdrehungssprung $\Delta \varphi_x$,
- Verschiebungssprung Δu_y in Kombination mit einem Verdrehungssprung $\Delta \varphi_z$ und
- Verschiebungssprung Δu_z in Kombination mit einem Verdrehungssprung $\Delta \varphi_y$

unterschieden.

Zwangsverformungen können in Verbindung mit einem Lager die Lastart *Stützensenkung* simulieren. Mit Hilfe von Verformungssprüngen lässt sich die Figur einer Einflusslinie ermitteln. Das darunter befindliche größere Fenster zeigt die aktuelle Auswahl mit allen hierzu gehörenden Eingabewerten skizzenhaft an.

Auf der rechten Seite des Eigenschaftsblatts werden die Parameter des links ausgewählten Punktlastbildes zur Bearbeitung angeboten. Hier sind zunächst die geometrischen Eigenschaften (Abstand der Punktlast von einem angegebenen Ankerpunkt, Exzentrizität des Lastangriffspunkts sowie Verdrehung der Lastrichtung) einzugeben. S. hierzu auch Abs. 3.2.4, *Anker und Abstände*, S. 40.

Des Weiteren sind die Lastordinaten und die Zuordnung zu einem Lastfall zu bestimmen. Dazu sind zunächst die Einwirkung und danach der gewünschte Lastfall des Lastbildes auszuwählen.

Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts werden die so editierten Eigenschaften von der Punktlast (im Falle der Vereinheitlichung von allen ausgewählten Punktlasten) übernommen.

3.6.3

Imperfektionsbilder



Um ein neues Imperfektionsbild zu erzeugen, führen Sie die Maus über das **erzeugen**-Symbol und klicken anschließend auf das Imperfektionsbildsymbol.

Um ein bestehendes Imperfektionsbild zu bearbeiten, führen Sie im Baumansichtsfenster (Abs. 3.1.2, S. 29) oder im Objektfenster (Abs. 3.1.3, S. 30) einen Doppelklick über dem Objekt aus.



Um mehrere bestehende Imperfektionsbilder zu **vereinheitlichen**, wählen Sie die Objekte im Baumansichtsfenster oder im Objektfenster durch einmaliges Anklicken mit der linken Maustaste aus und führen danach die Maus über das **bearbeiten**-Symbol. In dem hierdurch erscheinenden symbolischen Untermenü klicken Sie auf das Imperfektionsbildsymbol.

In all diesen Fällen erscheint das Eigenschaftsblatt zur Bearbeitung der Imperfektionsbildeigenschaften.

Auf oberster Ebene wird zunächst zwischen den Verschiebungsimperfektionen in der XY-Ebene und in der XZ-Ebene und der Verdrehungsimperfektion um die X-Achse unterschieden. Während die Verdrehungsimperfektion über ihre Stützwerte Verdrehung am Anfang (Φ_a) und Verdrehung am Ende (Φ_e) beschrieben wird, können die Verschiebungsimperfektionen auf unterschiedliche Arten beschrieben werden

Beschreibungsart

normenkonform
(Parabel 2. Grades)

allgemein
(Parabel 3. Grades)

Stützwerte

entweder w_c, w_0, Φ_0
oder w_a, w_m, w_e

entweder Φ_a, w_a, Φ_e, w_e
oder $x_i, w(x_i); i=1..5$

w_c	konstante (Festkörper)-Verschiebung
w_0	Vorverformung (Durchbiegung) in der Mitte
Φ_0	Schiefstellung (Verdrehung um die Mitte)
w_a	Verschiebungsordinate am Anfang der Imperfektion
w_m	... in der Mitte der Imperfektion ($w_m = w_c + w_0$)
w_e	... am Ende der Imperfektion
Φ_a	Verdrehung am Anfang der Imperfektion
Φ_e	... Ende der Imperfektion
x_i	Abstand i vom Anfang der Imperfektion
$w(x_i)$	für die Stelle x_i festgelegte Verschiebungsordinate

Das unter den Auswahllisten befindliche größere Fenster zeigt die aktuelle Auswahl mit allen hierzu gehörenden Eingabewerten skizzenhaft an. Unter **Einheiten** kann festgelegt werden, ob sich die angegebenen Stützwerte **längenbezogen** oder als absolute Größen in **mm bzw. %** verstehen.

Auf der rechten Seite des Eigenschaftsblatts werden die Parameter des links ausgewählten Imperfektionsbildes zur Bearbeitung angeboten. Hier sind zunächst die geometrischen Eigenschaften (Anfang und Ende des Imperfektionsbildes) einzugeben. S. hierzu auch Abs. 3.2.4, *Anker und Abstände*, S. 40. Unterhalb der Skizze links befindet sich das Eingabefeld zur Drehung der Stützwerte um die X-Achse. Im Fenster *Stützwerte* sind die Zahlenwerte in Abhängigkeit des gewünschten Beschreibungstyps einzugeben. Im Fenster *Ergebnisse (qualitativ)* wird das Ergebnis passend zur aktuellen Eingabesituation dargestellt.

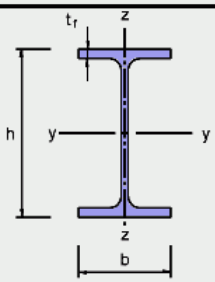
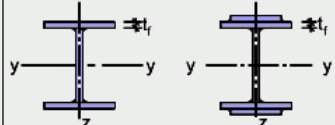

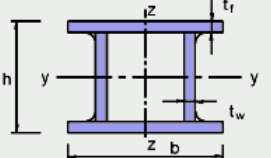
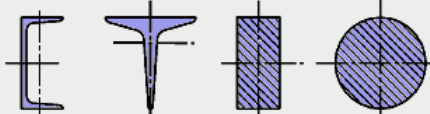

Letztlich muss die Zuordnung zu einer Imperfektion gewählt werden.

Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts werden die so editierten Eigenschaften von dem Imperfektionsbild (im Falle der Vereinheitlichung von allen ausgewählten Imperfektionsbildern) übernommen.

Für Imperfektionen nach DIN EN 1993 können die Stützwerte durch Betätigen des **berechnen**-Buttons belegt werden. Es erscheint eine Eingabehilfe für Schiefstellung und Vorkrümmung nach EC3, Kapitel 5.3:

Schiefstellung nach EC3, Kapitel 5.3	Vorkrümmung nach EC3, Kapitel 5.3
Lagerung des imperfekten Abschnitts <input checked="" type="radio"/> links <input type="radio"/> rechts	Richtung der Vorkrümmung <input checked="" type="radio"/> positiv <input type="radio"/> negativ
Richtung der Schiefstellung <input checked="" type="radio"/> positiv <input type="radio"/> negativ	Knicklinie nach EN 1993-1-1, Tabelle 6.2 <input type="text" value="a"/>
Höhe des Tragwerks h = <input type="text" value="8.500"/> m	Art der Berechnung <input checked="" type="radio"/> elastisch <input type="radio"/> plastisch
Anzahl der Stützen in einer Reihe m = <input type="text" value="1"/>	Durchbiegung: $e_{a,d} = 1/300 \times L = 28.333 \text{ mm}$
EN 1993-1-1, Kapitel 5.3.2, Abschnitt (3) $\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \quad ; \quad \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1 \quad ; \quad \alpha_m = \sqrt{0.5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$	
Abminderungsbeiwert für die Höhe: $\alpha_h = 0.686$ Abminderungsbeiwert aus m: $\alpha_m = 1.000$	
EN 1993-1-1, Kapitel 5.3.2, Gleichung (5.5) $\varphi = +\varphi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m \quad ; \quad \varphi_0 = \frac{1}{200}$	
Schiefstellung: $\varphi = 0.343 \%$	

Zur Eingabe der Knicklinie kann durch Anklicken des Wortes Tabelle 6.2 eine weitere Eingabe-
hilfe aktiviert werden.

