



**4H-** STATIKPROGRAMME  
AUS HANNOVER

**DTE** Desktop<sup>®</sup>  
Engineering



pcae GmbH

Kopernikusstr. 4A

30167 Hannover

Tel 0511/70083-0

Fax 0511/70083-99

Internet [www.pcae.de](http://www.pcae.de)

Mail [dte@pcae.de](mailto:dte@pcae.de)



**4H-FRAP**

Räumliche Stabtragwerke

Allgemeine Erläuterungen zur Bedienung

Mai 2022



# 4H-FRAP

Räumliche Stabtragwerke

Allgemeine Erläuterungen zur Bedienung

Copyright 2002-2022

10. erweiterte Auflage, Mai 2022

pcae GmbH, Kopernikusstr. 4 A, 30167 Hannover

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](http://www.pcae.de)**.

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



# Produktbeschreibung

##FRAP ist ein Produkt der **pcae** GmbH, Hannover, und berechnet räumliche Stabtragwerke. Die Programmentwicklung innerhalb der **pcae** GmbH erfolgt nahezu ausschließlich durch Bauingenieure.

Mit Ausnahme des für Sonderaufgaben erforderlichen Programms ##QUER, des Dynamikmoduls und des Zusatzmoduls ##STEP sind sämtliche im Folgenden spezifizierten Leistungsmerkmale im Standardlieferungsumfang von ##FRAP enthalten.

Die Stabwerksberechnung kann nach Elastizitätstheorie I. und II. Ordnung erfolgen. Letztere beinhaltet neben der Berücksichtigung geometrischer Nichtlinearitäten auch den Ausfall von Druck- und Zugstäben als Systemnichtlinearitäten. Für Stahlbauteile kann der Biegedrillknicknachweis nach EC 3/DIN 18800 bzw. nach EC 3 im Brandfall abgerufen werden.

Die Werkstoffe Stahl (EC 3, DIN 18800), Stahlbeton (EC 2, DIN 1045-1, DIN 1045), Holz (EC 5, DIN 1052, 2008 u. 1988), Aluminium (EC 9), sowie Spezialmaterialien wie benutzerdefinierte Stahlgüten und Aluminiumlegierungen etc. können im Tragwerk in beliebiger Kombination gemischt werden. Endergebnis der Berechnungen sind Spannungen, Ausnutzungsgrade und As-Werte. Zwischen- und Endergebnisse werden sowohl für die grafische Visualisierung als auch für das Druckdokument bereitgestellt.

Die grafische Eingabe des Tragwerks erfolgt in bzgl. System und Teileinwirkungen (Lastfällen) getrennten Eingabefolien.

Zur Erzeugung des aus Knoten und Stäben bestehenden Netzwerks werden in der Systemfolie Ortho- und Rotations-Generatoren sowie DXF- und Textdatenimportfunktionen bereitgestellt. Bei Installation des Zusatzmoduls ##STEP kann ein Datenimport entsprechend der DSTV-Produktschnittstelle Stahlbau vorgenommen werden. Das zum Lieferumfang gehörende Handbuch ##FRAP, *Beispieleingaben*, zeigt aber, dass auch die manuelle Erzeugung selbst komplexer Strukturen durch Vorgabe einiger weniger Knoten mit den zugehörigen Koordinaten durch Zuhilfenahme der vielseitigen Modellierungsfunktionen der grafischen Eingabe schnell gelingt.

Die Modellierung wird durch Funktionen zum Verschieben, Verdrehen, Vergrößern, Verkleinern, Verschneiden, regel- und unregelmäßigem Unterteilen sowie Spiegeln und Ausrichten unterstützt. Die Modellierungsfunktionen können vom Anwender auf individuelle Tastaturshortcuts gelegt werden. Durch Anwendung dieser Funktionen auf automatisch vom Originalauswahlzustand erzeugte Duplikate lassen sich wiederkehrende Teilstrukturen schnell erzeugen.

Der Undo/Redo-Service nimmt misslungene Aktionen zurück oder stellt zurückgenommene Aktionen wieder her. Dies kann der neue Anwender zum Probieren von Arbeitsschritten nutzen.

Als Querschnittsformen der dickwandigen Stahlbeton- und Holzstäbe stehen die üblichen Rechteck-, Plattenbalken-, Doppel-T- und Kreisquerschnitte zur Verfügung. Dünnwandige Stahlstäbe können aus der mitgelieferten Profilbibliothek übernommen oder parametrisiert direkt geometrisch beschrieben werden. Ferner können unter Zuhilfenahme des Programms ##QUER (nicht im Lieferumfang enthalten) beliebige Querschnittsformen importiert werden.

Standard- und parametrisierte Querschnitte können gevoutet sein. Die Voutung kann über sämtliche Stäbe einer Stabkette verlaufen.

Stäbe können gebettet sein, mit Exzentrizitäten an die Nachbarstäbe gekoppelt und mit Gelenken in beliebiger Kombination der sechs Freiheitsgrade versehen werden. Durch Vorgabe von Federsteifigkeiten für die einzelnen Gelenke wird die Nachgiebigkeit von Verbindungsmitteln erfasst.

Die räumliche Ausrichtung der Querschnittshauptachsen kann ebenenweise an die Ebenengeometrie angepasst werden.

Lagerungsbedingungen können starr oder elastisch durch Vorgabe von Federsteifigkeiten für beliebig im Raum gedrehte Lagerknoten vorgegeben werden.

Die Eingabe von System und Belastung kann sowohl am 3D-Gesamtsystem als auch in den vom Benutzer definierten Systemebenen erfolgen. Im Ebenenmodus kann ein lokales, beliebig lokalisier- und verdrehbares Konstruktionskoordinatensystem genutzt werden. Durch Bildung von Stabgruppen und Auswahllisten besteht über das Baumansichtsfenster schneller Zugriff auf Elemente, die gleichartige Eigenschaften aufweisen. Eine zusätzliche Objektauswahl ermöglicht die Aktivierung von Stäben mit gleichen Materialtypen, mit Gelenkbedingungen, Exzentrizitäten, Bettung und Druck-/Zugausfall. Ferner können Stäbe, die im Datencheck auffällig waren, markiert werden.

Stäbe oder Stabgruppen können über ihren Sichtbarkeitsstatus abgeblendet und nur noch schwach dargestellt werden, um auch in komplexen 3D-Strukturen "durchzublicken".

Die fotorealistische Systemdarstellung zeigt das Stabwerk mit seinen Querschnitten und ihrer genauen Anordnung im Gesamtsystem.

Die Aufbereitung der aus Einwirkungen und Lastfällen bestehenden Belastungsstruktur übernimmt ein Eingabeassistent, dem das gewünschte Lastschema und die Anzahl der jeweiligen Teileinwirkungen mitgeteilt werden. Die Einwirkungsstruktur kann jederzeit nachträglich modifiziert werden. Die somit erzeugten Lastfälle sind in den einzelnen Eingabelayern hinsichtlich der zugehörigen Lastbilder zu komplettieren.

Als mögliche Lastbilder stehen bereit: Aus den Querschnittsgeometrien automatisch abgeleitete Eigengewichtslasten, Streckenlasten über gesamte Stäbe oder Teilbereiche von Stäben mit konstantem, dreiecksförmigem und Trapezverlauf. Einzelkräfte und -momente können sowohl auf Stäben als auch in den Netzwerkknoten angreifen. Ferner werden Temperaturlasten und Stützensenkungen verarbeitet.

Die Lastwirkungsrichtungen können global oder lokal auf das Stab- oder Knotenkoordinatensystem bezogen werden.

Flächenlasten können in Linienlasten für die unter dem Lastbereich liegenden Stäbe umgerechnet werden. Veränderliche Streckenlasten können ohne Angabe von Zwischenwerten über Stabketten verlaufen.

Gruppen von Einzel- und Linienlasten können als Wanderlastenzug mehreren Lastfällen zugeordnet werden.

Lastbilder können von einer Lastfallfolie in andere Lastfallfolien verschoben oder mit einem Faktor versehen kopiert werden.

Die für die Berechnung nach Th. II. Ordnung benötigten Stabimperfektionen in Form von Schiefstellungen und Vorverkrümmungen können am Einzelstab oder über aus mehreren Stäben gebildete Stabketten durchlaufend beschrieben werden.

Sowohl geometrische Eigenschaften von Stäben als auch Lastbildeigenschaften können durch Auswahlkriterien schnell vereinheitlicht werden.

Die parallel zur Eingabe erfolgende Darstellung von System und Belastung kann durch zusätzlich eingeblendete Symbole für Lagereigenschaften, Gelenkbedingungen, Bettung, Querschnitte und Profilbezeichnungen sowie zu den lokalen Koordinatensystemen ergänzt werden. Die Darstellung der Belastung erfolgt wahlweise mit Ordinatenangaben. Eine Stückliste und Lastsummenkontrolle komplettieren diese Informationen.

Die genannten grafischen Darstellungen können mit ihrem individuellen Blickwinkel im Statikdokument ausgegeben werden.

Die Nachweise umfassen für EC 2/DIN 1045-1/DIN 1045 die Bemessung, Rissnachweise, Schwingbreiten/Ermüdungsnachweis, Spannungsnachweis und Bemessung Th. II. Ord., für EC 3/DIN 18800 die Tragfähigkeitsnachweise Th. I. und II. Ord. mit elastischem und plastischem Querschnittsnachweis, für EC 9 die Tragfähigkeitsnachweise Th. I. u. II. Ord. mit elastischem Querschnittsnachweis, für DIN 1052 (1988) die Spannungsnachweise Th. I. Ord. und die Tragsicherheitsnachweise Th. I. und II. Ord. und für EC 5/DIN 1052 (2008) die Tragsicherheitsnachweise Th. I. und II. Ord., die Nachweise der Verformungen (selten und quasiständig) und den Brandschutznachweis. Für allgemein definierte Materialien werden gleichfalls Spannungsnachweise n. Th. I. und II. Ord. geführt.

Abschließend werden für Lastweiterleitungszwecke Nachweise n. Th. I. und II. Ord. auf charakteristischem Niveau vorgehalten.

Mit dem implementierten Schnittgrößen-Export-Mechanismus können die nachweisrelevanten Schnittgrößensätze in vorgegebenen Kontrollpunkten an die *##*-Detailnachweisprogramme übergeben werden, um z.B. Stöße und Anschlüsse nachzuweisen.

Mit der vorliegenden Einwirkungsstruktur werden für die abgerufenen linearen Nachweise automatisch Überlagerungsvorschriften mit allen zugehörigen Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten gebildet. Zur automatischen Erzeugung der für Berechnungen n. Th. II. Ord. erforderlichen Lastfallkombinationen steht ein Lastkollektivgenerator zur Verfügung, der bis zu 5.000 Kombinationen bereitstellt.

Die abschließende Datenbereinigung entfernt durch die Konstruktion entstandenen Datenmüll. Eine Funktion zur Neunummerierung steht gleichfalls bereit. Die abschließende Datenzustandskontrolle gibt ggf. Hinweise zu erforderlichen Nachbesserungen.

Nach der anschließenden Berechnung stehen Zwischen- und Endergebnisse zur visuellen und numerischen Kontrolle innerhalb der Ergebnisvisualisierung bereit. Die Ergebnisse können in Tabellen, Liniengrafiken oder 3D-Darstellungen in Form von Konturflächen, Deformationsfigu-

ren, als Zahlengrafiken oder den bauingenieurmäßigen Grenzliniendarstellungen eingesehen werden. Spezielle Darstellungen können hierbei für die Druckausgabe gesichert werden.

Zur Erstellung des Ausgabedokuments steht eine Drucklistengestaltung zur Verfügung, die dem Anwender die individuelle Zusammenstellung seiner Ausgaben ermöglicht.

Eine besondere Form des Ergebnisprotokolls stellen die Detailnachweispunkte dar. Für diese speziell anzugebenden Orte wird ein ausführliches Protokoll mit allen Überlagerungswerten und ihrer Herkunft und Faktorisierung sowie den daraus resultierenden Bemessungs- und Nachweiszwischen- und Endergebnissen erstellt. Auch hier kann der Anwender den Ausgabeumfang zusammenstellen.

## Dokumentation

Die Anwendung moderner Stabwerks-Programme wird durch grafische Eingaben und Postprozessoren zur Sichtung und Ausgabe der Ergebnisse unterstützt und damit erleichtert. Auch wenn es unser Ziel als Softwareentwickler ist, dass jeder neue Programmanwender die Programme ohne Einweisung anwenden kann, bedarf es doch einer Anleitung zur Einarbeitung. Das vorliegende Handbuch gibt diese Hilfestellung.

Im Gegensatz zum Handbuch *##-FRAP, Beispieleingaben*, das die Bedienung des Programms an Hand von Beispielen näher bringt, werden die Eingabe- und Ausgabemechanismen in diesem Manual beispielunabhängig in chronologischer Reihenfolge erläutert.

Alle Informationen sind zudem in jedem Eigenschaftsblatt über die Online-Hilfe abrufbar.

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

Die Erläuterungen sind mit einigen Ausnahmen bzgl. der Bemessung und Nachweise auf die Handhabung der Software beschränkt, da das "Bauingenieurmäßige" dem Anwender ohnehin bekannt ist. Bei Fragen nach dem theoretischen Hintergrund der Berechnungsmethode verweisen wir mit gutem Gewissen auf die angegebenen Literaturquellen.

Zur *##-FRAP*-Dokumentation gehören neben diesem Manual die Handbücher

*##-FRAP, Beispieleingaben*,  
*##-FRAP, Neuerungen Version 5/2022*,  
*DTE<sup>®</sup>-DeskTopEngineering* und  
das *pcae*-Nachweiskonzept.

Alle Handbücher können von unserer Website [www.pcae.de](http://www.pcae.de) als pdf-Dokumente in aktueller Fassung heruntergeladen werden.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit *##-FRAP*.

Hannover, im Mai 2022

# Abkürzungen und Begriffe

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

<b>Maustasten</b>	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 Rechteckes liegen, werden ausgewählt. Waren Elemente bereits vor dem Aufspannen des Rechteckes 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.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Bauteile verwalten unter DTE®</b>	<b>9</b>
1.1	Bauteile einrichten	9
1.2	Bauteile kopieren	10
1.3	Bauteile sichern	10
1.4	Programmsteuerungsfenster	11
1.5	Datenkategorien und Drucklisten	12
1.6	DTE®-Menüfunktionen	13
1.7	Beispieldatensätze	14
<b>2</b>	<b>Grafisches Eingabemodul</b>	<b>15</b>
2.1	Navigieren im Darstellungsfenster	18
2.1.1	System drehen	18
2.1.2	Kameraentfernung verändern	18
2.1.3	Blickrichtung numerisch einstellen	18
2.1.4	Blickrichtungen speichern und aktivieren	18
2.1.5	in Ausschnitte zoomen	18
2.1.6	Folientechnik	19
2.1.7	Fenstergröße verändern	19
2.2	Stäbe und Knoten erzeugen und modellieren	19
2.2.1	Knoten und Stäbe erzeugen	19
2.2.2	Knoten und Stäbe generieren	20
2.2.2.1	orthogonale Raster generieren	20
2.2.2.2	rotationssymmetrische Raster generieren	20
2.2.3	Knoten und Stäbe importieren	22
2.2.3.1	Datenimport aus einer Textdatei	22
2.2.3.2	Datenimport aus einer DXF-Datei	22
2.2.3.3	Datenimport aus einem #-FRAP-Bauteil	22
2.2.4	Knoten und Stäbe tabellarisch bearbeiten	23
2.2.5	Objekte aus- und abwählen	23
2.2.6	Objekte modellieren	24
2.2.6.1	Objekte verschieben	24
2.2.6.2	Objekte verdrehen	24
2.2.6.3	Objekte vergrößern, verkleinern	25
2.2.6.4	Linien verschneiden	25
2.2.6.5	Objekte löschen	25
2.2.6.6	Undo-Redo-Funktion	25
2.2.7	Doppelklick-Funktionen	25
2.2.7.1	Einzelstabbearbeitung	26
2.2.7.1.1	Stabrichtung ändern	26
2.2.7.1.2	Stab von Knoten lösen	26
2.2.7.1.3	Stablänge ändern	26
2.2.7.1.4	Stab verschieben	27
2.2.7.1.5	Stab unterteilen	27
2.2.7.2	Einzelknotenbearbeitung	27
2.3	Eigenschaften von Knoten und Stäben	28
2.3.1	individuelle Stabgeometrie	28
2.3.1.1	exzentrische Anschlüsse	29
2.3.1.2	Gelenke	29
2.3.1.3	Stabkoordinatensystem	30
2.3.1.3.1	Stabdrehwinkel	30
2.3.1.3.2	Stabdrehwinkel an Ebene anpassen	31
2.3.1.4	Berechnungsoptionen	32
2.3.2	Lagereigenschaften	32
2.3.3	Material- und Querschnittswerte	34
2.3.3.1	Material	34
2.3.3.2	Stahlquerschnitte	35
2.3.3.3	benutzerdefinierte Stahlgüten	35

2.3.3.4	Stahlbetonquerschnitte .....	36
2.3.3.5	Holzquerschnitte .....	36
2.3.3.6	allgemeiner Querschnitt .....	37
2.3.3.7	sonstiger Querschnitt .....	37
2.3.4	stabbezogene Nachweisoptionen und Bemessungsangaben .....	39
2.3.5	Eigenschaften vereinheitlichen .....	39
2.3.6	Eigenschaften per Doppelklick .....	39
2.4	Beschreibung der Belastung .....	40
2.4.1	Organisation der Belastung .....	40
2.4.2	Einwirkungen, Lastfälle und Imperfektionen definieren und bearbeiten .....	41
2.4.3	Lastbilder erzeugen .....	41
2.4.3.1	Eigengewichtslasten .....	41
2.4.3.2	Streckenlasten .....	41
2.4.3.3	Streckenlastbilder aus Flächenlasten generieren .....	42
2.4.3.4	Stabeinzellasten .....	43
2.4.3.5	Temperaturlasten .....	43
2.4.3.6	Knotenlasten .....	43
2.4.3.7	Wanderlastenzüge .....	44
2.4.3.8	Stützensenkungen .....	47
2.4.3.9	Imperfektionsbilder .....	47
2.4.3.9.1	Anwendung auf Stabketten .....	48
2.4.4	Lastbilder auswählen und vereinheitlichen .....	48
2.4.5	Lastbilder kopieren .....	49
2.4.6	Lastbilder tabellarisch bearbeiten .....	49
2.5	Nachweise .....	50
2.5.1	Assistent Verwaltung der Nachweise .....	50
2.6	Tipps und Tricks .....	52
2.6.1	Arbeiten in Ebenen .....	52
2.6.1.1	Ebeneneigenschaften .....	53
2.6.1.2	Sonderfunktionen im Ebenenbearbeitungsmodus .....	53
2.6.1.2.1	Stabdrehwinkel an Ebene anpassen .....	53
2.6.1.2.2	Streckenlastbilder aus Flächenlasten generieren .....	53
2.6.1.2.3	Konstruktionskoordinatensystem .....	54
2.6.1.3	Freihandmethoden beim Modellieren .....	54
2.6.1.4	Objekte spiegeln .....	55
2.6.1.5	Knoten ausrichten .....	55
2.6.2	Gruppenbildungen .....	56
2.6.2.1	Allgemeines .....	56
2.6.2.2	Stabgruppen erzeugen .....	57
2.6.2.3	Verwaltung der Stabgruppen .....	57
2.6.2.4	Stabgruppen im Baumansichtsfenster .....	58
2.6.3	Biegedrillknicken .....	59
2.6.3.1	Eigenschaftsblatt .....	59
2.6.3.2	Theoretischer Teil .....	60
2.6.3.2.1	Allgemeines .....	60
2.6.3.2.2	Berechnung der $\zeta$ -Werte .....	61
2.6.3.2.3	Berechnung von $\chi_y$ und $\chi_z$ n. EC 3 .....	61
2.6.3.2.4	Berechnung von $\kappa_z$ und $\kappa_M$ n. DIN 18800 .....	62
2.6.3.2.5	Berechnung der Momentenbeiwerte $k_y$ und $k_z$ .....	62
2.6.3.2.6	Berechnung der Interaktionsbeiwerte $k_{yy}$ , $k_{zz}$ , $k_{yz}$ und $k_{zy}$ n. EC 3 .....	62
2.6.3.2.7	planmäßige Torsion .....	62
2.6.3.2.8	Ergebnisse des Biegedrillknicknachweises .....	62
2.6.3.3	Drehelastische Lagerung am Obergurt des Trägers .....	65
2.6.3.3.1	Trapezbleche .....	65
2.6.3.3.2	Drehfedersteifigkeit .....	66
2.6.4	Darstellungsoptionen .....	68
2.6.4.1	Skalierungen .....	68
2.6.4.2	Stückliste, Lastsummen .....	69
2.6.4.3	Objekte auswählen .....	70
2.6.4.4	Undo-Service .....	70

2.6.5	Auswahllisten .....	70
2.6.6	Sichtbarkeitsstatus .....	71
2.6.7	Baumansicht .....	72
2.6.8	fotorealistische Darstellung .....	72
2.6.9	Drucklisteneinstellungen .....	73
2.6.9.1	Eigenschaften der Systemdruckliste .....	73
2.6.9.2	Detailnachweispunkte .....	73
2.6.10	Sicherungen .....	74
2.6.11	Sonstige Datenzustandsoperationen .....	74
2.6.11.1	Datenzustand überprüfen .....	74
2.6.11.2	Netzwerk bereinigen .....	75
2.6.11.3	Daten exportieren .....	76
2.6.11.4	Objekte neu durchnummerieren .....	76
2.6.12	Kontrollpunkte .....	77
2.6.13	Start-Button .....	79
2.6.14	benutzerdefinierte Anmerkungen .....	80
2.7	Dynamikmodul .....	81
2.7.1	Massenfolie .....	81
2.7.2	Knoten- und Stabmassen tabellarisch bearbeiten .....	81
2.7.3	Rechenlaufsteuerung .....	82
2.7.3.1	Grundeinstellungen, Eigenformen .....	82
2.7.3.2	harmonische Analyse .....	83
2.7.3.3	Etagenantwortspektrum .....	83
2.7.3.4	Erdbeben - normiertes Antwortspektrum nach EC 8 (2021) .....	84
2.7.3.4.1	automatische Ermittlung der spektralen Antwortbeschleunigung $S_{aP,R}$ .....	85
2.8	Endebehandlung .....	88
3	Arbeitshilfen .....	89
3.1	Werkzeugleiste .....	89
3.2	Tastaturkürzeltabelle .....	90
3.3	Zoomen mit dem Mausrad .....	93
4	DXF-Importfilter .....	93
5	Datenimport aus einer STEP-Datei .....	95
6	Tipps zur Vorgehensweise .....	98
7	Drucklistengestaltung .....	99
7.1	Fenster <i>Ergebnisse</i> .....	99
7.2	Fenster <i>Tabellen und Grafiken</i> .....	100
7.3	Fenster <i>Objektauswahl</i> .....	101
7.4	Tipps zur Drucklistengestaltung .....	101
8	Ergebnisvisualisierungsmodul .....	102
8.1	allgemeine Erläuterungen .....	102
8.2	Verwaltung der Druckansichten .....	104
8.3	3D-Darstellung .....	106
8.4	Liniengrafiken .....	109
8.5	Tabellen .....	110
8.6	Druckausgabe .....	112
8.7	Objekte .....	113
8.8	Menüauswahlzeile .....	114
8.9	Speichern .....	114
8.10	der Doppelklick .....	115
8.11	darstellbare physikalische Größen .....	115
8.11.1	Hauptachsensystem .....	115
8.11.2	Lastfälle und Lastkollektive .....	115
8.11.3	Extremierungen (allgemein) .....	115
8.11.4	Stahlbetonnachweise .....	115
8.11.5	Stahlbaunachweise .....	116
8.11.6	Holzbaunachweise .....	116

8.11.7	Spannungsnachweise benutzerdefinierter Materialien .....	116
9	Schlussbemerkung .....	116
10	Literaturverzeichnis .....	117
11	Index .....	118

## Bauteile verwalten unter DTE®

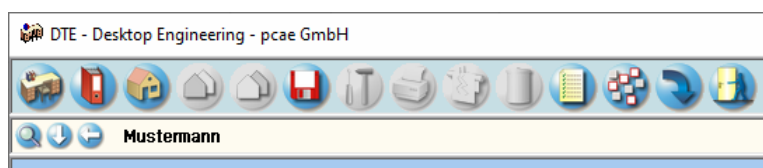
Die Installation des DTE®-Systems und das Überspielen des Programms *##-FRAP* auf Ihren Computer erfolgt über einen selbsterläuternden Installationsdialog.

Im Nachfolgenden wird davon ausgegangen, dass das DTE®-System sowie das Programm *##-FRAP* installiert sind, so dass das hier Besprochene direkt am Rechner nachvollzogen werden kann.

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



Die Verwaltungsoberfläche wird per **Doppelklick** auf nebenstehend dargestelltem Icon, das sich nach der Installation auf dem Windows-Desktop befindet, gestartet. Nach Einrichten/Auswahl und Starten eines Schreibtischs erscheint die Oberfläche mit deren Hilfe Bauteile eingerichtet und bearbeitet werden. Nachfolgend ist die Steuerleiste des Programmsystems dargestellt.



### 1.1

#### Bauteile einrichten



Oftmals ist es für die Übersichtlichkeit sinnvoll, vor der Erzeugung eines Bauteils einen **Ordner** anzulegen. Dies geschieht durch Anklicken des nebenstehenden Symbols. Der Ordner erscheint auf dem Desktop und kann, nachdem ihm eine Bezeichnung und eine Farbe zugeordnet wurden, per Doppelklick aktiviert (geöffnet) werden.

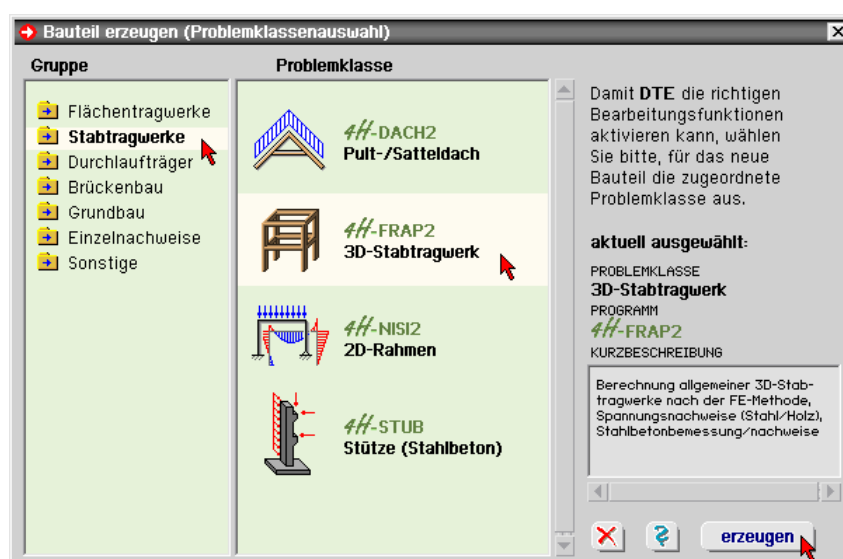


Der Ordner wird durch das **beenden**-Symbol wieder geschlossen.



Durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Symbols wird ein Bauteil erzeugt. Es erscheint ein Eigenschaftsblatt, in dem die dem Bauteil zugeordnete **Problemklasse** ausgewählt werden muss.

Im vorliegenden Handbuch wird die von *##-FRAP* unterstützte Problemklasse **3D-Stabtragwerk** beschrieben. Klicken Sie bitte mit der LMT den Ordner **Stabtragwerke**, dann die Problemklasse **3D-Stabtragwerk** und abschließenden **erzeugen**-Button an.



Nach **Bestätigen** des Eigenschaftsblatts erscheint das Bauteilsymbol auf der Schreibtischoberfläche. Dem Bauteil sollte aus Übersichtlichkeitsgründen eine eindeutige **Bezeichnung** zugeordnet werden. Diese kann jederzeit geändert werden. Hierzu dient das nebenstehende Symbol.



Das erzeugte Symbol hat das hier dargestellte Standardlayout, das sich im Laufe der Bearbeitung ändern wird. Es enthält dann die miniaturisierte eingegebene geometrische Struktur.

Ein Bauteilsymbol - wie auch ein Projektordner - kann mit der LMT ausgewählt werden. Durch Auswahl ändert sich die Darstellungseigenschaft: Das Symbol erscheint mit weißem Hintergrund und schwarzer Berandung. Das Doppelklicken des Bauteils startet das grafische Eingabemodul.

## 1.2

### Bauteile kopieren



Mitunter ist es sinnvoll, eine Kopie des Bauteils anzulegen. Besonders empfiehlt sich dies, wenn der aktuelle Zustand eines Bauteils konserviert oder Varianten des bestehenden Bauteils untersucht werden sollen. Die Erzeugung einer Kopie des ausgewählten Bauteils wird durch das nebenstehend dargestellte Symbol eingeleitet. Es erscheint ein Eigenschaftsblatt, in dem die zu kopierenden Datenkategorien (vgl. Abs. 0, S. 12) ausgewählt werden können. I. d. R. reicht es aus, hier die Eingabedaten zu markieren.



Die Kopie des so markierten Bauteils kann durch Anklicken des **einfügen**-Symbols auf dem Desktop eingefügt werden.

Alternativ können Bauteile unter DTE® als **Vorlagen** gespeichert werden; eine ausführliche Beschreibung findet sich im DTE®-Handbuch.

## 1.3

### Bauteile sichern



Ist ein Bauteil ausgewählt und wird das nebenstehend dargestellte Symbol angeklickt, erscheint das Eigenschaftsblatt zur Bearbeitung des Datenzustands. Die dem Bauteil zugeordneten Datenkategorien können im unteren Teil des Eigenschaftsblatts ausgewählt werden.



Mit Hilfe der im oberen Bereich des Eigenschaftsblatts angebotenen Buttons können die ausgewählten Datenkategorien



**komprimiert** werden (nicht für Eingabedaten oder bereits komprimierte Datenkategorien)



**dekomprimiert** werden (nur falls sie zuvor komprimiert wurden)



auf externen Medien **gesichert** werden. Hierzu müssen zuvor Sicherheitsmedien eingerichtet werden. Dies geschieht mit Hilfe des Buttons **gesicherte Datenzustände**.



**gelöscht** werden; dies geschieht nach absichernder Frage **unwiderruflich!**

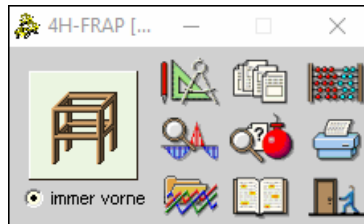


in eine externe Paketdatei gepackt werden. Eine solche Datei dient zum **Datenaustausch** und ist besonders geeignet, als Anhang einer **E-Mail** versandt zu werden.

Ist kein Bauteil ausgewählt und wird das **Diskettensymbol** angeklickt, erscheint ein Eigenschaftsblatt mit dem das **Laden** von Bauteilen von externen Medien eingeleitet wird. Von hier aus können auch Beispieldatensätze aus dem Internet geladen oder der **Paketdienst** aufgerufen werden, um per E-Mail in Paketdateien empfangene Bauteile auf dem Desktop zu integrieren.

## Programmsteuerungsfenster

Die wichtigsten Bearbeitungsfunktionen können in effizienter Form über das *4H-FRAP*-Steuerungsmodul angesteuert werden, das nach Aufruf über die DTE®-Menüfunktionen (Bauteil markieren und RMT drücken) erscheint.



Aus diesem Fenster, das sich, wenn der *immer vorne*-Button eingedrückt ist, stets vor dem DTE®-Fenster befindet, können folgende Aktionen ausgeführt werden: Starten des



... **Eingabemoduls** zur Definition des statischen Systems des zu berechnenden Problems,



... Moduls zur Festlegung des Umfangs der Ergebnisdrucklisten,



... **Rechenmoduls** zur Berechnung des aktuell definierten Systems,



... **Ergebnisvisualisierungsmoduls** zur grafischen Einsichtnahme der Ergebnisse,



... DTE®-Editors zur Einsichtnahme evtl. vorliegender **Fehlermeldungen** und Warnungen.



Aktivierung des Druckfensters. Von hier aus können die aktuell vorliegenden **Drucklisten** aus- bzw. ausgewählt, gedruckt, im DTE®-Editor eingesehen, in eine externe Datei kopiert oder gelöscht werden.

Zu den Funktionen von DTE®-Viewer und DTE®-Druckmanager s. DTE®-Handbuch.



Starten des DTE®-Editors zur Einsicht in das bauteilspezifische Geschichtsprotokoll



Starten der *4H-FRAP*-Online-Hilfe








Beenden der *4H-FRAP*-Bauteilbearbeitung und Schließen des Programmsteuerungsfensters



Der Start des Berechnungsprogramms und der Postprozessoren kann auch über den Startbutton innerhalb der Grafischen Eingabe erfolgen, die dann geöffnet bleibt und parallel zu Kontrollzwecken genutzt werden kann. S. hierzu Abs. 2.6.13, S. 79.

## 1.5 Datenkategorien und Drucklisten

DTE<sup>®</sup> unterscheidet bei jedem Bauteil zwischen verschiedenen Datenkategorien. Bei Bauteilen, die *##-FRAP* zugeordnet werden, sind dies

-  Eingabedaten sind Festlegungen, die im Laufe einer Bauteilbearbeitung vom Benutzer eingegeben wurden. Da hierin die Arbeitszeit des Programmanwenders steckt, ist diese Datenkategorie von höherer Ordnung **sicherungsbedürftig**.
-  Zeichnungen sind vom Anwender im Planerstellungsmodul erstellte und abgespeicherte Pläne.
-  Ergebnisse werden vom Rechenprogramm automatisch erzeugt. Nach Löschen können sie durch einen neuerlichen Rechenlauf vollständig restaurieren werden.
-  Drucklisten werden vom Druckmanager zur Ausgabe zu einem Drucker gesandt. Sie sind in weitere Unterkategorien eingeteilt, die im zweiten Teil dieses Abschnitts vorgestellt werden.
-  Arbeitsdaten werden nur vom Rechenmodul benötigt. Nach einem kompletten Rechenlauf werden sie normalerweise automatisch gelöscht.

**Drucklisten** sind abermals unterteilt. *##-FRAP* zugeordnete Bauteile besitzen folgende Drucklisten

-  Bemerkungen Die Druckliste **Bemerkungen** wird bei Bedarf vom Benutzer erstellt. Sie enthält i.d.R. erläuternde Texte zum Bauteil.
-  Zeichnungen werden im Planerstellungsmodul erzeugt und dort auf Wunsch über das Druckersymbol in die Druckliste *Zeichnungen* eingespeichert.  
*##-FRAP* erstellt von sich aus keine Pläne!
-  Systembeschreibung Die Druckliste *Systembeschreibung* wird beim Abspeichern innerhalb des grafischen Eingabemoduls automatisch erzeugt. Ihr Inhalt kann optional modifiziert werden. S. Abs. 2.6.9.1, S. 73.
-  Querschnittstabelle enthält eine Zusammenstellung der Stäbe und ihrer Querschnittswerte.
-  Lastfallergebnisse Ergebnisse der lastfall- bzw. lastkollektivweise berechneten Verformungen und Schnittgrößen. Der Umfang dieser Druckliste wird im Drucklistengestaltungsmodul festgelegt. Näheres s. Abs. 7, S. 99.
-  Nachweisergebnisse Ergebnisse der Stahlbetonbemessung bzw. der Stahl-/Holznachweisprozesse. Der Umfang dieser Druckliste wird im Modul Drucklistengestaltung festgelegt. Näheres s. Abs. 7, S. 99.
-  Zusammenfassung Diese Druckliste enthält die Quintessenz aus allen geführten Nachweisen. Z.B. sind dies bei Stahlbetonelementen die erforderliche **Bewehrung** und bei Stahl-/Holznachweisen der **Ausnutzungsgrad**.
-  Detailnachweispunkte Diese Druckliste wird nur erzeugt, wenn vor Durchführung des Rechenlaufs im grafischen Eingabemodul Detailnachweispunkte (Abs. 2.6.9.2, S. 73) eingerichtet wurden. Sie enthält detaillierte Informationen zu den geführten Nachweisen an der vorgegebenen Stelle. Ausführliche Informationen zu den Detailnachweispunkten s. Handbuch *das pcae-Nachweiskonzept*.
-  Biegedrillknicken enthält die Ergebnisse der angeforderten Biegedrillknicknachweise.
-  Dynamikberechnung enthält die ermittelten Eigenfrequenzen und Überlagerungsfaktoren.
-  Dynamikergebnisse enthält die zu den einzelnen Eigenformen gehörenden Ergebnisse.
-  Ausgewählte Grafiken werden im Ergebnisvisualisierungsmodul interaktiv erzeugt. Hierzu muss das dortige Druckersymbol angeklickt werden. Näheres s. Abs. 8, S. 102.



## DTE®-Menüfunktionen

Ist ein ##-FRAP-Bauteil ausgewählt, bietet DTE® bauteilspezifische Funktionen über ein Menü an, das durch Anklicken der RMT hervorgerufen wird. Die meisten dieser Funktionen können auch direkt aus dem Programmsteuerungsfenster gestartet werden (s. S. 11).

In der folgenden Kurzbeschreibung der Menüs zeigen die Symbole neben dem Text eine alternative Aufrufmöglichkeit über die DTE®-Steuerbuttons.



### **Berechnung → Stabwerk bearbeiten**

Aufruf des unter Abs. 1.4, S. 11, beschriebenen Programmsteuerungsfensters.

### **Berechnung → Stabwerk definieren**

Aufruf des unter Abs. 2, S. 15, beschriebenen Eingabemoduls. Ein Doppelklick auf das Bauteil-Symbol ist hierbei die einfachere Variante des Aufrufs.

### **Berechnung → Drucklistengestaltung**

Aufruf des Moduls zur Gestaltung der Ergebnisdrucklisten. Näheres s. Abs. 7, S. 99 ff.

### **Berechnung → Stabwerk berechnen**

Aufruf des Berechnungsprogramms.

### **Berechnung → Ergebnisse visualisieren**

Aufruf des Ergebnisvisualisierungsmoduls. Näheres s. Abs. 8, S. 102 ff.

### **Berechnung → Fehlerstatus anzeigen**

Abrufen von Warnungen und Fehlermeldungen bzgl. des letzten Rechenlaufs.

### **Berechnung → Hilfe**

Aufruf der Online-Hilfe.



### **Druckausgabe → drucken**

Aufruf der Druckausgabe.

### **Druckausgabe → aktualisieren**

Durch diesen Aufruf werden die Drucklisteninhalte aktualisiert.



### **Planerstellung**

Aufruf des Planerstellungsmoduls. Da ##-FRAP von sich aus keine Pläne erstellt, erfolgt in diesem Handbuch keine Beschreibung des Planerstellungsmoduls. Der interessierte Leser findet Informationen im Handbuch ##-ALFA – Platten-Scheiben-Faltwerke – Allgemeine Erläuterungen zur Bedienung.



### **Datenzustand**

Aufruf des Eigenschaftsblatts *Datensicherung* gemäß Abs. 1.3, S. 10.



### **kopieren**

Erstellung einer Bauteilkopie gemäß Abs. 1.2, S. 10.



### **löschen**

das Bauteil löschen.



### **sonstiges → Bezeichnung**

Ändern des Bauteilnamens und der Zusatzbezeichnung.

### **sonstiges → Bemerkungen**

Bemerkungen zum Bauteil eingeben. Druckliste *Bemerkungen* bearbeiten.

### **sonstiges → Geschichte**

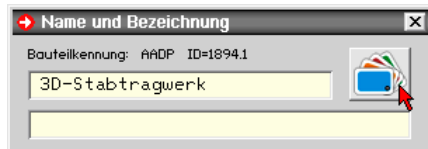
Abrufen des Geschichtsprotokolls zum Bauteil.

### **sonstiges → Problemklasse**

Kontrollieren und Ändern der Problemklasse.

## Beispieldatensätze

Um die in den nachfolgenden Kapiteln erläuterten Funktionen nachvollziehen zu können, ist es sinnvoll, einen Beispieldatensatz von der [pcae-Website](#) zu laden. Hierzu muss der Rechner an das Internet angeschlossen sein. Richten Sie wie unter Abs. 1.1 beschrieben ein neues Bauteil ein und klicken den in der Abb. markierten Button an.

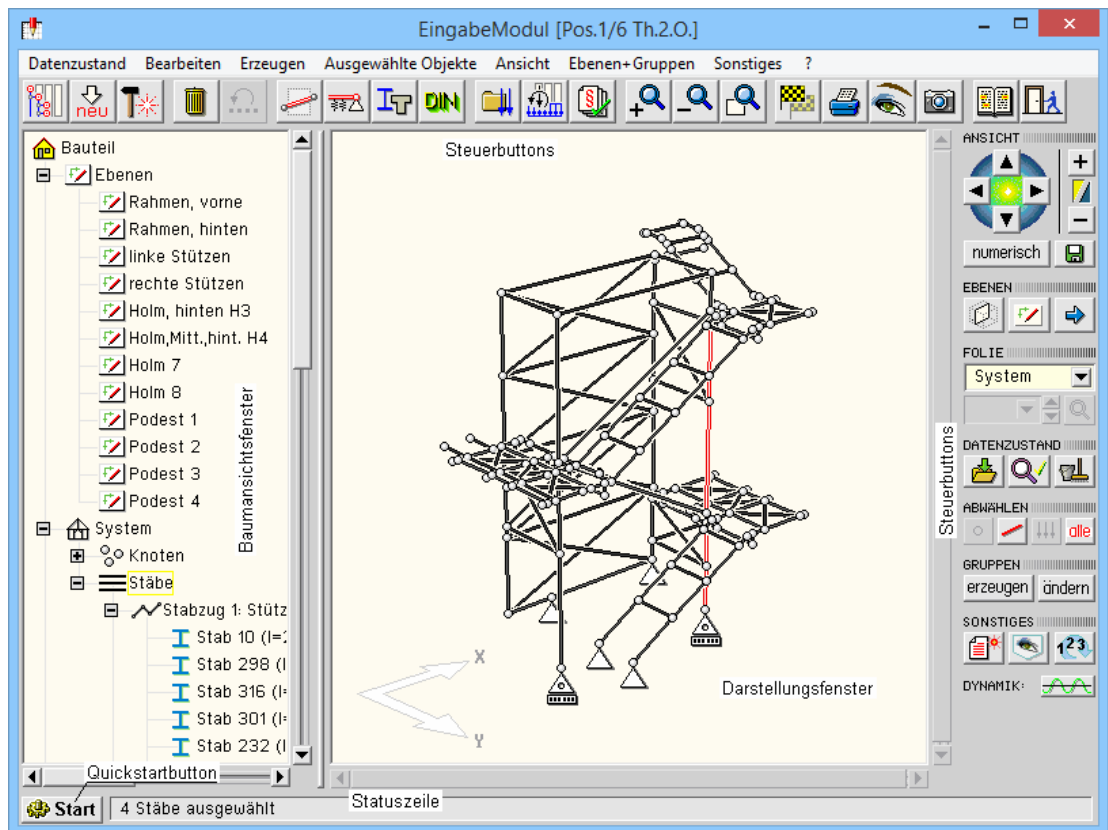


3D-Stabtragwerk

Im Register *pcae-Beispiele* wird einer der vorliegenden Datensätze gewählt. Nach zweimaligem Bestätigen über den grünen **Haken** wird das Bauteil auf den DTE®-Schreibtisch geladen.

## Grafisches Eingabemodul

Nachfolgend ist die Oberfläche im Normalzustand des grafischen Eingabemoduls von #FRAP dargestellt. Das Darstellungsfenster, das das zu bearbeitende System enthält, wird am oberen und rechten Rand von **Interaktionselementen (Buttons)** begrenzt. Im unteren Bereich weist die Statuszeile nützliche Informationen aus.



Nachfolgend werden die Interaktionselemente in Form einer Übersicht mit Verweis auf die einzelnen Kapitel, in denen die Buttons näher beschrieben werden, vorgestellt.



Systemtabelle  
und Baumansicht

### Systemtabelle und Baumansicht

Zugang zur Baumansicht der Objekte, zur tabellarischen Bearbeitung von Knoten- und Stabverzeichnis und zur Vorgabe von Anmerkungen. S. Abs. 2.2.4, Knoten und Stäbe tabellarisch bearbeiten, S. 23, Abs. 2.6.7, Baumansicht, S. 72, und Abs. 2.6.14, S. 80.



erzeugen und  
generieren

### Objekte erzeugen

Erzeugung neuer Objekte: Hier können einzelne Knoten und Stäbe erzeugt, Knoten- und Stabraster orthogonal bzw. rotationssymmetrisch generiert sowie Knoten und Stäbe über Text- und DXF-Datei importiert werden.

In Lastfallfolien können ausgewählten Knoten und/oder Stäben Lastbilder zugeordnet werden. S. Abs. 2.2, Stäbe und Knoten erzeugen und modellieren, S. 19, und 2.4.3, Lastbilder erzeugen, S. 41.



ausgewählte  
Objekte  
bearbeiten

### aktivierte Objekte bearbeiten

Ausgewählte Objekte bearbeiten: Aktivierte Stäbe und Knoten können verschoben, verdreht oder vergrößert bzw. verkleinert werden.

In Lastfallfolien können ausgewählte Lastbilder vereinheitlicht und kopiert werden. S. Abs. 2.2.6, Objekte modellieren, S. 24, und Abs. 2.4.4, Lastbilder auswählen und vereinheitlichen, S. 48.



ausgewählte  
Objekte  
löschen

### aktivierte Objekte löschen

Ausgewählte Objekte (Knoten, Stäbe, Lastbilder) werden über den dargestellten Button ohne Rückfrage gelöscht. Die Lösch-Aktion kann über die Undo-Funktion oder die Tastenkombination Strg-Z zurückgenommen werden.



### Rückgängig machen

Die Undo-Funktion nimmt Aktionen zurück oder stellt diese wieder her. S. Abs. 2.2.6.6, Undo-Redo-Funktion, S. 25.

Wiederherstellen



### Stabeigenschaften

Bearbeitung der Stabeigenschaften ausgewählter Stäbe. Hier werden exzentrische Anschlüsse, Gelenke und verdrehte Stabkoordinatensysteme festgelegt. S. Abs. 2.3.1, individuelle Stabgeometrie, S. 28.

individuelle Stabeigenschaften



### Lagerangaben

Bearbeitung der Knotenlager ausgewählter Knoten sowie Festlegung der elastischen Bettung ausgewählter Stäbe. S. Abs. 2.3.2, Lagereigenschaften, S. 32.

Lagerangaben



### Materialangaben

Material- und Querschnittsbeschreibung ausgewählter Stäbe. S. Abs. 2.3.3, Material- und Querschnittswerte, S. 34.

Querschnittsangaben



### Bemessungsangaben

Beschreibung der stabbezogenen Nachweisooptionen und Bemessungsangaben ausgewählter Stäbe. S. Abs. 2.3.4, stabbezogene Nachweisooptionen und Bemessungsangaben, S. 39.

stabbezogene Bemessungsoptionen



### Einwirkungen und Lastfälle verwalten

Beschreibung der Einwirkungen und der darunter befindlichen Lastfälle. S. hierzu gesondertes Handbuch *das pcae-Nachweiskonzept*.

Einwirkungen und Lastfälle definieren



### Lastbilder tabellarisch bearbeiten

Lastfallübergreifende tabellarische Zusammenstellung und Bearbeitung der Lastbilder. S. Abs. 2.4.6, Lastbilder tabellarisch bearbeiten, S. 49.

tabellarische Bearbeitung der Lastbilder



### Nachweise verwalten

Nachweise definieren und bearbeiten. S. hierzu gesondertes Handbuch *das pcae-Nachweiskonzept*.

Nachweise



### Ausschnitte

Ausschnittsvergrößerungen, Zoomen. S. Abs. 2.1.5, in Ausschnitte zoomen, S. 18.

Ausschnitt anpassen



### Kontrollpunkte

Vorgabe von Orten zur Ausgabe detaillierter Überlagerungs- und Nachweisergebnisse und zum Export von Schnittgrößen zur Übergabe an Detailnachweisprogramme. S. Abs. 2.6.12, S. 2.6.12.

Kontrollpunkte bearbeiten



### Eigenschaften der Systemdruckliste

Druckoptionen, Detailnachweispunkte. S. Abs. 2.6.9, Drucklisteneinstellungen, S. 73.

Druckoptionen



### Darstellungseigenschaften

Eigenschaften der Darstellung verändern. S. Abs. 2.6.4, Darstellungsoptionen, S. 68.

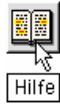
Darstellungsoptionen



### Fotodarstellung

Fotorealistische Darstellung des Systems. S. Abs. 2.6.8, fotorealistische Darstellung, S. 72.

fotorealistische Darstellung



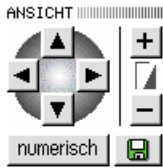
## Hilfe

Aufruf der Online-Hilfe



## Endebehandlung

Ende der grafischen Eingabe, letzte Einstellungen zum nachfolgenden Rechenlauf. S. Abs. 2.8, Endebehandlung, S. 88.



## Kameraposition

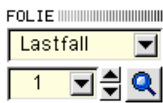
Schaltknöpfe zur Änderung der räumlichen Ansicht. Hiermit kann das System horizontal und vertikal verdreht und durch Veränderung der Entfernung der Kameraposition vom Objekt gespreizt werden. Die Kameraposition kann numerisch festgelegt werden. Die aktuelle Ansicht kann system- bzw. lastfallabhängig gespeichert und wieder geladen werden.

S. Abs. 2.1.1, System drehen, S. 18, bis Abs. 2.1.4, Blickrichtungen speichern und aktivieren, S. 18.



## zwischen 3D- und Ebenendarstellung umschalten

Definition und Auswahl unterschiedlicher Ebenen. S. Abs. 2.6.1, Arbeiten in Ebenen, S. 52.



## System- und Lastfallfolien aktivieren

Wechsel zwischen System-, Lastfall-, Imperfektions- und Massenfolien. S. Abs. 2.4.1, Organisation der Belastung, S. 40.



## Datenzustand bearbeiten

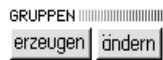
Mit den nebenstehend dargestellten Buttons kann der aktuelle Datenzustand global gesichert werden. Hinter dem Lupensymbol verbirgt sich die Datenzustandskontrolle. Der dritte Button ruft die geometrische Bereinigungsfunktion auf.

S. Abs. 2.6.10, Sicherungen, S. 74, und Abs. 2.6.11, Sonstige Datenzustandsoperationen, S. 74.



## Objekte abwählen

Abwahl der aktuell ausgewählten Knoten, Stäbe und Lastbilder. S. Abs. 2.2.5, Objekte aus- und abwählen, S. 23.



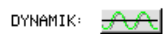
## Objektgruppen bearbeiten

Erzeugung und Bearbeitung von Stabgruppen. S. Abs. 2.6.2, Gruppenbildungen, S. 56.



## Sonstiges

Bearbeitung von Auswahllisten, Sichtbarkeitsstatus und Nummerierungen. S. Abs. 2.6.6, Sichtbarkeitsstatus, S. 71.



## Dynamikeingaben

Bearbeitung der Dynamikoptionen. Nur zugänglich, wenn Dynamikmodul installiert ist.

S. Abs. 2.7, Dynamikmodul, S. 81.



## Quickstart-Button

Alternativ zum unter Abs. 1.4, S. 11, beschriebenen Programmsteuerungsfenster können Berechnungsmodul und Nachlaufprogramme auch aus der Grafischen Eingabe heraus gestartet werden. S. Abs. 2.6.13, S. 79.



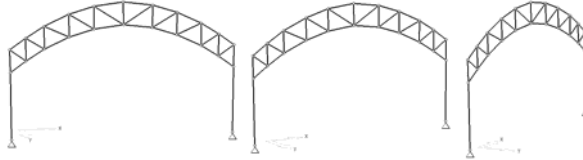
Zu den Arbeitshilfen *Werkzeugleiste* und *Tastaturkürzel* s. Abs. 3.1, S. 89, bzw. Abs. 3.2, S. 90. Die Funktion des Mousrads wird in Abs. 3.3, S. 93, beschrieben.

## 2.1 Navigieren im Darstellungsfenster

### 2.1.1 System drehen



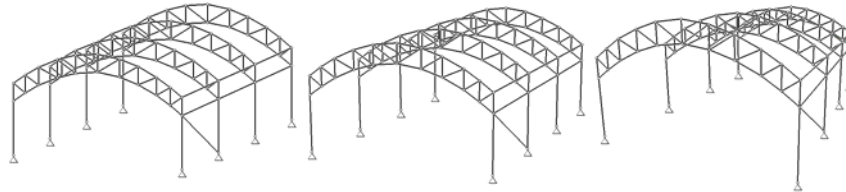
Mit Hilfe der nebenstehend dargestellten Buttons kann das System im Darstellungsfenster vertikal und horizontal **gedreht** werden. Halten Sie hierzu die Maustaste solange auf dem entsprechenden Pfeil gedrückt, bis das System die gewünschte Position eingenommen hat.



### 2.1.2 Kameraentfernung verändern



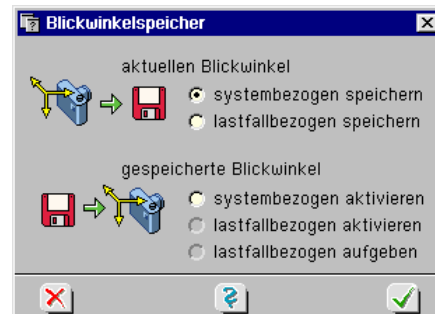
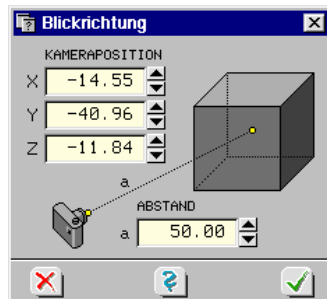
Mit Hilfe der dargestellten Buttons lässt sich die Entfernung der **Kameraposition** vergrößern (+) und verkleinern (-). Dies bewirkt eine Spreizung des Systems. Während eine große Entfernung dafür sorgt, dass die Darstellung in eine Parallelperspektive übergeht, wird eine sehr geringe Entfernung eine unrealistisch große Spreizung bewirken.



### 2.1.3 Blickrichtung numerisch einstellen

numerisch

Nach Anklicken des hier dargestellten Buttons erscheint ein Eigenschaftsblatt, in dem die Kameraposition numerisch festgelegt werden kann.



