



**4H-** STATIKPROGRAMME  
AUS HANNOVER

**DTE** Desktop®  
Engineering



pcae GmbH

Kopernikusstr. 4A

30167 Hannover

Tel 0511/70083-0

Fax 0511/70083-99

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

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



**4H-FRAP**

Räumliche Stabtragwerke

Beispieleingaben

Mai 2022



# 4H-FRAP

Räumliche Stabtragwerke

Beispieleingaben

Copyright 2002-2022

8. 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 und des Dynamikmoduls sind sämtliche im Folgenden spezifizierten Leistungsmerkmale im Standardlieferumfang 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. 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, Deformationsfiguren, 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.

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.

Lang ist der Weg durch Lehren, kurz und wirksam durch Beispiele (Seneca). Auch der Bauingenieur lernt vorzugsweise an Beispielen. Daher ist der Aufbau des Handbuchs so gestaltet, dass die Handhabung von *##FRAP* stückweise näher gebracht wird und hierbei schnell Erfolgserlebnisse erzielt werden. Kleine Beispiele mit thematischen Schwerpunkten sind derart aufbereitet, dass keines länger als zehn Minuten Bearbeitungszeit in Anspruch nimmt.

Die Beispiele bauen zum Teil aufeinander auf. Andere benutzen nur einen vorher erzeugten Grundstock, auf den das Thema aufgesetzt wird.

Alle **Beispiele** sind im Internet abgelegt und können auf den Schreibtisch geladen werden (s. hierzu Abs. 3, S. 9).

Beginnen Sie jedoch bitte bei Null und geben Sie die Beispiele selbst ein. Die Anweisungen sind zu Beginn sehr ausführlich und werden später etwas lockerer.

Dennoch ist es nicht möglich, in einem Handbuch alles bis ins Kleinste zu erläutern. Hier sind die Neugier und die Assoziationsfähigkeit des Anwenders gefragt, die ihn neue Dinge suchen und Bekanntes darauf übertragen lassen.

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, Allgemeine Erläuterungen zur Bedienung,*  
*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
	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.

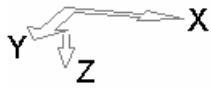


# Inhaltsverzeichnis

1	Problembeschreibung.....	6
2	Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten .....	7
3	Funktionsprüfung an Hand eines mitgelieferten Beispiels .....	9
4	Einarbeitung in #-FRAP an Hand von Beispieleingaben.....	11
4.1	Koordinateneingabe und manuelle Staberzeugung .....	11
4.2	Generierung orthogonaler Raster.....	21
4.3	Generierung rotationssymmetrischer Raster .....	24
4.4	Tabellarische Eingabe von Knoten und Stäben .....	26
4.5	Gruppendefinition, Voutung, exzentrischer Anschluss .....	33
4.6	Einwirkungen, Lastfälle, Imperfektionen, Überlagerung und Bemessung .....	37
4.7	Dynamische Berechnungen .....	54
5	Schlussbemerkung zum Beispielteil .....	56
6	Handbuch #-FRAP, Allgemeine Erläuterungen zur Handhabung .....	56
7	Index .....	57

## Problembeschreibung

System



Das Tragsystem wird vor der Berechnung mit dem 3D-Stabwerksprogramm *##FRAP* hinsichtlich Geometrie, Belastung und Bemessungsparametern vom Benutzer idealisiert.

Das System besteht aus den Knoten, die in den Netzlinien (i.A. Schwerachsen) der Stäbe liegen. Die Stäbe sind Verbindungen zwischen den Knoten. Die Knoten werden über die globalen X-Y-Z-Koordinaten im Raum festgelegt. Die Z-Achse zeigt in Richtung des Eigengewichts zum Erdmittelpunkt.

Die Stäbe können mit starren Exzentrizitäten und beliebig kombinierten Gelenkbedingungen bezüglich der vorhandenen sechs Freiheitsgrade versehen werden. Die Stäbe können gevoutet sein.

Lagerfesthaltungen erfolgen starr oder elastisch in den Knoten. Zusätzlich können Stäbe elastisch gebettet werden.

Die Belastung erfolgt in den Knoten und auf den Stäben. Hierfür steht eine Vielzahl möglicher Lastbilder zur Verfügung.

Bemessung und Nachweise erfolgen nach EC 5 und DIN 1052 für Holz, nach EC 2, DIN 1045-1 und DIN 1045 für Stahlbeton sowie EC 3 und DIN 18800 für Stahl. Die deutschen Nationalen Anhänge zu den Eurocodes gehören zum Lieferumfang. Benutzerseits können weitere NAs erstellt werden. Zusätzlich können Materialien mit zulässigen Spannungen frei vorgegeben werden.

Die geometrische Nichtlinearität wird innerhalb der Berechnung nach Theorie II. Ordnung berücksichtigt. Ferner können Systemnichtlinearitäten bzgl. Zug- und Druckstabausfall erfasst werden.

Endergebnis der Berechnungen sind Bewehrungsquerschnitte für Stahlbetonstäbe und Spannungen bzw. Ausnutzungen für die Werkstoffe Stahl, Holz und freie Materialvorgabe.

Dynamische Berechnungen sind bei Installation des Ergänzungsmoduls *Dynamische Analyse* möglich. Hierbei werden Eigenfrequenzen, Eigenformen und die dynamische Systemantwort in Form von Schnittgrößen ermittelt.



*##FRAP* erzeugt **keine** Belastung von sich aus. Alle Lasteingaben sind vom Benutzer vorzunehmen.

## 2 Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten

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

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

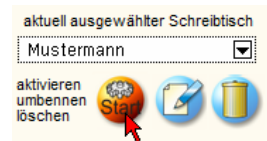


Nach erfolgreicher Installation befindet sich das DTE®-**Startsymbol** auf Ihrer Windowsoberfläche. Führen Sie bitte darauf den Doppelklick aus.

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



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

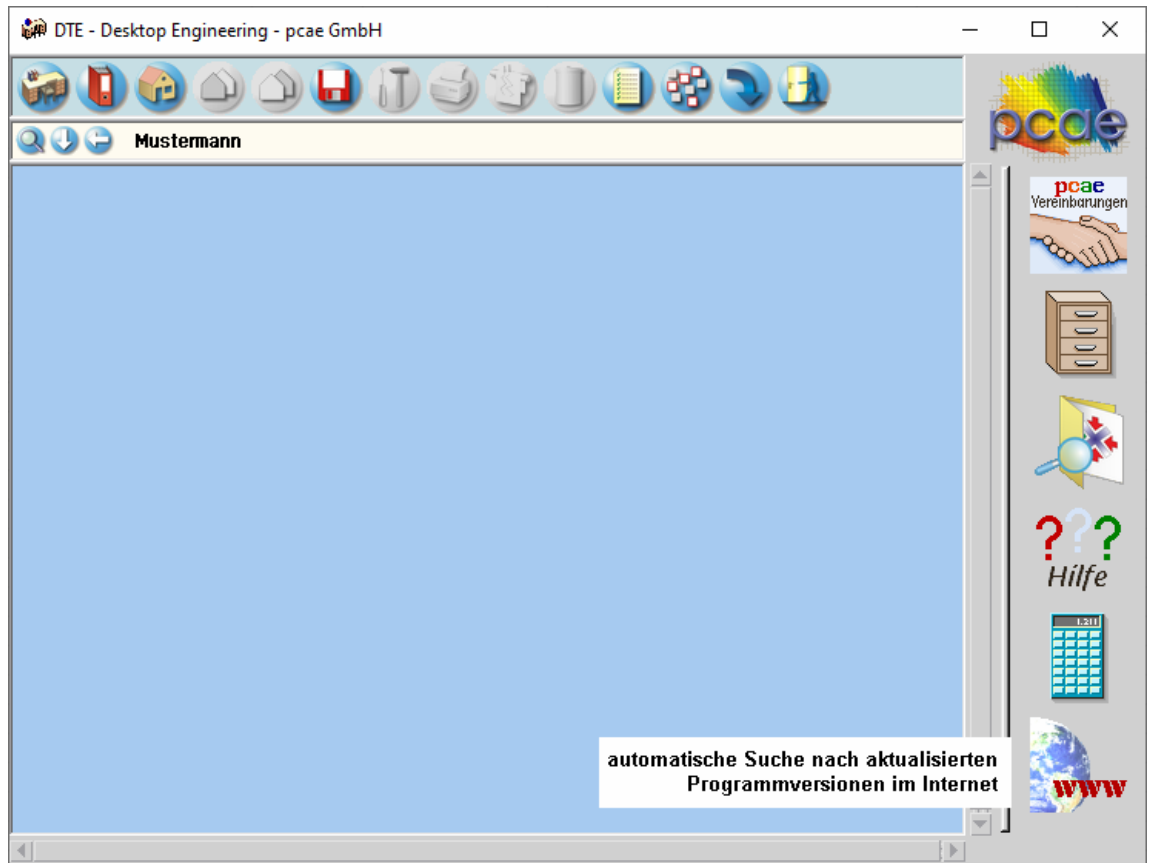


Nach Bestätigen über das **Hakensymbol** erscheint wieder die Schreibtischauswahl in die der neue Name bereits eingetragen ist. Drücken Sie auf **Start** und die DTE®-Schreibtischoberfläche erscheint auf dem Bildschirm.

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



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



## Steuerbuttons

Im oberen Bereich des Schreibtischs sind Interaktionsbuttons lokalisiert.

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

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

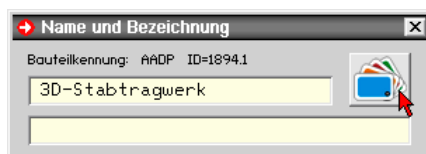
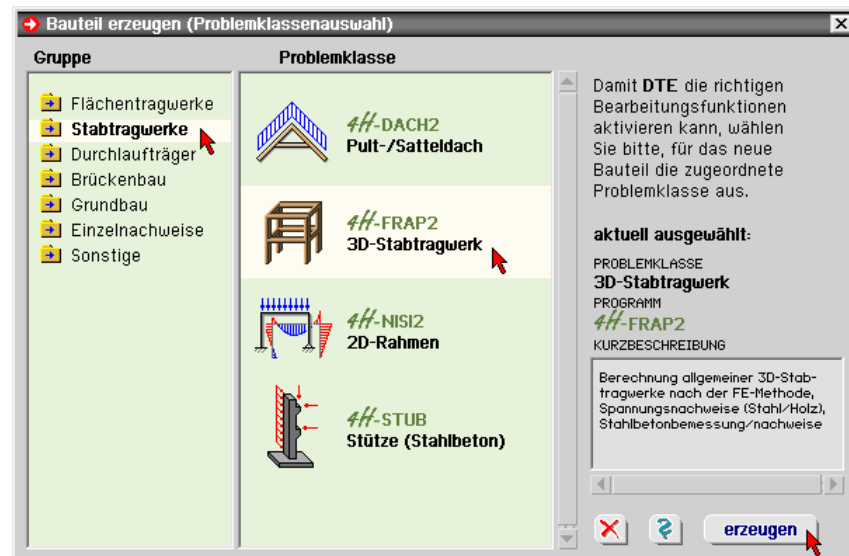
- |  |   |
|--|---|
|  | Die Buttons bewirken im Einzelnen   |
|  | öffnet die Schreibtischauswahl  |
|  | legt einen neuen Projektordner an   |
|  | erzeugt ein neues Bauteil   |
|  | kopiert das aktivierte Bauteil  |
|  | fügt die Bauteilkopie ein   |
|  | lädt/sichert Bauteile. Hier befindet sich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

### 3 Funktionsprüfung an Hand eines mitgelieferten Beispiels

Dieses Kapitel ist für die weitere Bearbeitung nicht zwingend. Es soll dem neuen Anwender lediglich die Sicherheit geben, dass alle Programmteile ordnungsgemäß installiert wurden.



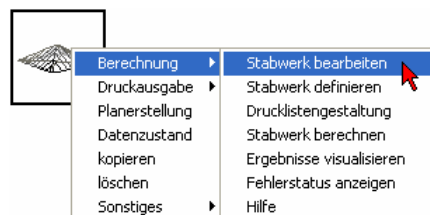
Zur **Funktionsprüfung** soll ein Beispieldatensatz von der **pcae**-Website geladen werden. Hierzu muss der Rechner an das Internet angeschlossen sein. Richten Sie durch Anklicken des dargestellten Buttons ein neues Bauteil ein und klicken die in den Abb. markierten Felder an.



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

Wir wollen nun die Berechnung des Bauteils durchführen. Hierzu stehen zwei alternative Vorgehensweisen zur Verfügung (die zweite lernen wir später kennen).

Zur Berechnung "von außen" klicken Sie das Bauteil "Holz + Stb" bitte mit der LMT einmal kurz an und drücken dann die RMT. Hierdurch erscheinen die in der folgenden Abbildung gezeigten Menüs, über die das Programmsteuerungsfenster aufgerufen wird.



**Programmsteuerungsfenster** Durch einfaches Anklicken der hier angebotenen Symbole wird das zugeordnete Programmmodul gestartet. Der Arbeitsfortschritt erfolgt von oben links nach unten rechts.



Über die Symbole werden

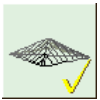
- das grafische Eingabemodul gestartet,
- die Berechnung durchgeführt,
- das Ergebnisvisualisierungsmodul und
- der Druckmanager aufgerufen.



Klicken Sie bitte mit der LMT auf das **Abacus**-Symbol. Hierdurch wird die Berechnung des Beispiels gestartet.

## Berechnung

Während der Berechnung wird der gegenwärtige Bearbeitungsstand in einem Animationsfenster dargestellt. Nach Abschluss der Berechnung werden die Drucklisten und Grafiken automatisch erstellt.



Die Berechnung muss das nebenstehende Statussymbol liefern. Der **gelbe Haken** signalisiert eine Berechnung ohne Beanstandungen.



Wenn statt des gelben Hakens dieses Symbol erscheint, liegen **Mitteilungen** zum Rechenlauf vor, die über das gezeigte Symbol im Programmsteuerungsfenster eingesehen werden können.



Nach Einsichtnahme verschwindet das Fragezeichen. Das Mitteilungsblatt bleibt zur Erinnerung stehen.



Ganz fatal ist die **rote Bombe**. Hier ist die Berechnung gänzlich gescheitert. Die Fehlermeldungen werden in gleicher Weise eingesehen wie die Mitteilungen.



Schließen Sie bitte das Programmsteuerungsfenster.

## 4 Einarbeitung in *##*-FRAP an Hand von Beispieleingaben

### 4.1 Koordinateneingabe und manuelle Staberzeugung

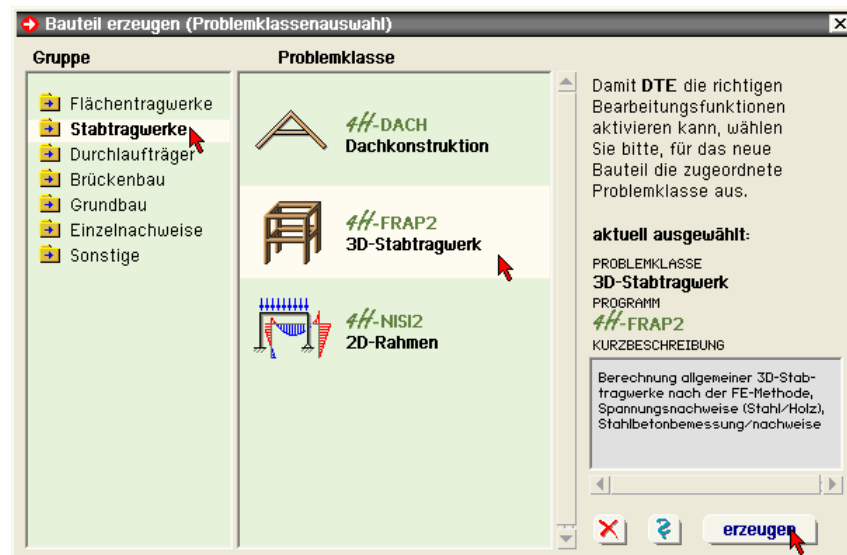
Mit der grafischen Eingabe *##*-FRAP-Grobi werden 3D-Stabtragwerke mit System- und Lastangaben grafisch-interaktiv für die Berechnung aufbereitet. Im ersten Schritt wollen wir ein kleines Rahmensystem eingeben und hieran die Arbeitsweise von *##*-FRAP-Grobi kennen lernen.

#### neues Bauteil

Hierzu wird zuerst ein neues Bauteil erzeugt. Klicken Sie bitte im Kopfbereich des Schreibtisches das Schnellstartsymbol mit dem kleinen Häuschen an.

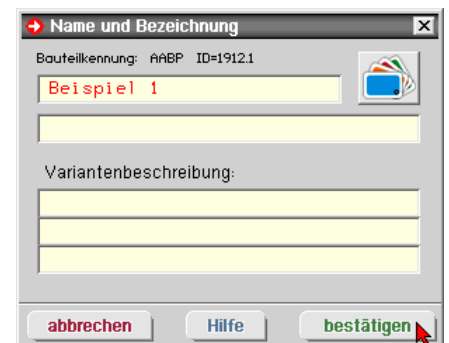


Das Eigenschaftsblatt zur Festlegung der **Problemklasse** erscheint.



Wählen Sie nun bitte unter Gruppe **Stabtragwerke** die Problemklasse **3D-Stabtragwerk** aus und **erzeugen** das neue Bauteil. Der schwarze Rahmen der neuen Bauteilkone lässt sich mit der Maus über den Schreibtisch bewegen. Klicken Sie die LMT an der Stelle, wo das Bauteil auf dem Schreibtisch platziert werden soll.

Das Eigenschaftsblatt **Name und Bezeichnung** erscheint.



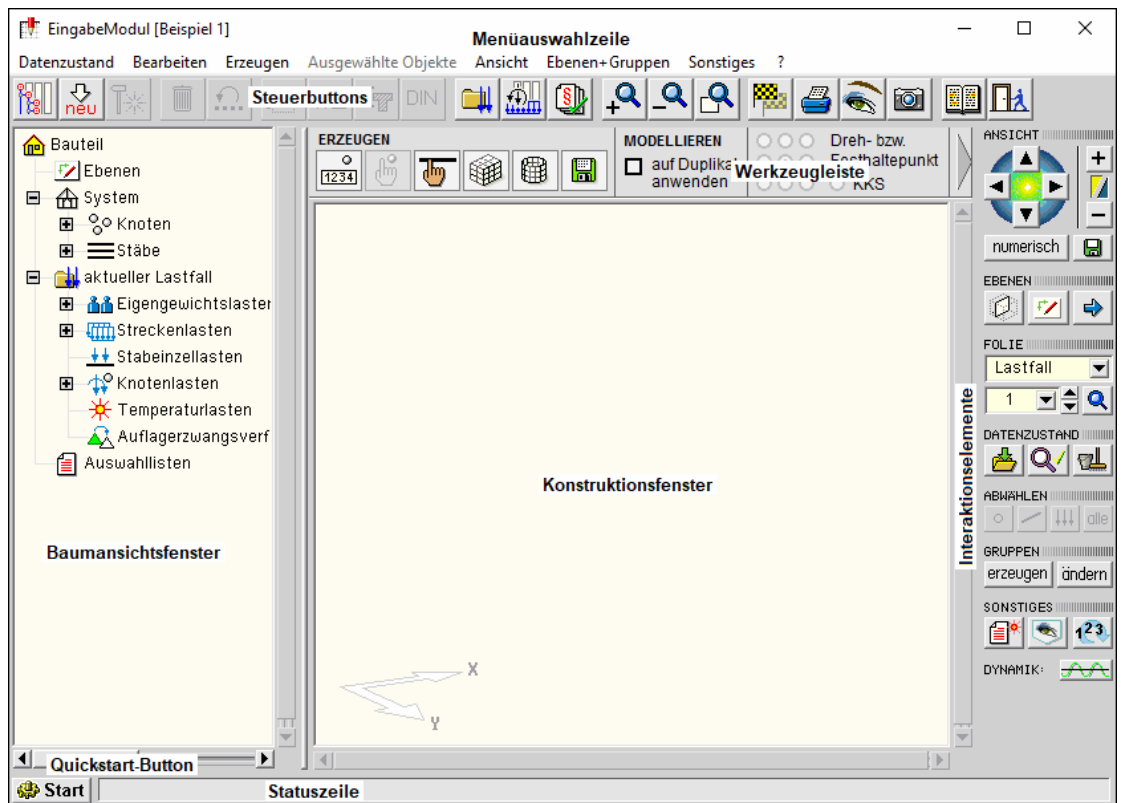
Überschreiben Sie bitte das Wort **3D-Stabwerk** durch **Beispiel 1**.

Nach **Bestätigen** wird das Bauteil mit dem neuen Namen eingerichtet und durch Klicken mit der LMT auf der Schreibtischoberfläche platziert.

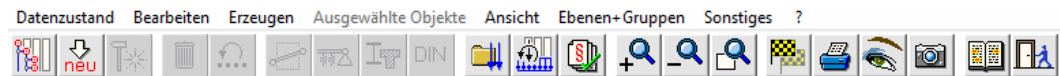


Klicken Sie das Bauteil nun mit der LMT doppelt an (Doppelklick). Das grafische Eingabemodul erscheint.

## Eingabeoberfläche



**Interaktionselemente** Von den im Kopfbereich der Eingabeoberfläche befindlichen **Steuerbuttons** und Menüs sind einige abgeblendet und nicht zugänglich. Das grafische Eingabemodul verhält sich **kontextsensitiv** und bietet nur solche Buttons an, die zum gegenwärtigen Bearbeitungs- bzw. Auswahlzustand korrespondieren.

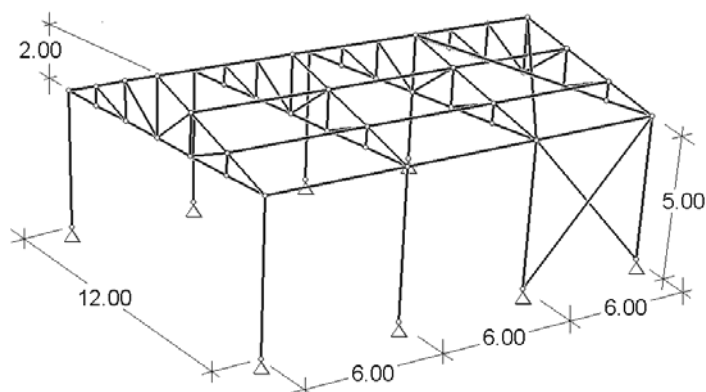


Diese und die am rechten Rand befindlichen Interaktionselemente werden im Verlauf der Bearbeitung der Beispiele dieses Handbuchs sukzessive bekannt gemacht und erläutert werden.

Die im obigen Bild eingeblendete **Werkzeugleiste** erleichtert die Eingabe durch Reduktion der Buttonklicks und Menüaufrufe. In den vorliegenden Beispieleingaben wird jedoch auf die Nutzung der W. verzichtet; sie sollte dem geübten Nutzer dienen. Das gleiche gilt für die Nutzung der **Tastaturkürzeltabelle** (shortcuts); s. hierzu Handbuch *Allgemeine Erläuterungen*.

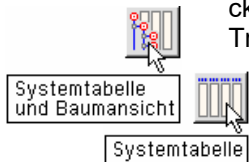
**Systembeschreibung** Das dargestellte kleine Hallensystem soll durch Vorgabe von Knotenkoordinaten und geeignete Modellierungen erzeugt werden. Die Spannweite der vier Binder beträgt 12.00 m, die Firsthöhe über Bindernetzlinien-UK 2.00 m und der Abstand der Binder 6.0 m.

Obwohl die Struktur hinreichend komplex erscheint, ist die koordinatenmäßige Vorgabe von vier Knoten zur Konstruktion des Gesamtsystems ausreichend.





**Knoten festlegen** Klicken Sie die beiden gezeigten Buttons zur Eingabe der erforderlichen **Koordinaten** an. Klicken Sie nun mit der Maus die linke Spalte in Zeile 1 an. Hierdurch wird die Tabelle geöffnet. Tragen Sie bitte wie gezeigt die Koordinaten in die Tabelle ein.



Knoten-, Koordinaten- und Stabverknüpfungstabelle					STABVERZEICHNIS		
KNOTENKOORDINATEN							
	Knoten-nummer	X-Koord. m	Y-Koord. m	Z-Koord. m	Stab-nummer	Anfangs-knoten	End-knoten
1	1	0.000	0.000	0.000	1		
2	2	0.000	0.000	-5.000	2		
3	3	0.000	12.000	-5.000	3		
4	4	0.000	12.000	0.000	4		
5					5		

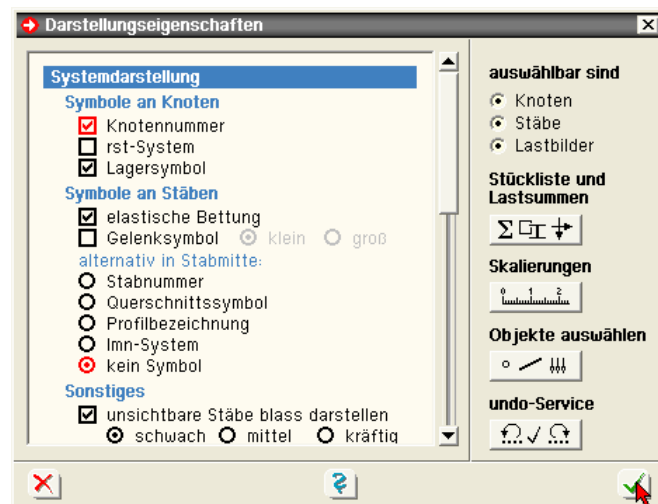
Überzählige Zeilen werden mit der Funktionstaste F7 gelöscht, wenn der Cursor in dieser Zeile steht. (Drücken Sie die RMT und die in einer **Tabelle** bereitstehenden Funktionen erscheinen in einem Menü).

Nach **Bestätigen** der Daten über den grünen Haken am rechten unteren Rand des Eigenschaftsblatts erscheinen die vier neuen Punkte im Darstellungsfenster.

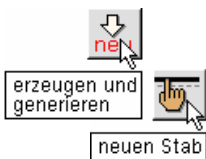


Klicken Sie jetzt bitte den Button **Darstellungseigenschaften** an und drücken Sie dort den Button für Knotennummern ein.