EN 1993-1-1, Tabelle 6.2: Knicklinie auswählen						
Querschnitt	Begrenzungen	Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Knicklinie			
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460		
gewalzte I-Querschnitte 	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	a b	a₀ a₀	
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	b c	a a	
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	a a	
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	d d	c c	
Geschweißte I-Querschnitte 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	b c		
	$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y z-z	c d	c d		
Hohlquerschnitte 	warmgefertigte	jede	a	a₀		
	kaltgefertigte	jede	c	c		
Geschweißte Kastenquerschnitte 	allgemein (außer den Fällen der nächsten Zeile)	jede	b	b		
	dicke Schweißnähte: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	jede	c	c		
U-, T- und Vollquerschnitte 		jede	c	c		
jerschnitte 		jede	b	b		

3.7

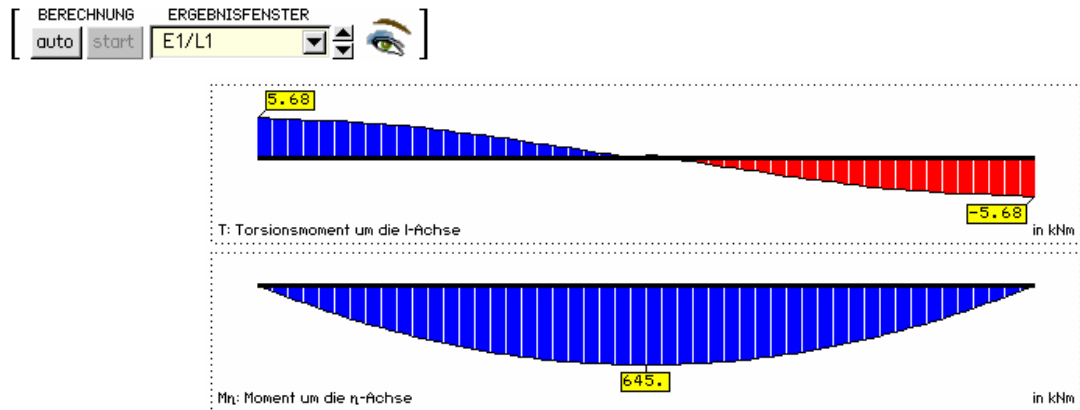
Ergebnispräsentation

3.7.1

Darstellung der Ergebnisse

Der Inhalt des Ergebnisfensters dient dazu, die Ergebnisse des gegebenen Systems jederzeit zu kontrollieren. Man beachte, dass der Inhalt des Fensters stark abhängt von den in eckigen Klammern gesetzten Steuerelementen in der Programmkopfzeile!

Näheres hierzu s. Abs. 3.1.4, *Ergebnisfenster*, S. 31, und Abs. 3.7.2, *Darstellungsoptionen im Ergebnisfenster*, S. 57.



Um das Verformungsverhalten - hier insbesondere das Zusammenspiel von Verschiebungen, Verdrehungen, Verwindungen und Verwölbungen - zu studieren, kann das 3D- Visualisierungsmodul aufgerufen werden.

Mit diesem Modul ist der Benutzer in der Lage, die Verformungsfigur von jedem Lastfall (oder von jedem Lastkollektiv) räumlich aus beliebig wählbaren Blickwinkeln heraus zu betrachten.

Aktuell auf dem Bildschirm dargestellte Inhalte können auf dem Drucker ausgegeben oder in der Druckliste *ausgewählte Grafiken* gespeichert werden.



Um die Ergebnisse - insbesondere auch die Ergebnisse der Nachweise - numerisch einzusehen, bietet sich die Einsichtnahme in die Druckliste an.

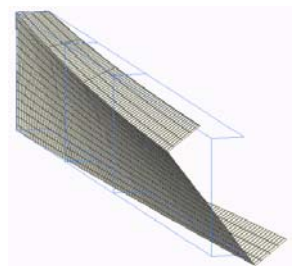
In dem Pulldown-Menü des Druckersymbols werden folgende Aktionen angeboten (von links nach rechts)



Auswahl der Elemente (Tabellen und Grafiken) der Druckliste

Druckliste am Bildschirm einsehen

Druckmanager zum Ausdruck der Druckdokumente aufrufen



3.7.2

Darstellungsoptionen im Ergebnisfenster



Um den Inhalt des Ergebnisfensters bzgl. Auswahl und Form zu verändern, klicken Sie auf das dargestellte Symbol **Ergebnistypauswahl**.

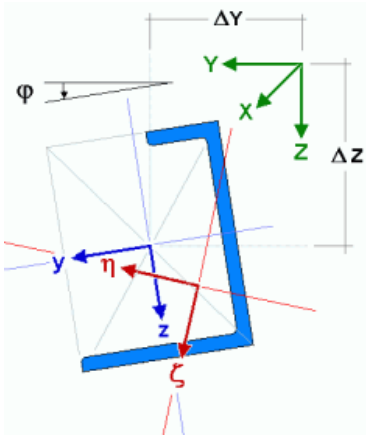
In dem hierdurch hervorgerufenen Eigenschaftsblatt finden Sie eine große Anzahl darstellbarer Ergebnistypen. Diese können im Ergebnisfenster ein- oder ausgeblendet werden. Um die Grafiken im Ergebnisfenster zu skalieren, klicken Sie auf den im Eigenschaftsblatt unten angebotenen Bearbeitungsbutton, s. Abs. 3.7.3.

Skalierungsfaktoren



In dem Eigenschaftsblatt *Skalierungen* können die Grafiken zur Lastdarstellung und zu den Ergebnissen via Schiebeschalter gespreizt (vergrößert oder verkleinert) werden.

Die im Ergebnisfenster verwendeten Koordinatensysteme sollen hier noch einmal erläutert werden. Alle Koordinatensysteme sind rechtshändig und orthogonal.



Das in Großbuchstaben geschriebene X-Y-Z-Koordinatensystem ist das globale und ortsfeste Koordinatensystem. Von diesem Koordinatensystem gehen alle geometrischen Beschreibungen aus.

Das in Kleinbuchstaben geschriebene x-y-z-Koordinatensystem ist das Querschnittsbeschreibungskordinatensystem. Es ist gegenüber dem globalen System i. A. um ΔY und ΔZ verschoben und um den Winkel φ verdreht. Entsprechende Festlegungen trifft der Benutzer abschnittsweise im Register **Ausrichtung** des Eigenschaftsblatts zur **Beschreibung der Abschnitte**, s. Abs. 3.3.2, S. 45.



Man beachte, dass der Nullpunkt des x-y-z-Systems bei Standardprofilen und parametrisiert beschriebenen Querschnitten immer dem Mittelpunkt des umgebenden Rechtecks entspricht! Allein bei aus **##-QUER** importieren Querschnitten wird das vom Benutzer bei der Konstruktion gewählte Koordinatensystem verwendet.

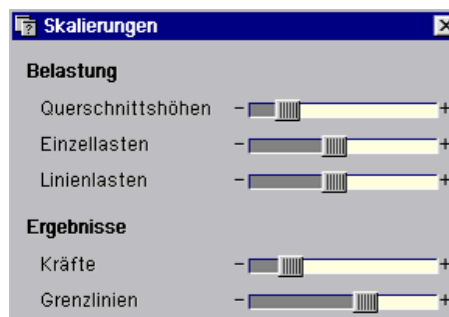
Das I-η-ζ-Koordinatensystem ist das in die Hauptträgheitsachsen gedrehte Querschnittskordinatensystem. Sein Nullpunkt liegt im Schwerpunkt des Querschnitts.

3.7.3

Skalierung der Grafiken

In dem Eigenschaftsblatt *Skalierungen* kann die Größe der System- und Ergebnisgrafiken mit Hilfe der Schiebeschalter angepasst werden. Der Schalter *Querschnittshöhen* wirkt sich auf die Systemdarstellung des Trägers und in den Lastgrafiken aus. Die Schalter *Einzellasten* und *Linienlasten* verkleinern oder vergrößern die Darstellung der Lastbilder in den Lastgrafiken.

Für die Ergebnisdarstellung gibt es unterschiedliche Einstellungsmöglichkeiten für Kräfte (z.B. Auflagerreaktionen) und Grenzlinien.



3.7.4

Ausgabeoptionen der Ergebnisdruckliste

Wie bereits unter Abs. 2.3.13, S. 28, erwähnt, kann das Druckausgabeprotokoll individuell zusammengestellt werden.

