STATIKPROGRAMME AUS HANNOVER

DTE Desktop ® Engineering

pcae GmbH Kopernikusstr. 4A 30167 Hannover Tel 0511/70083-0 Fax 0511/70083-99
Internet www.pcae.de Mail dte@pcae.de

4H-SPBR

Brückenbaupaket Spann- und Stahlbeton

Oktober 2014

4H-SPBR

Brückenbaupaket Spann- und Stahlbeton

Copyright 2003 - 2014

3. Auflage, Oktober 2014

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.

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

Produktbeschreibung

4H-SPBR ist ein Programm zum Nachweis vorgespannter oder schlaff bewehrter Massivbrücken nach EC 2, DIN Fachbericht 101/102 und DIN 4227 (zur Nachrechnung).

Das statische System basiert auf einem räumlichen Stabwerksmodell. Die Beschreibung der Brückenquerschnitte erfolgt über vordefinierte Typen. Zur Auswahl stehen typisierte Querschnitte in Form von Rechteck, Kreis, Kreisring, Plattenbalken und Doppel-T. Aus den drei letztgenannten Querschnitten können durch Fortlassung einzelner Teilgeometrien beliebig degenerierte Querschnitte gebildet werden.

Einwirkungen und Lastfälle werden in einer grafischen Eingabeoberfläche in Anlehnung an die Systematik der gewählten Norm beschrieben. Zur Generierung der erforderlichen Lastfälle steht ein Eingabeassistent zur Verfügung, über den die wichtigsten Grundeinstellungen vorgenommen werden.

Wanderlasten, wie z.B. Fahrzeuglasten, können über einen Wanderlastgenerator automatisch erzeugt werden.

Zur Eingabe der Vorspannung steht ein leistungsfähiges grafisches Eingabemodul bereit. Die Spanngliedführung kann bei Bedarf 3-dimensional beschrieben werden, d. h. die Wirkung der Vorspannung wird in diesem Falle auch räumlich berechnet.

Für jeden vorgespannten Stabzug und für jede Vorspannart (nachträglicher oder sofortiger Verbund) wird ein Lastfall eingerichtet.

Nachweise werden über ein spezielles Eingabefenster eingerichtet. Für jeden Nachweis wird automatisch eine Extremierungsvorschrift gebildet, die den Standardvorgaben der gewählten Norm entspricht. Vom Benutzer können bei Bedarf jedem Nachweis beliebige weitere Extremierungen oder Lastfallkollektive hinzugefügt werden. Die Nachweise bzw. Nachweisoptionen können nach Vorgaben vom Benutzer auch stabweise verändert werden.

Zur Kontrolle der Eingaben kann eine fotorealistische Darstellung aktiviert werden.

Die Teilsicherheitsbeiwerte und die Ψ-Werte werden ebenfalls automatisch entsprechend den Norm-Vorgaben eingesetzt. Es empfiehlt sich jedoch in jedem Falle, diese zu kontrollieren, da die Formulierungen z.B. der DIN Fachberichte zum Teil nicht eindeutig sind (z.B. DIN Fachbericht 101, Tab. C.2, Ψ_o-Wert für Temperatur).

Die interaktiven Steuermechanismen des Programms sind aus anderen Windows- Anwendungen bekannt. Wir haben darüber hinaus versucht, weitestgehend in der Terminologie des Bauingenieurs zu bleiben und *4H*-SPBR von detailliertem Computerwissen unabhängig zu halten. Die Programmentwicklung erfolgt nahezu ausschließlich durch Bauingenieure.

Das in diesem Handbuch entwickelte Eingabebeispiel soll beim Einstieg in die Handhabung des Programms helfen und einen Einblick in die Eingabephilosophie geben. Es beschreibt die verschiedenen Eingabemechanismen, unter denen der Benutzer wählen kann. Assoziation und Suche nach weiteren Verknüpfungsmöglichkeiten werden ihn dann sehr schnell in der Anwendung von *4H*-SPBR sattelfest werden lassen.

Im abschließenden Kapitel des Handbuchs wird eine Übersicht der Funktionalitäten der Steuerbuttons der grafischen Eingabe und der Ergebnisvisualisierung gegeben.

Im Sinne eines Leitfadens gedacht, kann das Manual nicht alle Fragen beantworten. Im aktuellen Falle wird dann der Hilfebutton im jeweiligen Eigenschaftsblatt Antwort geben.

Zur *4H*-SPBR-Dokumentation gehört neben dem vorliegenden Manual auch das Handbuch *das* **pcae**-*Nachweiskonzept*, in dem Sie Informationen zu Nachweisen und zur Handhabung der Verwaltung der Nachweise finden.

Zur Beschreibung des DTE®-Systems s. Handbuch *DTE®-DeskTopEngineering.*

Wir wünschen Ihnen weiterhin viel Erfolg mit *4H*-SPBR.

pcae GmbH, Hannover, im Oktober 2014

Abkürzungen und Begriffe

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

Maustasten

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

signalisiert Anmerkungen

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

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

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

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

Doppelklick zweimaliges schnelles Betätigen der LMT

blank Leerzeichen

Cursor Schreibmarke in Texten, Zeigesymbol bei Mausbedienung

icon oder Ikon, Piktogramm, Bildsymbol

Fangerechteck Ein Fangerechteck wird durch Drücken der LMT und Ziehen der Maus mit gedrückter LMT aufgespannt. Alle Elemente, die vollständig innerhalb des 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

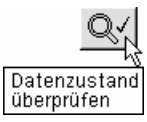
bricht Eigenschaftsblätter ohne Änderung der Eingabewerte ab.

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.



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

Inhaltsverzeichnis

1 Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten 7
2 Bauteil erzeugen 9
3 Bearbeitungsablauf eines Brückenüberbaus 10
4 Erläuterung der Eingabe an Hand eines Beispiels 15
4.1 Bearbeitungsfenster 15
4.2 System 16
4.3 Darstellungsoptionen 16
4.4 Lager 17
4.5 Brückenbauquerschnitte 18
4.5.1 mitwirkende Breiten 18
4.5.2 Stab unterteilen 18
4.5.3 Querschnitte eingeben 19
4.5.4 Querschnitte zuweisen 20
4.6 Eingabeassistent Belastung 22
4.6.1 Einwirkungen und Lastfälle 22
4.6.2 Folientechnik 23
4.6.3 Eigengewicht Überbau 23
4.6.4 Eigengewicht Kappen 23
4.6.5 Eigengewicht Belag 23
4.6.6 Vorspannung 24
4.6.6.1 Bearbeitungsfenster 24
4.6.6.2 Konstruktionskoordinatensystem 25
4.6.6.3 Zwischenpunkte 25
4.6.6.4 Spannvorgänge 27
4.6.7 Lagerverformungen 27
4.6.8 Temperaturbelastung 27
4.6.9 Verkehrslasten 28
4.6.9.1 Grundlast 28
4.6.9.2 Hauptspurüberlast 28
4.6.9.3 Tandemfahrzeug 28
4.7 Nachweisdefinition 31
4.8 Datenzustandsüberprüfung und Berechnung 32
4.9 Ergebnisvisualisierung 32
4.9.1 Gesamtsystem 33
4.9.2 Liniengrafiken 33
4.9.3 Tabellen 34
5 Erläuterungen zu Berechnung und Nachweisen 35
5.1 Koordinatensysteme 35
5.2 Extremierungen 35
5.3 Bezeichnungen 36
6 Programmsteuerung 37
7 ##-SPBR - Grafisches Eingabemodul 38
7.1 Einführung 38
7.1.1 Definition von 3D-Stabwerken 38
7.1.2 Knoten 38
7.1.3 Stäbe 38
7.1.4 Netzwerk 39
7.1.5 Strukturierung der Belastung 39
7.1.6 Objekte aus- und abwählen 39
7.1.7 Bearbeitung einzelner Objekte mit Doppelklick-Funktionen 40
7.1.8 Indexverzeichnis 40
7.2 Ansichtssteuerung 42
7.2.1 Blickwinkel, Augpunkt 42
7.2.2 Blickwinkelspeicher 42
7.2.3 Zoomfunktionen 42
7.2.4 Eigenschaften der grafischen Darstellung 43
7.2.5 Skalierungseigenschaften 43
7.2.6 fotorealistische Darstellung 44
7.2.7 Ausgabe der fotorealistischen Darstellung 44
7.2.8 Materialeinsatz und Lastsummen 45
7.2.9 Baumansicht 45
7.3 globale Einstellungen 46

7.3.1 Brückentyp 46
7.3.2 kriecherzeugende Lasten 46
7.3.3 Relaxationsansatz 47
7.3.4 Optionen für Spannungsberechnungen (n. Zustand I) 48
7.3.5 Optionen für Tragfähigkeitsnachweise 49
7.4 Sicherheitsbeiwerte 49
7.4.1 Sicherheitsbeiwerte Eurocode 49
7.4.2 Sicherheitsbeiwerte DIN Fb 50
7.4.2.1 Baustoffe 50
7.4.2.2 Einwirkungen 50
7.4.2.3 Kombinationsbeiwerte 50
7.5 Systemtabelle 51
7.6 Querschnitte eingeben 51
7.6.1 Geometriedaten für Brückenquerschnitte 52
7.6.2 exzentrische Ankopplung von Querschnitten 53
7.6.3 Schlaffstahleingabe 53
7.6.4 Rechteckquerschnitt 54
7.6.5 Plattenbalken, Doppel-T-Querschnitt und Hohlkasten 55
7.6.5.1 mitwirkende Breiten DIN 1075 55
7.6.5.1.1 statisches System nach DIN 1075, Bild 1 56
7.6.5.1.2 Stützweite l und Ort s 56
7.6.5.2 mitwirkende Breiten DIN EN 1992 bzw. DIN Fachbericht 102 56
7.6.5.2.1 statisches System nach EC 2 / DIN Fb 57
7.6.5.2.2 Stützweite l und Ort s 57
7.6.6 Kriech- und Schwindparameter 57
7.6.6.1 Rechenmodus 58
7.6.6.2 Betonalter 58
7.6.6.3 RH (relative Luftfeuchte) 58
7.6.6.4 α (Zementart) 58
7.6.7 Kriechen und Schwinden 58
7.7 Systemobjekte erzeugen 60
7.7.1 Generierungsmöglichkeiten 60
7.7.1.1 Generierung orthogonal gerasterter Systeme 60
7.7.1.2 Generierung rotationssymmetrischer Systeme 60
7.7.1.3 Knoten und Stäbe importieren 61
7.7.1.3.1 Import aus DXF-Datei 61
7.7.1.3.2 Import aus Text-Datei 61
7.7.2 Objekte erzeugen 62
7.7.2.1 Knoten erzeugen 63
7.7.2.2 Stäbe erzeugen 63
7.7.2.3 tabellarische Netzwerkbearbeitung 63
7.8 Systemobjekte modellieren - Modellieren am Einzelstab 64
7.8.1 Anfangs- und Endknoten vertauschen 64
7.8.2 Stab von Knoten lösen 64
7.8.3 Stablänge verändern 65
7.8.4 Stab verschieben 65
7.8.5 Generierung von Zwischenknoten 65
7.9 Objektmodellierung 66
7.9.1 ausgewählte Objekte löschen 66
7.9.2 ausgewählte Objekte modellieren 66
7.9.2.1 ausgewählte Objekte verschieben (2D) 66
7.9.2.2 ausgewählte Objekte verschieben (3D) 66
7.9.2.3 ausgewählte Objekte skalieren (2D) 67
7.9.2.4 ausgewählte Objekte skalieren (3D) 67
7.9.2.5 ausgewählte Objekte verdrehen (2D) 68
7.9.2.6 ausgewählte Objekte verdrehen (3D) 68
7.9.3 Knoten ausrichten 68
7.10 Eigenschaften 69
7.10.1 Referenzobjekte 69
7.10.2 Knoteneigenschaften 69
7.10.2.1 Knotenlager definieren 69
7.10.2.2 Knotenkoordinatensystem verdrehen 69
7.10.3 Stabeigenschaften 70
7.10.3.1 elastisch gebettete Stäbe 70
7.10.3.2 geometrische Stabeigenschaften 70

7.10.3.3 lokales lmn-Stabkoordinatensystem 71
7.10.3.4 Gelenke 71
7.10.3.4.1 Gelenkkombination am Stab 72
7.10.3.4.2 Gelenkkombination am Knoten 72
7.10.3.5 Material- und Querschnittsangaben 72
7.10.3.5.1 Voutung 73
7.10.3.6 stabbezogene Nachweisoptionen DIN EN 1992 und DIN Fachbericht 74
7.11 Ebenen und Gruppen 75
7.11.1 Arbeiten mit Ebenen 75
7.11.2 Ebenenfangabstand 75
7.11.3 Ebenenbezeichnung 75
7.11.4 Konstruktionskoordinatensystem der Ebene 76
7.11.5 Definition von Gruppen 76
7.11.6 Tipps zur Gruppenbildung 77
7.11.7 Gruppenauswahl und -bearbeitung 77
7.11.8 Stabzugdefinitionen 78
7.11.9 Menüangebot bei der Gruppenauswahl 78
7.12 Belastung 79
7.12.1 Einwirkungen und Lastfälle - Eingabeassistent 79
7.12.2 Lastbilder erzeugen 79
7.12.2.1 Eigengewichtslasten 80
7.12.2.2 Linienlasten 80
7.12.2.3 Lastrichtungstyp 80
7.12.2.4 Stabeinzellasten 81
7.12.2.5 Temperaturlasten 81
7.12.2.6 Knotenlasten 81
7.12.2.7 Stützenverformungen 82
7.12.3 Wanderlasten 82
7.12.3.1 Grundidee 82
7.12.3.2 Register Basisdaten 83
7.12.3.3 Register Einzellasten 84
7.12.3.4 Register Linienlasten 84
7.12.4 Knotenlasten überschreiben oder hinzufügen 84
7.12.5 existierende Lastbilder bearbeiten 84
7.12.6 Lastbilder kopieren 84
7.12.7 Lastbilder tabellarisch bearbeiten 85
7.13 Nachweise 86
7.13.1 Nachweisoptionen EC 2 und DIN Fb 86
7.13.2 Nachweisoptionen DIN 4227 86
7.13.3 Betongüte und Betonstahlsorte 87
7.13.4 Ermüdungsnachweis 87
7.13.5 Tragfähigkeit Biegung mit Längskraft n. EC 2 88
7.13.6 Tragfähigkeit Querkraft mit Torsion n. EC 2 89
7.13.7 Robustheitsbewehrung n. EC 2 90
7.13.8 Rissnachweis n. EC 2 91
7.13.9 Dekompression n. EC 2 92
7.13.10 Betondruckspannungen n. EC 2 93
7.13.11 Betondruck- und Betonstahlspannungen n. EC 2 94
7.13.12 Spannstahlspannungen n. EC 2 95
7.13.13 Betonrandspannungen unter seltener Einwirkungskombination 95
7.13.14 Ermüdungsnachweis Beton unter Druck oder Querkraft n. EC 2 96
7.13.15 Ermüdungsnachweis Beton- und Spannstahl n. EC 2 97
7.14 Werkzeuge, Sonstiges 99
7.14.1 Datenzustand überprüfen 99
7.14.2 Netzwerk-Bereinigungsfunktion 99
7.14.3 Eigenschaften der UNDO-Funktion 100
7.14.4 Eigenschaften der Systemdruckliste 101
7.14.5 Lastordinaten in der Druckliste 101
7.14.6 Detailnachweispunkte 102
7.14.7 Objekte aus- und abwählen 102
7.14.8 bedingte Auswahl 103
7.14.9 direkte Auswahl 103
7.14.10 Objekte deaktivieren 103
7.14.11 Ende der grafischen Eingabe 103
7.15 Vorspannung 104