Darstellungsoptionen

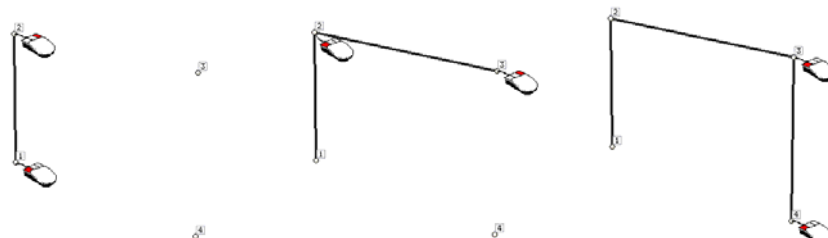


**Stäbe erzeugen** Die links gezeigten Buttons rufen ein Fadenkreuz zur Erzeugung von Stäben auf den Bildschirm. Klicken Sie mit diesem Fadenkreuz die Punkte nach folgendem Muster an:



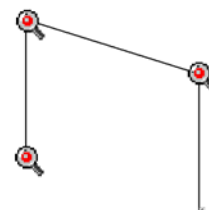
Punkt 1 mit der LMT, Punkt 2 mit der RMT, nochmals Punkt 2 mit der LMT und Punkt 3 mit der RMT, nochmals Punkt 3 mit der LMT und schließlich Punkt 4 wiederum mit der LMT.

Sollten Sie sich einmal vertan haben und das Fadenkreuz verschwunden sein, klicken Sie die Buttons neuerlich an.



Haben Sie beim letzten Anklicken in Punkt 4 die RMT benutzt, bleibt der Erzeugemodus bestehen. Drücken Sie dann bitte die Esc-Taste auf der Tastatur.

Am Ende sollte folgendes Bild entstanden sein:

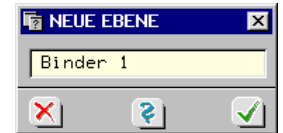


**Ebene erzeugen** Klicken Sie die drei in der obigen Grafik gezeigten Punkte mit der LMT an, so dass sie rot markiert werden.



Ebene erzeugen

Aktivieren Sie nun den Button **Ebene erzeugen** am rechten Bildschirmrand.

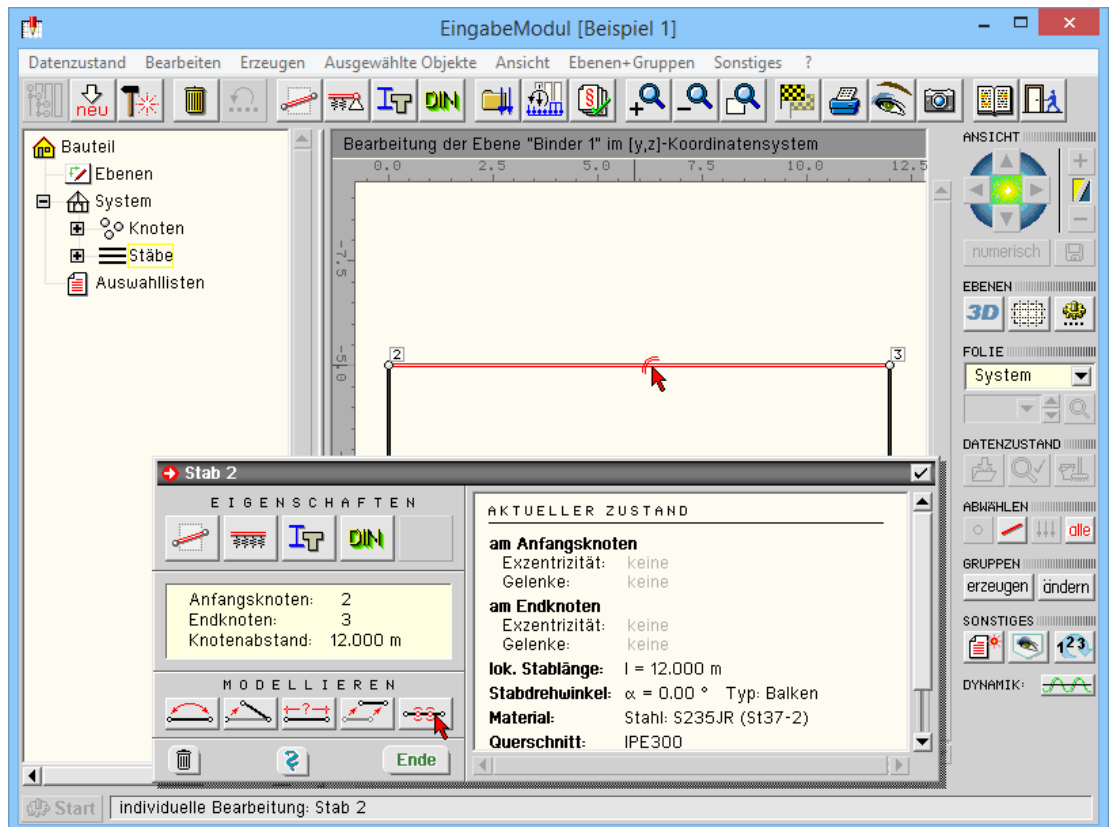


Nachdem die neue Ebene benannt und bestätigt wurde, dreht sich die Darstellung in diese Ebene hinein.



Durch Auswahl dreier, nicht auf einer Raumgeraden liegender Punkte wird eine Ebene erzeugt in die zur weiteren Bearbeitung gedreht werden kann.

Das Arbeiten in der Ebene bietet zum einen erweiterte Möglichkeiten für die Konstruktion, zum anderen lässt sich das Bauwerk hierdurch strukturieren und auch für die Ausgabe übersichtlicher gestalten, da die definierten Ebenen auch in die Druckausgabe übernommen werden.

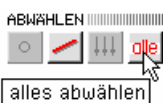
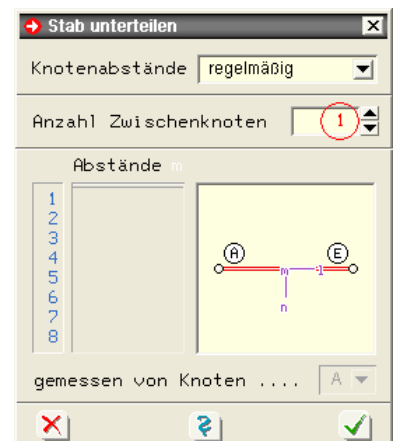


Klicken Sie hier bitte die horizontale Linie doppelt mit der LMT an. Hierdurch erscheint das oben dargestellte individuelle Linieneigenschaftsblatt.



Stab unterteilen

Klicken Sie dort bitte den Button für **Stabteilung** an und bestätigen Sie die **Teilung** mit einem **Zwischenknoten**.

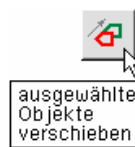


alles abwählen

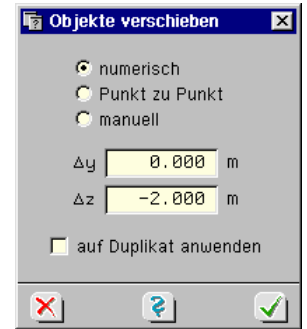
Wählen Sie den Stab über den Button am rechten Bildschirmrand ab.

## verschieben

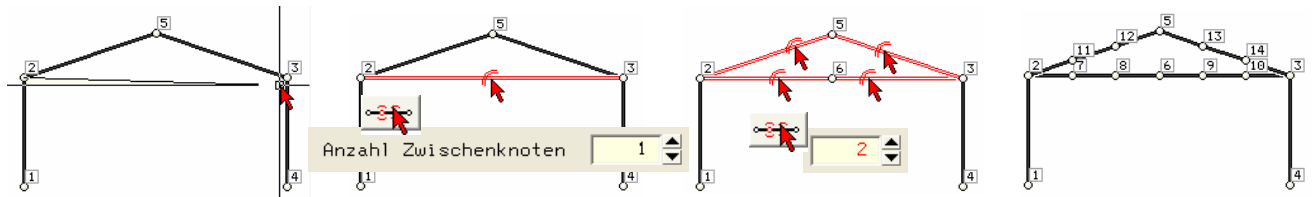
Klicken Sie nun den neuen Punkt 5 mit der LMT an. Er wird als aktivierter Punkt rot markiert.



Über die beiden gezeigten Buttons wird die numerische Verschiebung aufgerufen. Verschieben Sie den neuen Punkt um -2 m, was einer Bewegung nach oben entspricht.



Erzeugen Sie nun einen neuen Stab, indem Sie mit dem Fadenkreuz die Punkte 2 und 3 anfahren und sie jeweils mit der LMT anklicken. (Evtl. Esc-Taste betätigen).



Stab unterteilen

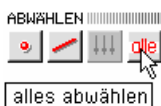
Klicken Sie den neuen Stab doppelt an. Hierdurch erscheint sein individuelles Eigenschaftsblatt. Unterteilen Sie den Stab mit einem Zwischenpunkt über den dargestellten Modellierungsbutton.

Führen Sie nun eine Unterteilung mit je zwei Zwischenpunkten auf den vier Binderstäben durch, bis sich die Darstellung ganz rechts ergibt. Die Unterteilung funktioniert ausschließlich über das Eigenschaftsblatt *individuelle Eigenschaften*, so dass die vier Stäbe in vier Arbeitsschritten nach und nach doppelt angeklickt werden müssen.



Wiederherstellen

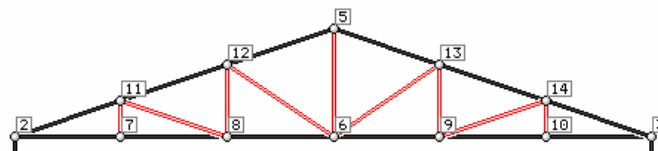
Der **Undo**-Button nimmt eine ggf. missglückte Aktion zurück.



Durch Anklicken des Buttons **alles abwählen** werden die verbliebenen ausgewählten Objekte (Punkte und Linien) deaktiviert.



Erzeugen Sie nun durch Anklicken die unten markierten Vertikalen und Diagonalen, indem Sie abwechselnd die LMT und RMT betätigen. Die Reihenfolge der Erzeugung und die gewählten Anfangs- und Endknoten der Stäbe sind hier nicht von Belang. Nach Beenden des Vorgangs sollte der Binder so aussehen.



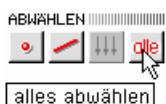
## undo-Funktion



Sollten Sie sich bei der Erzeugung vertan haben, hilft die undo-Funktion, mit der Bearbeitungsschritte zurückgenommen und auch wieder aktiviert werden können.



Wechseln Sie dann wieder in die isometrische Darstellungsform.

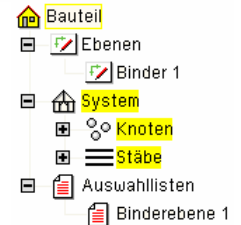
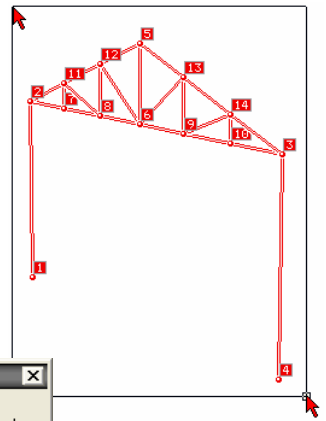
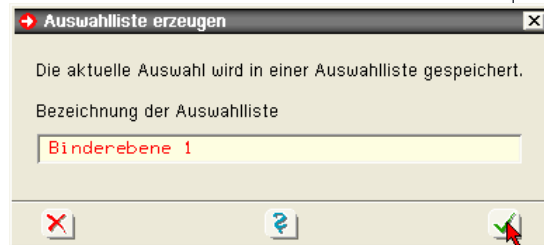


Betätigen Sie sicherheitshalber den Button **alles abwählen**, da momentan Ihr Auswahlstatus nicht bekannt ist und Objekte mit Aktivierung die folgende Modellierungsaktion empfindlich stören würden.

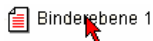
Aktivieren Sie nun die gesamte Struktur mittels Fangrechteck, so dass alle Punkte und Stäbe rot markiert werden.

## Auswahlliste

Der gegenwärtige Aktivierungszustand des kompletten ersten Binders kann ggf. später noch einmal nützlich sein. Zur Sicherung von derartigen Zuständen, die rein auswahltechnischer Natur sind, stehen Auswahllisten zur Verfügung. Klicken Sie bitte den gezeigten Button an und benennen die Liste.



Hierdurch entsteht ein Eintrag im Ansichtsbaum unter der Überschrift *Auswahllisten*, die durch Anklicken des Symbols geöffnet werden kann.



Durch Anklicken der Liste *Binderebene 1* werden die gegenwärtig ausgewählten zugehörigen Elemente deaktiviert und durch nochmaliges Anklicken wieder ausgewählt.

## Duplikat



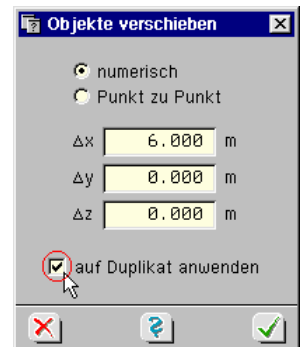
Klicken Sie nun bitte die beiden gezeigten Buttons an und tragen Sie als Verschiebungswert für  $\Delta x$  6.0 m ein. Drücken Sie zusätzlich den Button **auf Duplikat anwenden** ein und **bestätigen** Sie.

Die Verschiebung wird nun nicht auf das Original, sondern auf ein vorab erzeugtes Duplikat angewandt. Die neu erzeugten Objekte bleiben ausgewählt.

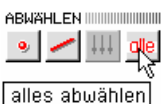
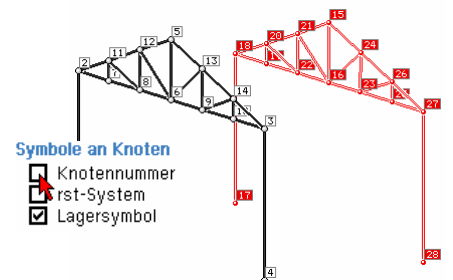
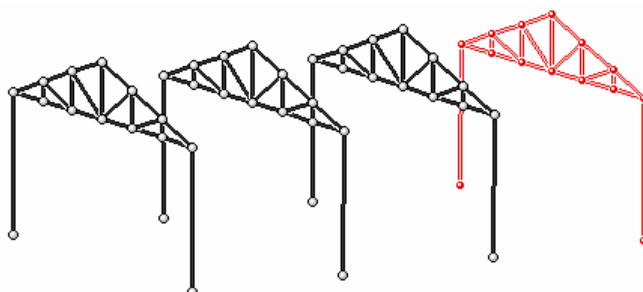


Der Auswahlzustand des neuen Binders kann (und alle weiteren folgenden auch) gleichfalls wie oben gezeigt in eine Auswahlliste gespeichert werden (z.B. *Binderebenen 2 bis 4*).

Wenn die gleiche Aktion *ausgewählte Objekte verschieben mit Anwendung auf Duplikat* nun noch zweimal ausgeführt wird, sind bereits vier gleichartige Binder entstanden.

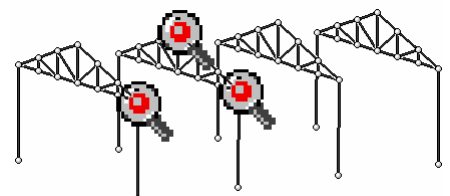


Werden die Knotennummern aus den Darstellungseigenschaften entfernt, entsteht die folgende Abbildung.



Wählen Sie alle aktivierten Objekte wieder ab.

Wir wollen nun in die Dachebene kippen und dort manuell weitere Stäbe erzeugen. Klicken Sie hierzu drei in der vorderen Dachebene liegende Punkte, wie z.B. die hier markierten, an.



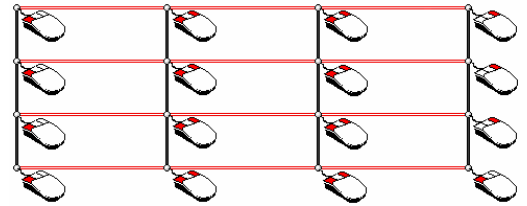


Klicken Sie den Button **Ebene erzeugen** und taufen Sie sie *Dachebene 1*.



Erzeugen Sie nun bitte die Pfetten in der Dachebene wieder manuell über die gezeigten Buttons.

Denken Sie an den abwechselnden Gebrauch von LMT und RMT!

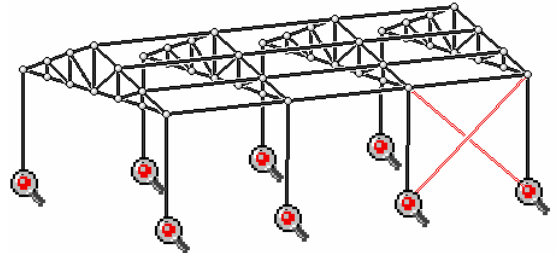


Schalten Sie dann wieder auf die isometrische Darstellung des Gesamtsystems um.

Die manuelle Erzeugung der Stäbe funktioniert nun nicht nur in der Ebene, sondern auch am Gesamtsystem. Wir wollen das durch Erzeugung der beiden dargestellten Diagonalen beweisen.



Auch hier sind wieder die nun bereits bekannten beiden Buttons zu betätigen und die Stabanfangs- und Stabendknoten der markierten Stäbe anzuklicken.



## Lager

Auch wenn das Gebilde noch nicht ganz vollständig erscheint, fehlen zu einem kompletten statischen System nun nur noch Lagerungsbedingungen. (Steifigkeitswerte haben die Stäbe bereits bei ihrer Erzeugung erhalten – dazu später mehr).



Wenn noch Punkte oder Linien aktiviert sein sollten, betätigen Sie den **abwählen**-Button. Aktivieren Sie nun die acht Fußpunkte. Klicken Sie dann den Button für **Lagerangaben** an.



Daraufhin erscheint das Eigenschaftsblatt *Knotenlagerangaben* zur Definition der Fesselungen. Drücken Sie hier die Buttons zur starren Lagerung der drei Verschiebungsfreiheitsgrade ein.

Knotenlagerangaben			
FREIWEIT	LAGERUNGSART	FEDERKONSTANTE	DIM.
Verschiebungsbehinderungen			
r		0,00 kN/m	
s		0,00 kN/m	
t		0,00 kN/m	
Verdrehungsbehinderungen			
r		0,00 kNm	
s		0,00 kNm	
t		0,00 kNm	
rst-System		definieren	

Die rechte Spalte bedeutet freie Verschiebbarkeit; in der mittleren Spalte können elastische Lagerungen mit Angabe der jeweiligen **Federsteifigkeit** vereinbart werden.

Die Lagerbedingungen werden im Knotenlagerkoordinatensystem r-s-t beschrieben, das, solange nichts anderes angegeben wird, identisch ist mit X-Y-Z. Auch dazu später mehr.

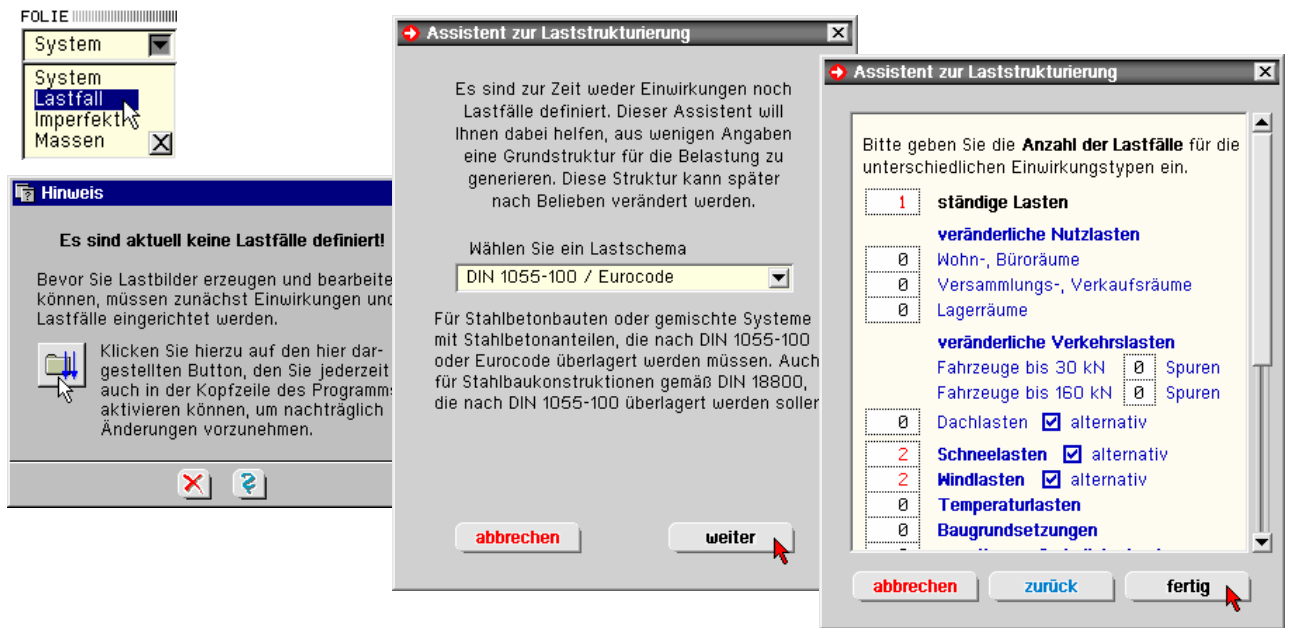
Nach **Bestätigen** werden die Lagersymbole an die Knoten angetragen.



Auch die markierten Lagerknoten können in eine Auswahlliste (z.B. *Lagerknoten*) gespeichert werden.

## Laststruktur

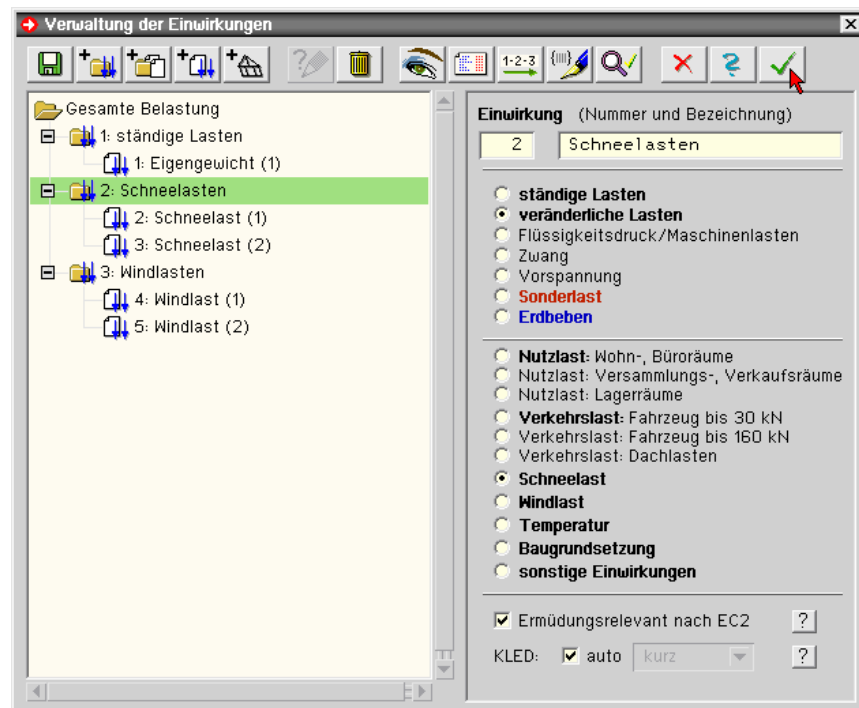
Abschließend wollen wir nun noch Eigengewichtslasten erzeugen und dann die Berechnung starten. Hierzu ist zunächst von der Systemfolie auf die erste Lastfallfolie zu wechseln. Der Versuch scheitert nun zunächst und das Eigenschaftsblatt *Hinweis* erscheint.



Vor Eingabe der Belastung sind Angaben zu Einwirkungen, darunter befindlichen Lastfällen mit ihren Charakteristika und letztlich auch zu Nachweistypen erforderlich.

Klicken Sie im *Hinweis* auf den dort befindlichen Button, der gleichbedeutend mit dem Steuerbutton im Kopfbereich der Eingabeoberfläche ist. Im Eigenschaftsblatt *Assistent zur Laststrukturierung* bestätigen Sie bitte das Lastschema **DIN 1055-100 / Eurocode**.

Hiernach erscheint die *Verwaltung der Einwirkungen*. Man erkennt, dass durch die Eingaben im Assistenten (1 st. LF, 2 LF Schnee, 2 LF Wind) die komplette Belastungsstruktur bereits feststeht.



Nach **Bestätigen** des Eigenschaftsblatts befindet sich die Aktion in der Lastfallfolie 1.

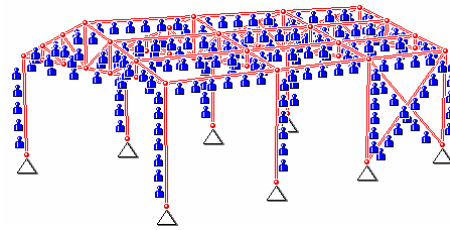
Wenn Sie die Definition über den Button im Eigenschaftsblatt *Hinweis* aktiviert haben, befinden Sie sich bereits in der Lastfallfolie. Ansonsten wechseln Sie über die Auswahlliste.

## Eigengewicht



Eigengewichtslasten

Fahren Sie bitte mit dem Fangrechteck über das gesamte Tragwerk. Hierdurch werden alle Stäbe und Punkte rot markiert. Über die beiden Buttons erscheint das Eigenschaftsblatt zur Eingabe des Raumgewichts. Da die Vorbelegung der Stabquerschnitte aus Stahlprofilen besteht, soll hier auch das  $\gamma$  von Stahl eingetragen werden.



Nach diesen Eingaben müsste das System wie oben rechts dargestellt aussehen. Hierin symbolisieren die kleinen Gewichte die Eigengewichtslasten.

## Datenüberprüfung und Berechnung

Vor der Berechnung werden die Eingabedaten über nebenstehenden, am rechten Rand befindlichen Button einem **Check** unterworfen, der hier keine Meldungen ausgibt.



Datenzustand überprüfen



## Programme direkt starten

- Einstellungen zum nachfolg. Rechenlauf
- Datenzustand sichern und Rechenlauf starten
- Fehlermeldungen und Warnungen anzeigen
- Ergebnisse am Bildschirm visualisieren
- Optionale Einstellungen der Ergebnisdrucklisten
- Drucklisten auswählen und Druckmanager starten

Wir können nun die Berechnung starten und kommen zu der unter Abs. 3 in der Funktionsprüfung erwähnten alternativen Startmethode der Berechnungsmodule.