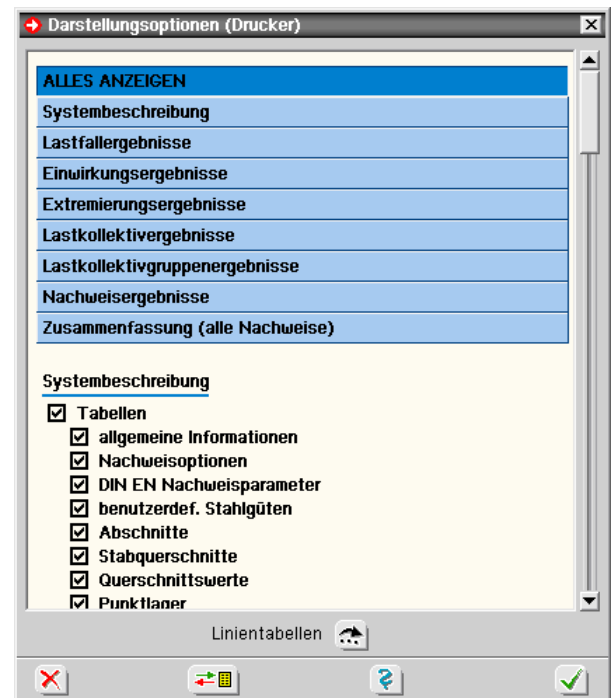
Die Ausgabeoptionen können separat für

- die Systembeschreibung,
- die Lastfall-,
- Einwirkungs-,
- Extremierungs-,
- Lastkollektiv-,
- Lastkollektivgruppen- und
- Nachweisergebnisse


festgelegt werden.

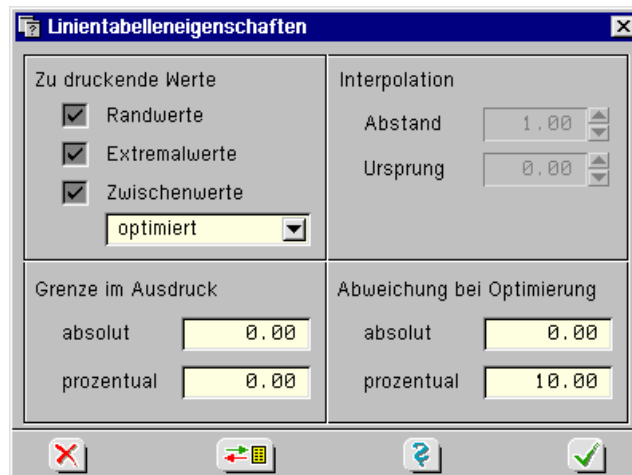
Abschließend liefert die

- Zusammenfassung (alle Nachweise)
- die Quintessenz aus allen Nachweisen.



Die Ausgabe erfolgt überwiegend in Form von Liniengrafiken. Zusätzlich werden Tabellen der Zahlenwerte angeboten. Der Umfang der Tabellenausgabe kann durch Vorgabe spezieller Druckoptionen reduziert werden. Diese Linientabelleneigenschaften werden über den dargestellten Button im unteren Bereich des Eigenschaftsblatts zugänglich.

Linientabellen 

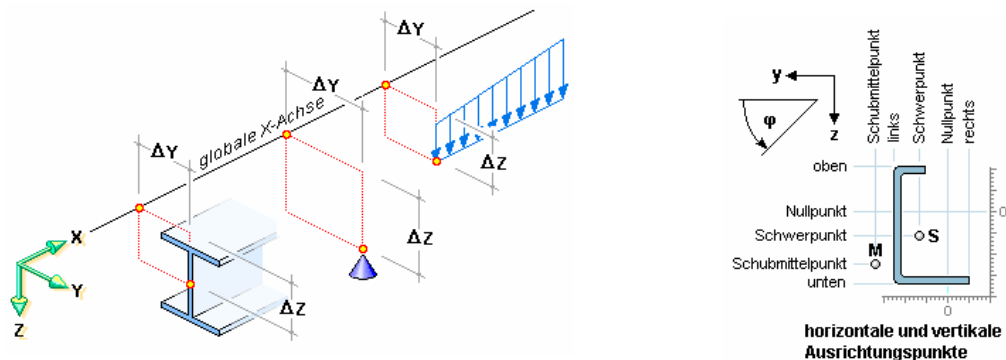


3.8 Theorie und Beispiele

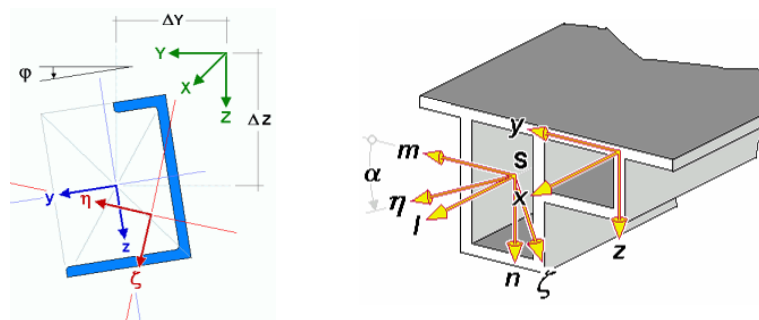
3.8.1 Theorie

Das Programm *##DULAS* berechnet Stahlträger nach der Theorie der Wölbkrafttorsion und der Theorie II. Ordnung. Für den räumlich belasteten Träger werden unter Berücksichtigung von Imperfektionen Verformungen und Schnittgrößen ermittelt. Der Träger wird im globalen X-Y-Z-Koordinatensystem beschrieben, das zur Ausrichtung und Vermessung der Abschnitte, Lager und Lastbilder dient. Die X-Achse zeigt in Längsrichtung des Durchlaufträgers. Die Querschnitte werden in der zur X-Achse senkrecht stehenden YZ-Ebene beschrieben. Die einzelnen Querschnittsformen (Profile, typisierte Querschnitte, mit *##QUER* konstruierte Querschnitte) verfügen zur bequemen Eingabe über ein lokales yz-Beschreibungskordinatensystem. In der globalen YZ-Ebene kann der Querschnitt beliebig ausgerichtet und gedreht werden.

3.8.1.1 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. Bei der Theorie der Wölbkrafttorsion wird die Verwölbung des Querschnitts durch das Produkt der Einheitsverwölbung ω mit der Verwindung ψ_x beschrieben. Bei Stäben ohne Schubverformungen steht der Querschnitt auch nach der Deformation orthogonal auf der verformten Stabachse (Normalenhypothese). Daraus resultieren Beziehungen zwischen den Querschnittsverdrehungen φ_x , φ_y , φ_z und der Richtung der verformten Stabachse u_x' , u_y' , u_z' (Ableitung der Verformungen nach der x-Koordinate).



Neben dem globalen XYZ-Koordinatensystem und dem xyz-Beschreibungskordinatensystem gibt es noch das durch den Schwerpunkt S verlaufende lmn-System, dessen Achsen parallel zu den xyz-Achsen verlaufen (Entkopplung der Fläche und der Trägheitsmomente), und das durch S verlaufende **$\xi\eta\zeta$ -Hauptachsensystem** (Entkopplung der Trägheitsmomente). Zur Beschreibung der Torsion wird der Schubmittelpunkt M mit den Koordinaten (y_M, z_M) als Drehpunkt verwendet (z.B. normierte Einheitsverwölbung ω).

3.8.1.2

Verschiebungsansatz

Bezogen auf den Schubmittelpunkt lautet der Verschiebungsansatz für einen beliebigen Querschnittspunkt bei quadratischer Approximation der Querschnittsrotation:

$$\begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{xM} \\ u_{yM} \\ u_{zM} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\varphi_z + \frac{1}{2}\varphi_x\varphi_y & \varphi_y + \frac{1}{2}\varphi_x\varphi_z & -\psi \\ -\frac{1}{2}(\varphi_x^2 + \varphi_z^2) & -\varphi_x + \frac{1}{2}\varphi_y\varphi_z & 0 \\ \varphi_x + \frac{1}{2}\varphi_y\varphi_z & -\frac{1}{2}(\varphi_x^2 + \varphi_y^2) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y - y_M \\ z - z_M \\ \omega(y, z) \end{bmatrix}$$

Wegen der Normalenhypothese folgt aus

$$\varphi_y = -u_z' \cdot (1 - u_x') + \frac{1}{2}u_y' \cdot \varphi_x \quad \text{und} \quad \varphi_z = u_y' \cdot (1 - u_x') + \frac{1}{2}u_z' \cdot \varphi_x$$

unter Vernachlässigung von u_x' die Beziehung:

$$\begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{xM} \\ u_{yM} \\ u_{zM} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -u_y' - u_z' \varphi_x & -u_z' + u_y' \varphi_x & -\psi \\ -\frac{1}{2}(\varphi_x^2 + u_y'^2) & -\varphi_x - \frac{1}{2}u_y' u_z' & 0 \\ \varphi_x - \frac{1}{2}u_y' u_z' & -\frac{1}{2}(\varphi_x^2 + u_z'^2) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y - y_M \\ z - z_M \\ \omega(y, z) \end{bmatrix}$$

Im Verschiebungsansatz wird die Verwölbung vereinfacht in Richtung der undeformierten Stabachse angenommen. Die sekundären Wölbschubverzerrungen (Wagner-Hypothese) sowie nichtlineare Verdrillungsanteile werden im Folgenden vernachlässigt.