7.15.1 Eingabemodul aufrufen 104
7.15.2 Kopie oder Klon 104
7.15.3 Eingabeoberfläche und Interaktionselemente 105
7.15.4 Vorgehensweise Spannstrangeingabe 106
7.15.5 (neuen) Spannstrang erzeugen 109
7.15.6 Spannstränge tabellarisch bearbeiten 110
7.15.7 Spannstrangbasisdaten 110
7.15.8 Splinepunkteigenschaften numerisch bearbeiten 111
7.15.9 Spanngliedeigenschaften bearbeiten 112
7.15.10 Spannvorgänge 112
7.15.11 Nummerierung der definierten Spannstränge 113
7.15.12 ausgewählten Spannstrang verschieben 113
7.15.13 ausgewählten Spannstrang spiegeln 113
7.15.14 Darstellungseigenschaften 113
7.15.15 Undo-Service 114
7.15.16 Einstellung einer überhöhten Darstellung 114
7.15.17 Konstruktionskoordinatensystem 114
8 Ergebnisvisualisierung 116
8.1 allgemeine Erläuterungen 116
8.2 Verwaltung der Druckansichten 118
8.3 3D-Darstellung 120
8.4 Darstellungsmodus 120
8.4.1 Liniengrafiken 121
8.4.2 Tabellen 121
8.5 Ergebnisauswahl 122
8.6 dynamische Schalttafeln 122
8.6.1 Ansichtssteuerung 122
8.6.2 Konturendarstellungen 123
8.6.3 Deformationen 123
8.6.4 Zahlenwerte 124
8.6.5 Grenzlinien 124
8.7 Bezeichnungen 125
8.8 Doppelklick 125
8.9 darstellbare physikalische Größen 126
8.9.1 Hauptachsensystem 126
8.9.2 Lastfälle und Lastkollektive 126
8.9.3 Nachweise 126
9 Drucklistengestaltung 128
9.1 das Fenster *Ergebnisse* 129
9.2 das Fenster *Tabellen und Grafiken* 130
9.3 das Fenster *Objektauswahl* 131
9.4 Tipps zur Drucklistengestaltung 131
10 Druckdokumentenausgabe 132
11 Bearbeitung beenden 132
12 Detailnachweispunkte 133
13 Index 134

1 Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten

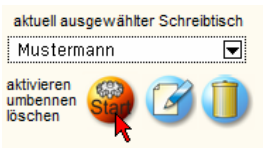
Die ***Installation*** des DTE®-Systems und das Überspielen des Programms ##-SPBR auf Ihren Computer erfolgt über einen selbsterläuternden Installationsdialog.

Sofern Sie bereits im Besitz anderer ##-Programme sind und diese auf Ihrem Rechner installiert sind, lesen Sie bitte Abs. 2, 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.

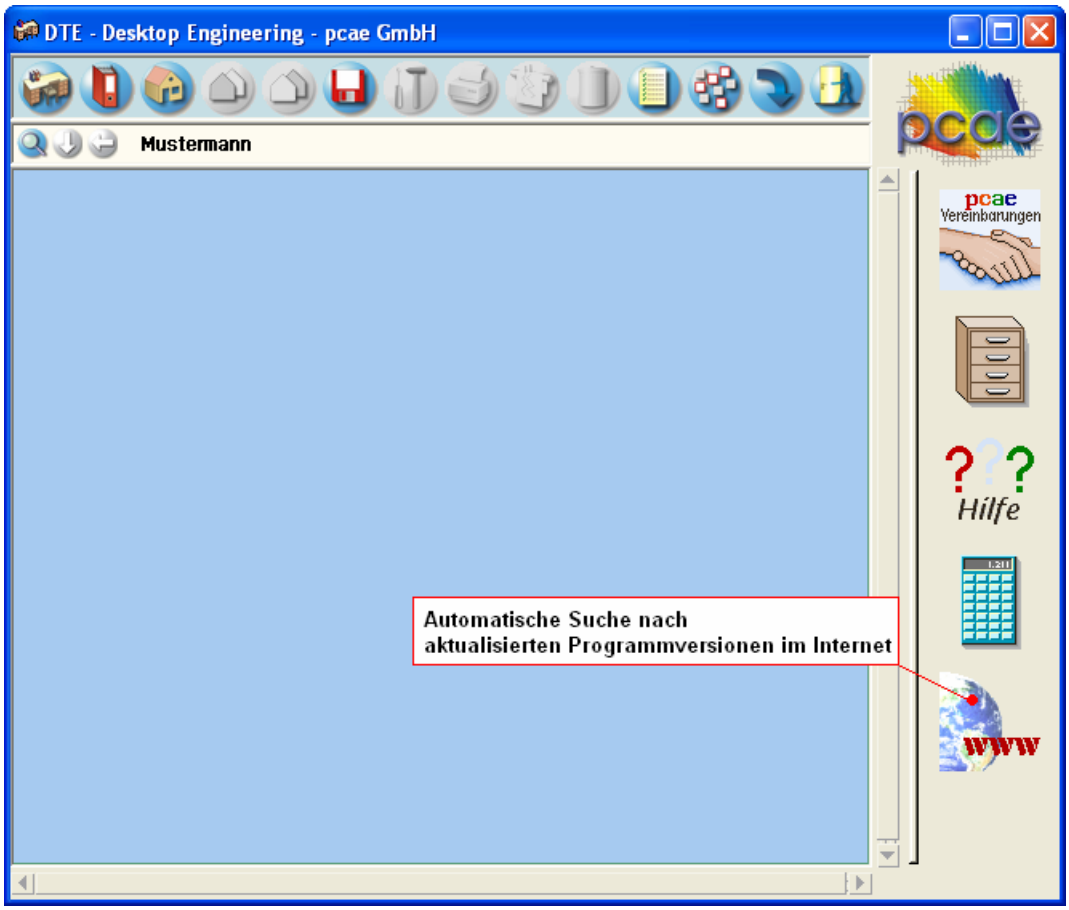


Nach Bestätigen über das ***Hakensymbol*** erscheint wieder die Schreibtischauswahl, in die der neue Name bereits eingetragen ist. Drücken Sie auf ***Start*** und die DTE®-Schreibtischoberfläche erscheint auf dem Bildschirm.

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.*

DTE®-Schreibtisch



Steuerbuttons

Im oberen Bereich des Schreibtischs sind Interaktionsbuttons lokalisiert.

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

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

Die Buttons bewirken im Einzelnen

öffnet die Schreibtischauswahl

legt einen neuen Projektordner an

erzeugt ein neues Bauteil

kopiert das aktivierte Bauteil

fügt die Bauteilkopie ein

lädt/sichert Bauteile. Hier befindet sich auch der ***e-Mail-Dienst***.

menügesteuerte Bearbeitung des aktivierten Bauteils

druckt die Datenkategorien des aktivierten Bauteils

ruft das Planerstellungsmodul des aktivierten Bauteils

löscht das aktivierte Bauteil/Ordner

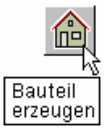
öffnet die Bearbeitung der Auftragsliste

öffnet die Mehrfachauswahl zur gleichzeitigen Bearbeitung von Bauteilen

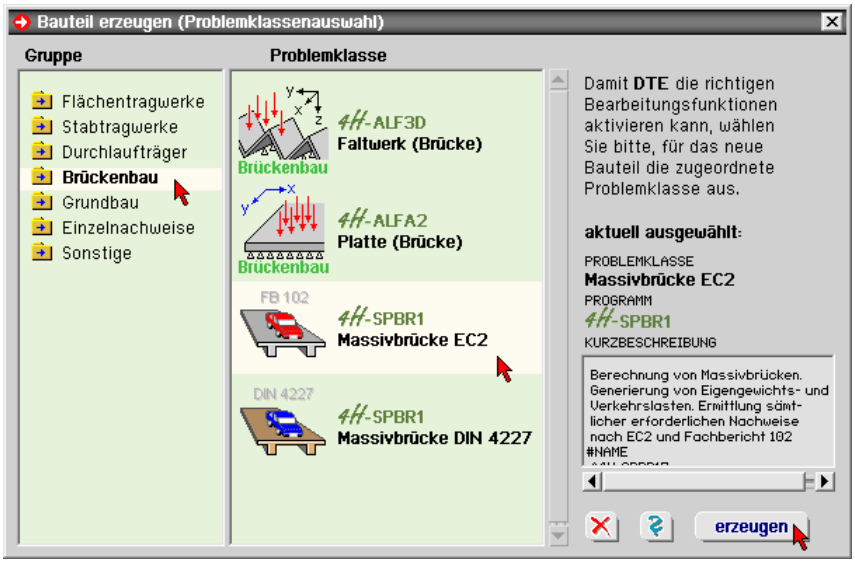
eröffnet Verwaltungsfunktionen

schließt den geöffneten Ordner/beendet die DTE®-Sitzung

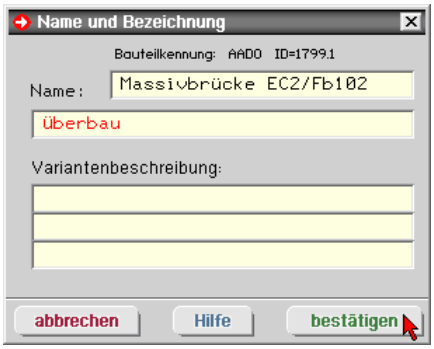
2 Bauteil erzeugen



Zur Erzeugung eines neuen Bauteils wird das Schnellstartsymbol in der Kopfleiste des DTE®-Schreibtischs angeklickt. Klicken Sie in dem folgenden Eigenschaftsblatt bitte mit der LMT auf die Gruppe ***Brückenbau***, dann auf die Problemklasse ***Massivbrücke EC2*** und abschließend auf den ***erzeugen-Button***.



Der schwarze Rahmen der neuen Bauteilikone 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 oder ergänzen Sie die Worte *Massivbrücke EC2/Fb102* durch einen sinnvollen Text zur Identifikation. Nach ***Bestätigen*** ist das Bauteil mit dem neuen Namen eingerichtet.

Klicken Sie das Bauteil nun mit der LMT doppelt an (Doppelklick). Das in Abs. 4.1 auf S. 15 dargestellte Bearbeitungsfenster der grafischen Eingabe erscheint.

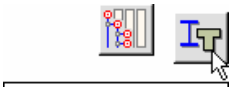
3 Bearbeitungsablauf eines Brückenüberbaus

Der folgende Ablaufplan stellt die Bearbeitungsschritte und ihre Reihenfolge zusammen. Prinzipiell unterscheidet sich diese Chronologie nicht von der herkömmlichen Projektbearbeitung "zu Fuß".

Bauteil vom Typ *Massivbrücke EC2* auf dem DTE®-Desktop einrichten

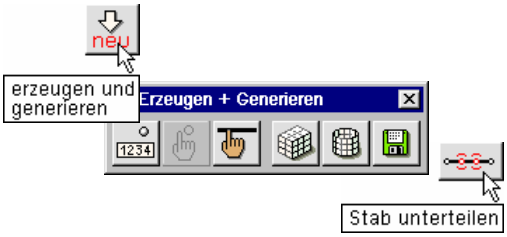
Brückenbauprogramm durch Doppelklicken des neuen Bauteils starten

Querschnitte

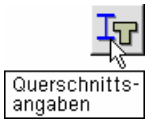


Querschnitte eingeben.
Alle Brückenbauquerschnittstypen werden den Stäben über Referenzen zugeordnet.
Werden Brückenparameter verändert, so ändern sich diese an allen Stäben, denen der Querschnitt zugeordnet ist!

System



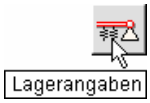
Erzeugen des Stabsystems und der nachweisrelevanten Zwischenknoten durch Doppelklick auf den betreffenden Stab und Drücken des entsprechenden ***Modellierungs***-Buttons



Zuordnen der Querschnitte aus der Querschnittsbibliothek zu den Stäben durch Markieren der Stäbe und Drücken des ***Querschnitts***-Buttons

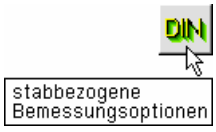
Aufruf der fotorealistischen Darstellung und Kontrolle der Eingaben

Lager



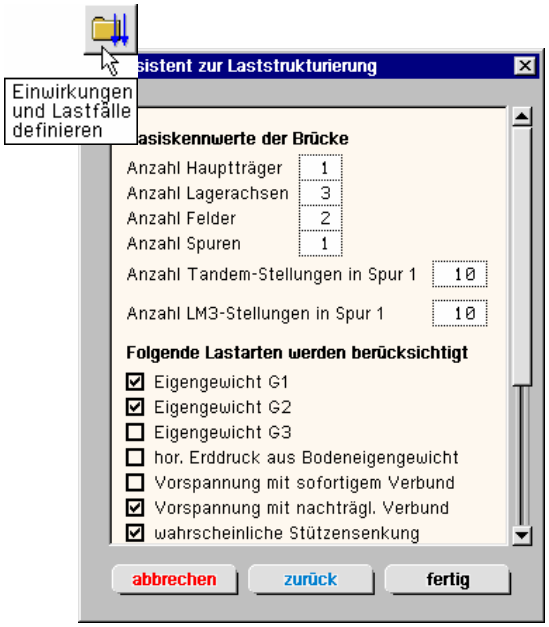
Definieren der Lagerbedingungen durch Markieren der betreffenden Knoten und Drücken des ***Lager***-Buttons

Bemessungsoptionen



Markieren der betreffenden Stäbe, Drücken des ***DIN***-Buttons und Wahl der Beton- und Betonstahlgüten

Einwirkungen und Lastfälle



Erzeugen der Einwirkungen und Lastfälle

Beim erstmaligen Aufruf der Einwirkungserzeugung erscheint ein Eingabeassistent, in dem Angaben zur automatischen Generierung der Lastfälle vorgenommen werden.

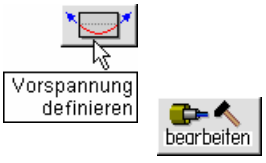
Nach Bestätigen der Eingaben werden die Lastfälle vom Programm erzeugt. Selbstverständlich können die Einwirkungen oder Lastfallangaben nachträglich beliebig erweitert oder verändert werden.