## Berechnung

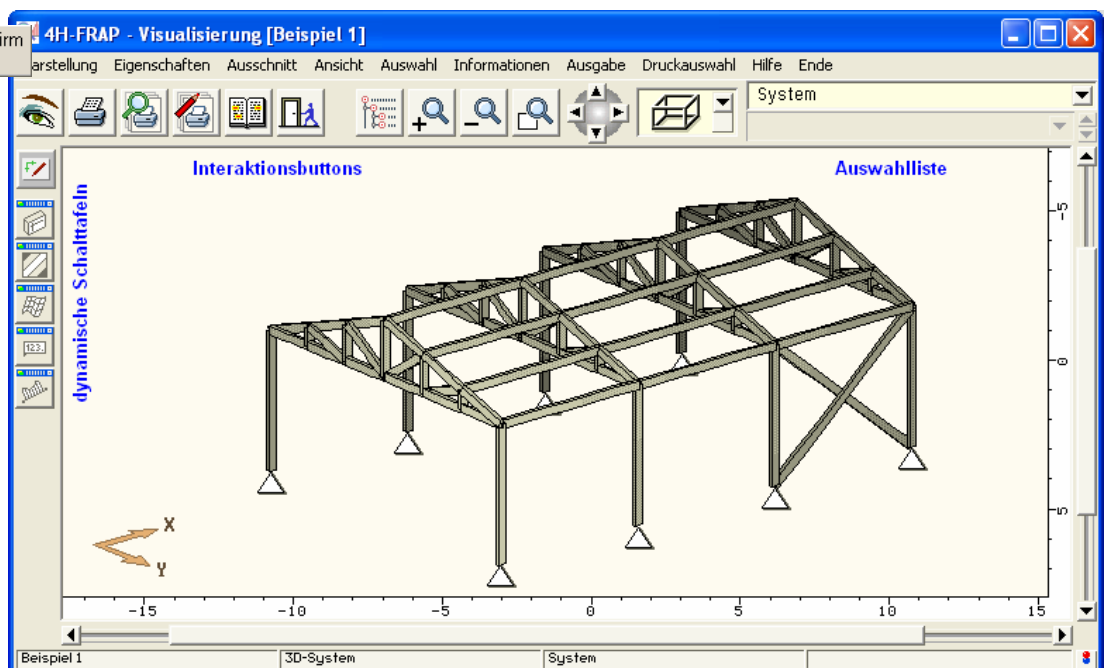
Klicken Sie bitte auf den **Quickstartbutton** in der linken unteren Ecke des Eingabefensters und starten den Rechenlauf.

## Visualisierung

Rufen Sie nach abgeschlossener Berechnung in gleicher Weise die Ergebnisvisualisierung auf, die mit der folgenden Übersichtsdarstellung erscheint.



Ergebnisse am Bildschirm visualisieren

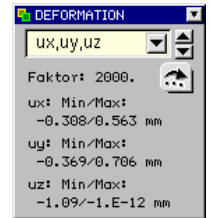




Lastfall



Klicken Sie nun in der Auswahlliste oben rechts das Wort **System** an und schalten Sie auf die Lastfallergebnisse des Lastfalls 1 um. Klicken Sie dann auf die dynamische Schalttafel **Deformationen** und schalten dort in gleicher Weise von **kein** auf **ux, uy, uz** um.

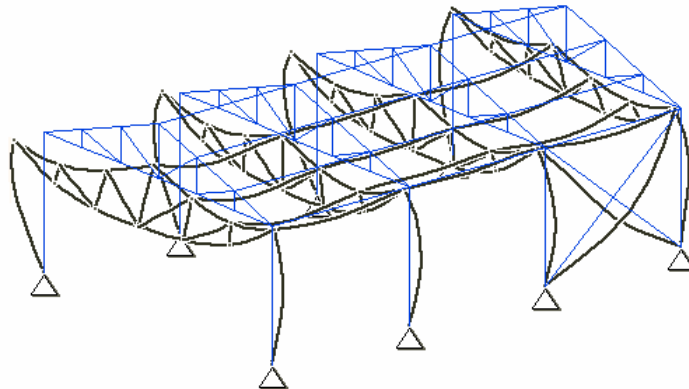


Auch in der Ergebnisvisualisierung können die Darstellungseigenschaften angepasst werden. In dem über nebenstehenden Button aufgerufenen Eigenschaftsblatt stellen Sie bitte von **Höhe/Breite** auf **Linie** um.



## Deformation

In der dadurch geänderten Darstellung wird das System im unverformten und ausgelenkten Zustand zur Überprüfung des Verformungsverhaltens gezeigt.



Die Ergebnisvisualisierung ist ein vielseitiges und vor allem umfangreiches Werkzeug, das im Rahmen dieser Eingabebeispiele nicht bis ins Detail vorgeführt werden kann. Probieren Sie die Wirkung der einzelnen Buttons und dynamischen Schalttafeln doch einfach einmal aus; zerstören können Sie damit nichts.



Verlassen Sie nach Abschluss Ihrer Studien die Ergebnisvisualisierung und **bestätigen** Sie die Einstellungen. Sofern Sie sie speichern, wird die Visualisierung bei neuerlichem Aufruf mit den letzten Einstellungen neu starten und die gleichen Menüs und Darstellungen aufrufen.



Wenn Sie daraufhin die grafische Eingabe beenden, befindet sich die Interaktion wieder auf dem DTE®-Schreibtisch.



## 4.2

## Generierung orthogonaler Raster



Erzeugen Sie ein neues Bauteil vom Typ **3D-Stubtragwerk** wie auf S. 11 gezeigt, platzieren es durch Klicken der RMT am gewünschten Ort auf dem DTE®-Schreibtisch und benennen es *Beispiel 2*.

Durch Doppelklicken des Icons wird wieder die Grafische Eingabe aufgerufen.

Im Folgenden sollen zwei orthogonale Teilsysteme generiert werden, wobei das zweite an das erste angefügt wird. Danach werden die Daten bereinigt, einige der generierten Stäbe gelöscht, Knoten verschoben und die fotorealistische Darstellung aufgerufen.

Rufen Sie bitte über die beiden dargestellten Buttons den Generator orthogonaler Raster auf.

Tippen Sie dort mit der LMT in die graue Spalte unter  $\Delta x$ . Hierdurch wird ein Eingabefeld geöffnet. Geben Sie die Zahlenwerte wie gezeigt ein.



**Generierung orthogonaler Raster**

**Knotengenerierung**

$\Delta \tilde{x}$ m	$\Delta \tilde{y}$ m	$\Delta \tilde{z}$ m
3.000	3.000	5.000
3.000	3.000	5.000
		5.000
		5.000

**Stabgenerierung**

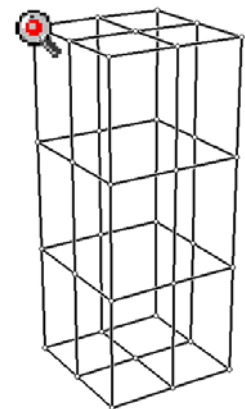
$\tilde{x}$ -RICHTUNG	$\tilde{y}$ -RICHTUNG	$\tilde{z}$ -RICHTUNG
außen	außen	außen

**Montage**

$\tilde{x}_0$ m	$\tilde{y}_0$ m	$\tilde{z}_0$ m
0.000	0.000	0.000

**Verdrehung der  $\tilde{z}$ -Achse**

$\alpha = 0.000^\circ$



### Zeile löschen

Sollten Sie – was wahrscheinlich ist – am Ende einer Eingabespalte eine Zeile mit dem Wert 0.00 erzeugt haben, wird sich der Generator möglicherweise sperren, die Aktion auszuführen. Platzieren Sie dann den Cursor in dieses Eingabefeld und drücken Sie die Taste "F7". (Durch Drücken der RMT erscheinen sämtliche Editorbefehle). Löschen Sie dergestalt sämtliche Fehleingaben und **bestätigen** Sie das Eingabeblatt.



- alternativ in Stabmitte:
- ☐ Stabnummer
  - ☐ Querschnittssymbol
  - ☐ Profilbezeichnung
  - ☐ Imn-System
  - ☒ kein Symbol

Das rechts dargestellte Drahtmodell ergibt sich, wenn Sie unter den Darstellungsoptionen **kein Symbol** anwählen.

Klicken Sie den markierten linken oberen Punkt mit Doppelklick an. Dadurch erscheint sein individuelles Eigenschaftsblatt aus dem zu ersehen ist, dass sich in diesem Punkt der Ursprung des globalen Koordinatensystems befindet.

**KNOTEN 1**

KNOTENKOORDINATEN

x = 0.000 m

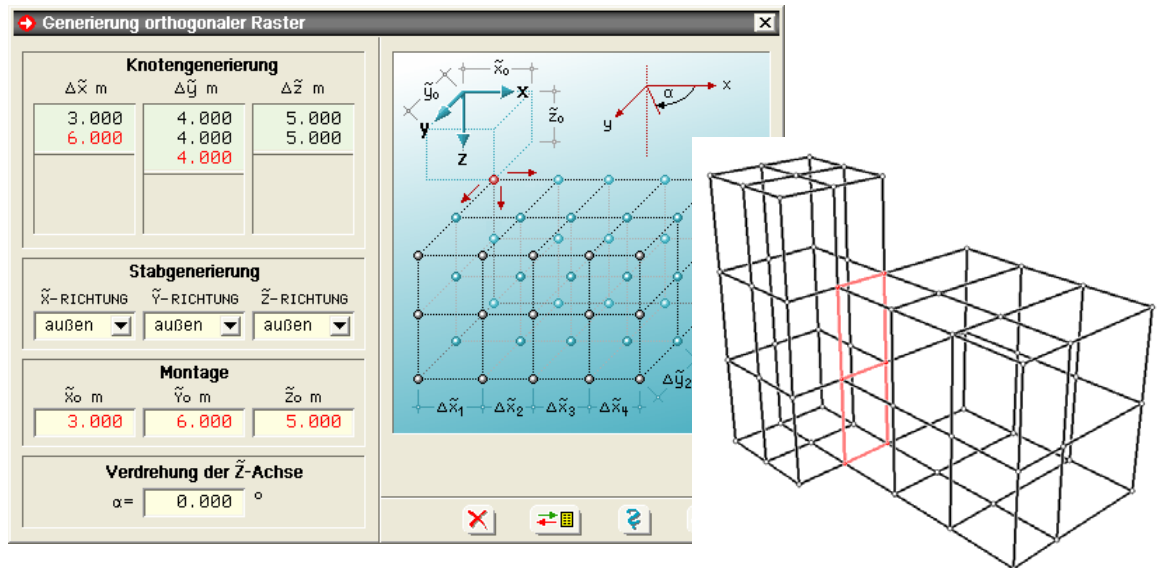
y = 0.000 m

z = 0.000 m



Aktivieren Sie nun nach **Bestätigen** nochmals den Generator für orthogonale Raster.

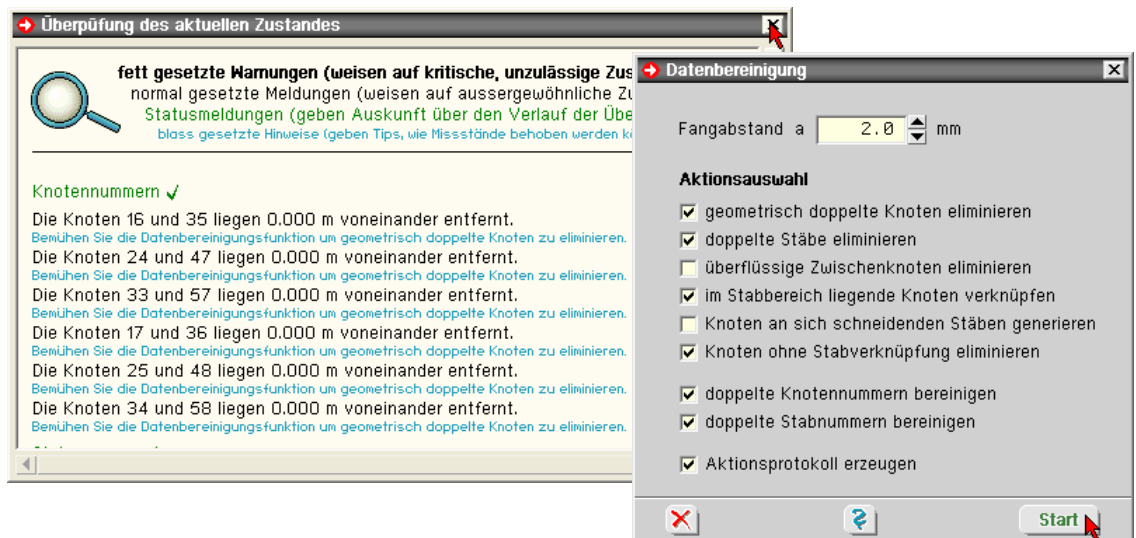
Wir wollen einen zweiten Raster erzeugen und an den ersten anknüpfen. Tragen Sie bitte auch hier wie gezeigt ein. Zur Erinnerung: Die Funktionstaste F7 löscht eine Eingabezeile.



Durch die hier rot markierten Eingaben für die Komponenten des Montagevektors wird die neue Struktur in Bezug auf den Ursprung platziert.

Die Gesamtstruktur hat nun das rechts dargestellte Aussehen. Hierbei ist zu beachten, dass in dem rot markierten Berührungsbereich Linien und Punkte doppelt erzeugt wurden. Daher sollte umgehend eine Bereinigung des Systems durchgeführt werden.

**Datenzustand bereinigen** Klicken Sie hierzu den Button **Datenzustand überprüfen** am rechten Rand der Eingabeoberfläche an. Im Protokollfenster wird der o.g. Sachverhalt genau beschrieben.



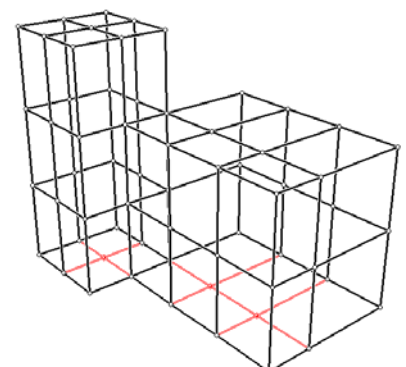
Die erforderliche Datenbereinigung erfolgt über den Button **Datenzustand bereinigen**.

Nach Ablauf der Bereinigungsfunktion erfolgt automatisch ein Protokoll der durchgeführten Aktionen. Der DTE®-Editor wird über den Haken wieder geschlossen.

**Stäbe und Knoten löschen** Bei der gewählten Form der Generierung von Stäben und Knoten sind üblicherweise auch nicht benötigte Objekte erzeugt worden. Beispielhaft sollen die nebenstehend rot markierten Stäbe und Knoten wieder entfernt werden.



Markieren Sie die Stäbe und Knoten nacheinander durch Anklicken mit der LMT, so dass sie wirklich rot markiert sind. Nach Betätigen des Buttons **ausgewählte Objekte löschen** wird die Löschaktion durchgeführt.





Derlei Aktionen können über den **undo**-Button zurückgenommen werden, daher ist eine absichernde Nachfrage nicht erforderlich.

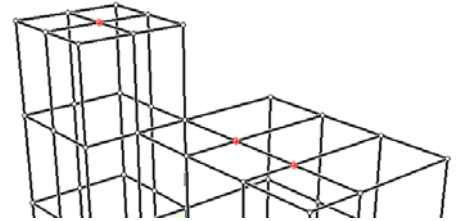


Sofern Sie nicht vorher den Button **abwählen** betätigt hatten, war vor der Löschkaktion noch der auf S. 21 aktivierte Ursprungsknoten rot markiert. Dieser Knoten kann nicht gelöscht werden, da er zur Verknüpfung von Stäben benötigt wird, die nicht gelöscht werden sollten.



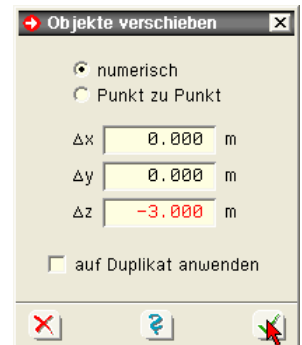
Betätigen Sie jetzt bitte den **abwählen**-Button.

Im vorhergehenden Beispiel wurden Modellierungsaktionen in der Ebene vorgestellt. Diese Bearbeitungsfunktionen stehen natürlich auch im Raum zur Verfügung. Als Beispiel sollen hier die drei in den obersten Ebenen befindlichen Innenpunkte verschoben werden.



Markieren Sie die drei roten Punkte bitte mit der LMT und klicken Sie die beiden gezeigten Buttons an. Tragen Sie dann bitte unter  $\Delta z$  einen Verschiebungswert von  $-3$  m ein.

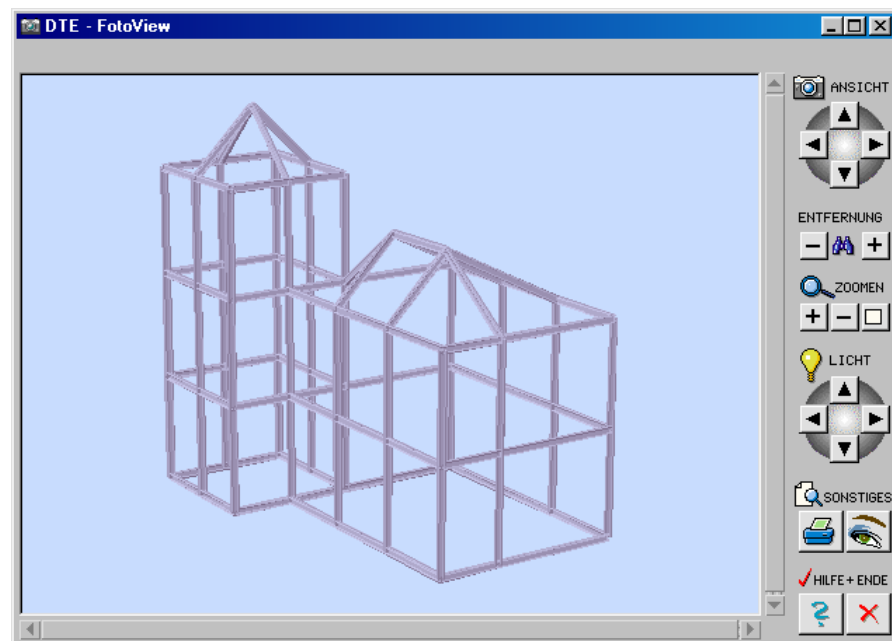
Sie können ja vielleicht selbständig weitere Modellierungen durchführen oder auch neue Stäbe an bereits vorhandene Knoten anschließen. Die Vielzahl der zur Verfügung stehenden Funktionen vorzustellen, führte an dieser Stelle einfach zu weit.



photorealistische Darstellung

Als letzter Punkt dieses Beispiels fehlt noch der Aufruf der fotorealistischen Darstellung.

Durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Buttons wird das eigenständige **pcae**-Programm **FotoView** aufgerufen, das die Struktur des Systems unter Berücksichtigung der definierten Querschnitte räumlich darstellt. Das Programm verfügt über eine eigene Online-Hilfe, so dass sich Erläuterungen an dieser Stelle erübrigen.



Diese Art der Darstellung vermittelt einen plastischen Eindruck von dem eingegebenen System.

Man erkennt sehr gut die Achsenausrichtung der verwendeten, voreingestellten I-Profile. Wir werden in einem späteren Beispiel auf die Problematik der Ausrichtung der lokalen Stabkoordinatensysteme zurückkommen.



Ende

Die Vorstellung des Generators orthogonaler Raster ist damit abgeschlossen. Verlassen Sie bitte die fotorealistische Darstellung und die Grafische Eingabe.

### 4.3

## Generierung rotationssymmetrischer Raster



Beispiel 3

Erzeugen Sie ein neues Bauteil vom Typ **3D-Stubtragwerk** wie auf S. 11 gezeigt, platzieren es durch Klicken der RMT am gewünschten Ort auf dem DTE®-Schreibtisch und benennen es *Beispiel 3*.

Durch Doppelklicken des Icons wird wieder die Grafische Eingabe aufgerufen.

Im Folgenden wird die Erzeugung einer rotationssymmetrischen Struktur gezeigt.



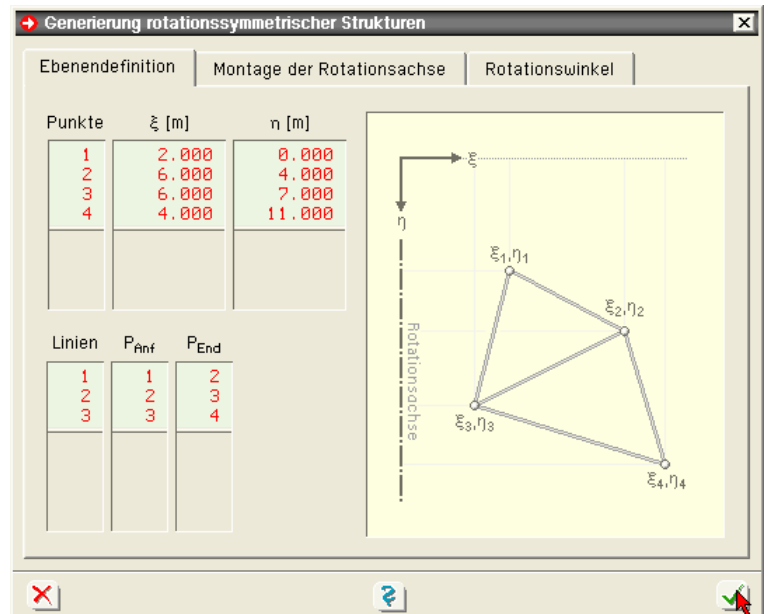
rotationssymmetrisches Raster generieren

Klicken Sie bitte die beiden gezeigten Buttons zum Aufruf des Generators rotationssymmetrischer Raster an.

Die dargestellte Behälterstruktur kann durch Vorgabe von nur vier Koordinatenpaaren erzeugt werden.

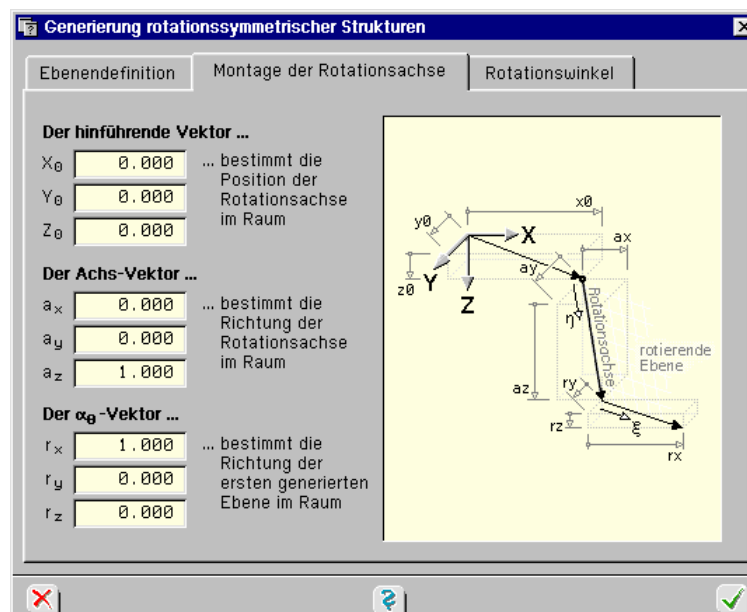


Ebenendefinition



Im ersten Schritt werden im Registerblatt *Ebenendefinition* vier Punkte zur Beschreibung der Außenkontur einer gedachten  $\xi$ - $\eta$ -Ebene eingegeben. In der unteren Tabelle wird angegeben, wie die Punkte durch Linien miteinander verbunden werden sollen (F7 löscht wieder überzählige Zeilen). Hierdurch entsteht quasi ein ebenes Stabwerk.

### Montage



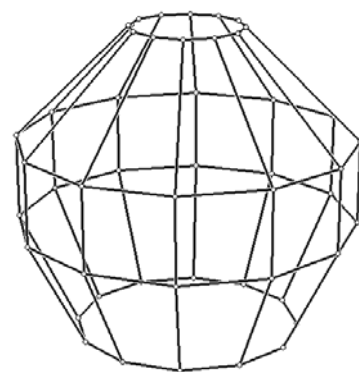
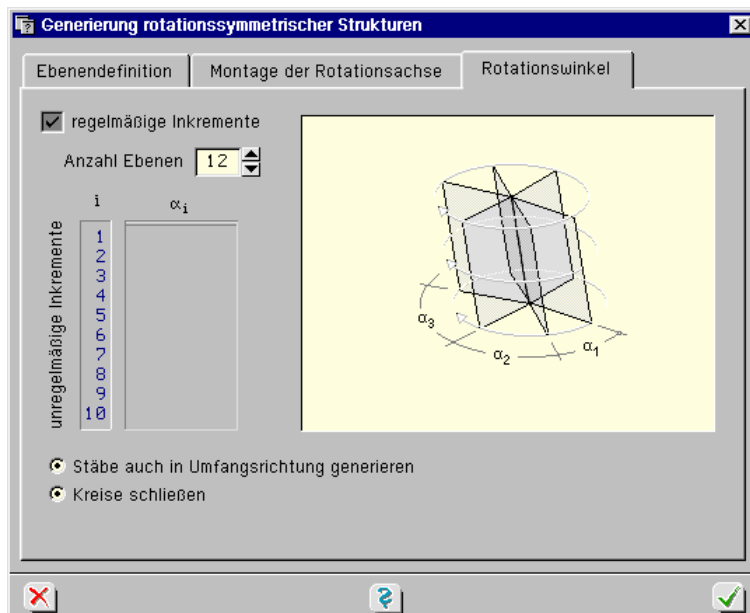
Im zweiten Registerblatt *Montage der Rotationsachse* werden drei Vektoren definiert, die die Lage des ebenen  $\xi$ - $\eta$ -Systems im 3D-Raum beschreiben. Der Vektor  $[x_0, y_0, z_0]$  legt die Lage

des ebenen  $\xi$ - $\eta$ -Nullpunktes im dreidimensionalen XYZ-Raum fest. Der Richtungsvektor  $[a_x, a_y, a_z]$  beschreibt die Richtung der Rotationsachse ( $\eta$ ) im Raum. Der Richtungsvektor  $[r_x, r_y, r_z]$  legt die Richtung der ebenen  $\xi$ -Achse im xyz-System fest. Mit Hilfe dieser drei Vektoren kann das zu generierende System beliebig in den Raum transportiert werden.

Diese Definitionen klingen komplizierter als sie sind. Wir wollen jetzt aber die Standardwerte unverändert lassen.

In Registerblatt 3 wird nur die Anzahl der um die Rotationsachse zu generierenden Ebenen eingetragen.

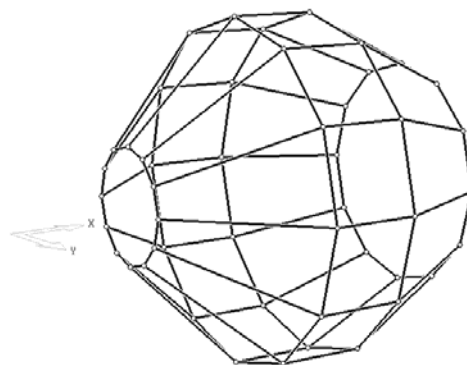
## Rotationswinkel



Das nebenstehende Drahtmodell ist das Ergebnis der Generierung, wenn wieder die Profilzeichnungen ausgeblendet werden.