### 2.1.4 Blickrichtungen speichern und aktivieren



Die aktuelle **Blickrichtung** kann system- bzw. lastfallbezogen gespeichert werden (s. o.). Eine derart gespeicherte Blickrichtung kann zu einem späteren Zeitpunkt wieder aktiviert werden.



Die System- und Lastfallgrafiken in der Druckliste verwenden die gespeicherten Kamerapositionen, um die Zeichnungen aus einem jeweils optimalen Blickwinkel darzustellen.

### 2.1.5 in Ausschnitte zoomen



Wird der nebenstehend dargestellte Button angeklickt, erscheint ein Fadenkreuz im Darstellungsfenster, das zur Auswahl eines Ausschnitts dient. Klicken Sie mit der Maus den Eckpunkt eines gedachten rechteckförmigen Ausschnitts an und ein Rechteck erscheint, das mit der Maus beliebig aufgezogen werden kann. Ein weiterer Mausklick legt den Ausschnitt fest, der sodann optimal in das Darstellungsfenster eingepasst wird. Mit Hilfe der Schiebescalier, die sich am rechten und unteren Rand des Darstellungsfensters befinden, kann der gewählte Ausschnitt verschoben werden.



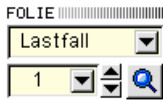
Die letzte Ausschnittsauswahl wird durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Buttons rückgängig gemacht. Es findet ein Rücksprung auf die vorherige **Zoomebene** statt.



Befindet sich die Interaktion in einem gezoomten Ausschnitt, kann durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Buttons erreicht werden, dass das Gesamtsystem optimal ins Darstellungsfenster eingepasst wird.

### 2.1.6

#### Folientechnik



Auch die **Folientechnik** ist letztlich ein Navigationsinstrument.

Auf oberster Ebene wird hierbei zwischen System, Lastfällen, Imperfektionen und Massen unterschieden. Es gibt nur eine System- und eine Massenfolie, jedoch jeweils bis zu 999 Lastfall- und Imperfektionsfolien. Die Auswahl der aktuellen Folie erfolgt mit den nebenstehend dargestellten Interaktionselementen. Speziell das Lupensymbol kann dazu genutzt werden, nach bestimmten bereits definierten Lastfall- bzw. Imperfektionsfolien zu suchen.



### 2.1.7

#### Fenstergröße verändern

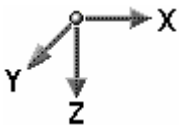


Wie unter Windows üblich, kann die **Fenstergröße** des grafischen Eingabemoduls durch Verschieben der Fensterränder bzw. -ecken vergrößert und verkleinert werden. Die nebenstehend dargestellten Symbole schicken das Fenster in die Windows-Taskleiste, vergrößern es optimal und brechen den Eingabeprozess ohne Speicherung des aktuellen Datenzustands ab (von links nach rechts).

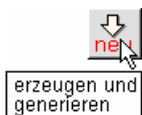
## 2.2

### Stäbe und Knoten erzeugen und modellieren

#### Netzwerk



Dieses Kapitel befasst sich mit der Erzeugung und Änderung des Stabwerks. Hierbei wird zunächst ein Stab als geradlinige Verbindung zwischen zwei Knotenpunkten angesehen. Das Stabwerk reduziert sich also auf ein Netzwerk bestehend aus Knoten, deren dreidimensionale Koordinaten festzulegen sind, und aus Stäben, die die Knoten miteinander verknüpfen. Knoten und Stäben sind eindeutige Nummern zugeordnet, über die sie identifiziert werden können. Die Knotenkoordinaten werden in einem globalen, rechtshändigen, kartesischen X,Y,Z- **Koordinatensystem** beschrieben. Hierbei zeigt die Z-Koordinate in Richtung der Schwerkraft nach unten. Diese Festlegung ist zum einen wichtig für die Darstellung des Systems (am Bildschirm und in der Druckliste) zum anderen für die Interpretation der Eigengewichtslasten, die stets in Z-Richtung wirken.



Zur Erzeugung neuer Objekte dient der Button **erzeugen und generieren**, der das rechts dargestellte symbolische Untermenü hervorruft. Die nachfolgend besprochenen Aktionen werden aus diesem Untermenü gestartet.



### 2.2.1

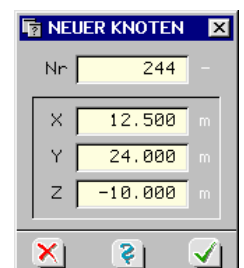
#### Knoten und Stäbe erzeugen



Um einen einzelnen Knoten zu erzeugen, klicken Sie das nebenstehend dargestellte Symbol an. In dem daraufhin erscheinenden Eigenschaftsblatt werden die Knotennummer und seine X, Y, und Z- Koordinaten festgelegt. Nach **Bestätigen** des Eigenschaftsblatts erscheint der Knoten im Darstellungsfenster.



Zur **Staberzeugung** klicken Sie auf das nebenstehend dargestellte Symbol. Es erscheint ein Fadenkreuz im Darstellungsfenster mit dessen Hilfe Anfangs- und Endknoten des neuen Stabes angeklickt werden.



In der 3D-Bearbeitung müssen die Knoten im Darstellungsfenster bereits existieren. In der **Ebenenbearbeitung** (s. S. 52) wird ein Knoten automatisch erzeugt, wenn beim Anklicken der Maustaste kein Knoten getroffen wurde.



Der Anfangsknoten wird mit der LMT angeklickt. Durch Anklicken des Endknotens mit der LMT wird nur ein Stab erzeugt und der Erzeuge-Modus verlassen. Durch Anklicken des Endknotens mit der RMT können weitere Stäbe im Rhythmus LMT-RMT erzeugt werden bis LMT-LMT geklickt oder die Esc-Taste gedrückt werden.



## 2.2.2

### Knoten und Stäbe generieren

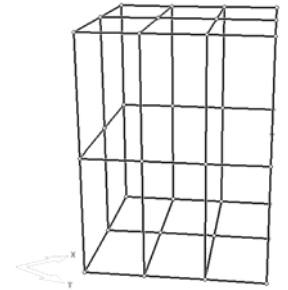
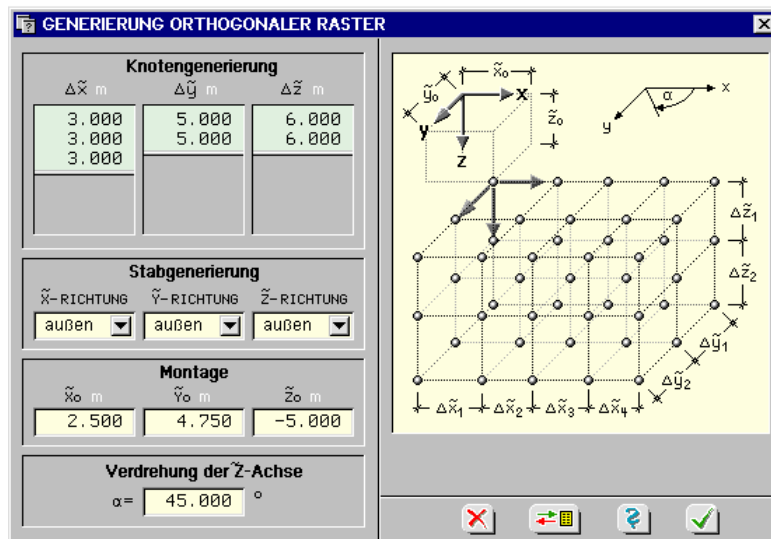
Die Generierung ermöglicht es, eine große Anzahl von Knoten und Stäben mit einem "Kommando" zu erzeugen. Selbst dann, wenn das zu berechnende System nicht direkt aus einer der nachfolgenden Generierungsmöglichkeiten gewonnen werden kann, ist es oftmals sinnvoll, von den Generierungsmöglichkeiten Gebrauch zu machen, da anschließende Modellierungsoperationen wie Verschieben, Rotieren, Vergrößern und Löschen auf bestehende Objekte angewandt eine Anpassung an das Endsystem erlauben.

#### 2.2.2.1

#### orthogonale Raster generieren



Über den dargestellten Button können orthogonal gerasterte Systeme generiert werden.



**Differenzkoordinaten** Bei der orthogonalen Knoten- und Stabgenerierung werden in einer Tabelle  $\Delta x$ -,  $\Delta y$ - und  $\Delta z$ -Werte des zu generierenden Quaders angegeben. Zur Generierung kann pro Richtung festgelegt werden, ob nur Knoten, nur die äußeren Stäbe oder alle Stäbe generiert werden sollen.

#### Platzierung



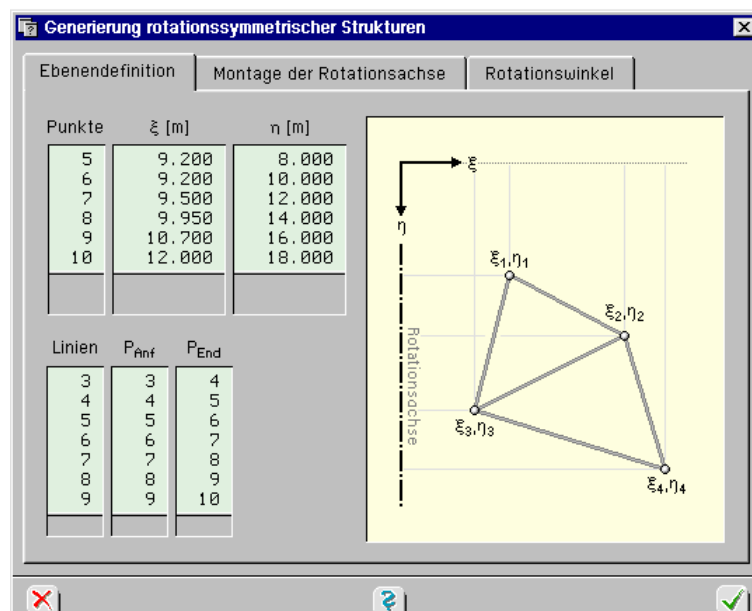
Der neue Quader kann durch Vorgabe eines Koordinatennullpunkts und eines Drehwinkels beliebig in den 3D-Raum platziert werden. Mit Hilfe des Kopierbuttons können die aktuellen Festlegungen des Eigenschaftsblatts gesichert werden.



Wird der **bestätigen**-Button gedrückt, erscheinen die generierten Knoten und Stäbe im Objektfenster (u.U. zusätzlich zu den bereits existierenden Objekten). Die Grafik zeigt auf der rechten Seite das Ergebnis der Eingaben im oben dargestellten Eigenschaftsblatt.

#### 2.2.2.2

#### rotationssymmetrische Raster generieren



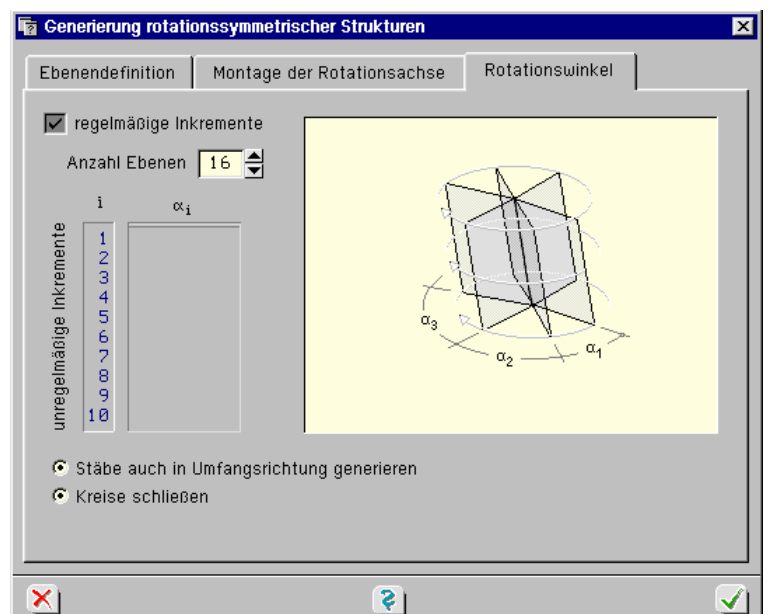
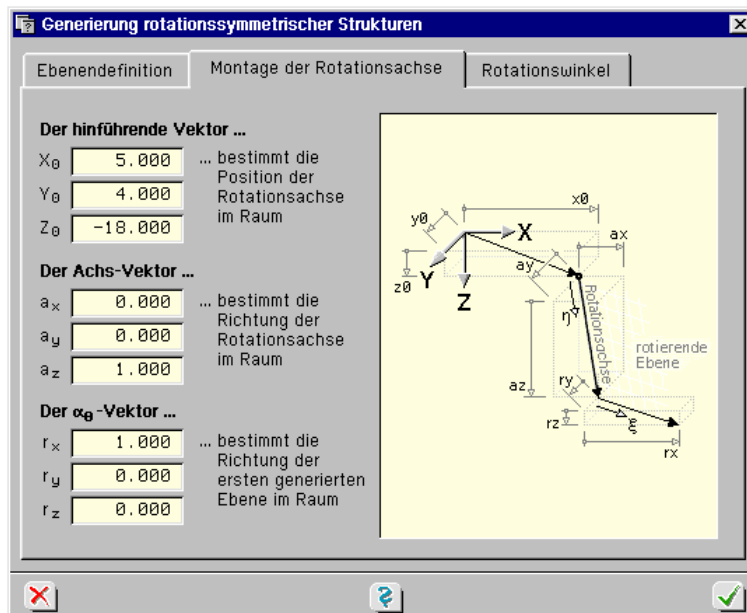




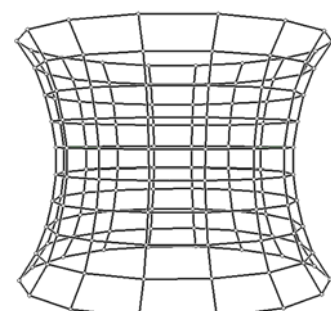
rotationssymmetrisches  
Raster generieren

Wie auf der vorhergehenden Seite dargestellt, werden bei der rotationssymmetrischen Generierung zunächst Knoten und Stäbe in einer  $\xi$ - $\eta$ -Ebene definiert. Hierbei ist die  $\eta$ -Achse gleichzeitig als räumliche Rotationsachse zu verstehen, die durch Vorgabe dreier Vektoren in den 3D-Raum transportiert werden kann.

Um von der Ebenendefinition in die Montagedefinition zu gelangen (und umgekehrt), sind die entsprechenden Registerblätter anzuklicken. Weitere mögliche Einstellungen können den Bildern in den Eigenschaftsblättern entnommen werden.



Wird in den o. a. Eigenschaftsblättern der **bestätigen**-Button gedrückt, erscheinen die generierten Knoten und Stäbe im Objektfenster (u.U. zusätzlich zu den bereits existierenden Objekten). Die Grafik zeigt das Ergebnis der oben protokollierten Eingaben.



## 2.2.3

### Knoten und Stäbe importieren



Über das nebenstehend dargestellte Symbol können Knoten und Stäbe aus einer externen Datei importiert werden. Hierbei kann zwischen einer normalen Textdatei und einer **DXF-Datei** gewählt werden.

#### 2.2.3.1

##### Datenimport aus einer Textdatei

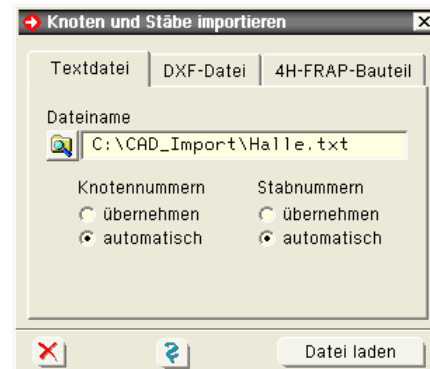
Nach Aktivierung des Registers *Textdatei* erwartet das grafische Eingabemodul eine Textdatei, in der in einem bestimmten Format Knoten und Stabinformationen abgelegt sind. Der Name dieser Datei muss hierzu in dem Eigenschaftsblatt angegeben werden. Mit Hilfe des Explorers kann nach der Datei gesucht werden.

Als Formatbeispiel ist die nachfolgende Textdatei angegeben, die ein einfaches Quadrat bestehend aus vier Knoten und vier Stäben darstellt.

##### Formatbeispiel

```
KNOTENVERZEICHNIS
101 10.50 25.30 -5.00
102 10.50 30.00 -5.00
103 15.20 30.00 -5.00
104 15.20 25.30 -5.00

STABVERZEICHNIS
1001 101 102
1002 102 103
1003 103 104
1004 104 101
```



Die Steuerworte KNOTENVERZEICHNIS und STABVERZEICHNIS müssen in Großbuchstaben geschrieben und linksbündig in der Textdatei angegeben werden. Sie leiten die jeweils zugeordnete Tabelle ein. Im Knotenverzeichnis werden die Knoteninformationen in der Reihenfolge {Knotennummer, X-Koordinate, Y-Koordinate, Z-Koordinate} zeilenweise angegeben. Das Stabverzeichnis enthält Informationen zu den Stäben {Stabnummer, Nummer des Anfangsknotens, Nummer des Endknotens}.

In dem Eigenschaftsblatt kann zusätzlich festgelegt werden, ob die Nummern der Knoten und Stäbe aus der Datei übernommen oder automatisch neu generiert werden sollen.

#### 2.2.3.2

##### Datenimport aus einer DXF-Datei

DXF ist ein von der Fa. Autodesk entwickelter Industriestandard zum Austausch von CAD-Daten. Um den Datenimport via DXF zu aktivieren, muss das Register DXF-Datei angeklickt werden.

Der **Datei laden**-Button startet das eigenständige DXF-Filterprogramm.

Die Beschreibung dieses Programms erfolgt unter Kap. 11 (S. 93).



#### 2.2.3.3

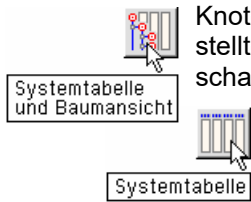
##### Datenimport aus einem #-FRAP-Bauteil

Der Datenimport aus einem #-FRAP-Bauteil ermöglicht die Zusammenführung getrennt erstellter #-FRAP-Eingabedatensätze. Nach Anklicken des markierten Buttons werden alle auf den vorhandenen Schreibtischen befindlichen #-FRAP-Bauteile zum Import angeboten.



## 2.2.4

### Knoten und Stäbe tabellarisch bearbeiten



Knoten und Stäbe können auch tabellarisch bearbeitet werden. Hierzu müssen die links dargestellten Buttons in der angegebenen Reihenfolge angeklickt werden. Es erscheint ein Eigenschaftsblatt zur Bearbeitung von **Knoten-** und **Stabverzeichnis**.

KNOTENKOORDINATEN					STABVERZEICHNIS		
	Knoten-nummer	X-Koord. m	Y-Koord. m	Z-Koord. m	Stab-nummer	Anfangs-knoten	End-knoten
1	1	16.087	8.592	-18.000	1	1	2
2	2	14.886	8.095	-16.000	2	2	3
3	3	14.193	7.808	-14.000	3	3	4
4	4	13.777	7.635	-12.000	4	4	5
5	5	13.500	7.521	-10.000	5	5	6
6	6	13.500	7.521	-8.000	6	6	7
7	7	13.777	7.635	-6.000	7	7	8
8	8	14.193	7.808	-4.000	8	8	9
9	9	14.886	8.095	-2.000	9	9	10
10	10	16.087	8.592	0.000	10	10	11
11	11	13.485	12.485	-18.000	11	11	12
12	12	12.566	11.566	-16.000	12	12	13
13	13	12.036	11.036	-14.000	13	13	14
14	14	11.718	10.718	-12.000	14	14	15
15	15	11.505	10.505	-10.000	15	15	16
16	16	11.505	10.505	-8.000	16	16	17
17	17	11.718	10.718	-6.000	17	17	18
18	18	12.036	11.036	-4.000	18	18	19
19	19	12.566	11.566	-2.000	19	19	20
20	20	13.485	12.485	0.000		1	11
21	21	9.592	15.087	-18.000			
22	22	9.095	13.886	-16.000			
23	23	8.808	13.193	-14.000			
24	24	8.635	12.777	-12.000			
25	25	8.521	12.500	-10.000			

Hierin können Knotenkoordinaten und Stabverknüpfungen geändert, neue Knoten und Stäbe hinzugefügt bzw. gelöscht werden. Wichtig ist dabei, dass Knoten, auf die in der Stabtablelle Bezug genommen wird, auch tatsächlich in der Knotentabelle aufgeführt sind.

## 2.2.5

### Objekte aus- und abwählen

**Objekte anklicken** Objekte (Knoten, Stäbe, Lastbilder), die im Darstellungsfenster des Eingabemoduls dargestellt werden, können aus- und wieder abgewählt werden. Ein einfacher Mechanismus zur Auswahl erfolgt durch Anklicken des Objekts mit der Maus (linke Maustaste verwenden). Durch diese Operation verändert sich die Farbe des Objekts: ausgewählte Objekte werden in grellem Rot, nicht ausgewählte Objekte in dunkleren Farbtönen (schwarz, grau, dunkelblau) dargestellt. Die Abwahl eines ausgewählten Objekts kann ebenfalls per Mausklick erreicht werden.

**Objekte umfahren** Objekte können durch Umfahren ausgewählt werden. Hierzu muss der Mauszeiger in der gedachten Ecke eines umgebenden Rechtecks positioniert werden. Die Maus wird mit heruntergedrückter LMT zur gegenüberliegenden Ecke des sich nun aufspannenden Rechtecks geführt. Beim Lösen der Maustaste werden alle Objekte ausgewählt, die sich vollständig im Rechteckbereich befinden. Auch die Abwahl ausgewählter Objekte kann auf diese Weise durchgeführt werden.



Objekte können durch die nebenstehend dargestellten Abwahlbuttons abgewählt werden. Von links nach rechts gelesen bewirken sie

- die Abwahl aller ausgewählten Knoten
- die Abwahl aller ausgewählten Stäbe
- die Abwahl aller ausgewählten Lastbilder
- die Abwahl aller ausgewählten Objekte insgesamt.

In der Statuszeile des grafischen Eingabemoduls findet sich i.d.R. eine Meldung, die über den Zustand der ausgewählten Objekte Auskunft gibt. Hier könnte beispielhaft die Information stehen

#### Statuszeile

*27 Stäbe, 18 Knoten und 56 Lastbilder ausgewählt.*

Weitere Möglichkeiten zur Auswahl von Knoten und Stäben finden Sie unter

Abs. 2.6.2, Gruppenbildungen, S. 56, und

Abs. 2.6.4.3, Objekte auswählen, S. 70.

Mit ausgewählten Objekten können bestimmte Operationen durchgeführt werden. Als Beispiel seien hier die Zuweisung von Eigenschaften und die Durchführung der nachfolgend beschriebenen Modellierungsoperationen genannt.

**Baumansichtsfenster** Alternativ zur Auswahl im Objektfenster können Objekte per einfachem Mausklick auch im Baumansichtsfenster aus- bzw. abgewählt werden. Ein ausgewähltes Objekt wird hier zur Kennzeichnung des besonderen Zustands gelb hinterlegt.



Sollen alle Objekte eines bestimmten Typs ausgewählt werden (z. B. alle Stäbe), kann hierzu im Baumansichtsfenster das zugeordnete Wurzelobjekt ( hier *Stäbe*) angeklickt werden.

## 2.2.6 Objekte modellieren



Um zu den hier zu besprechenden Funktionen zu gelangen, muss zunächst der nebenstehend dargestellte Button angeklickt werden. Er steht ganz allgemein für die Bearbeitung ausgewählter Objekte und kann nur aktiviert werden, wenn mindestens ein Objekt ausgewählt ist.

Es erscheint das rechts dargestellte symbolische Auswahlmenü. Die abgedunkelten Funktionen reagieren nur in der Ebenenbearbeitung (s. Abs. 2.6.1.3, S. 54).



### 2.2.6.1 Objekte verschieben



Sind Knoten und/oder Stäbe ausgewählt und wird der nebenstehend dargestellte Button aus dem oben besprochenen Auswahlmenü angeklickt, erscheint ein Eigenschaftsblatt zum Verschieben der ausgewählten Objekte auf dem Bildschirm.

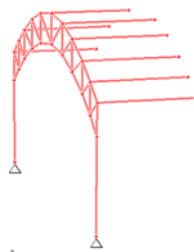
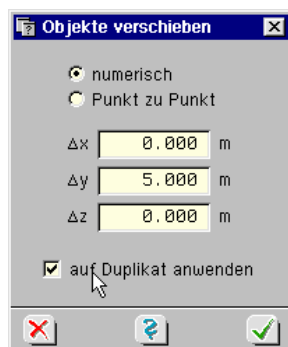
In dieses Eigenschaftsblatt müssen die Verschiebungssinkremente  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ , und  $\Delta z$  eingetragen werden.

#### duplizieren

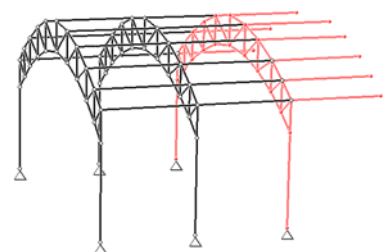


Sollen nicht die ausgewählten Objekte selbst, sondern zuvor erzeugte Duplikate der ausgewählten Objekte verschoben werden, muss der Button **auf Duplikat anwenden** eingedrückt sein. Nach **Bestätigen** des Eigenschaftsblatts wird die Aktion ausgeführt.

Das folgende Beispiel zeigt die Mächtigkeit des Verschiebewerkzeugs unter der Anwendung der Duplikatbildung.



Originalobjekt

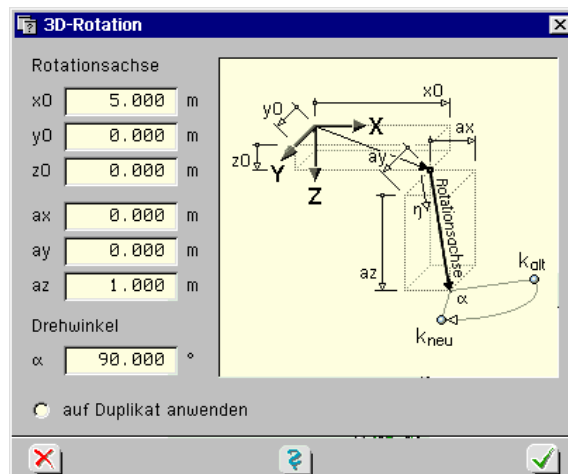


... und 2 x dupliziert und verschoben

### 2.2.6.2 Objekte verdrehen



Sind Knoten und/oder Stäbe ausgewählt und wird der nebenstehend dargestellte Button aus dem **bearbeiten**-Auswahlmenü angeklickt, erscheint ein Eigenschaftsblatt zur **Verdrehung** der ausgewählten Objekte auf dem Bildschirm.



- Drehachse** Zunächst ist die Drehachse im Raum festzulegen. Dies geschieht durch den hinführenden Vektor  $\{x_0, y_0, z_0\}$  sowie den Richtungsvektor  $\{a_x, a_y, a_z\}$ .
- Drehwinkel** Letztlich muss der Drehwinkel angegeben werden, mit dem sich die ausgewählten Objekte um die oben festgelegte Drehachse verdrehen sollen.
- Duplikat** Der Button **auf Duplikat anwenden** hat die gleiche Bedeutung wie bei der Verschiebeaktion (Abs. 2.2.6.1., S. 24).

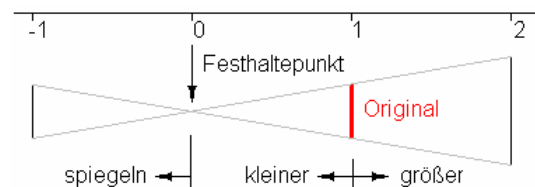
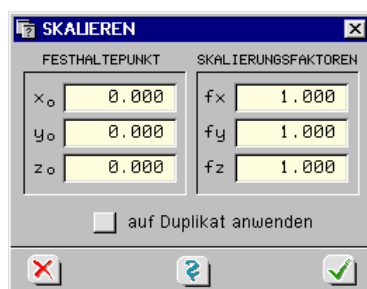
### 2.2.6.3 Objekte vergrößern, verkleinern



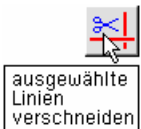
Sind Knoten und/oder Stäbe ausgewählt, erscheint über den nebenstehend dargestellten Button ein Eigenschaftsblatt zur Vergrößerung bzw. Verkleinerung und Spiegelung der ausgewählten Objekte auf dem Bildschirm.

Im linken Bereich sind die Koordinaten des Festhaltepunkts einzutragen. Von diesem Punkt aus werden alle ausgewählten Knoten strahlenförmig verschoben. Im rechten Bereich werden die Skalierungsfaktoren eingetragen.

Faktoren  $> 1$  vergrößern und Faktoren  $0 < \text{Faktor} < 1$  verkleinern die Objekte. Durch negative Faktoren wird eine Spiegelung erzielt.



### 2.2.6.4 Linien verschneiden



Die aktivierten Stäbe (Linien) werden auf gemeinsame Schnittpunkte hin überprüft. An den Schnittpunkten werden neue Knoten erzeugt und die Linien entsprechend unterteilt.

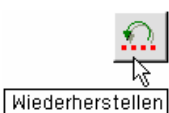
**Ebenenbearbeitung** Die in den letzten vier Absätzen besprochenen Funktionen können auch in der Ebenenbearbeitung genutzt werden, reagieren dort jedoch etwas anders, s. Abs. 2.6.1.3, S. 54.

### 2.2.6.5 Objekte löschen



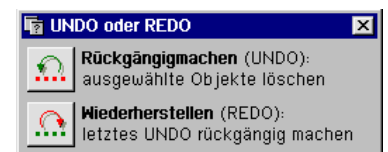
Ausgewählte Knoten, Stäbe und/oder Lastbilder werden über den dargestellten Button gelöscht. Eine absichernde Nachfrage erfolgt nicht, da die Aktion über den **Undo**-Button rückgängig gemacht werden kann.

### 2.2.6.6 Undo-Redo-Funktion



Mit Hilfe der Undo-Funktion können die letzten zehn Bearbeitungsschritte zurückgenommen bzw. wieder hergestellt werden.

Sind mehrere Arbeitsschritte betroffen, wird die gewünschte Änderungsrichtung abgefragt.



### 2.2.7 Doppelklick-Funktionen

**Individuelle Eigenschaftsblätter** Durch Doppelklicken eines Objekts (Knoten, Stab oder Lastbild) erscheint unabhängig vom Zustand ausgewählter Objekte das zugehörige individuelle Eigenschaftsblatt auf dem Bildschirm. Dieses Eigenschaftsblatt bietet Informationen bzgl. des Objektzustands sowie die Möglichkeiten, die Objekteigenschaften zu ändern.

### 2.2.7.1

## Einzelstabbearbeitung

Durch Doppelklick auf einen Stab erscheint das individuelle Stab-Eigenschaftsblatt.



Im rechten Bereich des Eigenschaftsblatts werden Datenzustandsinformationen zum aktivierten Stab angegeben. Im Bereich links oben können die Eigenschaften des Stabes bearbeitet werden.

Im Rahmen dieses Kapitels *Erzeugen und Modellieren* werden die Buttons im linken unteren Bereich beschrieben.

### 2.2.7.1.1

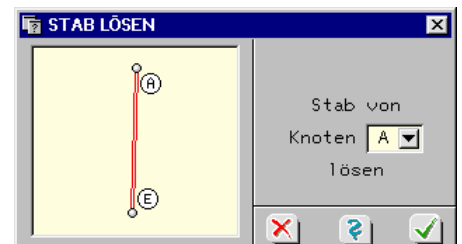
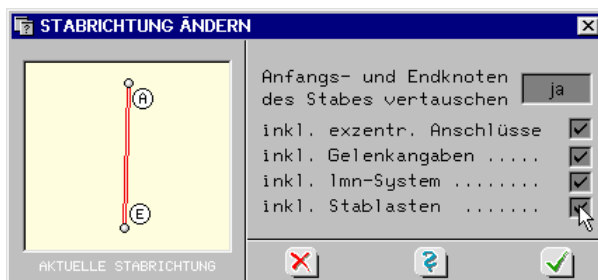
## Stabrichtung ändern



Stabrichtung ändern

Die Änderung der Stabrichtung vertauscht Stabanfangsknoten und Stabendknoten.

Über den Sinn der Stabrichtung wird auf S. 28 informiert. Dort werden ebenfalls die Begriffe *exzentrischer Anschluss*, *Gelenkangaben* und *I-m-n-System* erläutert.



### 2.2.7.1.2

## Stab von Knoten lösen



Stab von Knoten lösen

Bei der interaktiven Erzeugung von Stäben kann es passieren, dass aus Versehen ein falscher Anfangs- bzw. Endknoten angeklickt wurde.

Der Stab kann von einem seiner aktuellen Verbindungsknoten gelöst und einem anderen Knoten zugeordnet werden. Nachdem festgelegt wurde, ob der Stab von seinem aktuellen Anfangs- oder aber Endknoten gelöst werden soll, erscheint ein Fadenkreuz im Darstellungsfenster mit dem ein anderer Knoten ausgewählt werden kann. Der durch Anklicken ausgewählte Knoten wird der neue Verbindungsknoten des Stabes.

### 2.2.7.1.3

## Stablänge ändern



Stablänge ändern

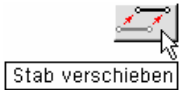
Die Stablänge des ausgewählten Stabes kann verändert werden. Neben der neuen Stablänge muss ein Festhaltepunkt festgelegt werden. Hierbei kann es sich um den Anfangsknoten (A), den Endknoten (E) oder um die Stabmitte handeln. Ausgehend vom Festhaltepunkt wird der Stab nach **Bestätigen** des Eigenschaftsblatts gedehnt oder gestaucht.



Die Stabausrichtung wird beibehalten. Die Änderung der Stablänge bewirkt die Verschiebung der mit dem Stab verbundenen Knoten in Richtung der Stabtangente.

#### 2.2.7.1.4

#### Stab verschieben

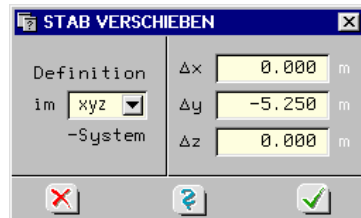


Der aktivierte Stab kann im Raum verschoben werden. Als Bezugskoordinatensystem kann wahlweise das globale X-Y-Z-Koordinatensystem oder das lokale l-m-n-Stabkoordinatensystem (s. S. 28) benutzt werden.



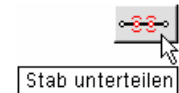
Die Verschiebungssinkremente  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  und  $\Delta z$  bzw.  $\Delta l$ ,  $\Delta m$  und  $\Delta n$  müssen für diese Aktion vorgegeben werden. Nach **Bestätigen** des Eigenschaftsblatts wird die Verschiebeaktion durchgeführt.

Die Verschiebung des Stabes entspricht der Verschiebung von Anfangs- und Endknoten des Stabes. Sind weitere Stäbe mit diesen Knoten verbunden, beeinflusst diese Aktion auch die Gestalt dieser Stäbe.



#### 2.2.7.1.5

#### Stab unterteilen



Mit Hilfe des nebenstehenden Buttons kann der Stab in mehrere Stäbe unterteilt werden. Dies ist gleichbedeutend mit der Generierung von Zwischenknoten.

**regelmäßig und unregelmäßig** Die Stabunterteilung kann regelmäßig (konstante Knotenabstände) oder unregelmäßig durchgeführt werden.

Bei regelmäßiger Teilung muss allein die Anzahl der Zwischenknoten angegeben werden. Bei unregelmäßiger Teilung sind die einzelnen Abschnittslängen in der hierfür aktivierten Tabelle einzugeben. Die Anzahl der eingetragenen Werte entspricht der Anzahl der zu generierenden Zwischenknoten.

#### Einzelabschnitte

Die Anzahl der sich insgesamt ergebenden Einzelabschnitte ist also jeweils um den Wert 1 größer. Dementsprechend muss die Summe der angegebenen Einzelabschnitte kleiner als die ursprüngliche Stablänge sein. Die Länge jedes Einzelabschnitts muss > 0 sein.

#### Messrichtung

Bei einer unregelmäßigen Einteilung kann weiterhin festgelegt werden, ob die angegebenen Einzelabschnitte vom Anfangsknoten (A) oder vom Endknoten (E) gemessen werden sollen.

#### 2.2.7.2

#### Einzelknotenbearbeitung

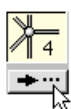
Durch Doppelklick auf einen Knoten erscheint das individuelle Knoten-Eigenschaftsblatt auf dem Bildschirm.

#### verschieben

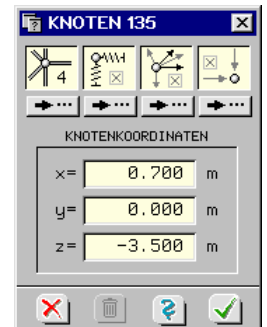
Im mittleren Bereich des Eigenschaftsblatts können die Knotenkoordinaten eingesehen und geändert werden.

#### Knoteneigenschaften

Im oberen Bereich des Eigenschaftsblatts besteht Zugriff auf die Knoteneigenschaften.



Die Stabverknüpfung zeigt die Konnektivität - mit wie vielen weiteren Stäben eine Verbindung besteht (hier 4) - an. Im aufgerufenen Eigenschaftsblatt werden diese Stäbe spezifiziert.





Die durch die anderen Buttons aufgerufenen Eigenschaftsblätter zu Lagerangaben und Knotenkoordinatensystem werden unter Abs. 2.3.2, S. 32, und zu den Knotenlasten unter Abs. 2.4.3.6, S. 43 erläutert.

## 2.3 Eigenschaften von Knoten und Stäben

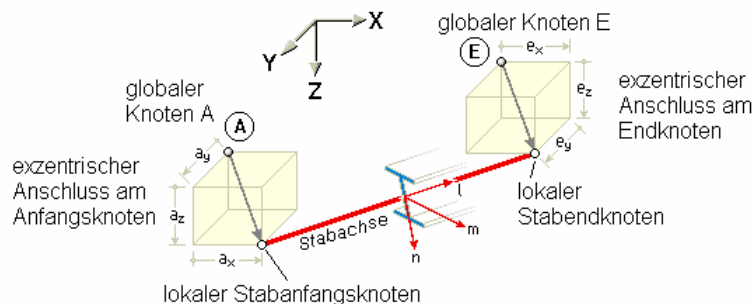
Während im vorhergehenden Kapitel 2.2 Stäbe ausschließlich als geradlinige Verbindungen zweier Knoten angesehen wurden und Knoten allein durch ihre Koordinaten im Raum definiert waren, bekommen Knoten und Stäbe in diesem Kapitel Eigenschaften, um sie zur Beschreibung des statischen Systems als 3D-Stubwerk tauglich zu machen.

### 2.3.1 individuelle Stabgeometrie

Die individuellen Eigenschaften beschreiben die Stabgeometrie zwischen den beiden globalen Knoten des Stabes sowie die Kraftgrößen, die er übertragen kann. Sofern keine Angaben über Exzentrizität oder Gelenkbedingungen vorliegen, ist der Stab elastisch an seine Anfangs- und Endknoten angebunden und überträgt alle sechs im Raum möglichen Schnittgrößen.

**Exzentrizitäten** Ausgehend vom globalen Anfangsknoten A führt eine starre Exzentrizität zum lokalen Stabanfangsknoten. Der (elastische) Stab ist die geradlinige Verbindung zwischen seinem lokalen Stabanfangsknoten und seinem lokalen Stabendknoten. Der lokale Stabendknoten kann wiederum über eine starre Exzentrizität mit dem globalen Endknoten E verbunden werden.

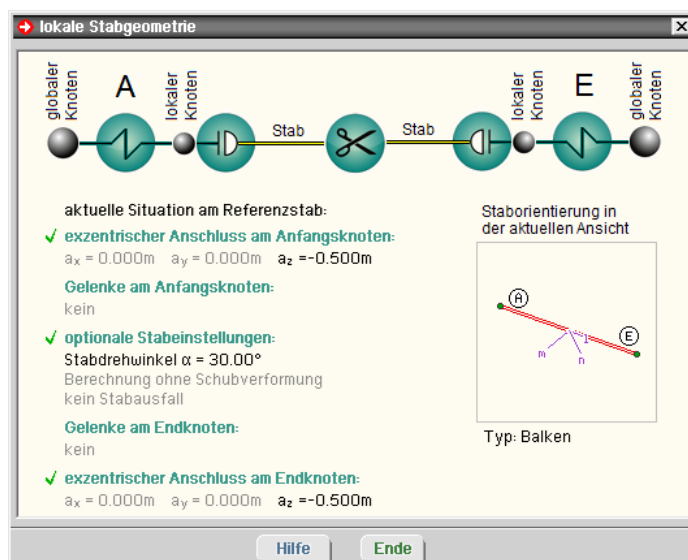
**Gelenke** Der Stab (zwischen seinen lokalen Stabknoten) verfügt über ein lokales l-m-n- Koordinatensystem sowie über Gelenkeigenschaften, die in den lokalen Stabknoten definiert werden. Die Zusammenhänge können der folgenden Skizze entnommen werden.



individuelle  
Stabeigenschaften

Der dargestellte Button wird in der Kopfleiste des grafischen Eingabemoduls immer dann angeboten, wenn mindestens ein Stab ausgewählt ist. Nach Anklicken des Buttons erscheint das Eigenschaftsblatt zur Festlegung der geometrischen Stabeigenschaften. Es ist die Steuerzentrale zur Bearbeitung von

- exzentrischen Anschlüssen am Anfangs- und Endknoten
- Gelenksituationen am Anfangs- und Endknoten
- der Staborientierung über den Stabdrehwinkel-





Das Eigenschaftsblatt weist den Überschriften zugeordnet vom Standard abweichende Einstellungen aus. Mit Hilfe der Buttons in der Kopfzeile - aber auch durch Anklicken der Überschriftenzeilen können die Eigenschaften bearbeitet werden.

### 2.3.1.1

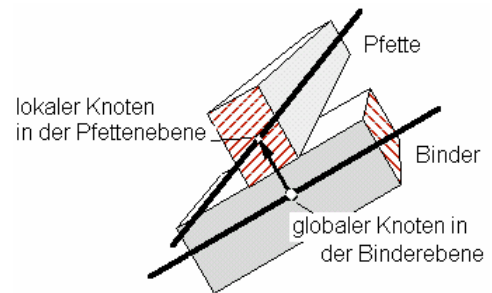
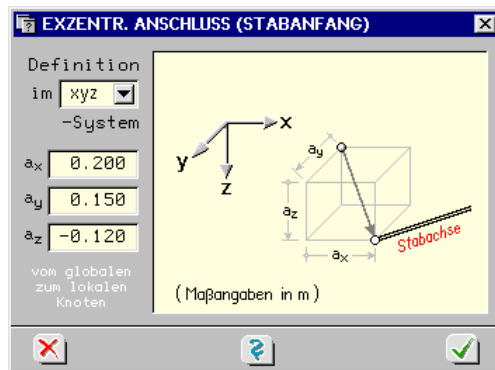
#### exzentrische Anschlüsse



Zur Definition der exzentrischen Anschlüsse sind die diesen Aktionen zugeordneten Bearbeitungsbuttons anzuklicken. In den so hervorgerufenen Eigenschaftsblättern wird der Abstand des lokalen Knotens vom globalen Knoten im X-Y-Z- oder im lokalen I-m-n- Stabkoordinatensystem festgelegt.

Die Voreinstellung der Exzentrizitäten für einen neu erzeugten Stab ist  $\{0, 0, 0\}$ . Hierdurch wird festgelegt, dass für alle Stäbe für die nicht ausdrücklich etwas anderes gesagt wird die geometrischen Orte der lokalen Knoten mit denen der globalen Knoten übereinstimmen.

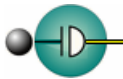
Das Bild rechts zeigt ein Beispiel für die Definition eines exzentrischen Anschlusses.



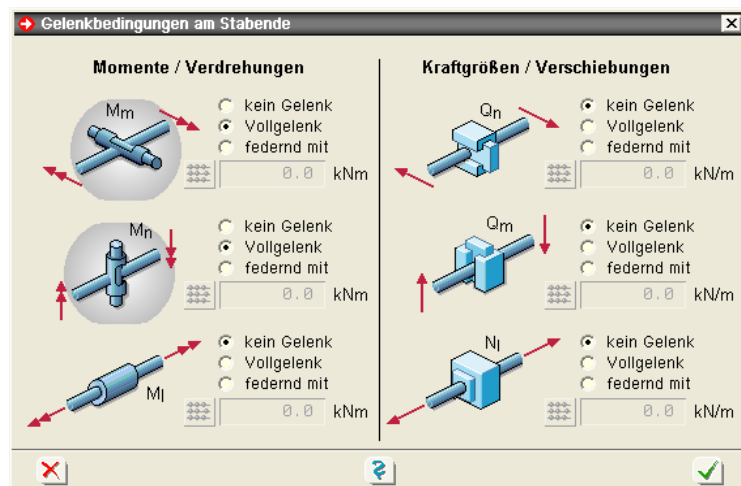
Die Systemlinien der Stäbe müssen immer mit dem Schwerpunkt des gegebenen Querschnitts übereinstimmen.

### 2.3.1.2

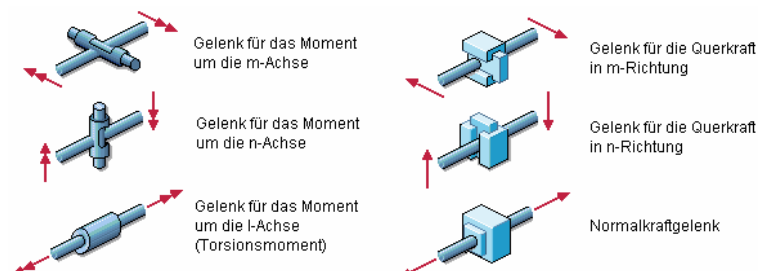
#### Gelenke



Zur Definition der Gelenke sind die den Aktionen zugeordneten Bearbeitungsbuttons anzuklicken.

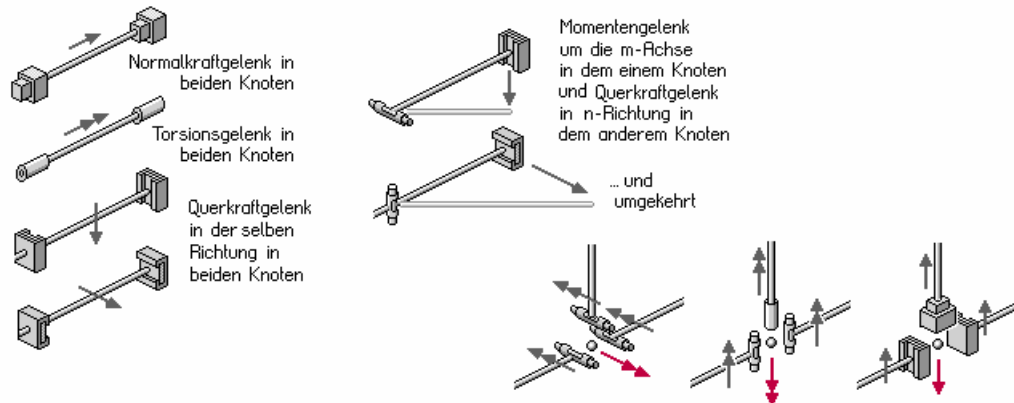


Gelenke werden im I-m-n-Stabkoordinatensystem in den lokalen Stabanfangs- und Stabendknoten definiert. Hierbei wird zwischen folgenden Gelenktypen unterschieden:



Gelenke können als Vollgelenke (keine Schnittgrößenübertragung in Richtung des gewählten Freiheits), als "kein Gelenk" (volle Schnittgrößenübertragung in Richtung des gewählten Freiheits), oder als "federnd" mit einer vorgegebenen Federkonstante ausgebildet werden. Letzteres dient z.B. dazu, die **Nachgiebigkeiten der Verbindungsmittel** zu simulieren.

Grundsätzlich kann eine beliebige Kombination aus den hier angebotenen Gelenktypen am lokalen Stabanfang wie auch am lokalen Stabende des betrachteten Stabes definiert werden. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass der Stab kinematisch unverschieblich und unverdrehbar mit dem Restsystem verbunden ist. Die nachfolgend dargestellten Kombinationen sind dementsprechend **unzulässig**.



Die Festlegung unzulässiger Gelenkkombinationen innerhalb eines Stabes wird vom grafischen Eingabemodul untersagt, indem Buttons, die nicht eingedrückt werden dürfen, blind gestellt werden.

Weiterhin muss auch jeder globale Knoten von den angeschlossenen Stäben hinreichend gehalten sein. Die in der o.a. Skizze angeführten drei Beispiele zeigen jeweils drei Stäbe, die mit demselben Knoten verknüpft sind. Durch die Wahl der Gelenke kann der Knoten eine Knotenkraft- bzw. ein Knotenmoment in rot skizzierter Richtung nicht mehr aufnehmen.

Ein Verstoß gegen diese Vorgabe kann vom grafischen Eingabemodul nicht automatisch überprüft werden. Letztlich sind für eine hinreichende kinematische Verträglichkeit im Sinne einer statischen Berechnung neben den Gelenkdefinitionen auch die Lagerangaben verantwortlich.

**Voreinstellung** für die Gelenksituation eines (neu erzeugten) Stabes ist "kein Gelenk", was die volle Kraftschlüssigkeit aller Schnittgrößen mit den angeschlossenen Knoten sicherstellt.

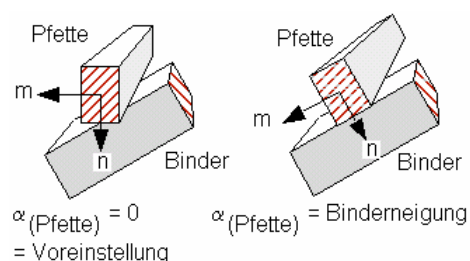
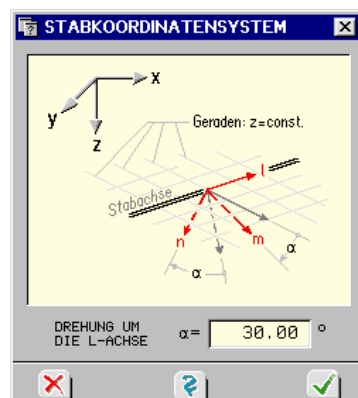
### 2.3.1.3 Stabkoordinatensystem

Zur Definition des lokalen l-m-n-Systems ist der entsprechende Bearbeitungsbutton anzuklicken. In #FRAP wird das lokale Stabkoordinatensystem zur

- Definition der Lage des Querschnitts
- Festlegung der Wirkungsrichtungen der Bettungsfedern
- Festlegung der Gelenkrichtungen (s.o.) und zur
- Festlegung lokaler Lastrichtungen benötigt.

Weiterhin werden die Verformungen des Stabes nach ihrer Berechnung im l-m-n-System ausgegeben.

#### 2.3.1.3.1 Stabdrehwinkel



Da die lokale I-Achse grundsätzlich vom lokalen Anfangsknoten zum lokalen Endknoten zeigt, kann das I-m-n-Koordinatensystem durch Vorgabe eines Winkels  $\alpha$ , der die Achsen m und n um die Achse I verdreht, definiert werden.

#### Voreinstellung

Für  $\alpha = 0$  gilt als voreingestellt, dass die m-Achse parallel zur globalen X-Y-Ebene liegt. Für Stützen, die sich allein in globaler Z-Richtung ausdehnen, zeigt für  $\alpha = 0$  die m-Achse in Y-Richtung.

Das Bild auf der vorhergehenden Seite zeigt ein Beispiel zur Definition des I-m-n-Systems mit  $\alpha \neq 0$ .



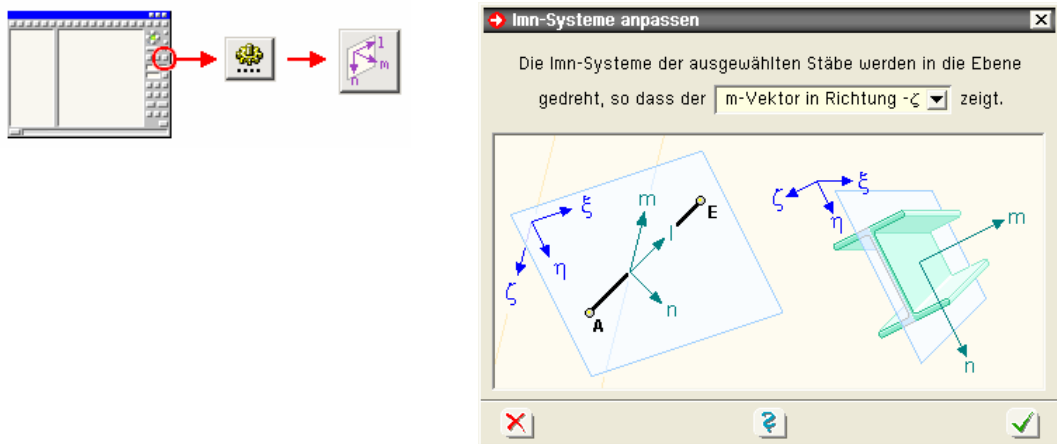
Die I-m-n-Systeme bei Stäben, die zu Stabzügen zusammengefasst werden, müssen gleichgerichtet sein. Näheres zur Gruppenbildung s. S. 56.

Die I-m-n-Systeme der definierten Stäbe können im Darstellungsfenster angezeigt werden. Näheres s. Abs. 2.6.4, Darstellungsoptionen, S. 68.

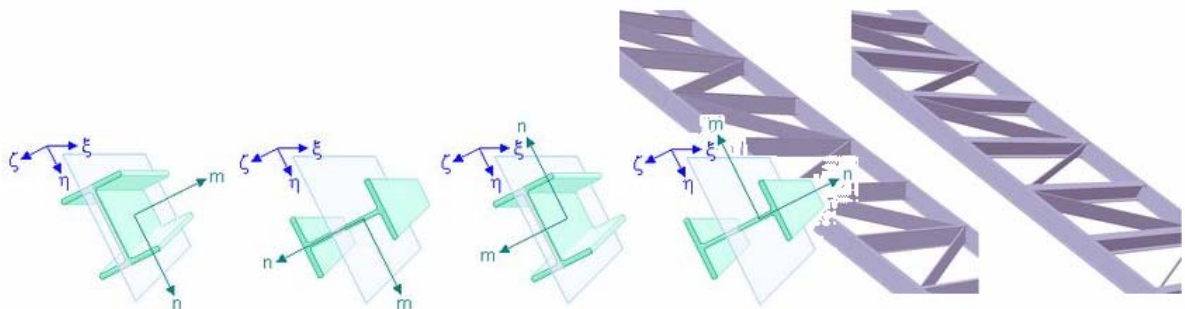
#### 2.3.1.3.2

#### Stabdrehwinkel an Ebene anpassen

Befindet sich die Interaktion im Ebenenbearbeitungsmodus und sind Stäbe ausgewählt, wird durch die unten dargestellte Buttonfolge ein Eigenschaftsblatt aufgerufen, in dem die I-m-n-Systeme der ausgewählten Stäbe der aktiven Ebene angepasst werden können.