Vorspannung

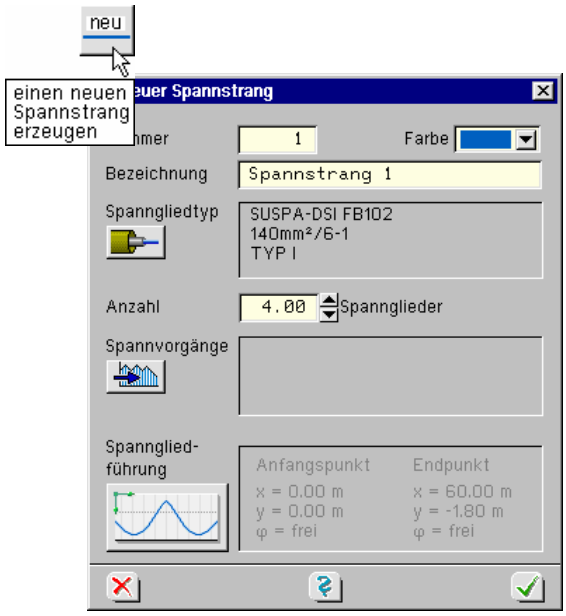
Bilden eines oder mehrerer Stabzüge zur Eingabe der Spannstranggeometrien.
Stäbe, die zu einem Stabzug gehören und vorgespannt werden sollen, sind zu markieren.
Anschließend ist der ***Erzeuge***-Button zu drücken.
Es können eine Kennung für den Stabzugtyp (Hauptträger, Querträger, ...) und eine Stabzugbezeichnung vergeben werden.

Wechsel in das Eingabefenster für die Vorspannung durch Drücken des ***ändern***-Buttons

Markieren des vorzuspannenden Stabzugs

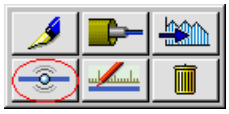


Drücken des ***Vorspannungs***-Buttons,
und Anklicken des
Vorspannungsbearbeitungs-Buttons.
Das Programm wechselt in das Eingabefenster der Spannstranggeometrie.

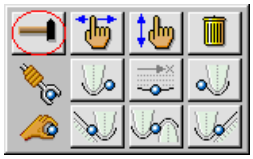


das Fenster zum Anlegen eines neuen Spannglieds wird durch Anklicken des ***neu***-Buttons geöffnet

Der Spannliedtyp kann aus der programminternen Bibliothek durch Klicken des ***Spannliedtyp***-Buttons ausgewählt werden.
Die Spannvorgänge können durch Klicken des ***Spann-vorgangs***-Buttons festgelegt werden.
Über den Button ***Spannliedführung*** wird der Spannstrangassistent aufgerufen.
Durch Verlassen des Eigenschaftsfensters mit Bestätigen wird das neue Spannglied angelegt.



Durch Anklicken des Spannglieds erscheint ein Fenster mit Bearbeitungsfunktionen für Spannglieder.
Ein Klick auf den ***Zwischenpunkt***-Button erzeugt einen neuen Zwischenpunkt.



Durch Anklicken des neuen Punkts wird ein Fenster mit Werkzeugen zur Bearbeitung des Spannglieds geöffnet. Die Koordinaten des Punkts können über den ***Werk-zeugbutton*** (Hammersymbol) eingegeben werden. Als Voreinstellung liegt das Koordinatensystem am Stabzug-anfang im Querschnittsschwerpunkt. Es kann jedoch durch Anklicken des grünen Koordinatensystems mit der Maus auf andere markante Punkte, z.B. Querschnittsun-terkante oder Querschnittsoberkante verschoben wer-den.
Standardmäßig bildet das Programm die Spannliedkur-ve aus kubischen Polynomen. Da jedoch i.d.R. quadrati-sche Parabeln gefordert sind, stehen hierzu verschiede-ne Funktionen zur Verfügung.

quadratische Parabel links vom Punkt

quadratische Parabel rechts vom Punkt

quadratische Parabel links und Gerade rechts vom Punkt

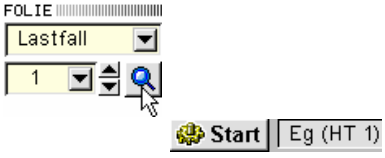
quadratische Parabel rechts und Gerade links vom Punkt

Wendepunkt mit quadratischen Parabel rechts und links vom Punkt

horizontale Tangente (Hoch- oder Tiefpunkt) erzwingen

Nach Eingabe aller Spannglieder für den Stabzug Ver-lassen des Eingabefensters mit dem ***bestätigen***-Button.

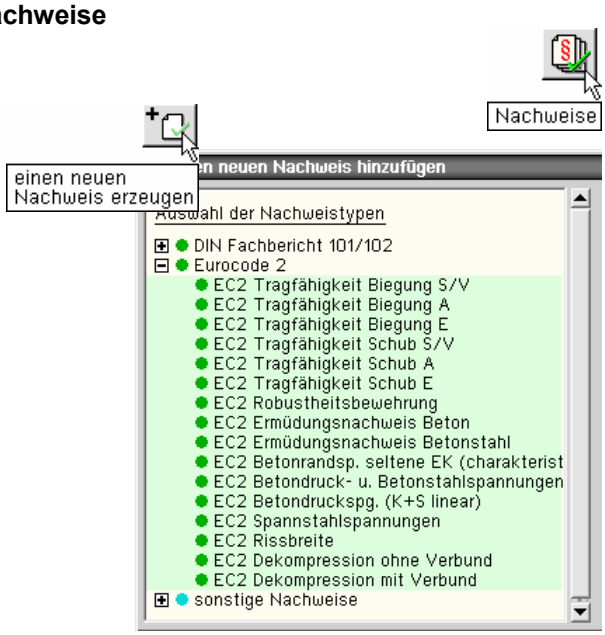
Grundlastfälle



Eingabe der übrigen Lasten.
Die Auswahl der Lastfälle erfolgt über den entsprechenden Auswahlknopf.
Die Bezeichnung der aktuellen Lastfallfolie wird in der Statuszeile am unteren Bildrand angezeigt.

Eingabe der Lasten durch Markieren der betreffenden Stäbe oder Knoten sowie Anklicken des ***neu***-Buttons und des zugehörigen ***Last***-Buttons

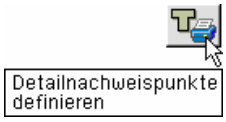
Nachweise



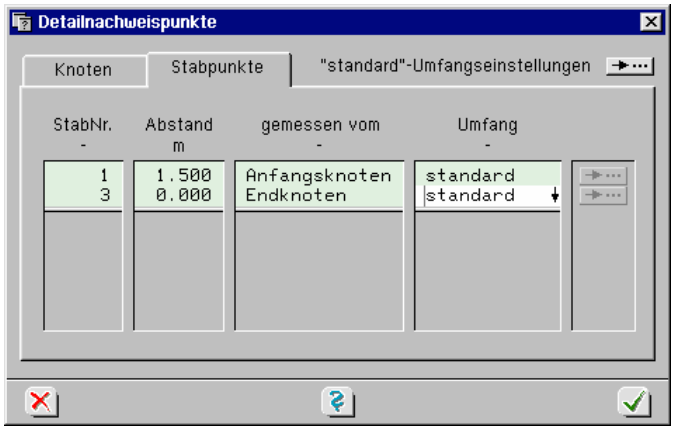
Drücken des ***Nachweis***-Buttons und Öffnen des Nachweisfensters

Anlegen der Nachweise durch Klicken des ***neu***-Buttons und Auswahl des gewünschten Nachweises

Detailnachweispunkte



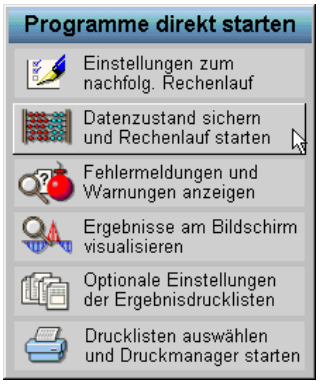
Aufruf des Fensters zur Bestimmung von Detailnachweispunkten



Definition der nachweisrelevanten Knoten und Stabpunkte

Verlassen des Detailnachweisfensters und des Nachweisfensters

Berechnung und Ergebnisse



Starten des Rechenlaufs

Ergebnisse (Liniengrafiken) visualisieren

Ergebnisse an Detailnachweispunkten sichten

4 Erläuterung der Eingabe an Hand eines Beispiels

Das folgende Beispiel wird an Hand eines Zwei-Feld-Brückensystems alle wesentlichen Bearbeitungsschritte der Eingabe wie System- und Lasteingabe, Beschreibung der Spanngliedgeometrie usw. vorstellen.

Ziel der Beispieleingabe ist es, dem Anwender Sicherheit im Umgang mit dem Programmsystem zu geben, indem er das Bauwerk parallel zur Lektüre auf seinem Rechner beschreibt und nebenbei die Eingabephilosophie verinnerlicht.

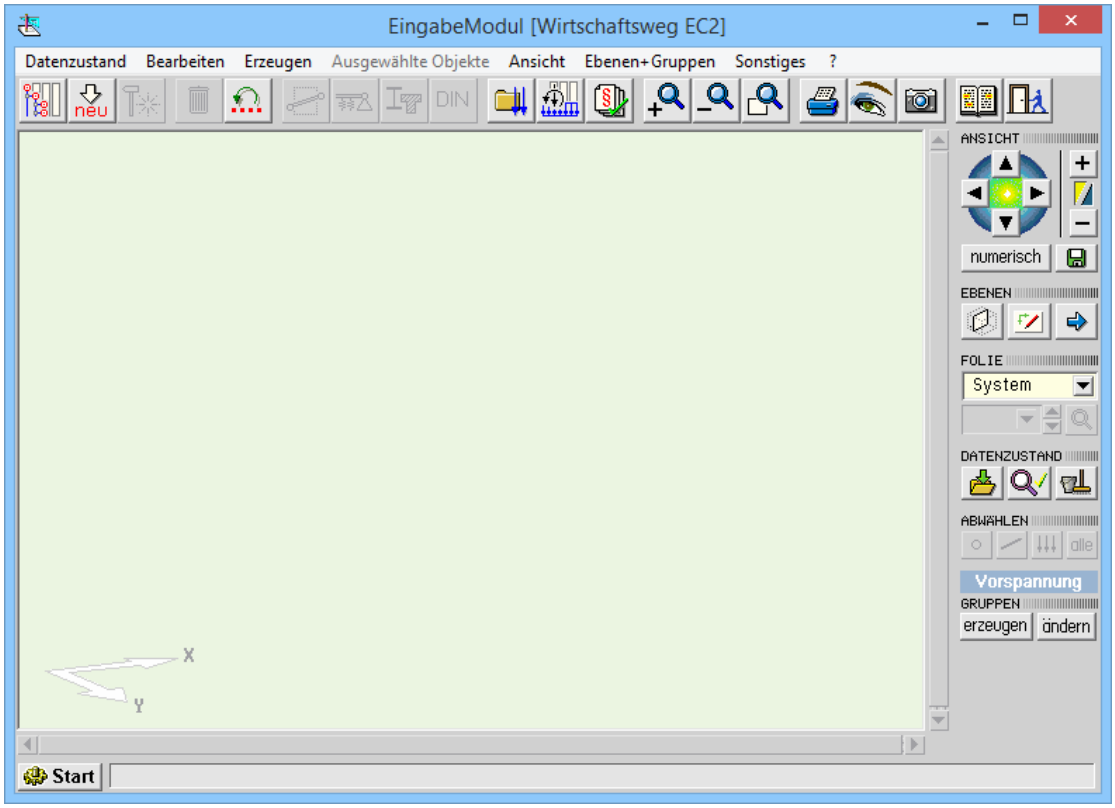
Die Details des Beispiels werden sukzessive mit der Fortentwicklung mitgeteilt. Bei der Eingabe kommt es nicht darauf an, sich sklavisch an die genannten Werte zu halten und alles wortgetreu zu übertragen. Modifizieren Sie soviel Sie wollen; das Kennenlernen steht im Vordergrund.

Nach Doppelklicken des neuen Bauteilicons erscheint das Bearbeitungsfenster. In dem großen inneren Bereich wird sukzessive das aus Punkten und Linien bestehende Bauteil entwickelt werden.

Punkte und Linien können im Bearbeitungsbereich mit der Maus aktiviert werden, um ihnen Lagerungsbedingungen, Querschnitte, Lasten usw. zuzuweisen.

4.1 Bearbeitungsfenster

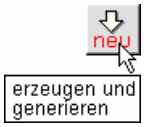
Am oberen und rechten Rand des Bearbeitungsfensters befinden sich die Steuerungsbuttons, die wir im Laufe der Bearbeitung kennen lernen werden.



Einige der Steuerbuttons sind abdunkelt und können im gegenwärtigen Bearbeitungszustand nicht aktiviert werden. Hierdurch zeigt sich bereits das ***kontextsensitive*** Verhalten des Eingabemoduls; es werden grundsätzlich nur solche Buttons angeboten, deren Verwendung zum aktuellen Zeitpunkt sinnvoll ist. Modifikationswerkzeuge, Lagerdefinitionen, Querschnittszuweisungen sind zu Beginn nicht möglich, da noch keine Objekte (Punkte oder Linien) vorhanden und aktiviert sind.

4.2 System

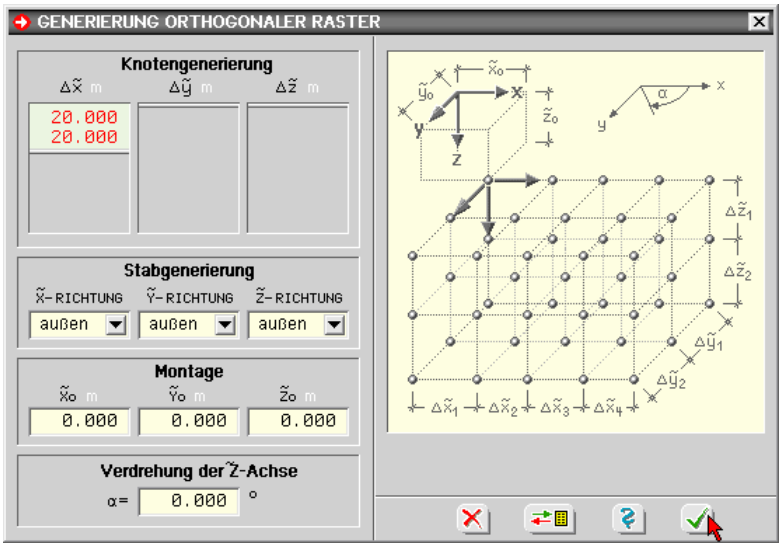
Das statische System soll aus einem Zwei-Feld-Träger mit 20 m Feldlängen bestehen.