Die Veränderung der Richtungsvektoren lässt eine beliebige Erzeugung und Montage der rotationssymmetrischen Figur im Raum zu. Die Eingabe folgender Vektoren erzeugt beispielsweise ein liegendes Gebilde.

Der hinführende Vektor ...		
$X_0$	0.000	... bestimmt die Position der Rotationsachse im Raum
$Y_0$	0.000	
$Z_0$	0.000	
Der Achs-Vektor ...		
$a_x$	1.000	... bestimmt die Richtung der Rotationsachse im Raum
$a_y$	0.000	
$a_z$	0.000	
Der $\alpha_0$ -Vektor ...		
$r_x$	0.000	... bestimmt die Richtung der ersten generierten Ebene im Raum
$r_y$	0.000	
$r_z$	1.000	



**Lokale Stabkoordinatensysteme** In den folgenden Kapiteln werden die Zuweisung von Querschnittsparametern und lokalen Koordinatensystemen zu den Stäben behandelt werden. Ein Hinweis zu diesen Sachverhalten drängt sich jedoch hier bereits auf:

Die Stäbe bekommen bei ihrer Erzeugung standardmäßig Querschnittsparameter von Stahl-I-Profilen zugewiesen. Die Ausrichtung dieser Profile ist innerhalb des Drahtmodells nicht zu erkennen. Die fotorealistische Darstellung zeigt, wie auf S. 24 dargestellt, dass die Profile in Meridianrichtung mit der starken Achse in tangentialer Richtung ausgerichtet werden. Die starken Achsen der Stäbe in Breitenkreisrichtung weisen in radialer Richtung.



#### 4.4

### Tabellarische Eingabe von Knoten und Stäben

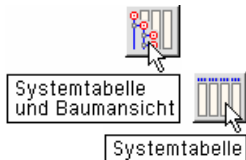


Beispiel 4

Erzeugen Sie ein neues Bauteil vom Typ **3D-Stubtragwerk** wie auf S. 11 gezeigt, platzieren es durch Klicken der RMT am gewünschten Ort auf dem DTE®-Schreibtisch und benennen es *Beispiel 4*.

Durch Doppelklicken des Icons wird wieder die Grafische Eingabe aufgerufen.

Wir haben jetzt bereits geschickte Wege zur Erzeugung von 3D-Strukturen kennen gelernt. (Die noch elegantere Übernahme bereits in einem CAD-System beschriebener Geometrien stellt der **DXF-Datenimport** dar, der im Handbuch *##FRAP, Allgemeine Erläuterungen zur Bedienung*, beschrieben ist.) Dennoch hat auch die althergebrachte tabellarische Eingabe von Knoten und Stäben gelegentlich ihre Vorteile. Wie bereits auf S. 13 gezeigt, wollen wir Knoten mit ihren Koordinaten tabellarisch festlegen, nun aber auch zusätzlich die gewünschten Stäbe eintragen.



Knoten-, Koordinaten- und Stabverknüpfungstabelle							
KNOTENKOORDINATEN				STABVERZEICHNIS			
	Knotennummer	X-Koord. m	Y-Koord. m	Z-Koord. m	Stabnummer	Anfangsknoten	Endknoten
1	1	0.000	0.000	0.000	1	1	2
2	2	4.000	0.000	0.000	2	2	3
3	3	4.000	3.000	0.000	101	3	4
4	4	0.000	3.000	0.000	4	4	1
5							

Wie das **Stabverzeichnis** zeigt, können Stabnummern beliebig vergeben werden.



Die oben markierten Nullen müssen selbstverständlich nicht eingegeben werden. Der Cursor steht in einem numerischen Eingabefeld i.d.R. links mit einem Zwischenraum zu den bestehenden Eingaben. Nach Eintrag eines Eingabewerts werden alle Werte, die nach rechts durch mindestens ein blank abgetrennt sind, bei Bestätigen durch die Enter- oder die Tabulatortaste ignoriert. (Löschen einer ganzen Zeile auch hier durch F7).



Darstellungsoptionen

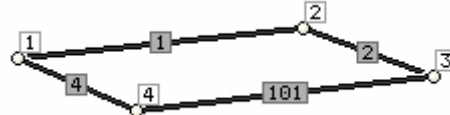
**Systemdarstellung**

**Symbole an Knoten**
☒ Knotennummer
 ☐ rst-System
 ☒ Lagersymbol

**Symbole an Stäben**
☒ elastische Bettung
 ☐ Gelenksymbol
 

alternativ in Stabmitte:

☒ Stabnummer



Erzeugen Sie nun bitte beide Diagonalen durch Anklicken der Eckpunkte 1-3 und 4-2 mit der Maustaste. Denken Sie bitte wieder daran, den ersten Knoten mit der LMT, den zweiten mit der RMT, dann den dritten Knoten wieder mit der LMT und den vierten Knoten gleichfalls mit der LMT anzuklicken.

Sollten Sie den letzten Knoten mit der RMT angeklickt haben, bleibt das Fadenkreuz des erzeuge-Modus aktiv. Betätigen Sie in diesem Fall die Esc-Taste auf der Tastatur.

Wie die Nummerierung zeigt, werden die nächsten freien Stabnummern automatisch zugewiesen.

Die Darstellung zeigt, dass im Kreuzungspunkt der Diagonalen kein Knoten vorhanden ist. Dies kann ggf. gewünscht sein; hier wollen wir die Stäbe jedoch miteinander verschneiden.

#### verschneiden



Klicken Sie hierzu bitte die beiden Diagonalen mit der LMT an und betätigen dann die beiden gezeigten Buttons.

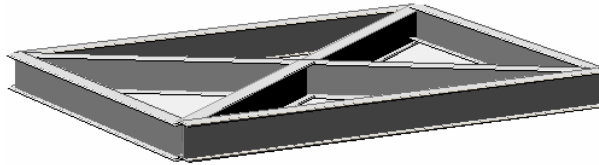


Auf Ihrem Monitor zeigen die im Stabschwerpunkt angetragenen Nummern die erfolgreiche Teilung der Diagonalen in vier Stäbe.





Wie schon im vorhergehenden Beispiel gesagt, bekommen die Stäbe bei ihrer Erzeugung einen Stahl-Doppel-T-Querschnitt zugewiesen. Wie die Profile ausgerichtet sind, zeigt die fotorealistische Darstellung recht plastisch.



**Stabkoordinatensysteme** Jeder Stab besitzt ein lokales Koordinatensystem  $lmn$ . Die l-Achse zeigt als Stabachse vom Anfangs- zum Endknoten; die m-Achse ist die starke und die n-Achse die schwache Achse des Querschnitts.

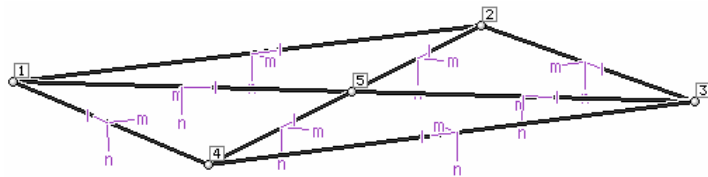


Darstellungsoptionen

Die Orientierung der lokalen Stabkoordinatensysteme kann über die **Darstellungsoptionen** abgerufen werden. Die schwache Profilachse n zeigt bei allen Stäben (die sich hier in der X-Y-Ebene befinden) in globaler Z-Richtung.

#### Symbole an Stäben

- ☒ elastische Bettung
- ☐ Gelenksymbol
- alternativ in Stabmitte:
  - Stabnummer
  - Querschnittssymbol
  - Profilbezeichnung
  - lmn-System
  - kein Symbol



Wir wollen nun den Punkt 5 vertikal nach oben verschieben und beobachten, wie sich die lokalen lmn-Systeme verändern.



Wählen Sie zunächst bitte alle Stäbe ab.



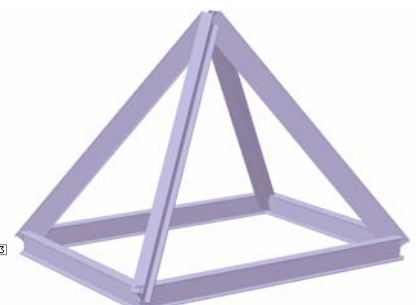
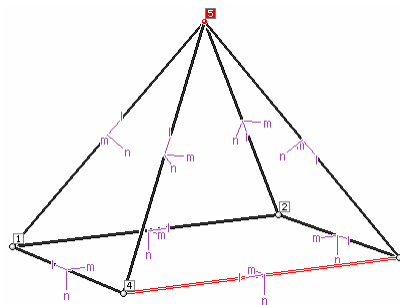
Aktivieren Sie nun Punkt 5 mit der LMT; er wird rot markiert. Verschieben Sie ihn um 3 m nach oben.

**Objekte verschieben**

☒ numerisch  
☐ Punkt zu Punkt

$\Delta x$  0.000 m  
 $\Delta y$  0.000 m  
 $\Delta z$  -3.000 m

☐ auf Duplikat anwenden



Die Richtung der schwachen Achsen n wird durch Drehung um die jeweilige m-Achse festgelegt, so dass die l-Achsen weiterhin vom Anfangs- zum Endknoten des Stabes zeigen.

**Hauptachseneckwinkel** Die dritte mögliche Stabdrehung zur exakten Festlegung der Stabgeometrie ist die Drehung in die Hauptachsenrichtungen. Klicken Sie bitte den rot markierten Stab doppelt mit der LMT an. Hierdurch erscheinen seine individuellen Stabeigenschaften.

**STAB 101**

**EIGENSCHAFTEN**

Gelenke, Exzentrizitäten, und lmn-System bearbeiten 3 4 4.000 m

**MODELLIEREN**

Ende

**AKTUELLER ZUSTAND**

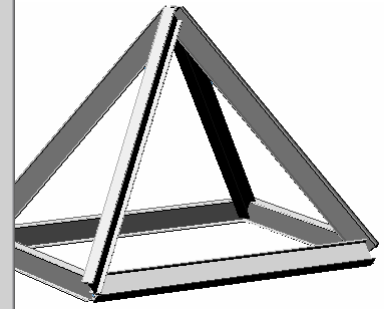
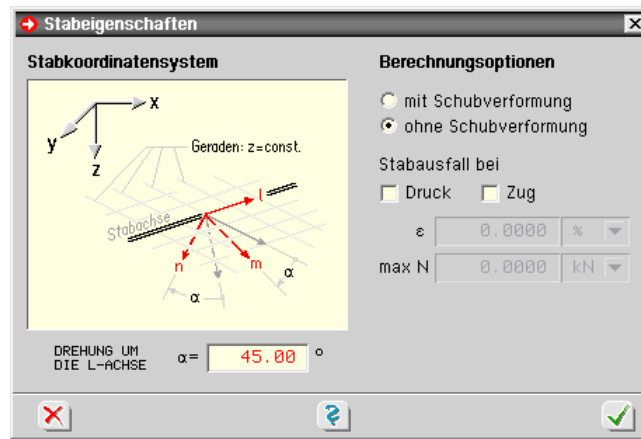
**am Anfangsknoten**  
 Exzentrizität: keine  
 Gelenke: keine

**am Endknoten**  
 Exzentrizität: keine  
 Gelenke: keine

**Stabdrehwinkel:**  $\alpha = 0.00^\circ$  Typ: Balken  
**Material:** Stahl: S235JR (St37-2)  
**Querschnitt:** IPE300  
 Standardprofil: IPE300

Gelenke, Exzentrizitäten, und Inn-System bearbeiten

Durch den gezeigten Button erscheint das Eigenschaftsblatt der *lokalen Stabgeometrie*.



Klicken Sie hier bitte den **bearbeiten**-Button zur Lage des lokalen Inn-Koordinatensystems an.

photorealistische Darstellung

Hier ist die positive Winkeldefinition angegeben. Tragen Sie bitte für den Winkel  $\alpha$  45° ein. Bestätigen Sie dann mehrmals.

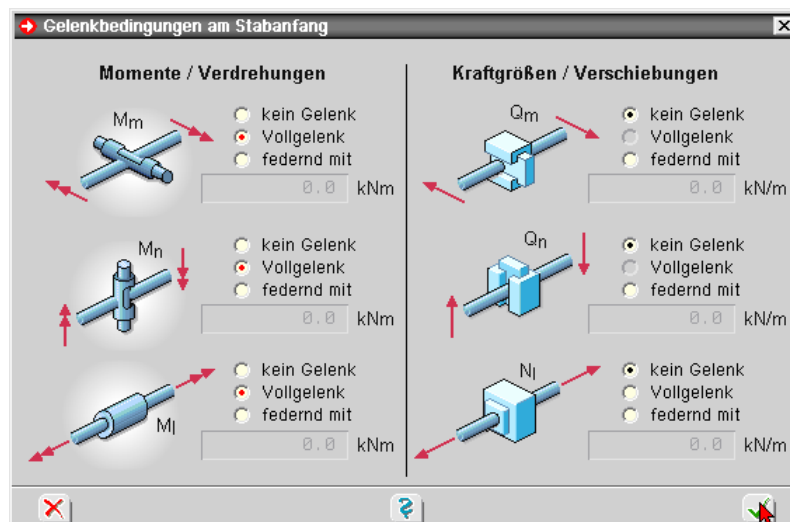
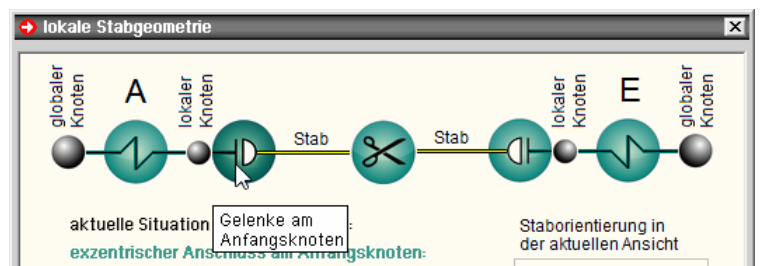
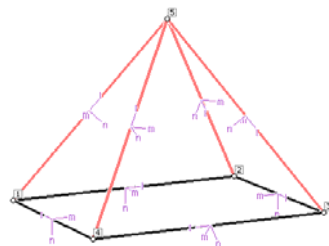
Die **photorealistische Darstellung** zeigt die Auswirkungen der vorhergehenden Aktionen.

**Gelenkbedingungen** Im Folgenden sollen den vier schrägen Stäben Gelenke zugewiesen werden. Im Gegensatz zur vorhergehenden Aktion (Drehwinkel für einen Einzelstab) soll dies aber für alle Stäbe gleichzeitig erfolgen. Aktivieren Sie bitte nur die im Bild unten gezeigten Stäbe, so dass sie rot markiert erscheinen.

individuelle Stabeigenschaften

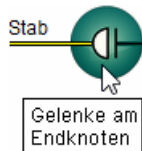
Klicken Sie dann auf den Button **individuelle Stabeigenschaften**. Hierdurch erscheint wieder das Eigenschaftsblatt zur Festlegung der Stabgeometrie. Im Ansichtsbereich des Eigenschaftsblatts wird die Orientierung des bei der Auswahl zuerst angeklickten Stabes, der somit Referenzstab geworden ist, protokolliert.

Klicken Sie hier bitte den Button **Gelenke am Anfangsknoten bearbeiten** an und versehen Sie alle Momentenfreiheitsgrade mit Vollgelenken.





Man erkennt im Eigenschaftsblatt der Gelenkbedingungen, dass für die Übergangsbedingungen auch Federwerte vorgegeben werden können. Hierdurch lassen sich **Nachgiebigkeiten der Verbindungsmittel** in Anschlüssen berücksichtigen.



Bestätigen Sie bitte die Angaben und klicken Sie dann den Button **Gelenke am Endknoten bearbeiten**.

Als Erstes fällt auf, dass nicht alle Gelenkmöglichkeiten aktivierbar sind. *4/-FRAP* lässt nur solche Gelenke zu, die nicht zur Verschieblichkeit der Stäbe führen. Bei z.B. zusätzlichem Gelenk für  $M_l$  (Torsion) könnte der Stab um die eigene Achse rotieren.

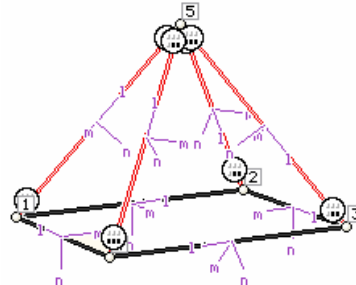
Lösen Sie bitte die noch möglichen Momentengelenke.



Über die Darstellungseigenschaften können die Gelenksymbole eingeblendet werden.

#### Symbole an Stäben

- ☒ elastische Bettung
- ☒ Gelenksymbol ☒ klein ☐ groß



Die kleinen Felder symbolisieren in der oberen Reihe von links nach rechts Gelenke für Kräfte  $N$ ,  $Q_m$  und  $Q_n$  und in der unteren Reihe Gelenke für Momente  $M_l$ ,  $M_m$  und  $M_n$ .

**Datenüberprüfung** Im Firstpunkt zeigt sich eine verdächtige Häufung von Gelenken. Die Überprüfung des **Datenzustandes** zeigt dann über das Protokoll auch, dass Knoten 5 nicht ausreichend mit dem System verbunden ist und beliebig rotieren kann.



#### Stabendgelenke ✓

- Knoten 5 ist verdrehbar um die r-Achse
- Knoten 5 ist verdrehbar um die s-Achse
- Knoten 5 ist verdrehbar um die t-Achse



Als Fehlermeldungen des Rechenlaufs bei Verschieblichkeit oder Verdrehbarkeit des Systems oder eines Teilsystems werden die betroffenen **Freiwerte** (FW) in folgender Reihenfolge protokolliert: FW 1-3 Verschiebungen in globaler X-, Y-, Z-Richtung; FW 4-6 Verdrehungen um X-, Y- und Z-Achsen.



Somit sind für einen der angreifenden Stäbe die Gelenkenbedingung für die Momente wieder zu entfernen. Klicken Sie bitte hierzu den von Ihnen gewählten Stab doppelt mit der LMT an und im Eigenschaftsblatt den Button für die Gelenkzuweisung.

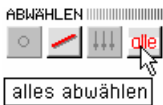
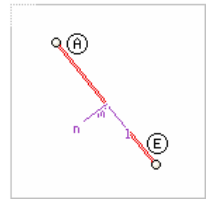


Zur ausreichenden Fesselung des Knotens 5 ist es erforderlich, einen Stab mit ihm biegesteif zu verbinden. Die eingeblendete Staborientierung hilft bei der korrekten Auswahl. Fesseln Sie im dargestellten Fall alle Momentenfreiheitsgrade des Anfangsknotens.



Bei Aufruf der Funktionen über die Steuerbuttons in der oberen Zeile werden die neuen Parameter allen ausgewählten Objekten (hier Stäben) zugewiesen. Bei Doppelklick auf ein Objekt übernimmt nur dieses die neuen Einstellungen, unabhängig vom Gesamtauswahlstatus.

Staborientierung in der aktuellen Ansicht



Unserem System fehlen zur sinnvollen Berechnung nur noch Lagerungsbedingungen und Lasten.

Wählen Sie bitte vor der nächsten Aktion alle aktuell ausgewählten Elemente ab.

Aktivieren Sie nun die vier Knoten des unteren Rechtecks durch Aufziehen eines Fangrechtecks (s. S. 4). Hierdurch werden auch die mit dem Rechteck umfassten Stäbe aktiviert.

## Lagerangaben

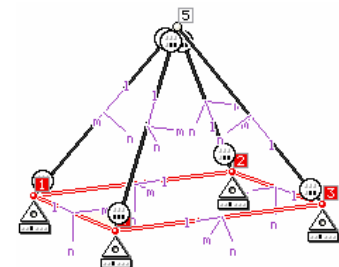


Betätigen Sie nun bitte den Button zur Definition von Lagerangaben. Da sowohl Knoten als auch Linien aktiviert sind, erfolgt eine differenzierende Abfrage, ob Knoten oder Stäbe behandelt werden sollen. Klicken Sie bitte auf den Button **Knotenlager**.



Die Lagerangaben beziehen sich auf das Knotenlagersystem r-s-t. Wir kommen gleich dazu. Drücken Sie nur den Button für die Festhaltung der Vertikaldurchsenkung in t-Richtung ein und **bestätigen** Sie die Eingabe.

FREIWEIT	LAGERUNGSART	FEDERKONSTANTE	DIM.
<b>Verschiebungsbehinderungen</b>			
r		0,00 kN/m	
s		0,00 kN/m	
t		0,00 kN/m	
<b>Verdrehungsbehinderungen</b>			
r		0,00 kNm	
s		0,00 kNm	
t		0,00 kNm	
rst-System definieren			



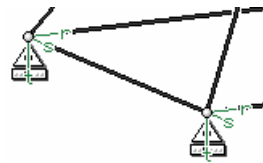
Analog zur Symbolik bei den Gelenkangaben repräsentieren die grauen und schwarzen Blöcke an den Lagerknoten freie Beweglichkeit bzw. Fesselung der Verschiebungen in r-s-t und Verdrehungen um die r-s-t-Achsen (von links nach rechts).

Da nur Lagerungen in vertikaler Verschiebungsrichtung vorhanden sind, ist unser System offensichtlich verschieblich, was vom Rechenprogramm mit einer entsprechenden Mitteilung auch kenntlich gemacht werden wird.



Zur ausreichenden Fesselung sollen noch drei Verschiebungsfesthaltungen in horizontaler Richtung eingeführt werden. Hierzu werden zuerst die Knotenkoordinatensysteme über den Button **Darstellungsoptionen** sichtbar gemacht.

- Symbole an Knoten**
- ☐ Knotennummer
  - ☒ r-s-System
  - ☒ Lagersymbol

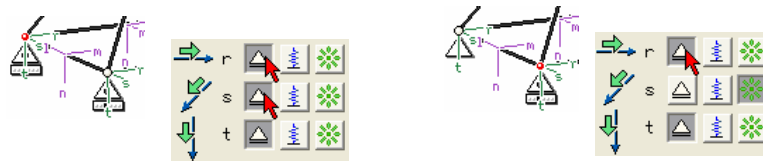


Offensichtlich liegen die r-s-t-Knotenkoordinatensysteme parallel zum globalen X-Y-Z-System, solange für die Knoten keine anderen Definitionen vorgenommen werden.



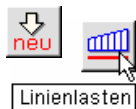
**alle**

Deaktivieren Sie nun die aktuelle Auswahl über den Button **alle**, aktivieren Sie den hinteren der im vorhergehenden Bild gezeigten Knoten, fesseln Sie zusätzlich die Verschiebungen in r- und s-Richtung. Verfahren Sie dann in gleicher Weise mit dem vorderen Knoten: Erst abwählen und dann Fesseln seiner r-Richtung.

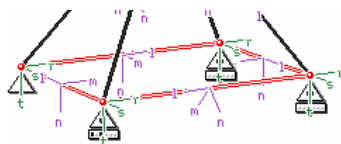


Zur Lasteingabe müssen wir wieder auf die Lastfallfolie 1 wechseln. Dies ist wie bereits im Beispiel 1 gezeigt zum Scheitern verurteilt, wenn nicht vorher ein Lastfall eingerichtet wird. Gehen Sie bitte wie auf S. 18 gezeigt vor und richten den Lastfall Eigengewicht ein. Wechseln Sie dann auf die Lastfallfolie 1.

## Linienlasten



Aktivieren Sie nun die unteren vier Stäbe mittels Fangrechteck. Weisen Sie den Stäben dann bitte über die gezeigten Buttons Linienlasten zu.



**Linienlasten**

**LASTGEOMETRIE**

a= 0.000  
l= 0.000  
e= 0.000

**LASTRICHTUNG**

Typ: G

**LASTORDINATEN in kN/m**

	LINKS	RECHTS
qx	0.000	0.000
qy	0.000	0.000
qz	10.000	0.000
m1	0.000	0.000

**STABORIENTIERUNG IN AKTUELL GEWÄHLTER BLICKRICHTUNG**

Referenzstablänge: 4.000 m

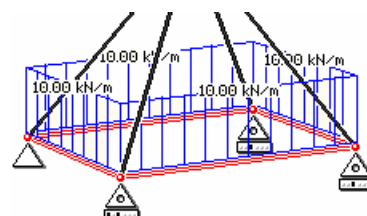


Weitere Informationen über die Eigenschaftsblätter erhalten Sie immer über den **Hilfe**-Button.



Wenn Sie über den Button **Darstellungsoptionen** die Ordinaten der Linienlasten einblenden, entsteht folgende Darstellung.

- Lastdarstellung in Lastfallfolie**
- ☒ Eigengewichtslasten
  - ☐ mit Ordinatenangaben
  - ☒ Linienlasten
  - ☒ mit Ordinatenangaben





Die abschließende Datenzustandskontrolle ergibt keine außergewöhnlichen Zustände.

**Ergebnisvisualisierung** Führen Sie nun bitte die Berechnung durch und rufen dann die Ergebnisvisualisierung.



Datenzustand sichern  
und Rechenlauf starten



Ergebnisse am Bildschirm  
visualisieren

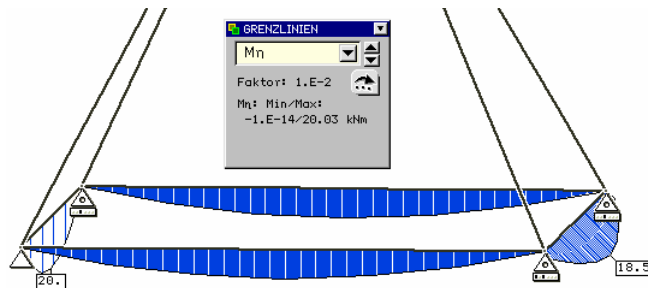
An die Querschnitte sind die Umhüllenden der jeweiligen Abmessungen angetragen. Die Verdrehung des Hauptachsensystems des vorderen Stabes wird dadurch ähnlich zur fotorealistischen Darstellung der Eingabe auch hier sichtbar.



Schalten Sie in der Auswahlliste rechts oben von **System-** auf **Lastfalldarstellung** um, klicken auf die Schalttafel für Grenzl意思 und wählen dort den Verlauf für  $M_{\eta}$  aus.



Durch leichte Rotation der Darstellung wird deutlich, dass die Zustandsgrößen in Richtung der Hauptachsen angetragen werden.



Probieren Sie bitte innerhalb der Ergebnisvisualisierung selbständig andere Darstellungen aus. Verlassen Sie dann die Ergebnisvisualisierung und auch die grafische Eingabe. Die Interaktion befindet sich dann für das folgende Beispiel wieder auf dem DTE®-Schreibtisch.

## 4.5

## Gruppendefinition, Voutung, exzentrischer Anschluss

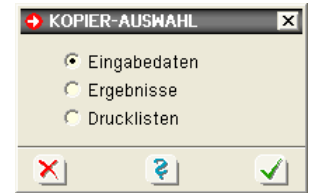
### Kopieren

Das im vorhergehenden Abschnitt erzeugte System soll als Basis für das nun folgende Beispiel dienen. Wir wollen es dafür kopieren und dann modifizieren.