Hierin wird festgelegt, dass der n- oder der m-Vektor der Stäbe in Richtung des Normalenvektors  $\zeta$  der Ebene oder entgegengesetzt zeigen soll.



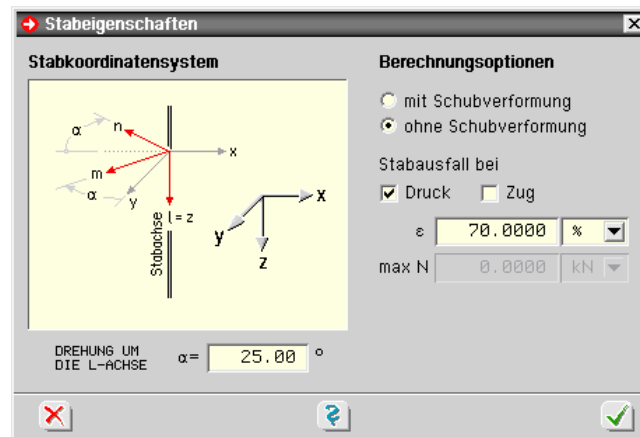
Wie das rechts dargestellte FotoView-Bild zeigt, können mit dieser Funktion insbesondere in schiefen Ebenen alle (oder ausgewählte) in der Ebene liegenden Stäbe in einem Zug in die Ebene hineingedreht werden.

### 2.3.1.4

### Berechnungsoptionen



Über den **Scherenbutton** im Eigenschaftsblatt *individuelle Stabeigenschaften* werden Berechnungsoptionen zugänglich.



**Schubverformung** Im rechten Bereich des Eigenschaftsblatts *Stabeigenschaften* kann bestimmt werden, ob bei der Berechnung der Schnittgrößen die Schubverformung berücksichtigt werden soll und ob der Stab bei Druck- oder Zugbeanspruchung ausfallen soll.

**Druck- und Zugstabausfall** Ist der zugeordnete Button eingedrückt, kann entweder durch die Zahl  $\varepsilon$  festgelegt werden, bei wie viel % der Euler'schen Knicklast des Stabes (Fall 2) der Druckstabausfall aktiviert werden soll oder welche maximale Kraft  $N$  vom Stab aufgenommen werden soll, bevor er für Zug/Druck ausfällt.



Für  $\varepsilon$  bzw. max  $N$  sollte ein Wert  $> 0$  vorgegeben werden, damit ein Iterationsprozess überhaupt in Gang gesetzt werden kann und der betreffende Stab nicht sofort aus dem System entfällt.

Druck- und Zugstabausfall können nur bei **nichtlinearer Berechnung** (Theorie II. Ord.) berücksichtigt werden, da es sich um eine Systemlinearität handelt für die das Superpositions-gesetz seine Gültigkeit verliert.

In jedem Iterationsschritt der nichtlinearen Berechnung wird das Verhalten der markierten Stäbe überprüft und im vorhergehenden I. ausgefallene Stäbe ggf. wieder in das System eingebaut.

### 2.3.2

### Lagereigenschaften



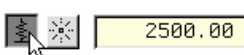
Lagerangaben

Sind Stäbe und/oder Knoten ausgewählt, erscheint über den dargestellten Button ein Eigenschaftsblatt, in dem **Knotenlager** (für die ausgewählten Knoten) oder die elastische **Bettung** (für die ausgewählten Stäbe) beschrieben werden können.



Das Eigenschaftsblatt für Knotenlagerangaben nimmt die jeweiligen Fesselungen für die drei Verschiebungs- und die drei Verdrehungsfreiwerte des globalen Knotens auf.

Die Symbole der linken Spalte erzeugen eine starre Lagerung. Die Icons der rechten Spalte repräsentieren "keine Lagerung" = ungehinderte Bewegungsfreiheit = Voreinstellung.



Die mittlere Spalte nimmt Federlagerungen auf. In dem hierdurch aktivierten numerischen Eingabefeld ist der Wert der Federkonstanten anzugeben.

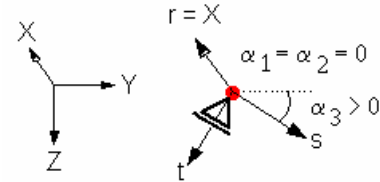
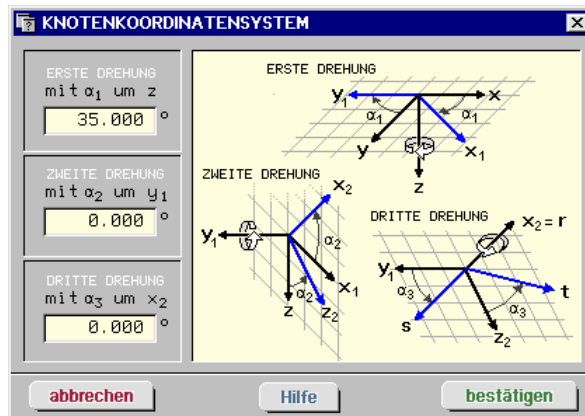
## Federn

für Verschiebungen besitzen die Einheit kN/m, die der Verdrehungen kNm/- bzgl. einer 1- Verdrehung in Bogenmaß.

## gedrehte Lagerrichtungen Knotenlager sind im knotenbezogenen r-s-t-Koordinatensystem definiert.

Um auch schiefe Lager (Lager, deren Wirkungslinien nicht parallel zu den X-, Y- oder Z-Achsen liegen) definieren zu können, kann das r-s-t-System gegenüber dem X-Y-Z-System verdreht werden. Um das hierfür zuständige Eigenschaftsblatt zu aktivieren, muss der **rst-System**-Button angeklickt werden.

rst-System



In diesem Eigenschaftsblatt können die Winkel  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  und  $\alpha_3$  eingegeben werden. Sie beschreiben hintereinander geschaltete Drehungen des Koordinatensystems, wobei  $\alpha_1$  eine Drehung um die Z-Achse,  $\alpha_2$  eine Drehung um die (bereits durch  $\alpha_1$  verdrehte) Y-Achse und  $\alpha_3$  eine Drehung um die (bereits durch  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  verdrehte) X-Achse darstellen.

Das r-s-t-System des betrachteten Knotens entsteht also aus dem verdrehten X-Y-Z- Koordinatensystem. Als Voreinstellung gilt:  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0$  und somit r-s-t = X-Y-Z.

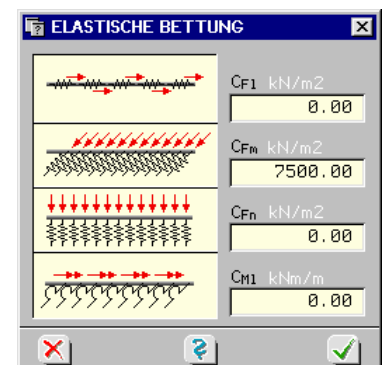


Die r-s-t-Systeme der definierten Knoten können im Darstellungsfenster angezeigt werden. Näheres s. Abs. 2.6.4, Darstellungsoptionen, S. 68.

## elastische Bettung

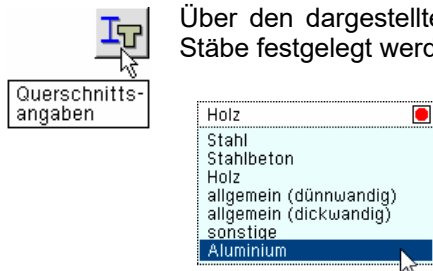
In diesem Eigenschaftsblatt werden die Bettungsziffern für die einzelnen lokalen Stabrichtungen in den angegebenen Dimensionen festgelegt. Die gebettete Aufstandsweite des Querschnitts ist hierbei bereits einzurechnen; dadurch ergibt sich die Einheit kN/m<sup>2</sup> (Federkonstante bezogen auf 1 m Linienauflänge).

Als Voreinstellung gilt: Alle Werte = 0: Der Stab ist nicht elastisch gebettet.

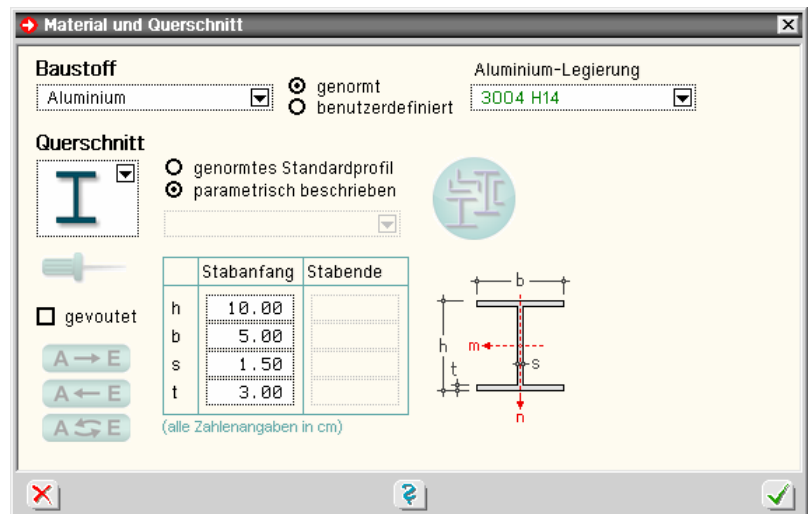


### 2.3.3

### Material- und Querschnittswerte



Über den dargestellten Button können Material- und Querschnittswerte für die ausgewählten Stäbe festgelegt werden.



#### 2.3.3.1

#### Material

Folgende Materialien stehen zur Auswahl

##### Stahl

Stahlstäbe verfügen über einen Querschnitt vom Typ *dünnwandig*. Stahlstäben können Profile aus der Profildatei oder sonstige parametrisiert beschriebene dünnwandige Querschnitte sowie Flachstahl- und Rundstabquerschnitte zugeordnet werden. Weitere dünnwandige Querschnitte können über das Querschnittswerteprogramm *##-QUER* integriert werden.

Stahlstäbe werden nach EC 3 und DIN 18800 nachgewiesen.

Bei Stahlstäben sind die normierte Stahlgüte und der Materialsicherheitsfaktor  $\gamma_{M, EMod}$  (hier nur zur Abminderung des E-Moduls) festzulegen.

##### Stahlbeton

Stahlbetonstäbe verfügen über einen Querschnitt vom Typ *dickwandig*. Stahlbetonstäben können die typisierten Rechteck-, Plattenbalken-, Doppel-T- sowie Kreis- und Kreisringquerschnitte zugeordnet werden.

Weitere dickwandige Querschnitte können über das Querschnittswerteprogramm *##-QUER* integriert werden, die jedoch nicht bemessen werden können.

Typisierte Stahlbetonstäbe werden nach EC 2, DIN 1045-1, etc. bemessen.

Bei Stahlbetonstäben ist die Betongüte festzulegen.

##### Holz

Holzstäbe verfügen über einen Querschnitt vom Typ *dickwandig*. Holzstäben können die typisierten Rechteck-, Plattenbalken-, Doppel-T- und Kreisquerschnitte zugeordnet werden.

Weitere dickwandige Querschnitte können über das Querschnittswerteprogramm *##-QUER* integriert werden.

Holzstäbe werden nach EC 5 und DIN 1052 (2008, 88) nachgewiesen.

Bei Holzstäben sind Holzart und Holzgüte festzulegen.

##### allg. dünnwandig

Stäbe vom Typ *allgemein dünnwandig* verfügen über dieselben Querschnitte wie Stahlbaustäbe. Sie sind jedoch keiner bestimmten Norm zugeordnet.

Ihre Materialdaten sind über den Elastizitätsmodul, die Querkontraktionszahl und den Wärmeausdehnungskoeffizienten zu beschreiben.

Als Nachweis kann die Einhaltung (vorzugebender) zulässiger Spannungen untersucht werden.

##### allg. dickwandig

Stäbe vom Typ *allgemein dickwandig* verfügen über dieselben Querschnitte wie Holzstäbe. Sie sind jedoch keiner bestimmten Norm zugeordnet.

Ihre Materialdaten sind über den Elastizitätsmodul, die Querkontraktionszahl und den Wärmeausdehnungskoeffizienten zu beschreiben.

Als Nachweis kann die Einhaltung (vorzugebender) zulässiger Spannungen untersucht werden.



### sonstige

Stäbe vom Typ *sonstige* werden allein über Elastizitätsmodul, die Querkontraktionszahl und den Wärmeausdehnungskoeffizienten beschrieben.

Ihre Querschnittswerte sind die Querschnittsfläche  $A$ , die Trägheitsmomente  $I_m$ ,  $I_n$  und  $I_T$ , die Schubflächenbeiwerte  $\kappa_m$  und  $\kappa_n$  sowie die Querschnittshöhen  $h_m$  und  $h_n$ .

Stäbe dieses Typs werden nachweistechnisch nicht behandelt.

### Aluminium

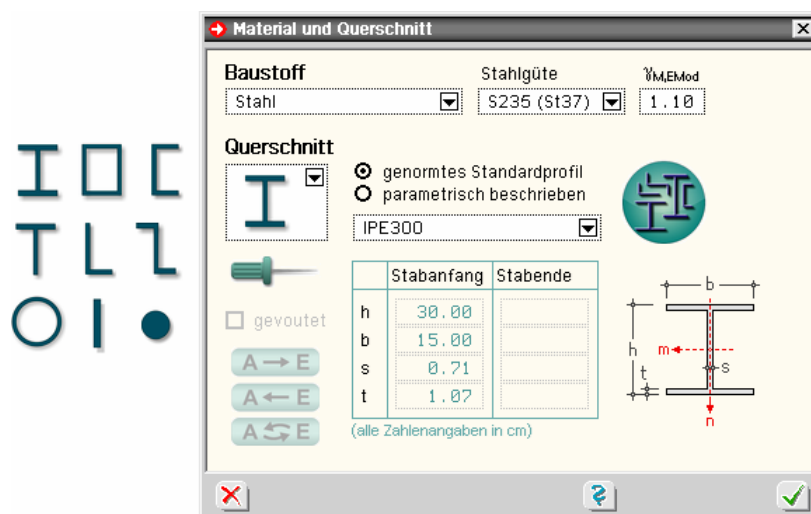
Aluminiumstäben können dieselben dünnwandigen Profile wie Stahlstäben zugeordnet werden. Näheres s. nachfolgender Punkt Stahlquerschnitte. Aluminiumstäbe werden nach EC 9 nachgewiesen. Bei Aluminiumstäben sind eine der normierten Aluminiumlegierungen auszuwählen oder eine benutzerdefinierte Aluminiumlegierung vorzugeben.

### 2.3.3.2

#### Stahlquerschnitte

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

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



Die nebenstehend dargestellten Profile können ausschließlich typisiert (auch gevoutet) beschrieben werden. Bei der Parametereingabe ist die im Eigenschaftsblatt angegebene Skizze zu beachten!



Das Fragezeichen steht für einen geometrisch unbekannten Querschnitt, der über die Querschnittsfläche  $A$ , die Trägheitsmomente  $I_m$ ,  $I_n$  und  $I_T$ , die Schubflächenbeiwerte  $\kappa_m$  und  $\kappa_n$  sowie die Querschnittshöhen  $h_m$  und  $h_n$  beschrieben wird. Stäbe dieses Typs werden nachweistechnisch nicht behandelt.



Dieses Symbol steht für den Querschnittsimport aus dem Querschnittswerteprogramm 4H-QUER. Es ist zu beachten, dass nur Querschnitte vom Typ *dünnwandig* als Stahlquerschnitte übernommen werden können!

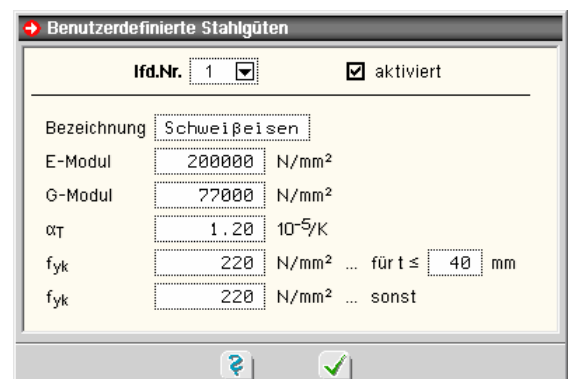


Den Querschnittsskizzen ist immer auch das I-m-n-Stabkoordinatensystem zur Orientierung angeheftet. Die I-Achse verläuft stets längs der Stabachse im Schwerpunkt des Querschnitts.

### 2.3.3.3

#### benutzerdefinierte Stahlgüten

Um auch Nachweise bei Nachberechnung von Tragwerken mit historischen Stahlgüten zu führen, können benutzerdefinierte, von den aktuellen Standardparametern abweichende Werkstoffeigenschaften festgelegt werden.



### 2.3.3.4

#### Stahlbetonquerschnitte

Die nachfolgend dargestellten Stahlbetonquerschnitte können typisiert (konstant oder gevoutet) beschrieben werden.

Bei der Parametereingabe ist die im Eigenschaftsblatt angegebene Skizze zu beachten!



Den Querschnittsskizzen ist immer auch das I-m-n-Stabkoordinatensystem zur Orientierung angeheftet. Die I-Achse verläuft stets längs der Stabachse im Schwerpunkt des Querschnitts.

**Material und Querschnitt**

**Baustoff**  
 Stahlbeton  
 Betongüte: C30/37

**Querschnitt**  
☒ T  
☐ gevoutet

	Stabanfang	Stabende
do	80.00	
bo	80.00	
d	20.00	
b	20.00	

(alle Zahlenangaben in cm)

Diagramm: T-Querschnitt mit Dimensionen  $b_o$ ,  $d_o$ ,  $d$ ,  $b$  und Koordinaten  $m$ ,  $n$ .



Das Fragezeichen steht für einen geometrisch unbekannten Querschnitt, der über die Querschnittsfläche  $A$ , die Trägheitsmomente  $I_m$ ,  $I_n$  und  $I_T$ , die Schubflächenbeiwerte  $\kappa_m$  und  $\kappa_n$  sowie die Querschnittshöhen  $h_m$  und  $h_n$  beschrieben wird.

Stäbe dieses Typs werden nachweistechisch nicht behandelt.



Dieses Symbol steht für den Querschnittsimport aus dem Querschnittswerteprogramm 4H-QUER. Es ist zu beachten, dass nur Querschnitte vom Typ *dickwandig* als Stahlbetonquerschnitte übernommen und nicht bemessen werden können!

### 2.3.3.5

#### Holzquerschnitte

Die nachfolgend dargestellten Holzquerschnitte können typisiert - konstant oder gevoutet - beschrieben werden.

Bei der Parametereingabe ist die im Eigenschaftsblatt angegebene Skizze zu beachten!

**Material und Querschnitt**

**Baustoff**  
 Holz  
 Holzart: Nadelholz  
 Holzgüte: C14

**Querschnitt**  
☒ I  
☐ gevoutet

	Stabanfang	Stabende
bo	30.00	
ho	10.00	
bm	10.00	
hm	50.00	
bu	25.00	
hu	10.00	

(alle Zahlenangaben in cm)

Diagramm: I-Querschnitt mit Dimensionen  $b_o$ ,  $b_m$ ,  $h_o$ ,  $h_m$ ,  $h_u$ ,  $b_u$  und Koordinaten  $m$ ,  $n$ .





Den Querschnittsskizzen ist immer auch das I-m-n-Stabkoordinatensystem zur Orientierung angeheftet. Die I-Achse verläuft stets längs der Stabachse im Schwerpunkt des Querschnitts.



Das Fragezeichen steht für einen geometrisch unbekannten Querschnitt, der über die Querschnittsfläche  $A$ , die Trägheitsmomente  $I_m$ ,  $I_n$  und  $I_T$ , die Schubflächenbeiwerte  $\kappa_m$  und  $\kappa_n$  sowie die Querschnittshöhen  $h_m$  und  $h_n$  beschrieben wird.

Stäbe dieses Typs werden nachweisteknisch nicht behandelt.



Dieses Symbol steht für den Querschnittsimport aus dem Querschnittswerteprogramm #H-QUER. Es ist zu beachten, dass nur Querschnitte vom Typ *dickwandig* als Holzquerschnitte übernommen werden können!

### 2.3.3.6

#### allgemeiner Querschnitt

Die Material- und Querschnittsangaben **allgemein (dünnwandig und dickwandig)** ermöglichen die freie Vorgabe von Materialkennwerten und parametrisierten Querschnitten. Beim dünnwandigen Typ werden die Stahlquerschnitte und beim dickwandigen die Holzquerschnittstypen benutzt. Hierdurch wird #H-FRAP vom Material unabhängig.

**Material und Querschnitt**

**Baustoff**: allgemein (dünnwandig) | E-Modul: 29962 MN/m<sup>2</sup> | G-Modul: 12484 MN/m<sup>2</sup> |  $\alpha_t$ : 1.00 10<sup>-5</sup>/K

**Querschnitt**: ☒ genormtes Standardprofil | ☐ parametrisch beschrieben

☐ gevoutet

	Stabanfang	Stabende
h	30.00	
b	20.00	
s	1.20	
t	2.00	

(alle Zahlenangaben in cm)

### 2.3.3.7

#### sonstiger Querschnitt

Unter dem Baustoff **sonstige** können Materialparameter und Querschnittswerte direkt angegeben werden. Für diese Querschnitte werden jedoch **keine** Bemessungen und Nachweise geführt.

**Material und Querschnitt**

**Baustoff**: sonstige | E-Modul: 24596 MN/m<sup>2</sup> | G-Modul: 9800 MN/m<sup>2</sup> |  $\alpha_t$ : 1.00 10<sup>-5</sup>/K

**Querschnitt**: ☒ gevoutet

	Stabanfang	Stabende
A [cm <sup>2</sup> ]	400.00	500.00
$I_m$ [cm <sup>4</sup> ]	3200.00	4200.00
$I_n$ [cm <sup>4</sup> ]	6800.00	8800.00
$I_T$ [cm <sup>4</sup> ]	4000.00	6000.00
$\kappa_m$ [-]	1.20	1.20
$\kappa_n$ [-]	1.20	1.20
$h_m$ [cm]	45.00	65.00
$h_n$ [cm]	35.00	35.00

(alle Zahlenangaben in cm)

Interpolation: ☒ proportional

Hierin sind festzulegen:

- die Querschnittsfläche  $A$
- die Trägheitsmomente  $I_m$  und  $I_n$
- das Torsionsträgheitsmoment  $I_T$
- die Schubflächenbeiwerte  $\kappa_m$  und  $\kappa_n$
- die Querschnittshöhen  $h_m$  und  $h_n$

Die **Schubflächenbeiwerte**  $\kappa$  werden vom Rechenprogramm benötigt, wenn die Berechnung mit Berücksichtigung der Schubverformung durchgeführt werden soll. Die für den Schub relevante Fläche wird hierbei auf den Wert  $\frac{1}{\kappa} \cdot A$  reduziert.

Die Querschnittshöhen  $h_m$  und  $h_n$  werden für die Berechnung von Temperaturlasten benötigt.

## Voutung

Wird der allgemeine Querschnitt als gevoutet beschrieben, kann zusätzlich festgelegt werden wie Zwischenwerte (im Innenbereich des Stabes) interpoliert werden sollen. I.d.R. liefert die **reziprok-proportionale** Interpolation die besten Ergebnisse.

## Querschnittsimport



Die letzte Möglichkeit, einen Querschnitt zu beschreiben, ist der Querschnittsimport. Hierbei wird ein im Programm **4H-QUER** konstruierter und berechneter Querschnitt an **4H-FRAP** übergeben. Das Symbol dieses Querschnittstyps ist nebenstehend dargestellt. Während für Stahlbeton- und Holzstäbe nur dickwandig beschriebene Querschnitte importiert werden können, kann beim Material Stahl nur auf dünnwandige Querschnitte zurückgegriffen werden. Importierte Stahlbetonquerschnitte können nicht bemessen werden; jedoch können importierte Stahlquerschnitte nachgewiesen werden.

Ist das o.a. Symbol als Querschnittstyp ausgewählt und wird der **bearbeiten**-Button angeklickt, wird automatisch das Programm **4H-QUER** gestartet. Auf diese Art können importierte Querschnitte jederzeit eingesehen und ggf. nachbearbeitet werden. Der Start des Programms **4H-QUER** setzt natürlich voraus, dass das Programm zuvor unter DTE<sup>®</sup> installiert wurde.

### 2.3.4

### stabbezogene Nachweisooptionen und Bemessungsangaben



stabbezogene  
Bemessungsoptionen



Die stabbezogenen Nachweisooptionen und Bemessungsangaben werden im separaten Handbuch *das pcae-Nachweiskonzept* und in der Online-Hilfe beschrieben.

Die hier getroffenen Einstellungen legen nicht fest, ob der Stab nachgewiesen bzw. bemessen wird. Es werden lediglich die stabbezogenen Parameter für den Fall eines Nachweises bzw. einer Bemessung angegeben. Ob der Nachweis bzw. die Bemessung überhaupt durchgeführt wird, wird im Eigenschaftsblatt *Nachweise* festgelegt, S. 50.

### 2.3.5

### Eigenschaften vereinheitlichen

**Eigenschaften an mehrere Objekte gleichzeitig vergeben** Der Mechanismus zur Definition von Eigenschaften soll noch einmal verdeutlicht werden: Sind mehrere Objekte vom selben Typ (hier: Knoten oder Stäbe) ausgewählt und wird eine der in diesem Kapitel 2.3 beschriebenen Aktionen durchgeführt, bekommen alle ausgewählten Objekte die angegebenen und bestätigten Eigenschaften zugeordnet. Dies entspricht einer Vereinheitlichung von Eigenschaften. Sollen z.B. alle Stützen einer Stahlhalle aus dem Profil IPB400 hergestellt werden, empfiehlt es sich, alle Stützen durch Anklicken oder Umfahren auszuwählen und sodann den Button zur Festlegung von Material und Querschnittswerten zu aktivieren.

### 2.3.6

### Eigenschaften per Doppelklick

**Individuelle Eigenschaften** Will man im Gegensatz zu den Ausführungen unter Abs. 2.3.5 einem bestimmten Stab von allen anderen Stäben unterschiedliche Eigenschaften zuweisen, empfiehlt sich die Doppelklick-Funktion.

Das bereits in Abs. 2.2.7.1, Einzelstabbearbeitung, S. 26, vorgestellte individuelle Eigenschaftsblatt bietet im oberen Bereich den Zugang zu den Eigenschaften des Stabes an.

Im Einzelnen sind dies von links nach rechts

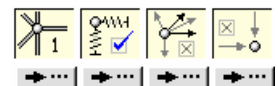
- individuelle Eigenschaften
- Angaben zur elastischen Bettung
- Querschnittsbeschreibung
- stabbezogene Nachweis-/Bemessungsoptionen
- Erzeugung von Stablastbildern



Dasselbe gilt für den Doppelklick auf einen Knoten, der das in Abs. 2.2.7.2, Einzelknotenbearbeitung, S. 27, beschriebene individuelle Knoteneigenschaftsblatt hervorruft.

Im Einzelnen bedeuten (von links nach rechts)

- Anzeige der Stabkonnektivität (**Verknüpfung**)
- Bearbeitung der Knotenlagerangaben
- Definition des r-s-t-Knotenkoordinatensystems
- Erzeugung von Knotenlastbildern



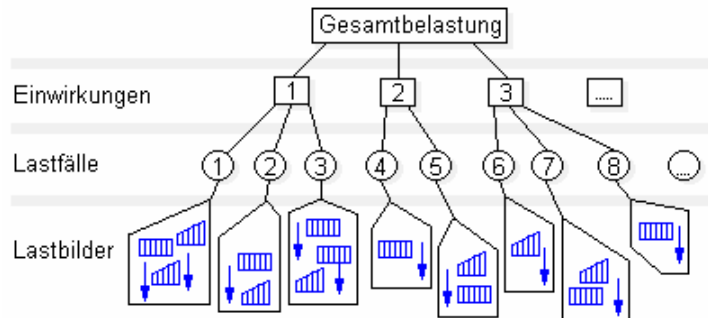
Die Eigenschaften in den individuellen Eigenschaftsblättern (per Doppelklick hervorgerufen) werden immer nur dem einzelnen Objekt zugeordnet, unabhängig vom Zustand der im Darstellungsfenster möglicherweise ausgewählten Objekte.

## 2.4 Beschreibung der Belastung

### 2.4.1 Organisation der Belastung



Die Eingabe der Belastung erfolgt in den zugeordneten Lastfallfolien. Die Belastung wird wie dargestellt strukturiert



Es gelten folgende Definitionen

#### Lastbilder

Ein Lastbild ist entweder eine Linienlast, eine Einzellast, eine Temperaturlast, eine Stützensenkung usw. Die Eigenschaften eines Lastbildes sind durch seine geometrische Lage, seine Lastordinaten und seine Zuordnung zum belasteten Objekt (Stab oder Knoten) sowie zu einem Lastfall gegeben.

Ein Lastbild ist ein auswählbares Objekt im Konstruktionsfenster des #/-FRAP Eingabemoduls.

#### Lastfälle

Ein Lastfall ist immer eindeutig einer Einwirkung zugeordnet. Er kann beliebig viele Lastbilder aufnehmen. Ein Lastfall ist darüber hinaus die kleinste auswählbare Einheit bei der Ergebnisdarstellung. Die Rechenergebnisse (Verformungen und Schnittgrößen) eines einzelnen Lastbildes können folglich nur dann betrachtet werden, wenn dem Lastfall keine weiteren Lastbilder zugeordnet sind. Eine Differenzierung zwischen den Ergebnisanteilen unterschiedlicher Lastbilder innerhalb eines Lastfalls kann auch bei der Extremwertbildung nicht mehr vorgenommen werden. Die Lastbilder eines Lastfalls wirken immer gemeinsam.

Neben der Lastfallnummer und der Lastfallbezeichnung ist der Lastfalltyp die wesentliche Eigenschaft eines Lastfalls. Dieser legt fest, ob die Schnittgrößen und Verformungen des Lastfalls additiv oder gruppenweise alternativ zu überlagern sind. Eine additive Überlagerung besagt, dass die Verformungen und Schnittgrößen eines Lastfalls bei der Extremwertbildung immer (entweder günstig oder ungünstig wirkend) berücksichtigt werden. Weist der Lastfalltyp die Zuordnung zu einer alternativen Gruppe aus, wird bei der Extremwertbildung nur der Lastfall berücksichtigt, der sich am betrachteten Punkt am ungünstigsten von allen Lastfällen dieser Gruppe herausstellt.

#### Imperfektionen

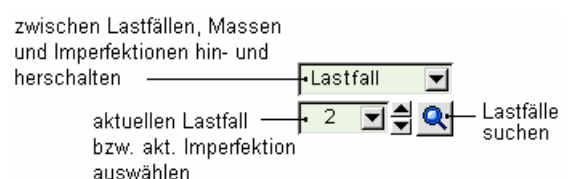
Eine Imperfektion entspricht in etwa einem Lastfall. Jedoch können in einer Imperfektion nur Imperfektionslastbilder (Schiefstellungen und Vorverformungen) definiert werden. Außerdem wird eine Imperfektion keiner Einwirkung zugeordnet. Bei der Definition von Lastkollektiven für eine nichtlineare Berechnung (Theorie II. Ordnung) kann auf Imperfektionen zurückgegriffen werden.

#### Einwirkungen

Eine Einwirkung kann beliebig viele Lastfälle enthalten. Neben der Einwirkungsnummer und der Einwirkungsbezeichnung ist der Einwirkungstyp ihre wesentliche Eigenschaft, die festlegt, ob die der Einwirkung zugeordneten Lastfälle ständige Lasten (wie etwa Eigengewicht) oder veränderliche Lasten (Verkehrslasten) enthalten.

Das nebenstehende Bild zeigt die Steuerelemente zur Definition und Bearbeitung von Lastfällen, Imperfektionen und Massenbelegungen (nur im Dynamikmodul).

Sie befinden sich rechts neben dem Konstruktionsfenster.



## 2.4.2 Einwirkungen, Lastfälle und Imperfektionen definieren und bearbeiten



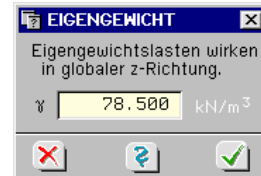
Die Verwaltung der Einwirkungen wird im separaten Handbuch *das pcae-Nachweiskonzept* und in der Online-Hilfe beschrieben.

## 2.4.3 Lastbilder erzeugen



erzeugen und generieren

Der bereits auf S. 19 beschriebene Button **erzeugen und generieren** ruft in der Lastfallfolie ein auf die Erzeugung von Lasten bezogenes Menü. Die folgenden Absätze befassen sich mit den Erläuterungen der Lastbildsymbole.



### 2.4.3.1 Eigengewichtslasten



Eigengewichtslasten



Befindet sich die Interaktion in einer Lastfallfolie und ist mindestens ein Stab ausgewählt, erscheint nach Anklicken des dargestellten Symbols das Eigenschaftsblatt zur Erzeugung eines Eigengewichtslastbildes.

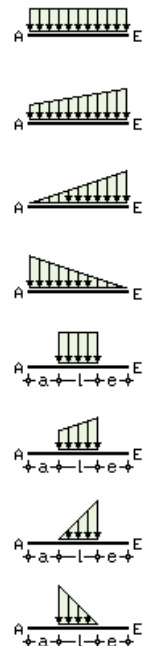
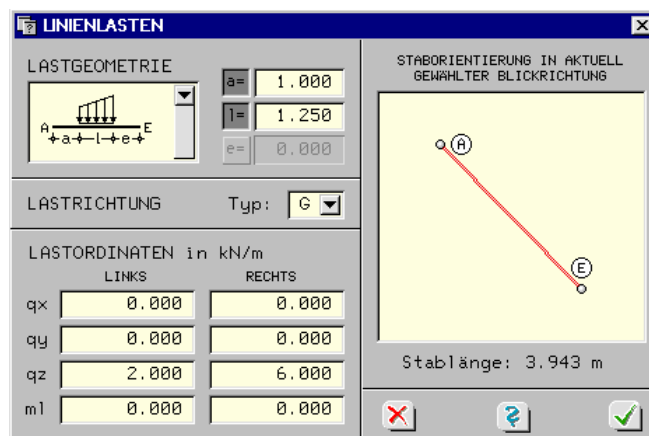
Nach **Bestätigen** des Eigenschaftsblatts wird das definierte Lastbild allen ausgewählten Stäben zugeordnet. Die Lastbilder erscheinen als Gewichtssymbole im Darstellungsfenster.

### 2.4.3.2 Streckenlasten



Linienlasten

Befindet sich die Interaktion in einer Lastfallfolie und ist mindestens ein Stab ausgewählt, bewirkt das Anklicken des nebenstehend dargestellten Symbols die Erzeugung eines Streckenlastbildes.

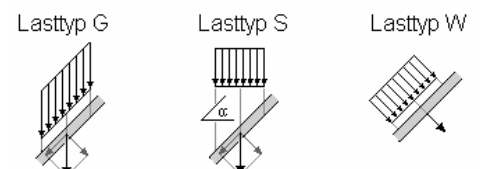


**Streckenlasttyp** In dem Eigenschaftsblatt kann zunächst der Streckenlasttyp festgelegt werden. Entsprechend der nebenstehenden Skizze handelt es sich hierbei um eine Gleichstreckenlast, eine Trapezlast, eine Dreieckslast mit Ordinate rechts und eine Dreieckslast mit Ordinate links, die sich jeweils über die gesamte Stablänge erstrecken. Die letzten vier Streckenlasttypen entsprechen den oben genannten, wirken jedoch nur in einem Teilbereich des betrachteten Stabes.

**Lastordinaten** Je nach Streckenlasttyp müssen die Lastordinaten am Stabanfang, am Stabende oder wie bei der Trapezlast an beiden Stellen angegeben werden. Handelt es sich um eine Teilbelastung, müssen ebenfalls die Teilstrecken  $a$  und  $l$ ,  $l$  und  $e$  oder  $a$  und  $e$  spezifiziert werden.

Im Fenster auf der rechten Seite des Eigenschaftsblatts werden die Orientierung des betrachteten (Referenz-)Stabes dargestellt und seine Gesamtlänge angegeben.

**Lastrichtung** Letztlich muss die Lastwirkungsrichtung angegeben werden. Unterschieden wird zwischen den Richtungen G (Gewicht), S (Schnee) und W (Wind).



Die G-Last wirkt im globalen X-Y-Z-Koordinatensystem und wird in voller Größe angesetzt.

Die S-Last wirkt ebenfalls im globalen X-Y-Z-Koordinatensystem, wird jedoch mit dem Verhältnis von Projektionslänge zur getroffenen Stablänge ( $\cos \alpha$ ) abgemindert. Die S-Last in Z-Richtung auf eine senkrecht stehende Stütze ergibt sich folglich zu 0.

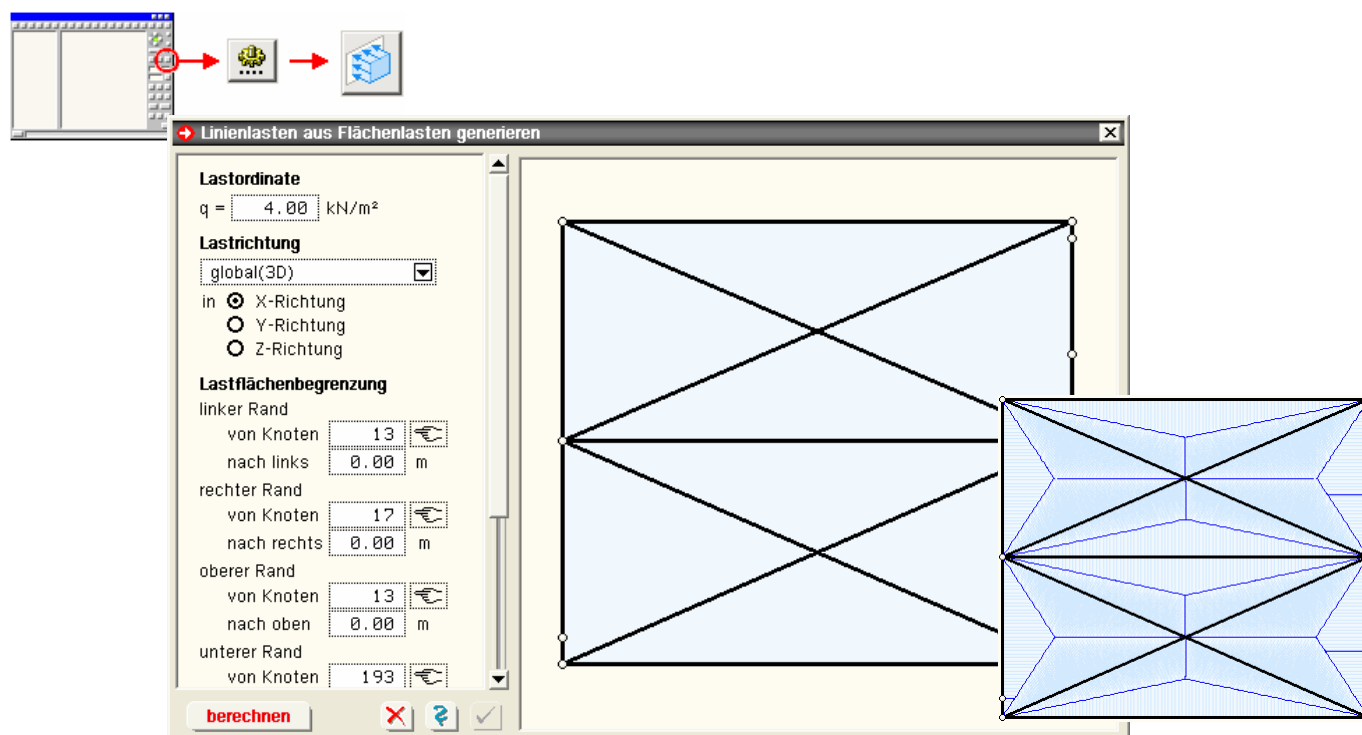
Die W-Last wirkt im lokalen l-m-n-System des Stabes.

 Nach **Bestätigen** des Eigenschaftsblatts wird das definierte Lastbild allen ausgewählten Stäben zugeordnet. Die Lastbilder erscheinen im Darstellungsfenster.

### 2.4.3.3

### Streckenlastbilder aus Flächenlasten generieren

Befindet sich die Interaktion in einer Lastfolie und im Ebenenbearbeitungsmodus und sind Stäbe ausgewählt, erscheint durch Anklicken der dargestellten Buttonfolge ein Eigenschaftsblatt auf dem Sichtgerät, in dem Flächenlasten definiert und in Linienlastbilder umgerechnet werden können.



Während auf der rechten Seite des Eigenschaftsblatts die ausgewählten Stäbe sowie die Lastfläche grafisch dargestellt werden, können auf der linken Seite Angaben zur Flächenlast vorgenommen werden. Hier sind zunächst die Lastordinate (in  $\text{kN/m}^2$ ) und die Lastrichtung festzulegen. Unter der Überschrift *Lastflächenbegrenzung* können die Ränder der rechteckförmigen Flächenlast gegenüber den am Rande liegenden Knoten verschoben werden. Darüber hinaus kann festgelegt werden, ob die generierten Linienlastbilder in einer Auswahlliste zusammengefasst werden sollen.

Nach Klicken des **berechnen**-Buttons erscheint das Ergebnis grafisch im rechten und numerisch im linken Fenster.

**Berechnungsmethode** Zu jedem Punkt der Lastfläche wird der nächstliegende Stab gesucht, der die diesem Punkt zugeordnete Teillast erhält. Es entsteht optisch eine Walmdachkonstruktion deren Grat sparren die Lasteinflussflächen begrenzen. In einigen Fällen kann dies auch zu Knotenbelastungen führen. Die Resultierenden der sich ergebenden Stabbelastungen werden als konstante Streckenlasten auf den Stab verteilt.

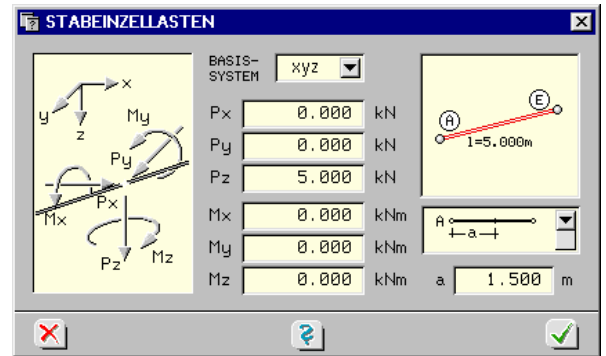
Nach Anklicken des **bestätigen**-Buttons werden die Streckenlastbilder (und ggf. die Auswahlliste) erzeugt.

#### 2.4.3.4

#### Stabeinzellasten



Befindet sich die Interaktion in einer Lastfallfolie und ist mindestens ein Stab ausgewählt, bewirkt das Anklicken des nebenstehend dargestellten Symbols die Erzeugung eines Stabeinzellastbildes.



**Koordinatensystem** Die Stabeinzellast kann je nach gewähltem Basissystem in globaler X-Y-Z-Richtung oder in lokaler l-m-n- Stabrichtung wirken.

**Lasten** Drei Kraft- und drei Momentenwerte können eingegeben werden. Der Ort an dem die Stabeinzellast auf dem Stab wirkt kann wahlweise vom Anfangsknoten oder vom Endknoten eingemessen werden. Die Abstandslänge ist einzugeben.

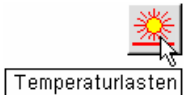
Zur Orientierung sind der betrachtete Stab in dem Fenster auf der rechten Seite dargestellt und die Gesamtlänge des Stabes angegeben.



Nach **Bestätigen** des Eigenschaftsblatts wird das somit definierte Lastbild allen ausgewählten Stäben zugeordnet. Die Lastbilder erscheinen im Darstellungsfenster.

#### 2.4.3.5

#### Temperaturlasten

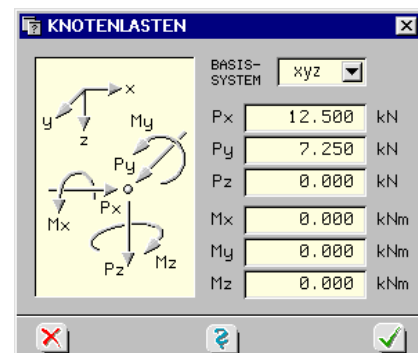
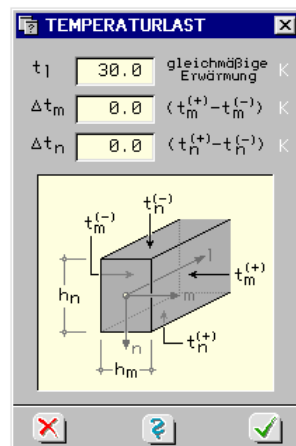


Befindet sich die Interaktion in einer Lastfallfolie und ist mindestens ein Stab ausgewählt, bewirkt das Anklicken des nebenstehend dargestellten Symbols die Erzeugung eines Temperaturlastbildes.

$t_l$  (gleichmäßige Erwärmung) ist die Temperaturdifferenz zur Einbautemperatur.  $\Delta t_m$  und  $\Delta t_n$  sind entsprechend die Temperaturdifferenzen der gegenüberliegenden Randfasern in m- und n-Richtung des lokalen Stabkoordinatensystems.

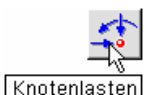


Nach **Bestätigen** des Eigenschaftsblatts wird das somit definierte Lastbild allen ausgewählten Stäben zugeordnet. Die Lastbilder erscheinen im Darstellungsfenster.



#### 2.4.3.6

#### Knotenlasten



Befindet sich die Interaktion in einer Lastfallfolie und ist mindestens ein Knoten ausgewählt, bewirkt das Anklicken des nebenstehend dargestellten Symbols die Erzeugung eines Knotenlastbildes.

Knotenlasten können wahlweise im globalen X-Y-Z-Koordinatensystem oder im gedrehten r-s-t-Knotenkoordinatensystem angegeben werden.

Es können drei Kraft- und drei Momentenwerte eingegeben werden.



Nach **Bestätigen** des Eigenschaftsblatts wird das definierte Lastbild allen ausgewählten Knoten zugeordnet. Die Lastbilder erscheinen im Darstellungsfenster.



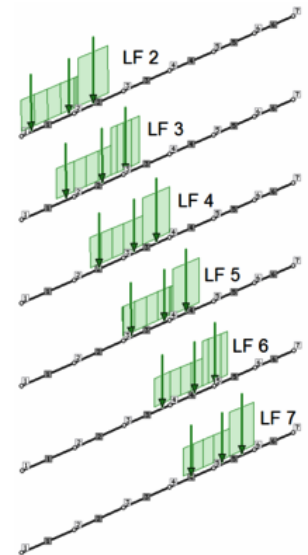
## Wanderlastenzüge

Mittels Wanderlastenzügen können Lastgruppen beschrieben werden, die aus beliebig vielen Einzel- und Linienlasten bestehen, die über zuvor definierte Stabzüge durch diverse Lastfälle "gezogen" werden können.

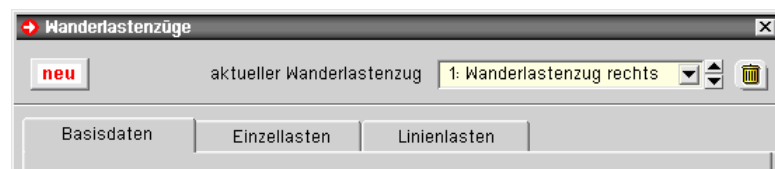
Die nebenstehende Abbildung zeigt beispielhaft die Lage eines Lastenzugs auf einem Stabzug in unterschiedlichen Lastfallfolien.

Es können beliebig viele Wanderlastenzüge definiert werden.

Die Bearbeitung von Wanderlastenzügen erfolgt über die Funktion *bearbeiten* -> *Wanderlastenzüge* oder Klicken der nachfolgend dargestellten Buttons, während sich der Bearbeitungszustand in einer Lastfallfolie befindet.



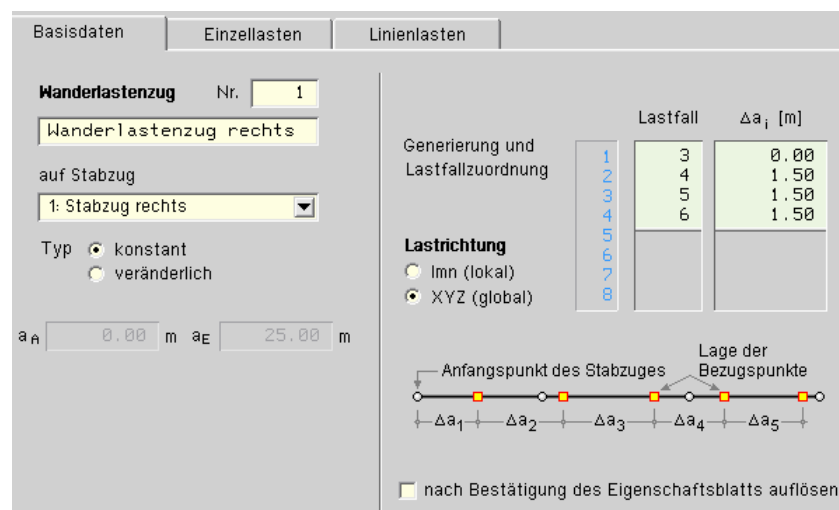
Das nachfolgend dargestellte Eigenschaftsblatt erscheint.



Die Kopfzeile des Eigenschaftsblatts bietet Interaktionselemente zum Erzeugen eines neuen Wanderlastenzugs (*neu*-Button), zur Auswahl eines bestehenden Wanderlastenzugs (Auswahl-liste) und zum Löschen des aktuell ausgewählten Wanderlastenzugs (*Mülleimersymbol*) an.

Die Eigenschaften des aktuell ausgewählten Wanderlastenzugs werden in den darunter befindlichen drei Registern spezifiziert.

### Register Basisdaten



Im Register *Basisdaten* werden auf der linken Seite Nummer und Name des Wanderlastenzugs festgelegt. Außerdem muss angegeben werden, auf welchem zuvor definierten Stabzug der Wanderlastenzug agiert.

Ein Wanderlastenzug kann vom Typ *konstant* oder *veränderlich* sein.

Bei einem veränderlichen Wanderlastenzug werden die Lastordinaten in einer Stellung A und einer Stellung E beschrieben. Zwischen diesen beiden Laststellungen werden die Lastordinaten linear interpoliert.

Auf der rechten Seite werden die unterschiedlichen Laststellungen den verschiedenen Lastfällen zugeordnet. Die Laststellungen werden als Abstände der Lastgruppe zur Lastgruppe des vorherigen Lastfalls beschrieben. S. hierzu die Skizze unter der Tabelle.

Weiterhin wird hier festgelegt, ob sich die Lasten als lokale (auf das Stabkoordinatensystem bezogene) oder globale (auf das globale KOS bez.) Lasten verstehen.

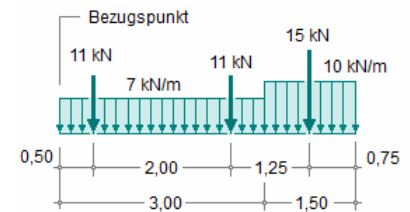
Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts erscheinen die Lastbilder der Wanderlastenzüge in den einzelnen Lastfallfolien und können dort visuell kontrolliert werden.

Die Lastbilder werden dort in grüner Farbe dargestellt, um sich von den manuell erzeugten Lastbildern abzusetzen.

Um die Lastbilder inhaltlich zu ändern, muss wiederum das Eigenschaftsblatt der Wanderlastenzüge aufgerufen werden. Das Bearbeiten eines Lastbilds aus einem Wanderlastenzug per Doppelklick ist nicht möglich.

Um diese Einschränkung zu umgehen, kann festgelegt werden, dass der Wanderlastenzug nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts aufgelöst wird. In diesem Fall werden sich die Lastbilder des Wanderlastenzugs wie manuell erzeugte Lastbilder bearbeiten lassen. Auf den Wanderlastenzug kann dann jedoch nicht mehr zurückgegriffen werden.

Der nebenstehend dargestellte Wanderlastenzug, bestehend aus zwei Linienlasten und drei Einzellasten, wird nachfolgend mit Hilfe der beiden verbleibenden Register beispielhaft beschrieben.



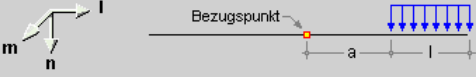
## Register Einzellasten

Basisdaten		Einzellasten		Linienlasten		
<b>Ordinaten am Bezugspunkt A</b>						
a [m]	$P_{Al}$ [kN]	$P_{Am}$ [kN]	$P_{An}$ [kN]	$M_{Al}$ [kNm]	$M_{Am}$ [kNm]	$M_{An}$ [kNm]
0,50	0,00	0,00	11,00	0,00	0,00	0,00
2,50	0,00	0,00	11,00	0,00	0,00	0,00
3,75	0,00	0,00	15,00	0,00	0,00	0,00
<b>Ordinaten am Bezugspunkt E</b>						
$P_{El}$ [kN]	$P_{Em}$ [kN]	$P_{En}$ [kN]	$M_{El}$ [kNm]	$M_{Em}$ [kNm]	$M_{En}$ [kNm]	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Im Register *Einzellasten* werden die Einzellasten (Abstand vom Bezugspunkt und Lastordinaten) beschrieben. Die Anzahl der Tabellenzeilen entspricht der Anzahl der Einzellasten.

Da es sich hier um einen konstanten Wanderlastenzug handelt, müssen die Ordinaten am Bezugspunkt E nicht angegeben werden.

## Register Linienlasten

Basisdaten		Einzellasten		Linienlasten			
<b>Ordinaten am Bezugspunkt A</b>							
a [m]	l [m]	$q_{Al}$ [kN/m]	$q_{Am}$ [kN/m]	$q_{An}$ [kN/m]	$m_{Al}$ [kNm/m]		
0.00	3.00	0.00	0.00	7.00	0.00		
3.00	1.50	0.00	0.00	10.00	0.00		
							
<b>Ordinaten am Bezugspunkt E</b>							
$q_{El}$ [kN/m]	$q_{Em}$ [kN/m]	$q_{En}$ [kN/m]	$m_{El}$ [kNm/m]				
0.00	0.00	0.00	0.00				
0.00	0.00	0.00	0.00				

Im Register *Linienlasten* werden die Linienlasten (Abstand vom Bezugspunkt und Lastordinaten) beschrieben. Die Anzahl der Tabellenzeilen entspricht der Anzahl der Linienlasten.