Zur Erzeugung der Punkte und Linien wollen wir den Generator für orthogonale Raster nutzen. Klicken Sie hierzu auf den ***neu***-Button; das Menü *Erzeugen und Generieren erscheint.*

Neben der Koordinateneingabe von Einzelpunkten, der manuellen Staberzeugung und dem Einlesen von DXF-Dateien befindet sich hier auch die Aktivierung der Rotations- und Orthoraster.

Klicken Sie zur Eingabe mit der Maus (LMT) in die im Urzustand graue Spalte. Tragen Sie bitte in der Spalte Δx die beiden gezeigten Werte ein und bestätigen Sie über den grünen Haken unten rechts.



Sollten Sie am Ende der Spalte eine Null erzeugt haben, drücken Sie die Funktionstaste F7, wenn sich der Mauscursor in dieser Zeile befindet.

Wenn sich der Cursor in einer aktiven Tabelle befindet, erscheint durch Drücken der RMT ein Menü mit den möglichen Editorfunktionen.

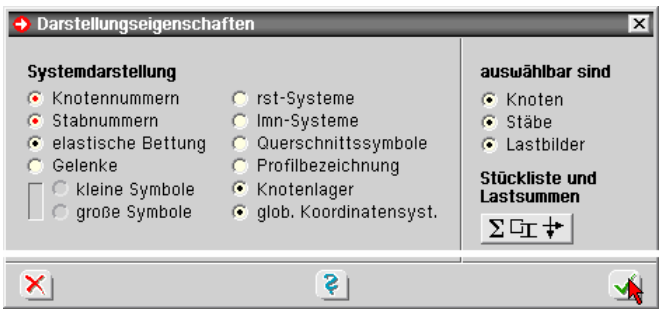
Nach Bestätigen müssen sich drei Punkte und zwei Linien ergeben haben, die sich parallel zur globalen X-Achse ausdehnen.

Falls etwas nicht wie gewünscht geschehen sein sollte, hilft der ***Undo***-Button.

4.3 Darstellungsoptionen

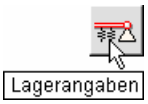
Um die Identifikation in der weiteren Bearbeitung einfacher zu gestalten, sollen nun Punkt- und Stabnummern in die Darstellung eingeblendet werden.

Klicken Sie bitte auf den Button ***Darstellungsoptionen*** und drücken die markierten Buttons.

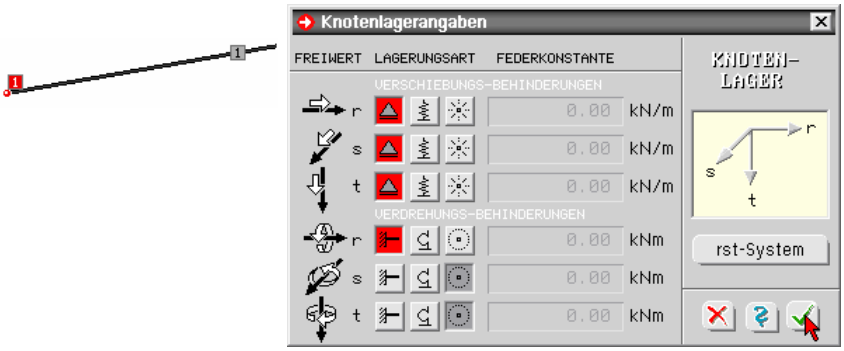


4.4 Lager

Klicken Sie nun mit der LMT auf Punkt 1, der dadurch aktiviert und rot markiert wird.



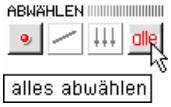
Klicken Sie den nun zugänglichen Button ***Lagerangaben*** an, halten Punkt 1 für alle drei Verschiebungsrichtungen und die Verdrehung um die Längsachse (Torsion) durch Eindrücken der entsprechenden Buttons fest und bestätigen dann.



Da unser System nur aus den beiden Stäben bestehen soll, ist es erforderlich, dass ein Lagerpunkt für Torsion gefesselt wird. Selbst wenn keine Torsionsbelastung aufgebracht wird, ist das System verschieblich (verdrehbar), weil die Stäbe um ihre Achse rotieren können.

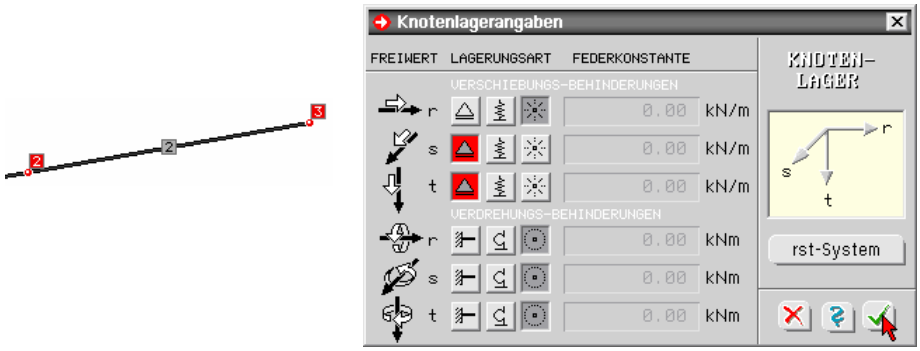
Das Knotenkoordinatensystem rst kann gegenüber dem räumlichen Koordinatensystem XYZ gedreht werden. Wenn nichts anderes definiert wurde, gilt rst = XYZ.

Die rst-Systeme können über die Darstellungsoptionen (Abs. 4.3, S. 16) in das System eingeblendet werden.



Wählen Sie den aktivierten Punkt wieder ab. Sie können hierfür die Buttons am rechten Bildschirmrand unten benutzen oder den Punkt direkt anklicken.

Aktivieren Sie bitte dann die Punkte 2 und 3. Klicken Sie wieder den Button ***Lagerangaben*** an und halten für beide Punkte die Verschiebungen senkrecht zur Stabachse fest.



Die Schnittkraftermittlung wird am räumlichen Stabwerk mit sechs Freiheitsgraden (drei Verschiebungen und drei Verdrehungen) durchgeführt.

Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts werden die Lagerangaben im Bearbeitungsfenster durch Symbole an den Lagerpunkten protokolliert, da der Button ***Knotenlager*** unter den Darstellungsoptionen (Abs. 4.3, S. 16) aktiviert ist.

Zusammenfassung Wir haben bisher drei Punkte und zwei Linien erzeugt und den Punkten bereits statische Eigenschaften in Form von Lagerungsbedingungen zugewiesen.

4.5 Brückenbauquerschnitte

Im nächsten Schritt erhalten die Linien Querschnittseigenschaften. Hierdurch werden sie zu Stäben innerhalb des räumlichen Stabwerks.

Beide Stäbe bilden den Hauptträger des idealisierten Brückenüberbaus, der später vorgespannt werden soll. Hierfür stehen besondere Querschnittstypen in Rechteck-, Plattenbalken-, Doppel-T-Form sowie Kreis-/Kreisring und Hohlkasten zur Verfügung. Aus einigen Querschnittstypen lassen sich durch geeignete Wahl bzw. Fortlassung der Abmessungen beliebige symmetrische und unsymmetrische Querschnitte erzeugen.

Zur Beschreibung der Vorspannung müssen spezifische Querschnittsformen bekannt sein, da diese im Zusammenhang mit der Spanngliedgeometrie für die Ermittlung statisch bestimmter und unbestimmter Schnittgrößenanteile erforderlich sind.

Die o.g. Bedingung wird per se eingehalten, wenn zuerst das statische System vollständig beschrieben wird und im zweiten Schritt mit der Erzeugung der Belastung fortgefahren wird.

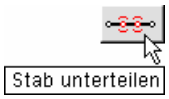
Selbstverständlich können auch nach Eingabe der Vorspannung Änderungen an Querschnittstypen vorgenommen werden.

4.5.1 mitwirkende Breiten

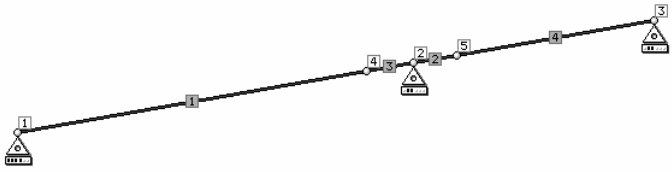
Die Normen sehen zu den Lagern hin Einschnürungsbereiche der mitwirkenden Querschnittsbreiten von z.B. 0.15·l vor. Dies führt zu Änderungen des Querschnitts im Verlauf jedes Feldes (Voutung), für die Stabunterteilungen vorgesehen werden müssen.

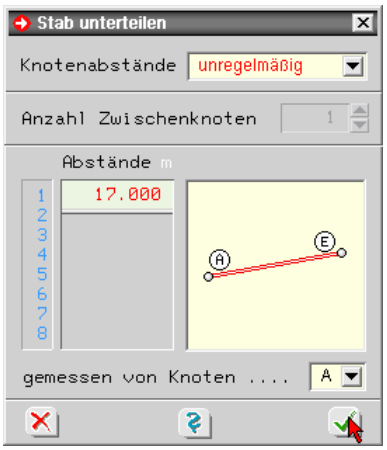
4.5.2 Stab unterteilen

Klicken Sie Stab 1 bitte doppelt mit der LMT an. Hierdurch erscheint sein individuelles Eigenschaftsblatt. Im unteren Bereich befinden sich Buttons zur Modellierung.



Nach Anklicken des Buttons ***Stab unterteilen*** erscheint das dargestellte Blatt zur Bestimmung der Unterteilungsvorschrift. Wechseln Sie auf die Eingabe unregelmäßiger Knotenabstände, tragen Sie den Abstand ein und bestätigen dann (ggf. 0-Zeilen mit Funktionstaste F7 löschen).

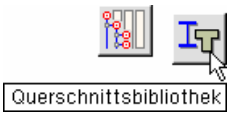




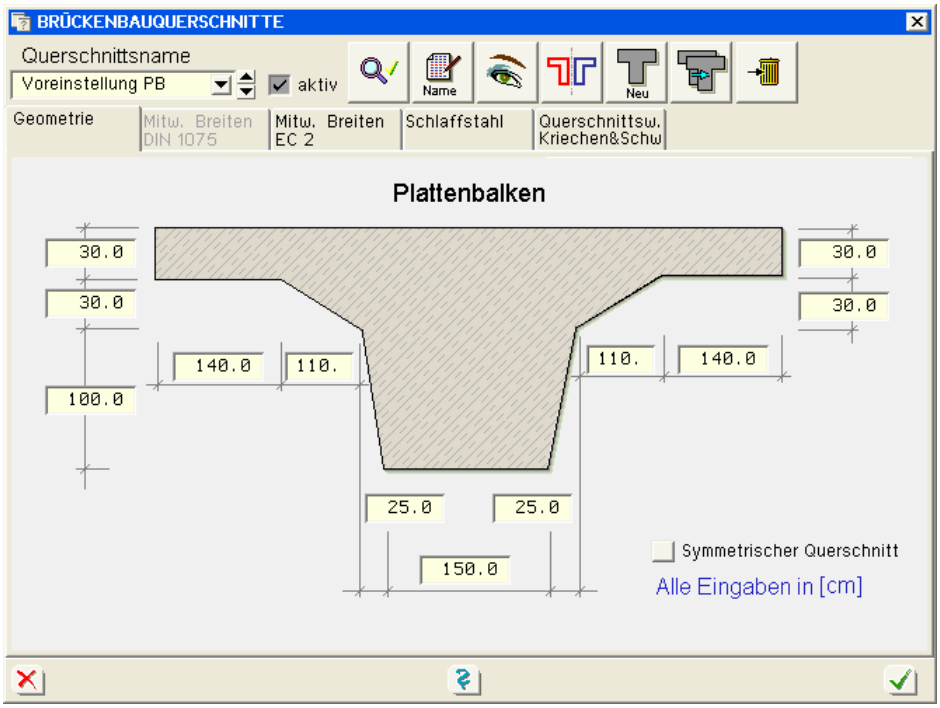
Die Unterteilung des zweiten Feldes erfolgt in gleicher Weise mit einem Abstand von 3.0 m. Damit ergibt sich das oben links dargestellte Bild.

Diese Unterteilung hinsichtlich der mitwirkenden Breiten ist für die Berechnung ausreichend, da sich über dem Endauflager i.d.R. keine ***Einschnürungen*** wie über dem Innenauflager ergeben.

4.5.3 Querschnitte eingeben

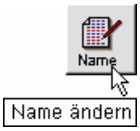


Der Überbau soll einen Plattenbalkenquerschnitt besitzen. Bei der angestrebten korrekten Berücksichtigung der mitwirkenden Plattenbreiten sind ein Feld- und ein Stützenquerschnitt einzugeben. Da die Beschreibung der Brückenbauquerschnitte einen essentiellen Bestandteil der gesamten Systembeschreibung darstellt, ist sie unter den ***allgemeinen Festlegungen*** lokalisiert. Klicken Sie bitte die beiden dargestellten Buttons an und wählen Sie danach den Plattenbalken aus.

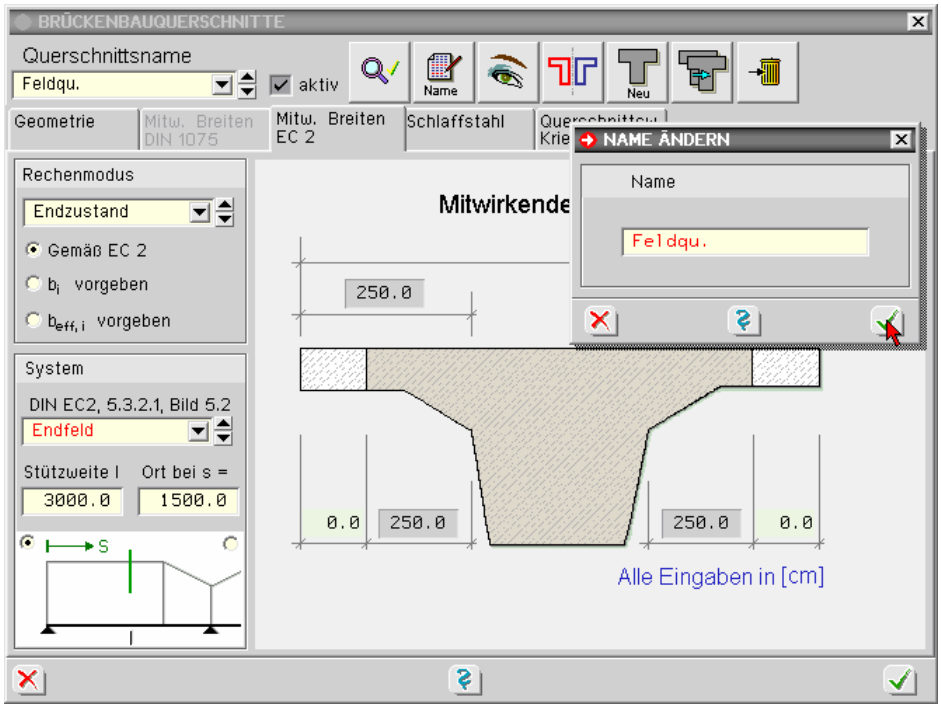


Der Einfachheit halber wollen wir die voreingestellte Geometrie übernehmen. Änderungen sind durch Eintragen der Abmessungen in die Eingabefelder der Maßketten möglich. Die sich damit ergebende Querschnittsgeometrie kann über den DTE®-Viewer unter dem nebenstehenden Button eingesehen werden.