Wählen Sie das *Beispiel 4* durch Anklicken mit der LMT aus. Der Hintergrund des Icons wird weiß und die Berandung dick und schwarz. Klicken Sie nun auf das **Kopieren**-Symbol im Kopfbereich des Schreibtischs.

Die daraufhin erscheinende Kopierauswahl hat bereits lediglich die Eingabedaten aktiviert.



Nach Bestätigen erscheint ein Hinweis zur weiteren Vorgehensweise. Wenn dieser quittiert wird, ist der Button **Bauteilkopie einfügen** aktiviert.

Durch Anklicken des Zielorts können Sie das Bauteil mit der LMT auf dem Schreibtisch platzieren.



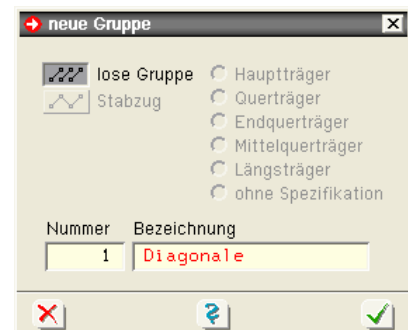
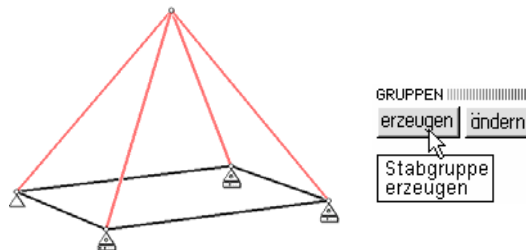
Ändern Sie bitte die Bauteilbezeichnung *Beispiel 5*. Klicken Sie das Bauteil hierzu einmal mit der LMT an und rufen Sie durch Drücken der RMT das Menü *Sonstiges-Bezeichnung bearbeiten*.

Rufen Sie nun die grafische Eingabe durch Doppelklicken des Bauteils auf. Die Interaktion befindet sich daraufhin in der Systemfolie.

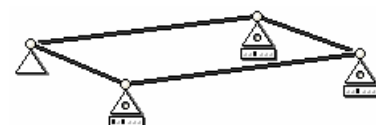
### Gruppenbildung

Die grafische Eingabe gestattet die Zusammenfassung von Stäben zu Gruppen. Welches Kriterium zur Gruppenbildung herangezogen wird, bleibt dem Benutzer entsprechend der vorhandenen Systemstrukturierung überlassen. Wir wollen hier festlegen, dass die zum Firstpunkt führenden Diagonalen wegen einheitlicher Querschnitte eine Gruppe bilden sollen.

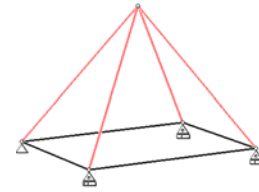
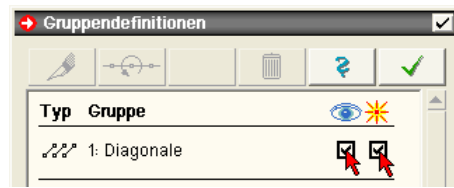
Markieren Sie bitte die vier gezeigten Stäbe mit der LMT und klicken dann den Button **Stabgruppe erzeugen** an. Der neuen Gruppe kann zur Identifikation eine Bezeichnung zugewiesen werden.



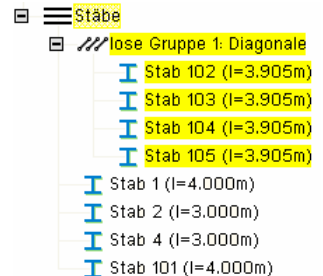
Klicken Sie den Button **Stabgruppen ändern** an. Durch Anklicken der Bezeichnung *Diagonale* werden die Buttons im Kopfbereich des Eigenschaftsblatts aktiv. Klicken Sie nun den kleinen Haken unter dem Augensymbol an, so dass dieser verschwindet. Hierdurch wird die Gruppe von der Darstellung ausgeschlossen. Dies kann bei komplexen Systemen sehr hilfreich sein. Nach **Bestätigen** werden nur noch die Stäbe der Basis gezeigt.



Klicken Sie nun den Button **Stabgruppen ändern** nochmals an. Aktivieren Sie die Darstellung der Gruppe wieder und zusätzlich den Knopf für **ausgewählt**. Hierdurch erscheint nach Beenden der Gruppendefinition wieder der vorherige Auswahlstatus.



Die Gruppen stehen weiterhin im Baumansichtsfenster unter den Stabobjekten zur Auswahl zur Verfügung. Aktivierte Objekte werden hier durch gelbe Hinterlegung kenntlich gemacht.



Angeklickte Einzelobjekte (Knoten, Stäbe) werden durch eine kleine Animation während der Aktivierung hervorgehoben. Klicken Sie zum Beispiel einen Einzelstab im Objektbaum an.

## Querschnitte

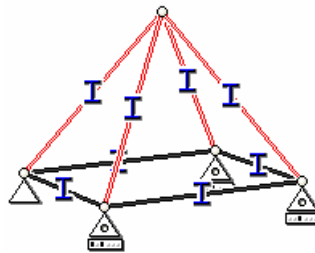
Wir haben in den vorhergehenden Berechnungen festgestellt, dass die Stäbe bei ihrer Erzeugung Steifigkeitseigenschaften zugewiesen bekommen haben.



Welche Querschnitte hierfür zu Grunde gelegt wurden, war in der fotorealistischen Darstellung sichtbar gemacht worden, kann aber auch über den Button **Darstellungsoptionen** angezeigt werden.

### Symbole an Stäben

- ☒ elastische Bettung
- ☐ Gelenksymbol kle
- alternativ in Stabmitte:
- ☐ Stabnummer
- ☒ Querschnittssymbol
- ☐ Profilbezeichnung



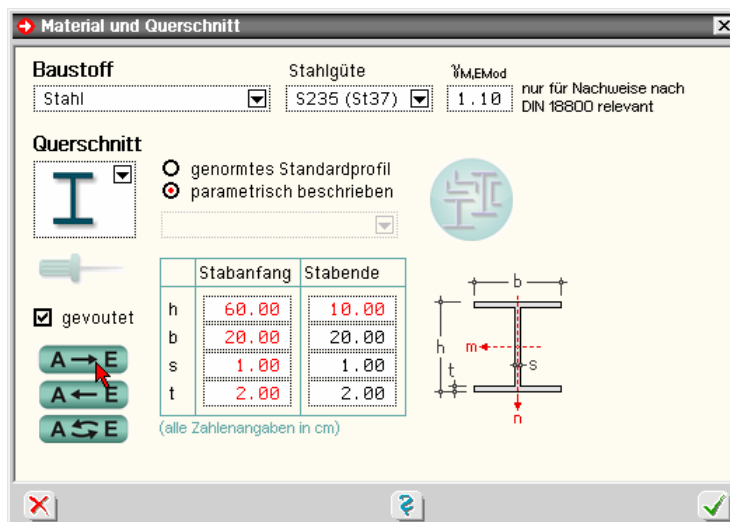
## Voutung



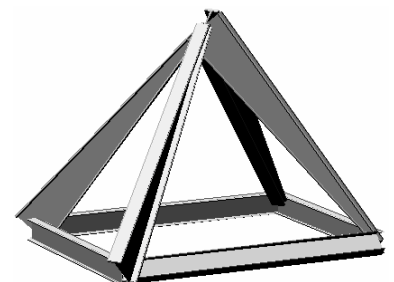
Querschnitts-  
angaben

Die aufgehenden Stäbe sollen gevoutet werden. Klicken Sie hierzu den Button **Querschnittsangaben** an und drücken dort die Knöpfe zur parametrisierten Beschreibung und Voutung.

Um den Voutungsverlauf in unserem System deutlich werden zu lassen, wollen wir übermäßig große Querschnitte definieren. Tragen Sie in die Eingabefelder wie gezeigt ein. Die **Kopier**-Buttons leisten hier Hilfestellung. Bestätigen Sie nun die Eingaben Mal und rufen die fotorealistische Darstellung auf.

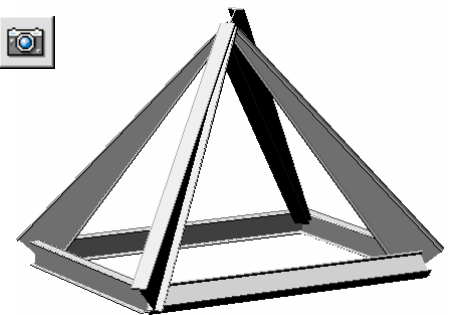
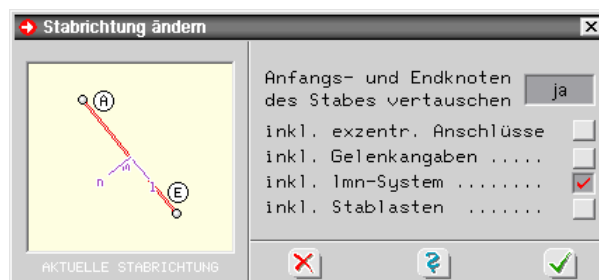
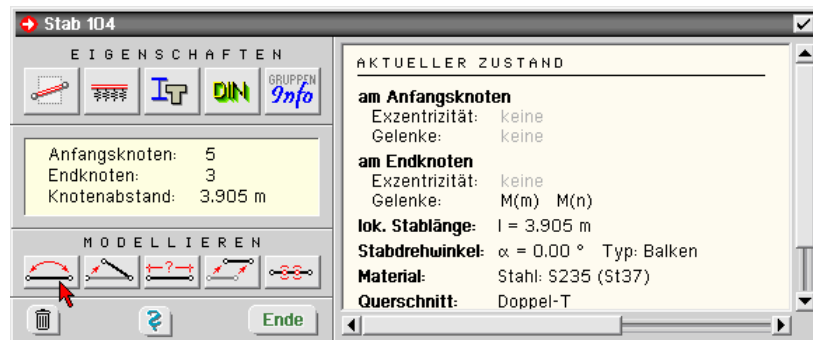


fotorealistische  
Darstellung



Hier zeigt sich, dass das nicht so geklappt hat, wie geplant. Die Ursache liegt in der Anfangs-Endpunkt-Definition der Stäbe. Sie waren auf S. 27 durch Verschneiden der durchgezogenen Diagonalen in der Basis erzeugt worden. Die geteilten Stäbe haben nun einmal den Endpunkt im Firstknoten, und der anschließende Stab hat dort seinen Anfangspunkt.

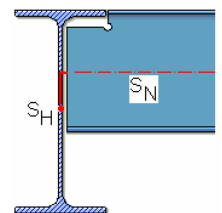
Klicken Sie nun einen zu ändernden Stab doppelt an und in seinem individuellen Eigenschaftsblatt den Button **Stabrichtung ändern**.



Die aktuelle Orientierung des Stabes wird im Informationsfenster angezeigt. Zusätzliche Buttons ermöglichen weitere Änderungen der Definitionen. Hier ist es aus Gründen der Vereinheitlichung sinnvoll, auch das Stabkoordinatensystem l-m-n umzudrehen, so dass alle positiven Stabrichtungen zum Firstpunkt zeigen.

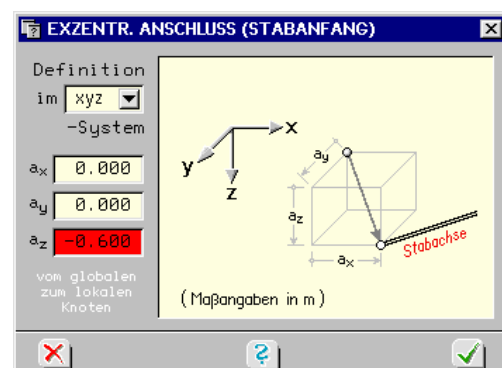
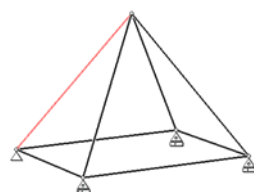
Die fotorealistische Darstellung zeigt die Änderungen an. Im vorliegenden Fall müsste für die hintere fallende Diagonale in gleicher Weise verfahren werden.

**Exzentrischer Anschluss** Die Netzlinien (Verbindungen Anfangsknoten – Endknoten) der bisher erzeugten Stäbe fallen mit ihren jeweiligen Längsachsen im Schwerpunkt zusammen. Durch Einfügen eines starren Abschnitts, der zum lokalen Stabknoten führt, kann jeder Stab exzentrisch an seinen globalen Knoten angekoppelt werden. Dies ist z.B. der Fall, wenn die Schwerachsen niveaus von Haupt- und Nebenträger nicht zusammenfallen.

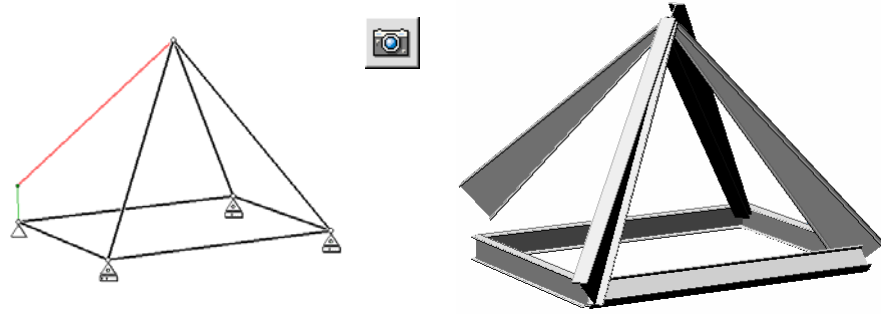


Klicken Sie bitte den linken hinteren Stab doppelt an, in seinem individuellen Eigenschaftsblatt den Button zur Definition exzentrischer Anschlüsse und dort den **bearbeiten**-Button *exzentrischer Anschluss am Anfangsknoten*.

Um das Ergebnis deutlich sichtbar zu machen, wird hier ein unnötig großer Wert eingetragen.



Im Darstellungsfenster werden die starren Stabendabschnitte durch dünne grüne Linien angezeigt, die vom globalen zum lokalen Stabknoten führen. Die fotorealistische Darstellung zeigt die Stäbe ohne Verbindungen.





## Einwirkungen, Lastfälle, Imperfektionen, Überlagerung und Bemessung

Erzeugen Sie nun bitte eine Kopie des Beispiels 1 (kleine Halle) und bezeichnen Sie das neue Bauteil als *Beispiel 6*. Zum Erstellen einer Kopie sehen Sie ggf. auf S. 33 nach.

Dem Bauteil werden nun weitere Stäbe hinzugefügt, die Werkstoffangaben geändert, Einwirkungen und Lastfälle erzeugt und werkstoffspezifische Nachweise definiert, so dass für Stahlbetonbauteile Bewehrungsquerschnitte und für Holz- und Stahlstäbe Spannungen ermittelt werden können.



Rufen Sie die grafische Eingabe auf.

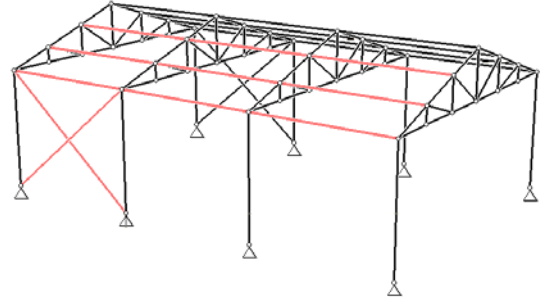


Drehen Sie die Struktur bitte auf die unfertige Bauteilseite.



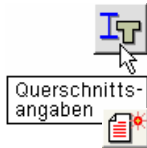
Erzeugen Sie nun die gekennzeichneten Stäbe neu.

Beachten Sie bei der Erzeugung der Stäbe unbedingt den abwechselnden Gebrauch der linken und rechten Maustasten (s. hierzu auch S. 13). Die Staberzeugung kann mit der Esc-Taste beendet werden.

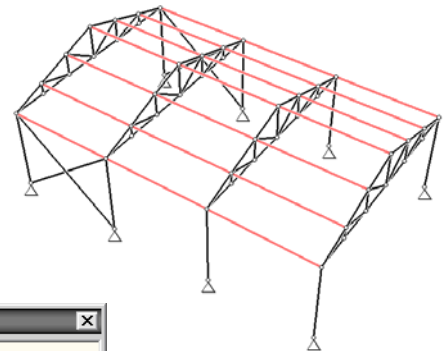


Wie wir bereits erwähnt haben, werden allen neuen Stäben Stahlquerschnitte zugewiesen. Ob diese Standardquerschnitte hier an allen Orten erforderlich sind, soll nicht weiter interessieren. Wir wollen im Folgenden für die Stützen Stahlbeton-, für die Pfetten Holzquerschnitte und für die Diagonalen Rundstähle definieren.

**Holzquerschnitte** Aktivieren Sie alle Pfetten in den Dachebenen und weisen Sie ihnen Holzrechteckquerschnitte zu.



In der Projektbearbeitung kann es zudem sinnvoll sein, diese Stäbe zu einer oder mehreren Gruppen zusammenzufassen oder Auswahllisten (ggf. je Dachhälfte eine) zu bilden, um einen schnellen Zugriff auf alle gleichartigen Stäbe zu ermöglichen.



**Material und Querschnitt**

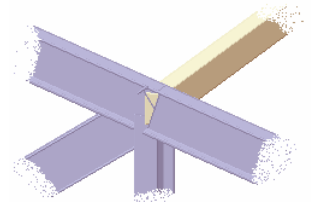
**Baustoff** Holz ▼
**Holzart** Nadelholz ▼
**Holzgüte** C24 (S10) ▼

**Querschnitt**

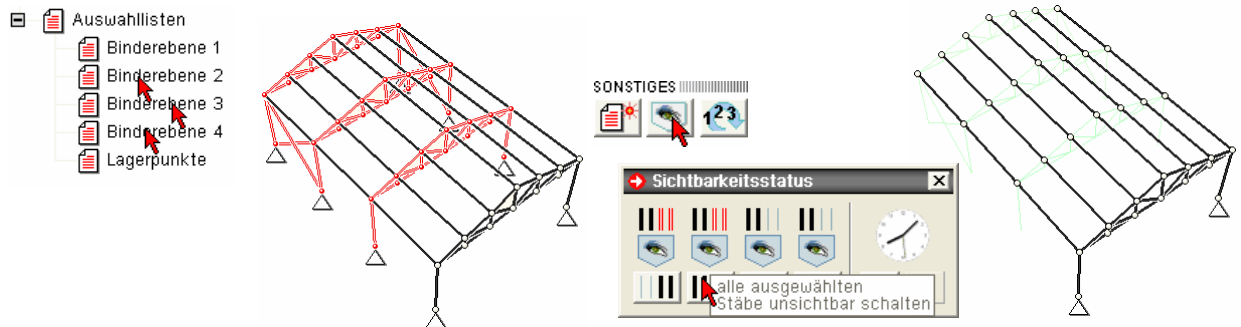
☐ gevoutet

	Stabanfang	Stabende
h	20.00	
b	12.00	

(alle Zahlenangaben in cm)



**Sichtbarkeitsstatus** Für den nächsten, die Dachpfetten betreffenden Arbeitsschritt ist es sinnvoll, die Systemdarstellung etwas "auszudünnen". Hierzu werden die Binder 2 bis 4 und die Diagonalen abgeblendet. Markieren Sie bitte die Binder durch Anklicken in der Auswahlliste und die Diagonalen direkt mit der LMT (wenn diese wie auf S. 16 erwähnt gespeichert wurden). Dadurch ergibt sich der dargestellte Auswahlzustand.

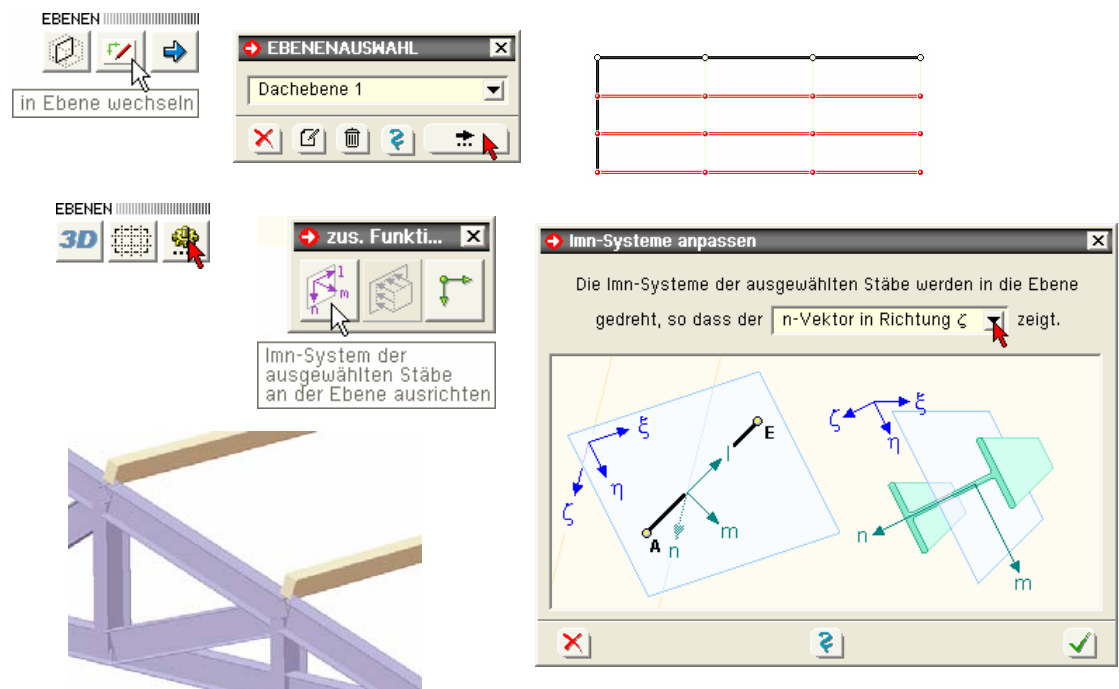


Über den Button **Sichtbarkeitsstatus ändern** wird ein entsprechendes Menü aufgerufen über dessen Schalter die möglichen Auswahlzustände unsichtbar gestellt werden können. Falls die blass dargestellten Stäbe auf Grund der Helligkeitseinstellung des Monitors überhaupt nicht mehr sichtbar sein sollten, kann unter den **Darstellungsoptionen** eine kräftigere Linie gewählt werden.

## Ausrichtung lokaler Stabkoordinatensysteme an Ebene

Die fotorealistische Darstellung auf S. 37 zeigt, dass die Holzpfetten nicht in Dachrichtung geneigt sind; ihre Hauptachseneinrichtungswinkel sind entsprechend der Dachneigung festzulegen. Hierfür steht ein spezielles Werkzeug bereit.

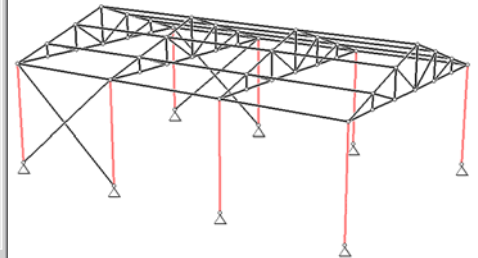
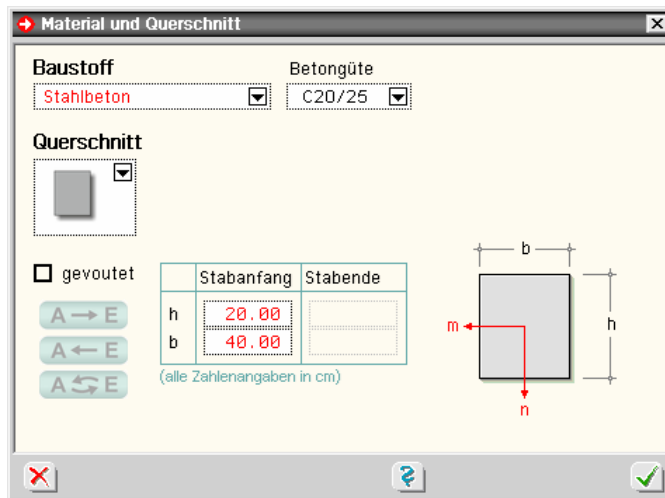
Wir haben bei der anfänglichen Bearbeitung des Beispiels 1 auf S. 17 die Dachebene 1 erzeugt, die nun wieder aufgerufen werden soll. Klicken Sie dazu den Button **in Ebene wechseln** an und aktivieren Sie **Dachebene 1**. Markieren Sie dort die Pfetten im Sattelbereich.



Klicken Sie nun den Button **Sonderfunktionen** an. Wählen Sie in der dortigen Auswahlliste **n-Vektor in Richtung  $\zeta$** . Nach Bestätigen, Wechsel in die 3D-Ansicht und mit Definition von Exzentrizitäten zeigt die fotorealistische Darstellung das gewünschte Ergebnis der Aktion.

## Stahlbetonquerschnitte

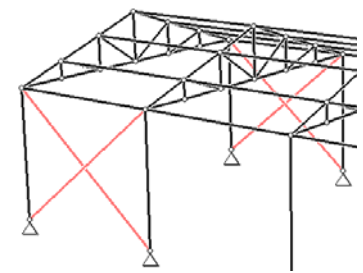
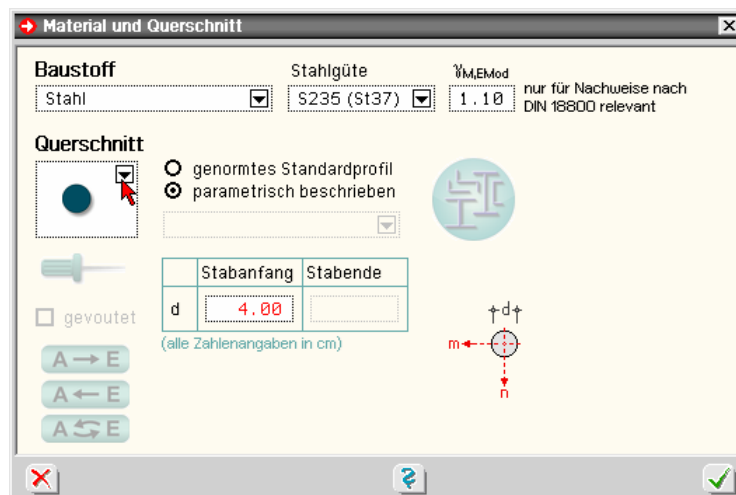
Wählen Sie die Stäbe nun wieder ab und stellen alle Stäbe wieder auf "sichtbar". Aktivieren Sie dann die Stützen und weisen ihnen Stahlbetonquerschnitte zu. Über die Liste **Betongüte** können die Materialkennwerte unterschiedlicher Betone abgerufen werden. Für die Berechnung nach EC 2 ist hier C25/30 gewählt worden.