Da es sich hier um einen konstanten Wanderlastenzug handelt, müssen die Ordinaten am Bezugspunkt E nicht angegeben werden.

### 2.4.3.8

### Stützensenkungen



Befindet sich die Interaktion in einer Lastfallfolie und ist mindestens ein Knoten ausgewählt, bewirkt das Anklicken des nebenstehend dargestellten Symbols die Erzeugung eines Stützensenkungslastbildes (Auflagerzwangsverformung).

Die Auflagerzwangsverformungen werden grundsätzlich im knotenbezogenen r-s-t-System beschrieben. Verschiebungen werden in cm und Verdrehungen in Promille (vom Bogenmaß) angegeben.

Auflagerzwangsverformungen sind nur in Richtungen sinnvoll, die entsprechend gelagert sind.



Nach **Bestätigen** des Eigenschaftsblatts wird das somit definierte Lastbild allen ausgewählten Knoten zugeordnet. Die Lastbilder erscheinen im Darstellungsfenster.

### 2.4.3.9

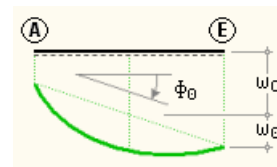
### Imperfektionsbilder

Befindet sich die Interaktion in einer Imperfektionsfolie und ist mindestens ein Stab ausgewählt, bewirkt das Anklicken der dargestellten Buttonfolge die Erzeugung eines Vorverformungslastbildes. Es erscheint das nachfolgend dargestellte Eigenschaftsblatt zur Eingabe von Imperfektionen.



Imperfektionslastbilder werden in ihren unabhängigen m- und n-Richtungen des lokalen Stabkoordinatensystems beschrieben. Es besteht die Möglichkeit, als Stützstellen der Stabvorverformung die Werte  $w_C$ ,  $w_0$  und  $\phi_0$  oder alternativ  $w_A$ ,  $w_M$  und  $w_E$  zu verwenden. Es bedeuten

- $w_C$  konstante Stabverschiebung
- $w_0$  Vorverformung (Ausmitte in Stabmitte)
- $\phi_0$  Schiefstellung
- $w_A$  Vorverformung am Stabanfang
- $w_M$  Vorverformung in Stabmitte
- $w_E$  Vorverformung am Stabende



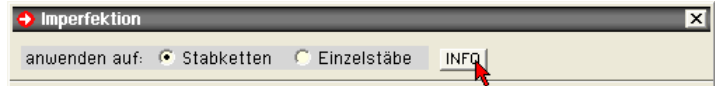
Bei Umschaltung der Beschreibungsform werden die aktuell gesetzten Werte konform ineinander umgerechnet, so dass die Vorverformungsfigur bestehen bleibt. Die Werte können wahlweise in [mm] bzw. [%] oder längenbezogen (als Bruchteil der Länge) angegeben werden. Die Länge ist im Eigenschaftsblatt in einer Skizze der Staborientierung ausgewiesen.



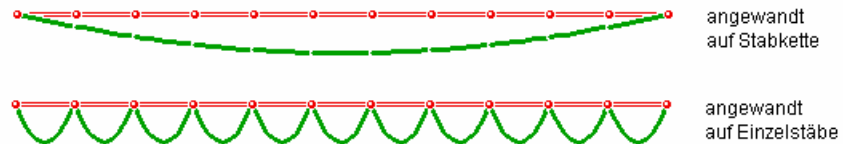
Imperfektionen werden nur bei nichtlinearer Berechnung (Theorie II. Ordnung) berücksichtigt.



Nach **Bestätigen** des Eigenschaftsblatts wird das somit definierte Lastbild allen ausgewählten Stäben zugeordnet. Die Lastbilder erscheinen im Darstellungsfenster.



Mitunter werden die o.a. Schaltflächen dem Eigenschaftsblatt zur Definition von Imperfektionslastbildern vorangestellt. Dies ist immer dann der Fall, wenn das grafische Eingabemodul bei der Erzeugung von Imperfektionslastbildern erkennt, dass nicht nur einzelne Stäbe, sondern ganze Stabketten ausgewählt sind. Eine Stabkette ist hierbei eine hinreichend gerade, zusammenhängende Kette von Einzelstäben mit einem ausgezeichneten Anfangspunkt, beliebig vielen Zwischenpunkten und einem Endpunkt. Die lokalen I-Achsen der Stäbe einer Stabkette zeigen (in etwa) in dieselbe Richtung. Mit Hilfe dieser Schalttafeln kann entschieden werden, ob die Festlegungen im Eigenschaftsblatt für die jeweiligen Einzelstäbe oder für die erkannten Stabketten gelten sollen. Der Unterschied im Resultat kann der folgenden Abbildung entnommen werden.



Ist die Methode **anwenden auf Stabketten** ausgewählt und wird das Eigenschaftsblatt bestätigt, werden die Parameter der Einzelstäbe dergestalt berechnet und festgelegt, dass sich die Gesamtverformungsstruktur der Stabkette ergibt.

Klicken Sie auf den **Info-Button**, um mehr über die aktuell ausgewählten Stabketten zu erfahren. Hier können Sie auch die mathematische Definition von "hinreichend gerade" einsehen und (im Bedarfsfalle) ändern.

## 2.4.4

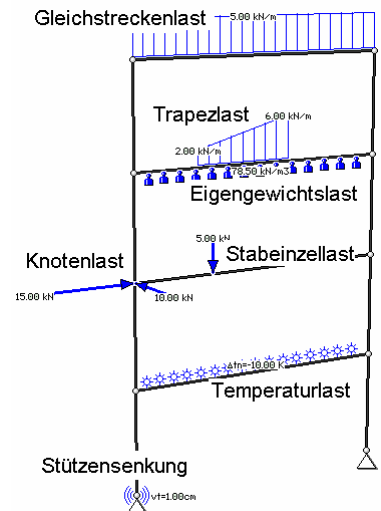
### Lastbilder auswählen und vereinheitlichen

Die ab S. 41 ff. beschriebenen Lastbilder werden im Darstellungsfenster angezeigt. Ein Beispiel für die Lastbilder, die in einer Lastfallfolie vorkommen können, zeigt die Darstellung.

Dargestellte Lastbilder können, wie Knoten und Stäbe, ausgewählt werden. Ausgewählte Lastbilder können bearbeitet (vereinheitlicht) werden.



Hierzu dient wiederum das bereits von S. 24 bekannte **Bearbeiten**-Untermenü, das mit dem links abgebildeten Symbol hervorgerufen wird.



Hierbei können nur die Symbole ausgewählt werden von deren zugeordneten Lastbildern mindestens ein Lastbild aktuell ausgewählt ist.

Wird eines der dargestellten Lastbildsymbole doppelt angeklickt, erscheint das dem Lastbild zugeordnete Eigenschaftsblatt, das unter den Absätzen 2.4.3.1 bis 2.4.3.9 (S. 41 ff.) dargestellt und beschrieben wurde. Es enthält die Angaben des **zuerst** ausgewählten Lastbildes, wenn mehrere Lastbilder ausgewählt sind. Wird das Eigenschaftsblatt (mit oder ohne vorheriger Änderung der Inhalte) **bestätigt**, erhalten alle ausgewählten Lastbilder des entsprechenden Lastbildtyps diese Eigenschaften.



### Beispiel



Es werden zuerst ein Lastbild mit einer Gleichstreckenlast (5 kN/m) und dann eine Trapezlast, eine Dreieckslast und eine weitere Gleichstreckenlast (3 kN/m) ausgewählt. Nach Anklicken des nebenstehend dargestellten Buttons aus dem Bearbeitungs-Untermenü erscheint das Eigenschaftsblatt *Linienlasten* mit der Beschreibung der Gleichstreckenlast (5 kN/m). Wird dieses Eigenschaftsblatt **bestätigt**, werden die Trapezlast, die Dreieckslast und die Gleichstreckenlast (3 kN/m) in eine Gleichstreckenlast mit 5 kN/m umgewandelt.

## Doppelklick

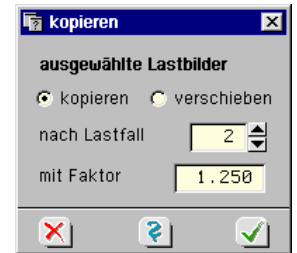
Soll ein **einzelnes** Lastbild hinsichtlich seiner Einstellungen eingesehen und/oder geändert werden, bietet sich auch bei Lastbildern die Verwendung des Doppelklicks an.

## 2.4.5

### Lastbilder kopieren

Der letzte im symbolischen Bearbeitungs Menü noch zu erläuternde Button bewirkt das Kopieren der ausgewählten Lastbilder.

AUSGEW. LASTBILDER KOPIEREN ➔...



Hiermit kann das Verschieben bzw. Kopieren von ausgewählten Lastbildern vom aktuellen Lastfall in einen anderen Lastfall bewerkstelligt werden. Dies geschieht unter Berücksichtigung eines Skalierungsfaktors für die Lastordinaten.

- ✓ Nach **Bestätigen** des Eigenschaftsblatts werden die ausgewählten Lastbilder (im Original oder als Kopie, ggf. skaliert) in den angegebenen Ziellastfall übertragen, was durch Wechsel in diese Lastfallfolie leicht überprüft werden kann.

## 2.4.6

### Lastbilder tabellarisch bearbeiten



## Lastbilder

Über den dargestellten, in der Kopfzeile des grafischen Eingabemoduls befindlichen Button erscheint ein Eigenschaftsblatt zur tabellarischen Bearbeitung der Lastbilder.

LF	stab	Typ	qx [kN/m]	qy [kN/m]	qz [kN/m]	m [kNm/m]
2	115	S	0.000	0.000	2.000	0.000
2	112	S	0.000	0.000	2.000	0.000
2	109	S	0.000	0.000	2.000	0.000
2	102	S	0.000	0.000	2.000	0.000
2	114	S	0.000	0.000	2.000	0.000

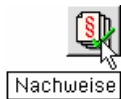
Die einzelnen Lastbildtypen werden hier über Register angesteuert. Die zugeordneten Lastbilder werden in der Tabelle lastfallübergreifend bearbeitet.

- ✓ Nach **Bestätigen** des Eigenschaftsblatts werden die Lastbilder in die zugeordneten Lastfallfolien übernommen.

## Imperfektionen

Bei der Bearbeitung von Imperfektionen ändert das Eigenschaftsblatt zur tabellarischen Bearbeitung der Lastbilder sein Aussehen.

	Imp-Folie	Stabnr.	in m-Richtung			in n-Richtung		
			wc 1/...	wo 1/...	phi 1/...	wc 1/...	wo 1/...	phi 1/...
1:	1	10	23	145	11	0	0	0
2:	1	298	1	1072	18	0	0	0
3:	1	316	8	167	35	0	0	0
4:	1	301	1	1259	905	0	0	0
5:	1	232	10	137	-32	0	0	0
6:	1	300	23	148	-11	0	0	0
7:	1	1	26	103	13	0	0	0
8:	1	315	8	153	93	0	0	0
9:	1	2	1	1111	-53	0	0	0
10:	1	3	29	87	-15	0	0	0



Nachweise

Die Verwaltung der Nachweise und die verfügbaren Nachweistypen werden in der Online-Hilfe. Zu folgenden Themen s. in der Online-Hilfe oder im Handbuch *##-FRAP, Neuerungen Version 5/2022*.

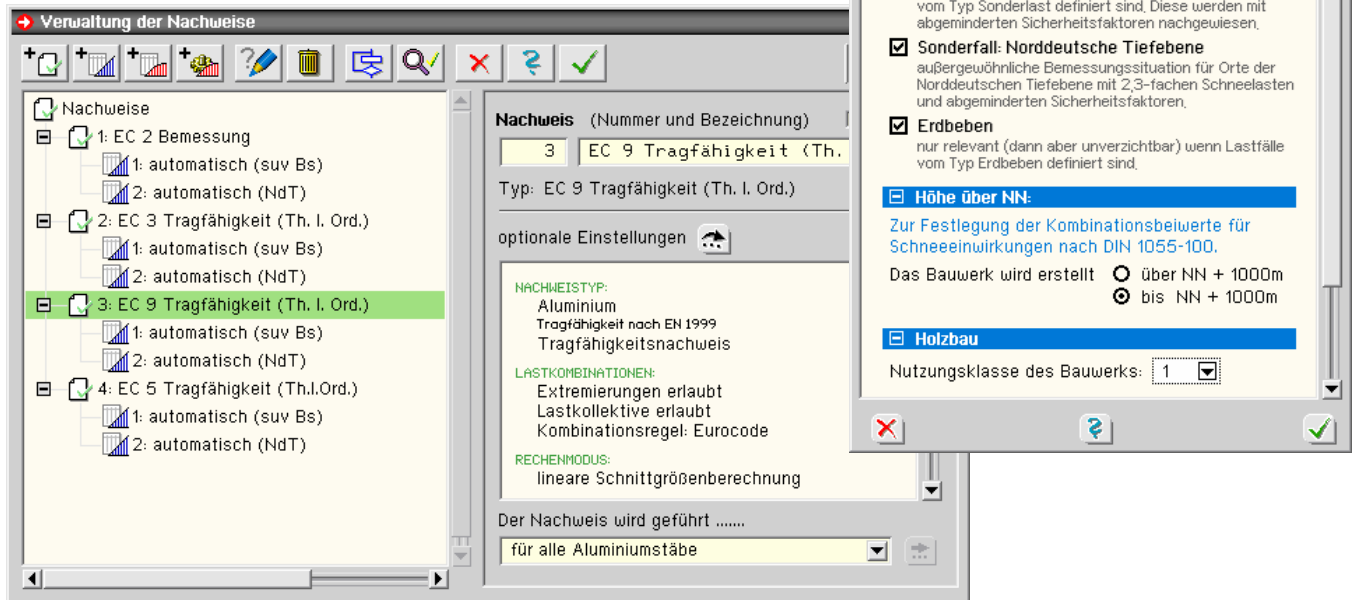
- Nachweise Aluminium und Aluminiumlegierungen
- Plastische Nachweise und Brandschutz Stahl
- Biegedrillknicken Brandschutz Stahl
- Biegedrillknicken Stahl mit Drehbettung; s. auch Abs. 2.6.3.3, S. 65

## 2.5.1

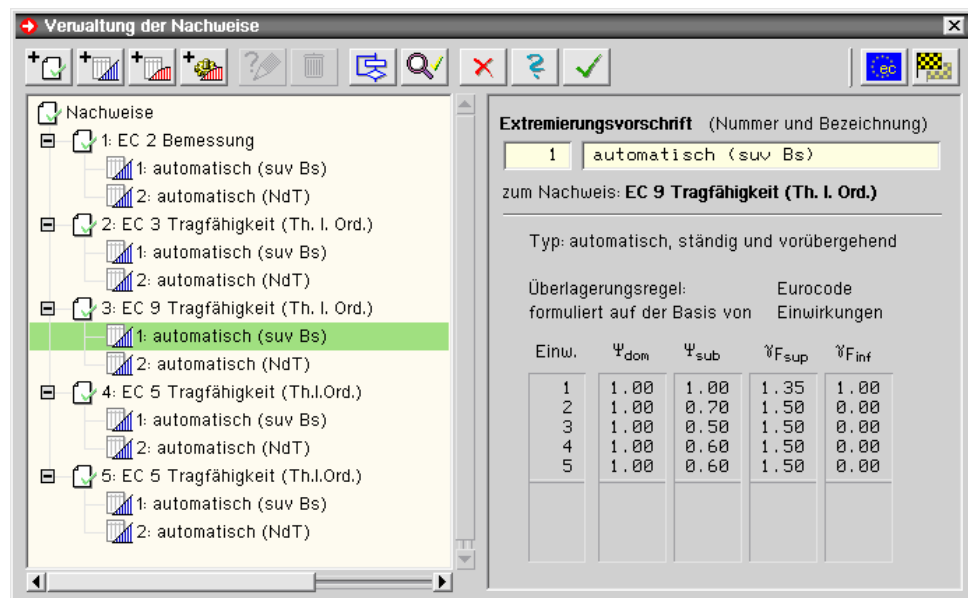
## Assistent Verwaltung der Nachweise

Auch in der Verwaltung der Nachweise steht ein Assistent bereit, über den die automatische Einrichtung der Extremalbildungsvorschriften (für Nachweise n. Th. I. Ord.) gesteuert wird.

Anschließend werden die erforderlichen Bemessungen und Nachweise erzeugt.



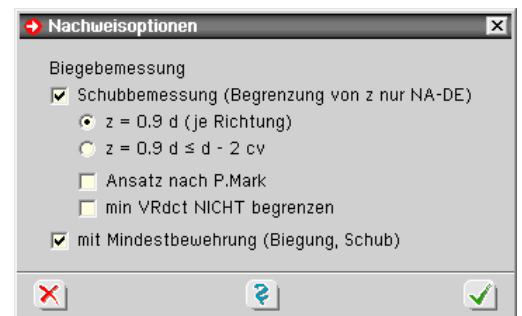
Nach Beendigung des Einrichtungsvorgangs stehen die Nachweise mit den automatisch zugewiesenen Überlagerungsvorschriften und deren Sicherheitsbeiwerten zur Ausführung bereit.





Den Nachweisen können spezielle Optionen, wie der Nachweis zu führen ist, zugewiesen werden.

Diese Optionen können wiederum durch den Stäben individuell zugewiesenen Anweisungen übersteuert werden.



## 2.6

## Tipps und Tricks

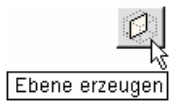
### 2.6.1

### Arbeiten in Ebenen

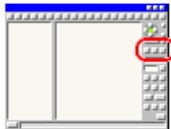
#### Ebenenmodus

Mit Hilfe der Ebenendefinition verfügt der Benutzer von *4F-FRAP* über ein mächtiges Werkzeug, um ebene Teilsysteme aus einem komplexen 3D-Bauteil herauszufiltern und im Ebenenmodus zu bearbeiten.

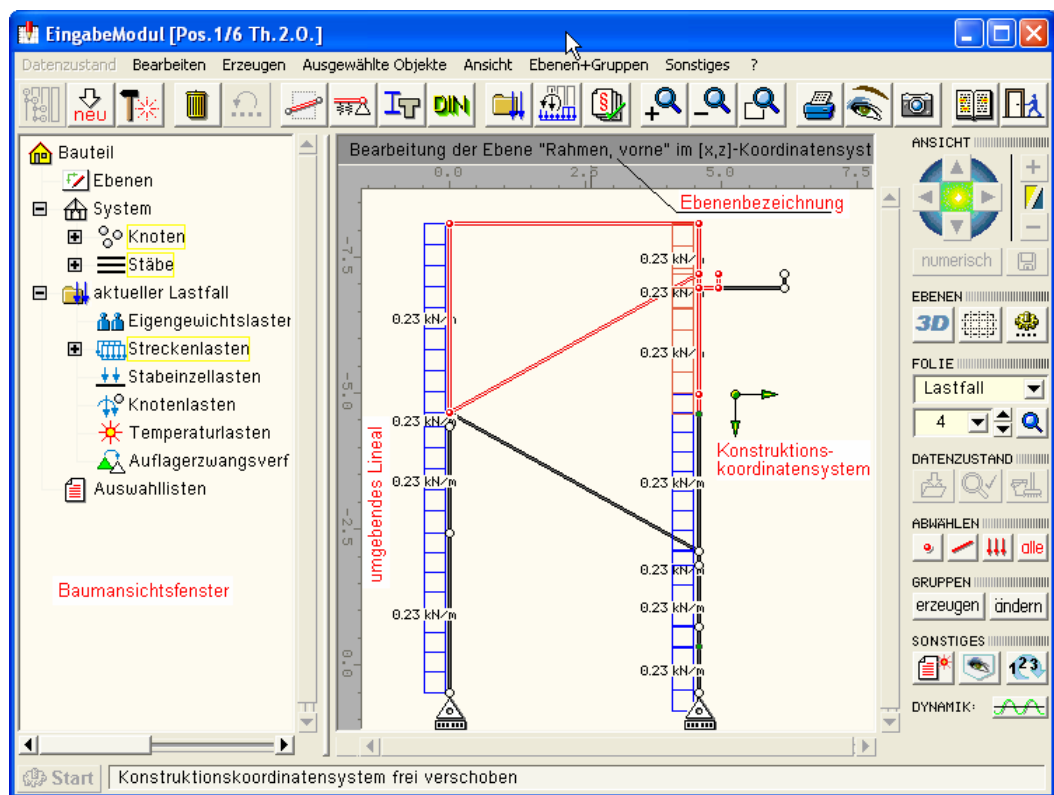
Eine Ebene wird erzeugt, indem drei Knoten ausgewählt (angeklickt) werden, die eine Ebene aufspannen - also nicht auf einer Raumgeraden liegen - und sodann der links nebenstehend angegebene **Ebenendefinitionsbutton** angeklickt wird. Es erscheint ein Eigenschaftsblatt, in dem der gewählten Ebene eine Bezeichnung gegeben werden kann. Hiernach schaltet das Programm in den Ebenenmodus um und stellt alle Knoten und Stäbe dar, die sich in dieser Ebene befinden.



Die Schaltflächen unter der Überschrift *Ebenen* haben im Ebenenbearbeitungsmodus ein anderes Aussehen und andere Funktionen.

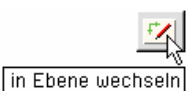


Durch Anklicken des 3D-Buttons wird der Ebenenbearbeitungsmodus beendet. Das grafische Eingabemodul zeigt das Gesamtsystem wieder im normalen 3D-Modus.

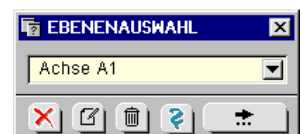


#### Skalierungslineal

Im Ebenenmodus wird ein Skalierungslineal angezeigt, das das ebene System vermaßt. Hierbei wird zwischen XY-parallelen, YZ-parallelen und XZ-parallelen Ebenen sowie beliebig schiefen  $\xi\eta$ -Ebenen unterschieden.



Einmal definierte Ebenen werden vom System verwaltet und sind jederzeit abrufbar. Hierzu wird der **Ebenen**-Button angeklickt. Es erscheint das nebenstehend dargestellte Eigenschaftsblatt.

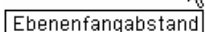


#### Ebenenbezeichnung

Hierin können die definierten Ebenen ausgewählt und bearbeitet werden. Insbesondere können die gewählte Bezeichnung der Ebene geändert, die Ebene gelöscht oder aktiviert werden.



Bei Aktivierung der Ebene sucht das grafische Eingabemodul alle Knoten und Stäbe heraus, die sich in der Ebene befinden. Dabei wird ein Fangabstand benutzt, der vom Benutzer eingestellt werden kann. Hierzu ist der links dargestellte **bearbeiten**-Button anzuklicken.



Im Ebenenmodus kann die Kameraposition zwar nicht verändert werden, wohl jedoch der Ausschnitt. Neben der übersichtlichen Bearbeitung ergeben sich weitere Vorteile aus den Ebenendefinitionen

- die definierten Ebenen können in der Systemdruckliste als Zeichnung ausgegeben werden
- der Ergebnis-Visualisierungsprozess kann auf die definierten Ebenen zurückgreifen und Ergebnisse in der Ebene darstellen
- im Ebenenmodus existieren erweiterte Modellierungstechniken, die im Folgenden erläutert werden.

#### 2.6.1.1

##### Ebeneneigenschaften



Durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Buttons wird das Eigenschaftsblatt der aktiven Ebene geöffnet. Hierin können bestimmte Eigenschaften festgelegt werden, die ausschließlich dieser Ebene zugeschrieben werden.

Im Register *Bereich* wird der im Ebenenfenster **dargestellte Bereich** eingestellt. Er sollte mindestens so groß sein, dass alle Objekte (Punkte und Linien) im Fenster dargestellt werden können. Sollen neue Objekte über den aktuell eingestellten Bereich hinaus konstruiert werden, empfiehlt es sich, die Bereichsgrenze an dieser Stelle nach außen zu verschieben.

Im Register *Raster* kann ein der aktuellen Ebene zugeordnetes **Raster** festgelegt werden. Ausgehend von einem beliebigen Punkt  $[x_c, y_c]$  können die sich wiederholenden Rasterabstände mit  $\Delta x$  und  $\Delta y$  definiert werden. Der logische Schalter **Raster darstellen** legt fest, ob das Raster eingeblendet (dargestellt) werden soll. Ist der Schalter **Raster aktivieren** angeschaltet, wird die Rasterpunktanziehung aktiviert. Hierdurch wird dafür gesorgt, dass beim manuellen Erzeugen von Punkten und Linien Punkte nur in den Rasterpunkten „landen“.

Unter dem Register *DXF-Vorlage* können **DXF-Vorlagen** erzeugt, verwaltet und der aktuellen Ebene zugeordnet werden. Die in der Ebene definierten Objekte werden mit dieser Vorlage grafisch hinterlegt, wenn der Schalter **Vorlage einblenden** aktiviert ist. Ist der Schalter **Kontrollpunktanziehung** aktiviert, wird dafür gesorgt, dass beim manuellen Erzeugen von Punkten und Linien Punkte nur in den Kontrollpunkten der Vorlage „landen“. Kontrollpunkte sind hierbei die Enden der Linien in der DXF-Vorlage.



Es ist zu beachten, dass nur entweder das Raster oder die DXF-Vorlage dargestellt werden können! Entsprechendes gilt für den Anziehungsmodus.

#### 2.6.1.2

##### Sonderfunktionen im Ebenenbearbeitungsmodus



Durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Buttons wird ein symbolisches Untermenü angeboten, das nur im Ebenenbearbeitungsmodus aktivierbare Funktionen zur Verfügung stellt.

##### 2.6.1.2.1

##### Stabdrehwinkel an Ebene anpassen



Mit Hilfe des nebenstehend dargestellten Buttons können die Imn-Systeme aller aktuell in der Ebene ausgewählten Stäbe dem Ebenenkoordinatensystem angepasst werden. Näheres s. Abs. 2.3.1.3.2, Stabdrehwinkel an Ebene anpassen, S. 31.

##### 2.6.1.2.2

##### Streckenlastbilder aus Flächenlasten generieren



Befindet sich die Interaktion in einer Lastfallfolie, können mit Hilfe des nebenstehend dargestellten Buttons die aktuell in der Ebene ausgewählten Stäbe mit einer Flächenlast belastet werden. Die definierte Flächenlast wird in entsprechende Linienlasten umgerechnet. Näheres s. Abs. 2.4.3.3, Streckenlastbilder aus Flächenlasten generieren, S. 42.

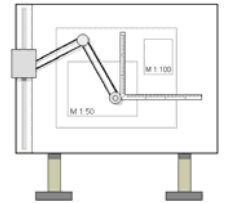
### 2.6.1.2.3

## Konstruktionskoordinatensystem



Das Konstruktionskoordinatensystem (KKS) ist ein bewegliches Interaktionshilfsmittel, das nur im Ebenenmodus angeboten wird. Es stellt ein rechtshändiges Koordinatensystem dar, dessen X-Achse in "Normalstellung" nach rechts und dessen Y-Achse nach unten weist. Es wird durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Buttons aktiviert.

Das KKS ist als interaktives Werkzeug vergleichbar mit den horizontalen und vertikalen Linealen eines herkömmlichen Zeichengeräts, das ebenfalls frei auf dem Plan verschoben und verdreht werden kann. Je nachdem an welcher Stelle konstruiert werden soll, wird man es entsprechend in Position bringen.



### KKS manuell verschieben



Das KKS kann frei in dem Fenster verschoben werden. Hierzu bewegt man den Mauszeiger in den Ursprung des KKS's, drückt die linke Maustaste und bewegt die Maus (linke Maustaste gedrückt haltend). Wird das KKS auf einen Knoten geschoben, erfolgt die Meldung: *Konstruktionskoordinatensystem auf Knoten .... verlagert* in der Statuszeile. Alle Koordinatensystemangaben, die in den Eigenschaftsblättern grün hinterlegt sind, beziehen sich auf das KKS.

### KKS numerisch verschieben



Das Konstruktionskoordinatensystem kann auch numerisch an eine bestimmte Position gebracht werden. Hierzu muss der Doppelklick auf den KKS-Ursprung angewendet werden. Es erscheint das dargestellte Eigenschaftsblatt.

KKS	
absolut	relativ
x = -1.500	0.000
z = -8.000	0.000
$\alpha$ : 0.000	0.000

Buttons: [X] [Löschen] [Hilfe] [OK]

Unter der Überschrift *absolut* wird die aktuelle Position des KKS ausgewiesen. Durch Änderung der X- und Y-Koordinaten kann das KKS an einer bestimmten Stelle positioniert werden. Angaben unter der Überschrift *relativ* ermöglichen ein Verschieben des KKS relativ zu seiner aktuellen Position. Durch Vorgabe der Winkel  $\alpha$  kann das KKS zudem absolut oder relativ verdreht werden.



Das KKS wird durch Anklicken des *Mülleimer*- oder des *Aufruf*-Buttons deaktiviert.

### KKS verdrehen



Das Verdrehen des KKS kann manuell geschehen. Hierzu führt man die Maus über den Pfeil einer der beiden Achsen des KKS und bewegt die Maus mit gedrückt gehaltener linker Maustaste. Wird eine Achse des KKS direkt auf einen Knoten gedreht, erscheint in der Statuszeile die Meldung *Konstruktionskoordinatensystem: X-Achse auf Knoten .... gedreht*.

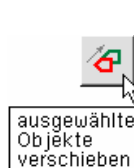


Um aus dem Ebenenmodus wieder zurück in den normalen 3D-Modus zu gelangen, ist der nebenstehend dargestellte Button im rechten Bildschirmbereich anzuklicken.

## 2.6.1.3

## Freihandmethoden beim Modellieren

Bei den unter Abs. 2.2.6, S. 24, beschriebenen Modellierungsaktionen (Verschieben, Verdrehen und Vergrößern) kann auf manuelle Freihandmethoden zurückgegriffen werden.



Objekte verschieben	
<input checked="" type="radio"/> numerisch	
<input type="radio"/> Punkt zu Punkt	
<input type="radio"/> manuell	
$\Delta x$ : 0.000 m	
$\Delta z$ : 0.000 m	
<input type="checkbox"/> auf Duplikat anwenden	

Buttons: [X] [Hilfe] [OK]



SKALIEREN	
<input checked="" type="checkbox"/> numerisch	
FESTHALTEPUNKT	
$x_0$ : 0.000	$f_x$ : 1.000
$z_0$ : 0.000	$f_z$ : 1.000
<input type="checkbox"/> manuell beliebig	
<input type="checkbox"/> auf Duplikat anwenden	

Buttons: [X] [Hilfe] [OK]



Bei der Freihanderzeugung können Knoten manuell (unter Zuhilfenahme des Lineals) positioniert werden.



Beim Freihanderzeugen von Stäben (S. 19) werden Knoten automatisch erzeugt, wenn keine existierenden Knoten getroffen wurden.

#### 2.6.1.4 Objekte spiegeln



Im Ebenenmodus können auf ausgewählte Objekte horizontale, vertikale und Punktspiegelungen angewandt werden. Die Spiegelachsen laufen hierbei immer durch den Schwerpunkt der zu spiegelnden Gruppe.



#### 2.6.1.5 Knoten ausrichten



Im Ebenenmodus können aktivierte Knoten ausgerichtet werden.



##### Zeile 1: Horizontale Ausrichtung



die ausgewählten Punkte bekommen die X-Koordinate des am weitesten links stehenden ausgewählten Punkts



die ausgewählten Punkte bekommen die X-Koordinate des am weitesten rechts stehenden ausgewählten Punkts



die ausgewählten Punkte bekommen als X-Koordinate den mittleren Wert aller ausgewählten Punkte



die ausgewählten Punkte bekommen eine numerisch vorzugebende X-Koordinate



die ausgewählten Punkte werden auf die (ggf. verdrehte) Y-Achse des **Konstruktionskoordinatensystems** projiziert.

##### Zeile 2: Vertikale Ausrichtung



die ausgewählten Punkte bekommen die Y-Koordinate des am weitesten oben stehenden ausgewählten Punkts



die ausgewählten Punkte bekommen die Y-Koordinate des am weitesten unten stehenden ausgewählten Punkts



die ausgewählten Punkte bekommen als Y-Koordinate den mittleren Wert aller ausgewählten Punkte



die ausgewählten Punkte bekommen eine numerisch vorzugebende Y-Koordinate

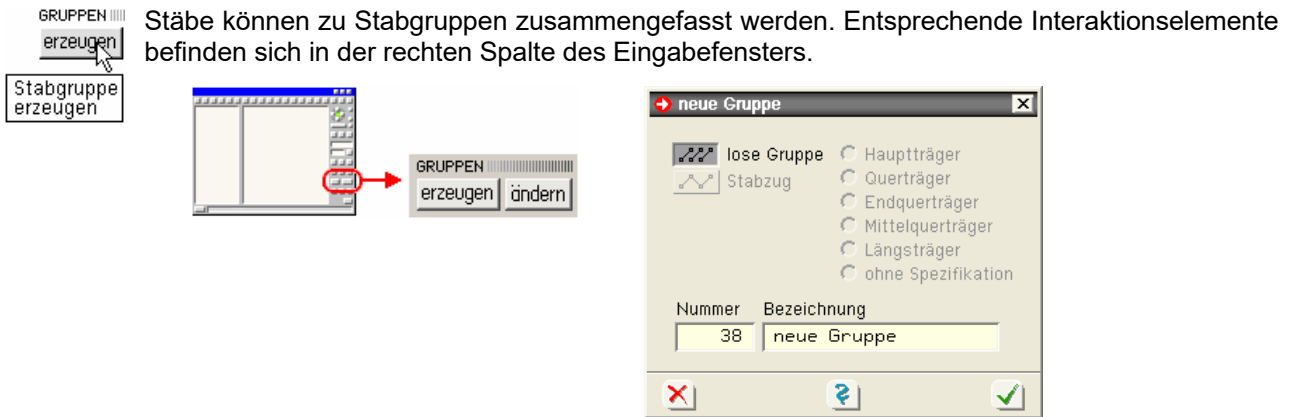


die ausgewählten Punkte werden auf die (ggf. verdrehte) X-Achse des Konstruktionskoordinatensystems projiziert.

Die Bezeichnungen X und Y beziehen sich hier nicht auf das globale Koordinatensystem, sondern auf das lokale Bildschirmkoordinatensystem der Ebenendarstellung.

## 2.6.2 Gruppenbildungen

### 2.6.2.1 Allgemeines

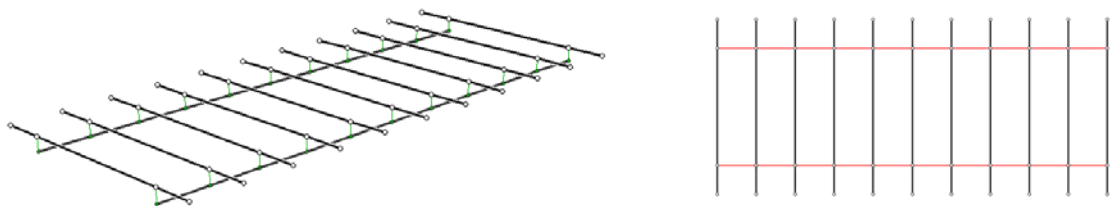


Bei Stabgruppen wird zwischen Stabzügen und losen Gruppen unterschieden. Ein Stabzug ist eine zusammenhängende Stabgruppe mit jeweils einem definierten Anfangs- und einem Endknoten sowie beliebig vielen Zwischenknoten. Eine lose Gruppe verfügt nicht über diese einschränkende topologische Eigenschaft und kann beliebige, nicht miteinander verknüpfte Stäbe umfassen. Gruppen dienen der Strukturierung von Stäben. Sie können ausgewählt und bearbeitet werden. Innerhalb des Eingabemoduls hat ein definierter Stabzug eine höhere Bindung als eine lose Stabgruppe. Für die Interaktion bedeutet dies: Stäbe, die zu einem Stabzug gehören, können nicht gelöscht oder anderweitig - die Gruppenstruktur zerstörend - modelliert werden. Stäbe können maximal zu einer Stabgruppe gehören.

**pcae** empfiehlt, von der Definition von Gruppen Gebrauch zu machen. Neben den Vorteilen in der interaktiven Bearbeitung im grafischen Eingabemodul lassen sich weitere Möglichkeiten nutzen

- im Gruppenbearbeitungseigenschaftsblatt können sämtliche Stäbe einer Gruppe leicht ausgewählt werden. Außerdem lassen sich hier Stäbe einer (oder mehrerer) Gruppen "unsichtbar" schalten. Bei einer großen Anzahl existierender Stäbe kann dies aus Übersichtlichkeitsgründen für die Bearbeitung im *##-FRAP*-Eingabemodul von Vorteil sein. Hier bestehen also interaktionstechnische Vorteile.
- der Visualisierungsprozess von *##-FRAP* nimmt die Strukturierungsfestlegungen der Stabgruppenbildung des Eingabemoduls auf und bietet die Stäbe in seinen Baumstrukturen gruppenweise geordnet an. Hierdurch können einzelne Stäbe sehr viel übersichtlicher wieder gefunden werden.
- für die Systemdruckliste kann die Beschreibung des Systems optional gruppenweise erfolgen (Voreinstellung). Auch dies erhöht die Übersichtlichkeit beim Lesen der Druckliste speziell für Dritte.
- Schnittgrößen und Verformungszustände werden in der Ergebnisdruckliste und im Ergebnisvisualisierungsprozess optional am gesamten definierten Stabzug ausgegeben. Dies erscheint sehr viel übersichtlicher als die Ausgabe der Zustandsgrößen an den Einzelstäben.

Gegeben sei ein Trägerrost mit zwei exzentrisch angekoppelten Hauptträgern, wie er im Brückenbau zur Anwendung kommen kann.



Eine sinnvolle Gruppierung unterliegt immer den Systemgegebenheiten. Sicherlich ist es hier sinnvoll, die beiden Hauptträger als Stabzüge zu definieren. Sodann könnten die Kragarme im oberen Bereich, die Kragarme im unteren Bereich und die Stäbe der Fahrbahnplatte zu jeweils einer losen Gruppe zusammengefasst werden.

### 2.6.2.2

### Stabgruppen erzeugen

erzeugen

Im Darstellungsfenster markierte Stäbe können zu einer Stabgruppe zusammengefasst werden, indem der Button zur Gruppendefinition angeklickt wird.

Hat die Menge der aktuell ausgewählten Stäbe hinsichtlich ihrer Verknüpfung untereinander die Eigenschaft eines Stabzugs, muss bei der Definition der Gruppentyp (lose Gruppe oder Stabzug) festgelegt werden. Der neu definierten Gruppe sollte eine wiedererkennbare Bezeichnung gegeben werden. Soll ein Stab, der bereits zu einer losen Gruppe gehört, einer neu zu erzeugenden Gruppe zugeordnet werden, wird er zunächst aus der vorhandenen Gruppe herausgenommen. Jedoch: Stäbe, die zu einem Stabzug gehören, können keiner weiteren Gruppe zugeordnet werden. Hierzu muss der Stabzug zunächst aufgelöst werden.

### 2.6.2.3

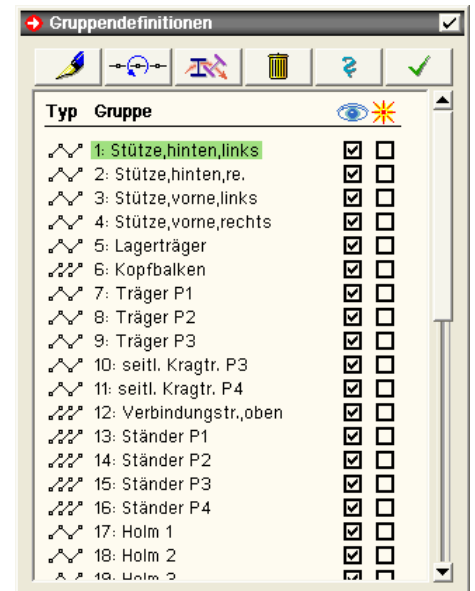
### Verwaltung der Stabgruppen

ändern

Wird der Gruppenbearbeitungsbutton **ändern** angeklickt, erscheint ein Eigenschaftsblatt zur Auswahl und Bearbeitung der definierten Gruppen.



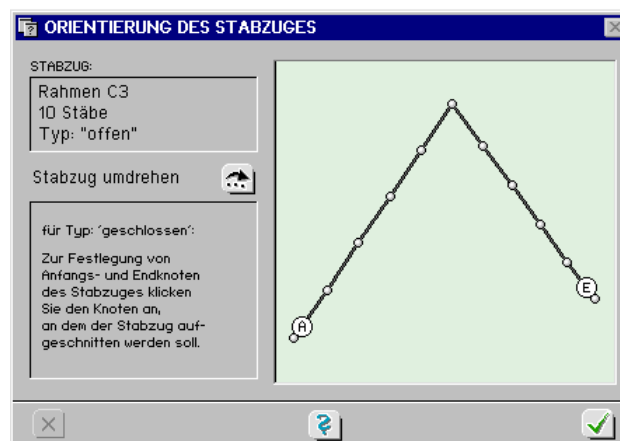
In diesem Eigenschaftsblatt sind die bereits definierten Gruppen zeilenweise aufgeführt. Jeder Zeile können der Gruppentyp und die Gruppenbezeichnung entnommen werden. In der vorletzten Spalte kann per Mausklick festgelegt werden, ob die Stäbe einer bestimmten Gruppe im Darstellungsfenster sichtbar oder unsichtbar dargestellt werden sollen. Hierdurch ist ein Ausblendemechanismus gegeben, der bei der Bearbeitung von Systemen mit sehr vielen Stäben die Übersichtlichkeit steigern kann. Ein Haken in der letzten Spalte besagt, dass alle Stäbe dieser Gruppe(n) nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts den Status "ausgewählt" bekommen (☑ -an, ☐ -aus). Eine angeklickte Gruppenbezeichnung wird grün hinterlegt dargestellt. Eine derart ausgewählte Gruppe kann



umbenannt werden. Man beachte, dass die Gruppennummer die Reihenfolge der Gruppen im Fenster (und in der Baumansicht) festlegt!



Handelt es sich bei der ausgewählten Stabgruppe um einen Stabzug, kann seine Orientierung durch Vertauschen von Anfangs- und Endknoten geändert werden. Man beachte, dass die Imn-Systeme der zu einem Stabzug gehörenden Stäbe automatisch an diese Orientierung angepasst werden!



Handelt es sich bei der ausgewählten Stabgruppe um einen Stabzug, können die Eigenschaften des Stabzugs bzgl. des Biegedrillknicknachweises bearbeitet werden. Näheres hierzu s. Abs. 2.6.3, S. 59.



Die Stabgruppe kann gelöscht werden. Hierbei wird die Gruppendefinition aus der Verwaltung gestrichen. Die Stäbe bleiben dabei natürlich erhalten.

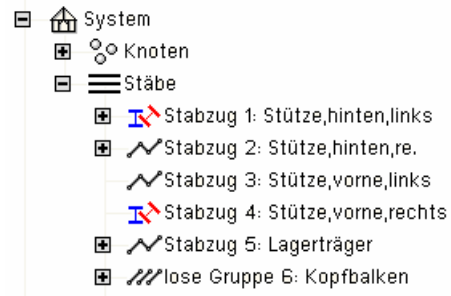


Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts werden das Baumansichtsfenster aktualisiert und die Einstellungen bzgl. Sichtbarkeit und Auswahlzustand aktiviert.



Im Baumansichtsfenster werden die Stabgruppen unter dem Wurzelobjekt *Stäbe* aufgelistet. Dem vorangestellten Symbol kann direkt entnommen werden, ob es sich bei der Gruppe um einen Stabzug oder eine lose Gruppe handelt und ob der Stabzug für den Biegedrillknicknachweis über seine Eigenschaften aktiviert wurde.

Ein einfacher Klick auf ein Gruppensymbol wählt alle Stäbe einer Gruppe aus bzw. ab. Ein Klick auf das [+] -Zeichen erlaubt die schnelle Einsichtnahme der zu dieser Gruppe gehörenden Stäbe. Erfährt eine Stabgruppe im Baumansichtsfenster einen Doppelklick, öffnet sich das Eigenschaftsblatt zur Verwaltung der Stabgruppen, in dem die angeklickte Gruppe bereits ausgewählt ist. Hierdurch ist ein sehr schneller Zugriff etwa auf die Biegedrillknickeigenschaften gegeben.



## 2.6.3

## Biegedrillknicken

### 2.6.3.1

### Eigenschaftsblatt



Durch Anklicken des dargestellten Buttons im Eigenschaftsblatt *Gruppendefinitionen* erscheint das Eigenschaftsblatt zur Definition von Biegedrillknicknachweiseinstellungen, die für den aktuell ausgewählten Stabzug gelten.

In dem Eigenschaftsblatt muss zunächst durch Aktivierung der logischen Schalttafel oben festgelegt werden, dass der Biegedrillknicknachweis am ausgewählten Stabzug geführt werden soll.

Im Register *Stabzug-Analyse* wird der Stabzug im Sinne des Biegedrillknicknachweises auf Zulässigkeit überprüft.

Es gelten folgende Restriktionen: Der Stab muss ausschließlich aus Stahlstäben mit einheitlicher Stahlgüte bestehen. Als Profil ist allein der doppelsymmetrische, ungevoutete Doppel-T-Querschnitt zugelassen. Der Stabzug muss ideal gerade sein, Sprünge oder Knicke zwischen den einzelnen Stäben sind nicht erlaubt.

Verstößt der Stabzug gegen eine dieser Regeln, erfolgt eine entsprechende Meldung. Eine weitere Bearbeitung der anderen Register ist dann nicht möglich.

Als Querschnitt kann das den Stäben des Stabzugs zugeordnete Profil oder ein separat zu beschreibender Nachweisquerschnitt angenommen werden. Hierzu muss im Querschnittsregister die Schaltfläche **Nachweisquerschnitt wie Stabzugquerschnitt** deaktiviert werden.

In den normenabhängigen Registern können stabzugbezogene Angaben zum Biegedrillknicknachweis festgelegt werden. Mit den Knicklängenbeiwerten kann die Reduzierung der Knicklänge infolge einer Einspannung der Stabenden berücksichtigt werden. Der Wölbeinspannungsgrad kann Werte zwischen 0.5 und 1.0 annehmen. Bei 0.5 liegt eine starre Wölbeinspannung vor.

Die Größe des Trägerbeiwerts  $n$  (DIN 18800) ist von der Art des verwendeten Trägers abhängig. Die Voreinstellung gilt für Walzprofile. Werte für andere Trägerarten wie Schweißträger, Voutenträger usw. können der gewählten Norm entnommen werden.

$z_p$  ist der Abstand des Angriffspunkts der Querbelastung vom Querschnittsschwerpunkt mit positivem Wert auf der Biegezugseite.

Der Typ der Knickspannungslinie kann (Standard) vom Programm automatisch ermittelt werden (voreingestellt). Bei Umschaltung auf **benutzerdefiniert** besteht die Möglichkeit, die Knickspannungslinie gemäß der gewählten Norm direkt vorzugeben. Dies empfiehlt sich etwa bei typisiert beschriebenen Querschnitten.

Die Befestigung von Trapezblechen (Näheres s. Abs. 2.6.3.3.1, S. 65) auf dem Obergurt des Trägers kann die Biegedrillknickgefährdung reduzieren.

Die Ergebnisse des Biegedrillknicknachweises erscheinen nach durchgeführter Berechnung in einer eigenständigen Druckliste. Der Umfang dieser Druckliste kann unter der Überschrift *Druckoptionen* eingestellt werden. Zunächst wird festgelegt, ob die Ergebnisse des Nachweises für alle am Nachweis beteiligten Lastkollektive oder nur am maßgebenden Lastkollektiv protokolliert werden sollen. Diverse ergebnisträchtige Liniengrafiken können wahlweise hinzugefügt werden.

**Druckoptionen**

Protokoll für ☒ das maßgebende Lastkollektiv  
☐ alle Lastkollektive

☒ Liniengrafiken darstellen

☒ Normalkraft

☒ Moment um y

☒ Moment um z

☐ Querkraft in y-Richtung

☐ Querkraft in z-Richtung

☐ Torsionsmoment

☒ Ausnutzungsgrad

### 2.6.3.2

#### Theoretischer Teil

#### 2.6.3.2.1

##### Allgemeines

Für Stabzüge aus Stahl kann der Biegedrillknicknachweis n. EC3, 6.3.1 oder DIN 18800, T. 2, El. 323, unter folgenden Voraussetzungen geführt werden (Ersatzstabverfahren)

- Der Stabzug ist gerade und besteht aus I-förmigen doppelsymmetrischen Stahlquerschnitten (Profile der Profildatei oder nicht gevoutete typisierte Querschnitte) mit einheitlicher Stahlgüte. Diese Voraussetzungen werden vom Eingabeprogramm überprüft.
- Es werden die Lastkollektive der Nachweise *EC 3* oder *DIN 18800 Tragfähigkeit (Theorie II. Ordnung)* behandelt. Nach *EC 3* werden die Gleichungen (6.61) und (6.62) ausgewertet. Nach DIN 18800 wird entsprechend die Gleichung (30) in El. 323 für die Ergebnispunkte des Stabzugs mit den zugehörigen Schnittgrößen ausgewertet (s. /22/, Erl. 3.5.3). Bei Vorhandensein von Torsion wird der Wölbkraftanteil über ein äquivalentes Querbiegemoment  $M_{z,d}$  berücksichtigt (s. /22/, Erl. 3.6). Dieses Vorgehen gilt sowohl für Nachweise n. DIN 18800 als n. EC 3. Für DIN 18800 gilt somit

$$U_{BDK} = \frac{N_d}{\kappa_z \cdot N_{pl,d}} + \frac{M_{y,d}}{\kappa_M \cdot M_{pl,y,d}} \cdot k_y + \frac{(M_{z,d} + M_{z,d}^*)}{M_{pl,z,d}} \cdot k_z \leq 1$$

- Die Schub erzeugenden Schnittgrößen  $V_{y,d}$ ,  $V_{z,d}$ ,  $M_{x,d}$  reduzieren dabei die plastischen Grenzschnittgrößen  $N_{pl,d}$ ,  $M_{pl,y,d}$ ,  $M_{pl,z,d}$  (s. DIN 18800, T. 2, El. 315). Die Berechnung der reduzierten Grenzschnittgrößen erfolgt wie beim Teilschnittgrößenverfahren in /25/

$$\text{red } f_{y,k} = f_{y,k} \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{\tau}{\tau_R} \right)^2}$$

Für EC 3 gilt entsprechend

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{yy} \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad \dots \text{EC 3, Gl. (6.61), für Ausweichen um die y-y -Achse}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{zz} \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad \dots \text{EC 3, Gl. (6.62), für Ausweichen um die z-z -Achse}$$

$N_{Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$  Bemessungswerte der Druckkraft und der einwirkenden maximalen Momente um die y-y-Achse und z-z-Achse

$\Delta M_{y,Ed}, \Delta M_{z,Ed}$  die Momente aus der Verschiebung der Querschnittsachsen von Klasse-4-Querschnitten (im Programm nicht implementiert)

$\chi_y, \chi_z$  ..... Abminderungsbeiwerte für Biegeknicken n. 6.3.1

$\chi_{LT}$  ..... für Biegedrillknicken n. 6.3.2

$k_{yy}, k_{zz}, k_{yz}, k_{zy}$  Interaktionsfaktoren, werden nach EC 3, Anh. B, Verfahren 2, bestimmt

- Zur Berechnung von  $\chi_{LT}$  n. EC 3, 6.3.2, bzw.  $\kappa_M$  n. DIN 18800, T. 2, El. (311), wird der bezogene Schlankheitsgrad und damit das ideale Biegedrillknickmoment  $M_{cr}$  benötigt.  $M_{cr}$  entspricht  $M_{Ki,y}$  gemäß DIN 18800 und wird analog DIN 18800, T. 2, El. 311, Anm. 1, ermittelt

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

- Der Momentenbeiwert  $\zeta_y$  wird aus dem  $M_y$ -Verlauf als kleinster Kippeigenwert ermittelt. Mit  $\zeta_y$  kann der Wert des maximalen idealen Biegedrillknickmoments berechnet werden. Der Wert

des Biegedrillknickmoments an einer beliebigen Stelle x des Stabzugs erhält man durch

$$M_{Ki,y}(x) = \frac{M_{Ki,y}}{\max |M_{y,p}|} \cdot |M_{y,p}(x)| = \eta_{Ki,y} \cdot |M_{y,p}(x)|$$

- Die Faktoren  $k_y$  und  $k_z$  werden mit den Momentenbeiwerten  $\beta_{M,y}$  und  $\beta_{M,z}$  n. DIN 18800, T. 2, El. 320 und El. 321, berechnet. Auf der sicheren Seite liegend kann  $k_y=1$  und  $k_z=1.5$  gesetzt werden (DIN 18800, Teil 2, El. 323, Anm. 3).

### 2.6.3.2.2 Berechnung der $\zeta$ -Werte

Wie in /26/ beschrieben, erhält man für den gabelgelagerten Stab ohne Lastexzentrizität ( $z_p = 0$ ) unter Verwendung einer Fourierreihe als Näherungslösung für die Verdrehung  $\varphi$  folgendes Eigenwertproblem

$$\left(1 + \frac{\pi^2 \cdot \chi}{1 + \pi^2 \cdot \chi} \cdot (m^2 - 1)\right) \cdot m^2 \cdot \varphi_m - 2 \cdot \zeta^2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left( \mu^2 \cdot \sin(m\pi\zeta) \cdot \sin(n\pi\zeta) \cdot d\zeta \right) \cdot \varphi_n = 0 \quad \text{für } m = 1, 2, \dots$$

... mit ...  $\zeta = \frac{x}{l}$  ... und ...  $\chi = \frac{E \cdot I_\omega}{G \cdot I_T \cdot l^2}$

Die Funktion  $\mu$  ist die mit dem Maximalwert skalierte Momentenkurve

$$\mu(x) = \frac{|M(x)|}{\max |M|} \leq 1$$

Mit dem kleinsten Eigenwert  $\zeta$  lässt sich dann das maximale ideale Biegedrillknickmoment des Stabzugs berechnen. Für eine konstante Momentenverteilung  $\mu$  ist  $\zeta = 1$ . Die in DIN 18800, T. 2, Tab. 10, angegebenen Werte entsprechen den mit  $\chi = 0$  berechneten Werten. Genauere Werte in Abhängigkeit der Torsionskennzahl  $\chi$  s. /24/. Diese Werte führen i.d.R. zu größeren  $\zeta$ -Werten. Der Anwender kann im Programm festlegen, ob die Torsionskennzahl berücksichtigt werden soll.