3.8.1.3

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):

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

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

Mit den Biegemomenten im Hauptachsensystem und den entsprechenden Trägheitsmomenten können die Normalspannungen aus den Schnittgrößen ermittelt werden:

$$\sigma_x = \frac{N}{A} - \frac{M_\zeta}{I_\zeta} \eta + \frac{M_\eta}{I_\eta} \zeta + \frac{M_\omega}{I_\omega} \omega, \quad I_\eta = \int_A \zeta^2 dA, \quad I_\zeta = \int_A \eta^2 dA, \quad C_M = \int_A \omega^2 dA$$

Für dünnwandige Querschnitte benötigt man zur Berechnung der Schubspannungen in Richtung der Profilmittellinien die statischen Momente S_η , S_ζ , S_ω und die Profildicken t in Abhängigkeit der Profilkordinate s

$$\tau_{xs} = -\frac{V_\eta \cdot S_\zeta(s)}{I_\zeta \cdot t(s)} - \frac{V_\zeta \cdot S_\eta(s)}{I_\eta \cdot t(s)} - \frac{T_s \cdot S_\omega(s)}{C_M \cdot t(s)} + \frac{T_p \cdot t(s)}{I_T}$$

T_p ist dabei das primäre Torsionsmoment aus **St. Venant'scher Torsion** und T_s das sekundäre Torsionsmoment aus **Wölbkrafttorsion**. Im Folgenden werden für dünnwandige Querschnitte die Indizes der Spannungen fortgelassen. Für die Vergleichsspannung ergibt sich dann:

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

Prinzip der virtuellen Arbeit

Das Gleichgewicht in integraler Form für die Berechnungen nach Theorie II. Ordnung basiert auf dem Prinzip der virtuellen Arbeit. Die innere virtuelle Arbeit ergibt sich mit dem Verschiebungsansatz und der Definition der Schnittgrößen zu ($u=u_{xM}$, $v=u_{yM}$, $w=u_{zM}$, $\varphi=\varphi_x$):

$$\delta W_{\text{int}} = \delta W_{\text{int,lin}} + \delta W_{\text{int,ThII}} = - \int_I \left\{ N \delta u' + M_z \delta v'' - M_y \delta w'' + T_p \delta \varphi' - M_\omega \delta \varphi'' \right\} \cdot dx \\ - \int_I \left\{ N v' \delta v' + M_y \varphi \delta v'' + N w' \delta w' + M_z \varphi \delta w'' + (M_y v'' + M_z w'') \delta \varphi + T_\sigma \delta \varphi' \right\} \cdot dx$$

Neben dem primären Torsionsmoment T_p tritt hier das Torsionsmoment T_σ infolge Normalspannungen nach Theorie II. Ordnung (**Wagner-Effekt**) auf:

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

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:

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

Die externe virtuelle Arbeit lässt sich folgendermaßen angeben:

$$W_{\text{ext}} = \int_I \left\{ p_x \delta u + p_y \delta v + p_z \delta w + m_x \delta \varphi_x - m_y \delta w' + m_z \delta v' - m_\omega \delta \varphi' \right\} \cdot dx + \text{Einzellasten} + \text{Randterme}$$

Die Berücksichtigung von **Lastexzentrizitäten** e_x , e_y , e_z führt zu zusätzlichen von den Verdrehungen abhängigen Momentenbelastungen:

$$\begin{bmatrix} \Delta m_x \\ \Delta m_y \\ \Delta m_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & e_z & -e_y \\ -e_z & 0 & e_x \\ e_y & -e_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -p_y e_y - p_z e_z & p_x e_y & p_x e_z \\ p_x e_y & -p_x e_x - p_z e_z & \frac{1}{2}(p_z e_y + p_y e_z) \\ p_x e_z & \frac{1}{2}(p_z e_y + p_y e_z) & -p_x e_x - p_y e_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi \\ -w' \\ v' \end{bmatrix}$$

Ist die **Einheitsverwölbung** ω_F des Querschnitts am Lastangriffspunkt von Null verschieden, führt dies zu einer zusätzlichen Wölbmomentenbelastung

$$\Delta m_\omega = \omega_F \cdot p_x$$

3.8.2

Effekte der Stabformulierung

Die Stabformulierung im Programm #DULAS enthält die für die Baupraxis wichtigsten Effekte zur Untersuchung der Stabilität von Stäben mit dünnwandigen Querschnitten nach der Theorie der Wölbkrafttorsion. An Hand einfacher Beispiele sollen diese Effekte kurz dargestellt werden.

3.8.2.1

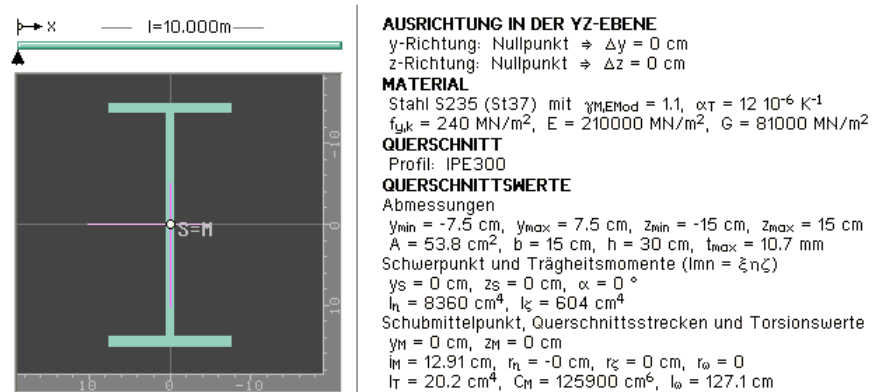
Wölbkrafttorsion

Die Verwölbung eines Querschnitts ist bei Einhaltung der Normalenhypothese mit der Verdrehung gekoppelt. An Stellen des Stabes, an denen die Verwölbung behindert ist (z.B. Stirnplatte) oder an denen sich das Torsionsmoment sprunghaft ändert, treten Zwängungen auf, die zu erheblichen zusätzlichen (Wölb-)Normalspannungen führen können. Der Einfluss der Wölbkrafttorsion kann durch die **Stabkennzahl** ε_T für Torsion charakterisiert werden:

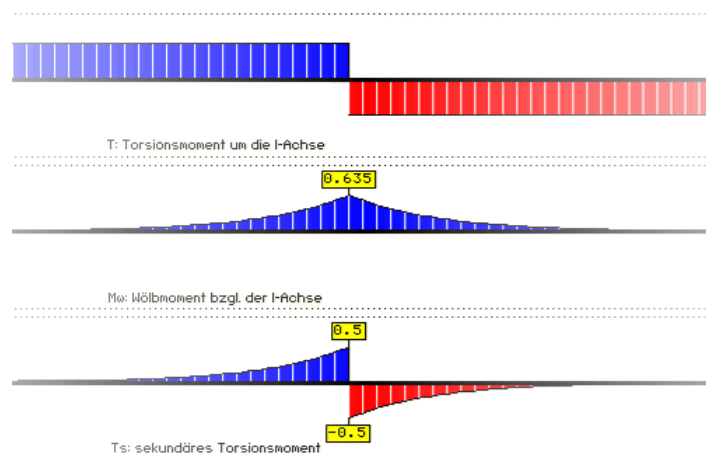
$$\varepsilon_T = I \cdot \sqrt{\frac{G I_T}{E C_M}} = I \cdot \lambda_\omega = \frac{I}{l_\omega}$$

Hierbei ist I die Stablänge, λ_ω der Abklingfaktor und l_ω die Wöblänge. Bei kleiner Stabkennzahl (< 15) ist Wölbkrafttorsion zu berücksichtigen, bei großen Werten von ε_T liegt im Wesentlichen St. Venant'sche Torsion vor. Das Wölbmoment M_ω bzw. das sekundäre Torsionsmoment T_s klingen in der Entfernung von l_ω um den Faktor $1/e=0.368$ ab. Die Wöblänge wird zur (automatischen) Teilung der Stababschnitte zur Berechnung verwendet.