Auch hier bietet sich wieder die Definition einer Auswahlliste für die Stahlbetonstützen an.

## Stahlquerschnitte

Wählen Sie die Stützen wieder ab und aktivieren Sie die Diagonalen. Sie sollen mit Rundstahlquerschnitten und Gelenkbedingungen versehen werden.

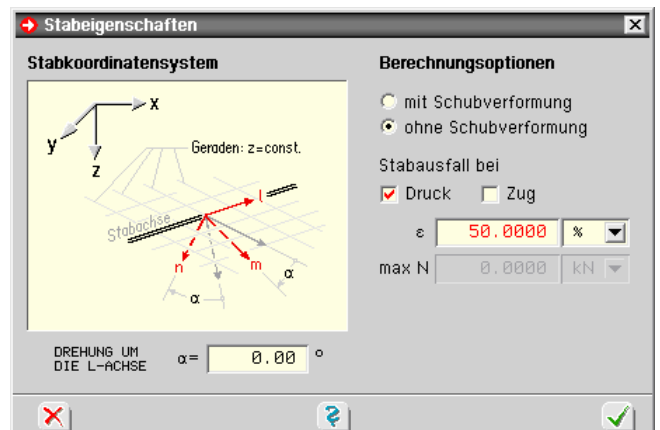


Blättern Sie die Liste der zur Verfügung stehenden Querschnitte durch Anklicken des Pfeilsymbols auf und weisen dem Rundstahl den Durchmesser zu.

## Druckstabausfall

Über den Button **individuelle Stabeigenschaften** und den **Scherenbutton** im Eigenschaftsblatt *lokale Stabgeometrie* erscheint ein E. mit Berechnungsoptionen.

Aktivieren Sie dort **Stabausfall bei Druck**. Der Wert  $\varepsilon$  gibt an, ab Erreichen welches Prozentsatzes der Knicklast (Eulerfall 2) der Stab aus dem System entfernt werden soll.





Für den Druck/Zugstabausfall sollte immer eine zu ertragende Last angegeben werden, damit der Iterationsprozess in Gang kommen kann. Bei Vorgabe eines 0-Wertes besteht die Gefahr, dass das System von Beginn der Berechnung an instabil wird, ohne eine ausreichende Horizontalauslenkung zur Aktivierung von Zug/Druckstäben erreichen zu können.

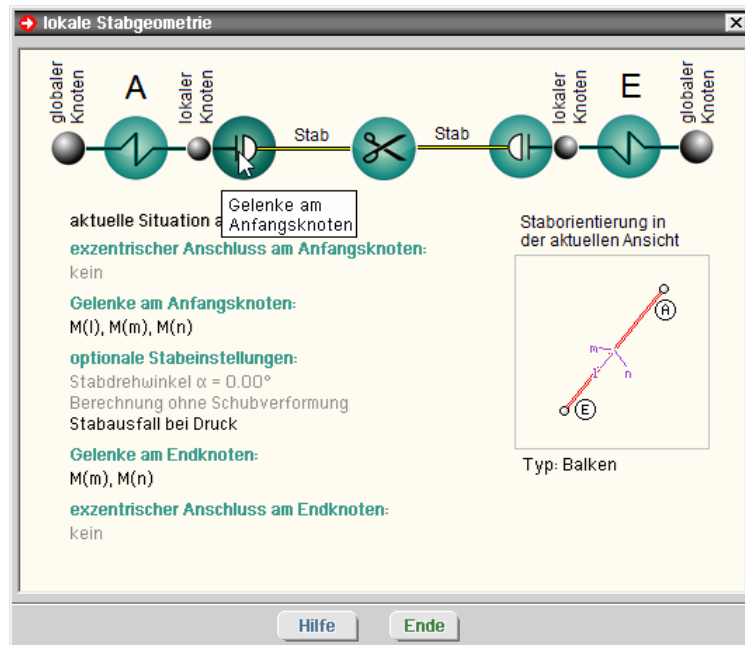
## Gelenke



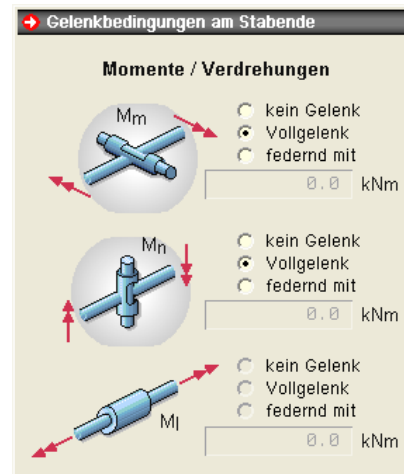
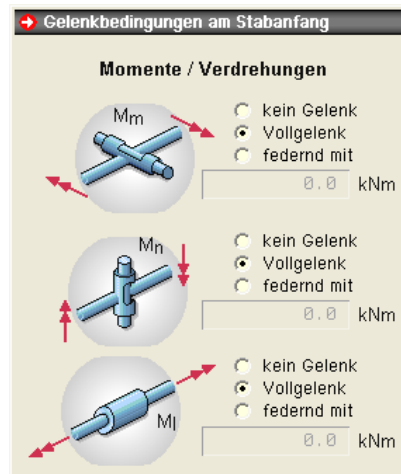
individuelle  
Stabeigenschaften

Über den Button **individuelle Stabeigenschaften** werden allen aktivierten Stäben Gelenkbedingungen in einem Rutsch zugeordnet.

Auch hier wird nochmals deutlich, dass das Programm nur solche Gelenkbedingungen zulässt, die eine Teilsystemunverschieblichkeit gewährleisten.



Weisen Sie nun die gezeigten Gelenkbedingungen für Stabanfang und -ende zu.



Wie auf S. 34 gezeigt, können Querschnittssymbole als Darstellungseigenschaften eingeblendet werden.

## Laststruktur

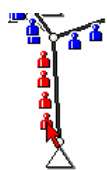


Von der Systemseite her sind nun alle für das Beispiel notwendigen Modifikationen vorgenommen worden. Wir können zur Eingabe der Belastung kommen. Wie aus dem Eigenschaftsblatt *Verwaltung der Einwirkungen* auf S. 18 ersichtlich ist, haben wir dort neben dem Eigengewichtslastfall je zwei Wind- und Schneelastfälle erzeugt. Im Folgenden sollen diese Lastfälle mit Lastbildern gefüllt werden.

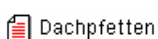
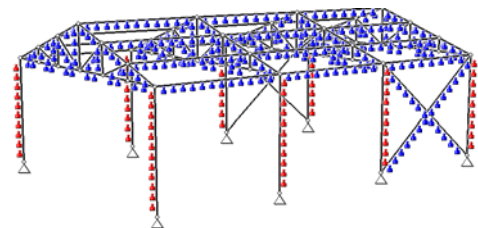
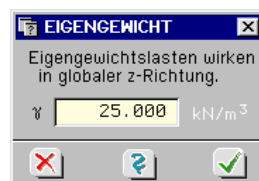


Wechseln Sie nun bitte aus der Systemfolie auf Lastfallfolie 1. Dort werden die vormals eingegebenen Eigengewichtslasten angezeigt, wobei die neu erzeugten Stäbe noch keine Lasten aufweisen. Zum einen können Sie diese Lasten ergänzen, zum anderen weisen auch die jetzigen Stahlbeton- und Holzstäbe fälschlicherweise das gleiche Raumgewicht  $\gamma$  wie die Stahlstäbe auf.

## Lasten ändern



Da die Werkstoffe verändert wurden, stimmt dies so nicht mehr. Aktivieren Sie nun bitte die Lastsymbole der Stützen und rufen Sie über die nebenstehenden Buttons das Eigenschaftsblatt zur Eingabe des Eigengewichts.



Ändern Sie nun bitte selbstständig das Eigengewicht der bereits belasteten Dachpfetten und ergänzen die Lasten für die zweite Dachhälfte. Zur Aktivierung der Stäbe kann die vorher definierte Auswahlliste *Dachpfetten* genutzt werden.

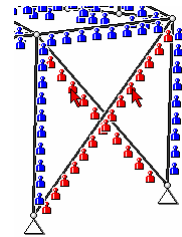


**Druckstabausfall** Auf S. 39 ist vereinbart worden, dass sich die Diagonalen einer Druckbeanspruchung entziehen sollen. Derartige Bauglieder müssen unbelastet bleiben, da die genannte Systemnichtlinearität über zusätzliche Gelenkbedingungen für die betroffenen Stäbe iterativ erfasst wird. Dies führt bei Belastung zu irritierenden Deformationsbildern derart vom System gelöster Stäbe.

Wählen Sie bitte alle Lastbilder ab und klicken Sie dann die Eigengewichtslastbilder der beiden in Beispiel 1 belasteten Diagonalstäbe an und löschen Sie sie.



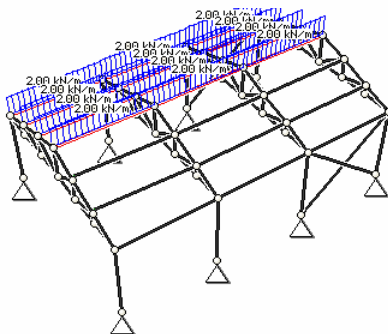
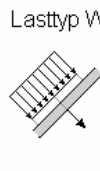
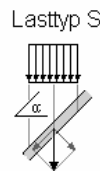
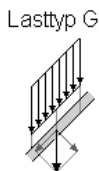
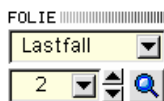
Stäbe mit Druck/Zugausfall müssen unbelastet sein!



## Linienlasten

Wechseln Sie nach Beendigung der Eingaben auf die Folie LF 2. In der Statuszeile am unteren Bildschirmrand wird die Lastfallbezeichnung *Schneelast (1)* protokolliert.

Markieren Sie bitte die Stäbe der linken Dachhälfte; hierbei ist wieder die oben definierte Auswahlhilfe hilfreich. Rufen Sie dann über die nebenstehend dargestellten Buttons die Eingabe der Linienlasten auf. Ändern Sie dann den Lasttyp und tragen die Lastordinate  $q_z = 2.0 \text{ kN/m}$  ein.



Linienlasten

anwenden auf:
☒ Stabketten
☐ Einzelstäbe

INFO

LASTGEOMETRIE

A

E

a= 0.000  
l= 0.000  
e= 0.000

LASTRICHTUNG

Typ: S

LASTORDINATEN in kN/m

	LINKS	RECHTS
qx	0.000	0.000
qy	0.000	0.000
qz	2.000	0.000
ml	0.000	0.000

STABORIENTIERUNG IN AKTUELL GEWÄHLTER BLICKRICHTUNG

Referenzstablänge: 6.000 m

✗

?

✓



Weitere Informationen zu den anderen Lasttypen erhalten Sie über die Online-Hilfe.



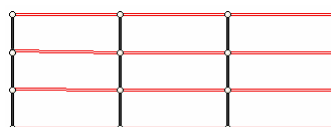
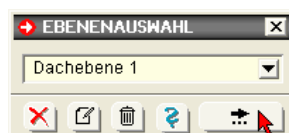
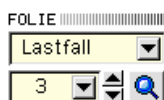
Wenn den Linienlasten über die Darstellungsoptionen Lastordinaten zugewiesen werden, ergibt sich das oben links dargestellte Bild.

## Flächenlasten

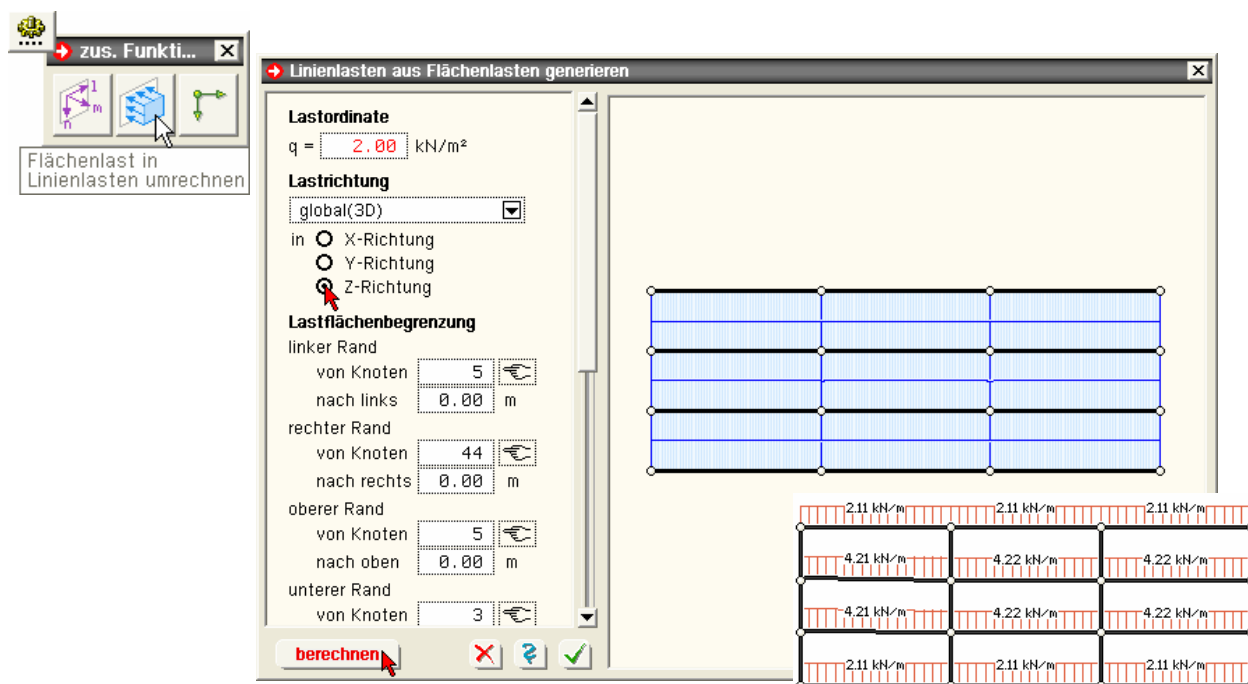
Wechseln Sie nun bitte auf Lastfallfolie 3 *Schneelast (2)*.

Die im Lastfall 2 beschriebene Lastverteilung des Schnees auf die Dachpfetten mit Annahme einer gleichmäßigen Verteilung der Last ist eine Möglichkeit der Vorgehensweise. Für die zweite Dachhälfte wollen wir nun die aus der Schneelast herrührende Flächenlast auf die Dachpfetten automatisch verteilen lassen.

Wechseln Sie bitte aus der 3D-Ansicht in den Ebenenmodus zur auf S. 17 erzeugten Dachebene und markieren die Pfetten.



Klicken Sie dann die Buttonfolge, um zur Umrechnungsfunktion Flächenlasten in Linienlasten zu gelangen. Tragen Sie dort bitte die Lastordinate ein und ändern die Lastrichtung. Nach Berechnung und Bestätigen des Eigenschaftsblatts ergibt sich im Ebenenmodus die dargestellte Linienlastverteilung.



Schalten Sie bitte wieder auf die 3D-Darstellung um und wechseln dann zurück in den Ebenenmodus *Binderebene 1*. Gehen Sie dann auf Lastfallfolie 4 *Windlast (1)*.



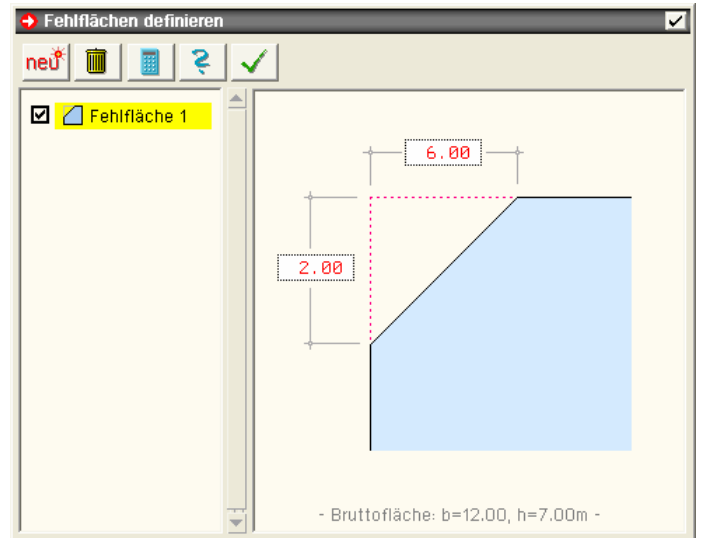
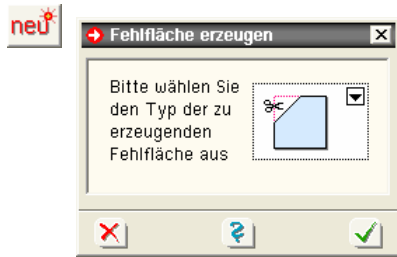
Markieren Sie dort alle Stäbe der Binderebene und wählen die Füllstäbe des Fachwerks wieder ab. Klicken Sie dann wieder die Buttonfolge, um zur Flächenlastumrechnung zu gelangen. Die Lastordinate spielt keine weitere Rolle, nur soll der Wind senkrecht zur Wand in X-Richtung blasen.



Mit diesen Angaben erhalten wir das rechts dargestellte Belastungsbild. Jedoch werden die beiden über die Dachfläche hinauschießenden Dreiecksflächen zu einer erhöhten Belastung des Giebels führen. Aus diesem Grunde besteht die Möglichkeit, Fehlflächen der Belastungsebene zu beschreiben. Scrollen Sie bitte den linken Bereich des Eigenschaftsblatts nach unten bis der Link **Fehlflächen bearbeiten** sichtbar wird und klicken ihn an.

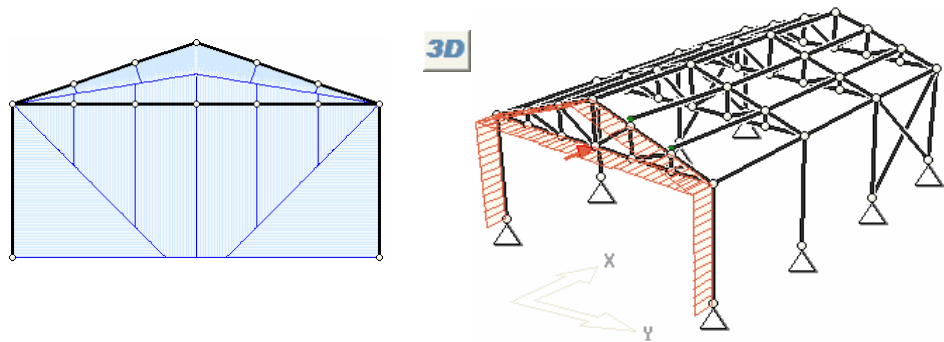


[Fehlflächen bearbeiten](#)

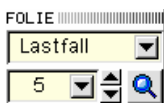


Erzeugen Sie dort eine neue Fehlfläche, wählen den Typ aus und tragen die sich auf Grund der auf S. 12 dargestellten Systemabmessungen ergebenden Maße der Fehlfläche ein.

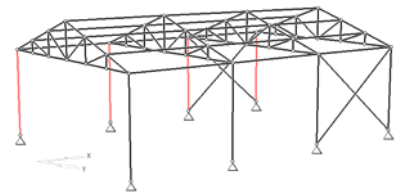
Erzeugen Sie dann für die rechte Giebelhälfte in gleicher Weise die Fehlfläche 2. Damit ergibt sich die gewünschte Lastfläche, die nun berechnet werden kann.



Da die Lasten in globaler X-Richtung wirken, sind in der Y-Z-Binderebene keine Lasten erkennbar. In der 3D-Ansicht ergibt sich die oben rechts dargestellte Belastung.



Im Lastfall 5 soll der Wind in positiver Y-Richtung gegen die Seitenwand blasen. Erzeugen Sie diese Belastung bitte in der gezeigten Weise selbständig.



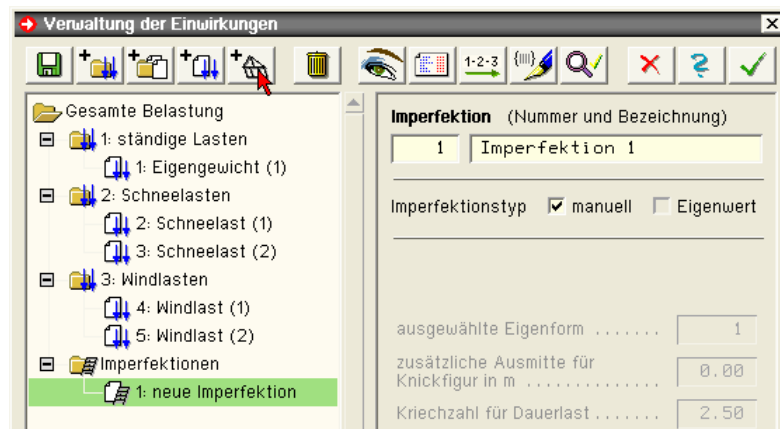
Selbstverständlich können Sie in den einzelnen Lastfallfolien Ergänzungen nach Belieben vornehmen. Zur Ergebnisüberlagerung sollten lediglich von 0 verschiedene Lasten vorhanden sein, damit Sie durch die Anschauung und das Nachvollziehen der überlagerten Einzelgrößen Vertrauen zu #FRAP gewinnen.

## Imperfektionen

Beim Aufruf des Assistenten zur Laststrukturierung (S. 18) wurde bereits darauf hingewiesen, dass jederzeit Ergänzungen und Änderungen an dem dadurch erstellten Einwirkungs- und Lastfallfundus vorgenommen werden können. Wir haben im Beispiel 1 auf die Vorgabe von Imperfektionen verzichtet und wollen dies jetzt nachholen.



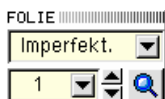
Klicken Sie bitte auf den Button **Einwirkungen und Lastfälle definieren** und dort auf den Button **eine neue Imperfektion hinzufügen**.



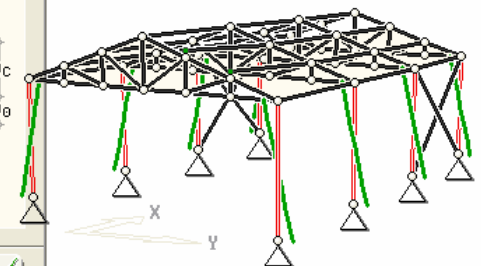
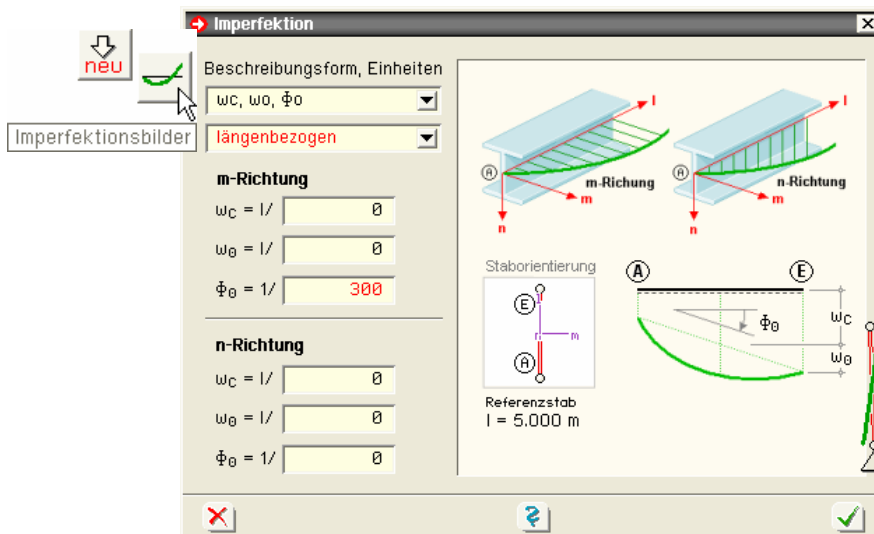
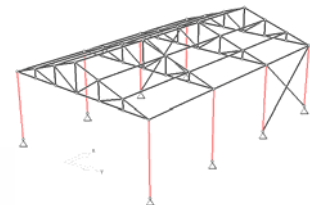
Über die Buttons im Kopfbereich des Eigenschaftsblatts können neue Einwirkungen, Lastfälle, Lastfallordner und Imperfektion hinzugefügt bzw. vorhandene gelöscht werden.



Die Interaktion innerhalb der Verwaltung der Nachweise ist ausführlich im Handbuch **das pcae-Nachweiskonzept** beschrieben.



Wechseln Sie jetzt bitte auf die Imperfektionsfolie und aktivieren Sie die acht Stützen (über die Auswahlliste **Stahlbetonstützen**).



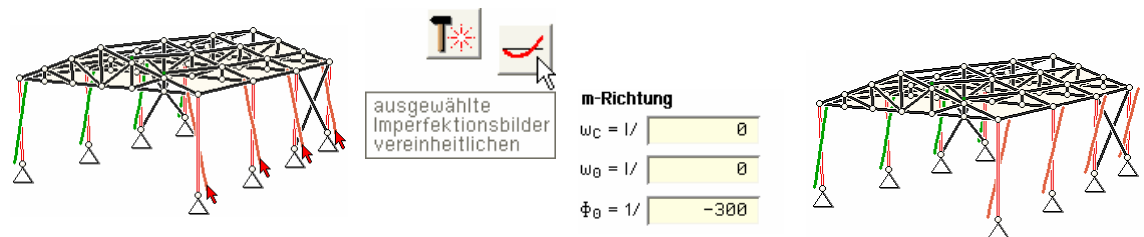
Rufen Sie dann über die oben gezeigten Buttons das Eigenschaftsblatt zur Eingabe der Imperfektionen auf, wechseln dort auf die längenbezogene Beschreibungsform und tragen den Wert für die Schiefstellung ein.

Die Schiefstellungen werden durch Rotation eines grünen Balkens um den Schwerpunkt des Stabes dargestellt. Diese Darstellungsform des Lastbilds hat nichts mit der auf Grund der Festhaltungen und Verknüpfungen im System möglichen Auslenkung zu tun. Für alle Stützen wurden gleiche Werte der Schiefstellungen vorgegeben, jedoch ergeben sich offensichtlich auf der linken Gebäudeseite andere Lastbilder als auf der rechten Seite. Die Begründung liegt in der unterschiedlichen Richtung der lokalen Stabkoordinatensysteme.

Die Festlegung der lokalen **Koordinatensysteme** erfolgt implizit durch Bestimmung der Stab-anfangs- und Stabendknoten; entweder durch Anklicken mit der Maus, bei Eingabe in der Tabelle oder automatisch durch die Generatoren.

Das Beispiel zeigt, dass ein konzeptionelles Vorgehen auch bei der Staberzeugung sinnvoll ist. Im vorliegenden Falle hätte man sinnvollerweise alle Stützen von unten nach oben beschrieben, um nicht nacharbeiten zu müssen.