### 2.6.3.2.3 Berechnung von $\chi_y$ und $\chi_z$ n. EC 3

Die  $\chi$ -Beiwerte für den Normalkraftanteil in den Gleichungen werden entspr. EC 3, Gl. (6.49), berechnet. Unter den Eingaben zum Biegedrillknicknachweis kann eingestellt werden, welche Linie zu Grunde gelegt werden soll. Zur Berechnung von  $\chi$  werden der bezogene Schlankheitsgrad und damit die Normalkraft unter der kleinsten Verzweigungslast für das Ausweichen rechtwinklig zur Bezugsachse oder die Drillknicklast benötigt.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{... aber ... } \chi \leq 1.0 \quad \text{... mit ...}$$

$$\Phi = 0.5 \cdot \left( 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right) \quad \text{... und ... } \bar{\lambda} = \frac{A \cdot f_y}{N_{cr}} \quad \text{für Querschnitte der Klassen 1, 2 und 3}$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I_z}{s_K^2} \quad \text{... mit ... } s_K = \beta_z \cdot l$$

Für die Profile aus der Profildatei ist die Drillknicklast stets größer als die Biegeknicklast. Über den Knicklängenbeiwert  $\beta_z$  können von der gelenkigen Lagerung der Endpunkte des Stabzugs abweichende Einspannungen um die z-Achse berücksichtigt werden (z.B.  $\beta_z = 0.5$  beidseitig eingespannt,  $\beta_z = 0.7$  einseitig eingespannt). Eine Behinderung der Verwölbung wird durch den Wölbeinspanngrad  $\beta_0$  realisiert (z.B.  $\beta_0 = 0.5$  Wölbeinspannung). Das maximale ideale Biegedrillknickmoment des Stabzugs wird dann mit

$$M_{cr} = \zeta_y \cdot N_{cr} \cdot \left( \sqrt{c^2 + \left( \beta_z^2 \cdot \frac{z_p}{2} \right)^2} + \beta_z^2 \cdot \frac{z_p}{2} \right) \quad \text{... mit ... } N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I_z}{(\beta_z \cdot l)^2} \quad \text{... und ... } c^2 = \frac{(\beta_z \cdot l)^2}{I_z} \cdot \left( \frac{I_\omega}{(\beta_0 \cdot l)^2} + \frac{G \cdot I_T}{E \cdot \pi^2} \right)$$

ermittelt (s. /23/, Seite 395). Der Anwender kann zusätzlich festlegen, ob die Primärbiegung nach CHWALLA berücksichtigt werden soll. Dies führt zur Erhöhung des idealen Biegedrillknickmoments um den Faktor

$$f_{MKI,y} = \sqrt{\frac{I_y}{I_y - I_z}} \cdot l_{\bar{u}}$$

Kippen ist demnach nur für  $I_y > I_z$  möglich (s. /23/, S. 400). Der Faktor  $f_{MKI,y}$  ist nur bei Profilen

mit sehr breiten Gurten von Bedeutung (z.B. IPE300  $f_{MKI,y} = 1.038$ , HE300A  $f_{MKI,y} = 1.236$ ).

#### 2.6.3.2.4 Berechnung von $\kappa_z$ und $\kappa_M$ n. DIN 18800

Der Abminderungsfaktor  $\kappa_z$  beim Normalkraftanteil in Gl. (30) ermittelt sich aus der Knickspannungslinie für das Ausweichen senkrecht zur z-Achse. Unter den Eingaben zum Biegedrillknicknachweis kann eingestellt werden, welche Linie zu Grunde gelegt werden soll.

Zur Berechnung von  $\kappa_z$  werden der bezogene Schlankheitsgrad und damit die Normalkraft unter der kleinsten Verzweigungslast für das Ausweichen rechtwinklig zur z-Achse oder die Drillknicklast benötigt.

$$\kappa_z = \kappa_z(\bar{\lambda}_{K,z}) \quad \dots \text{mit} \quad \bar{\lambda}_{K,z} = \sqrt{\frac{N_{pl}}{\min(N_{KI,z}, N_{KI,\vartheta})}} \quad \dots \text{und} \quad N_{KI,z} = \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I_z}{s_{K,z}^2} \quad \dots \text{mit} \quad s_{K,z} = \beta_z \cdot l$$

Für die Profile aus der Profildatei ist die Drillknicklast stets größer als die Biegeknicklast. Über den Knicklängenbeiwert  $\beta_z$  können von der gelenkigen Lagerung der Endpunkte des Stabzugs abweichende Einspannungen um die z-Achse berücksichtigt werden (z.B.  $\beta_z = 0.5$  beidseitig eingespannt,  $\beta_z = 0.7$  einseitig eingespannt). Eine Behinderung der Verwölbung wird durch den Wölbeinspanngrad  $\beta_0$  realisiert (z.B.  $\beta_0 = 0.5$  Wölbeinspannung). Das maximale ideale Biegedrillknickmoment des Stabzugs wird dann mit

$$M_{KI,y} = \zeta_y \cdot N_{KI,z} \cdot \left[ \sqrt{c^2 + \left( \beta_z^2 \cdot \frac{z_p}{2} \right)^2} + \beta_z^2 \cdot \frac{z_p}{2} \right] \quad \dots \text{mit} \quad N_{KI,z} = \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I_z}{(\beta_z \cdot l)^2} \quad \dots \text{und} \quad c^2 = \frac{(\beta_z \cdot l)^2}{l_z} \cdot \left( \frac{l_w}{(\beta_0 \cdot l)^2} + \frac{G \cdot l_T}{E \cdot \pi^2} \right)$$

ermittelt (s. /23/, Seite 395). Der Anwender kann zusätzlich festlegen, ob die Primärbiegung nach CHWALLA berücksichtigt werden soll. Dies führt zur Erhöhung des idealen Biegedrillknickmoments um den Faktor

$$f_{MKI,y} = \sqrt{\frac{I_y}{I_y - I_z}} \cdot l_u$$

Kippen ist demnach nur für  $I_y > I_z$  möglich (s. /23/, S. 400). Der Faktor  $f_{MKI,y}$  ist nur bei Profilen mit sehr breiten Gurten von Bedeutung (z.B. IPE300  $f_{MKI,y} = 1.038$ , HE300A  $f_{MKI,y} = 1.236$ ).

#### 2.6.3.2.5 Berechnung der Momentenbeiwerte $k_y$ und $k_z$

Zur Berechnung der Momentenbeiwerte  $k_y$  und  $k_z$  n. DIN 18800 werden die Beiwerte  $\beta_{M,y}$  und  $\beta_{M,z}$  benötigt. In DIN 18800, T. 2, Tab. 11, Sp. 3, Z. 3, sind für den Fall *Stabendmomente mit Moment aus konstanter Querbelastrung* Beziehungen für die  $\beta_M$ -Werte angegeben. Für andere Momentenverteilungen kann n. /22/, Formel (2-3.20), näherungsweise  $\beta_M = \zeta$  gesetzt werden. Auf der sicheren Seite liegend kann der Nachweis auch mit  $k_y = 1$  und  $k_z = 1.5$  geführt werden. Der Anwender kann im Programm zwischen diesen Vorgehensweisen wählen.

#### 2.6.3.2.6 Berechnung der Interaktionsbeiwerte $k_{yy}$ , $k_{zz}$ , $k_{yz}$ und $k_{zy}$ n. EC 3

Die Berechnung der Interaktionsbeiwerte erfolgt n. EC 3, Anh. B, Verf. 2. Optional kann vereinfachend mit  $C_{my} = C_{mz} = C_{mLT} = 1$  gerechnet werden.

#### 2.6.3.2.7 planmäßige Torsion

Bei Vorhandensein von Torsion wird n. /22/, Erl. 3.6, der Wölbkraftanteil über ein äquivalentes Querbiegemoment  $M_{z,d}$  berücksichtigt. Aus der Verteilung des Torsionsmoments  $M_{x,d}$  kann für den Stabzug das zugehörige Wölbmoment  $M_{\omega,d}$  mit den bekannten Lösungen der Gleichung der Wölbkrafttorsion ermittelt werden (s. /24/, Tab. 4.2). Aus dem Wölbmoment lässt sich dann das äquivalente Querbiegemoment als Zusatzmoment für Gl. (30) in El. 323 berechnen

$$M_{z,d}^* = 2 \cdot \frac{M_{\omega,d}}{h_g} \quad \dots \text{mit} \quad h_g \quad \text{Abstand der Gurtschwerachsen}$$

#### 2.6.3.2.8 Ergebnisse des Biegedrillknicknachweises

Die Ergebnisse des Biegedrillknicknachweises werden in einer separaten Druckliste gespeichert. Am Anfang der Druckliste stehen allgemeine Angaben zum Nachweis. Danach sind für jeden Stabzug mit aktiviertem Biegedrillknicknachweis die Ergebnisse aufgeführt. Am Ende der Druckliste steht die Zusammenfassung, so dass sofort erkenntlich ist, ob alle Nachweise geführt

werden konnten. Der Ausgabeumfang der Stabzugergebnisse kann vom Anwender durch Setzen von Druckoptionen gesteuert werden (s. Abs. 2.6.3.1).

### BIEGEDRILLKNICKNACHWEIS DIN EN 1993-1-1, 6.3.3

Der Biegedrillknicknachweis wird für 120 Lastkollektive (Berechnung nach Theorie II. Ordnung) geführt. Der maßgebende Schnitt der Klassifizierung wird aus den Stellen der max. Spannungsausnutzung ermittelt. Die Momentenbeiwerte  $\zeta_y$  und  $\zeta_z$  werden aus den  $M_y$ - und  $M_z$ -Verläufen als Kippeigenwerte errechnet. Eventuell vorhandene Torsion wird über Zusatzquerbiegemomente aus dem Wölbkraftanteil berücksichtigt. Das Biegedrillknicken wird in den Ergebnisschnitten mit zugehörigen Schnittgrößen überprüft. Die schuberzeugenden Schnittgrößen reduzieren dabei die Grenzschnittgrößen.

### BIEGEDRILLKNICKNACHWEIS STABZUG 2: RIEGEL LINKS

Knicklängenbeiwert, Wölbeinspannungsgrad:  $\beta_y = 1.00$ ,  $\beta_z = 1.00$ ,  $\beta_0 = 1.00$   
Stabzuglänge, Knicklängen:  $L = 6000$  mm,  $s_{k,y} = 6000$  mm,  $s_{k,z} = 6000$  mm,  $s_{k,0} = 6000$  mm  
Knickspannungslinien für das Ausweichen rechtwinklig zur Achse:  $y-y \Rightarrow a$ ,  $z-z \Rightarrow b$   
Knickspannungslinie für Biegedrillknicken:  $b$   
Materialsicherheitsbeiwert, Stahlgüte:  $\gamma_M = 1.10$ , Stahl S355  
Streckgrenzen:  $f_{y,k} = 355.00$  MN/m<sup>2</sup>,  $f_{y,d} = 322.73$  MN/m<sup>2</sup>,  $\tau_{R,d} = 186.33$  MN/m<sup>2</sup>  
E-Modul, G-Modul:  $E = 210000.0$  MN/m<sup>2</sup>,  $G = 81000.0$  MN/m<sup>2</sup>  
  
Querschnitt: Profil IPE300:  $h = 300.0$  mm,  $b = 150.0$  mm,  $s = 7.1$  mm,  $t = 10.7$  mm,  $h_s = 289.3$  mm  
Querschnittswerte:  $A = 53.8$  cm<sup>2</sup>,  $I_y = 8360$  cm<sup>4</sup>,  $I_z = 604$  cm<sup>4</sup>,  $I_T = 20.20$  cm<sup>4</sup>,  $I_\omega = 125900$  cm<sup>6</sup>  
Schubflächen:  $A_{vy} = 32.1$  cm<sup>2</sup>,  $A_{vz} = 25.7$  cm<sup>2</sup>  
Widerstandsmomente:  $W_{el,y} = 557$  cm<sup>3</sup>,  $W_{el,z} = 80$  cm<sup>3</sup>,  $W_{pl,y} = 628$  cm<sup>3</sup>,  $W_{pl,z} = 125$  cm<sup>3</sup>  
Grenzschnittgrößen Biegung (elastisch):  $N_{el,d} = 1736.3$  kN,  $M_{el,y,d} = 179.76$  kNm,  $M_{el,z,d} = 25.98$  kNm  
Grenzschnittgrößen Biegung (plastisch):  $N_{pl,d} = 1736.3$  kN,  $M_{pl,y,d} = 202.67$  kNm,  $M_{pl,z,d} = 40.34$  kNm  
Grenzschnittgrößen Schub (plastisch):  $V_{pl,y,d} = 598.1$  kN,  $V_{pl,z,d} = 478.3$  kN,  $M_{pl,x,d} = 4.43$  kNm  
  
Drehbettung:  $c_D = 12.877$  kNm/m,  $\Delta I_{T,D} = 57.99$  cm<sup>4</sup>,  $I_T^* = 78.19$  cm<sup>4</sup>  
Drehradius, Angriffspunkt der Querlasten:  $c = 450.5$  mm,  $z_p = -150.0$  mm  
Knicknormalkräfte:  $N_{cr,y} = 4813.1$  kN,  $N_{cr,z} = 347.7$  kN,  $N_{cr,0} = 1417.0$  kN  
Kippmoment bei konstantem Momentenverlauf:  $M_{cr0,y} = 132.7$  kNm  
Kippmoment bei konstantem Momentenverlauf ohne Drehbettung:  $M_{cr0,y} = 68.2$  kNm  
Die  $\zeta$ -Werte werden mit der Torsionskennzahl  $\chi = 0.0$  berechnet.  
Die Momentenbeiwerte  $C_{my}$ ,  $C_{mz}$  und  $C_{mLT}$  werden aus den mittleren Querlasten berechnet.  
Der Nachweis wird an 12 Stabpunkten mit den zugehörigen Schnittgrößen geführt.

Zunächst erfolgt die Querschnittsklassifikation entlang des betrachteten Stabzugs.

Kann der Querschnitt in Klasse 1 oder 2 eingeordnet werden, wird der Biegedrillknicknachweis plastisch, bei Einordnung in Klasse 3 elastisch geführt.

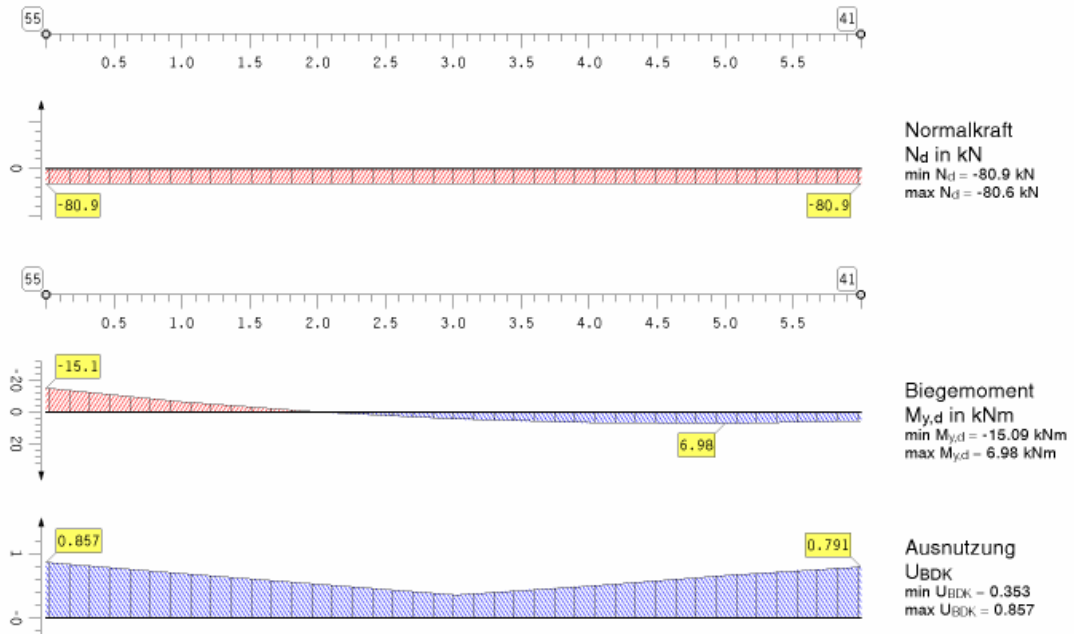
Klasse 4-Querschnitte werden nicht untersucht.

## Maßgebendes Lastkollektiv (Biegedrillknicken)

Nachweis 1: EC 3 Tragfähigkeit (Th. II. Ord.)

Lastkollektiv 82: Lastkollektivgruppe 1: Generierungsvorschrift 1

Kombination:  $1.35 \cdot Lf1 + 0.5 \cdot 1.5 \cdot Lf2 + 1.5 \cdot Lf5 + Ip1$



$\zeta$ -Beiwerte, max. Kippmoment:  $\zeta_y = 2.906$ ,  $\zeta_z = 2.447$ ,  $M_{K1,y} = \zeta_y \cdot M_{K10,y} = 385.7$  kNm

Kritische Lastfaktoren für Kippen:  $\eta_{K1,y} = 25.566$ ,  $\eta_{K1,z} = 54.419$

Schlankheitsgrade:  $\lambda_y = 1.161$ ,  $\lambda_z = 2.344$

Momentenbeiwerte:  $C_{my} = 0.400$ ,  $C_{mz} = 0.400$ ,  $C_{mLT} = 0.400$

Nachweis bei  $x = 0.000$  m:  $N_d / (\chi_z \cdot \eta_N \cdot N_{el,d}) + M_{y,d} \cdot k_{zy} / (\chi_{LT} \cdot \eta_{My} \cdot M_{el,y,d}) + (M_{z,d} + M_{z,d}^*) \cdot k_{zz} / (\eta_{Mz} \cdot M_{el,z,d})$

Schnittgrößen Schub:  $V_{y,d} = -6.69$  kN,  $V_{z,d} = 9.57$  kN,  $M_{x,d} = -0.62$  kNm

Abminderungsfaktoren Streckgrenzen:  $\tau_{y,d} = 29.52$  MN/m<sup>2</sup>,  $\tau_{z,d} = 19.73$  MN/m<sup>2</sup>  $\Rightarrow \eta_y = 0.987$ ,  $\eta_z = 0.994$

Abminderungsfaktoren Grenzschnittgrößen:  $\eta_N = 0.990$ ,  $\eta_{My} = 0.989$ ,  $\eta_{Mz} = 0.987$

Schnittgrößen Biegung:  $N_d = -80.9$  kN,  $M_{y,d} = -15.09$  kNm,  $M_{z,d} = -26.21$  kNm,  $M_{z,d}^* = 0.00$  kNm

Maßgebende Klassifizierung bei  $x = 6.000$  m (elastisch):  $\epsilon = 0.814$ ,  $U_{c/t} = 0.793 < 1$

Korrekturbeiwert zur Berechnung von  $\chi_{LT}$ :  $k_c = 0.587$

Faktoren in EC3-1-1/6.3.3:  $\chi_z(b) = 0.157$ ,  $\chi_{LT}(\lambda_{LT} = 0.716) = 1.000$ ,  $k_{zy} = 0.901$ ,  $k_{zz} = 0.471$

Ausnutzung aus der Interaktion Moment/Querkraft:  $U_{MV} = 0.158$

Ausnutzung aus Biegedrillknicken:  $U_{MN} = 0.299 + 0.076 + 0.481 = 0.857 \Rightarrow U_{BDK} = 0.857 < 1$

Nach Abschluss der Berechnung werden die maximalen Ausnutzungen aus Biegedrillknicken und aus der Querschnittsklassifikation (c/t-Nachweis) aller Lastkombinationen separat ausgewiesen.

## ZUSAMMENFASSUNG STABZUG 2


Max. Ausnutzung aus Biegedrillknicken (elastisch): max  $U_{BDK} = 0.857 < 1 \Rightarrow$  Nachweis erfüllt.

Max. Ausnutzung c/t (elastisch,  $x = 1.000$ ): max  $U_{c/t} = 0.902 < 1 \Rightarrow$  Nachweis erfüllt.



### 2.6.3.3

### Drehelastische Lagerung am Obergurt des Trägers

☒ Drehbettung durch Trapezbleche 

Nach Aktivierung des Buttons wird die Möglichkeit einer **Drehbettung** durch Trapezbleche freigegeben.

Die Gefahr des Biegedrillknickens eines Doppel-T-Profils kann durch die Anordnung einer kontinuierlichen Drehbettung am Druckgurt (Obergurt) erheblich reduziert werden. Dazu sind Trapezbleche gut geeignet, da sie gleichzeitig als Dacheindeckung fungieren können.

Die Berechnung der Drehfedersteifigkeit  $C_D$  und deren Berücksichtigung beim Biegedrillknicknachweis wird in Abs. 2.6.3.3.2, S. 66, beschrieben.

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

### 2.6.3.3.1

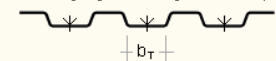
### Trapezbleche

#### Drehbehinderung durch Trapezbleche

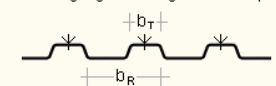
☒ Trapezbleche ☐ Trapezbleche mit Setzbolzen ☐ Vorgabe

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

Befestigung am Untergurt des Trapezblechs



Befestigung am Obergurt des Trapezblechs



'Ka' steht für eine Stahlabdeckplatte  $t \geq 0,75$  mm.  
Die Werte gelten für Schrauben  $\phi = 6,3$  mm mit Unterlegscheiben aus Stahl  $t \geq 1,0$  mm.

A  kN/m (Auflast, die zwischen Blech und Träger wirkt)  
s  m (Stützweite des Trapezblechs)

Trapezblech ☐ Vorgabe

Fischer ☒ FI 50/250 ☐

$t_{nom}$   mm

$E_{mod}$   N/mm<sup>2</sup>

$l_{eff}$   cm<sup>4</sup>/m

$b_R$   mm

$b_T$   mm

$C_{D,A}$   kNm/m

$C_{D,B}$   kNm/m

$C_{D,C}$   kNm/m

$C_D$   kNm/m

☒  $C_{D,B}$  Berechnung nach EN 1993-1-3

☐  $C_{D,B}$  Berechnung nach Wagenknecht

☐  $C_{D,C}$  Endfeld und entgegengesetzte Verdrehung der Träger bzw. Endfeld bei nur einem Träger

☒  $C_{D,C}$  Innenfeld und entgegengesetzte Verdrehung der Träger bzw. Innenfeld bei nur einem Träger

☐  $C_{D,C}$  Endfeld und gleichsinnige Verdrehung der Träger

☐  $C_{D,C}$  Innenfeld und gleichsinnige Verdrehung der Träger

### Drehfedersteifigkeit

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

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

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

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

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

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

Bei **Auflast** ist die Last, die zwischen Trapezblech und Träger wirkt, anzugeben ( $A \leq 12 \text{ kN/m}$ ).

Außerdem ist das Trapezblech auszuwählen.

In der programminternen Datenbank sind Trapezprofile von **Fischer** und **Hoesch** hinterlegt. Die Auswahl erfolgt über eine List-box.

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

Trapezblech		<input type="checkbox"/> Vorgabe
Fischer	<input type="checkbox"/>	FI 50/250
$t_{nom}$	<input type="text" value="0.88"/>	mm
$E_{mod}$	<input type="text" value="210000"/>	N/mm <sup>2</sup>
$I_{eff}$	<input type="text" value="29.29"/>	cm <sup>4</sup> /m
$b_R$	<input type="text" value="250.0"/>	mm
$b_T$	<input type="text" value="54.0"/>	mm

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

- ☒  $C_{D,B}$  Berechnung nach EN 1993-1-3  
☐  $C_{D,B}$  Berechnung nach Wagenknecht

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

- ☐  $C_{D,C}$  Endfeld und entgegengesetzte Verdrehung der Träger bzw. Endfeld bei nur einem Träger  
☒  $C_{D,C}$  Innenfeld und entgegengesetzte Verdrehung der Träger bzw. Innenfeld bei nur einem Träger  
☐  $C_{D,C}$  Endfeld und gleichsinnige Verdrehung der Träger  
☐  $C_{D,C}$  Innenfeld und gleichsinnige Verdrehung der Träger

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

Außerdem geht die Stützweite des Trapezblechs in die Berechnung ein.

$C_{D,A}$	<input type="text" value="31.774"/>	kNm/m
$C_{D,B}$	<input type="text" value="191.919"/>	kNm/m
$C_{D,C}$	<input type="text" value="123.018"/>	kNm/m
$C_D$	<input type="text" value="22.316"/>	kNm/m

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

Die Steifigkeit kann auch 'per Hand' vorgegeben werden.

$C_D$	<input type="text" value="22.316"/>	kNm/m
-------	-------------------------------------	-------

### 2.6.3.3.2

#### Drehfedersteifigkeit

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

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

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

- $C_{\Phi R,k}$  Verdrehsteifigkeit (je Längeneinheit) des stabilisierenden Bauteils unter der Annahme einer steifen Verbindung mit dem Träger  
 $C_{\Phi C,k}$  Verdrehsteifigkeit (je Längeneinheit) der Verbindung zwischen dem Träger und dem stabilisierenden Bauteil  
 $C_{\Phi D,k}$  Verdrehsteifigkeit (je Längeneinheit) infolge Querschnittsverformungen des Trägers

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

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

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

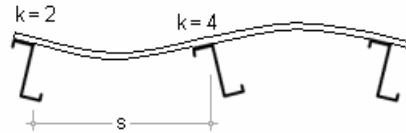
$$I_T^* = I_T + \Delta I_T \quad \dots \text{ mit } \dots \quad \Delta I_T = (C_D \cdot c^2) / (G \cdot \pi^2)$$

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

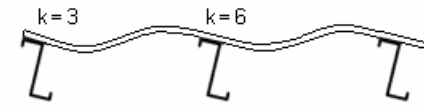
Die Drehbettung aus der Biegesteifigkeit des abstützenden Bauteils (Trapezblech, Querträger) wird n. EC 3-1-3, 10.1.5.2(4), ermittelt mit

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

Endfeld und Verdrehung  
Innenfeld und Verdrehung



Endfeld und Verdrehung  
Innenfeld und Verdrehung



$I_{\text{eff}}$  wirksames Flächenmoment 2. Grades je Breitereinheit des Profilblechs  
 $s$  Pfettenabstand

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

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

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

$$k_{ba} = (b_a/100)^2 \quad \dots \text{ wenn } \dots b_a < 125 \text{ mm}$$

$$k_{ba} = 1.25 \cdot (b_a/100) \quad \dots \text{ wenn } \dots 125 \text{ mm} \leq b_a < 200 \text{ mm}$$

$$k_t = (t_{\text{nom}}/0.75)^{1.1} \quad \dots \text{ wenn } \dots t_{\text{nom}} \geq 0.75 \text{ mm} \quad \text{positive Lage}$$

$$k_t = (t_{\text{nom}}/0.75)^{1.5} \quad \dots \text{ wenn } \dots t_{\text{nom}} \geq 0.75 \text{ mm} \quad \text{negative Lage}$$

$$k_t = (t_{\text{nom}}/0.75)^{1.5} \quad \dots \text{ wenn } \dots t_{\text{nom}} < 0.75 \text{ mm}$$

$$k_{bR} = 1.0 \quad \dots \text{ wenn } \dots b_R \leq 185 \text{ mm}$$

$$k_{bR} = 185/b_R \quad \dots \text{ wenn } \dots b_R > 185 \text{ mm}$$

bei Auflast

$$k_A = 1.0 + (A - 1.0) \cdot 0.08 \quad \dots \text{ wenn } \dots t_{\text{nom}} \geq 0.75 \text{ mm} \quad \text{positive Lage}$$

$$k_A = 1.0 + (A - 1.0) \cdot 0.16 \quad \dots \text{ wenn } \dots t_{\text{nom}} \geq 0.75 \text{ mm} \quad \text{positive Lage}$$

$$k_A = 1.0 + (A - 1.0) \cdot 0.095 \quad \dots \text{ wenn } \dots t_{\text{nom}} \geq 1.00 \text{ mm} \quad \text{negative Lage}$$

$$k_A = 1.0 + (A - 1.0) \cdot 0.095 \quad \dots \text{ wenn } \dots t_{\text{nom}} \geq 1.00 \text{ mm} \quad \text{negative Lage}$$

lineare Interpolation für  $t$  zwischen  $t \geq 0.75 \text{ mm}$  und  $t \geq 1.00 \text{ mm}$  zulässig

Gleichung gilt nicht für  $t < 0.75 \text{ mm}$

bei  $t > 1 \text{ mm}$  ist in der Gleichung  $t \geq 1 \text{ mm}$  zu setzen

bei abhebender Last

$$k_A = 1.0 \quad \dots \text{ und } \dots k_{bT} = \sqrt{b_{T,\text{max}}/b_T} \quad \dots \text{ wenn } b_T > b_{T,\text{max}}, \text{ sonst } k_{bT} \geq 1$$

$A \leq 12$  in kN/m ist die Last in kN/m, die zwischen Blech und Pfette wirkt

$b_a$  Breite des Pfettengurts in mm

$b_R$  Rippenabstand des Profilblechs in mm

$b_T$  Breite des Profilblechgurts, der mit der Pfette verbunden ist

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

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

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

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

$t_w, t_f$  Blechdicken von Steg und Flansch des Trägers

$b_{\text{mod}} \approx b_f/2$  Abstand zwischen Verbindungsmittel und Trägersteg

$h_w, b_f$  Steghöhe, Flanscbreite des Trägers

nach Wagenknecht

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

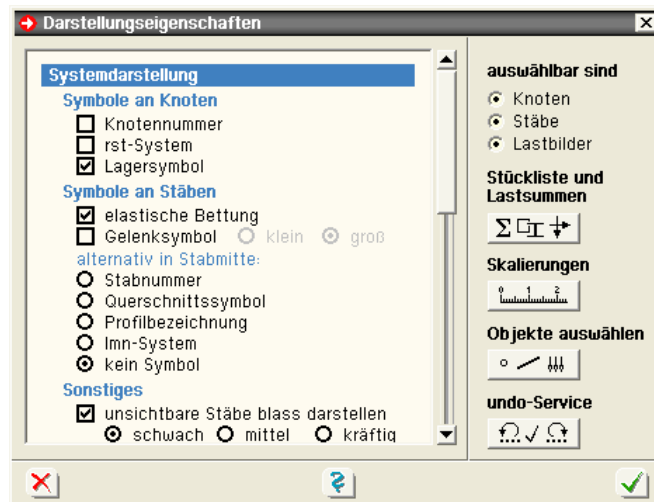
nach Lindner (nur für Querträger)

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

## Darstellungsoptionen



Über den Button zur Definition der Darstellungsoptionen kann festgelegt werden wie das System und die Belastung im Darstellungsfenster des grafischen Eingabemoduls dargestellt werden sollen.



Im Einzelnen kann festgelegt werden, ob

- die Stäbe mit/ohne Stabnummern und die Knoten mit/ohne Knotennummern dargestellt werden sollen
- elastisch gebettete Stäbe gesondert gekennzeichnet werden sollen
- ein Symbol die Gelenkangaben kennzeichnen soll
- das Dreibein des verdrehten Knotenkoordinatensystems r-s-t und/oder das stabbezogene lmn-Koordinatensystem angetragen werden sollen;
- ein den Stäben zugeordnetes Querschnittssymbol über Material- und Querschnittsangaben Auskunft geben soll
- Knotenlager speziell gekennzeichnet werden sollen und
- das globale X-Y-Z-Koordinatensystem permanent eingeblendet sein soll.

Für jede Lastbildart kann weiter festgelegt werden, ob sie überhaupt dargestellt werden soll und (wenn ja) ob ihre Lastordinaten mit angetragen werden sollen.

Die Auswahlmöglichkeit eines jeden Objekttyps kann an- bzw. ausgeschaltet werden.

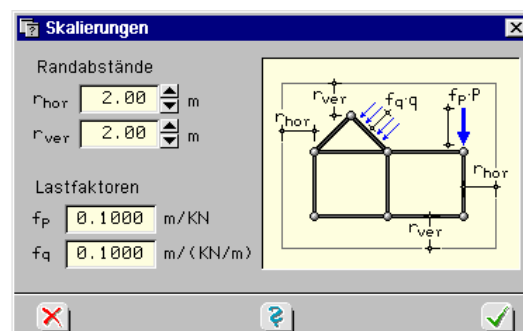
### 2.6.4.1

## Skalierungen



Der dargestellte Button ruft das Eigenschaftsblatt zur Festlegung der Skalierungsfaktoren.

Hier können die Randabstände in Weltkoordinaten eingestellt und die Faktoren zur Skalierung der Einzel- und Linienlasten verändert werden.



## 2.6.4.2

## Stückliste, Lastsummen

### Materialbilanz



Durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Buttons werden vom grafischen Eingabemodul eine Materialbilanz der bisher eingegebenen Stäbe generiert und die Lastsummen aus den einzelnen Lastfällen berechnet und ausgegeben.

**Materialeinsatz, Lastsummen**

Massen in t/m³: Stahl  Beton  Holz  Aluminium  Sonstige

**Stahlquerschnitte:**

(1) U220 Standardprofil: U220  
 (2) IPE270 Standardprofil: IPE270  
 (3) MSH50X50X3.6 Standardprofil: MSH50X50X3.6  
 (4) R33.7X3.2 Standardprofil: R33.7X3.2  
 (6) MSH260X260X16.0 Standardprofil: MSH260X260X16.0  
 (10) IPE300 Standardprofil: IPE300  
 (11) MSH250X150X12.5 Standardprofil: MSH250X150X12.5

**Materialeinsatz: Stahl**

Querschnitt [-]	Stäbe [-]	Fläche [cm²]	Σ l [m]	Volumen [m³]	Gewicht [t]
(1) U220	39	37.4	52.670	0.1970	1.5463
(2) IPE270	11	45.9	7.481	0.0343	0.2695
(3) MSH50X50X3.6	6	6.6	7.680	0.0050	0.0396
(4) R33.7X3.2	21	3.1	38.947	0.0120	0.0939
(6) MSH260X260X16.0	2	150.0	3.973	0.0596	0.4678
(10) IPE300	5	53.8	10.560	0.0568	0.4460
(11) MSH250X150X12.5	1	89.7	1.780	0.0160	0.1253
<b>Summe Stahl:</b>	<b>85</b>		<b>123.090</b>	<b>0.3807</b>	<b>2.9885</b>

**Ende**

In der Kopfzeile des Eigenschaftsblatts können die Dichten der Materialien angegeben werden. Das Programm berechnet die Querschnittsfläche der unterschiedlichen Querschnitte und multipliziert diese mit der Summe der Einzelstablängen. Das Gewicht berechnet sich durch Multiplikation des so erhaltenen Volumens mit der angegebenen Dichte.

Bei gevouteten Stäben wird der Querschnitt in Stabmitte zugrunde gelegt.

Die Abschlusszeile dieser Tabelle weist die Summe über alle Querschnitte aus.

### Lastsumme

Die letzte Tabelle weist für jeden Lastfall die Anzahl der definierten Lastbilder und die resultierenden Kraftgrößen in globaler X-, Y- und Z-Richtung aus.

**Materialeinsatz, Lastsummen**

Massen in t/m³: Stahl  Beton  Holz  Sonstige

(16) HE120A	3	25.3	19.201	0.0486	0.3813
(17) HE100A	3	21.2	15.049	0.0319	0.2504
(18) L70X7	24	9.4	43.490	0.0409	0.3209
(19) L90X9	17	15.5	42.193	0.0654	0.5134
(20) L80X8	10	12.3	21.703	0.0267	0.2096
(21) L100X10	14	19.2	41.468	0.0796	0.6250
<b>Summe Stahl:</b>	<b>582</b>		<b>2006.128</b>	<b>9.0607</b>	<b>71.1268</b>

**Resultierende der Lastfälle** (n = Anzahl Lastbilder)

LF	Lastfallbezeichnung	n	Σ Fx [kN]	Σ Fy [kN]	Σ Fz [kN]
1	EIGENGEWICHT	636	0.000	0.000	1341.133
2	NICHT STÄND. BETRIEBSLAST	9	2.200	0.000	649.500
3	NUTZLAST	37	0.000	0.000	429.505
4	WIND + X	48	593.695	0.000	0.000
5	WIND - X	46	-426.240	0.000	0.000
6	WIND + Y	59	0.000	1006.635	0.000
7	WIND - Y	56	0.000	-1036.175	0.000
8	STAB., IMPERF. ++ X	4	100.000	0.000	7.200
9	STAB., IMPERF. ++ Y	7	0.000	145.000	0.000

**Ende**

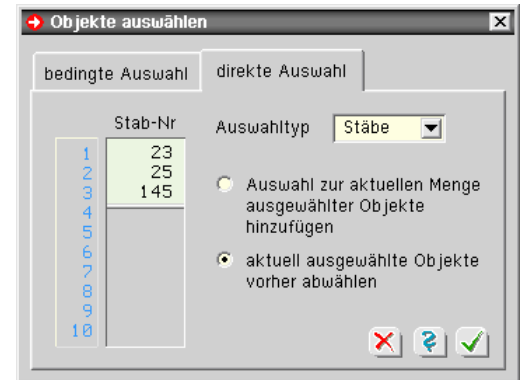
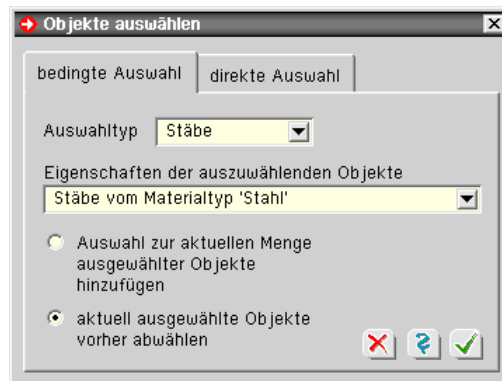
### 2.6.4.3

### Objekte auswählen



Durch Anklicken des dargestellten Buttons erscheint das Eigenschaftsblatt zur gezielten Auswahl von Objekten, in dem zwischen bedingter und direkter Auswahl unterschieden wird.

**bedingte Auswahl** Bei der bedingten Auswahl können Knoten und Stäbe, die gewisse Bedingungen erfüllen bzw. über bestimmte Eigenschaften verfügen, ausgewählt werden. U.a. können hier *Stäbe von einem speziellen Materialtyp, Stäbe mit Gelenkdefinitionen, exzentrisch angeschlossene Stäbe* oder deren *I-m-n-System verdreht* wurde sowie Stäbe, die beim letzten Datencheck gemeldet wurden, ausgewählt werden.



**direkte Auswahl** Bei der direkten Auswahl können die Nummern der auszuwählenden Objekte (hier: Knoten oder Stäbe) in einer Tabelle angegeben werden.



Nach **Bestätigen** des Eigenschaftsblatts werden alle angegebenen oder indirekt markierten Objekte im Darstellungsfenster als ausgewählt gekennzeichnet.

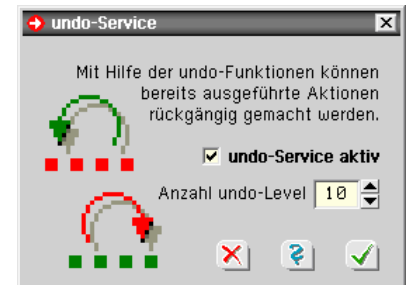
### 2.6.4.4

### Undo-Service

Im dargestellten Eigenschaftsblatt können der undo-Service insgesamt abgeschaltet oder der undo-Level (die Anzahl der parallel vorgehaltenen Kopien) verringert werden.



Die undo-Funktionen können auch bei unkontrolliertem Abschalten des Rechners hilfreich sein, da das grafische Eingabemodul beim Hochfahren kontrolliert, ob temporäre undo-Sicherungsdateien vorhanden sind, die jünger sind als die Originaldatei.



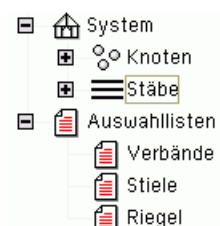
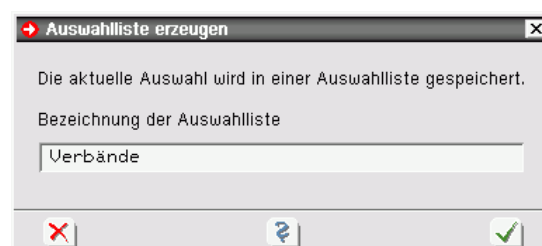
### 2.6.5

### Auswahllisten



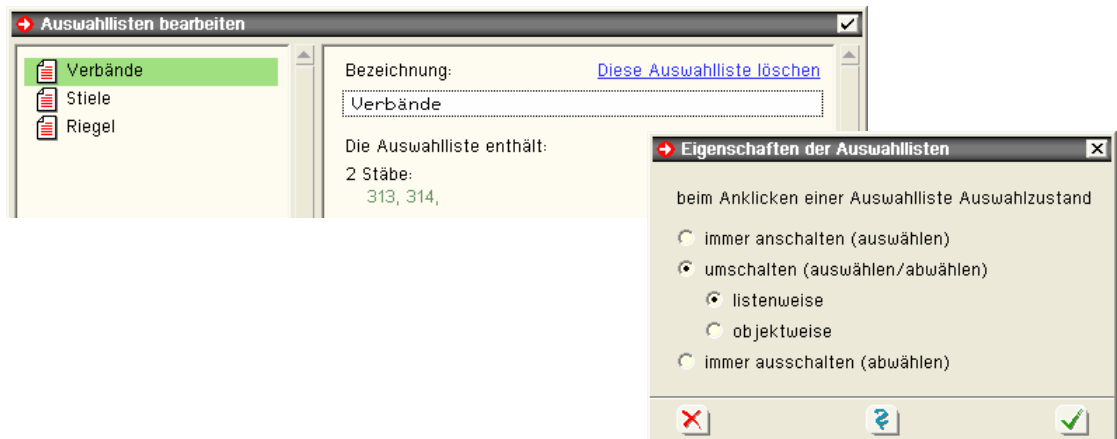
Auswahlliste erzeugen

Der aktuelle Auswahlzustand kann in einer Auswahlliste gespeichert werden. Hierzu muss der nebenstehend dargestellte Button angeklickt werden. Es erscheint ein Eigenschaftsblatt, in dem der aktuellen Auswahl eine Bezeichnung zugeordnet werden kann. Wird dieses Eigenschaftsblatt bestätigt, kann die Auswahl jederzeit durch Anklicken des entsprechenden Symbols im Baumansichtsfenster unter dem Wurzelobjekt *Auswahllisten* durch einfaches Anklicken aktiviert werden.





Durch Doppelklicken einer definierten Auswahlliste im Baumansichtsfenster erscheint ein Eigenschaftsblatt, in dem die definierten Auswahllisten eingesehen und verwaltet werden können. Insbesondere können hier nicht mehr benötigte Auswahllisten gelöscht werden.



Erfährt das Wurzelobjekt mit der Bezeichnung *Auswahllisten* einen Doppelklick, kann in dem hierdurch eingeblendeten Eigenschaftsblatt festgelegt werden, wie das grafische Eingabemodul auf einen Klick auf eine Auswahlliste reagieren soll.

## 2.6.6

### Sichtbarkeitsstatus



Mit Hilfe des nebenstehend dargestellten Buttons besteht die Möglichkeit, ausgewählte Stäbe unsichtbar zu schalten. Hierdurch wird ermöglicht, innerhalb von komplexen Strukturen mit sehr vielen Objekten an ausgewählten Detailbereichen zu arbeiten.



Folgende Funktionen stehen in der angegebenen Reihenfolge zur Verfügung

1. Es werden alle Stäbe unsichtbar geschaltet, die aktuell nicht ausgewählt sind. Es wird also mit den aktuell ausgewählten Stäben weitergearbeitet.
2. Es werden alle Stäbe unsichtbar geschaltet, die aktuell ausgewählt sind. Es wird also mit den aktuell nicht ausgewählten Stäben weitergearbeitet.
3. Sichtbarkeit invertieren: Es werden alle Stäbe unsichtbar geschaltet, die aktuell sichtbar sind und umgekehrt.
4. Normalzustand: alle Stäbe werden sichtbar geschaltet.
5. definierter Sichtbarkeitsstatus rückwärts: Es wird der Zustand wieder hergestellt, der vor der letzten Änderung des Sichtbarkeitsstatus' vorherrschte (sinnvoll bei sukzessiver Ausschaltung der Sichtbarkeit).
6. definierter Sichtbarkeitsstatus vorwärts: Es wird der Zustand wieder hergestellt, der vor dem letzten Rücksprung vorherrschte. Hierdurch kann zwischen benachbarten Sichtbarkeitszuständen hin- und hergeschaltet werden.



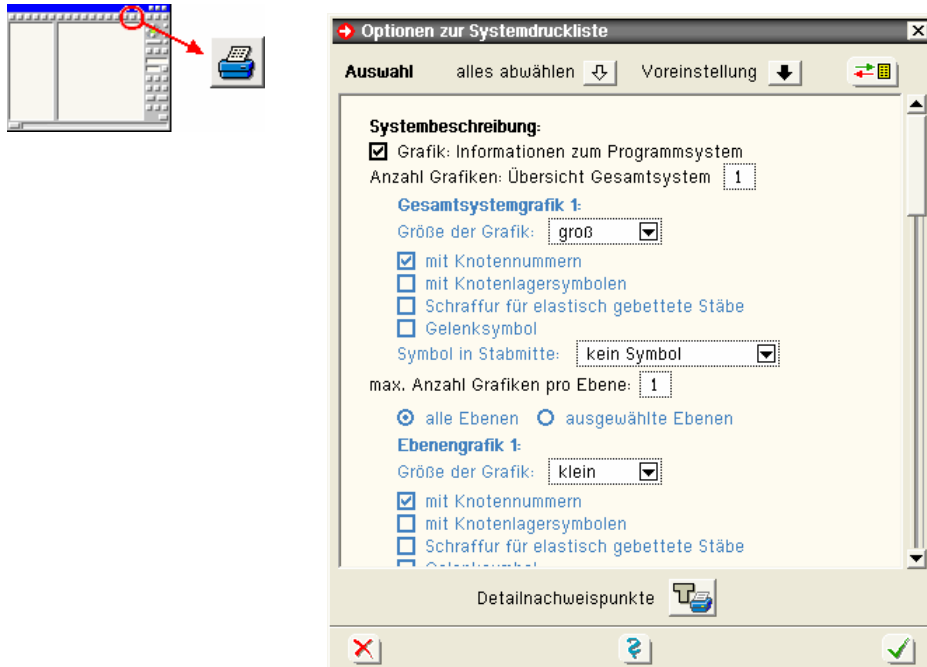


## 2.6.9 Drucklisteneinstellungen

### 2.6.9.1 Eigenschaften der Systemdruckliste



Bei Sicherung des Datenzustandes erzeugt das grafische Eingabemodul neben der Eingabedatei für das Rechenprogramm auch die Systemdruckliste, die aus vielen unterschiedlichen Elementen - Grafiken und Tabellen - besteht. Jedes einzelne Element der Systemdruckliste kann an- bzw. abgeschaltet werden. Viele dieser Elemente können hinsichtlich ihres Umfangs und ihrer Darstellung modifiziert werden.



Um zur Definition der Drucklisteninhalte zu gelangen, muss der o.a. Button angeklickt werden. In dem hierdurch hervorgeholten Eigenschaftsblatt ist jedem Element eine Zeile mit einem logischen Schalter zugeordnet. Der Zustand des Schalters (aktiviert oder nicht aktiviert) legt fest, ob das Element in der Druckliste erscheinen soll. Tabellen ohne Inhalt werden automatisch unterdrückt, so dass eine Tabelle etwa mit normierten Stahlbauprofilen nur dann erscheint, wenn mindestens ein normiertes Stahlbauprofil im System definiert ist. Es können bis zu vier Systemgrafiken (Gesamtsystem sowie ebenenweise) festgelegt werden, die mit unterschiedlichen Attributen versehen werden können.

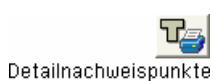
**Voreinstellung** Klicken Sie auf **Voreinstellung**, um die **pcae**-Voreinstellung festzulegen. Hierin ist sichergestellt, dass alle Informationen, die im Laufe der Bearbeitung des Systems gegeben wurden, auch in der Druckliste erscheinen - und somit ein prüfbares Dokument ausgegeben wird.

**alles abwählen** Wenn Sie temporär nur ein einzelnes Element der Systemdruckliste ausgeben wollen, klicken Sie zunächst auf **alles abwählen** und sodann auf das gewünschte Element.



Wenn Sie einen Zustand eingestellt haben, der auch für andere **FRAP**-Bauteile eingesetzt werden soll, kann er schreibstischabhängig gespeichert werden. Über denselben Button lassen sich auch gespeicherte Zustände laden.

### 2.6.9.2 Detailnachweispunkte

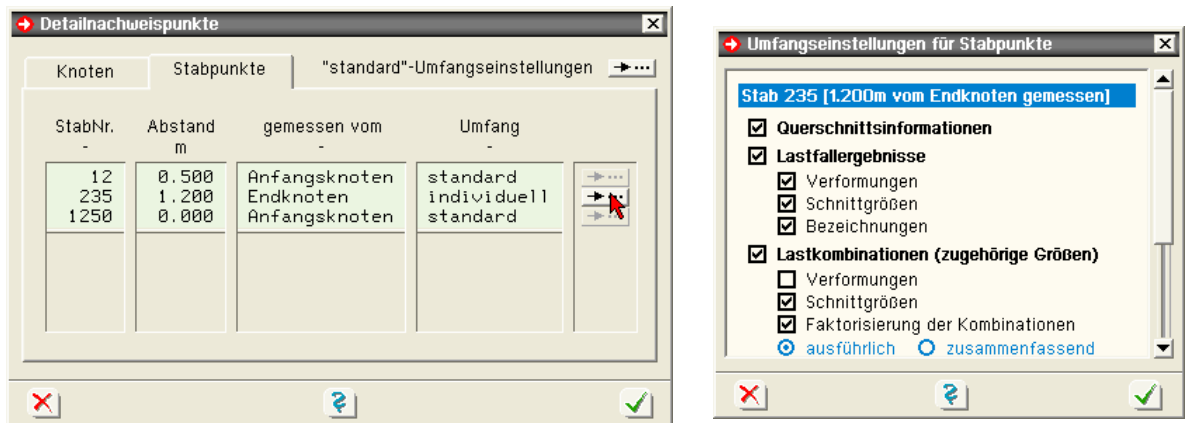


Wird im Eigenschaftsblatt *Eigenschaften der Systemdruckliste* der Button **Detailnachweispunkte definieren** angeklickt, erscheint das Eigenschaftsblatt zur Definition spezieller Ausgabepunkte. Detailnachweispunkte können Knoten (etwa zur Überprüfung der Extremalbildungsvorschriften bei Lagerreaktionen) und insbesondere auch Stabpunkte sein.

**kritische Kontrolle** Die Definition von Detailnachweispunkten empfiehlt sich, wenn die Überlagerung der Schnittgrößen und die geführten Nachweise an bestimmten Stellen kritisch kontrolliert werden sollen. Für jeden Detailnachweispunkt gibt es in der speziellen Druckliste *Detailnachweispunkte* (s. Abs. 2.6.13, S. 79) ausführliche Informationen zur Ermittlung der extremalen Schnittgrößen wie auch zum Rechengang (inkl. Zwischenwerte) der materialspezifischen Nachweise.

## Anschlüsse....

Da neben den extremalen Schnittgrößen auch die jeweils zugehörigen Schnittgrößen ausgewiesen werden, können Detailnachweispunkte auch überall dort sinnvoll definiert werden, wo diese Zusatzinformationen (etwa zur Dimensionierung und Berechnung von Anschlüssen) benötigt werden, s. hierzu auch Abs. 2.6.12, S. 77.



Während in der Tabelle der Knoten nur die Knoten aufgeführt werden, wird in der Tabelle der Stabpunkte neben der Stabnummer auch der Abstand des gewünschten Punkts vom Referenzknoten des Stabes erwartet.

Die Auswahllisten **gemessen vom** und **Umfang** öffnen sich durch Drücken der Leertaste, wenn sich der Cursor im Eingabefeld befindet.



Bei der Umfangseinstellung **individuell** öffnet sich durch Klicken des **bearbeiten**-Buttons ein Eigenschaftsblatt zur Festlegung des Drucklistenumfangs.

Weitere Informationen zum Thema *Detailnachweispunkte* finden Sie im Handbuch *das pcae-Nachweiskonzept*.

## 2.6.10

### Sicherungen



Datenzustand sichern

Das grafische Eingabemodul speichert seine Informationen in einer Datei auf der Festplatte, die beim Start des Programms geladen und beim Verlassen des Programms (mit der Option: Daten speichern) geschrieben wird.

Während der Eingabe befinden sich alle Daten und Rückverfolgungen der Undo-Funktion im Arbeitsspeicher. Diese Daten sind flüchtig und gehen bei Systemversagen z.B. durch Stromausfall verloren. Der dargestellte Button bietet die Möglichkeit, die Daten während der Sitzung auf die Festplatte zu schreiben, so dass im Falle eines Falles nur geringer Datenverlust besteht (s. auch Abs. 2.2.6.6., Undo-Redo-Funktion, S. 25).

## 2.6.11

### Sonstige Datenzustandsoperationen

#### 2.6.11.1

#### Datenzustand überprüfen



Datenzustand überprüfen

Wird der nebenstehend dargestellte Button angeklickt, der sich unter der Überschrift *Datenzustand* im rechten Bereich des grafischen Eingabemoduls befindet, wird die automatische Überprüfung des Datenzustandes gestartet.

#### Plausibilität und Fehlermeldungen

Bei dem hierdurch ablaufenden Programmteil werden alle eingegebenen Daten im Hinblick auf einen nachfolgenden Rechenlauf auf Vollständigkeit und Zulässigkeit hin überprüft. Sollten Fehler oder Warnungen von dieser Prozedur gemeldet werden, können diese in einem Protokoll eingesehen und dann verbessert werden.



Machen Sie nach Eingabe bzw. Änderung des Datenzustandes vor dem Abspeichern und Starten des Rechenlaufs unbedingt von der Datenzustandsüberprüfungsfunktion Gebrauch!