Nachfolgend sind einige Berechnungen mit #DULAS für Torsionsbelastung nach Th. I. Ord. aufgeführt, die die Genauigkeit der Berechnung nach der Theorie der Wölbkrafttorsion zeigen. Die theoretischen Lösungen gelten für einen unendlich langen Stab. Als Querschnitt wurde ein IPE300 verwendet, die Lastordinaten haben jeweils den Wert 1.0.

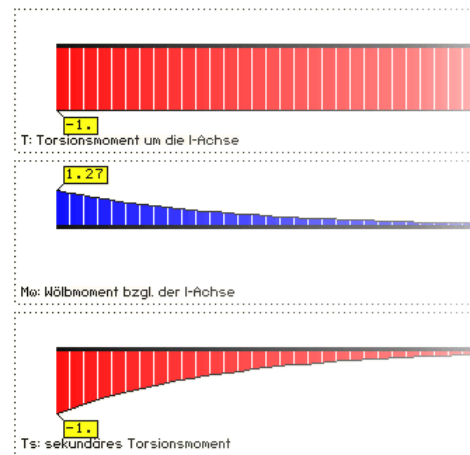


Für den Fall eines Torsionsmoments M_x im ungestörten Stabbereich (Stabmitte) gilt für die Schnittgrößen im Lastangriffspunkt:



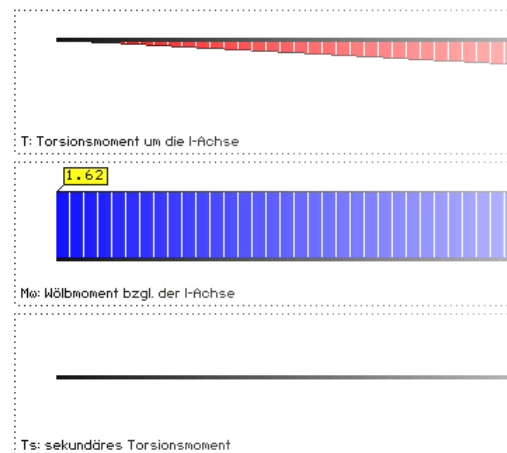
Für den Fall eines *Torsionsmoments* M_X am Stabanfang mit starrer Wölbeinspannung gilt für die Schnittgrößen des Anfangspunktes:

$$T = -M_X, \quad M_\omega = I_\omega \cdot M_X, \quad T_S = -M_X$$



Für den Fall eines *Linientorsionsmoments* m_X mit starrer Wölbeinspannung am Stabanfang gilt für die Schnittgrößen:

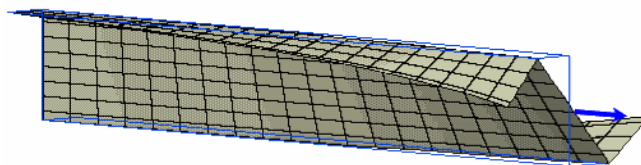
$$T(x) = -x \cdot m_X, \quad M_\omega(0) = I_\omega^2 \cdot m_X, \quad T_S(x) = 0$$



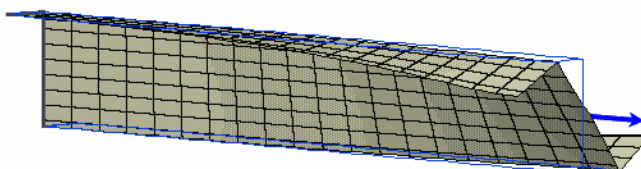
Das nächste Beispiel soll den Einfluss von Belastungen in Stablängsrichtung auf die Verdrillung des Trägers zeigen. Beim Z-Profil ist die **Einheitsverwölbung** ω_S des Querschnitts im Schwerpunkt von Null verschieden. Dies führt bei einem Kragarm unter einer Längskraft im Schwerpunkt des Stabendpunktes zu einer Wölbmomentenbelastung von

$$M_{\omega S} = \omega_S \cdot N_{xS}$$

Der Stab wird sich demnach verdrillen. Das folgende Bild zeigt die Deformation des Trägers bei Berechnung mit #DULAS.



Die Ergebnisse der entsprechenden FEM-Berechnung mit #ALF3D (Faltwerkselemente) zeigen bis auf Effekte aus Lasteinleitung und Querschnittsverformungen sehr gute Übereinstimmungen mit den Resultaten von #DULAS.



Der Lastangriffspunkt kann in #DULAS beliebig gewählt werden. Die Verwölbung ist jedoch nur für die Kontur des dünnwandigen Querschnitts bekannt. Für Punkte außerhalb der Kontur wird die Verwölbung durch Mittelung aus den umliegenden Querschnittsteilen berechnet.

3.8.2.2

Knicken

Durch den Verdrehungsanteil senkrecht zur Stablängsachse der inneren virtuellen Arbeit nach Theorie II. Ordnung (Biegeabtriebssterme) ergeben sich bei von Null verschiedener Normalkraft zusätzliche Liniendrillmomente:

$$\Delta m_z = -Nv', \quad \Delta m_y = Nw'$$

Bei konstanter Normalkraft entspricht dies Zusatzquerbelastungen und Kräften am Anfang und Ende des Stabes:

$$\Delta q_y = Nv'', \quad \Delta q_z = Nw'', \quad \Delta F_{ya} = Nv'_a, \quad \Delta F_{ye} = -Nv'_e, \quad \Delta F_{za} = Nw'_a, \quad \Delta F_{ze} = -Nw'_e$$

Setzt man in diese Beziehungen die Verformungen der Imperfektion *Schiefstellung* oder *Vorwölbung* ein, erhält man die Ersatzlasten nach DIN 18800.

3.8.2.3

Biegedrillknicken

Durch den Verdrehungsanteil um die Stablängsachse der inneren virtuellen Arbeit nach Th. II. Ord. (Kippabtriebssterme) ergibt sich bei Vorhandensein von Biegemomenten ein zusätzliches Liniendrillmoment, v_0 bzw. w_0 sind dabei die Vorverformungen in y- bzw. z-Richtung. Näherungsweise erhält man für Querschnitte ohne Hauptachsendrehung:

$$\Delta m_x = -(M_y v'' + M_z w'') \approx - \left(M_y v_0'' + M_y \frac{M_z}{EI_z} + M_z w_0'' - M_z \frac{M_y}{EI_y} \right) = - \left\{ M_y v_0'' + M_z w_0'' + \frac{M_y M_z}{EI_y I_z} (I_y - I_z) \right\}$$

Die Verdrillung bei Momentenbelastung ist demnach für Querschnitte mit unterschiedlichen Trägheitsmomenten am größten. Für einen gabelgelagerten Einfeldträger ergeben sich für die Momente nach Th. I. Ord. aus konstanten Querlasten q_y , q_z und für konstante Vorwölbungen mit dem Stich v_m , w_m :

$$M_{y0} = p_z \cdot l^2 / 8 \cdot (1 - \lambda^2), \quad M_{z0} = -p_y \cdot l^2 / 8 \cdot (1 - \lambda^2), \quad v_0'' = -8v_m / l^2, \quad w_0'' = -8w_m / l^2, \quad \lambda = (2x - l) / l$$

$$M_y \approx M_{y0} + \varphi_x \cdot M_{z0}, \quad M_z \approx M_{y0} - \varphi_x \cdot M_{z0}$$

$$\Delta m_x = \left\{ (p_z v_m - p_y w_m) + \frac{p_y p_z}{EI_y I_z} (I_y - I_z) \frac{l^4}{64} \cdot (1 - \lambda^2) \right\} \cdot (1 - \lambda^2) + \varphi_x \cdot \{ \dots \}$$

Bei kleinen Verdrehungen φ_x berechnet sich das Drillmoment M_x am Stabende dann zu:

$$\begin{aligned} M_x &\approx - \int_{l/2}^l \Delta m_x \cdot dx = - \frac{l}{2} \int_0^1 \left\{ (p_z v_m - p_y w_m) + \frac{p_y p_z}{EI_y I_z} (I_y - I_z) \frac{l^4}{64} \cdot (1 - \lambda^2) \right\} \cdot (1 - \lambda^2) \cdot d\lambda \\ &= - \frac{l}{3} (p_z v_m - p_y w_m) - \frac{l^5}{240} \frac{p_y p_z}{EI_y I_z} (I_y - I_z) \end{aligned}$$

Für einen Träger der Länge 5 m mit dem oben dargestellten Querschnitt IPE300 ergibt sich in als Näherung (Einheiten kN, m):

$$M_x \approx -1.667 \cdot (p_z v_m - p_y w_m) - 0.00952 \cdot p_y p_z$$

Bei Berechnung des Trägers mit #DULAS kann eine sehr gute Übereinstimmung festgestellt werden.