Für eine Anblasrichtung des Windes auf die Seitenwand in +Y-Richtung sind die Imperfektionen auf der rechten Seite vorzeichenfalsch und müssen gedreht werden.



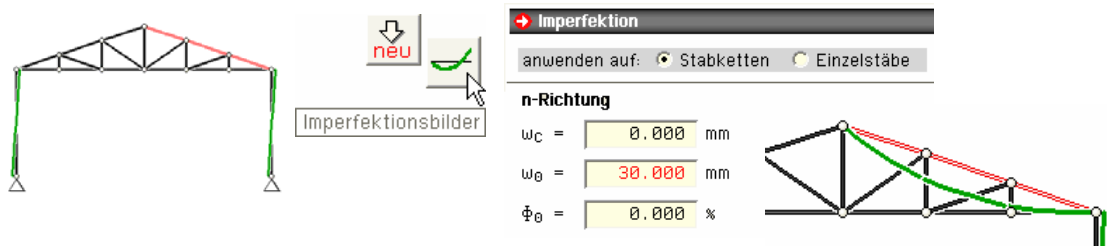
Markieren Sie die Schiefstellungslastbilder auf der rechten Gebäudeseite durch Anklicken mit der LMT und rufen dann die Bearbeitung der Imperfektionslastbilder auf. Nach Eintragen des neuen Werts und Bestätigen ergibt sich die gewünschte Imperfektionsfigur.

## Stabkette

Die soeben erzeugten Schiefstellungen bezogen sich immer nur auf einen Stab. Im Folgenden wollen wir beobachten, was mit Imperfektionen bei zusammenhängenden Stabzügen geschieht.

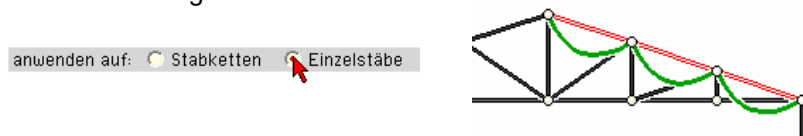


Wechseln Sie bitte wieder in die Binderebene 1. Man erkennt hier die gleichsinnigen Schiefstellungen der Stiele. Bitte markieren Sie die drei Stäbe des rechten Obergurts.



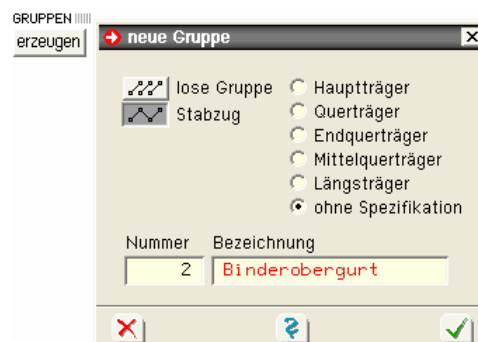
Rufen Sie dann die Erzeugung von Imperfektionsbilder auf und tragen den Vorkrümmungsstich in Richtung der schwachen Profilachse ein. Es entsteht ein Vorverkrümmungsverlauf über die gesamte Stabkette.

Die gleiche Beschreibung angewandt auf die Einzelstäbe des Stabzugs ergäbe eine Girlandenfigur für den Vorverkrümmungsverlauf.

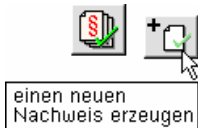


Zu einer vollständigen Berechnung des Tragwerks wären zusätzliche Imperfektionsfolien zu erzeugen, in denen weitere Auslenkungszustände oder auch Stabvorkrümmungen zu beschreiben wären. Wir belassen es hier bei dieser einen Imperfektionsfolie.

Wir wollen aber die Gelegenheit nutzen und die gerade aktivierten Obergurtstäbe zu einer Gruppe zusammenfassen, da wir die Gruppe beim Biegedrillknicknachweis noch benötigen.



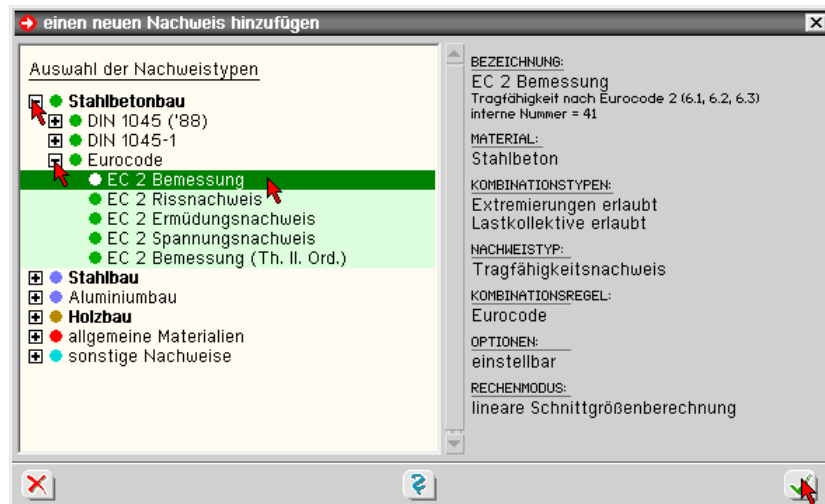
## Nachweise



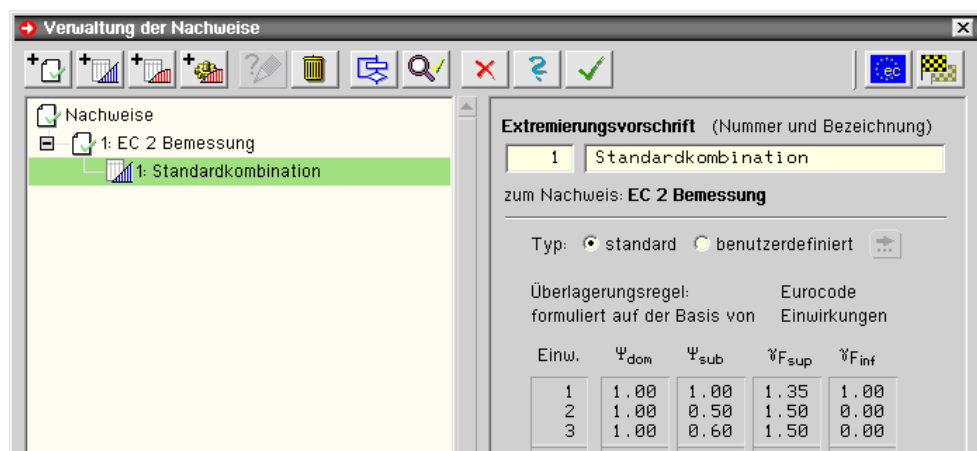
Nachdem die Lasten festgelegt wurden, können nun die zu führenden Nachweise vorgegeben werden.

Über die dargestellten Buttons wollen wir im Folgenden für jeden Werkstoff einen Nachweis entsprechend dem zugehörigen Normenwerk erzeugen. Nach Anklicken des Buttons erscheint ein Eigenschaftsblatt mit einer Auswahlliste der zur Verfügung stehenden Nachweistypen.

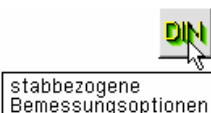
Klicken Sie bitte in der Auswahlliste *Auswahl der Nachweistypen* den Nachweis **Stahlbetonbau Eurocode Bemessung** an und geben ihm ggf. eine individuelle Bezeichnung.



Nach Hinzufügen des neuen Nachweises über den **bestätigen**-Button wird vom Programm sofort eine **Standardkombination** erzeugt, die die den Einwirkungen zugeordneten Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte automatisch festlegt. Diese Extremierungsvorschrift kann durch Anklicken mit der LMT aktiviert werden, was durch grüne Hinterlegung angezeigt wird.

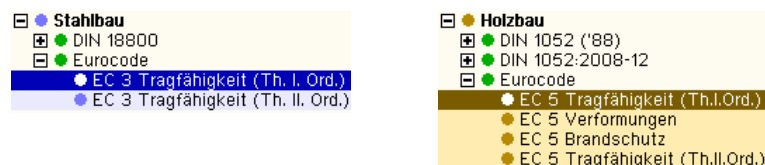


Bei Bedarf können dem Nachweis vom Benutzer weitere Extremierungsvorschriften hinzugefügt werden.

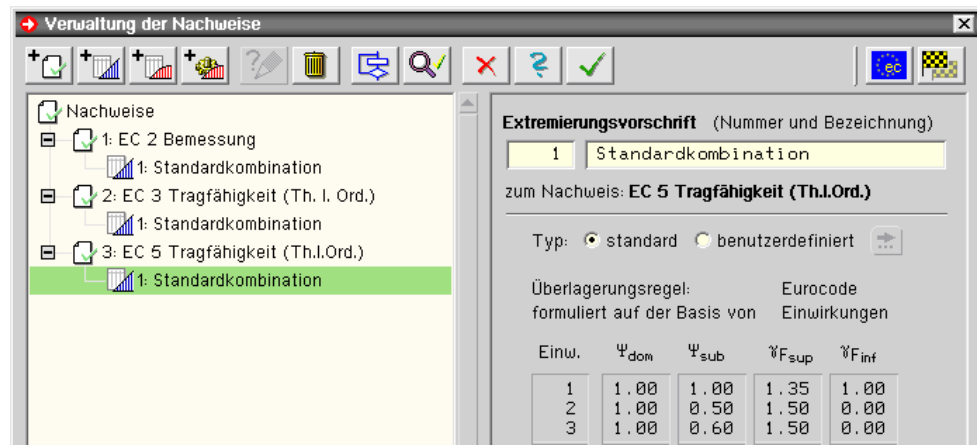


Wie die Nachweise am Stab durchgeführt werden sollen, wird über den dargestellten Button fein justiert. Für Stahlbetonstäbe kann z.B. festgelegt werden, ob neben der Biegebemessung auch eine Schubbemessung und der Ermüdungsnachweis geführt werden sollen usw.

Erzeugen Sie bitte zwei weitere Nachweise der Typen **Stahlbau Eurocode Tragfähigkeit (Th. I. Ord.)** und **Holzbau Eurocode Tragfähigkeit (Th. I. Ord.)**.



Die zugehörigen Standardkombinationen beinhalten auch hier bereits die notwendigen Faktoren, so dass i.d.R. eine Modifikation durch den Benutzer nicht erforderlich wird.

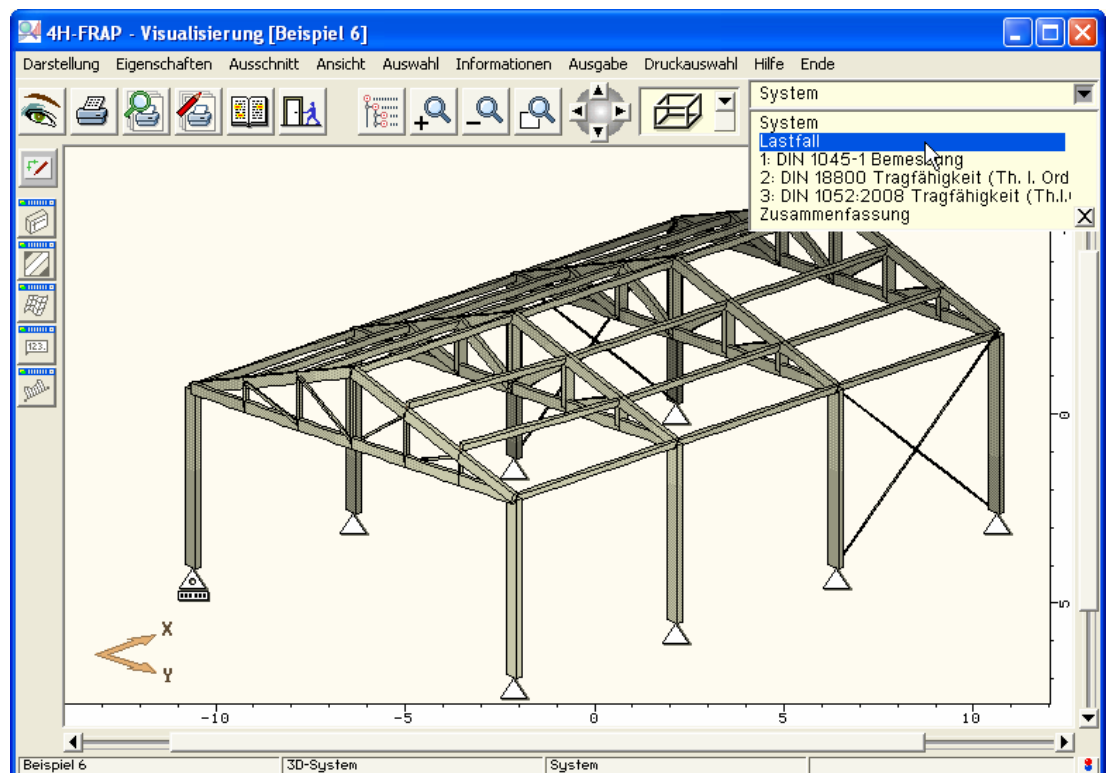


**Berechnung** Damit ist die Eingabe abgeschlossen. Wechseln Sie bitte wieder in die 3D-Ansicht.

**3D** Bevor die Berechnung gestartet wird, werden die Daten über das Lupensymbol einer Überprüfung unterzogen, die jedoch keine Meldungen ergibt. Führen Sie dann bitte die Berechnung durch und rufen anschließend die Ergebnisvisualisierung auf.

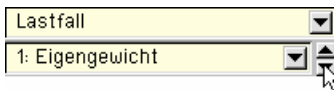
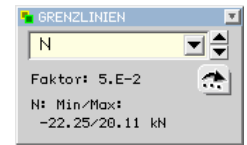


**Ergebnisvisualisierung** Der Startbildschirm der Visualisierung zeigt das System mit den Breiten/Höhen- Umhüllenden der Stäbe bzw. die im Beispiel 1 zuletzt gespeicherte Einstellung.



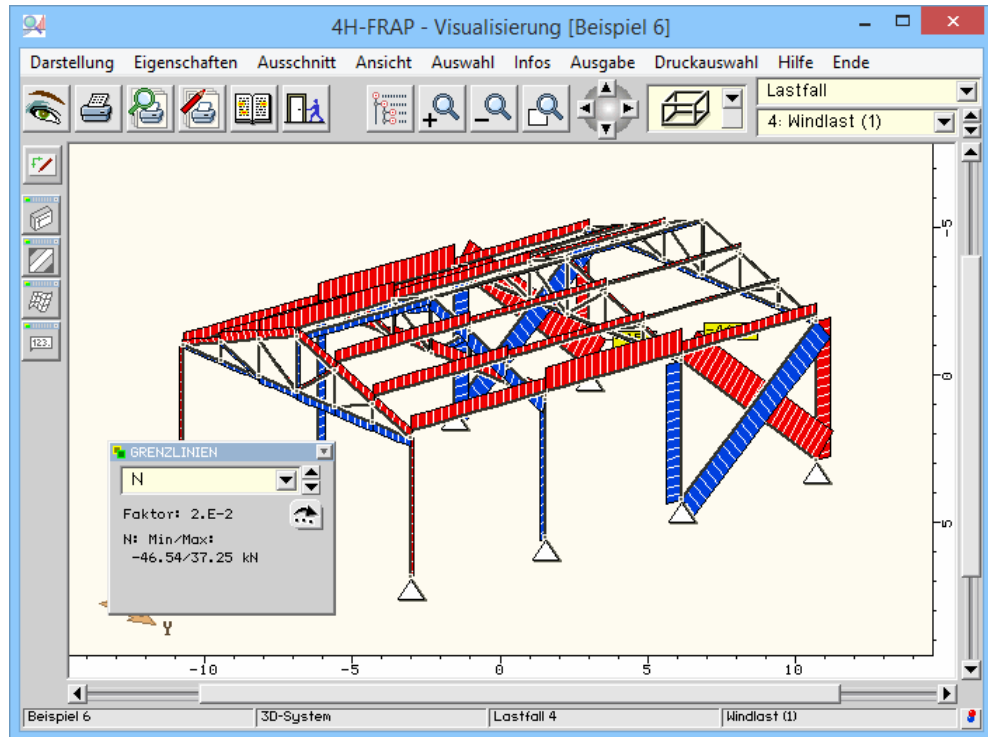


Wechseln Sie bitte auf den Ergebnissatz **Lastfall Eigengewicht**, klicken dort die Schalttafel **Grenzlinien** an und wählen Sie die Normalkräfte N aus.



Über den kleinen **Pfeil**-Button können die zu den weiteren Lastfällen gehörenden Darstellungen schnell aufgerufen werden.

Der Normalkraftverlauf im Lastfall 4 zeigt uns erhebliche Druckkräfte in den Diagonalen. (Positive Werte werden blau, negative rot angetragen).



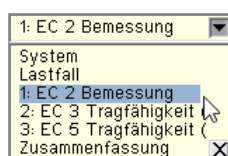
Warum sind in den Diagonalen noch Drucknormalkräfte vorhanden, obwohl doch auf S. 39 Ausfall für Druckkräfte vereinbart wurde? Lastfälle werden linear mit Gültigkeit des **Superpositionsgesetzes** berechnet. Eine **Systemnichtlinearität** wie **Stabausfall** – Druck oder Zug – kann nur innerhalb einer nichtlinearen Berechnung nach Theorie II. Ordnung bearbeitet werden.



Die geöffneten Schalttafeln können auf der Arbeitsfläche verschoben werden. Klicken Sie sie hierzu mit der LMT an (nicht auf einen Knopf), halten Sie die Maustaste gedrückt, fahren Sie an den gewünschten Ort und lösen Sie die Taste.

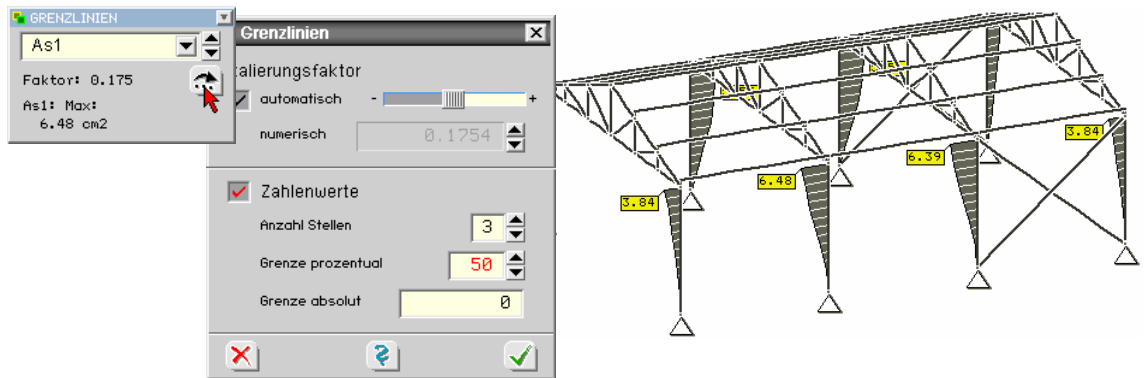
Bevor wir im nächsten Schritt eine nichtlineare Berechnung durchführen, wollen wir einen Blick auf die eigentlich interessierenden Endergebnisse in Form von Spannungen und As-Werten werfen.

## Bewehrungsquerschnitte



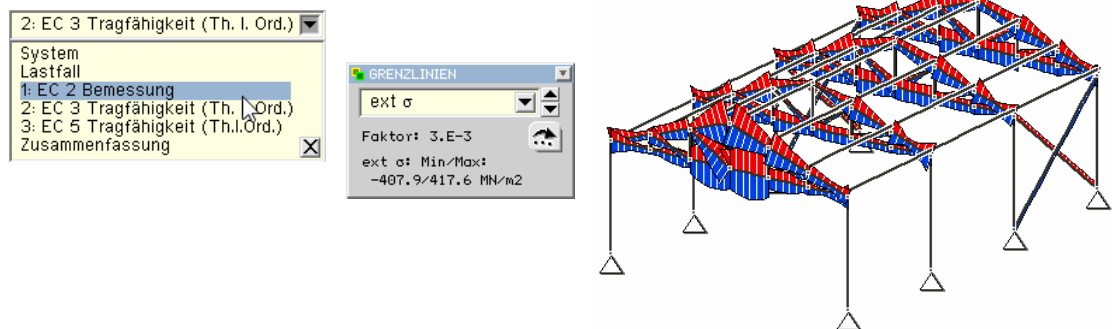
Wechseln Sie bitte den Ergebnissatz auf **EC 2 Bemessung** und **Zusammenfassung**. Wählen Sie dann die Grenzlinien As1 aus. Hier werden die ersten Bewehrungsgruppen der Stahlbetonstäbe dargestellt. Durch Anklicken des **bearbeiten**-Buttons in einer Schalttafel können weitere Einstellungen zur aktuellen Grafikform vorgenommen werden. Im folgenden Bild sind die Zahlenwerte der Bewehrungsquerschnitte hinzugeblendet worden. Der prozentuale Grenzwert bezieht sich auf den auftretenden Maximalwert; je kleiner der Prozentwert, desto mehr Zahlen erscheinen.





## Spannungen

Wechseln Sie bitte auf **EC 3 Tragfähigkeit (Th. I. Ord.)** und **Zusammenfassung** und auf die Grenzlinien **ext  $\sigma$** . Hier werden die minimalen und maximalen Spannungen der Stahlstäbe aufgetragen. Gleiches erfolgt über den Ergebnissatz **EC 5 Tragfähigkeit (Th. I. Ord.)** für die Holzstäbe.

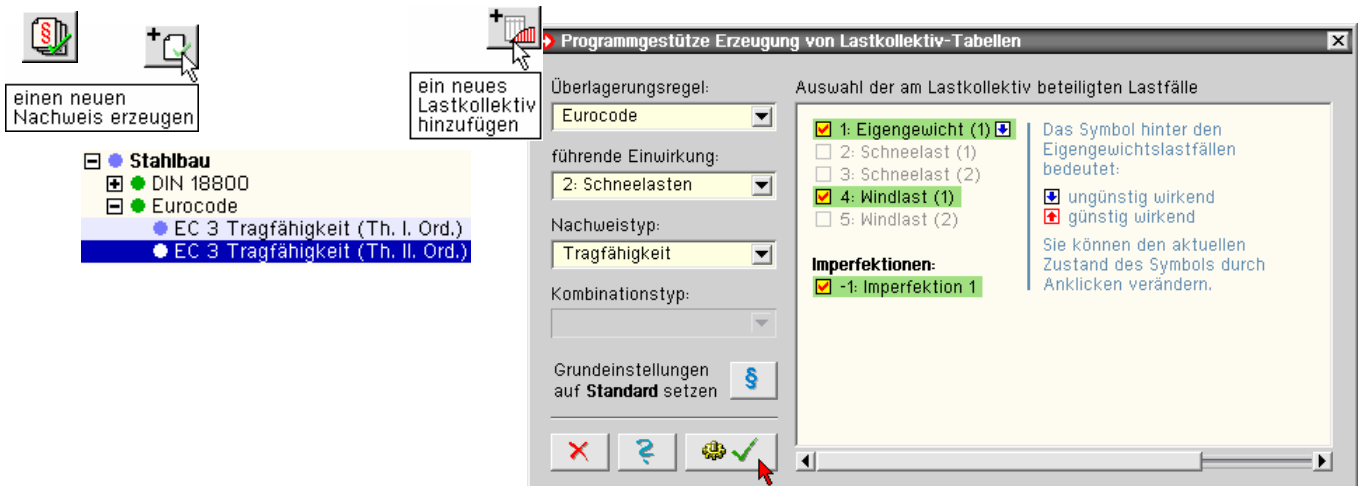


Nun zum Thema **nichtlineare Berechnung**. Wie aus den obigen Darstellungen des Normalkraftverlaufs und der extremalen Stahlspannungen ersichtlich ist, erfahren die fallenden Diagonalen Druckbeanspruchungen. Auf S. 39 wurde vereinbart, dass alle Diagonalen für Druckkräfte ausfallen sollten. Dies ist deshalb nicht geschehen, da bisher ausschließlich lineare Berechnungen durchgeführt wurden. Druck/Zugstabausfall stellt jedoch eine Systemnichtlinearität dar und kommt nur bei Berechnungen nach Th. II. Ord. zum Tragen.



Verlassen Sie bitte die Visualisierung und wechseln wieder in die grafische Eingabe.

**Nichtlineare Berechnungen** Klicken Sie dort den Button zur Definition von Nachweisen an. Erzeugen Sie einen neuen Nachweis vom Typ **EC 3 Tragfähigkeit (Th. II. Ord.)**. Erzeugen Sie anschließend bitte unter diesem Nachweistyp ein neues **Lastkollektiv**.



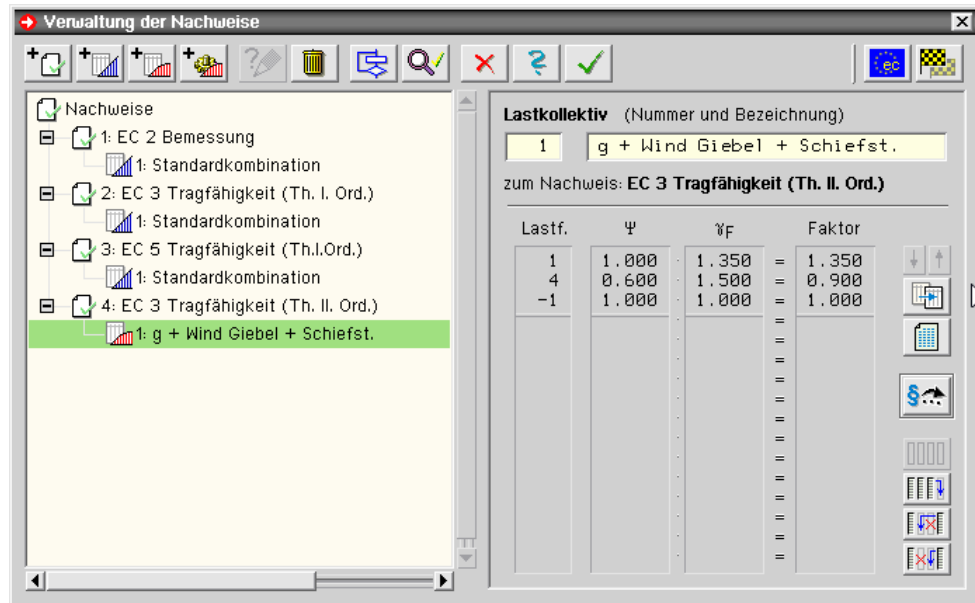


In diesem Lastkollektiv werden das Eigengewicht, der Lastfall Wind auf Giebel und die Schiefstellungen der Stützen zusammengefasst.