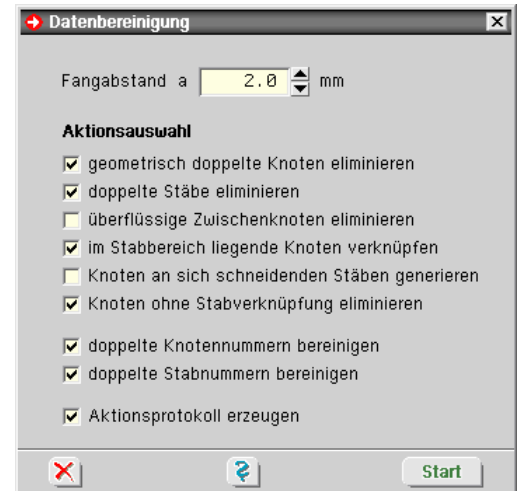
Die auf S. 70 beschriebene bedingte Objektauswahl erlaubt auch die Auswahl aller Knoten bzw. Stäbe, die bei der letzten Datenzustandsüberprüfung markiert wurden.

Eigenschaften der auszuwählenden Objekte

Stäbe, die im letzten Datencheck markiert wurden



Wird der nebenstehend dargestellte Button angeklickt, der sich unter der Überschrift *Datenzustand* im rechten Bereich des grafischen Eingabemoduls befindet, wird das Eigenschaftsblatt zur Netzwerkbereinigung aufgerufen.



Auf S. 19 ff. wurde das lastunabhängige statische System als ein Netzwerk von Knoten und Stäben vorgestellt. Um eine erfolgreiche Berechnung durchführen zu können, werden Bedingungen an ein solches Netzwerk gestellt, die speziell beim Modellieren mit der Option **auf Duplikat anwenden** verletzt werden. Die Bereinigungsfunktion überprüft derartige Netzwerkprobleme auf Wunsch des Benutzers und bereinigt sie automatisch. Im Einzelnen können an- bzw. abgewählt werden

- **geometrisch doppelte Knoten eliminieren**: Das Programm sucht nach Knoten, die den gleichen geometrischen Ort einnehmen, also einen Abstand der Länge 0 zueinander haben. Die Stäbe, die mit dem jüngeren Knoten verbunden sind, werden mit dem älteren Knoten verknüpft und der jüngere Knoten wird gelöscht.
- **doppelte Stäbe eliminieren**: Das Programm sucht nach Stäben mit identischer Knotenverknüpfung. Werden solche Stäbe gefunden, wird der jüngere Stab gelöscht.
- **überflüssige Zwischenknoten eliminieren**: Das Programm sucht nach Knoten, die zwischen zwei geradlinig verlaufenden Stäben liegen. Wenn keine Querschnittssprünge, Gelenkangaben etc. dagegensprechen, kann der Knoten gelöscht werden, ohne dass sich das System hinsichtlich des Tragverhaltens ändert.
- **im Stabbereich liegende Knoten verknüpfen**: Das Programm sucht nach Knoten, die zwischen Anfangs- und Endknoten definierter Stäbe liegen. Wird ein solcher Knoten gefunden, wird der Stab an der Stelle des Zwischenknotens geteilt. Es werden ein Stab vom Anfangsknoten des gefundenen Stabes zum Zwischenknoten und ein Stab vom Zwischenknoten zum Endknoten anstelle des alten Stabes generiert.
- **Knoten an sich schneidenden Stäben generieren**: Das Programm sucht nach sich schneidenden Stäben. An der Kreuzungsstelle (Berührungspunkt) wird ein Zwischenknoten erzeugt und beide Stäbe werden unterteilt, so dass ein Kräftefluss durch die beteiligten Stäbe stattfinden kann.
- **Knoten ohne Stabverknüpfung eliminieren**: Knoten, die mit keinem Stab verknüpft sind, werden gelöscht.
- **doppelte Knotennummern bereinigen**: Existieren verschiedene Knoten mit derselben Knotennummer, bekommt der jüngere Knoten eine neue, freie Knotennummer.
- **doppelte Stabnummern bereinigen**: Existieren verschiedene Stäbe mit derselben Stabnummer, bekommt der jüngere Stab eine neue, freie Stabnummer.

Auf Wunsch kann ein Aktionsprotokoll angelegt und nach Durchführung der Untersuchungen im DTE®-Editor eingesehen werden.

Bei den geometrischen Untersuchungen, die Abstände von Knoten und Schnittpunkten etc. berechnen, entscheidet das anzugebende Fangraster, ob die Bedingung identischer geometrischer Orte erfüllt ist oder nicht. Dieses Fangraster ist mit 2 mm vorbelegt, was besagt, dass Punkte, die weniger als 2 mm voneinander entfernt sind, als identische Punkte angesehen werden.

### 2.6.11.3

#### Daten exportieren

Das dargestellte Menü bewirkt den Aufruf zum Export der Systemdaten. Das lastunabhängige System wird in dem Format der "Produktschnittstelle Stahlbau" in eine Datei geschrieben, die namentlich vom Benutzer festzulegen ist.

Die **"Produktschnittstelle Stahlbau"** ist eine Formatspezifikation für den Austausch von Bauteildaten unter besonderer Berücksichtigung stahlbauspezifischer Eigenarten. Sie umfasst die Daten des Entwurfes, der Konstruktion wie auch der Statik und wird vom Deutschen Stahlbau-Verband (DSTV) zur Anwendung empfohlen.

Da die Schnittstelle dazu geeignet ist, Daten zwischen Statik- und CAD-Programmen auszutauschen, wurde diese Möglichkeit in das **##FRAP**-Eingabemodul aufgenommen. Das hier berücksichtigte Format entspricht der Festlegung in der DSTV-Veröffentlichung vom April 2000.

S. hierzu auch Abs. 5, S. 95.



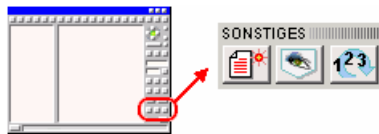
### 2.6.11.4

#### Objekte neu durchnummerieren

Bei der Erzeugung von Knoten und Stäben durch Importieren, Generieren, Duplizieren etc. werden diesen automatisch Nummern zugeordnet. Da Nummern stets eindeutig sein müssen, wird dabei auf die jeweils aktuell höchste freie Nummer zurückgegriffen. Nachfolgende Löschoptionen haben zur Folge, dass Lücken in der Nummerierung entstehen.

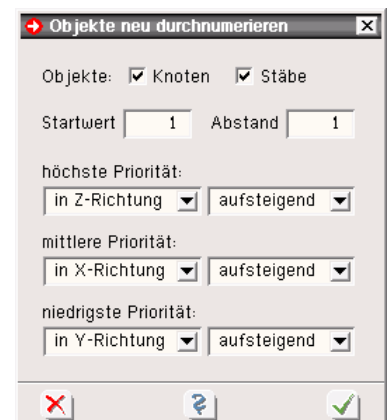


Durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Buttons wird eine neue Nummerierung der Knoten und/oder Stäbe eingeleitet. Diese orientiert sich an der Lage der Objekte im Raum und kann von oben nach unten (Z-Richtung), von rechts nach links (Y-Richtung) oder von vorne nach hinten (X-Richtung) durchgeführt werden.



Weiter unten liegende Prioritäten (s. Abb. rechts) werden nur aktiv, wenn höhere Prioritäten keine Entscheidung herbeiführen. Für das hier dargestellte Beispiel bedeutet dies, dass zwei Knoten aufsteigend in X-Richtung nur dann durchnummeriert werden, wenn sie dieselben Z-Koordinaten haben.

Nach umfangreichen Modellierungsaufgaben empfiehlt sich die Durchführung einer neuen Nummerierung, da sich das Auffinden bestimmter Knoten bzw. Stäbe z.B. in der Druckliste dann sehr viel einfacher gestaltet.



### Allgemeines

Kontrollpunkte sind Punkte im System, die für den Benutzer hinsichtlich der Ergebnisse des Rechenlaufs von besonderem Interesse sind. In *FRAP* 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 Stabes 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 liegt eine Druckliste mit der Bezeichnung *Detailnachweispunkte* vor, die über den Drucklisten-Viewer eingesehen oder auf dem Drucker ausgegeben werden kann.
- 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.



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

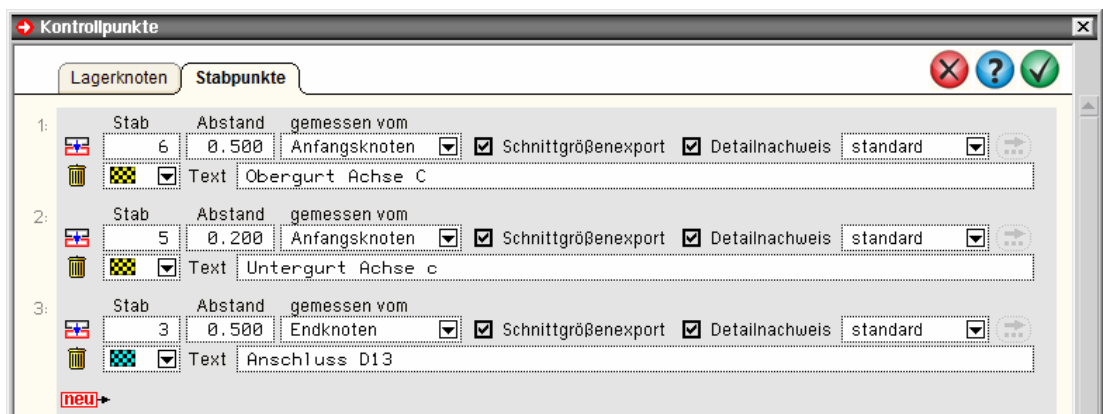
Das Schubladenwerkzeug *Schnittgrößenexport*, das seit DTE® Version 4.05 in der Schreibschublade angeboten wird, ist ebenfalls in der Lage, auf die gespeicherten Schnittgrößen der Kontrollpunkte zuzugreifen. Die Schn. können mit diesem Werkzeug auf dem Drucker ausgegeben, in eine externe Textdatei (zur 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®-Handbuch zu finden.

### Kontrollpunkte verwalten



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



In den beiden angebotenen Registern werden Lagerknoten und Stabpunkte angegeben.

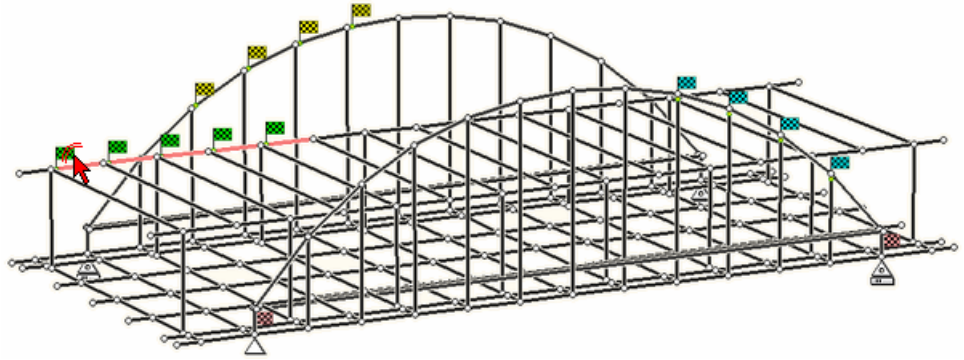
Während Lagerknoten allein durch Vorgabe der Knotennummer in ihrer Lage eindeutig gekennzeichnet sind, ist bei Stabknoten der Abstand vom Anfangs- bzw. Endknoten anzugeben.

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.

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





Kontrollpunkte werden im Darstellungsbereich des grafischen Eingabemoduls in der Systemfolie durch ihr Fähnchensymbol angezeigt.

Ein Doppelklick auf ein bestimmtes Fähnchen ruft ein Eigenschaftsblatt hervor, in dem die aktuellen Einstellungen eingesehen und geändert werden können.

Kontrollpunkt

TYP

Punkt auf Stab 393

LAGE

Abstand

gemessen von

0.000

Anfangsknoten

ANFORDERUNGEN

☒ Schnittgrößenexport

☒ Detailnachweis

UMFANG

standard

TEXT

Obergurt, hinterer Druckbogen in Achse C, zur Weiterleitung an das Anschlussberechnung



Darstellungseigenschaften

Systemdarstellung

Sonstiges

☒ Kontrollpunktfähnchen

Die Anzeige der Kontrollpunktfähnchen kann im Eigenschaftsblatt *Darstellungseigenschaften* an- bzw. abgeschaltet werden (s.o. rechts).





Das *##-FRAP*-Eingabemodul ist nicht nur das Werkzeug zur Definition des Systems inklusive Belastung und Rechenlaufsteuerung, sondern kann auch als zentrale Schaltstelle für weiterführende, das Bauteil betreffende Aufgaben angesehen werden. Hierzu dient der nebenstehend dargestellte Button, der die wesentlichen Funktionen zu Berechnung, Ergebnisvisualisierung und Druckausgabe unter der Überschrift *Programme direkt starten* zur Verfügung stellt.



#### Einstellungen zum nachfolgenden Rechenlauf

Es erscheint das unter Abs. 2.8, S. 88, dargestellte Eigenschaftsblatt, in dem zunächst festgelegt werden kann, ob im nachfolgenden Rechenlauf eine statische oder dynamische Berechnung durchgeführt werden soll. Die Aktivierung der letztgenannten Möglichkeit setzt voraus, dass Daten zur dynamischen Berechnung vorliegen und das Dynamikmodul von *##-FRAP* freigeschaltet ist. Weitere Angaben wie etwa die Iterationssteuerung im Falle einer nichtlinearen Berechnung ermöglichen zusätzliche optionale Vorgaben an das Rechenprogramm.



#### Datenzustand sichern und Rechenlauf starten

Nach Anklicken dieser Schalttafel wird der aktuelle Datenzustand gesichert und das Rechenprogramm gestartet, das die Berechnung auf Basis des aktuellen Datenzustandes unter Berücksichtigung der o.a. Optionen durchführt. Neben der Ermittlung der Verformungen und Schnittgrößen werden auch die aktuell eingerichteten Nachweise geführt.



#### Fehlermeldungen und Warnungen anzeigen

Während des Rechenlaufs kann es passieren, dass das Programm auf Fehler oder sonstige außergewöhnliche Zustände trifft. Diese werden in einer speziellen Datei gesammelt und können nach Beendigung des Rechenlaufs eingesehen werden.



#### Ergebnisse am Bildschirm visualisieren

Nach Beendigung des Rechenlaufs liegen alle Ergebnisse (Verformungen, Schnittgrößen und Nachweisergebnisse) vor und können mit Hilfe des Ergebnisvisualisierungsmoduls eingesehen werden.



#### optionale Einstellungen der Ergebnisdruckliste

Mit Hilfe dieses Moduls kann der Benutzer den Umfang der Ergebnisdrucklisten festlegen. Ähnlich wie bei der Steuerung der Systemdruckliste (s. Abs. 2.6.9.1, S. 73) kann im Spannungsfeld minimaler Druckseiten und maximaler Aussagekraft auf jedes einzelne Objekt der Ergebnisdruckliste Einfluss genommen werden.



#### Drucklisten auswählen und Druckmanager starten

Die aktuell existierenden Drucklistenkategorien werden zur Auswahl gebracht und können entweder mit Hilfe des Drucklisten-Visualisierungsprogramms am Sichtgerät eingesehen oder direkt auf dem Drucker ausgegeben werden. Hier besteht auch der Zugang zur speziellen Druckliste *Bemerkungen* in der freie Texte abgelegt werden können.

Es kann immer nur ein externes Modul gestartet werden. Dieses muss beendet sein, bevor das nächste Modul gestartet werden kann. Die gleichzeitige Aktivierung von Rechenmodul und Druckausgabe verbietet sich einleuchtenderweise. Die interaktionsträchtigen externen Module verfügen über eine eigene Hilfedatei, so dass auf tief greifende Erläuterungen an dieser Stelle verzichtet werden kann.

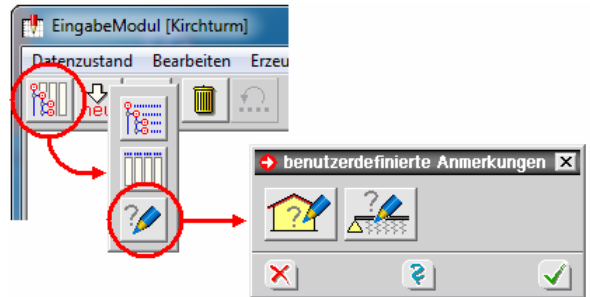


In einer Reihe von Eigenschaftsblättern können über das nebenstehend dargestellte Symbol benutzerdefinierte Anmerkungen eingegeben werden, die in der Systemdruckliste an geeigneter Stelle ausgegeben werden.

Hierdurch können dem Druckdokument benutzerseits erläuternde Texte hinzugefügt werden.

An den folgenden Stellen befinden sich entsprechende Einsprungpunkte.

Erläuterungen zum Gesamtsystem oder zu den Lagerangaben können über die nebenstehend dargestellte Interaktionsfolge eingegeben werden.



Die Texte werden an den Anfang der Systemdruckliste (Erl. zum Gesamtsystem) bzw. vor die Tabelle der Lagereigenschaften gesetzt.

Erläuterungen zu einer ausgewählten Stabgruppe werden im *Gruppeneigenschaftsblatt* nach Klicken des markierten Symbols eingegeben.



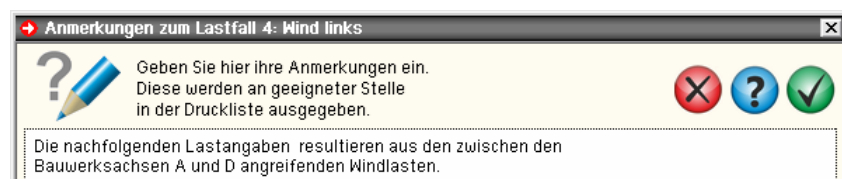
Erläuterungen zu einem ausgewählten Lastfall werden im Eigenschaftsblatt *Verwaltung der Einwirkungen* zugänglich.



Entsprechendes gilt im Eigenschaftsblatt *Verwaltung der Nachweise* für einen ausgewählten Nachweis.



In allen Fällen erscheint ein Eigenschaftsblatt, in dem der erläuternde Text eingegeben bzw. bearbeitet werden kann.



## 2.7

## Dynamikmodul

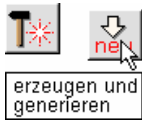
Dieses Kapitel beschreibt das Zusatzmodul *Dynamik*. Um die Dynamikfunktionen des Rechenprogramms aktivieren zu können, muss das Zusatzmodul installiert sein. Ist dies nicht der Fall, wird die Ansteuerung der nachfolgend beschriebenen Funktionen mit einer entsprechenden Warnung quittiert.

### 2.7.1

### Massenfolie



Die Massenfolie kann wie die Lastfall- und Imperfektionsfolien aktiviert werden. Stab- und Knotenmassen können auf dieselbe Art und Weise wie Lastbilder erzeugt und vereinheitlicht werden. Nutzen Sie hierzu die nebenstehend dargestellten **erzeugen**- und **bearbeiten**-Buttons!



Wie nebenstehend dargestellt ist, werden Stabmassen als kontinuierliche Massenbelegung durch kleine Gewichte, Knotenmassen als Einzelmassen mit großen Gewichten (ebenfalls farblich differenziert) dargestellt.

#### auswählen

Die Symbole sind wie Lastbilder und Imperfektionen in den ihnen zugeordneten Folien durch Anklicken bzw. Umfahren auswählbar und per Doppelklick aktivierbar.



Zur Festlegung von Stabmassen kann zum einen die Dichte in  $t/m^3$  und zum anderen ein kontinuierliches Zusatzgewicht in  $t/m$  angegeben werden.

Stabmassen

Massenbelegung

$\rho = 7.850 \text{ t/m}^3$

$g = 0.000 \text{ t/m}$

Knotenmassen

Einzelmassen		Drehmassen	
$M_x$	27.500 t	$P_x$	0.000 $tm^2$
$M_y$	27.500 t	$P_y$	0.000 $tm^2$
$M_z$	27.500 t	$P_z$	0.000 $tm^2$



Knotenmassen werden als Einzelmassen und Drehmassen für jede Koordinatenrichtung im X-Y-Z-System beschrieben.

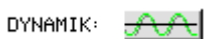
Knotenmassen



Wird eine Einzelmasse in Richtung eines bestimmten Freiheitsgrades zu Null gesetzt, hat sie keinen Anteil an der Schwingungsform. Hierdurch können z.B. ebene Schwingungen erzwungen werden.

### 2.7.2

### Knoten- und Stabmassen tabellarisch bearbeiten



Das Haupteigenschaftenblatt zur Festlegung der Daten für die dynamische Berechnung wird durch den nebenstehend dargestellten Button aufgerufen.

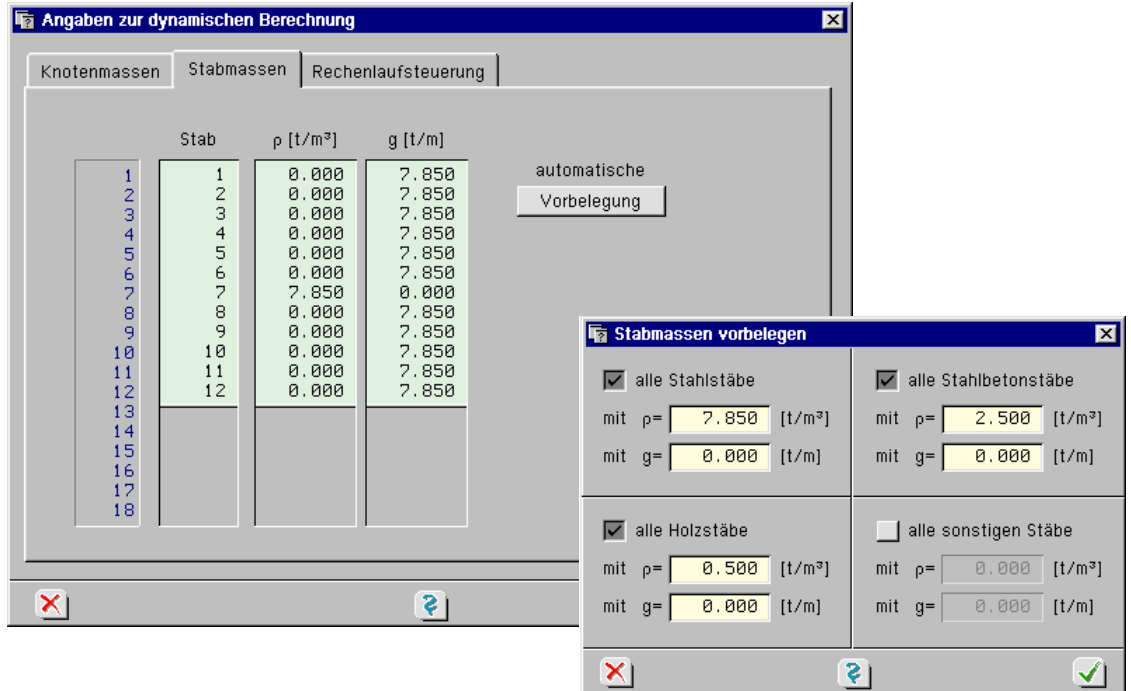
#### Knotenmassen

Angaben zur dynamischen Berechnung

Knoten	Einzelmassen			Drehmassen		
	$M_x$ [t]	$M_y$ [t]	$M_z$ [t]	$P_x$ [ $tm^2$ ]	$P_y$ [ $tm^2$ ]	$P_z$ [ $tm^2$ ]
1	27.500	27.500	27.500	0.000	0.000	0.000
2	27.500	27.500	27.500	0.000	0.000	0.000
3	27.500	27.500	27.500	0.000	0.000	0.000
4	27.500	27.500	27.500	0.000	0.000	0.000
5	27.500	27.500	27.500	0.000	0.000	0.000
6	27.500	27.500	27.500	0.000	0.000	0.000
7	27.500	27.500	27.500	0.000	0.000	0.000
8	27.500	27.500	27.500	0.000	0.000	0.000
9	27.500	27.500	27.500	0.000	0.000	0.000
10	27.500	27.500	27.500	0.000	0.000	0.000
11	27.500	27.500	27.500	0.000	0.000	0.000
12	27.500	27.500	27.500	0.000	0.000	0.000
13	27.500	27.500	27.500	0.000	0.000	0.000
14	27.500	27.500	27.500	0.000	0.000	0.000
15	27.500	27.500	27.500	0.000	0.000	0.000
16	27.500	27.500	27.500	0.000	0.000	0.000
17	27.500	27.500	27.500	0.000	0.000	0.000
18	27.500	27.500	27.500	0.000	0.000	0.000

Das Eigenschaftsblatt ist in Register aufgeteilt, wobei die ersten beiden Register die tabellari-  
sche Bearbeitung der Knoten- und Stabmassen beinhalten.

## Stabmassen



automatische

Vorbelegung

Wird im Register *Stabmassen* der **Vorbelegung**-Button angeklickt, erscheint ein Eigen-  
schaftsblatt, in dem eine materialspezifische Vorbelegung für alle Stäbe generiert werden kann.

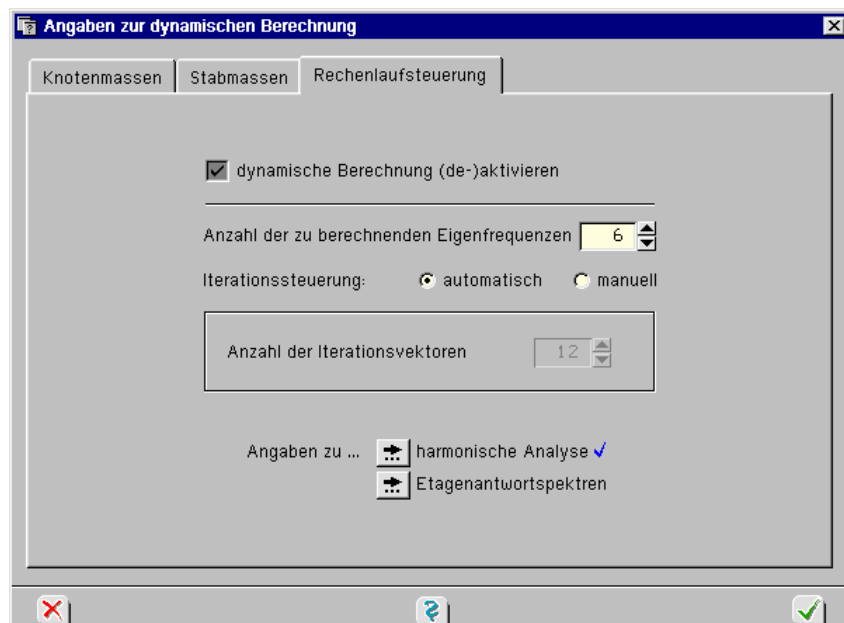
## Vorbelegung

Die durch Vorbelegung erzeugten Stabmassen können natürlich im Nachhinein tabellarisch o-  
der durch Vereinheitlichungsoperationen wie vorab besprochen geändert werden.

## 2.7.3 Rechenlaufsteuerung

Das Register *Rechenlaufsteuerung* regelt die für die Berechnung wesentlichen Daten.

### 2.7.3.1 Grundeinstellungen, Eigenformen

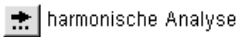


## Eigenformen

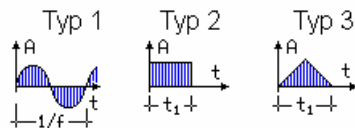
Zunächst ist festzulegen, ob die dynamische Berechnung überhaupt aktiviert werden soll. Danach ist die gewünschte Anzahl der Eigenformen festzulegen. Da *FRAP* die Subspace-Iterations-Methode zur Berechnung der Eigenwerte und -formen verwendet, müssen zur Festlegung der Ergebnisqualität die Anzahl der mitgeführten Eigenformen und sonstige Abbruchkriterien angegeben werden. Es wird empfohlen, die Einstellung auf **automatisch** zu belassen. Näheres s. Literaturverzeichnis /1/. Im unteren Bereich des Dynamik-Rechenlauf- Eigenschaftsblatts können Angaben zur harmonischen Analyse und zur Berechnung des Etagenantwortspektrums vorgenommen werden. Nach Anklicken der zugeordneten Buttons erscheint ein zur Problemstellung gehörendes Eigenschaftsblatt.

### 2.7.3.2

#### harmonische Analyse



Im Eigenschaftsblatt zur Berechnung der harmonischen Analyse muss zunächst jeder der zuvor gewählten Eigenformen ein modaler Dämpfungsgrad zugeordnet werden. Die Vorbelegung ist 3%.



**HARMONISCHE ANALYSE**

☒ harmonische Erregung (de-/aktivieren)

MODALER DÄMPFUNGSGRAD	
Eigenform	Wert in %
1	3.000
2	3.000
3	3.000
4	3.000

ERREGUNGSTYP:

ERREGER-FREQUENZ  $f$ : 1.00 Hz  
ERREGUNGS-ZEITRAUM  $t_1$ : 1.00 s

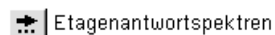
Knoten	KRAFTAMPLITUDEN			MOMENTENAMPLITUDEN		
	Pr [kN]	Ps [kN]	Pt [kN]	Mr [kNm]	Ms [kNm]	Mt [kNm]
15	0.000	0.000	15.000	0.000	0.000	0.000

#### Als Erregungsarten

können eine harmonische Erregung mit vorgegebener Frequenz sowie zeitabhängige Anfangserregungen (Block oder dreiecksförmig, s. Skizze) gewählt werden. In der Tabelle im unteren Bereich des Eigenschaftsblatts werden die Kraft-/Momentenamplituden des (oder der) dynamisch belasteten Knoten angegeben.

### 2.7.3.3

#### Etagenantwortspektrum



Bei der Erdbebenanalyse kann gewählt werden zwischen den Erregerspektren **normiertes Antwortspektrum nach EC8 (2021) und nach DIN 4149**

und den benutzerdefinierten Spektren

- **Verschiebung als Funktion der Zeit**
- **Beschleunigung als Funktion der Zeit**
- **Verschiebung als Funktion der Frequenz** und
- **Beschleunigung als Funktion der Frequenz.**

**Etagenantwortspektrum**

☒ Etagenantwortspektren (de-/aktivieren)

Typ: **Beschleunigung als Funktion der Zeit**

normiertes Antwortspektrum nach DIN 4149:1992-12  
Verschiebung als Funktion der Zeit  
Beschleunigung als Funktion der Zeit  
Verschiebung als Funktion der Frequenz  
Beschleunigung als Funktion der Frequenz  
normiertes Antwortspektrum nach DIN 4149:2005-04  
**normiertes Antwortspektrum nach EC8 (2021)**

RII BESCHLEUNIGUNGEN BZW. VERSCHIEBUNGEN

nach DIN 4149 ermitteln

ZUORDNUNG DER ANTWORTSPEKTREN ZU DEN RICHTUNGSFAKTOREN

FAKTOREN FÜR DIE SPEKTREN

**RECHENWERT DER HORIZONTALBESCHLEUNIGUNG**

Erdbebenzone: 2  
Bauwerksklasse: 2  
Baugrundfaktor k: 1.30

$\alpha = \alpha_0 \cdot k \cdot a = 0.3640$

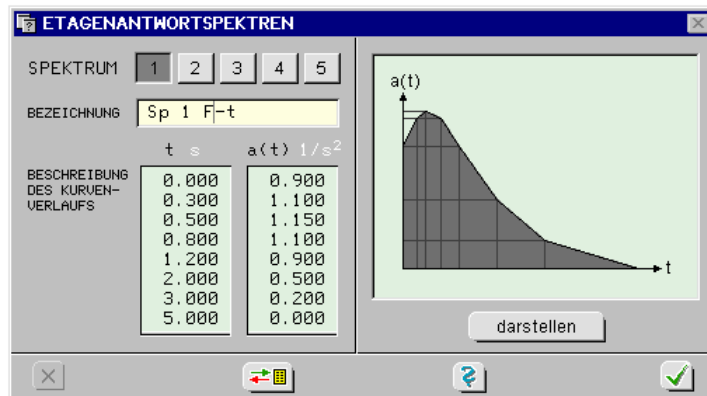


Beim Einheitsspektrum nach **DIN 4149** lassen sich die Maßstabsfaktoren  $cal/a$  für das normierte Einheitsspektrum vom Programm ermitteln. Hierzu muss der entsprechende Button angeklickt werden.

Es gilt:  $cal/a = a_0 \cdot k \cdot a$

mit  $a_0$  Regelwert der Horizontalbeschleunigung  
 $k$  Baugrundfaktor  
 $a$  Abminderungsfaktor

$a_0$  und  $a$  können in Abhängigkeit der Erdbebenzone und der Bauwerksklasse vom Programm bestimmt und die Funktion für  $cal/a$  ausgewertet werden.



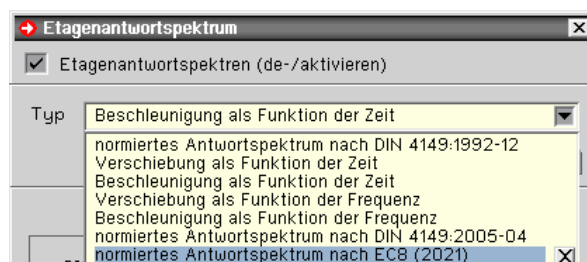
Soll nicht nach DIN 4149 gerechnet werden, müssen die Erregerspektren definiert werden. Hierzu ist der zugeordnete **bearbeiten**-Button anzuklicken. Es erscheint das nachfolgend dargestellte Eigenschaftsblatt, in dem bis zu fünf verschiedene Erregerspektren beschrieben werden können. Geben Sie hierin die Bezeichnung des Spektrums und tabellarisch die Stützstellen der gewählten Funktion an.

In der Tabelle *Komponenten der resultierenden Beschleunigungen* im Eigenschaftsblatt auf S. 83 können unterschiedliche Beschleunigungsrichtungen zur Berechnung vorgegeben werden. Bei der Untersuchung benutzerdefinierter Spektren kann den einzelnen Richtungen weiterhin ein spezielles Erregerspektrum zugeordnet werden.

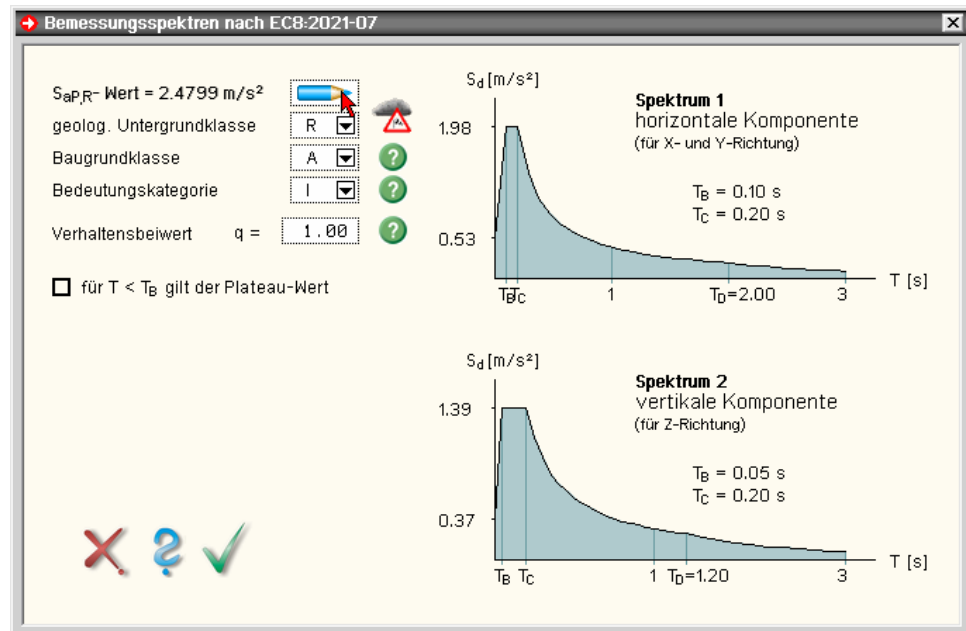
#### 2.7.3.4

#### Erdbeben - normiertes Antwortspektrum nach EC 8 (2021)

##-FRAP-Dynamik wurde um das normierte Antwortspektrum nach EC 8 (2021) erweitert.



Der maßgebliche anzugebende Wert ist  $S_{aP,R}$ , der den Plateau-Wert des Bemessungsspektrums für die geologische Untergrundklasse R, die Baugrundklasse A und die Bedeutungskategorie II darstellt.



Der Wert  $S_{aP,R}$  kann vom Programm automatisch ermittelt werden, wie im Folgenden gezeigt wird.

#### 2.7.3.4.1

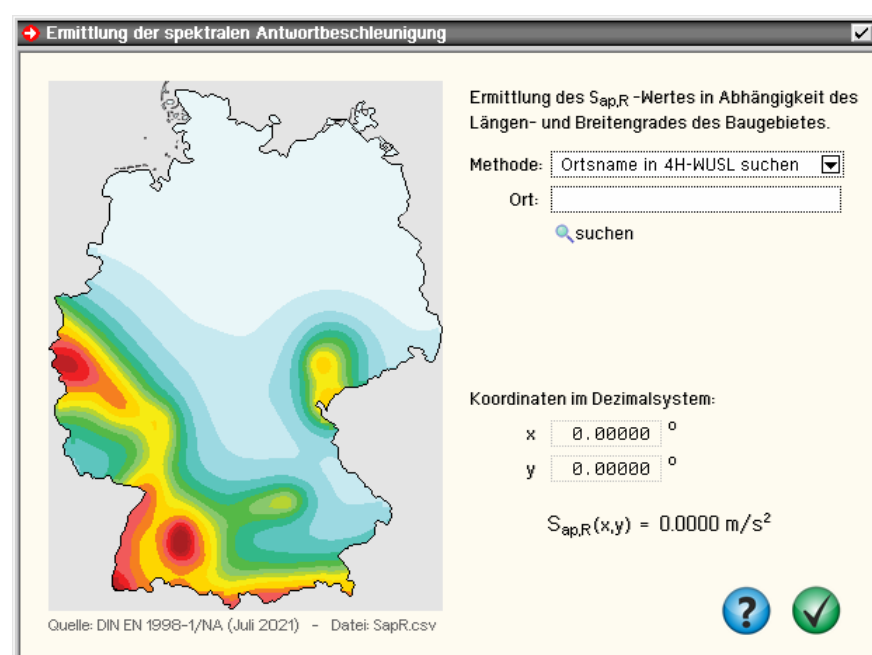
#### automatische Ermittlung der spektralen Antwortbeschleunigung $S_{aP,R}$

Der maßgebliche anzugebende Wert zur Festlegung des Erdbeben-Bemessungsspektrums lautet  $S_{aP,R}$ . Er stellt den Plateau-Wert des Bemessungsspektrums für die geologische Untergrundklasse R, die Baugrundklasse A und die Bedeutungskategorie II dar.

In DIN EN 1998-1/NA:2021-07, Anhang NA.I, wird auf eine zur Norm gehörende Datei *SapR.csv* mit normativem Charakter verwiesen, die Stützstellen für den  $S_{aP,R}$ -Wert innerhalb Deutschlands enthält. Zwischen diesen Stützstellen darf der  $S_{aP,R}$ -Wert linear interpoliert werden.

Mit dem vorliegenden Eigenschaftsblatt bietet #FRAP ein Werkzeug an, mit dem der Wert nach Vorgabe des Bauwerksstandorts automatisch ermittelt werden kann.

Im Register *System + Grundeinstellungen* auf der Seite *Erdbebenlasten* wird nach Wahl der Alternative **automatisch** durch Klicken der Schaltfläche **ermitteln** das zum Werkzeug gehörende Eigenschaftsblatt aufgerufen.



Hierin werden vier Methoden zur Ermittlung des normengerechten  $S_{aP,R}$ -Werts angeboten.



#### 2.7.3.4.1.1

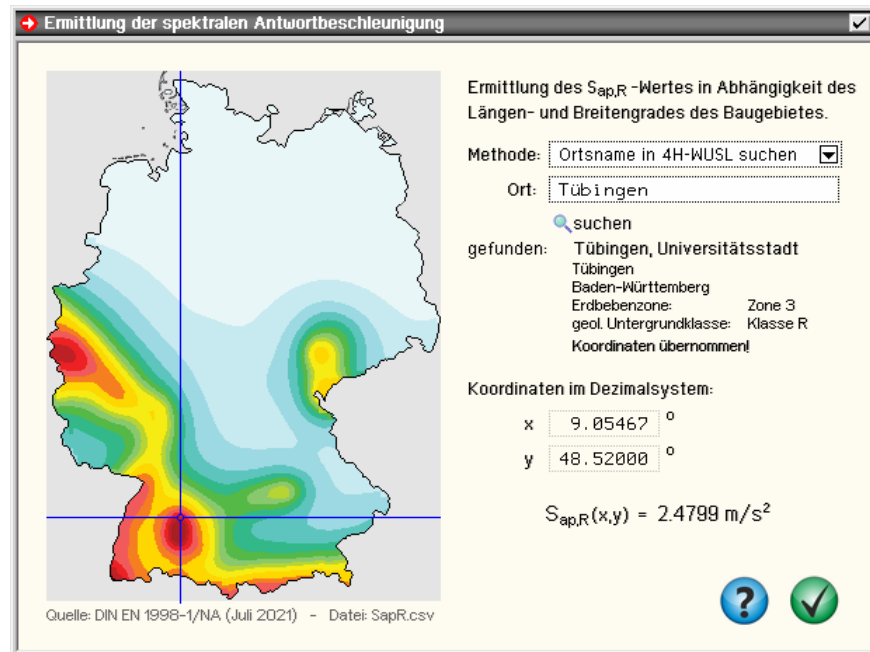
##### Methode 1: Ortsname in #WUSL suchen

Diese Methode funktioniert relativ schnell, setzt aber voraus, dass #WUSL installiert ist.

Geben Sie den Ort des Baugebiets im Eingabefeld ein und klicken auf die **suchen**-Schaltfläche.

Das Programm sucht nun den Ort in der #WUSL-Datenbasis, ermittelt die Koordinaten des Orts, rechnet diese in Dezimaldarstellung um und ermittelt mit diesen Koordinaten durch lineare Interpolation der in der Datei *SapR.csv* zur Verfügung gestellten Stützstellen den korrekten  $S_{aP,R}$ -Wert.

Das Eigenschaftsblatt zeigt nun die gefundenen Koordinaten, den ermittelten  $S_{aP,R}$ -Wert und in der dargestellten Deutschlandkarte die Lage des gefundenen Orts mit Hilfe eines Fadenkreuzes an.

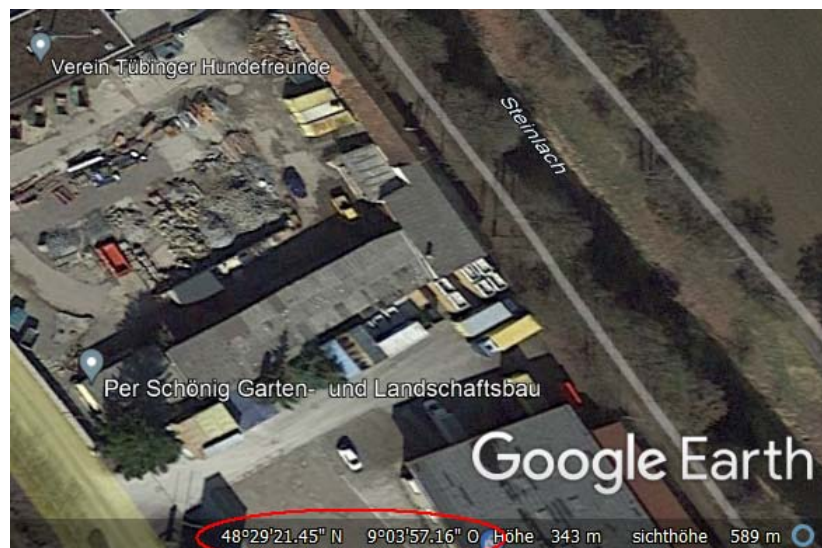


#### 2.7.3.4.1.2

##### Methode 2: Google-Earth-Koordinaten

Diese Methode ist die genaueste Methode, da hiermit die Koordinaten des Baugrundstücks sehr präzise erfasst werden können.

Starten Sie Google-Earth, zoomen Sie sich direkt in das Baugrundstück hinein und platzieren den Mauszeiger über dem Grundstück.



Lesen Sie nun in der Fußzeile (siehe Markierung im o. a. Snapshot) die Koordinaten ab und übertragen Sie sie in die Eingabefelder des #FRAP-Eigenschaftsblatts.

Obwohl das angezoomte Baugrundstück ebenfalls in Tübingen liegt, wird ein deutlich höherer  $S_{ap,R}$ -Wert ausgewiesen als bei der vorangegangenen Methode. Dies liegt daran, dass sich das Grundstück ca. 2 km südlich vom Tübinger Zentrum befindet und in Tübingen der Gradient der  $S_{ap,R}$ -Funktion relativ groß ist.

#### 2.7.3.4.1.3 Methode 3: Direkteingabe (Koordinaten)

Diese Methode bietet sich an, wenn die Koordinaten des Baugrundstücks im Dezimalsystem bereits bekannt sind. Nach Eingabe der Koordinaten wird ihnen unmittelbar der zugehörige  $S_{ap,R}$ -Wert angezeigt.

#### 2.7.3.4.1.4 Methode 4: Direkteingabe (Ergebnis)

Diese Methode bietet sich an, wenn von baubehördlicher Stelle ein  $S_{ap,R}$ -Wert verbindlich vorgegeben wurde.



Aufruf des zugehörigen Hilfetexts



Schließen des Eigenschaftsblatts und Übergabe des  $S_{ap,R}$ -Wert an die aufrufende Seite



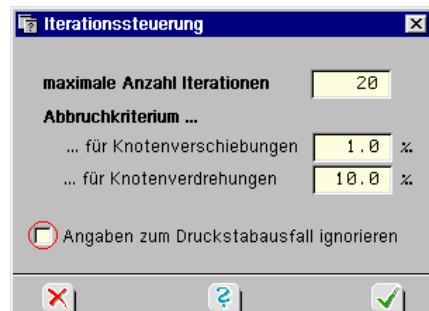
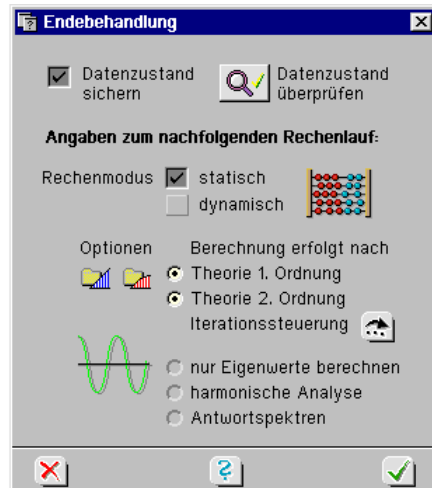
Über den dargestellten Button wird das nachfolgend dargestellte Eigenschaftsblatt eingeblendet, in dem das Ende der Eingabesitzung eingeleitet und letzte Steuerungsangaben für den nachfolgenden Rechenlauf vorgenommen werden können.

### automatische Überprüfung



Datenzustand  
überprüfen

Wegen der Bedeutung der automatischen Überprüfung des aktuellen Datenzustandes wird mit dem nebenstehend dargestellten Button nochmals eine Überprüfungsmöglichkeit angeboten (vgl. 2.6.11.1, S. 74).



**statisch oder dynamisch** Weiterhin wird hier festgelegt, ob im folgenden Rechenlauf eine statische oder dynamische Berechnung erfolgen soll.

**linear oder nichtlinear** Bei statischer Berechnung kann entschieden werden, ob allein die Nachweise nach Theorie I. Ordnung oder die Nachweise nach Theorie II. Ordnung (oder beide Nachweisarten) geführt werden sollen.



Für die Berechnung nach Theorie II. Ordnung sind die Abbruchkriterien der Iteration nach außen gelegt. Bei Prüfungen system-nichtlinearer Berechnungen mit Druckstabausfall kann das Ausfallkriterium aktiviert und deaktiviert werden.

**Eigenformen oder ...** Wird eine dynamische Berechnung angefordert, kann zwischen der reinen Ermittlung der Eigenformen, der Durchführung der harmonischen Analyse oder der Berechnung der Antwortspektren unterschieden werden. Nach **Bestätigen** des Eigenschaftsblatts werden die Daten gesichert und das grafische Eingabemodul beendet.



### 3

## Arbeitshilfen

### 3.1

## Werkzeugleiste



Die Werkzeugleiste wird durch Betätigen der F12-Taste auf der Tastatur ein- und ausgeblendet und bietet einen direkten Zugriff auf die Funktionen, die sich hinter den Schaltflächen



Objekte erzeugen und



aktivierte Objekte bearbeiten verbergen.

Die Werkzeugleiste liegt als zweite Zeile unter der oberen horizontalen Buttonleiste und minimiert die Anzahl der erforderlichen Mausklicks insbesondere in der Konstruktionsphase zur Definition der geometrischen Objekte.

Die Symbole auf den Buttons der Werkzeugleiste entsprechen denen in den bekannten Untermenüs.

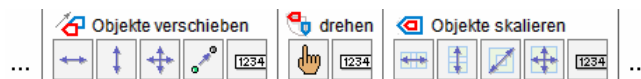
Zunächst werden die Buttons zum **Erzeugen** geometrischer Objekte angeboten.



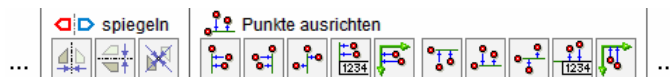
Danach folgen Schaltflächen, die festlegen, ob die nachfolgend angebotenen **Modellierungsfunktionen** am Original oder an einer zuvor erstellten Kopie der ausgewählten Objekte erfolgen sollen. Des Weiteren kann für Rotations- und Skalierungsoperationen der Dreh- bzw. Festhaltepunkt festgelegt werden.



Danach folgen die Schaltflächen zum **Verschieben**, **Drehen** und **Skalieren** der ausgewählten Objekte (bzw. der zuvor erstellten Kopien).



Anschließend folgen die Schaltflächen zum **Spiegeln** ausgewählter Objekte und zum **Ausrichten** ausgewählter Punkte.



Letztlich folgen zwei Schaltflächen, von denen die erste das **Verschneiden** von Linien besorgt.

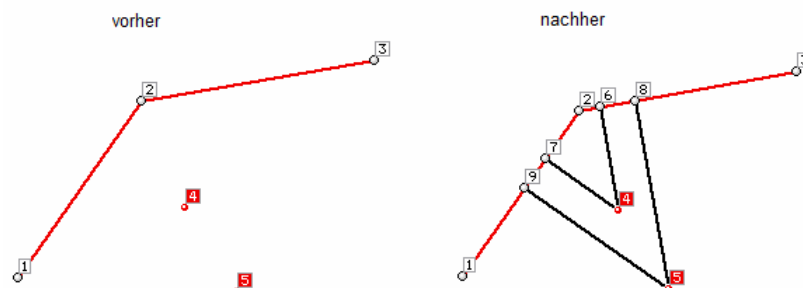


Die letzte Schaltfläche löst eine bisher noch nicht im grafischen Eingabemodul integrierte Aktion aus.

### Lot auf Gerade bilden



Durch Anklicken der dargestellten Schaltfläche, die nur in der Werkzeugleiste angeboten wird, werden Lote von allen ausgewählten Punkten auf alle ausgewählten Linien gefällt.



In der Grafik bilden die neuen Punkte 6, 7, 8 und 9 die Endpunkte der erzeugten Lote. Um eine vollständige Verknüpfung der neuen Linien mit den bereits vorhandenen Linien sicherzustellen, muss die Datenzustandsbereinigungsfunktion durchlaufen werden.

Wie im nächsten Absatz gezeigt wird, kann die Funktion auch über ein Tastaturkürzel aktiviert werden.

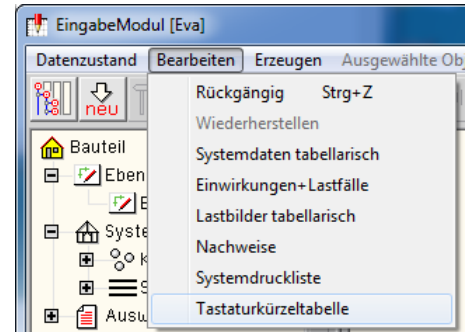
## 3.2

### Tastaturkürzeltabelle

Über Tastaturkürzeltabelle werden bestimmten Funktionen des grafischen Eingabemoduls spezielle Tastaturereignisse zugeordnet.

Ist eine bestimmte Zuordnung angelegt, reicht es aus, die entsprechende Taste auf der Tastatur zu drücken, um die Funktion auszulösen.

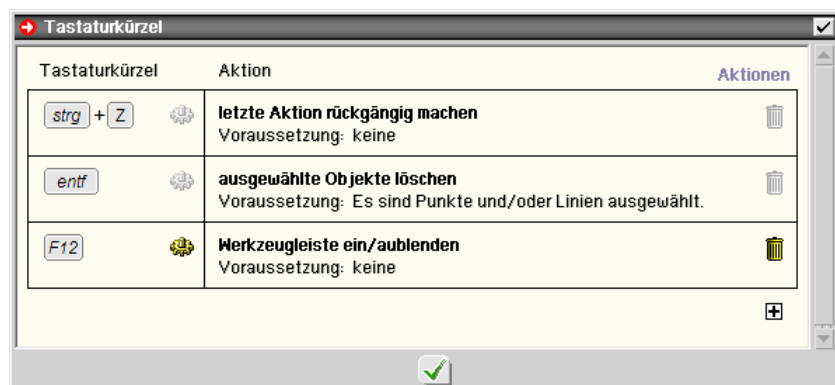
Schon seit geraumer Zeit kann z.B. das Löschen der aktuell ausgewählten Objekte verkürzt mit der [entf]-Taste durchgeführt werden.



Des Weiteren kann die undo-Funktion (rückgängig machen) mit der Tastenkombination [strg]-[Z] aktiviert werden.

Ab der vorliegenden Version können viele weitere Funktionen über ein Tastaturkürzel gestartet werden. Das der Funktion zugeordnete Kürzel kann vom Anwender frei gewählt werden.

Die Tastaturkürzeltabelle wird mit Hilfe des gleichnamigen Menüpunkts in der Menügruppe *Be-  
arbeiten* aufgerufen (s. oben). Das nachfolgend dargestellte Eigenschaftsblatt erscheint.



Das Eigenschaftsblatt enthält voreingestellt drei Einträge

die soeben besprochenen Kürzel zum **löschen** und **rückgängig machen** sowie

die Vereinbarung, die bereits vorgestellte Werkzeugleiste mit Hilfe der F12-Taste ein- bzw. aus-  
zublenden.

Eine häufig benötigte Funktion ist, alle aktuell ausgewählten Objekte abzuwählen, um wieder in den Zustand *es sind keine Objekte ausgewählt* zu gelangen.