Exzentrisch angreifende Querlasten und Drehfedern c_φ verursachen ein zusätzliches Drillmoment:

$$\Delta m_x = e_z p_y - e_y p_z - (p_y e_y + p_z e_z + c_\varphi) \cdot \varphi_x$$

Der von der Verdrehung um die Stabachse c_φ abhängige Anteil hat Einfluss auf die Stabilität des System im Hinblick auf das Biegedrillknicken.

Neben dem primären Torsionsmoment T_p tritt bei der inneren virtuellen Arbeit nach Theorie II. Ordnung das Torsionsmoment T_σ infolge Normalspannungen nach Th. II. Ord. auf (Drillabtriebs-term):

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

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

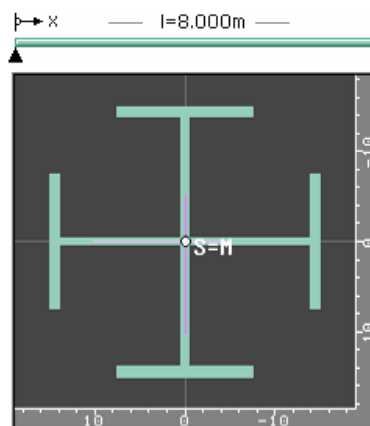
$$K_\sigma = N \cdot i_M^2 + M_\eta \cdot r_\zeta - M_\zeta \cdot r_\eta + M_\omega \cdot r_\omega$$

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

Ein von Null verschiedener Wagner-Koeffizient entspricht einer Vergrößerung ($K_\sigma > 0$) oder Verkleinerung ($K_\sigma < 0$) des Torsionsträgheitsmoments I_T und wirkt sich deshalb auf die Stabilität des Trägers aus. Eine sehr große Drucknormalkraft ($N < 0$) kann zum (Biege)Drillknicken führen. Die Querschnittsstrecken r_η , r_ζ sind bei Symmetrie der entsprechenden Richtung gleich 0. Andernfalls (z.B. r_ζ beim T-Profil) ergeben sich je nach Vorzeichen des zugehörigen Biegemoments (M_η beim T-Profil) unterschiedliche Werte, bei denen das Biegedrillknicken eintritt.

Für einen doppelsymmetrischen, beidseitig gabelgelagerten Träger unter zentrischer Normalkraft ergibt sich als kritische Normalkraft für Biegeknicken und Drillknicken:

$$N_B = \frac{\pi^2}{l^2} EI, \quad N_D = \frac{1}{i_M^2} \left(\frac{\pi^2}{l^2} EC_M + GI_T \right)$$



$x_a = 0 \text{ m}$, $x_e = 8 \text{ m}$, $l = 8 \text{ m}$
AUSRICHTUNG IN DER YZ-EBENE
 y-Richtung: Nullpunkt $\Rightarrow \Delta y = 0 \text{ cm}$
 z-Richtung: Nullpunkt $\Rightarrow \Delta z = 0 \text{ cm}$
MATERIAL
 Stahl S235 (St37) mit $\gamma_{M,Ed} = 1$, $\alpha_T = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
 $f_{y,k} = 240 \text{ MN/m}^2$, $E = 210000 \text{ MN/m}^2$, $G = 81000 \text{ MN/m}^2$
QUERSCHNITT
 Benutzerdefinierter Querschnitt: Kreuz
QUERSCHNITTSWERTE
 Abmessungen
 $y_{\min} = -15 \text{ cm}$, $y_{\max} = 15 \text{ cm}$, $z_{\min} = -15 \text{ cm}$, $z_{\max} = 15 \text{ cm}$
 $A = 105.3 \text{ cm}^2$, $b = 30 \text{ cm}$, $h = 30 \text{ cm}$, $t_{\max} = 10.7 \text{ mm}$
 Schwerpunkt und Trägheitsmomente ($l_{mn} = \xi \eta \zeta$)
 $y_S = 0 \text{ cm}$, $z_S = 0 \text{ cm}$, $\alpha = 0^\circ$
 $I_\eta = 8755 \text{ cm}^4$, $I_\zeta = 8755 \text{ cm}^4$
 Schubmittelpunkt, Querschnittsstrecken und Torsionswerte
 $y_M = 0 \text{ cm}$, $z_M = 0 \text{ cm}$
 $i_M = 12.9 \text{ cm}$, $r_\eta = 0 \text{ cm}$, $r_\zeta = 0 \text{ cm}$, $r_\omega = 0$
 $I_T = 31.4 \text{ cm}^4$, $C_M = 251868 \text{ cm}^6$, $I_\omega = 144.2 \text{ cm}$

Die kritischen Werte eines Trägers mit 8 m Länge und dem oben abgebildeten Querschnitt sind $N_B = 2835.3 \text{ kN}$ und $N_D = 2018.6 \text{ kN}$. In diesem Fall tritt das Drillknicken vor dem Biegeknicken ein. Bei einer Berechnung des Trägers mit #DULAS wird für $N_D = 2020 \text{ kN}$ und nach Stabilisierung des Trägers mit einer Drehfeder für $N_B = 2836 \text{ kN}$ die **Instabilität** des Systems gemeldet:

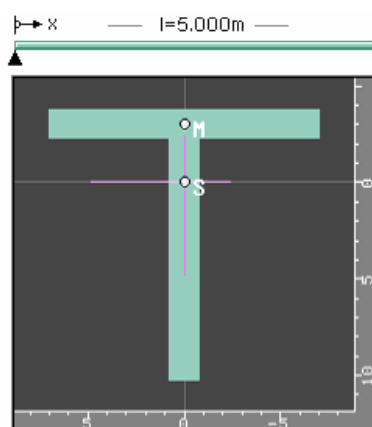
Lastkollektiv: Nw2:Lk1:2836*Lf1
 Gleichungssystem instabil bei $x = 8.00$ [ψ2]: Diagonalelement = -3.72E-001

Für einen zur z-Achse symmetrischen, beidseitig gabelgelagerten Träger unter konstanter Gleichlast in der Symmetrieachse und dem Lastangriffspunkt z_p (Abstand vom Schwerpunkt) ergibt sich überschlägig nach DIN 4114, Blatt 2, als kritischer Lastwert für Biegedrillknicken:

$$p_{zD} = \zeta \cdot N_{Bz} \left[z_{pD} \pm \sqrt{z_{pD}^2 + c^2} \right], \quad N_{Bz} = \frac{\pi^2}{l^2} EI_z, \quad c^2 = \frac{C_M}{I_z} + \frac{l^2}{\pi^2} \frac{GI_T}{EI_z}$$

$$\zeta = 1.12 \cdot \frac{8}{l^2}, \quad z_{pD} = \frac{5}{\pi^2} z_p + \frac{r_z}{3} - \frac{z_M}{3}$$

Je nach Lastrichtung kann der Betrag der Last unterschiedliche Größenordnungen annehmen, wenn die Last exzentrisch zum **Schubmittelpunkt** wirkt oder die Querschnittsstrecke r_z (s. Wagner-Koeffizient) ungleich Null ist. Die nachstehende Tabelle zeigt die kritischen Lastfaktoren in positiver und negativer z-Richtung eines beidseitig gabelgelagerten Trägers mit T140-Profil, der 5 m lang ist und mit einer Gleichstreckenlast von 1 kN/m belastet ist, für unterschiedliche Lastangriffspunkte:



$x_a = 0 \text{ m}$, $x_e = 5 \text{ m}$, $l = 5 \text{ m}$
AUSRICHTUNG IN DER YZ-EBENE
y-Richtung: Schwerpunkt $\Rightarrow \Delta y = 0 \text{ cm}$
z-Richtung: Schwerpunkt $\Rightarrow \Delta z = 3.2 \text{ cm}$
MATERIAL
Stahl S235 (St37) mit $\gamma_{MEd} = 1$, $\alpha_T = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
 $f_{yk} = 240 \text{ MN/m}^2$, $E = 210000 \text{ MN/m}^2$, $G = 81000 \text{ MN/m}^2$
QUERSCHNITT
Profil: T140
QUERSCHNITTSWERTE
Abmessungen
 $y_{min} = -7 \text{ cm}$, $y_{max} = 7 \text{ cm}$, $z_{min} = -7 \text{ cm}$, $z_{max} = 7 \text{ cm}$
 $A = 39.9 \text{ cm}^2$, $b = 14 \text{ cm}$, $h = 14 \text{ cm}$, $t_{max} = 15 \text{ mm}$
Schwerpunkt und Trägheitsmomente ($l_{mn} = \xi_n \zeta$)
 $y_s = 0 \text{ cm}$, $z_s = -3.2 \text{ cm}$, $\alpha = 0^\circ$
 $I_y = 660 \text{ cm}^4$, $I_z = 330 \text{ cm}^4$
Schubmittelpunkt, Querschnittsstrecken und Torsionswerte
 $y_M = 0 \text{ cm}$, $z_M = -6.25 \text{ cm}$, $z_M - z_s = -3.05 \text{ cm}$
 $i_M = 5.84 \text{ cm}$, $r_h = 0 \text{ cm}$, $r_z = 9.71 \text{ cm}$, $r_\omega = 0$
 $I_T = 30.66 \text{ cm}^4$, $C_M = 0 \text{ cm}^6$, $C_S = 3370 \text{ cm}^6$, $I_\omega = 0 \text{ cm}^6$

Lastangriffspunkt z_p bzgl. Schwerpunkt in cm	kritischer Lastfaktor in positiver z-Richtung		kritischer Lastfaktor in negativer z-Richtung	
	DIN 4114	4H-DULAS	DIN 4114	4H-DULAS
-10	28.76	29.2	30.35	29.9
-5	31.28	31.6	27.90	27.8
0	34.01	34.2	25.66	25.8
5	36.94	37.0	23.63	23.9
10	40.06	40.0	21.78	22.2

3.8.3 Querschnittsnachweis

3.8.3.1 Nachweis DIN EN 1993

Der Tragsicherheitsnachweis der offenen, dünnwandigen Querschnitte kann nach den Nachweisverfahren

- Elastisch-Elastisch (E-E) (DIN EN 1993-1-1, Abschnitt 6.2.1(5)) oder
- Elastisch-Plastisch (E-P) (DIN EN 1993-1-1, Abschnitt 6.2.1(6))

geführt werden.

• elastischer Querschnittsnachweis (EC3-1-1 6.2.1(5))

Beim Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch (E-E) werden die Schnittgrößen (Beanspruchungen) auf Grundlage der Elastizitätstheorie bestimmt. Der Spannungsnachweis erfolgt mit dem Fließkriterium aus DIN EN 1993-1-1, Abschnitt 6.2.1(6), Formel 6.1.

• plastischer Querschnittsnachweis (EC3-1-1 6.2.1(6))

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

Anschließend wird überprüft, ob die Schnittgrößen (zweiachsiges Beanspruchung einschl. St. Venant'scher Torsion und Wölbkrafttorsion) vom Querschnitt unter Ausnutzung der plastischen Reserven aufgenommen werden können (plastische Querschnittstragfähigkeit). Die verwendeten Berechnungsverfahren sind allgemeingültiger als die in DIN EN 1993 angegebenen Interaktionen für spezielle Schnittgrößenkombinationen.

Für Dreiblechquerschnitte (I-, C-, U-, Z-, L-, T-Querschnitte) und Flacheisen bzw. Rohre als Profile oder typisierte Querschnitte kommt das Teilschnittgrößenverfahren (TSV) mit Umlagerung nach Kindmann zur Anwendung (DIN18800 und DIN EN 1993).

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

Bei Nachweisen nach DIN EN 1993 können beliebige dünnwandige Querschnitte mit dem erweiterten Teilschnittgrößenverfahren oder mit Hilfe der Dehnungsiteration plastisch nachgewiesen werden.

Für Dreiblechquerschnitte ist das Teilschnittgrößenverfahren nach Kindmann am effizientesten. Deshalb kann es für diese Querschnitte als Standardverfahren gewählt werden.

☒ für Dreiblechquerschnitte TSV (KINDMANN)

Bei allen plastischen Nachweisverfahren wird zunächst eine Schubspannungsverteilung angenommen, die mit den schuberzeugenden Schnittgrößen (Querkraft, Torsionsmomente) im Gleichgewicht steht.

Bei dem erweiterten Teilschnittgrößenverfahren und der Dehnungsiteration werden die über die Querschnittsteile gemittelten Schubspannungen der elastischen Verteilung verwendet. Diese Aufteilung wird bei der anschließenden Berechnung der Normalspannungen nicht weiter umgelagert.

☒ erweitertes Teilschnittgrößenverfahren

Beim erweiterten Teilschnittgrößenverfahren wird der Querschnitt wie beim TSV nach Kindmann in einzelne Bleche aufgeteilt. Die Bleche haben den gleichen Schwerpunkt und die gleiche Fläche wie die entsprechenden Querschnittsteile.

Als Teilschnittgrößen der Bleche, die die Normalspannung erzeugen, werden die Normalkraft und das Hauptbiegemoment angesetzt. Die Querbiegung wird vernachlässigt.

Die maximal aufnehmbaren Teilschnittgrößen werden unter Berücksichtigung des Gleichgewichts mit den gesteigerten äußeren Schnittgrößen (Normalkraft, Biegemomente und Wölbmoment) und den plastischen Grenzbedingungen der Bleche ermittelt. Man erhält so den maximalen Laststeigerungsfaktor; die plastische Ausnutzung ist dann dessen Kehrwert.

Die Berechnung erfolgt nach Linearisierung der Grenzbedingungen mit einem Simplex-Verfahren zur Lösung des zugrunde liegenden linearen Optimierungsproblems. Das Verfahren ist sehr robust und effizient, weshalb es als Standardverfahren vorgesehen ist.

☒ Dehnungsiteration
☐ keine Iteration der Schubausnutzung
 Genauigkeit Iteration

Das Verfahren der Dehnungsiteration (DIV) wird in *R. Kindmann, J. Frickel: Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit (Kapitel 10.10)* beschrieben.

Die angenommenen Schubspannungen reduzieren die zulässige Normalspannung der Querschnittsteile. Können die Schubspannungen nicht aufgenommen werden, muss der maximal mögliche Lastfaktor reduziert werden.

Die Verwölbung der Querschnittsteile wird wie beim elastischen Verfahren für dünnwandige Querschnitte ermittelt und in den einzelnen Teilen als ebene Verformung angesetzt. Durch Variation der Dehnungsebene und der Verdrillungsableitung wird unter Berücksichtigung der reduzierten zulässigen Normalspannungen ein Dehnungszustand gesucht, dessen resultierende Schnittgrößen ein maximales Vielfaches der aufzunehmenden Schnittgrößen sind.

Dieser Grenzdehnungszustand darf für keinen Querschnittspunkt die Bruchdehnung ϵ_u überschreiten bzw. $-\epsilon_u$ unterschreiten.

Falls der sich so ergebende maximale Lastfaktor evtl. nicht mit dem für die Schubspannungen verwendeten Lastfaktor übereinstimmt, sind weitere Berechnungsschritte notwendig, bis die Lastfaktoren nahezu gleich sind.

Die Genauigkeit der Übereinstimmung kann vorgegeben werden. Die Iteration der Schubausnutzung kann z.B. für eine schnellere Berechnung abgestellt werden.