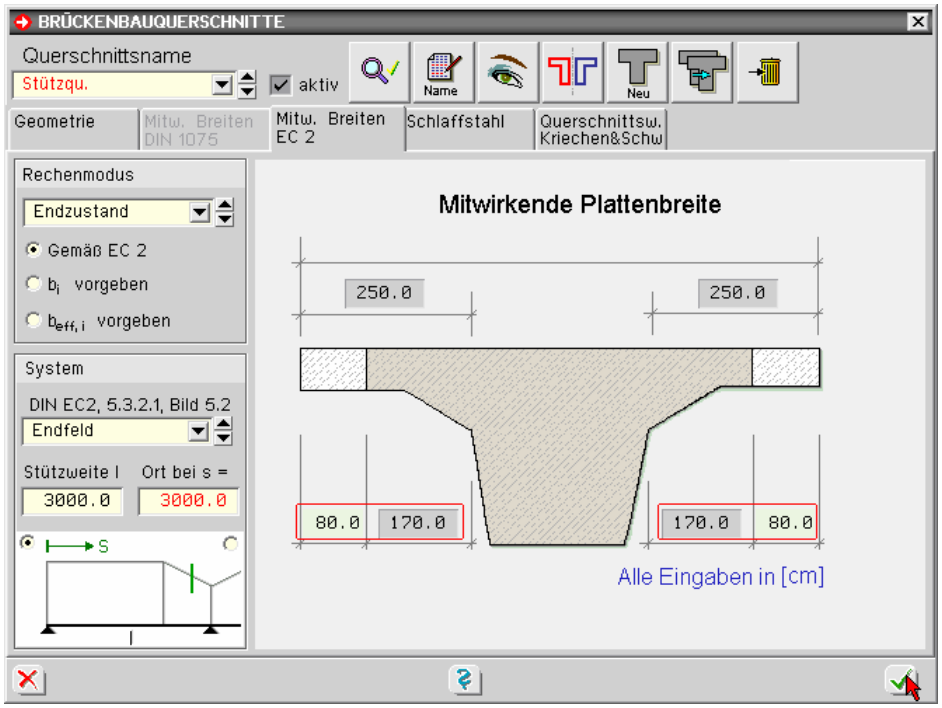
Wechseln Sie nun bitte in das Register *Mitwirkende Breiten EC 2.* Unten links befinden sich Eingabefelder für den Feldtypus, Stützweite und Ort mit deren Eintragungen die in den Maßketten grünlich hinterlegten nicht mitwirkenden Kragarmanteile ermittelt werden.



Klicken Sie den Button ***Name ändern*** an und benennen den Querschnitt zur späteren Identifikation um.

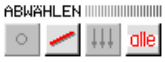


Nach Bestätigen des Namens erzeugen Sie eine Querschnittskopie und nennen diese *Stützqu*.



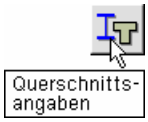
Ändern Sie bitte die Berechnungsparameter für die ***mitwirkenden Breiten***; über einer Innenstütze ergibt sich eine erhebliche Einschnürung.

Wenn Sie den Querschnitt bestätigen, umfasst unsere Querschnittsbibliothek nun zwei Querschnitte, bei denen wir es bewenden lassen wollen.



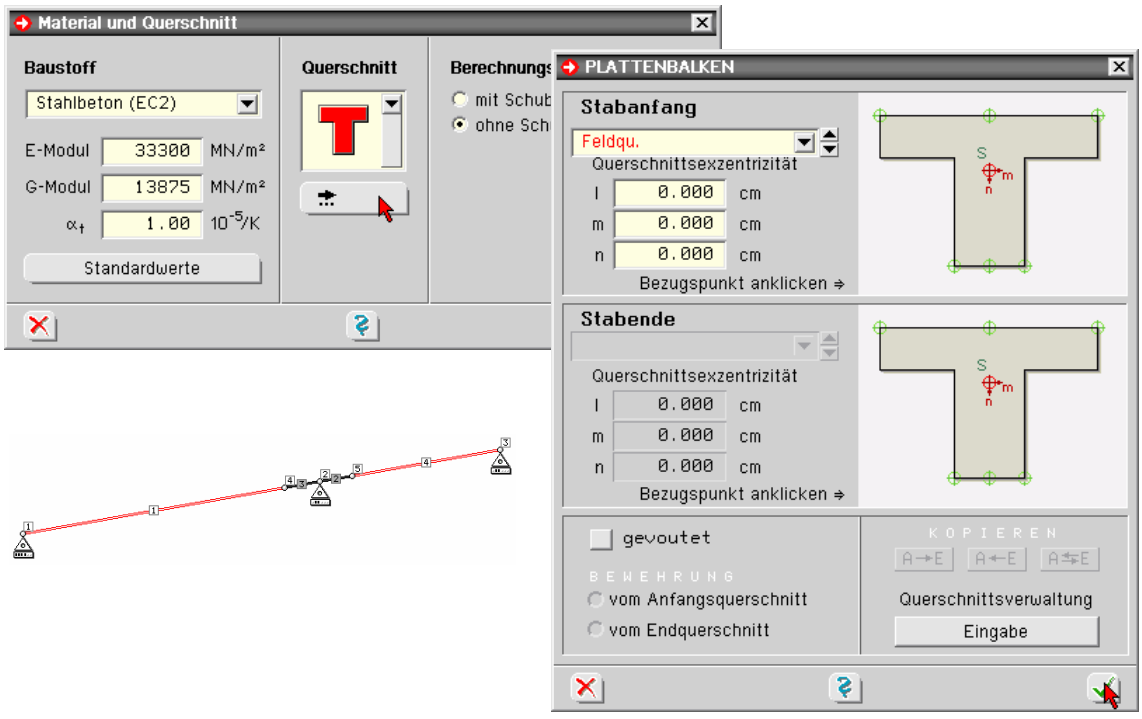
Wählen Sie nun bitte die aktivierten Stäbe ab.

4.5.4 Querschnitte zuweisen



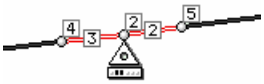
Klicken Sie bitte die beiden Endstäbe an, die dadurch rot markiert werden, und rufen die Querschnittsangaben auf.

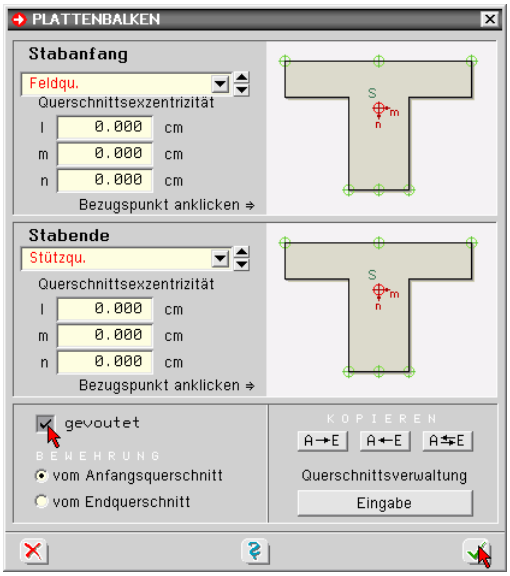
Wechseln Sie den Querschnittstyp auf ***Plattenbalken*** und rufen Sie über den markierten Button das Eigenschaftsblatt *Plattenbalken.* Ändern Sie dort den Namen für den Querschnitt am Stabanfang auf *Feldqu.* und bestätigen Sie mehrfach.



Die Eigenschaften mehrerer gleichartiger Objekte (Punkte, Linien, Lasten) können in einem Arbeitsgang zugewiesen werden. Hierzu sind die betreffenden Objekte zu aktivieren und die Aktion auszuführen.

Wählen Sie nun bitte die Stäbe ab, aktivieren Sie die beiden Stäbe an der Stütze und weisen ihnen in gleicher Weise Querschnittsangaben zu.

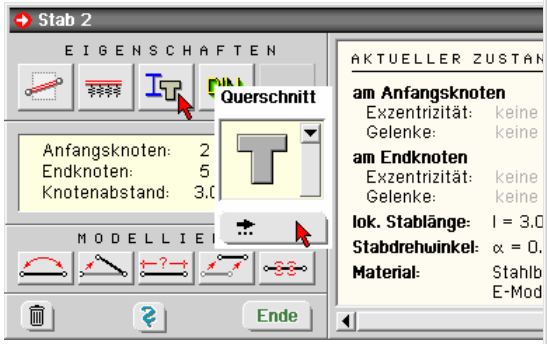


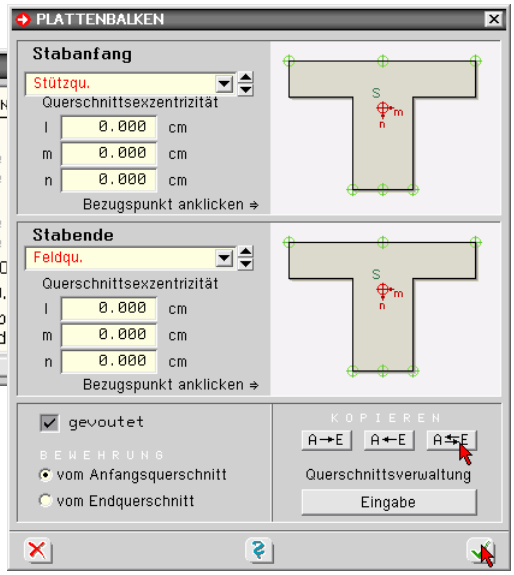


Der Querschnittsverlauf muss hier ***gevoutet*** sein. Für den linken Stab in Feld 1 gilt richtigerweise am Stabanfang der Feld- und am Stabende der Stützenquerschnitt. Für den rechten Stab ist diese Definition nicht korrekt.

Klicken Sie nach Bestätigen dieser Eingaben den rechten Stab doppelt an. Hierdurch erscheint sein individuelles Eigenschaftsblatt, über das speziell seine Querschnittsdefinitionen erreichbar sind.

Klicken Sie im Eigenschaftsblatt *Material und Querschnitt* bitte wieder den ***bearbeiten***-Button unterhalb des Querschnitts. Tauschen Sie dort die Typzuweisungen über den markierten Button. Bestätigen Sie dann mehrfach.





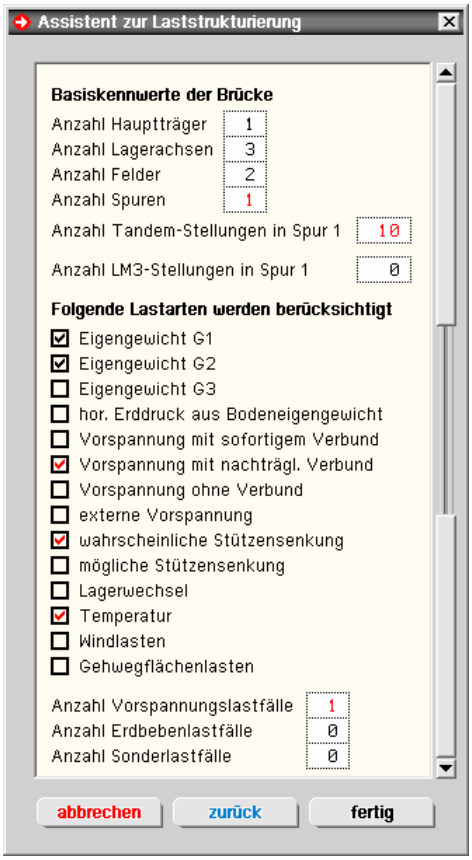
Die Eigenschaften durch Doppelklick aktivierter Objekte werden individuell geändert. Andere im Auswahlzustand (rot markiert) befindliche Objekte sind von diesen Änderungen nicht betroffen.

Damit ist die Systembeschreibung abgeschlossen und wir kommen zur Belastungseingabe.

4.6 Eingabeassistent Belastung

Die Eingabe der Belastung mit den vielschichtigen Belastungsformen wird durch einen Eingabeassistenten unterstützt. Mit ihm werden vor der eigentlichen Lastbildbeschreibung alle relevanten Lastfälle mit ihren Charakteristika erzeugt.

Bestätigen Sie nach Anklicken des Button ***Einwirkungen...*** das Lastschema ***Straßenbrücken (EC1/FB101)***.



In der folgenden Übersicht *Assistent zur Laststrukturierung* werden Basiskennwerte zum Brückensystem und die zu berücksichtigenden Lastarten zusammengestellt.

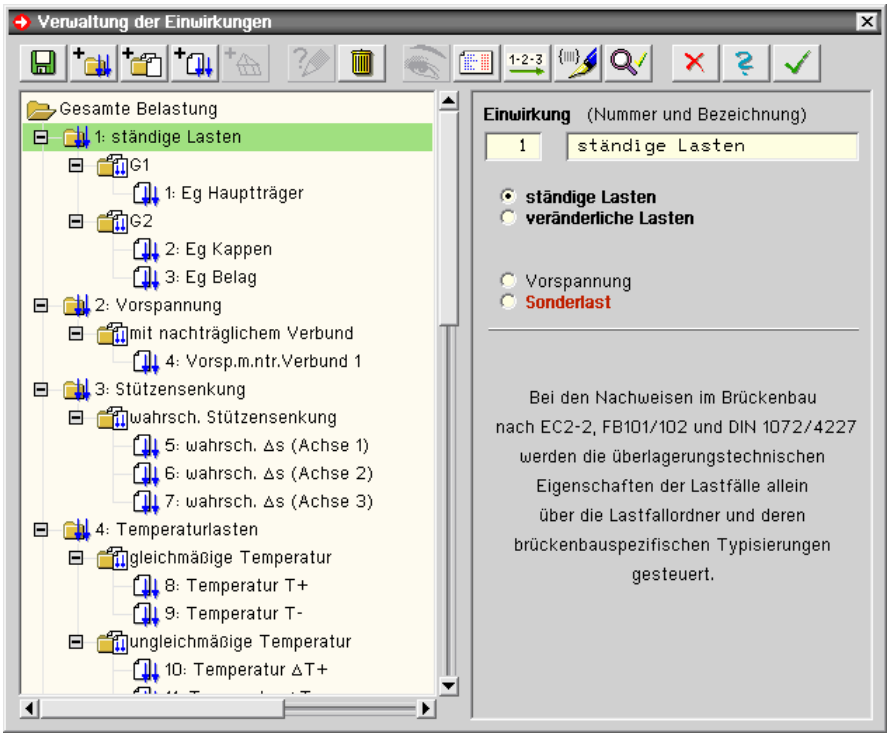
Mit diesen Angaben werden automatisch alle erforderlichen Einwirkungen mit den darunter befindlichen Lastfällen generiert.