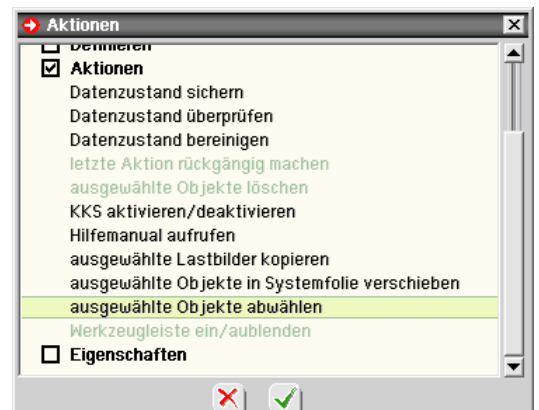
Im nachfolgenden Beispiel soll die Leertaste (engl.: space) mit dieser Funktion verknüpft werden.

#### 1. Funktion auswählen

Klicken Sie hierzu auf das -Zeichen unter der Tabelle, um eine neue Zeile einzufügen.


Es erscheint das nebenstehend dargestellte Eigenschaftsblatt. Öffnen Sie die Gruppe **Aktionen** und klicken Sie auf die Zeile **ausgewählte Objekte abwählen**.

Bestätigen Sie die Auswahl durch Anklicken des grünen **Hakens**. Die soeben getroffene Auswahl erscheint in der Tastaturkürzeltabelle in der Spalte **Aktion**.



Die Auswahl wird in roter Farbe dargestellt, da ihr noch kein Tastaturkürzel zugeordnet ist.

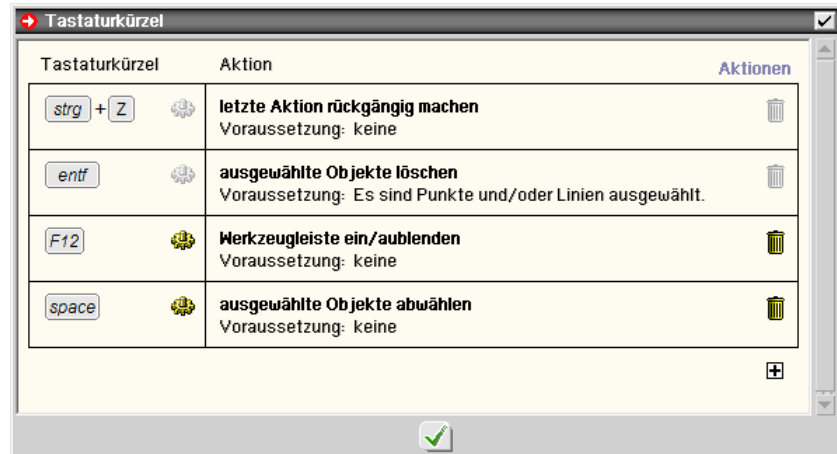
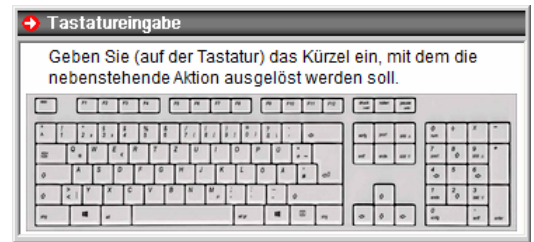
## 2. Tastaturkürzel zuordnen

Klicken Sie in der neu eingerichteten Zeile der Tastaturkürzeltabelle auf das -Zeichen.

Es erscheint die Aufforderung, ein Tastenkürzel über die Tastatur einzugeben.

Betätigen Sie nun die Leertaste auf der Tastatur.

Die Tastaturkürzeltabelle sieht nun wie folgt aus



## 3. Ausprobieren

Schließen Sie das Eigenschaftsblatt über den **grünen Haken**. Wählen Sie beliebig viele Objekte durch Umfahren oder Anklicken aus. Betätigen Sie die Leertaste. Die Reaktion des Programms ist genauso, als hätten Sie mit der Maus unter der Überschrift ABWÄHLEN auf den Button mit der Aufschrift **alle** geklickt. Durch Anklicken des **Mülleimersymbols** kann ein definiertes Tastaturkürzel wieder gelöscht werden.

Die Festlegungen in der Tastaturkürzeltabelle werden schreibtsichglobal gespeichert und stehen somit allen **##-FRAP**-Bauteilen bei der Bearbeitung zur Verfügung.

Als Kürzel können alle Tasten auf der Tastatur wahlweise auch in Kombination mit den Tasten [strg], [alt] und [shift] gewählt werden.

Verzichten sollte man auf die Kombination [alt]+[F1 ..F12], da diese teilweise von Windows vorgelegt sind. Dies gilt insbesondere auf die Tastenkombination [alt]+[F4], die das aktive Fenster schließt.

Folgenden Funktionen kann ein Tastaturkürzel zugeordnet werden

### Gruppe Erzeugen

- Knoten numerisch erzeugen
- Knoten manuell erzeugen
- Stäbe manuell erzeugen
- orthogonales Raster erzeugen
- rotationssymmetrisches Raster erzeugen
- Knoten und Stäbe importieren

### Gruppe Modellieren

- ausgewählte Objekte manuell horizontal verschieben
- ... manuell vertikal verschieben
- ... manuell beliebig verschieben
- ... Punkt-zu-Punkt verschieben
- ... numerisch verschieben
- ... verdrehen

- ... skalieren
- ... horizontal spiegeln
- ... vertikal spiegeln
- ... punktspiegeln
- ausgewählte Knoten ausrichten (horizontal, links)
- ... ausrichten (horizontal, rechts)
- ... ausrichten (horizontal, mittig)
- ... ausrichten (horizontal, numerisch)
- ... ausrichten (vertikal, oben)
- ... ausrichten (vertikal, unten)
- ... ausrichten (vertikal, mittig)
- ... ausrichten (vertikal, numerisch)
- ... ausrichten (an Y-Achse des KKS)
- ... ausrichten (an X-Achse des KKS)
- ausgewählte Stäbe verschneiden
- Lot von Knoten auf Gerade bilden

### **Gruppe Duplizieren**

- Duplikat der ausgewählten Objekte manuell horizontal verschieben
- ... manuell vertikal verschieben
- ... manuell beliebig verschieben
- ... Punkt-zu-Punkt verschieben
- ... numerisch verschieben
- ... verdrehen
- ... skalieren
- ... horizontal spiegeln
- ... vertikal spiegeln
- ... punktspiegeln

### **Gruppe Definieren**

- Stabzug definieren
- Linienlast definieren
- Knotenlast definieren
- elastische Bettung der ausgewählten Stäbe definieren
- Lagerangaben der ausgewählten Knoten definieren
- individuelle Eigenschaften ausgewählter Stäbe bearbeiten
- Materialeigenschaften ausgewählter Stäbe bearbeiten
- Bemessungsoptionen ausgewählter Stäbe bearbeiten

### **Gruppe Aktionen**

- Datenzustand sichern
- Datenzustand überprüfen
- Datenzustand bereinigen
- letzte Aktion rückgängig machen
- ausgewählte Objekte löschen
- KKS aktivieren/deaktivieren
- Hilfemanual aufrufen
- ausgewählte Lastbilder kopieren
- ausgewählte Objekte abwählen
- Werkzeuggeste ein/ausblenden

### **Gruppe Eigenschaften**

- Einwirkungen und Lastfälle
- Nachweise
- Lastbilder tabellarisch
- Koordinatenbereich und Raster



- Eigenschaften der Darstellung
- Eigenschaften der Systemdruckliste
- Gruppendefinitionen bearbeiten
- Kontrollpunkte bearbeiten
- Tastaturkürzeltabelle bearbeiten

### 3.3 Zoomen mit dem Mausrad

Befindet sich der Mauszeiger im Konstruktionsfenster des grafischen Eingabemoduls wird durch Drehen des Mausrads nach vorne in die Objekte des Konstruktionsfensters hineingezoomt. Hierbei behält der Punkt unter dem Mauszeiger seine Position.

Durch Drehen des Mausrads nach hinten wird wieder herausgezoomt.

Befindet sich der Mauszeiger im Konstruktionsfenster des grafischen Eingabemoduls und werden nun gleichzeitig die [shift]-Taste und die linke Maustaste gedrückt, lassen sich die gezoomten Objekte im Konstruktionsfenster per Mausbewegung verschieben.

Diese Mausfunktionen werden auch in der Ergebnisvisualisierung unterstützt.

## 4 DXF-Importfilter

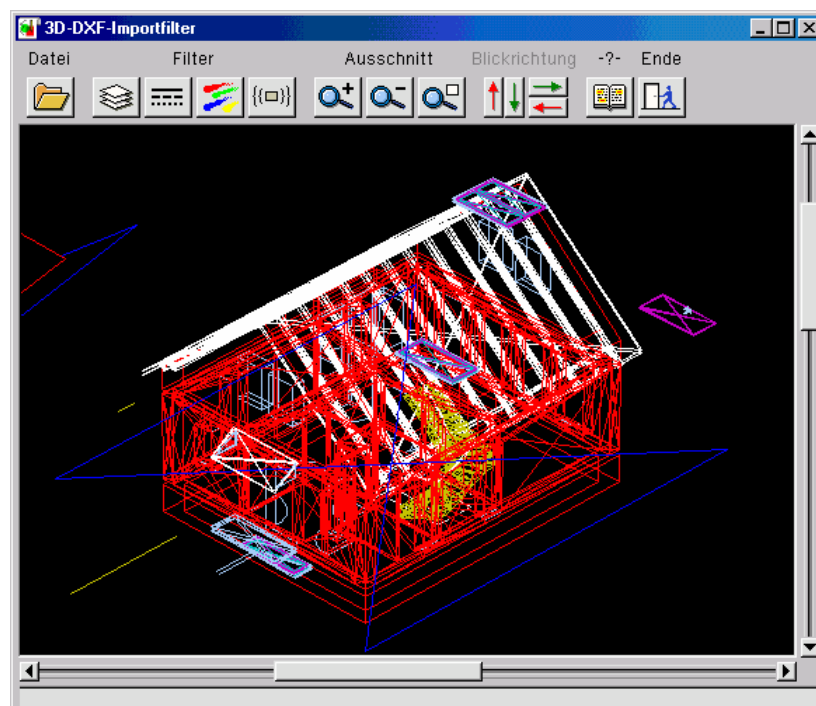
Der DXF-Importfilter ist ein eigenständiges Programm, das direkt aus dem grafischen Eingabemodul heraus aufgerufen wird. Es erzeugt keine neue Eingabedatei; vielmehr werden die grafischen Objekte aus dem Filterprogramm zu den bestehenden geometrischen Objekten (Punkten und Linien) im Objektfenster des grafischen Eingabemoduls hinzugefügt.



Der DXF-3D-Filter kann innerhalb eines Bauteils beliebig häufig aufgerufen werden, um neue Geometrien hinzuzulesen.



Die Aktivierung des Filters ist nur im 3D-Modus unter Zuhilfenahme der nebenstehend dargestellten Schaltflächen möglich. Sie wird unter Abs. 2.2.3.2, S. 22, beschrieben. Das nachfolgend dargestellte Fenster erscheint.



**Beschreibung der Interaktionselemente**



Wenn dies nicht bereits im aufrufenden Eingabemodul geschehen ist, muss der Name der DXF-Datei aus der Informationen importiert werden sollen angegeben werden. Bevor der Inhalt der Datei im Darstellungsfenster dargestellt werden kann, muss sie vom Programm geöffnet und gelesen werden.

#### Layerfilter



DXF-Dateien besitzen i.A. eine Folienstruktur in der jeweils gleichartige Informationen zusammengefasst sind. Über den dargestellten Button werden die in der DXF-Datei definierten Folien (Layer) an- bzw. abgewählt, um für das statische System irrelevante Daten auszublenden. Grafische Elemente, die abgewählten Folien zugeordnet sind, werden nicht dargestellt.

#### Linientypfilter



In dem durch diesen Button aufgerufenen Eigenschaftsblatt werden die in der DXF-Datei definierten Linientypen an- bzw. abgewählt. Linien, die abgewählten Linientypen zugeordnet sind, werden nicht dargestellt.

#### Farbfilter



Über diesen Button erscheint ein Eigenschaftsblatt, in dem die in der DXF-Datei definierten Farben an- bzw. abgewählt werden können. Grafische Elemente, die in einer abgewählten Farbe gezeichnet werden, werden nicht dargestellt.

#### Blockfilter



Wird der dargestellte Button angeklickt, erscheint ein Eigenschaftsblatt, in dem die in der DXF-Datei definierten Blöcke an- bzw. abgewählt werden können. Grafische Elemente, die in einem abgewählten Block definiert sind, werden nicht dargestellt. Man beachte, dass Blöcke i.d.R. hierarchisch verschachtelt definiert sind! Der oberste Block, der alle anderen Blöcke umfasst, hat den Namen *Entities*. Wird dieser Block abgewählt, gilt folglich alles als abgewählt.

#### Ausschnitte



Die hier dargestellten Zoom-Buttons reagieren wie die des grafischen Eingabemoduls (s. Abs. 2.1.5, S. 18).

#### System verdrehen



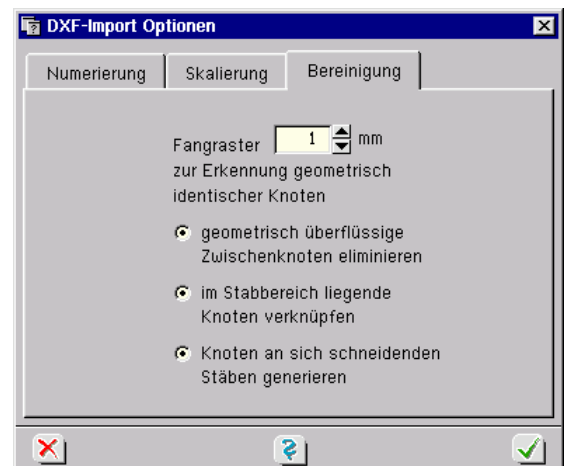
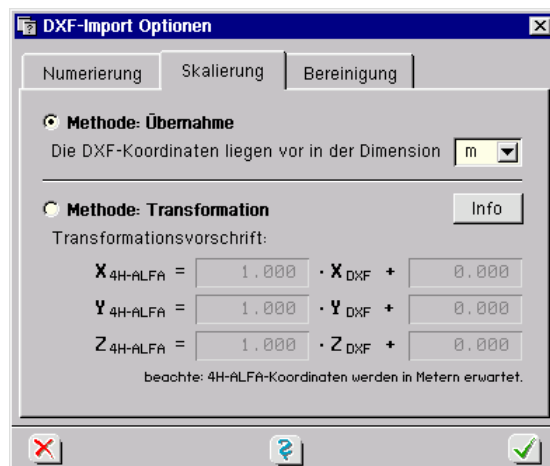
Mit Hilfe der nebenstehend dargestellten Buttons kann das räumliche Objekt vertikal und horizontal gedreht bzw. gekippt werden. Die Schalter reagieren sinngemäß wie im grafischen Eingabemodul unter Abs. 2.1.1, S. 18, beschrieben.

#### Endebehandlung



Durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Buttons wird das Ende der Importaktion eingeleitet. Es erscheint ein mit drei Registern bestücktes Eigenschaftsblatt, in dem Einstellungen zum Datenimport vorgenommen werden können.

Im ersten Register werden Angaben zur automatischen Nummernvergabe für die Knoten und Stäbe festgelegt. Das zweite Register befasst sich mit der Skalierung der gegebenen Koordinaten. Hierbei werden zwei Möglichkeiten angeboten.



#### Übernahme

Die Methode *Übernahme* übernimmt die Koordinaten direkt aus der DXF-Datei. Hierbei ist es nur noch erforderlich anzugeben in welchem Maßsystem (cm, dm oder m) die Koordinaten vorliegen.

#### Transformation

Die zweite Methode ermöglicht die Vorgabe einer Transformationsvorschrift, die eine Koordinatenverschiebung und eine Skalierung erlaubt.

$$X_{4H-FRAP} = F_x \cdot X_{DXF} + C_x$$

$$Y_{4H-FRAP} = F_y \cdot Y_{DXF} + C_y$$

$$Z_{4H-FRAP} = F_z \cdot Z_{DXF} + C_z$$

Hierbei müssen die Skalierungsfaktoren  $F_x$ ,  $F_y$  und  $F_z$  sowie die Translationskonstanten  $C_x$ ,  $C_y$

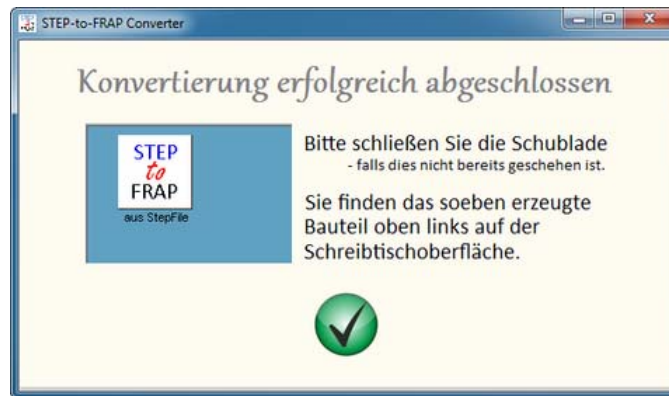


Systems, die Anzahl der Knoten, Stäbe und Lastbilder sowie ggf. weitere Statusmeldungen angezeigt

- letztlich werden unter **AKTION** die bereits durchgeführten sowie die noch anstehenden Aufgaben ausgewiesen

Mit den bekannten Buttons unten rechts wird der weitere Verlauf gesteuert.

- ✗ das Programm wird abgebrochen
- ❓ öffnet das Hilfedokument
- ✓ weist **##-STEP** an, die noch anstehenden Aktionen durchzuführen; die nachfolgend dargestellte, abschließende Meldung erscheint



Wurde **##-STEP** aus dem **##-FRAP**-Eingabemodul aufgerufen, erscheinen die eingelesenen Daten sofort als statisches System auf dem Bildschirm.

Wurde **##-STEP** in der DTE<sup>®</sup>-Schublade gestartet, muss die Schublade geschlossen werden; auf dem DTE<sup>®</sup>-Schreibtisch erscheint oben links das neue Bauteil, das in üblicher Form durch Doppelklick geöffnet wird.

### Anmerkungen - Hintergründe - Tipps

Die STEP-Schnittstelle dient allgemein dem Austausch von CAD-Informationen unterschiedlicher CAD-Programme. In einer Untermenge sehen die Spezifikationen dieser Schnittstelle auch den Austausch von statischen Systemen (hier: 3D-Stabwerke mit Schwerpunkt Stahlbau) vor.

Es besteht somit die Möglichkeit, Stabwerksinformationen zwischen den Statikprogrammen unterschiedlicher Hersteller über die STEP-Schnittstelle auszutauschen.

Formal erzeugt hierzu das Programm X, in dem das statische System definiert wurde, eine STEP-Datei. Das Programm Y, in dem das statische System weiterbearbeitet bzw. geprüft werden soll, liest diese Datei ein.

**##-STEP** übernimmt in diesem Sinne die Aufgabe, aus den in der STEP-Datei vorliegenden Informationen ein **##-FRAP**-Bauteil zu erstellen.

Voraussetzung für eine verlustfreie Übertragung ist, dass die Programme X und Y über die gleichen Möglichkeiten verfügen und das Schnittstellenformat in der Lage ist, diese vollumfänglich zu transportieren. So wird beispielsweise ein Programm Y, in dem die Definition von Gelenken nicht vorgesehen ist, nichts mit den entsprechenden Einträgen in der Datei anfangen können und sie bestenfalls ignorieren.

Denkbar ist weiterhin, dass die Programme X und Y gleichermaßen Eigenarten behandeln können, für die sie in der Formatspezifikation aber keine Beschreibungsmöglichkeit finden.

Ein gewisser Schwund an Informationen ist bei komplexen Problemstellungen nicht unwahrscheinlich, woraus zu schließen ist, dass das eingelesene System zu überprüfen ist.

Hierzu an dieser Stelle einige Informationen und Tipps.

### Drahtmodell

Knoten, Knotenkoordinaten und Stabverknüpfung sollten stets sauber übertragen werden können. Dies gilt ebenfalls für die Knotenlager und die Stabdrehwinkel.

Exzentrische Anschlüsse werden sauber übertragen, wenn sie im globalen Koordinatensystem definiert sind. Wegen einer Diskrepanz zwischen den Definitionen der lokalen Stabkoordinatensysteme in STEP und *##FRAP* sollten die exzentrischen Anschlüsse, die sich auf das lokale Koordinatensystem beziehen, überprüft werden.

Die im lokalen Stabkoordinatensystem definierten Gelenke werden sauber übertragen. Ein mögliches Gelenk für die Verwölbung wird dabei von *##STEP* ignoriert.

### Material und Querschnitt

Die i.d.R. zur Anwendung kommenden Materialien (Stahl) werden sauber übertragen; exotische Materialien sollten überprüft werden.

Die nachfolgend dargestellten Stahlbauprofile werden entweder über die Profilbezeichnung oder über ihre geometrischen Parameter angenommen. Bei den Profilbezeichnungen wird davon ausgegangen, dass sich der schreibende Prozess an das Dokument [2] hält.

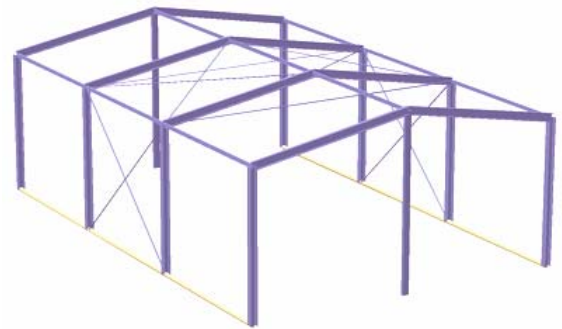


Weitere Querschnittsformen werden von *##STEP* ignoriert. Insbesondere für Querschnitte aus Holz bzw. Beton sieht die Formatspezifikation keine Definitionsmöglichkeiten vor.

Wenn *##STEP* einen Querschnitt nicht zweifelsfrei identifizieren kann, überträgt das Programm ein Rundholz an *##FRAP*.

Das System sollte daher frühzeitig in Foto-View überprüft werden, um genannte Missstände zu erkennen.

In der nebenstehenden Abbildung ist zu erkennen, dass die Betonstreifenfundamente nicht sauber übertragen werden konnten. Dies muss per Hand nachgebessert werden.



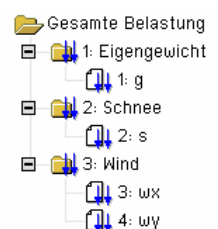
### Belastung

Während die Lastbilder problemlos übernommen werden können, ist die STEP-Formatspezifikation nicht dazu geeignet, die Struktur von Einwirkungen und Lastfällen sauber zu übertragen. Es kann z.B. nicht festgestellt werden, ob ein Lastfall aus Schnee, Wind oder sonstigen Nutzlasten besteht.



So kann (und wird) es passieren, dass im Eigenschaftsblatt zur Verwaltung der Einwirkungen die links dargestellten Elemente erscheinen. Hier muss manuell eingegriffen werden, um die rechts abgebildete Struktur festzulegen.

Andernfalls würde es zu Fehlern bei der Faktorisierung der Schnittgrößen auf Design-Ebene führen.



### Literatur

- [1] Standardbeschreibung Produktschnittstelle Stahlbau, Teil 2: Datenmodell. DSTV-Arbeitsausschuss EDV Schnittstellenversion: April 2000
- [2] Produktbezeichnungen für den Datenaustausch im Stahlbau, Halbzeuge und Verbindungsmittel Empfehlungen des DSTV-Arbeitsausschusses EDV November 2002 (5. Auflage)

## 6 Tipps zur Vorgehensweise

**pcae** empfiehlt bei der Erzeugung eines zu berechnenden Bauteils im grafischen Eingabemodul folgende Vorgehensweise

### Stäbe und Knoten erzeugen, modellieren

Nutzen Sie hierfür das gesamte Register der angebotenen Generierungs- und Modellierungsfunktionen. Oftmals ist es sinnvoll, sich zunächst (im Kopf) einen Plan zu machen in welcher Reihenfolge am effektivsten vorgegangen werden kann. Nutzen Sie die Ebenenbearbeitung! Aktivieren Sie im Zweifelsfalle die Datenbereinigungsfunktion!

### System strukturieren, Gruppen bilden, Ebenen definieren

Nutzen Sie die Möglichkeiten der Gruppenbildungen. Nicht nur, weil das Ein- und Ausblenden sowie das Auswählen von Gruppen interaktive Vorteile enthält, sondern vor allen Dingen auch für die spätere Weiterverarbeitung der Ergebnisse. Stabzüge werden in den Drucklisten und im Ergebnisvisualisierungsprozess als Einheit betrachtet, so dass Grafiken sehr viel übersichtlicher erzeugt werden können. Wenn Stäbe sinnvollen losen Stabgruppen zugeordnet sind, vereinfacht dies das spätere Auffinden. Beachten Sie, dass die Definition von Stabzügen die zu ihm gehörenden Stäbe "ausrichtet", so dass alle Stäbe (wenn nötig durch automatisches Umdrehen) in dieselbe Richtung weisen.

### Systemeigenschaften vergeben

Definieren Sie nun die Stab- und Knoteneigenschaften. Jeder Stab benötigt sinnvolle Querschnittsangaben, die wie besprochen an alle ausgewählten Stäbe en bloc vergeben werden können. Wenn nötig, definieren Sie exzentrische Anschlüsse, Gelenke und verdrehen Sie das lmn-Stabkoordinatensystem. Legen Sie die Bemessungsoptionen bzw. Nachweisoptionen für die Stäbe fest. Lagern Sie das System.

### Belastung strukturieren

Beschreiben Sie die Struktur der Einwirkungen und Lastfälle. Legen Sie die Einwirkungs- und Lastfalltypen fest, und definieren Sie die Zuordnung der Lastfälle zu den Einwirkungen. Kontrollieren Sie Ihre Festlegungen mit Hilfe der Baumansicht.

### Lastbilder erzeugen

Erzeugen Sie die Lastbilder lastfallweise. Alternativ können hier die interaktiven Erzeugungsfunktionen oder die tabellarische Definition von Lastbildern genutzt werden.

### Nachweise definieren

Zu diesem Thema wird auf das Handbuch *das pcae-Nachweiskonzept* verwiesen.

Definieren Sie nun die gewünschten Nachweise. Kontrollieren Sie Ihre Festlegungen mit Hilfe der Baumansicht.

### Datenzustand überprüfen

Bevor Sie das Eingabemodul zwecks Berechnung verlassen, sollten Sie unbedingt immer erst die Funktion *Datenzustand überprüfen* aktivieren. Diese Funktion wird Ihnen Auskunft geben über Festlegungen, die nicht zusammenpassen oder solche, deren Beschreibung vergessen wurde.



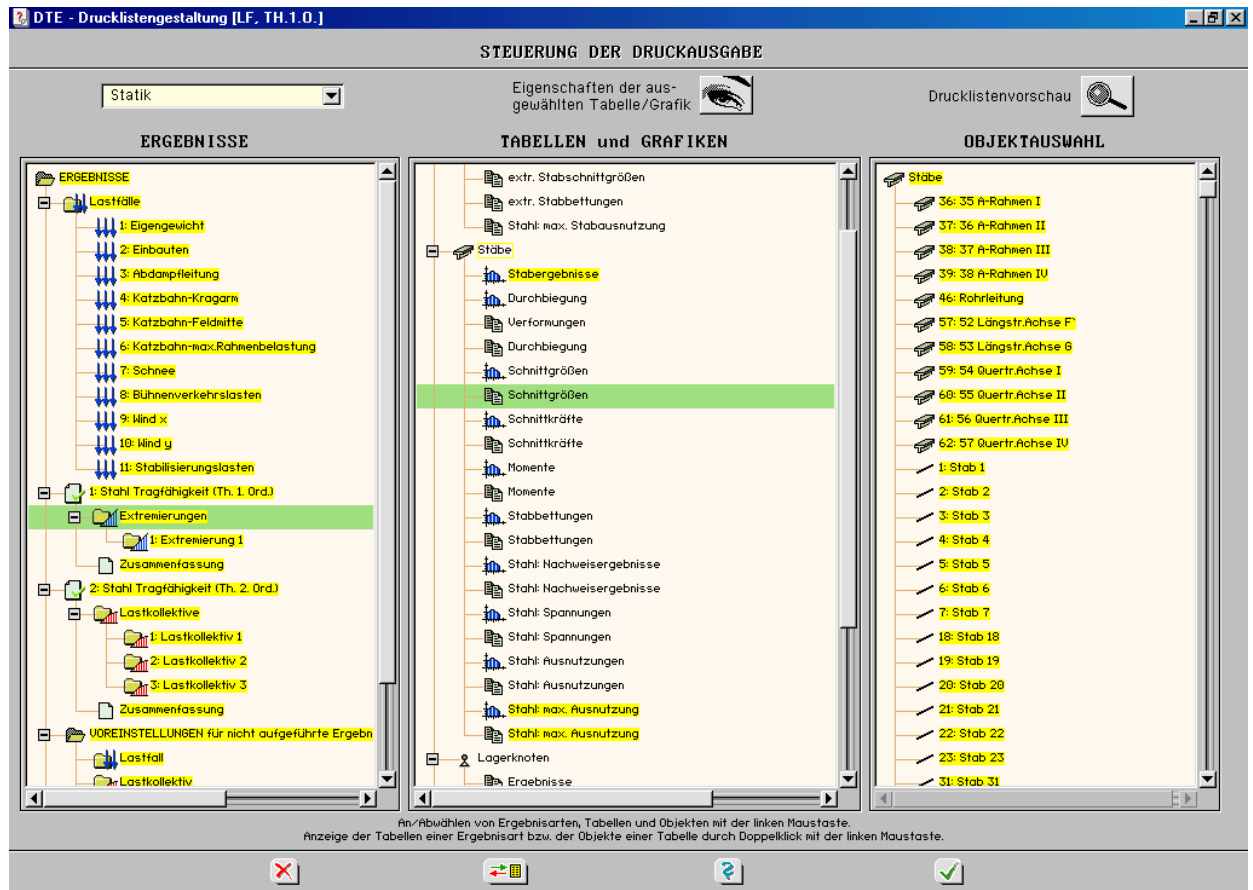
## Drucklistengestaltung



Die Drucklistengestaltung erlaubt eine differenzierte Auswahl der Tabellen und Grafiken, die in der Druckliste zur Präsentation der Ergebnisse erscheinen sollen. Hier kann z.B. festgelegt werden, dass die Ergebnisse zum LF 1 vollständig gedruckt werden sollen, die Ergebnislisten zum LF 2 jedoch nur die Verformungen der Stäbe enthalten und Ergebnisse zum LF 3 überhaupt nicht ausgegeben werden sollen. Weiterhin könnte von einem LF 4 festgelegt werden, dass nur die Momente eines bestimmten Stabzugs zur Ausgabe gelangen.

Eine derart differenzierte Auswahl bedarf eines entsprechend komplexen, interaktiven Hilfsmittels, das im Folgenden erläutert wird.

Nach Start der Funktion erscheint das dargestellte Eigenschaftsblatt auf dem Sichtgerät, das drei nebeneinander stehende Auswahlfenster enthält. Diese Fenster haben die Bezeichnungen *Ergebnisse*, *Tabellen und Grafiken* und *Objektauswahl*.




### 7.1

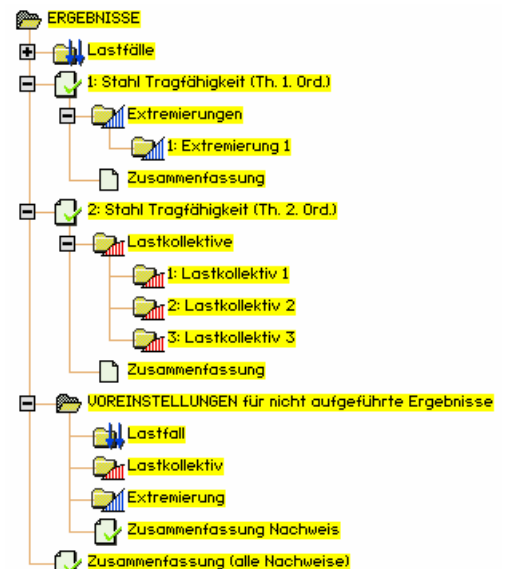
#### Fenster *Ergebnisse*

Zunächst wird das Fenster *Ergebnisse* betrachtet, dessen Inhalt rechts dargestellt ist.

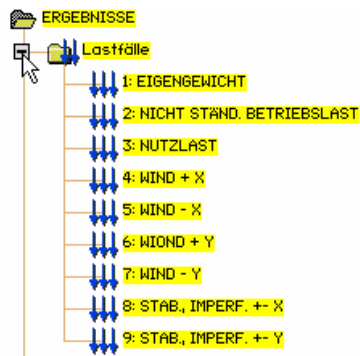
Hier wird auf oberster Ebene zwischen den Ergebnistypen

- Lastfälle,
- den definierten Nachweisen,
- der Voreinstellung für nicht aufgeführte Ergebnisse und der
- Zusammenfassung über alle Nachweise

unterschieden, die in einer Baumstruktur zur Auswahl präsentiert werden. Das -Zeichen vor den Einträgen zeigt an, dass sich weitere Objekte unterhalb dieser Basisobjekte befinden, die diesen zugeordnet sind.







Durch einmaliges Anklicken des -Zeichens werden diese Objekte sichtbar (und damit anwählbar) gemacht. Nebenstehend sind beispielhaft die Unterobjekte des Basisobjekts *Lastfälle* "geöffnet" dargestellt.

Durch Anklicken des -Zeichens wird der Ast des Baums geschlossen und die Unterobjekte verschwinden vom Bildschirm. steht also für "öffnen" und für "schließen".

Unter dem Basisobjekt *Voreinstellung für nicht aufgeführte Ergebnisse* wird festgelegt wie mit aktuell noch nicht definierten Objekten der entsprechenden Art in der Druckliste verfahren werden soll.



Es empfiehlt sich, die Gestaltung der Druckliste erst dann festzulegen, wenn das System im grafischen Eingabemodul vollständig beschrieben worden ist, da die Drucklistengestaltung auf die Objekte des Eingabemoduls zurückgreift.

**Lastfälle** Durch einfaches Anklicken der Objektbezeichnung wird ein Objekt aus- bzw. wieder ausgewählt. Ein ausgewähltes Objekt wird gelb hinterlegt dargestellt, was besagt, dass Ergebnisse zu diesem Objekt ausgegeben werden sollen.

**Lastfälle** Ist ein Basisobjekt (ein Objekt, das über Unterobjekte verfügt) blass gelb umrahmt dargestellt, bedeutet dies, dass die Ergebnisse seiner Unterobjekte teilweise ausgegeben werden sollen. Die Aus- bzw. Abwahl eines Basisobjekts ist gleichbedeutend mit der Aus- bzw. Abwahl sämtlicher seiner Unterobjekte.

## 7.2

### Fenster *Tabellen und Grafiken*

Der **Doppelklick** auf ein Objekt erlaubt eine weitere Differenzierung hinsichtlich der Auswahl von Listen und Plänen.

Auch hier gilt: Erfährt ein Basisobjekt (z.B. *Lastfälle*) einen Doppelklick, gelten die weiterführenden Festlegungen für alle Unterobjekte dieses Typs.

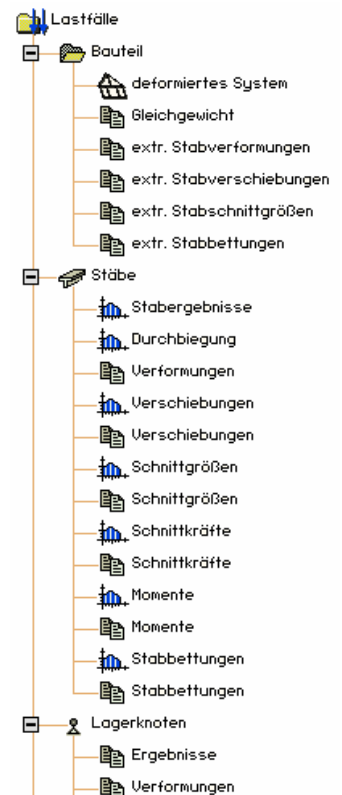
Erfährt jedoch ein Unterobjekt (z.B. *Lastfall Eigengewicht*) einen Doppelklick, gelten die Definitionen nur für dieses Objekt.



Bei einem Doppelklick auf ein Objekt im Fenster *Ergebnisse* wird dieses großflächig grün hinterlegt und es erscheint eine zu diesem Objekt angepasste (wiederum baumstrukturierte) Auswahl möglicher Ausgabeobjekte im Fenster *Tabellen und Grafiken* wie nebenstehend dargestellt. Bei den Lastfallobjekten wird hier (auf oberster Stufe) zwischen den Objekten

- Bauteilinformationen
- Stabergebnisse
- Ergebnisse der Lagerknoten
- Knotenergebnisse (allgemein)

unterschieden.



Die Interaktionsmöglichkeiten im Fenster *Tabellen und Grafiken* entsprechen vollständig denen im Fenster *Ergebnisse*. Die Symbole unterscheiden zwischen



Grafik deformiertes System,



Liniengrafik und



Tabellen.

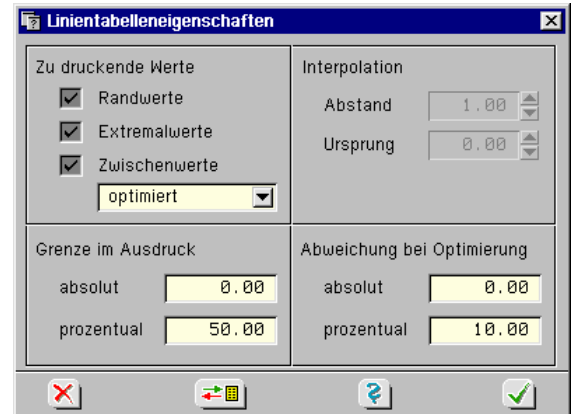


Die Eigenschaften der ausgewählten Tabellen können über den links dargestellten Button in einem speziellen Eigenschaftsblatt angepasst werden.

Hier werden die auszugebenden Werte fein eingestellt. Je nach Auswahl und Bestimmung der Grenzen für den Ausdruck wird der Ergebnisumfang verändert.

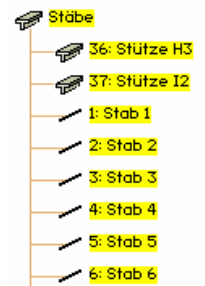
**Stababschnitte** Die Teilung der Stäbe in Abschnitte ergibt sich aus dem Standardwert und den evtl. auf dem Stab angreifenden Lasten. Hierdurch entsteht eine Vielzahl von Zwischenergebnissen auf dem Stab.

Die optimierte Ausgabe sorgt für ein Protokoll relevanter Ergebnisse insbesondere dann, wenn sich keine wesentlichen Änderungen über die Stabausdehnung ergeben.



### 7.3 Fenster Objektauswahl

Durch Doppelklicken eines Objekts im Fenster *Tabellen und Grafiken* lässt sich eine dem Objekt zugeordnete Auswahl im Fenster *Objektauswahl* einblenden. Ein Doppelklick im Bereich der *Stabobjekte* bewirkt etwa die Anzeige wie rechts beispielhaft dargestellt. Hierin können wiederum Objekte an- und abgewählt werden.



### 7.4 Tipps zur Drucklistengestaltung

1. Die Drucklistenauswahl hat eine sinnvolle Voreinstellung. Nur wenn diese Voreinstellung nicht Ihren Wünschen entspricht, wird eine Modifikation der Drucklistengestaltung erforderlich.



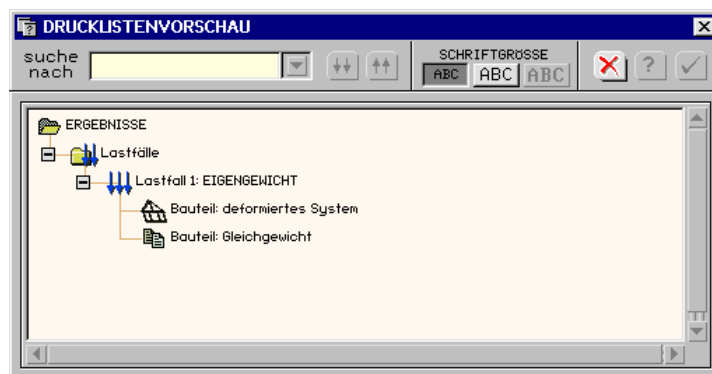
2. Haben Sie eine Drucklistenauswahl getroffen von der Sie glauben, dass diese Auswahl für einen Großteil Ihrer Anwendungen sinnvoll ist, empfiehlt es sich, diese **schreibtisch-global** zu speichern. Um dies einzuleiten, betätigen Sie den links dargestellten Button. Auf die so gespeicherten Festlegungen kann auch von anderen Bauteilen aus zugegriffen werden.



Beachten Sie, dass hierbei allein die **Voreinstellung für nicht aufgeführte Ergebnisse** gespeichert werden!



3. Der nebenstehend dargestellte Button dient zur Überprüfung der aktuellen Festlegungen. Nach Betätigen erscheint eine Liste mit sämtlichen Ausgaben wie sie zum gegebenen Zeitpunkt definiert wurden. Ein Beispiel ist nachfolgend angegeben.



4. Wenn die Berechnung des Bauteils bereits durchgeführt und das System innerhalb des Eingabemoduls nicht verändert wurde, reicht es zur Erzeugung der Drucklisten und Pläne gemäß der hier definierten Festlegungen aus, die Drucklisten automatisch aktualisieren zu lassen. Ein neuer Rechenlauf ist hierzu nicht erforderlich.



Das Visualisierungsmodul zur Darstellung der Ergebnisse des ausgewählten Bauteils wird über den **Start**-Button und den Button **Ergebnisse visualisieren** (S. 11) aus der grafischen Eingabe heraus aufgerufen.

Die Visualisierung umfasst linienorientierte Darstellungen sowie tabellarische Zusammenstellungen der Ergebnisse.

Die Grafiken können als Ebenendarstellungen und in der 3D-Ansicht erstellt werden. Überhöhte Deformationsbilder, farbige Konturflächen- und Grenzliniendarstellungen sowie Zahlenfächchengrafiken gehören hierzu. Teilweise können die Darstellungsformen auch einander überlagert werden.

Die Tabellen liefern Zusammenstellungen der linienorientierten Ergebnisse. Hierbei können unterschiedliche Wertekombinationen abgerufen werden.

Die Verwendung der *Moving-Window-Technologie* gestattet einen direkten Zugriff auf den Vorrat des aktuellen Ergebnissatzes und stellt eine hohe Interaktionsgeschwindigkeit sicher. Durch Kurzwahlbuttons innerhalb der Auswahllisten und Erkennungsmechanismen der aktuellen Darstellung können z.B. gleichartige Darstellungen einzelner Lastfälle schnell aufgeblättert werden, so dass die letzte Darstellung quasi noch vor dem geistigen Auge steht und die neue somit in Relation gesetzt werden kann.

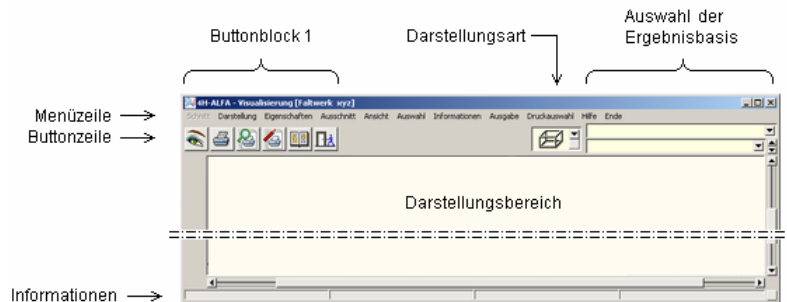
Über den **Doppelklick** werden auch hier Objekteigenschaften und -ergebnisse abgerufen. Die innerhalb einer Sitzung gewählten Darstellungen und ihre Einstellungen können beim Verlassen des Visualisierungsmoduls gespeichert werden, so dass bei neuerlichem Aufruf sofort an den letzten Status angeschlossen werden kann.

## 8.1

### allgemeine Erläuterungen

Das Ergebnisvisualisierungsmodul dient dazu, alle von *4H-FRAP* berechneten Ergebnisse am Sichtgerät darzustellen. Da diese Ergebnisse sehr umfangreich und vielschichtig sind, bietet das Programm eine Vielzahl von Werkzeugen an, die die interessierenden Größen herausfiltern und in aussagekräftiger Form grafisch darstellen.

Das nachfolgende Bild zeigt schematisch das Fenster des Ergebnisvisualisierungsmoduls mit den unabhängig von der Darstellungsart angebotenen interaktiven Elementen.



#### Darstellungsart

Es werden drei verschiedene Darstellungsarten angeboten, die über eine symbolische Liste ausgewählt werden können.








Die **3D-Darstellung** ist die vom Umfang her mächtigste Darstellungsart und für die visuelle Präsentation von Ergebnissen am Gesamtsystem von entscheidender Bedeutung. Hier werden diverse Werkzeuge zur Visualisierung der Ergebnisse angeboten. In der 3D-Darstellung kann zudem in einzelne Ebenen umgeschaltet werden.



In der Darstellungsart **Liniengrafiken** werden Ergebnisse linienförmiger Objekte (Stäbe, Stabzüge) dargestellt. Die Ergebnisse werden hier in einem Funktionsdiagramm mit Abszisse und Ordinate angegeben.

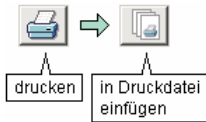


In der Darstellungsart **Tabellen** werden die Ergebnisse numerisch in einer Tabelle ausgewiesen.

<b>Ergebnisbasis</b>	<p>Als Ergebnisbasen können <b>Lastfälle</b>, ggf. <b>Lastkollektive</b>, Ergebnisse von <b>Extremierungen</b> und <b>Zusammenfassungen</b> von Extremierungen (Extremierungen von Extremierungen) ausgewählt werden.</p> <p>Jeder dieser Ergebnisbasen sind unterschiedliche Ergebnistypen zugeordnet. Während Lastfällen und Lastkollektiven die Ergebnistypen <b>Schnittgrößen</b>, <b>Verformungen</b> und evtl. <b>Bettungskräfte</b> zuzuordnen sind, gibt bei Extremierungen der Nachweistyp die Ergebnistypen vor.</p> <p>Bei Stahlbetonbemessungsaufgaben ist dies z.B. die erforderliche rechnerisch einzulegende Bewehrung, während bei Nachweisen im Stahlbau der Ausnutzungsgrad ein wesentlicher Ergebnistyp ist.</p>
<b>Buttonblock 1</b>	<p>Insbesondere in der 3D-Darstellungsart kann mit Hilfe des nebenstehend dargestellten Buttons die Darstellung des (ergebnisunabhängigen) Systems modifiziert werden. Es kann z.B. festgelegt werden, ob die Stäbe mit oder ohne Nummern und/oder Bezeichnungen dargestellt werden sollen, ob Querschnittssymbole angetragen und mit Druckstabausfall behaftete Stäbe gesondert gekennzeichnet werden sollen. In der Tabellendarstellung kann der Inhalt der Tabellen in seiner Darstellungsart beeinflusst werden.</p> <p> </p> <p>Der nebenstehend dargestellte Button dient dazu, die aktuelle Darstellung im Darstellungsfenster (unabhängig von der Darstellungsart) zur Ausgabe (auf einem Drucker) zu bringen. Zur Auswahl stehen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ direkte Ausgabe auf einem Drucker (Aufruf des Druckmanagers)</li> <li>▪ die Ausgabe zur Drucklistenvorschau am Bildschirm (um das Layout der Grafik zu prüfen)</li> <li>▪ das Einspeichern der Grafik in die spezielle Druckliste <i>ausgewählte Grafiken</i></li> </ul> <p> Sind in der Druckliste <i>ausgewählte Grafiken</i> Elemente (Druckansichten) gespeichert, können diese über den nebenstehend dargestellten Buttons direkt zur Anzeige gebracht werden. Hierzu wird eine Auswahlliste angeboten. Die gespeicherten Druckansichten werden unabhängig von der aktuell eingestellten Darstellungsart mit den Darstellungsattributen, die bei der Speicherung gewählt wurden, dargestellt.</p> <p> Durch Anklicken dieses Buttons erscheint ein Eigenschaftsblatt über das die Elemente der Druckliste <i>ausgewählte Grafiken</i> eingesehen und modifiziert werden können. Die <i>Druckansichten</i> genannten Elemente können in ihrer Reihenfolge umsortiert, hinsichtlich ihrer Darstellungsattribute bearbeitet, eingesehen, mit Überschriften versehen und gelöscht werden. Weitere Informationen zur Druckliste <i>ausgewählte Grafiken</i> s. unter <i>Verwaltung der Druckansichten</i> (Abs. 8.2, S. 104).</p> <p> der nebenstehend dargestellte Button öffnet das Hilfedokument</p> <p> Verlassen der Ergebnisvisualisierung</p>
<b>Menüzeile</b>	alle vom #-FRAP-Ergebnisvisualisierungsmodul angebotenen Funktionen können alternativ über die Menüzeile angesteuert werden.
<b>Informationen</b>	die Informationszeile enthält Hinweise zum Bauteil und der aktuell ausgewählten Datenbasis.
<b>Mausradaktion</b>	s. Abs. 3.3, S. 93

## 8.2

## Verwaltung der Druckansichten



Im Darstellungsbereich angezeigte Grafiken können in die Druckliste *ausgewählte Grafiken* gespeichert werden. Hierzu muss zunächst das **Druckersymbol** und in dem folgenden Menü der Button **in Druckdatei speichern** angeklickt werden. Der gespeicherten Druckansicht kann eine Bezeichnung zugewiesen werden.



Derart abgespeicherte Druckansichten werden vom Visualisierungsmodul auch über die aktuelle Sitzung hinaus gespeichert. Wird zwischenzeitlich (etwa infolge Änderungen in der Belastungsstruktur) ein Neustart des Rechenlaufs erforderlich, werden die in den gespeicherten Druckansichten dargestellten Ergebnisse automatisch aktualisiert.

Der Anwender kann also sicher sein, dass die dargestellten Ergebnisse bei der Ausgabe der Druckliste *ausgewählte Grafiken* stets dem aktuellen Ergebnisstand entsprechen.

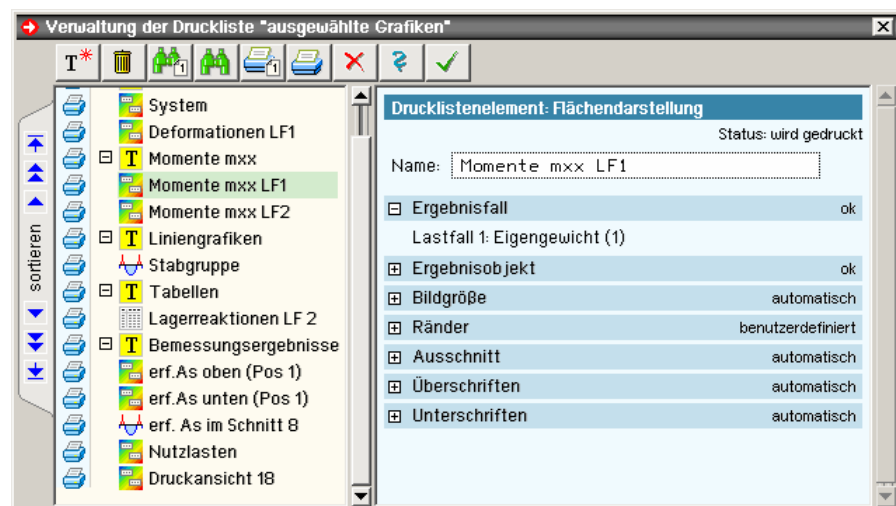
Selbst wenn eine besondere grafische Darstellung nicht in der Druckliste erscheinen soll, empfiehlt es sich u.U., die Grafik für einen direkten Zugriff in einer späteren Sitzung abzuspeichern.



Nach einem Klick auf den nebenstehend dargestellten Button erscheinen alle gespeicherten Druckansichten in einer Auswahlliste. Wird hierin eine bestimmte Druckansicht ausgewählt, schaltet die Anzeige im Darstellungsfenster direkt auf die Darstellung der gewählten Druckansicht um.



Dieser Button ruft das Fenster zur Verwaltung der Druckansichten auf. In der Verwaltung der Druckansichten werden die gespeicherten Druckansichten im linken Teil des Fensters aufgelistet. Die Listenelemente können per Mausklick ausgewählt werden. Die Eigenschaften der aktuell ausgewählten Druckansicht können im rechten Teil des Fensters eingesehen und ggf. geändert werden.



Den Buttons in der Kopfzeile sind folgende Funktionen zugeordnet



erzeuge eine neue Überschrift



lösche die ausgewählte Druckansicht



stelle die ausgewählte Druckansicht im Drucklisten-Viewer dar



stelle die gesamte Liste *ausgewählte Grafiken* im Drucklisten-Viewer dar



drucke ausgewählte Druckansicht



drucke gesamte Liste *ausgewählte Grafiken*



ohne Übernahme der Änderungen abbrechen









rufe das Hilfedokument auf







beenden mit Übernahme der Änderungen

Am linken Rand des Fensters werden Schalttafeln angeboten mit denen die aktuell ausgewählte Druckansicht innerhalb der Liste nach oben bzw. nach unten verschoben werden kann.



- |   |                          |   |                           |
|---|--------------------------|---|---------------------------|
|  | Sprung nach ganz oben    |  | Sprung nach ganz unten    |
|  | mehrere Zeilen nach oben |  | mehrere Zeilen nach unten |
|  | eine Zeile nach oben     |  | eine Zeile nach unten     |

Jedem Listenelement ist i.d.R. ein kleines Druckersymbol vorangestellt. Hiermit wird ausgedrückt, dass die Druckansicht Teil der Druckliste *ausgewählte Grafiken* ist und beim Druck ausgegeben wird. Ist ein Ausdruck der Grafik nicht gewünscht, muss das Symbol angeklickt werden; die Darstellung ändert sich in ein rotes Kreuz. Listenelemente mit einem roten Kreuz dienen nur der Speicherung (und sorgen dadurch für einen schnellen Zugriff auf das Bild), werden aber im Rahmen der gesamten Druckausgabe nicht mit ausgegeben.