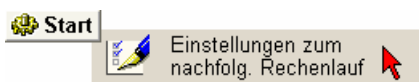


Imperfektionen sind nur in nichtlinearen Berechnungen wirksam. Schiefstellungen und Vorkrümmungen werden vom Programm automatisch in äquivalente Ersatzlasten umgerechnet. Zur Erstellung der Lastfallkollektive steht ein Generator zur Verfügung, der bis zu 5.000 Lk verwaltet.

Nach **Bestätigen** erscheint der neue Nachweistyp mit einem Lastkollektiv in der Übersicht. Die Kombinations- und Teilsicherheitsbeiwerte werden in einer Tabelle protokolliert. Die Buttons am rechten Rand geben für den Sonderfall die Möglichkeit zur Modifikation dieser Tabelle. Sowohl Nachweisen als auch Kombinationen und Lastkollektiven können individuell Bezeichnungen zugewiesen werden.

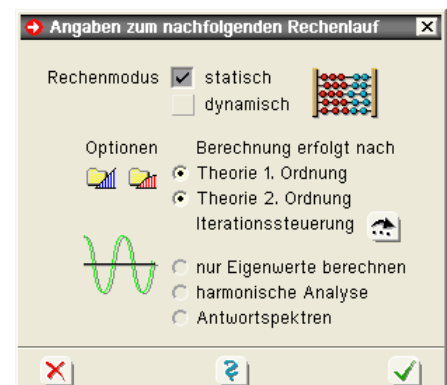
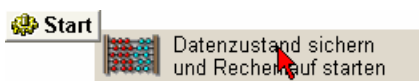


Nutzen Sie bitte ganz besonders in diesem Kapitel der Nachweisdefinitionen die kontextsensitive Online-Hilfe zur Erläuterung des Prinzips und der Funktion einzelner Buttons! Konsultieren Sie das Handbuch [das pcae- Nachweis-konzept!](#)

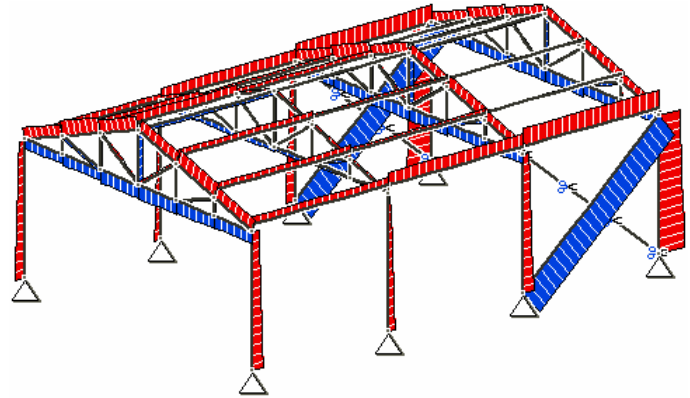
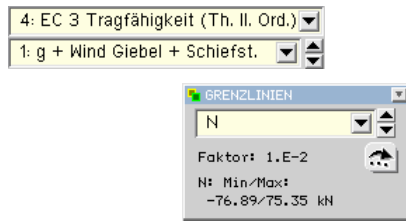


Im Eigenschaftsblatt *Angaben zum nachfolgenden Rechenlauf* ist nun auch die Berechnung nach Theorie II. Ordnung aktiviert, da ein entsprechender Nachweistyp eingerichtet wurde.

Führen Sie nun bitte neuerlich die Berechnung durch und rufen danach die Ergebnisvisualisierung auf.



Schalten Sie die Ergebnisauswahl auf **EC 3 Tragfähigkeit (Th. II. Ord.)** und **Lastkollektiv 1**. Aktivieren Sie dort den Grenzlinienverlauf der Normalkräfte N.

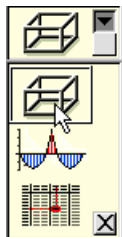


In den Darstellungen der Lastkollektive werden die ausgefallenen Druckstäbe durch Scherensymbole gekennzeichnet.



Lastfälle werden immer linear berechnet. Ihre Ergebnisse können für Nachweistypen nach Theorie I. Ordnung in Extremwertbildungen superponiert werden. Nichtlinearitäten, gleich welcher Natur, werden nur in Berechnungen nach Th. II. Ord. in Lastkollektiven, deren Lastbilder immer komplett gemeinsam wirken, verarbeitet.

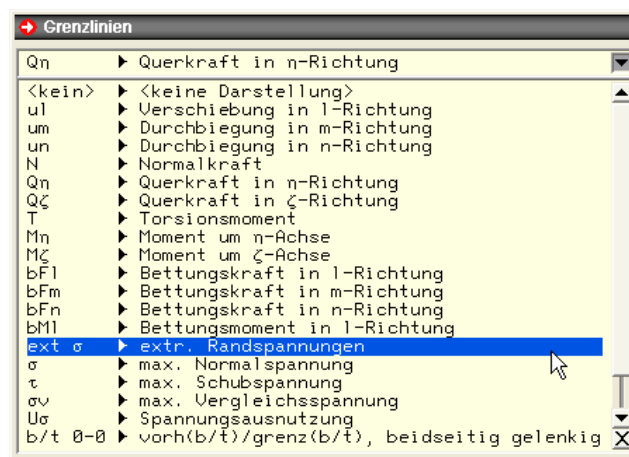
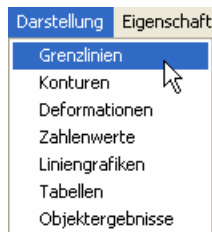
**Weitere Funktionen in der Visualisierung** Da es den Umfang dieses Tutoriums weit übersteigen würde, die vielschichtige Funktionalität der Ergebnisvisualisierung bis ins Kleinste zu erläutern, probieren Sie nun selbständig weiter. Schauen Sie, welche Eigenschaften über die Menüs und Steuerbuttons im Kopfbereich aufgerufen werden können; wie sich die anderen dynamischen Schalttafeln am linken Rand des Darstellungsfensters verhalten und was sich über die kleinen **bearbeiten**-Buttons in den Schalttafeln erreichen lässt.



Die Darstellungsmodi **Liniengrafiken** und **Tabellen** werden über die gezeigte Auswahlliste angesteuert. Sie sollten jetzt durch die angebotenen Darstellungsformen navigieren, um die Reaktionen der Ergebnisvisualisierung kennen zu lernen.

Letztlich steht auch in der Visualisierung der Doppelklick zur Verfügung. Probieren Sie die Reaktion durch doppeltes Anklicken eines Stabes aus.

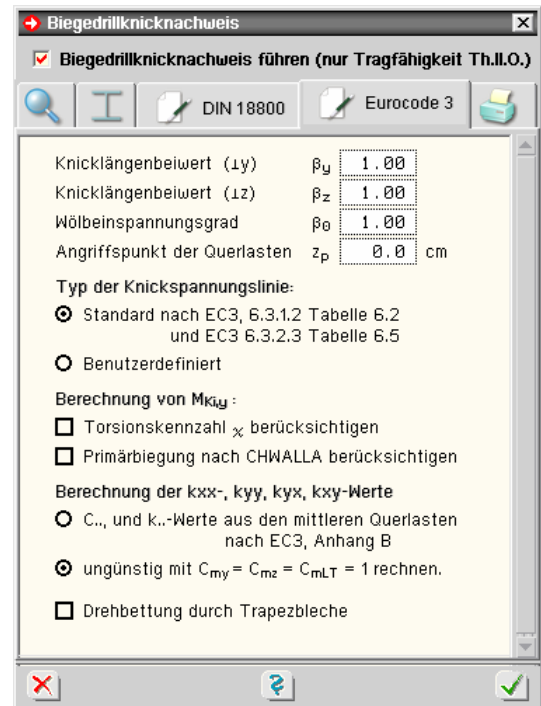
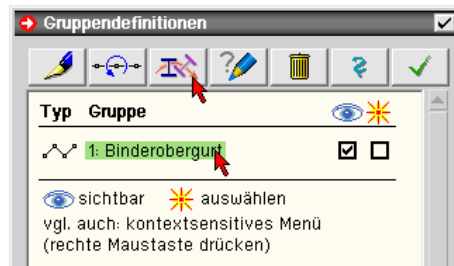
**Kürzel in den Schalttafeln** Die sich hinter den Kürzeln verborgenden Darstellungen können auch über das Menü **Darstellung** abgerufen werden. Hier finden sich auch Erläuterungen zu den Kürzeln.



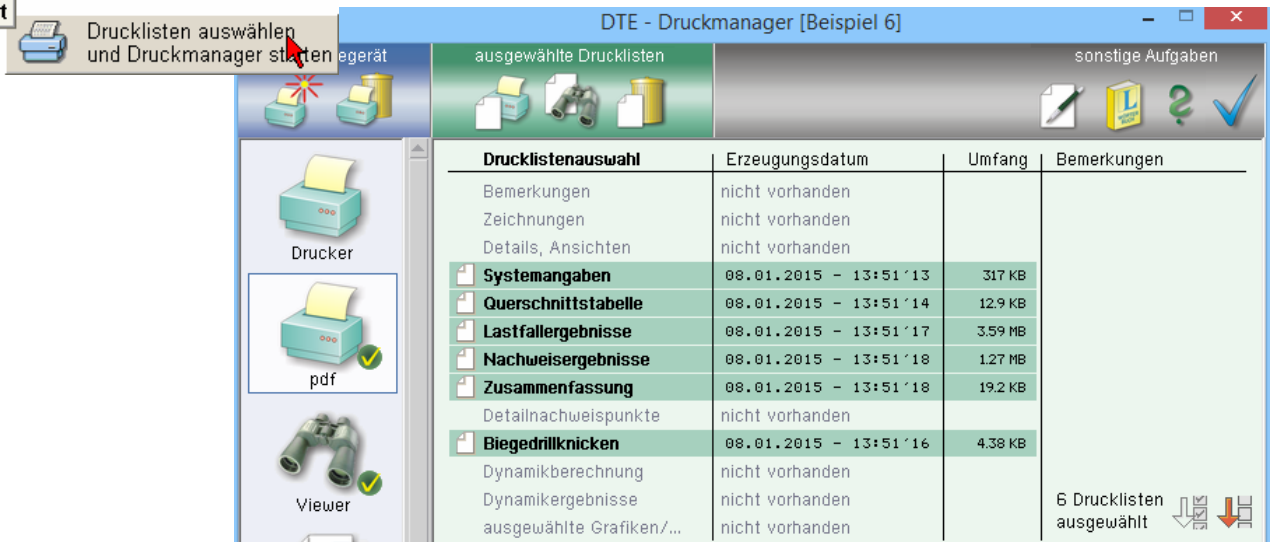
**Biegedrillknicken** Ein Sonderkapitel der Nachweise stellt der Biegedrillknicknachweis dar. An dieser Stelle soll aber lediglich die Anleitung zur Durchführung gegeben werden. Erläuterungen, auch zum theoretischen Hintergrund, finden Sie im Handbuch *FRAP, Allgemeine Erläuterungen zur Handhabung*.



Wir haben auf S. 46 eine Stabgruppe des Obergurtes gebildet. Rufen Sie in der grafischen Eingabe bitte die Gruppendefinitionen auf, markieren den Stabzug Binderobergurt und klicken auf den Button **Biegedrillknicknachweis**.



Nach der Berechnung werden die Ergebnisse des Biegedrillknicknachweises in einer gesonderten Druckliste dokumentiert, die über die gezeigte Buttonkombination aufgerufen werden kann.



## 4.7

### Dynamische Berechnungen

Zur Durchführung dynamischer Berechnungen muss das Zusatzmodul *Dynamische Analyse* auf Ihrem Computer installiert sein.

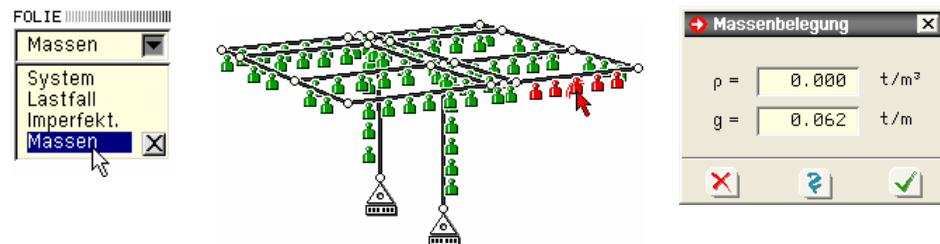
Wir wollen eines der mitgelieferten Beispiele aus dem Internet benutzen und die relevanten Eigenschaftsblätter aufrufen. Zum Laden des Beispiels s.S. 9.



Wählen Sie die dargestellte Bauteil-Ikone und laden Sie die Eingabedaten auf den Schreibtisch.

Doppelklicken Sie das Bauteil und wechseln in der grafischen Eingabe in die **Massenfolie**.

Hier wird die vorhandene **Massenbelegung** ähnlich wie in den vorhergehenden Beispielen das Eigengewicht dargestellt. Beachten Sie die Einheiten der Massenbelegung!



Mit diesen Informationen können Eigenfrequenzen und -formen des Systems ermittelt werden. Zur Ermittlung der dynamischen Systemantwort in Form von Schnittgrößen ist zusätzlich eine Erregung anzugeben. Dies kann in Form einer Fußpunkterregung wie bei einem Erdbeben nachweis oder als dynamische Erregung z.B. durch eine Maschine erfolgen.

Das benutzte Beispiel ist zur Berechnung der Systemantwort um Angaben zur dynamischen Erregung ergänzt worden.

DYNAMIK:

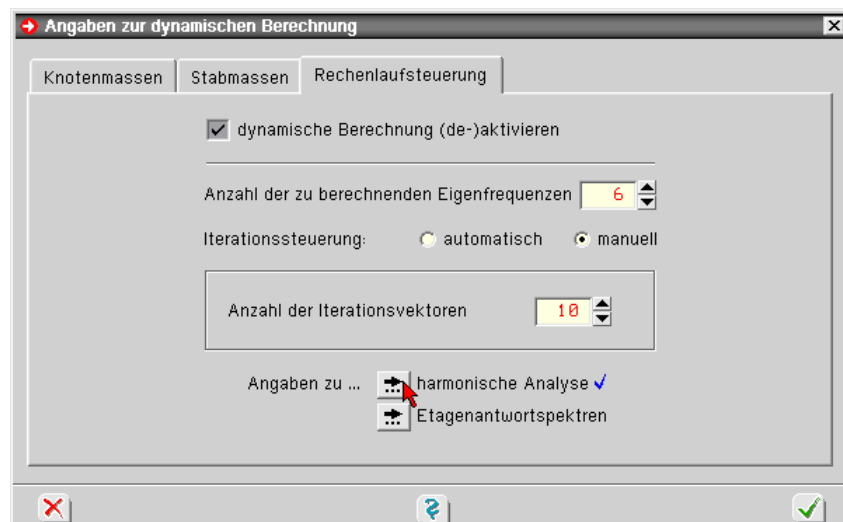


Klicken Sie hierzu den am rechten Rand befindlichen **Dynamik**-Button an. Im dortigen Registerblatt *Stabmassen* sind diese tabellarisch zusammengefasst.

Im Registerblatt *Rechenlaufsteuerung* sind die dynamische Berechnung aktiviert und die Anzahlen der zu berechnenden Eigenfrequenzen und Iterationsvektoren eingetragen.

Rufen Sie dann über den markierten Button die Angaben zur harmonischen Analyse.

### Register *Rechenlaufsteuerung*

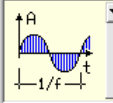


Im Eigenschaftsblatt *Harmonische Analyse* ist für die **harmonische Erregung** im Eckpunkt 20 eine vertikale Kraftamplitude von 10 kN eingesetzt worden.

**HARMONISCHE ANALYSE**

☒ harmonische Erregung (de-/aktivieren)

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

ERREGUNGSTYP: 


ERREGERFREQUENZ:  $f$ : 2.000000 Hz


ERREGUNGSZEITRAUM:  $t_1$ : 1.000000 s


Knoten	KRAFTAMPLITUDEN			MOMENTENAMPLITUDEN		
	Pr [kN]	Ps [kN]	Pt [kN]	Mr [kNm]	Ms [kNm]	Mt [kNm]
20	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	0.000

**Bestätigen** Sie die Eingaben und beenden dann die Eingabe. Führen Sie eine Überprüfung des Datenzustands durch, die keine Meldungen ergeben sollte.

Führen Sie nun die Berechnung durch (der **Rechenmodus** ist bereits auf dynamische Analyse gestellt) und rufen dann die Visualisierung auf.



**Start**  Einstellungen zum nachfolg. Rechenlauf

**Start**  Datenzustand sichern und Rechenlauf starten

**Start**  Ergebnisse am Bildschirm visualisieren


**Angaben zum nachfolgenden Rechenlauf**

Rechenmodus: ☐ statisch ☒ dynamisch

Optionen:   Berechnung erfolgt nach

☐ Theorie 1. Ordnung

☐ Theorie 2. Ordnung

Iterationssteuerung: 

☐ nur Eigenwerte berechnen

☒ harmonische Analyse

☐ Antwortspektren

Schalten Sie in der Visualisierung den Ergebnissatz auf **Eigenform** um.

Hier werden die Eigenformen unter Angabe der zugehörigen Eigenfrequenzen dargestellt.

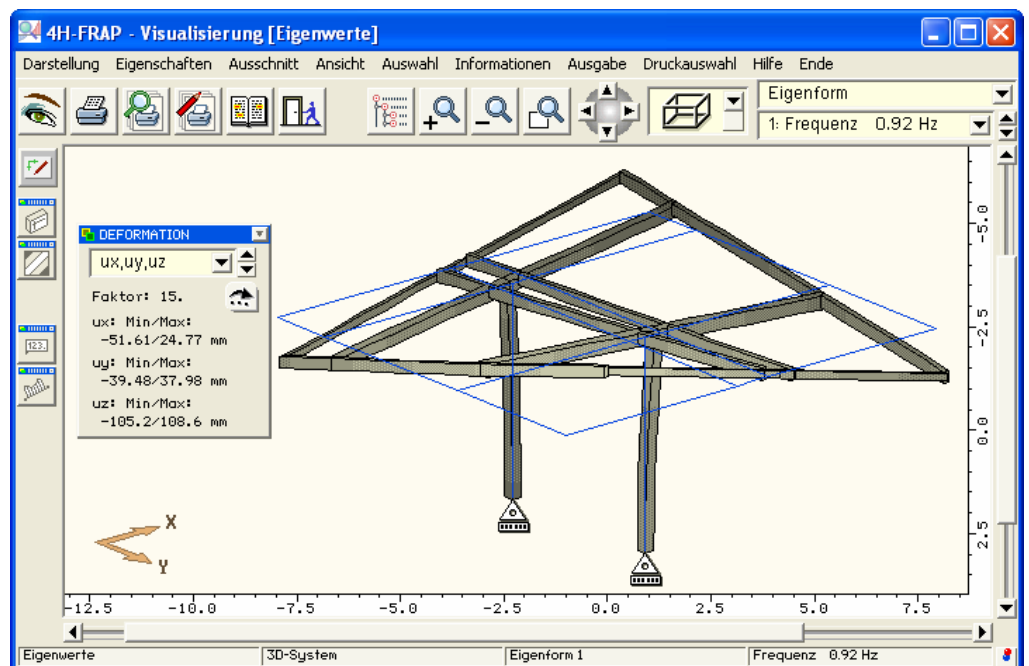
Klicken Sie die Schalttafel **Deformationen** an und wählen dort **ux,uy,uz**. Das Weiterschalten auf andere Eigenformen erfolgt wie bekannt über die kleinen Pfeilsymbole.

System

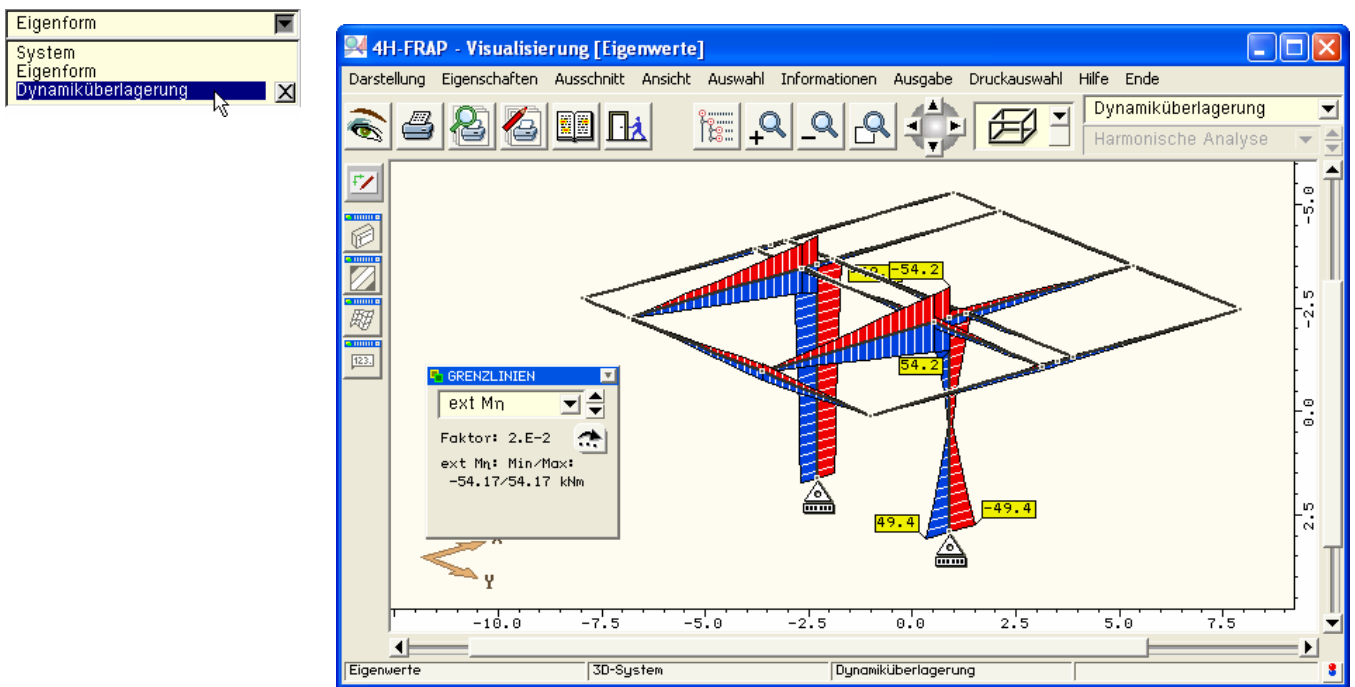
System

**Eigenform**

Dynamiküberlagerung



Die **Systemantwort** befindet sich unter dem Ergebnissatz **Dynamiküberlagerung**. In den Grenzliniendarstellungen werden die Schnittgrößen aus der dynamischen Belastung aufgetragen, die prinzipiell voll auf die statischen Schnittgrößen zu addieren sind.



Zum theoretischen Hintergrund dynamischer Berechnungen s. *Konstantin Meskouris, Structural dynamics: models, methods, examples, Berlin 2000, Ernst.*

## 5 Schlussbemerkung zum Beispielteil

Bis hierhin haben wir anhand kleiner Beispiele die Handhabung und Interaktion des 3D-Stabwerksprogramms *4H-FRAP* kennen gelernt. Schon auf dem Wege bis hierher werden Sie die Möglichkeiten des Werkzeugs erkannt und bestimmt auch schon eigene Beispiele berechnet haben.

Naturgemäß erschließen sich dem Anwender neue, hier noch nicht gezeigte Wege erst nach und nach in der täglichen Anwendung.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit dem Programm und keine roten Bomben (S. 10).

## 6 Handbuch *4H-FRAP*, Allgemeine Erläuterungen zur Handhabung

Im Handbuch *4H-FRAP, Allgemeine Erläuterungen zur Handhabung*, werden die Eingabe- und Ausgabemechanismen des Programms themenbezogen beschrieben und die Eigenschaftsblätter beispielunabhängig erläutert.

## 7 Index

Abkürzungen 4  
Anschluss exzentrischer 35  
Ausrichtung Neigung 38  
Auswahlliste 16  
Baumansichtsfenster 34  
Bauteil erzeugen 11  
Bauteil kopieren 33  
Beispieldatensatz 9  
Beispiele 3  
Berechnung dynamische 54  
Berechnung nichtlinear 50  
Bewehrung 49  
Bezeichnung 11  
Biegedrillknicknachweis 53  
blank 4  
Bombe rote 10  
Buttons 4  
Check 19  
Cursor 4  
Darstellung fotorealistische 23  
Datenüberprüfung 29  
Datenzustand bereinigen 22  
Druckstabausfall 39, 42, 49  
Duplikat 16  
DXF-Datenimport 26  
Dynamik 54  
Ebene erzeugen 14  
Eigenform 55  
Eigengewicht 19  
Einwirkung 4, 18  
e-Mail 8  
Ergebnisvisualisierung 19  
Erregung harmonische 54  
Extremalbildungsvorschrift 4  
Exzentrizität 35  
Fangrechteck 4  
Federsteifigkeit 17  
Flächenlast 42  
Fotorealistische Darstellung 23  
FotoView 23  
Freiwert 29  
Funktionsprüfung 9  
Gelenk 28  
Gruppe 33  
Haken gelber 10  
Hauptachsendlrehwinkel 27  
Imperfektion 44, 51  
Installation 7  
Interaktionselemente 12  
Knoten löschen 22  
Knotenkoordinaten 13  
Knotentabelle 26  
Kontextsensitivität 8, 12  
Koordinatensystem 45  
kopieren 33  
Kürzel 52  
Lager 17, 30  
Last ändern 41  
Lastbild 4  
Lastfall 4  
Lastkollektiv 4, 50  
Lastwirkungsrichtung 42  
Linienlast 31  
Massenbelegung 54  
Mitteilungen 10  
Nachgiebigkeit Verbindungsmittel 29  
Nachweis 47  
Neigung 38  
Objektbaum 34  
Problembeschreibung 6  
Problemklasse 11  
Programmsteuerungsfenster 9  
Querschnittsangaben 34  
Raster orthogonale 21, 24, 26  
Rechenmodus 55  
Schreibtisch 8  
Schreibtischauswahl 7  
shortcuts 12  
Sichtbarkeitsstatus 38  
Spannung 50  
Stab erzeugen 13  
Stab löschen 22  
Staberzeugung manuelle 11  
Stabkoordinatensystem 25, 27, 45  
Stabrichtung 35  
Stabverzeichnis 26  
Standardkombination 47  
Startsymbol 7  
Steuerbutton 8  
Superpositionsgesetzes 49  
Systemantwort 56  
Systemnichtlinearität 49  
Tabellenfunktionen 13  
Tastaturkürzeltabelle 12  
Teilung 14  
undo-Funktion 15  
Verbindungsmittel Nachgiebigkeit 29  
verschieben 15, 23  
verschneiden 26  
Voutung 34  
Werkzeugleiste 12  
Zeile löschen 21  
Zugstabausfall 49  
Zwischenknoten 14