Nach ihrer Erzeugung sind die Lastfälle dann nur noch mit den zugehörigen Lastbildern zu füllen.

Modifizieren Sie die Tabelle bitte wie in der nebenstehenden Grafik angegeben.

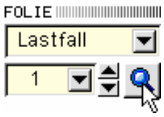
4.6.1 Einwirkungen und Lastfälle

Mit diesen Angaben des Eingabeassistenten werden fünf Einwirkungen mit insgesamt 37 Lastfällen erzeugt.



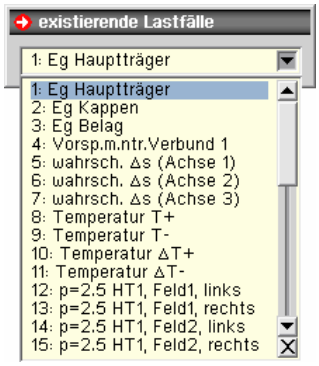
Der nächste Bearbeitungsschritt füllt diese Lastfälle mit den zugehörigen Lastbildern. Da es sich hierbei prinzipiell um eine reine Fleißarbeit handelt, soll sich die Beschreibung im Rahmen des vorliegenden Beispiels auf relevante Eingaben beschränken. Die Ermittlung von Lastordinaten z.B. ist in diesem Sinne trivial und wird nicht beschrieben.

4.6.2 Folientechnik



Die Eingabe von System und Belastung erfolgt in unterschiedlichen Layern. Wir haben uns bisher ohne besonders darauf hinzuweisen in der Systemfolie befunden. Hier werden ausschließlich Informationen zum statischen System verwaltet.

Zur Eingabe der Lastfalldaten wird in die jeweilige Lastfallfolie gewechselt. Eine Übersicht über alle vorhandenen Lastfälle liefert das kleine ***Lupensymbol***.



4.6.3 Eigengewicht Überbau

Wechseln Sie bitte nach Lastfall 1 und aktivieren Sie alle Stäbe. Um nicht alle Stäbe einzeln anklicken zu müssen, können Sie das Fangerechteck (S. 2) nutzen.

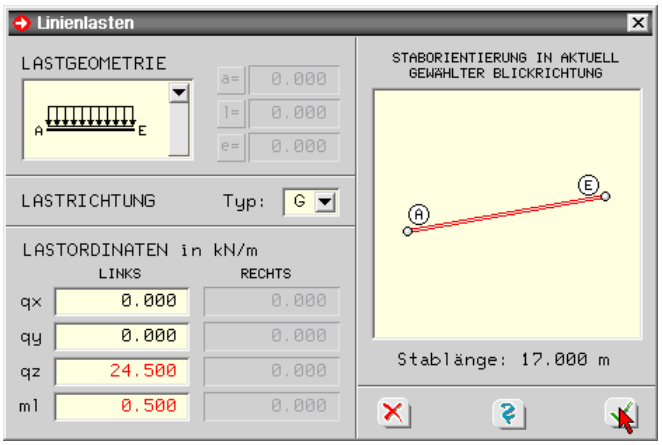
Klicken Sie dann auf den ***neu***-Button. Hier befinden sich nun im Gegensatz zur Systemfolie Buttons zur Erzeugung von Lastbildern. Klicken Sie auf den Button ***Eigengewichtslasten*** und weisen den Stäben das Raumgewicht γ zu. Das Programm multipliziert diesen Wert automatisch mit den lokalen Querschnittsflächen.

Die Darstellung im Bearbeitungsfenster besitzt dann folgendes Aussehen, wenn über die Darstellungsoptionen (Abs. 4.3, S. 16) die Lastordinaten aktiviert werden.

4.6.4 Eigengewicht Kappen

Wechseln Sie nun auf Lastfallfolie 2. In der Lastfallübersicht war protokolliert worden, dass hierunter die Eigengewichtslasten der Kappen erfasst werden.

Aktivieren Sie bitte wieder alle Stäbe und weisen Ihnen ***Linienlasten*** zu.



Hier können Linienlasten für alle drei Koordinatenrichtungen und ein Streckendrillmoment (kNm/m) eingegeben werden.

4.6.5 Eigengewicht Belag

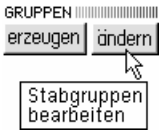
Verfahren Sie in gleicher Weise mit Lastfall 3 (Eigengewicht Belag) und weisen allen Stäben eine Linienlast von z. B. 10.4 kN/m zu.

4.6.6 Vorspannung

Unter Lastfall 4, Vorspannung mit nachträglichem Verbund, (Abs. 4.6.2, S. 23) wird die Spannkabelgeometrie eingegeben, die einem Hauptträger zugeordnet wird. Für jeden Hauptträger ist dafür eine zusammenhängende Stabgruppe zu bilden. Aus diesem Grunde ist die Eingabe der Vorspannung unter den Gruppenbuttons lokalisiert.

Um eine Gruppe bilden zu können, müssen Stäbe aktiviert sein. Wählen Sie bitte alle vorhandenen Stäbe (mittels Fangerechteck oder einzelnes Anklicken) aus, so dass sie rot markiert sind und klicken den Button ***Stabgruppe erzeugen*** an.

Bezeichnen Sie die Gruppe. Das anschließend erscheinende Eigenschaftsblatt *Orientierung des Stabzugs* kann ohne Änderung bestätigt werden.

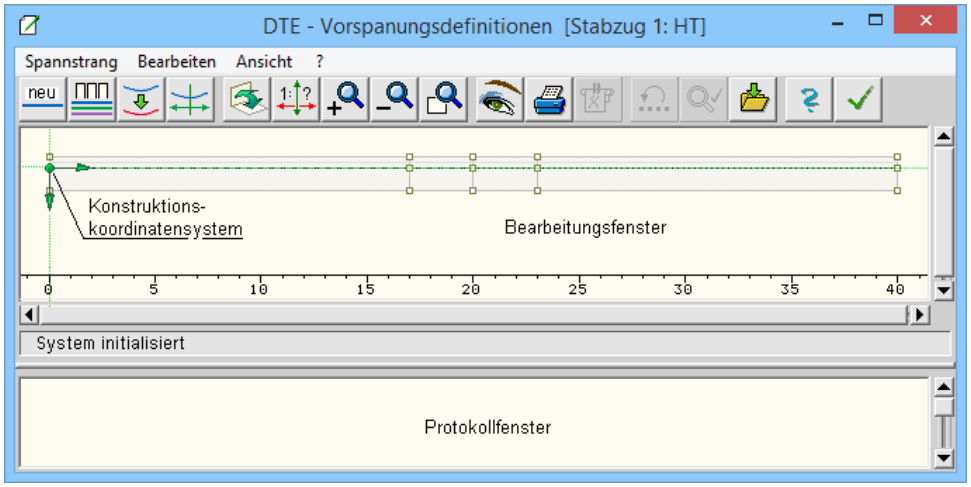


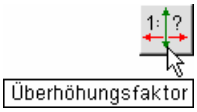
Klicken Sie nun den Button ***Stabgruppen bearbeiten*** an. Aktivieren Sie dort die soeben erzeugte Gruppe.

Hierdurch werden die vier ersten Buttons freigegeben. Klicken Sie den Button ***Vorspannung definieren*** und im darauf folgenden Eigenschaftsblatt den Button ***Vorspannungseigenschaften bearbeiten*** an.

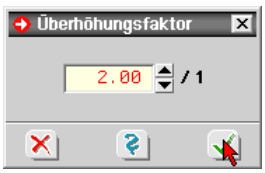
Das Gesamtfenster des dadurch aufgerufenen Programmmoduls DTE®- *Vorspannungsdefinitionen* ist in ein oben lokalisiertes Bearbeitungsfenster und ein darunter befindliches Protokollfenster unterteilt.

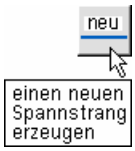
4.6.6.1 Bearbeitungsfenster



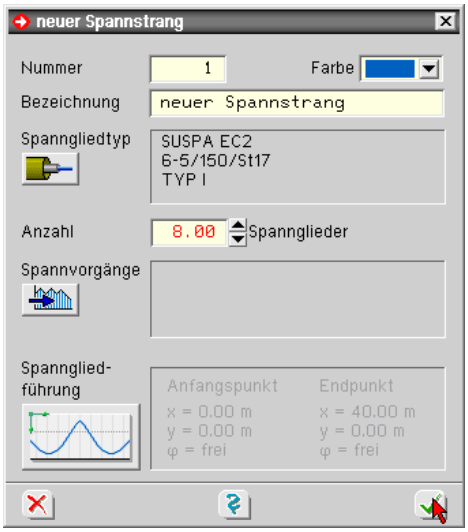


Setzen Sie bitte vorab den Überhöhungsfaktor auf 2.





Erzeugen Sie nun über den ganz linken Button einen neuen Spannstrang.



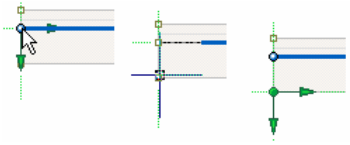
Anfangs- und Endpunkte des Spannstrangs sowie der Spanngliedtyp können belassen werden.

Die Anzahl der Spannglieder dieses Strangs ist hier auf 4 gesetzt worden.

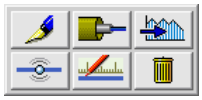
Nach ***Bestätigen*** erscheint ein gerader Spannstrang im Bearbeitungsfenster.

4.6.6.2 Konstruktionskoordinatensystem

Das Konstruktionskoordinatensystem (KKS) liegt in der Schwerachse des Querschnitts. Es kann jedoch jederzeit verlagert werden. Klicken Sie hierzu den Ursprung des KKS mit der LMT, halten Sie die Taste gedrückt und ziehen das KKS z.B. nach UK Bauwerk.



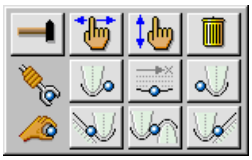
4.6.6.3 Zwischenpunkte



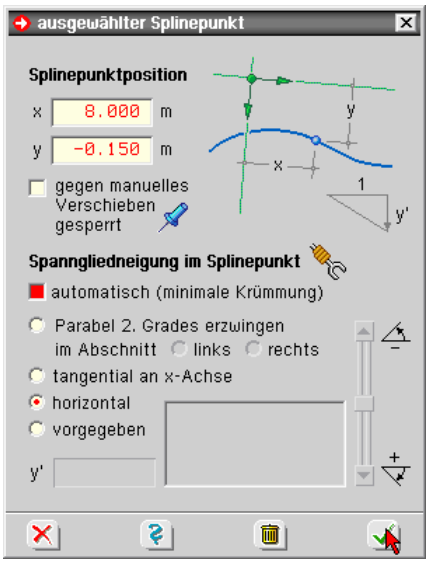
Am unteren Rand des Bearbeitungsfensters befindet sich ein Lineal, das das Bauwerk vermaßt. Klicken Sie bitte mit der LMT den Spannstrang ungefähr bei 8 m an. Dadurch erscheint ein Bearbeitungsmenü.

Klicken Sie nun den Button ***Zwischenpunkt erzeugen*** an. Dieser neue Punkt wird später als Tiefpunkt benutzt werden. Erzeugen Sie in gleicher Weise Punkte bei ca. 19, 20, 21 und 32 m.

Klicken Sie dann den zuerst erzeugten Zwischenpunkt bei 8 m mit der LMT an. Das Menü zur Bearbeitung von Splinepunkten erscheint.



Klicken Sie bitte den Button ***Splinepunkt numerisch bearbeiten*** an.



Der Punkt wurde als Tiefpunkt des Spannstrangs im Feld 1 vorgesehen. Die Splinepunktposition bezieht sich auf das KKS und kann genau auf 8.0 m gesetzt werden.

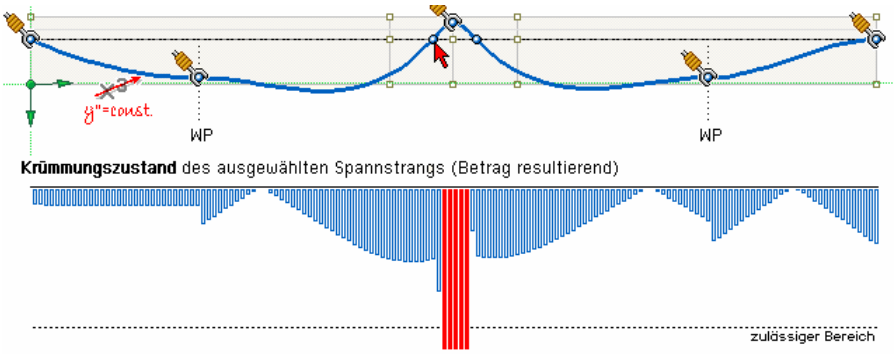
Die Höhe der Spannstrangschwerachse über UK Bauwerk soll -0.15 m betragen und die Tangente an den Spannstrang im Tiefpunkt horizontal verlaufen.

Klicken Sie nun den Tiefpunkt im zweiten Feld bei 32.0 m und den ***bearbeiten***-Button an. Setzen Sie den x-Wert auf genau 32.0 m, y ebenfalls auf -0.15 m und erzwingen Sie eine horizontale Tangente.

Klicken Sie jetzt den Hochpunkt über der Mittelstütze an. Setzen Sie dort den x-Wert exakt auf 20 m, den y-Wert auf -1.45 und auch hier die Tangente auf ***horizontal***.

In diesem Bearbeitungszustand werden zwei Gegebenheiten ersichtlich. Auf Grund der Zwangspunkte neben der Mittelstütze ergibt sich ein Verlauf des Spannstrangs, der das Bau-

werk nach unten verlässt. Im Protokollfenster ergibt sich zudem ein unzulässiger ***Krümmungszustand*** für das gewählte Spannglied. Der rote Bereich zeigt dies an.



y und y' des Splinepunktes so festlegen, dass auf beiden Seiten eine Parabel 2. Grades entsteht

Klicken Sie nun auf den Wendepunkt bei 19 m. Sie können den exakten x-Wert über den ***bearbeiten***-Button eintragen. Vielmehr interessiert hier aber der nebenstehende Button, der einen Wendepunkt mit beidseitig anhängender quadratischer Parabel erzeugt.

Das nun an die Kurven angetragene Symbol macht deutlich, dass in den bezeichneten Bereichen nicht mehr mit kubischen Splinefunktionen sondern mit quadratischen Parabeln konstruiert wird. Quadratische Parabeln ergeben (bei konstanter Vorspannkraft) konstante Umlenkkraftverläufe.