Die den Listenelementen zugeordneten Symbole haben folgende Bedeutungen

-  Druckansicht von der Darstellungsart *3D*
-  Druckansicht von der Darstellungsart *Liniengrafik*
-  Druckansicht von der Darstellungsart *Tabelle*
-  Überschrift


Überschriften dienen der Strukturierung der Druckliste *ausgewählte Grafiken*. Das Programm geht davon aus, dass die einer Überschrift folgenden Druckansichten thematisch zur Überschrift gehören.

Diesen Gedanken weiter verfolgend bekommt eine Überschrift das zusätzliche Strukturierungselement , wie es aus den Baumansichten bekannt ist. Wird dieses Zeichen angeklickt, wandelt es sich in ein -Zeichen um und die zur Überschrift gehörenden Druckansichten verschwinden. Dies hat den Vorteil, dass die Liste überschaubarer wird.

Wird eine derart "zusammengeklappte" Überschrift mit Hilfe der Sortierbuttons innerhalb der Liste verschoben, nimmt die Überschrift die ihnen zugeordneten Druckansichten mit.

Mit einem Klick auf das -Zeichen ("wieder aufklappen") lässt sich dies schnell überprüfen.

Im rechten Fenster sind die Eigenschaften der jeweils ausgewählten Druckansicht dargestellt. Diese Eigenschaften können insbesondere bei Elementen der Darstellungsart *3D* auch inhaltlich bearbeitet werden.

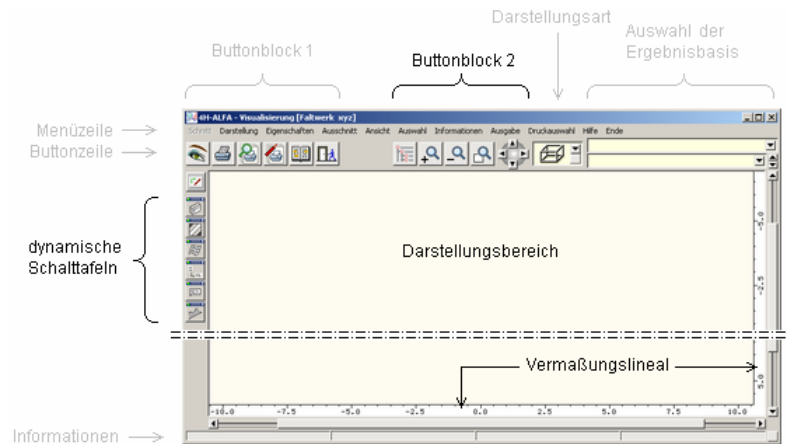
Da die Eigenschaften in Blöcken zusammengefasst sind, muss ein zu bearbeitender Block zuerst durch Anklicken des - Zeichens geöffnet werden.

Alle Blöcke verfügen über einen Schalter **automatisch**. Diese Einstellung ist voreingestellt und bewirkt, dass das Programm die Eigenschaften selbständig festlegt. Nur in seltenen Fällen wird es notwendig sein, hier vom Standard abweichende Einstellungen vorzunehmen.



Die **3D-Darstellung** ist die vom Umfang her mächtigste Darstellungsart und für die visuelle Präsentation von Ergebnissen am Gesamtsystem von entscheidender Bedeutung. Insbesondere werden hier Werkzeuge angeboten, die die Ergebnisse bearbeiten. In der 3D-Darstellung kann zudem in einzelne Ebenen umgeschaltet werden.

Das nachfolgende Bild zeigt schematisch das Fenster des Ergebnisvisualisierungsmoduls. Die bloss dargestellten Interaktionselemente gehören zur Standardausrüstung des Visualisierungsmoduls und wurden bereits beschrieben (Abs. 8.1, S. 102). Die in der 3D-Darstellungsart zusätzlich angebotenen Interaktionselemente werden im Folgenden erläutert.



#### Buttonblock 2



Mit Hilfe des nebenstehend dargestellten Buttons können bestimmte ausgewählte Objekte von der Darstellung ausgenommen werden. Liegt insbesondere bei großen Systemen das Augenmerk auf einem Teilbereich der Gesamtkonstruktion, kann es passieren, dass im Vordergrund stehende Stäbe die Sicht verdecken. In diesen Fällen ermöglicht ein Klick auf den nebenstehend dargestellten Button die Ausschaltung aktuell nicht interessierender Objekte von der Darstellung.



**Ausschnitt vergrößern:** Der nebenstehend dargestellte Button dient dazu, sich in eine 3D-Darstellung hineinzuzoomen. Es erscheint ein Fadenkreuz auf dem Sichtgerät mit dem ein rechteckförmiger Teilbereich des aktuell dargestellten Systems aufgezoogen werden kann. Der so gewählte Teilbereich wird vergrößert dargestellt.



**Ausschnitt verkleinern:** Ein Klick auf den nebenstehend dargestellten Button macht die letzte Ausschnittvergrößerungsaktion rückgängig.



**Ausschnitt zurücksetzen:** Das Programm stellt hiermit sicher, dass alle aktuell dargestellten Objekte vollständig zu sehen sind.



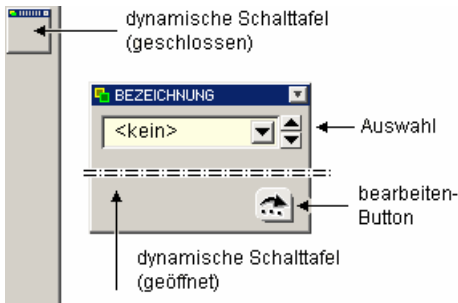
Mit Hilfe der nebenstehend dargestellten Buttongruppe können Objekte in der 3D-Ansicht verdreht werden. Wird der Button **nach rechts drehen** gedrückt, rotieren die Objekte um eine vertikale Achse nach rechts. Wird der Button **nach unten drehen** gedrückt, rotieren die Objekte um eine horizontale Achse nach unten und die Darstellung dreht sich hin zur Vogelperspektive.

**dynamische Schalttafeln** Jede Ergebnisbasis verfügt über diverse Ergebnistypen, die teilweise als zweidimensionale Vektor- oder Skalarfelder - bestimmten Linien zuzuordnende eindimensionale Funktionen - oder auch nur als punktuell vorliegende Einzelergebnisse gegeben sind.

Für all diese Ergebnistypen bedarf es folglich unterschiedlicher Darstellungsformen, die insbesondere dazu geeignet sind, bestimmte interessierende Sachverhalte unmittelbar begreifbar herauszustellen.

Die dynamischen Schalttafeln stellen hierzu das Angebot des grafischen Ergebnisvisualisierungsmoduls von #FRAP dar. Jede dynamische Schalttafel ist hierbei für eine bestimmte Darstellungsform zuständig.





Im geschlossenen Zustand werden die dynamischen Schalttafeln am linken Fensterrand "geparkt". Durch einfaches Anklicken können sie geöffnet werden. Sie bieten dann ihre Interaktionsmöglichkeiten an. Die vorrangige Interaktion in allen dynamischen Schalttafeln ist die Auswahl des Ergebnistyps - also die der interessierenden physikalischen Größe. Alle zur gewählten Darstellungsform passenden Ergebnistypen werden hierzu in einer Auswahlliste angeboten. Jede dynamische Schalttafel besitzt einen **bearbeiten-Button**, der ein Eigenschaftsblatt aufruft, in dem die Art der Darstellung individuell spezifiziert werden kann.

Eine dynamische Schalttafel wird durch Anklicken des **Pfeil-runter-Buttons** oben rechts im Bezeichnungsfeld wieder geschlossen.

Nachfolgend werden die dynamischen Schalttafeln und die ihnen zugeordneten Darstellungsformen beschrieben.

## Ansicht/Ebenen

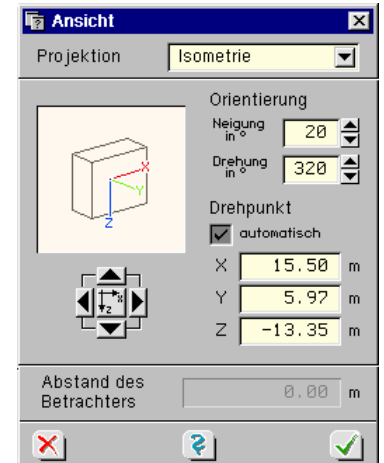
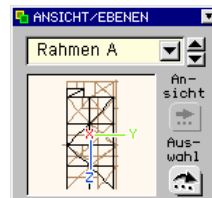


Mit dieser dynamischen Schalttafel kann zwischen der normalen 3D-Ansicht und den im grafischen Eingabemodul definierten Ebenenansichten gewechselt werden.

In der Auswahlliste werden die bei der Eingabe bestimmten Ebenen zugänglich.



Bei Aktivierung der 3D-Darstellung wird über den Button **Ansicht** ein weiteres Eigenschaftsblatt zur Festlegung des Betrachterstandorts geöffnet.



## Konturen



Die Konturendarstellung bietet sich an, wenn Skalarfelder dargestellt werden sollen. Über die dynamische Schalttafel **Konturendarstellungen** wird in einer Listbox die darzustellende Ergebnisgröße ausgewählt.

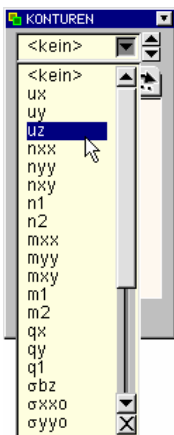


Zum Aufschlagen der Liste ist das **Pfeilsymbol** anzuklicken.

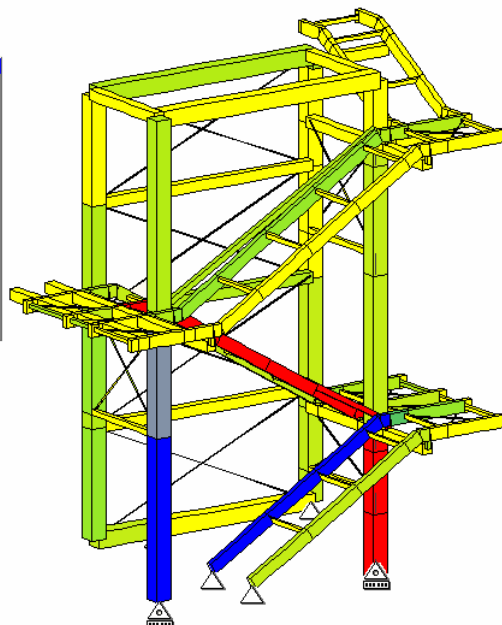
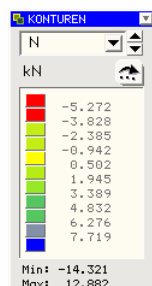


Weiterhin wird in dieser Schalttafel der Wertebereich der Farbzugeordnungen protokolliert. Um die Wertebereiche zu ändern, muss der **bearbeiten**-Button angeklickt werden. Im folgenden Eigenschaftsblatt sind die Modifikationen vorzunehmen.

Die Voreinstellung für die hier festzulegenden Eigenschaften ist **automatisch-äquidistant**. Hierbei berechnet das Programm für jede betrachtete Größe eine sinnvolle Skalierung der Farbabstufungen. Wird der **automatisch**-Button gelöst, kann die Farbskala bei äquidistanter Teilung durch Vorgabe eines Bezugswerts und eines Differenzwerts festgelegt werden.



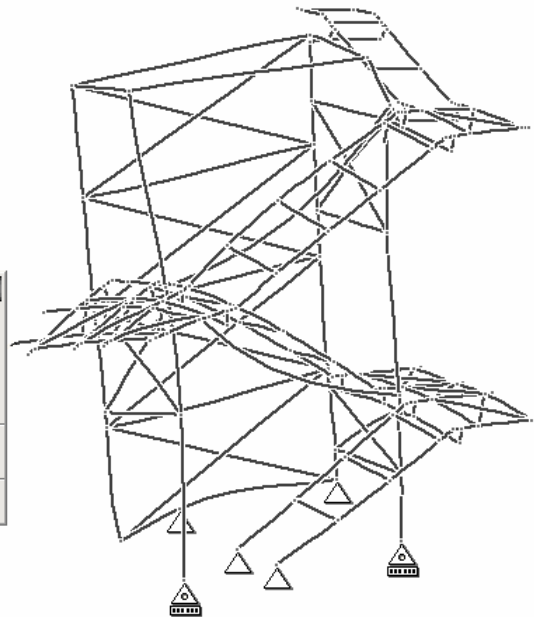
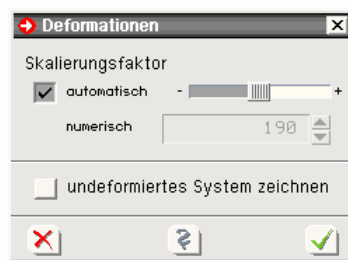
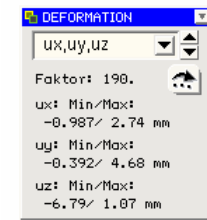
Konturen Normalkräfte



## Deformationen



Die dynamische Schalttafel **Deformationen** zeigt das Verformungsverhalten des Systems im aktuell ausgewählten Lastfall in überhöhter Darstellung. Der Überhöhungswert wird als *Faktor* protokolliert. Darunter werden die minimalen und maximalen Komponenten der Verschiebungsgrößen eingetragen.



Durch Anklicken des **bearbeiten**-Buttons werden die gezeigten Einstellungsmöglichkeiten für die Deformationsdarstellungen zugänglich. Der **Überhöhungsfaktor** kann numerisch vorgegeben oder vom Programm automatisch berechnet werden.

Der Schieberegler dient zur schnellen Feinjustierung. Das **undeformierte System** kann der Grafik hinzugefügt werden.

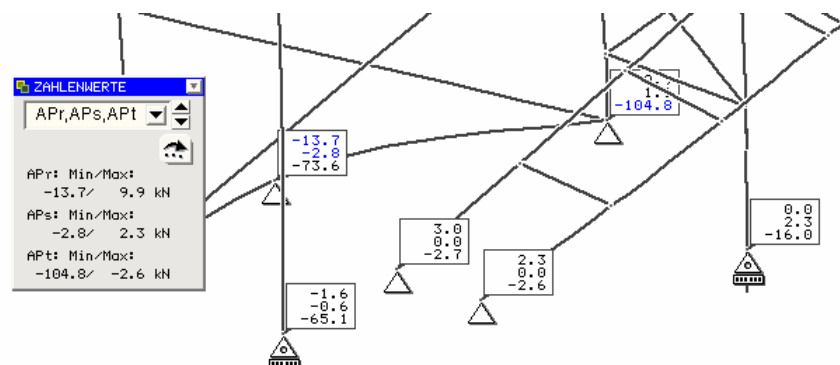
Die Darstellung des deformierten Systems liefert i.d.R. einen sehr guten ersten Eindruck auf das Reaktionsverhalten der Struktur auf ihre Belastungen.

Die Deformationsdarstellung kann mit Konturendarstellungen kombiniert werden, was den Informationsgehalt des Bildes durch zusätzliche Plastizität steigert.

## Zahlenwerte



Zur Einblendung von Zahlenangaben dient die dynamische Schalttafel **Zahlenwerte**. Hierin wird in gleicher Weise zunächst die gewünschte physikalische Größe ausgewählt und je nach Bedarf die Darstellungsart (durch Anklicken des **bearbeiten**-Buttons) modifiziert.



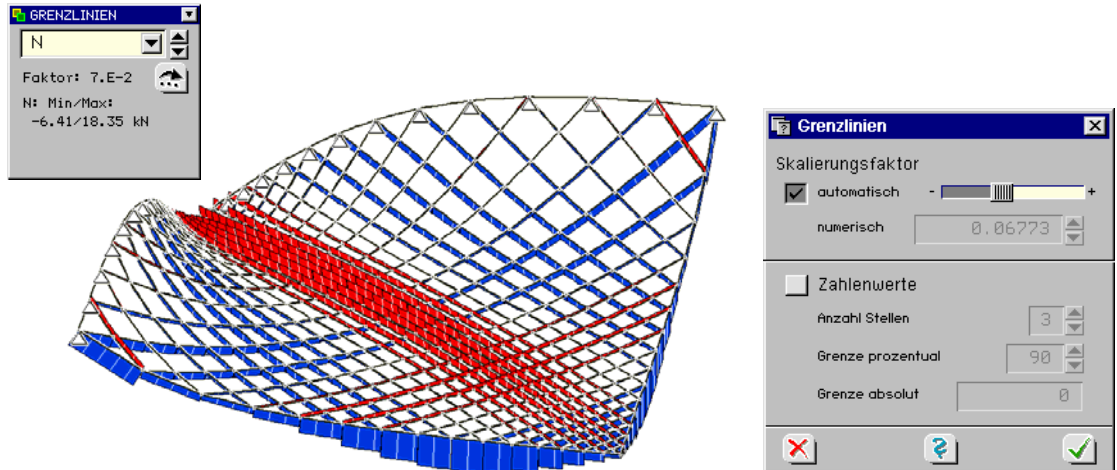
## Grenzlinien



Die im Bauwesen übliche Form zur Darstellung der Zustandsgrößen an linienförmigen Objekten sind die Grenzlinien.

Hier können die Normal- und Querkraftlinien, die Momentenlinien wie auch die Verformungskomponenten aus den einzelnen Lastfällen, aber auch Bemessungsergebnisse an Stäben angetragen werden.

Die Auswahlliste ermöglicht das direkte Umschalten der gewünschten Zustandsgröße.

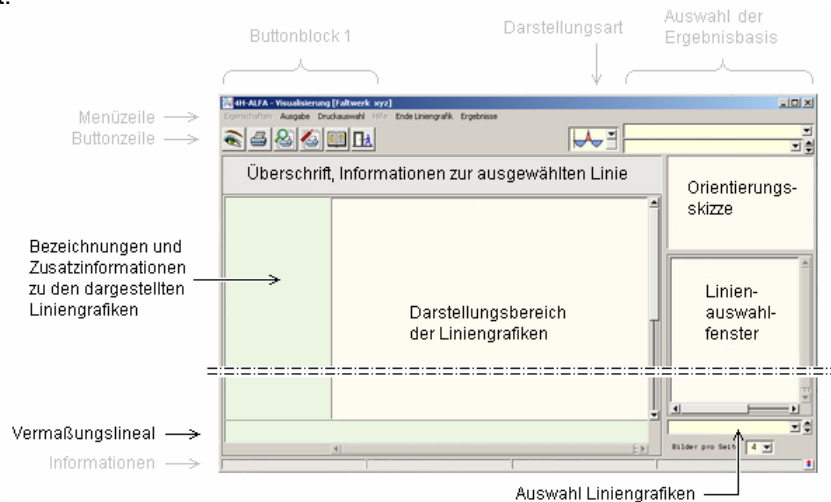


In dem Eigenschaftsblatt, das durch Anklicken des **bearbeiten**-Buttons hervorgerufen wird, kann eine automatische oder numerisch vorgegebene Skalierung der Grenzlinienordinaten angewählt werden.

Der Schieberegler sorgt wiederum für die schnelle Feinjustierung. Wenn neben der Grafik auch Zahlenwerte ausgegeben werden sollen, können mit den hier zur Verfügung gestellten Eingabefeldern die Menge und die Art der Zahlenausgabe bestimmt werden.

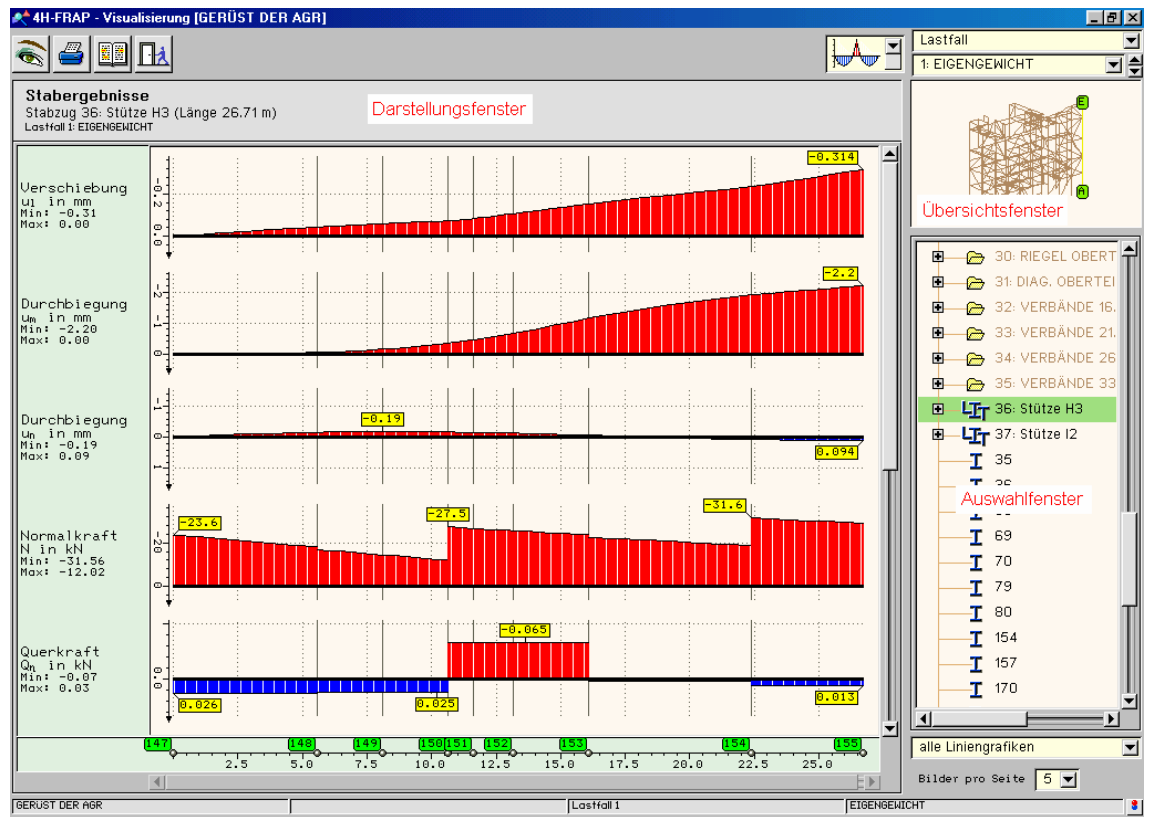
## 8.4 Liniengrafiken

In der Darstellungsart *Liniengrafiken* werden Ergebnisse von linienförmigen Objekten dargestellt. Die Ergebnisse werden hierbei in einem Funktionsdiagramm mit Abszisse und Ordinate angegeben. Das nachfolgende Bild zeigt schematisch das Fenster des Ergebnisvisualisierungsmoduls. Die bloss dargestellten Interaktionselemente gehören zur Standardausrüstung des Visualisierungsmoduls und wurden bereits beschrieben (s. Abs. 8.1, S. 102). Die in der Darstellungsart *Liniengrafiken* zusätzlich angebotenen Interaktionselemente werden im Folgenden erläutert.





In diesem Modus können die **Zustandslinien** einzelner ausgewählter Stäbe bzw. Stabzüge eingesehen werden. In das Darstellungsfenster werden bis zu fünf Grenzlinien gleichzeitig eingeblendet, was für das Studium korrespondierender Zustände (wie Biegelinie, Biegemomentenlinie und Querkraftlinie) besonders gut geeignet ist. In einem Auswahlfenster kann zwischen verschiedenen Stäben bzw. Stabzügen hin- und hergeschaltet werden. Das Übersichtsfenster dient zur Orientierung am Gesamtsystem.

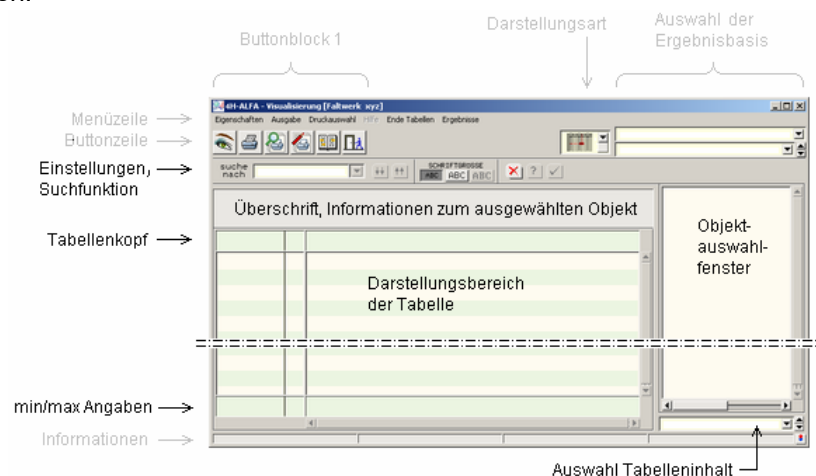


## 8.5

### Tabellen



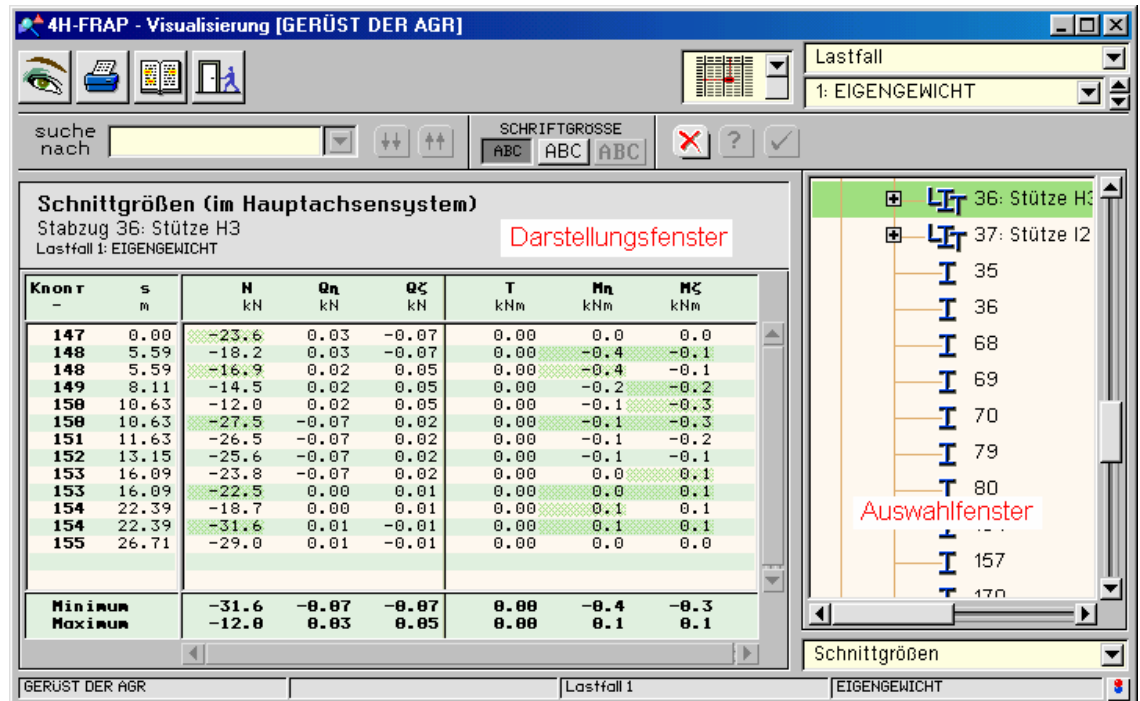
In der tabellarischen Darstellung können die Zahlenwerte der Ergebnisse am besten eingesehen werden. Ähnlich wie im Liniengrafik-Modus können einzelne Stäbe im Auswahlfenster aktiviert werden.



Über die beiden Auswahllisten, die sich in der rechten oberen Ecke befinden, kann die Ergebnisart ausgewählt werden. In der oberen der beiden Auswahllisten wird zwischen **System**, **Lastfall**, **Nachweisen** und **Zusammenfassung** unterschieden.

In der unteren Auswahlliste wird der obere Auswahlpunkt quasi fein eingestellt. Ist in der oberen Auswahlliste *Lastfall* ausgewählt, kann in der unteren Auswahlliste die Lastfallnummer bestimmt werden. Ist in der oberen Auswahlliste ein definierter *Nachweis* ausgewählt, können in der unteren Auswahlliste eine *Extremierung* oder ein *Lastkollektiv* (oder beides) und eine zum Nachweis gehörende *Zusammenfassung* ausgewählt werden.

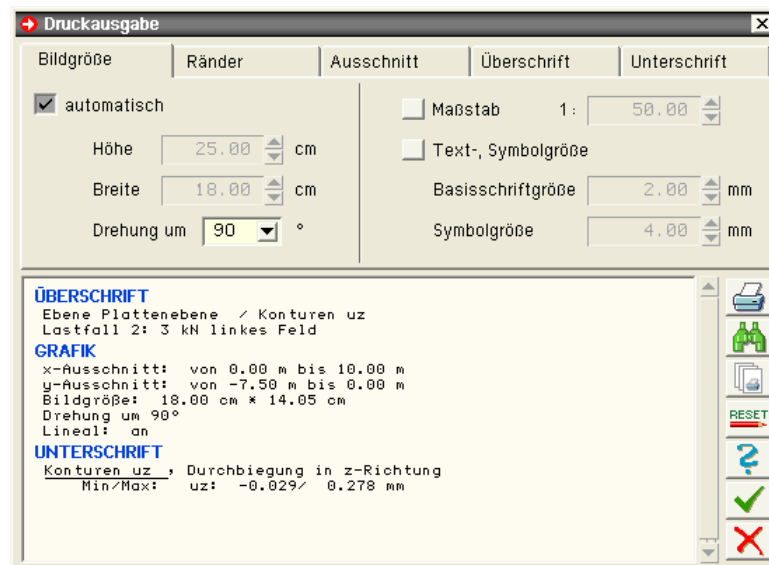
Die *Zusammenfassung* in der oberen Auswahlliste zeigt die Zusammenfassung über alle Nachweise an. Sie enthält die ungünstigsten Ausnutzungsgrade bzw. die maximalen Bemessungsergebnisse (erf. As), die sich nach Führen der Nachweise ergeben haben.



Alle Grafiken können in die Druckliste *ausgewählte Grafiken* gespeichert werden. Näheres s. Verwaltung der Druckansichten, Abs. 8.2, S. 104



Die aktuell im Darstellungsfenster der Ergebnisvisualisierung eingeblendete Grafik kann in die Datenkategorie **ausgewählte Grafiken/Tabellen** aufgenommen oder direkt auf dem Drucker ausgegeben werden.

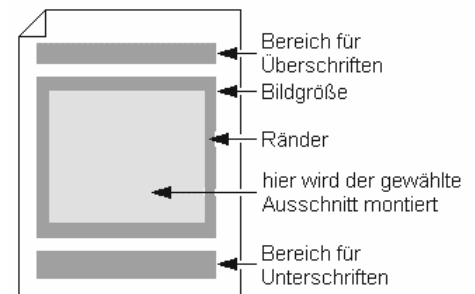


In diesem Eigenschaftsblatt kann alternativ zur automatischen oder über Abmessungen vorgegebenen Bildgröße eine maßstäbliche Druckausgabe der aktuellen Grafik angesteuert werden. Über die Eingabewerte **Basisschrift-** und **Symbolgröße** kann die Beschriftung und Symbolik der Druckausgabe manipuliert werden.

Im Register *Ausschnitt* kann ein Teilbereich der Gesamtgrafik für die Ausgabe bestimmt werden. Weiterhin kann ein umgebendes Lineal zur Vermaßung gesetzt und die Darstellung um 90° gedreht werden. Das Fenster protokolliert die aktuelle Auswahl.

### Blattgestaltung

Entsprechend der nebenstehenden Skizze ergibt sich die **Blattgestaltung** unter Beachtung der in den weiteren Registern angegebenen Randabstände sowie der Über- und Unterschriften.



### Steuerbuttons

Die am rechten Bildrand der Druckausgabe angebotenen Buttons bewirken



die direkte Ausgabe des Bildes auf dem Drucker



Voransicht über den DTE®-Viewer



Einfügen des Bildes in die Druckliste *ausgewählte Grafiken*



Zurücksetzen auf Standardwerte



Aufruf des Hilfemanagers



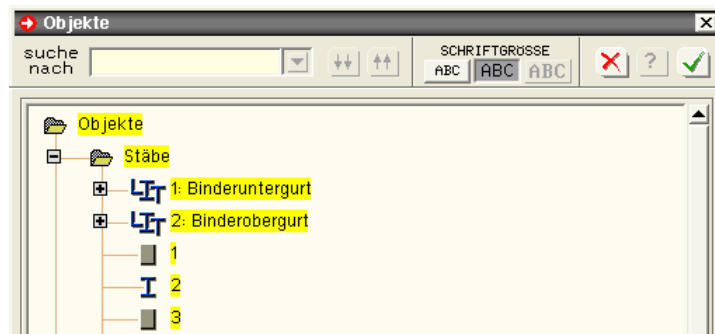
Abspeichern der gewählten Einstellung



Abbruch der Aktion



Über den gezeigten Button erscheint ein Objektbaum auf dem Sichtgerät, in dem alle dargestellten Objekte an- bzw. abgewählt werden können. Durch einfaches Anklicken der einzelnen Objekte werden sie von der Darstellung ausgeschlossen bzw. umgekehrt ihre Darstellung wieder aktiviert. Abgewählte Objekte werden auf dem Bildschirm nicht dargestellt.

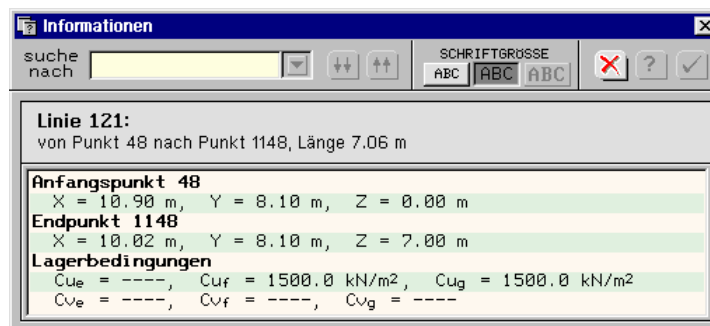


Der **Doppelklick** auf ein Objekt im Baum liefert Informationen zu diesem Objekt.

Bei **Doppelklick** mit der Maus auf ein Objekt in der grafischen Darstellung werden Informationen zu diesem Objekt am Bildschirm angezeigt. Objekte sind hierbei Knoten und Stäbe.

Wird beispielsweise Stab 14 angeklickt, erscheint das dargestellte Eigenschaftsblatt von dem aus Informationen zum Stab abgerufen werden können.

Darüber hinaus können Informationen und die Stabergebnisse im Liniengrafik- bzw. Tabellenmodus eingesehen werden.





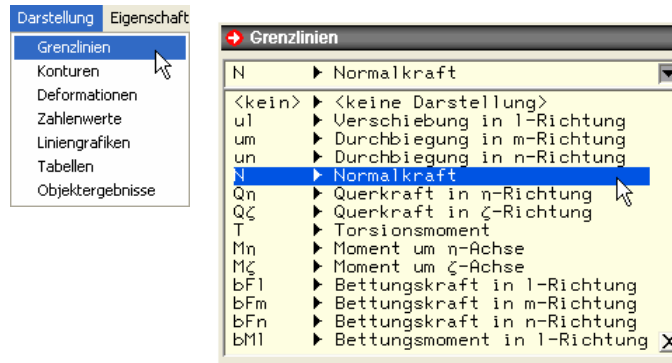
## 8.8 Menüauswahlzeile

Die Funktionalität der Ergebnisvisualisierung kann alternativ zu den gezeigten Buttonaufrufen auch über die Menüauswahlzeile gesteuert werden.

Schnitt Darstellung Eigenschaften Ausschnitt Ansicht Auswahl Informationen Ausgabe Hilfe Ende

### Darstellung

Über den Menüaufruf *Darstellung* können die sich hinter den Kürzeln in den Moving-Windows verbergenden Inhalte mit einem **erläuternden Text** abgerufen werden.



### Informationen

Über den Aufruf *Informationen* kann bei ausgewähltem Lastfall/Lastkollektiv die zugehörige **Gleichgewichtskontrolle** eingesehen werden.

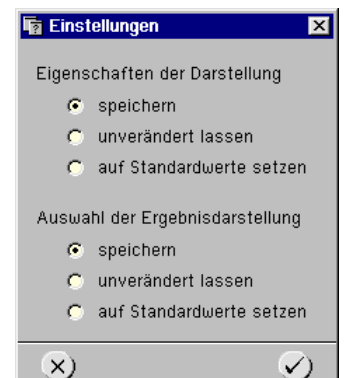


## 8.9 Speichern



Durch Anklicken des dargestellten Buttons wird die Visualisierung der Ergebnisse beendet.

Im abschließenden Eigenschaftsblatt können die aktuellen Einstellungen bzgl. der Darstellungseigenschaften wie auch zur Auswahl der Ergebnisdarstellung für die nächste Visualisierungssitzung gespeichert werden.



Der Abbruch des Programms über den **Kreuzchen**-Button in der Kopfzeile hat **Eigenschaften der Darstellung unverändert lassen** als Voreinstellung.

## 8.10

### der Doppelklick

Durch Doppelklick auf einen Stab erscheint das nachfolgend dargestellte Eigenschaftsblatt von dem aus Informationen zum Stab abgerufen werden können. Darüber hinaus können die Stabergebnisse im Liniengrafik- bzw. Tabellenmodus eingesehen werden.



## 8.11

### darstellbare physikalische Größen

#### 8.11.1

#### Hauptachsensystem

Das Hauptachsensystem  $\xi$ - $\eta$ - $\zeta$  ist das um die lokale I-Achse des Stabes in die Hauptachsen gedrehte I-m-n-System.  $\xi$  ist immer gleich I. Bei den meisten typisierten Querschnitten innerhalb von #FRAP ist darüber hinaus  $\eta = m$  und  $\zeta = n$ . Dies gilt jedoch nicht für L- und Z-Profile. Außerdem muss dies nicht unbedingt für aus #QUER importierte Querschnitte gelten.

#### 8.11.2

#### Lastfälle und Lastkollektive

$u_x, u_y, u_z$	Verschiebungen in Richtung der globalen Koordinatenrichtungen
$AP_r, AP_s, AP_t$	Lagerreaktionskräfte im r-s-t-System
$AM_r, AM_s, AM_t$	Lagerreaktionsmomente im r-s-t-System
$u_l, u_m, u_n$	Verschiebungen in Richtung der lokalen Koordinatenrichtungen
$v_l, v_m, v_n$	Verdrehungen um die lokalen Koordinatenachsen (rad)
$N$	Normalkraft
$Q_\eta, Q_\zeta$	Querkraft im Hauptachsensystem
$T$	Torsionsmoment
$M_\eta, M_\zeta$	Momente im Hauptachsensystem
$bF_l, bF_m, bF_n$	Bettungskräfte in lokalen Koordinatenrichtungen
$bM_l$	Bettungsmoment in I-Richtung

#### 8.11.3

#### Extremierungen (allgemein)

ext $u_l, u_m, u_n$	extremale Verschiebungen in Richtung der lokalen Koordinatenrichtungen
ext $N$	extremale Normalkraft
ext $Q_\eta, Q_\zeta$	extremale Querkraft im Hauptachsensystem
ext $T$	extremales Torsionsmoment
ext $M_\eta, M_\zeta$	extremale Momente im Hauptachsensystem
ext $bF_l, bF_m, bF_n$	extremale Bettungskräfte in lokalen Koordinatenrichtungen
ext $bM_l$	extremales Bettungsmoment in I-Richtung

#### 8.11.4

#### Stahlbetonnachweise

$A_{s1} \dots A_{s4}$	erf. Längsbewehrung in den gekennzeichneten Punkten
$A_{s01} \dots A_{s04}$	Grundbewehrung in den gekennzeichneten Punkten
$A_{sb1} \dots A_{sb4}$	Längsbewehrung aus Biegebemessung in den gekennzeichneten Punkten
$\Delta A_{s1} \dots \Delta A_{s4}$	Zusatzlängsbewehrung in den gekennzeichneten Punkten
$A_{sd1} \dots A_{sd4}$	Druckbew. in den gekennzeichneten Punkten
$A_{sT}$	Längsbewehrung infolge Torsion
$\mu_s$	Bewehrungsgrad
$a_{sbQ}$	Bügelbewehrung infolge Querkraft
$a_{sbT}$	Bügelbewehrung infolge Torsion
$U_{V+T}$	Ausnutzung aus Querkraft und Torsion
$V_{ED}/V_{Rdct}$	Bemessungsquerkraft, Querkrafttragfähigkeit
$V_{Rdmax}$	Bemessungswert der max. Querkrafttragfähigkeit
$\Theta$	Druckstrebenwinkel
$AB$	Ausnutzungsbereich
$T_{Ed}$	Bemessungswert des Torsionsmoments
$T_{Rdmax}$	Bemessungswert der max. Torsionstragfähigkeit

### 8.11.5

#### Stahlbaunachweise

ext $\sigma$	extremale Randspannungen
$\sigma$	maximale Normalspannungen
$\tau$	maximale Schubspannungen
$\sigma_v$	maximale Vergleichsspannungen
$U_\sigma$	Spannungsausnutzung
b/t o-o	vorh(b/t) / grenz(b/t), beidseitig gelenkig
b/t --o	vorh(b/t) / grenz(b/t), einseitig gelenkig
U	Ausnutzung

### 8.11.6

#### Holzbaunachweise

ext $\sigma$	extremale Randspannungen
$\sigma_D/\sigma_Z$	maximale Druck/Zugspannungen
$\tau_Q$	maximale Schubspannung (Querkraft)
$\tau_T$	maximale Schubspannung (Torsion)
U	Ausnutzung
$k_{mod}$	Modifikationsbeiwert
$U_{\sigma,c}$	Ausnutzung infolge Biegung und Druck
$U_{\sigma,t}$	Ausnutzung infolge Biegung und Zug
$\tau$	Schubspannung aus Querkraft
$\tau_{tor}$	Schubspannung aus Torsion
$U_\tau$	Ausnutzung infolge Querkraft und Torsion

### 8.11.7

#### Spannungsnachweise benutzerdefinierter Materialien

ext $\sigma$	extremale Randspannungen
$\sigma_D/\sigma_Z$	maximale Druck/Zugspannungen
$\tau$	maximale Schubspannung
U	Ausnutzung

## 9

### Schlussbemerkung

Der Umfang des vorliegenden Handbuchs lässt erkennen, dass *##-FRAP* als vielseitig einsetzbares Werkzeug zur Berechnung von Stabtragwerken nicht ad hoc "gelernt" werden kann.

Das Handbuch *##-FRAP-Beispieleingaben* verdeutlicht aber, dass sich die Möglichkeiten des Programms nach und nach erschließen lassen und der Anwender seine Kenntnisse über *##-FRAP* sukzessive vertiefen kann. Probieren und Assoziieren sind wie überall auch hier sehr hilfreich.

Die gewählte didaktische Aufbereitung des Handbuchs ergab sich auf Grund der Erfahrungen der Telefon-Hotline und aus den Schulungsmaßnahmen, die auch zu *##-FRAP* angeboten werden. Die Einarbeitung in das Programm sollte aber über die vorliegenden Handbücher erfolgen; Schulungen dienen aus unserer Sicht dazu, Kenntnisse zu vertiefen und Tipps und Tricks zu vermitteln. Dieses Konzept hat sich bislang bewährt.

Dem neuen Anwender sei nochmals geraten, zu Beginn etwas Zeit in die Bearbeitung der kleinen Beispiele des Handbuchs *##-FRAP Beispieleingaben* zu investieren. Am Ende wird er wie mehrere Tausend Anwender vor ihm *##-FRAP* sicher beherrschen und gerne benutzen.

**pcae** wünscht Ihnen viel Erfolg mit *##-FRAP*.

- /1/ Klaus-Jürgen Bathe und Edward L. Wilson: Numerical Methods in Finite-Element-Analysis, Prentice-Hall Inc.
- /2/ DIN 1045, Ausg. Juli 1988.
- /3/ DIN 1045-1, Ausg. Jan. 2001
- /4/ Rubin, H.: Beispiele für die Berechnung biegesteifer Stabwerke nach der Fließgelenktheorie II. Ordnung auf der Grundlage des Drehwinkelverfahrens. Bauingenieur 55 (1980) S. 147-155.
- /5/ Lohse, G.: Beispiele für Stabilitätsberechnungen im Stahlbetonbau, Werner Ingenieur Texte Bd. 66 1981
- /6/ Leonhardt: Vorlesungen Massivbau, Teil 1
- /7/ Petersen: Statik und Stabilität der Baukonstruktionen Vieweg-Verlag, 2. Aufl. 1982
- /8/ Rother/Gensichen: Nichtlineare Stabstatik, Springer-Verlag, 1987
- /9/ Hünersen/Fritzsche: Stahlbau in Beispielen, Werner-Verlag, 1991
- /10/ DIN 18800 Stahlbauten, Erläuterungen zu Teil 1 bis Teil 4 2. Aufl. 1994, Beuth Verlag GmbH
- /11/ Kordina, K., und Quast, U.: Bemessung der Stahlbetonbauteile, Erläuterungen zu DIN 1045, Betonkalender, Ernst & Sohn
- /12/ P. Schießl: Grundlagen der Neuregelung zur Beschränkung der Rissbreite, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 400, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1994.
- /13/ P. Noakowski: Verbundorientierte, kontinuierliche Theorie zur Ermittlung der Rissbreite, Beton- und Stahlbetonbau 8/1985, Wilhelm Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 1985.
- /14/ DIN 1052, Ausg. April 1988.
- /15/ DIN 18800, Ausg. Nov. 1990
- /16/ H. Friemann: Schub und Torsion in geraden Stäben Werner-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1983
- /17/ D. Bertram & N. Bunke: Erläuterungen zu DIN 1045 Beton und Stahlbeton, Ausgabe 07.88, Heft 400, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 1989
- /18/ E. Grasser: Bemessung für Biegung mit Längskraft, Schub und Torsion Betonkalender 1985 Teil I, Verlag Ernst und Sohn
- /19/ D. Bertram: Erläuterungen zu DIN 4227 Spannbeton (Teil I, Abschnitt 12) Heft 320, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 1989
- /20/ K.-W. Bieger: Stahlbeton- und Spannbetontragwerke nach Eurocode 2, Springer-Verlag, 1993
- /21/ DIN 18800, Ausgabe November 1990: Stahlbauten: Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Teil 2: Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken
- /22/ Lindner, J., Scheer, J., Schmidt, H.: Erläuterungen zur DIN 18800 Teil 1 bis 4. Beuth Kommentare, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1998
- /23/ Petersen, Ch.: Stahlbau. Vieweg Verlag, 3. Auflage, 2. durchgesehener Nachdruck, 1997
- /24/ Roik, K., Carl, J., Lindner, J.: Biegetorsionsprobleme gerader dünnwandiger Stäbe. Verlag Ernst & Sohn, Berlin/München/Düsseldorf 1972
- /25/ Kindmann, R.; Frickel, J.: Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit. Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2002
- /26/ Martin, W.:  $\zeta$ -Werte für den Biegedrillknicknachweis von I-Profilen, Institut für Statik und Dynamik der Tragstrukturen i. G. / Prof. Dr.-Ing. R. Thiele
- /27/ DIN EN 1992-1-1, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Januar 2011

- /28/ DIN EN 1992-1-1/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Ausgabe Januar 2011
- /29/ 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
- /30/ DIN EN 1993-1-1/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Ausgabe Dezember 2010
- /31/ DIN EN 1995-1-1, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1995-1-1:2004 + AC:2006 + A1:2008, Ausgabe Dezember 2010
- /32/ DIN EN 1995-1-1/NA, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Ausgabe Dezember 2010

## 11 Index

- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
| Abkürzungen 4                                 | Drehfedersteifigkeit 65, 66     |
| abwählen 23                                   | Drucklisten 11, 12              |
| Analyse harmonische 83                        | Drucklistengestaltung 99        |
| Ansicht 107                                   | Druckstabausfall 32             |
| Antwortbeschleunigung 85                      | DSTV96 76                       |
| Assistent Laststruktur 41                     | DSTV-Schnittstelle 76           |
| Ausnutzungsgrad 12                            | duplizieren 24                  |
| ausrichten 55                                 | DXF-Datei 22                    |
| auswählen 23, 70                              | DXF-Importfilter 93             |
| Auswahlliste 70                               | DXF-Vorlage 53                  |
| Baumansicht 72                                | Dynamikmodul 81                 |
| Baumansichtsfenster 24, 58                    | Ebenenbearbeitung 19            |
| Beispieldatensatz 14                          | Ebenenmodus 52                  |
| Belastung 40                                  | Eigenform 83                    |
| Bemerkungen 12                                | Eigengewichtslast 41            |
| Berechnung linear 88                          | Eingabemodul 11                 |
| Berechnung nichtlinear 32, 88                 | Einwirkung 4, 40                |
| Bereich dargestellter 53                      | E-Mail 10                       |
| bereinigen 75                                 | Endebehandlung 88               |
| Bettung 32                                    | Ergebnisvisualisierung 11, 102  |
| Bewehrung 12                                  | Erregerspektrum 83              |
| Bezeichnung 9                                 | erzeugen 19                     |
| Biegedrillknicken 59                          | erzeugen Lastild 41             |
| blank 4                                       | Export 76, 77                   |
| Blattgestaltung 112                           | Extremalbildungsvorschrift 4    |
| Blickrichtung 18                              | Exzentrizität 28                |
| Button 4                                      | Fangrechteck 4                  |
| Cursor 4                                      | Feder 33                        |
| Dämpfungsgrad 83                              | Fehlermeldungen 11, 74          |
| dargestellter Bereich 53                      | Fenstergröße 19                 |
| Darstellung fotorealistische 72               | Flächenlast 42                  |
| Darstellungsoptionen 68                       | Folientechnik 19                |
| Datenaustausch 10                             | fotorealistische Darstellung 72 |
| Datenbereinigung 95                           | FotoView 72                     |
| Datenexport 76                                | Freihandmethode 54              |
| Datenkategorie 12                             | Gelenk 28                       |
| Datenzustand überprüfen 74, 88                | generieren 20                   |
| Deformation 108                               | Gleichgewichtskontrolle 114     |
| dekomprimieren 10                             | Grafiken, ausgewählte 112       |
| Detailnachweispunkt 12, 73                    | Grenzlinien 108                 |
| DIN 4149 84                                   | Größen darstellbare 115         |
| Doppelklick 9, 25, 39, 49, 100, 102, 113, 115 | Gruppe 56                       |
| Drehbettung 65                                | harmonische Analyse 83          |
| drehen 18, 24                                 | Hauptachsenneigungswinkel 31    |

Hauptachsensystem 115  
 Holzquerschnitt 36  
 Imperfektion 40, 47, 49  
 importieren 22  
 Installation 9  
 Interaktionselemente 15  
 Kameraposition 18  
 Knicklast 32  
 Knoten erzeugen 19  
 Knotenlager 32  
 Knotenlast 43  
 Knotenmasse 81  
 Knotenverzeichnis 23  
 komprimieren 10  
 Konstruktionskoordinatensystem 55  
 Kontrollpunkt 77  
 Konturendarstellung 107  
 Koordinatensystem 19  
 kopieren 10  
 kopieren Lastbild 49  
 laden 10  
 Lager 32  
 Lager schiefe 33  
 Lastbild 4, 40  
 Lastbilder kopieren 49  
 Lastfall 4, 40  
 Lastkollektiv 4  
 Lastordinate 41  
 Lastrichtung 41, 43  
 Lastsummen 69  
 lineare Berechnung 88  
 Liniengrafiken 110  
 Linienlast 41  
 Linienlast aus Flächenlasten 42  
 löschen 10, 25  
 lösen 26  
 Lot fällen 89  
 Massenbelegung 81  
 Massenfolie 81  
 Material 34  
 Materialbilanz 69  
 Mausrad Zoomen 93  
 Menüfunktionen 13  
 Nachgiebigkeit Verbindungsmittel 30  
 Nachweioptionen stabbezogen 39  
 Netzwerk 19  
 Netzwerkvereinbarung 75  
 neu nummerieren 76  
 nichtlineare Berechnung 32, 88  
 Norddeutsche Tiefebene 50  
 Nummerierung 76  
 Objektauswahl 113  
 Ordner 9  
 Paketdienst 10  
 Plausibilität 74  
 Problemklasse 9  
 Produktschnittstelle Stahlbau 76  
 Querschnitt dünnwandiger 37  
 Querschnittsimport 38  
 Querschnittswerte 34  
 Raster 53  
 Rechenlaufsteuerung 82, 88  
 Rechenmodul 11  
 redo 70  
 rückgängig machen 25  
 SaP,R 85  
 schneiden 25  
 Schnittgrößenexport 77  
 Schubfeldsteifigkeit 66  
 Schubflächenbeiwert 38  
 Schubverformung 32  
 Shortcuts 90  
 sichern 10, 12, 74  
 Sichtbarkeit 57, 71  
 skalieren 25, 68  
 Skalierungslineal 52  
 speichern 114  
 spiegeln 55  
 Stab erzeugen 19  
 Stabdrehwinkel 31  
 Stabdrehwinkel an Ebene 31  
 Stabeinzellast 43  
 Stabgeometrie 28  
 Stabgruppe 56  
 Stabkette 48  
 Stabkoordinatensystem 30  
 Stablänge 26  
 Stabmasse 81  
 Stabrichtung 26  
 Stabverzeichnis 23  
 Stabzugorientierung 57  
 Stahlbetonquerschnitt 36  
 Stahlquerschnitt 35  
 Standardüberlagerung 50  
 Start-Button 79  
 Statuszeile 23  
 STEP-Export 95  
 STEP-Import 95  
 Steuerbutton 15  
 Steuerungsangaben 88  
 Steuerungsmodul 11  
 Streckenlast 41  
 Streckenlast aus Flächenlasten 42  
 Streckenlasttyp 41  
 Stückliste 69  
 Stützensenkung 47  
 Systemdruckliste 73  
 tabellarische Bearbeitung 23, 49  
 Tabelle 110  
 Tastaturkürzel 90  
 Teilung, äquidistant 107  
 Temperaturlast 43  
 Text erläuternder 114  
 Theorie II. Ordnung 88  
 Tipps 52, 98  
 Trapezblech 65  
 Überhöhungsfaktor 108  
 Überprüfung 88  
 umfahren 23  
 undo 25, 70  
 unterteilen 27  
 Verbindungsmittel Nachgiebigkeit 30  
 vereinheitlichen 39, 48  
 vergrößern 25  
 verkleinern 25  
 Verknüpfung 39  
 verschieben 24, 27  
 Verwaltung Einwirkungen 41  
 Verwaltung Nachweise 50  
 Visualisierung 102

Vorlage 10  
Werkzeugleiste 89  
wiederherstellen 25  
Wirkungsrichtung 41, 43  
Zahlenwerte 108

zoomen 19  
Zoomen Mausrad 93  
Zugstabausfall 32  
Zustandslinie 110