Im Gegensatz zum erweiterten Teilschnittgrößenverfahren wird bei der Dehnungsiteration die Querbiegung der Querschnittsteile berücksichtigt. Ausrundungen bzw. veränderliche Dicken der Teile werden besser modelliert. Allerdings ist der Unterschied in den errechneten plastischen

Ausnutzungen zumeist recht gering.

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

☒ Grenzwerte $\text{grenz } (c/t)$ (EC3-1-1 Tabelle 5.2)

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

3.8.3.2

Nachweis DIN 18800

Der Tragsicherheitsnachweis der offenen, dünnwandigen Querschnitte kann nach den Nachweisverfahren

- Elastisch-Elastisch (E-E) (DIN 18800, El. 747) oder
- Elastisch-Plastisch (E-P) (DIN 18800, El. 757)

geführt werden.

☒ elastischer Querschnittsnachweis (El. 747)

- ☒ Normalspannungen (Gl. 31)
- ☒ Schubspannungen (Gl. 32)
- ☒ Vergleichsspannungen (Gl. 33)
- ☒ Erlaubnis örtlich begrenzter Plastizierung
- ☒ $\sigma/\sigma_{R,d} \leq 0.5$ oder $\tau/\tau_{R,d} \leq 0.5$ (El. 747)
- ☒ allgemein (El. 749)
- ☐ für Stäbe mit I-Querschnitt (El. 750)

Beim Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch (E-E) werden die Schnittgrößen (Beanspruchungen) auf Grundlage der Elastizitätstheorie bestimmt. Neben den Nachweisen nach Gl. 31-33 kann bei der Berechnung der Querschnittsausnutzung eine örtliche Plastizierung erlaubt werden (DIN 18800, El. 747, El. 749, El. 750).

☒ plastischer Querschnittsnachweis (El. 757)
Teilschnittgrößenverfahren mit Umlagerung (KINDMANN)

- ☒ Begrenzung der Grenzbiegemomente (El. 755)

Beim Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch (E-P) werden die Schnittgrößen (Beanspruchungen) ebenfalls auf Grundlage der Elastizitätstheorie bestimmt. Anschließend wird mit Hilfe des Teilschnittgrößenverfahrens (TSV) mit Umlagerung

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

überprüft, ob die Schnittgrößen vom Querschnitt unter Ausnutzung der plastischen Reserven aufgenommen werden können (plastische Querschnittstragfähigkeit).

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

Die Begrenzung der Grenzbiegemomente (DIN 18800, El. 755) kann bei Bedarf ausgeschaltet werden.

☒ Grenzwerte $\text{grenz } (c/t)$ (Tab. 12-14,15,18)

Die Grenzwerte $\text{grenz } (c/t)$ werden beim Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch nach DIN 18800, Tab. 12-14, errechnet. Bei Ausnutzung der plastischen Querschnittsreserven werden die Grenzwerte $\text{grenz } (c/t)$ n. DIN 18800, Tab. 15, ermittelt.

- /1/ DIN EN 1993-1-1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009, Ausgabe Dezember 2010
- /2/ DIN EN 1993-1-1/NA, Nationaler Anhang zur DIN EN 1993-1-1, Ausgabe Dez. 2010
- /3/ DIN 18800, Ausgabe November 1990: Stahlbauten: Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Teil 2: Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken
- /4/ Lindner, J., Scheer, J., Schmidt, H.: Erläuterungen zur DIN 18800 Teil 1 bis 4. Beuth Kommentare, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1998
- /5/ DIN 4114, Blatt 1 und 2, Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung), 1952
- /6/ Frickel, J.: Zur Torsionsbeanspruchung von Stäben unter Berücksichtigung der geometrischen und physikalischen Nichtlinearität. Forsch.-Ber. VDI Reihe 4 Nr. 191, VDI Verlag, Düsseldorf 2003
- /7/ Kindmann, R.; Frickel, J.: Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit. Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2002
- /8/ Kindmann, R.; Frickel, J.: Plastische Bemessung im Stahlbau. Der Prüfenieur, Bundesvereinigung der Prüfeniure für Bautechnik e.V., April 2003
- /9/ Petersen, Ch.: Stahlbau. Vieweg Verlag, 3. Auflage, 2. durchgesehener Nachdruck, 1997
- /10/ Petersen, Ch.: Statik und Stabilität der Baukonstruktionen. Vieweg Verlag, 2. Auflage, 1982
- /11/ Roik, K., Carl, J., Lindner, J.: Biegetorsionsprobleme gerader dünnwandiger Stäbe. Verlag Ernst & Sohn, Berlin/München/Düsseldorf 1972
- /12/ Rubin, H.: Wölbkrafttorsion von Durchlaufträgern mit konstantem Querschnitt unter Berücksichtigung sekundärer Schubverformungen. Ernst & Sohn Verlag, Stahlbau 74, Heft 11, Berlin 2005
- /13/ Salzgeber, G.: Nichtlineare Berechnung von räumlichen Stabwerken aus Stahl. Dissertation, Institutsveröffentlichung der Techn. Universität Graz, Heft 10, Graz 2000

5 Index

Abkürzungen 3
Abschnitt 10, 39
Abschnittseigenschaften 15
Abschnittslänge 49
Anker 40
Arbeit virtuelle 62
Assistent 34
Assistent Laststruktur 12
Ausrichtung 16
Ausrichtung Querschnitt 45
Balken geneigter 36
Baumansichtsfenster 29
Bauteil erzeugen 9
Belastung 12
Berechnung nichtlineare 23
Beschreibungskordinatensystem 45
Biegedrillknicken 65
Bitmap-Datei 25
blank 3
Buttons 3
Cursor 3
Darstellungsoptionen 57
Daten sichern 35
Detailnachweispunkt 25
Doppelklick 15, 33
Drehachse gebundene 19
DTE[®]-Viewer 25
Eingabeassistent 10, 34
Eingabeoberfläche 14
Einheitsverwölbung 64
Einwirkung 3, 22, 51
Einzelfeder 46
e-Mail 8
Ergebnisfenster 24, 31
Ergebnispräsentation 57
Ergebnisse darstellbare 25
Extremalbildungsvorschrift 3
Extremierung 22
Exzentrizität 18, 39
Fangerechteck 3
Federkonstante 19
Federtyp 46
Gelenkfeder 19, 48
Hauptachsensystem 60
Hauptfenster 29
Imperfektion 22
Imperfektionsbild 54
Instabilität 66
Installation 7
Iteration 37
Knicken 65
Kombinationsbeiwert 27
Konstruktionskordinatensystem 58
Kontextsensitivität 8, 14
Kontrolle optische 50
Konvergenz 37
Kordinatensystem globales 39, 58
Kordinatensysteme 60
Lager 11
Lagerpunkt 39, 51
Lagerung Ausrichtung 18
Lastbild 3, 13
Lasteingabe 20
Lastexzentrizität 62
Lastfall 3
Lastkollektiv 3
Lastweiterleitung 27
Linienfeder 19, 47
Löschen 19
Nachweis 13, 51
Nachweisoption 38
Objektauswahl 33
Objektauswahl individuelle 15
Objektbaum 15, 29
Objektfenster 30
Ordner 9
Profil 11
Profilbeschreibung parametrisierte 16
Punktfeder 19, 46
Punktlast 53
Querschnitt 11, 43
Querschnitt veränderlicher 16
Querschnittsausrichtung 45
Querschnittskordinatensystem 58
Querschnittssprung 10
Schnittgrößen 61
Schreibtisch 8
Schreibtischauswahl 7
Schubmittelpunkt 45, 67
Schwerachsenverlauf 16
Skalierung 58
Spannungen 61
Stabkennzahl 63
Stahlgüte 43
Standardextremierung 27
Standardlastkollektivbildung 26
Startsymbol 7
Steuerbutton 8, 32
Streckenlast 20, 52
Stütze 36
Teilsicherheitsbeiwert 27
Th. II. Ord. 23
Theorie 60
Torsion 61
Träger 36
Vereinheitlichen 33, 52, 53, 54
Verschiebungsansatz 61
Viewer 25
Vorkrümmung 23
Voute 16
Wagner-Effekt 36, 62, 66
Wölbkrafttorsion 36, 60, 63
Zusatzverformung 36