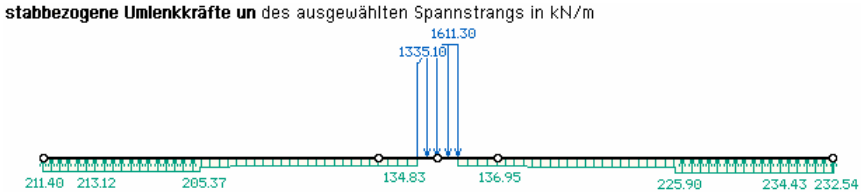
Führen Sie nun die gleiche Aktion für den Wendepunkt bei 21.0 m aus.

Splinepunkt so verdrehen, dass rechtsseitig eine Parabel 2. Grades entsteht

Klicken Sie nun auf den linken Ankerpunkt und erzwingen Sie eine quadratische Parabel rechts von ihm.

Führen Sie abschließend die äquivalente Aktion mit dem rechten Ankerpunkt durch und konstruieren Sie eine quadratische Parabel links von ihm.

Wenn Sie im unteren Protokollbereich den Scrollbalken am rechten Rand nach unten ziehen wird der Verlauf der vertikalen ***Umlenkkräfte*** u_n sichtbar (folgende Darstellung ist qualitativ zu sehen).

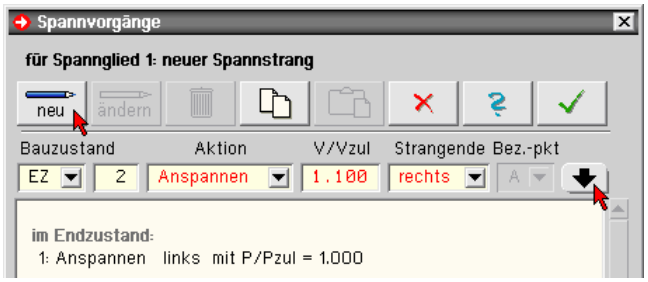


Es stehen mehr Beschreibungsparameter für die Spanngliedgeometrie zur Verfügung als für den gewünschten Funktionsverlauf erforderlich sind. Um schnell zum Ziel zu gelangen, ist es sinnvoll, bei der ohnehin erforderlichen numerischen Festlegung der Splinepunkte (Abs. 4.6.6.3, S. 25) auch alle bekannten Steigungen (üblicherweise horizontale Tangenten) gleich mit festzulegen. Alle anderen Splinepunkte können dann benutzt werden, um mittels der Geometriebuttons (Parabel links, P. rechts, WP usw.) den Kurvenverlauf zu bestimmen.

4.6.6.4 Spannvorgänge

Um weitere Spannvorgänge vorzugeben, klicken Sie den Spannstrang an und in dem bereits bekannten Bearbeiten-Menü auf den Button ***Spannvorgänge definieren***.

Im Eigenschaftsblatt *Spannvorgänge* klicken Sie bitte den Button ***neuen Vorgang einfügen*** an.



In den daraufhin aktivierten Eingabefeldern können Aktionen (Anspannen, Nachlassen, Keilschlupf), das Verhältnis vorhandener zu zulässiger Vorspannkraft und der zugehörige Ankerpunkt für die Aktion angegeben werden. Wenn die Einstellungen abgeschlossen sind, wird der Spannvorgang über den Button ***hinzufügen*** in das Spannprogramm aufgenommen. Definieren Sie z.B. den o.g. zweiten Spannvorgang.

Das Programm berechnet aus den eingeprägten Schnittgrößen, die sich aus den Vorspannkräften ergeben, den statisch unbestimmten Anteil der Vorspannung zum Zeitpunkt direkt nach dem Vorspannen ohne Einfluss von Kriechen und Schwinden. In einer Nachlaufrechnung werden die statisch bestimmten Anteile der Vorspannung ermittelt, zu den statisch unbestimmten Anteilen addiert und als zusätzlicher Lastfall ans Ende der Lastfallliste angehängt. In gleicher Weise werden in einer Nachlaufrechnung die Spannkraftverluste aus Kriechen und Schwinden ermittelt und die hieraus abgeminderten Schnittgrößen als zusätzliche Lastfallergebnisse ans Ende der Lastfallliste anhängt. Die Lastfälle, die nur den statisch unbestimmten Anteil enthalten, sind mit P' gekennzeichnet.

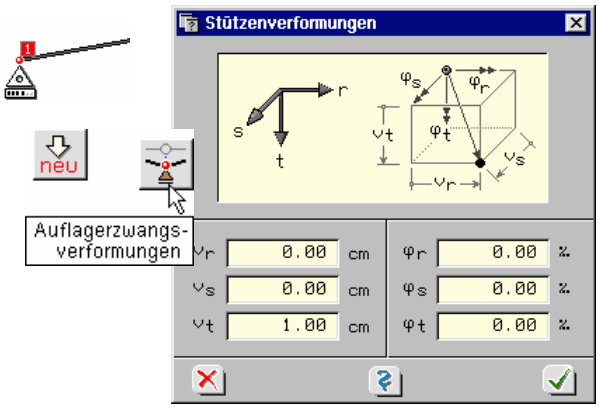
Damit sind die wesentlichen Eingaben für den Lastfall Vorspannung abgeschlossen. Verlassen Sie bitte das Modul *Vorspannungsdefinitionen* und die *Gruppendefinitionen* über die ***bestätigen***-Buttons.

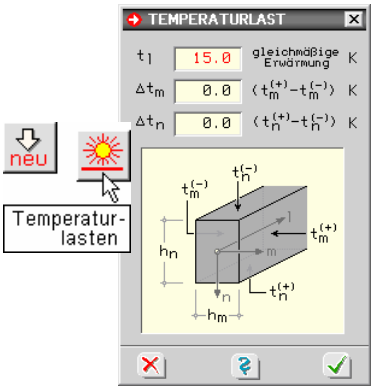
4.6.7 Lagerverformungen

Die Lastfälle Stützensenkungen Δs für die drei Achsen werden im vorliegenden Beispiel als LF 5 bis 7 geführt. Wechseln Sie bitte nach Lastfallfolie 5.

Aktivieren Sie Punkt 1 und rufen das Eigenschaftsblatt der Stützenverformungen auf. Lagerverschiebungen und -verdrehungen (Bogenmaß) wirken im lokalen Knotenkoordinatensystem. Sofern nichts anderes definiert wurde, gilt rst = XYZ.

Füllen Sie bitte die Lastfälle 6 und 7 für die Lager 2 und 3 in gleicher Weise aus.





4.6.8 Temperaturbelastung

Wechseln Sie dann auf Lastfallfolie 8 zur Eingabe einer gleichmäßigen Erwärmung des Bau-

werks. Aktivieren Sie alle Stäbe und rufen dann das Eigenschaftsblatt zur Eingabe von Temperaturlasten.

gleichmäßig Tragen Sie unter der gleichmäßigen Erwärmung einen Zahlenwert ein und verfahren Sie mit Lastfall 9 in gleicher Weise mit einem negativen Wert.

ungleichmäßig Die Lastfälle 10 und 11 sollen einen Temperaturgradienten über die Höhe des Längsträgers aufnehmen. In LF 10 soll die Oberseite wärmer als die Unterseite sein. Tragen Sie hierfür unter Δt_n z. B. -10 K ein. Der umgekehrte LF 11 (Unterseite wärmer als Oberseite) hat z.B. einen Wert von +8 K.

4.6.9 Verkehrslasten

Die Belastung aus Verkehr ist durch den Eingabeassistenten in die Anteile *Restflächenlast feldweise*, *Hauptspurüberlasten feldweise* und die gewünschten zehn Lastfälle Stellungen des *Tandemfahrzeugs* in der Hauptspur aufgeteilt worden.

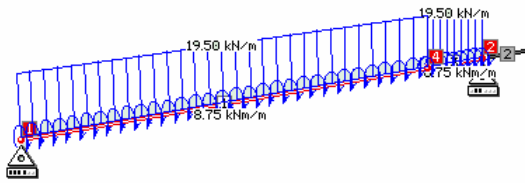
4.6.9.1 Grundlast

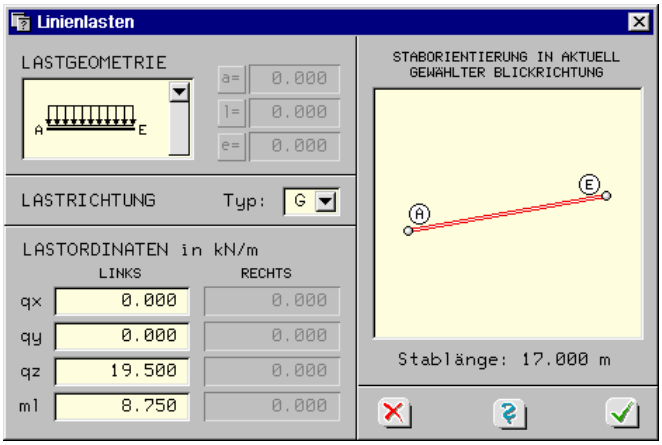
Die Grundlast von 2.5 kN/m^2 über die Brückenbreite wird feldweise angesetzt. Zudem erfolgt eine Aufteilung in Bezug auf die linke und rechte Seite vom Träger. Hierdurch sind vier Lastfälle für die Grundlast entstanden. Wechseln Sie also nach Lastfallfolie 12 und aktivieren beide Stäbe des Feldes 1 und weisen ihnen Linienlasten q_z (Eigenschaftsblatt s. unten) in Höhe von 8.75 kN/m und Streckendrillmomente von -15.3 kNm/m zu, was einer belasteten Breite von 3.5 m und zugehöriger Ausmitte entspricht. Im LF 13 werden dieselben Stäbe belastet (Drillmoment positiv). Verfahren Sie dann in gleicher Weise für die Stäbe des zweiten Feldes in den LF 14 und 15.

4.6.9.2 Hauptspurüberlast

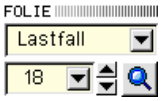
Die Grundflächenlast der Hauptspur wird auch feldweise aufgebracht (LF 16 und 17). Da in den LF 12 bis 15 bereits 2.5 kN/m^2 auch im Bereich der Hauptspur angesetzt wurden, reduziert sich die Last entsprechend auf 6.5 kN/m^2. Bei einer Fahrspurbreite von 3 m ergibt sich eine Linienlast von 19.5 kN/m. Bei einer Ausmitte der Fahrspur aus der Bauwerksachse von z.B. 0.45 m ergibt sich für den Hauptträger zusätzlich ein Streckendrillmoment von 8.75 kNm/m.

Aktivieren Sie bitte wieder die Stäbe des Feldes 1 und geben Lastwerte für LF 16 und dann analog für Feld 2 und LF 17 ein.



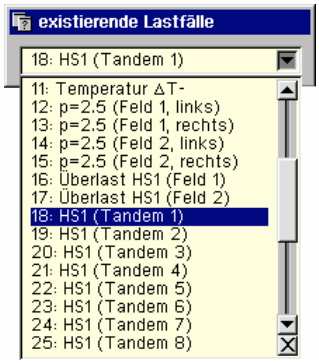


4.6.9.3 Tandemfahrzeug



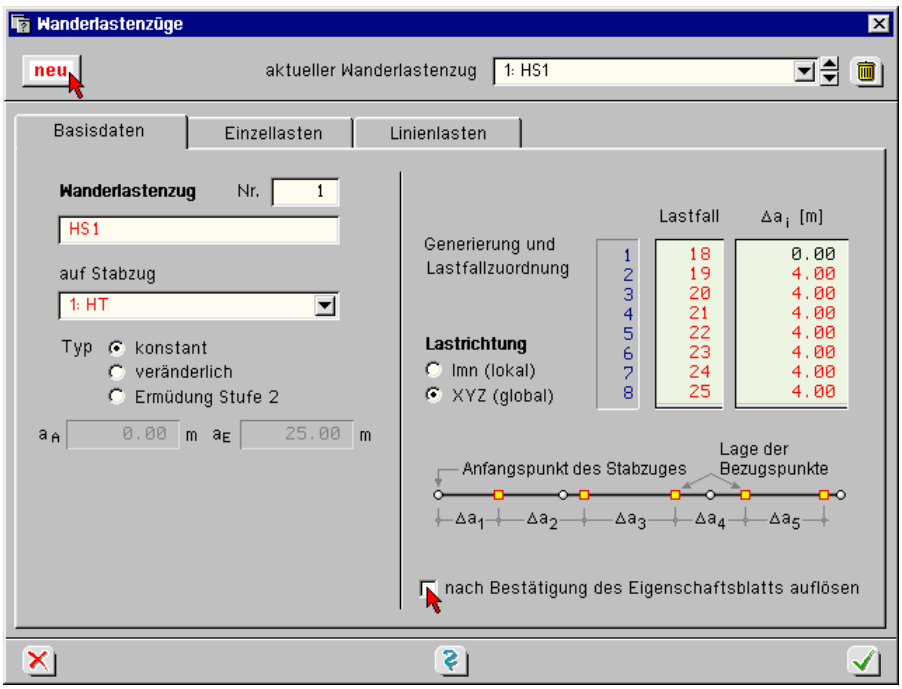
Die Lasten der kombinierten ***Regelfahrzeuge*** werden unter dem Begriff *Wanderlasten* über eine Generierungsvorschrift eingegeben. Bei der Bestückung des Eingabeassistenten (Abs. 4.6, S. 22) war eine Fahrspur mit zehn Laststellungen innerhalb der Spur vereinbart worden.

Über das ***Lupensymbol*** können die hierfür freigehaltenen Lastfälle 18-27 identifiziert werden.



Zur Eingabe der Wanderlasten braucht weder in eine besondere Lastfallfolie gewechselt zu werden noch sind Stäbe, die von der Last bestrichen werden sollen, auszuwählen.

Durch Anklicken der nebenstehenden Buttons wird das in Register unterteilte Eigenschaftsblatt zur Definition der Wanderlasten geöffnet.



Nach Anklicken des ***neu***-Buttons werden die Register zur Eingabe freigegeben.

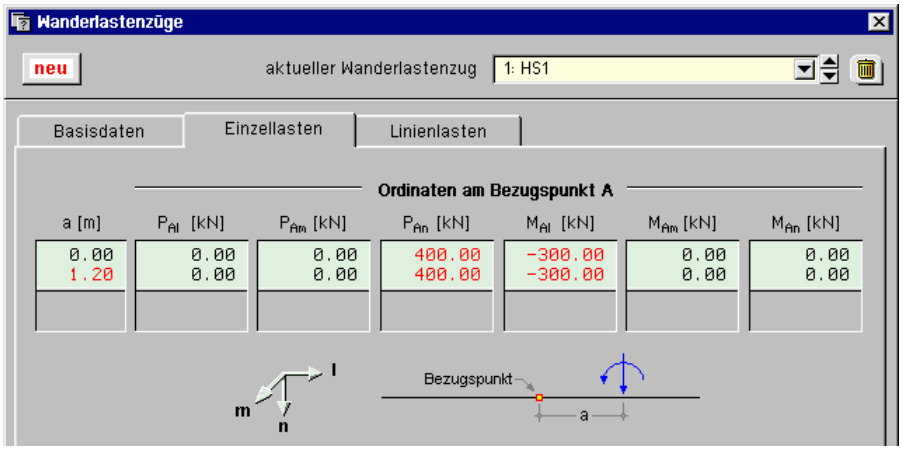
Neben der namentlichen Identifikation des Wanderlastenzugs ist anzugeben auf welchen Stabzug er bezogen werden soll. Eine Stabzugdefinition wurde bereits vor Eingabe der Spannstranggeometrie vorgenommen (Abs. 4.6.6, S. 24), die auch hier benutzt werden kann.

In einem entsprechend komplexeren System können selbstverständlich auch speziell für die Wanderlasten Stabgruppen gebildet und benutzt werden. I.d.R. werden jedoch die für die Spannstrangbeschreibungen gebildeten Stabzüge auch für die Wanderlasten herangezogen werden.

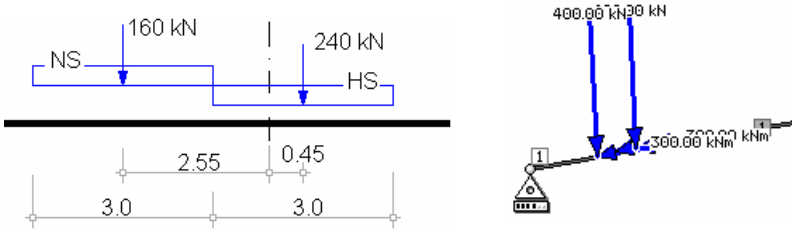
In der Tabelle *Generierung und Lastfallzuordnung* werden die im zweiten Registerblatt zu beschreibenden Lasten einem relativen Lastangriffspunkt auf dem Stabzug und einer Lastfallnummer zugeordnet.

Der Button ***nach Bestätigung des Eigenschaftsblatts auflösen*** bewirkt die Verteilung der Lasten auf die vorgegebenen Lastfälle derart, als wären sie dort einzeln erzeugt worden. Lösen Sie den Lastenzug möglichst nicht auf (Abs. 7.12.3.2, S. 83).

Im zweiten (und ggf. dritten) Registerblatt werden die Lastbilder einer Fahrzeuggruppe zusammengestellt, wie sie in einem Lastfall anzusetzen sind. Wir wollen uns hier auf Einzellasten beschränken.



Das Lastbild einer Achse des Tandemfahrzeugs ergibt sich nach folgender Skizze. Eine zweite Achse ist im Abstand von 1.20 m zur Achse 1 anzusetzen. Wie unter Abs. 4.6.9.2 auf S. 28 festgelegt, soll die Hauptspur eine Ausmitte von 0.45 m zur Stabachse nach rechts besitzen, wenn man in Stabzugrichtung blickt. Auf Grund der Spurbreiten ergibt sich dann eine Ausmitte der Nebenspur von 2.55 m nach links.



Mit diesen Abmessungen ergeben sich die Summen Vertikallast und Drillmoment für eine Achse zu

$P_{An} = 160 + 240 = 400$ kN und $M_{Al} = 0.45 \cdot 240 - 160 \cdot 2.55 = -300$ kNm

Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts werden die Lastfälle 18-27 mit diesen Lasten gefüllt.

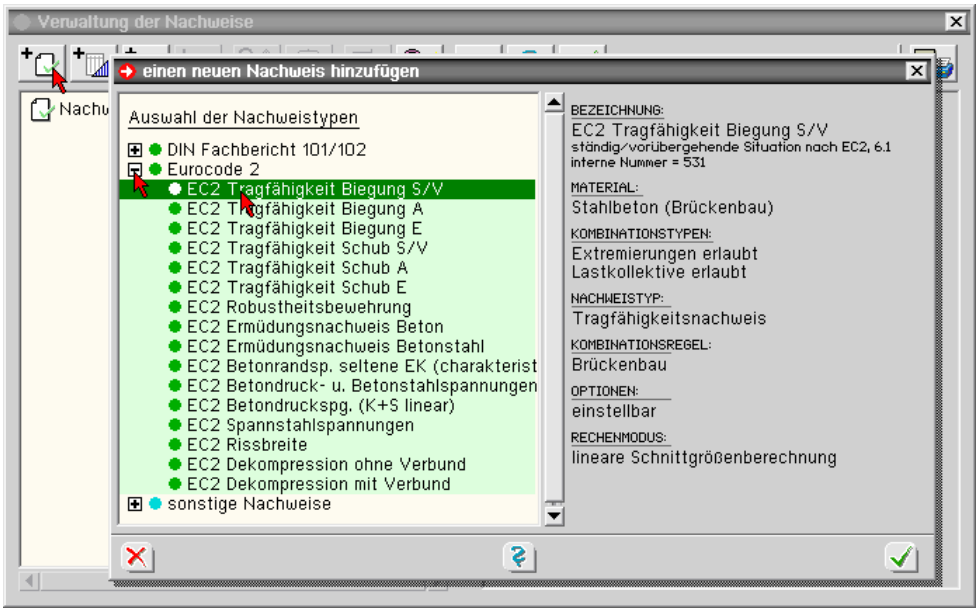
4.7 Nachweisdefinition

Nachdem damit die Eingabe der Lasten abgeschlossen ist, müssen abschließend Nachweise definiert werden.

Informationen zu Nachweisen und die Handhabung der Verwaltung der Nachweise finden Sie im Handbuch *das* pcae*-Nachweiskonzept.*

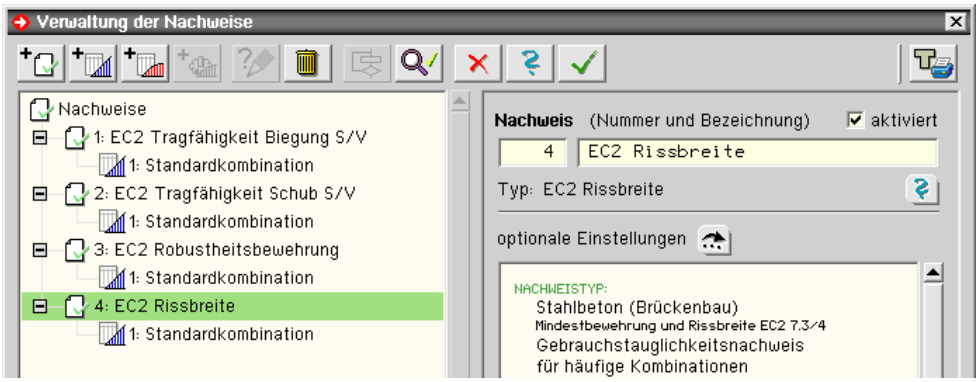
Nach Anklicken des Buttons ***Nachweise*** erscheint das zugehörige Eigenschaftsblatt, in dem die zu führenden Nachweise zusammengestellt werden.

Über den nebenstehenden Button wird jeweils ein neuer Nachweis mit einer zugehörigen Standardkombination der Lastfälle eingerichtet.



Nach ***Bestätigen*** wird der Nachweis in die Liste der zu führenden Nachweise aufgenommen.

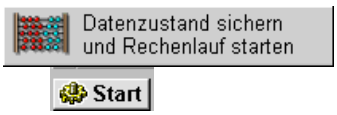
Wenn dergestalt alle gewünschten Nachweise ausgewählt wurden, ist der Nachweisbaum im linken Bereich des Eigenschaftsblatts entsprechend gefüllt.



Damit sind die Eingaben abgeschlossen und das System kann berechnet werden.

4.8 Datenzustandsüberprüfung und Berechnung

Vor dem Start des Rechenlaufs sollten in jedem Falle die Datenzustandsüberprüfung durchgeführt und alle dort vermerkten Missstände behoben werden.

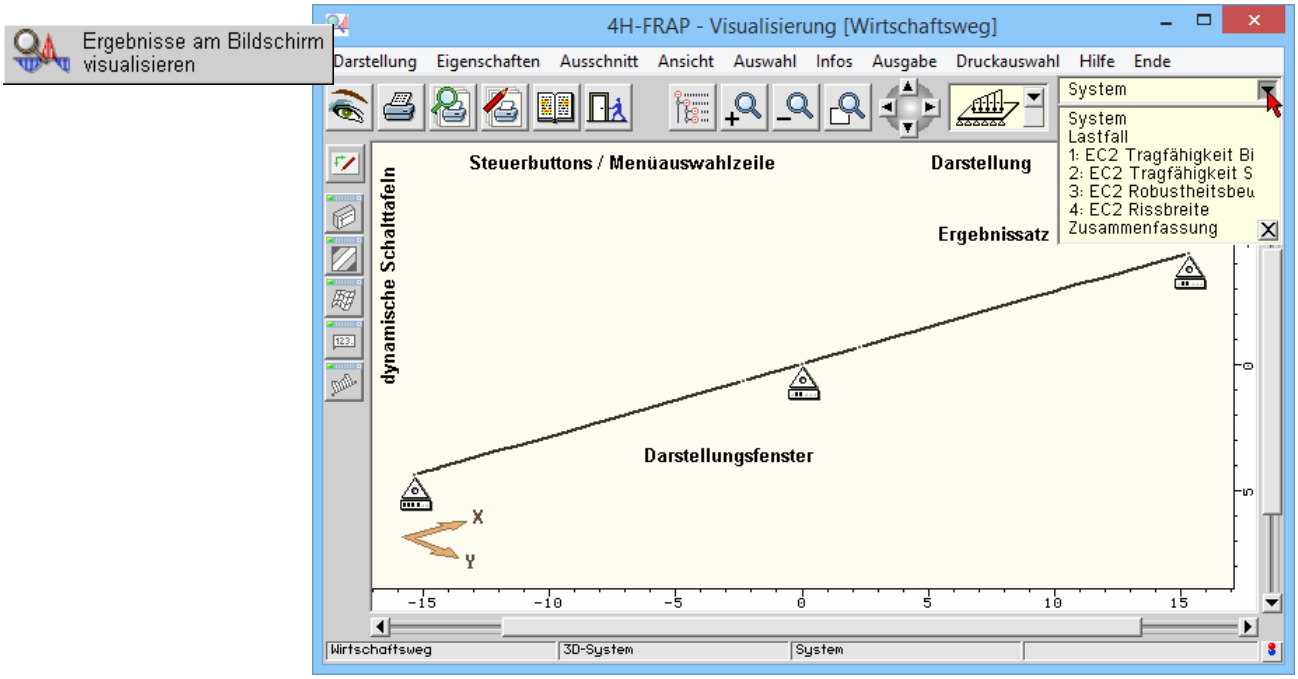


Der Start des Rechenlaufs erfolgt über das ***Startsymbol*** am linken unteren Rand des Bearbeitungsfensters. Während der Dauer der Berechnung erscheinen mehrere Animationen, aus denen der gegenwärtige Bearbeitungszustand entnommen werden kann.

Nach erfolgreicher Berechnung können die Ergebnisse auf dem Bildschirm eingesehen werden.

Vor Aufruf der Visualisierung werden sicherlich Meldungen zum Rechenlauf protokolliert werden, die uns hier nicht weiter interessieren sollen.

4.9 Ergebnisvisualisierung



Rechts am oberen Rand der Darstellungsoberfläche befindet sich die Auswahlliste für den darzustellenden Ergebnissatz. Durch Anklicken der aktuellen Einstellung oder des Pfeilbuttons wird die Liste geöffnet.

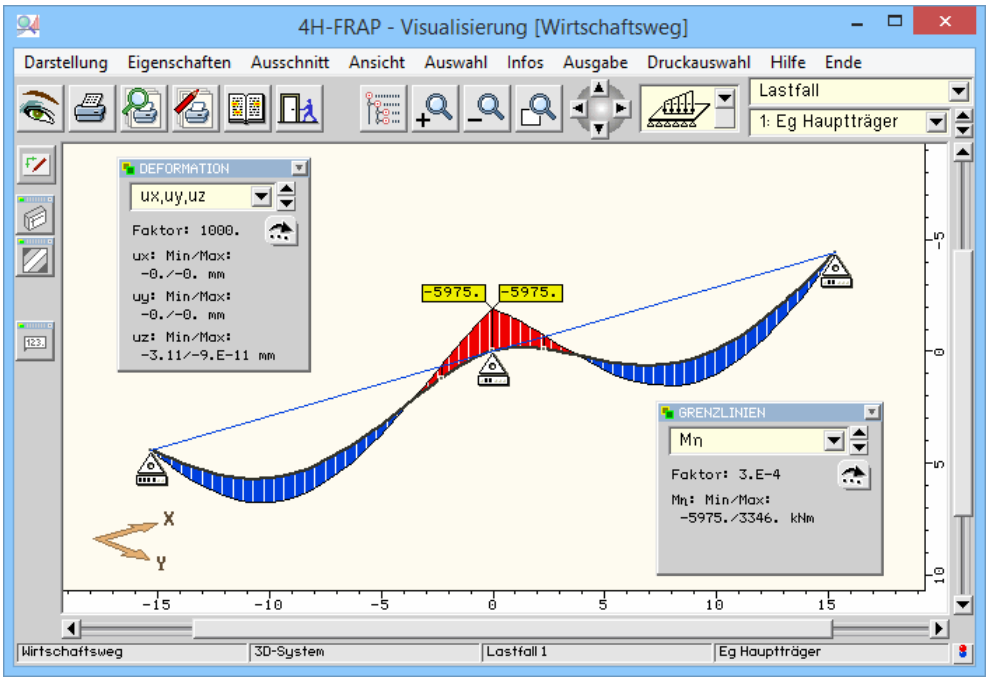
In der Liste stehen neben den Ergebnissen der Einzellastfälle auch die Ergebnisse der einzelnen Nachweise zur Auswahl bereit. In der ***Zusammenfassung*** findet sich die Quintessenz aller Berechnungen in Form von maximalen Ausnutzungen und erforderlichen Bewehrungsquerschnitten.

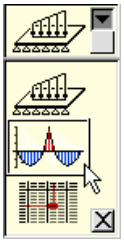
Wechseln Sie von ***System*** auf ***Lastfall*** und in der Liste der berechneten Lastfälle auf ***LF1 Eg (HT1)***.

Am linken Bildrand sind die dynamischen Schalttafeln angeordnet. Klicken Sie hier auf die Buttons ***Deformation*** und ***Grenzlinien***. Klicken Sie in der Schalttafel ***Deformation*** auf das Wort ***kein*** und schalten Sie auf ***ux,uy,uz*** um. Wechseln Sie im Moving-Window ***Grenzlinien*** in gleicher Weise z.B. auf $M\eta$.

Hierdurch wird sich zumindest qualitativ das auf der folgenden Seite dargestellte Bild ergeben.

4.9.1 Gesamtsystem

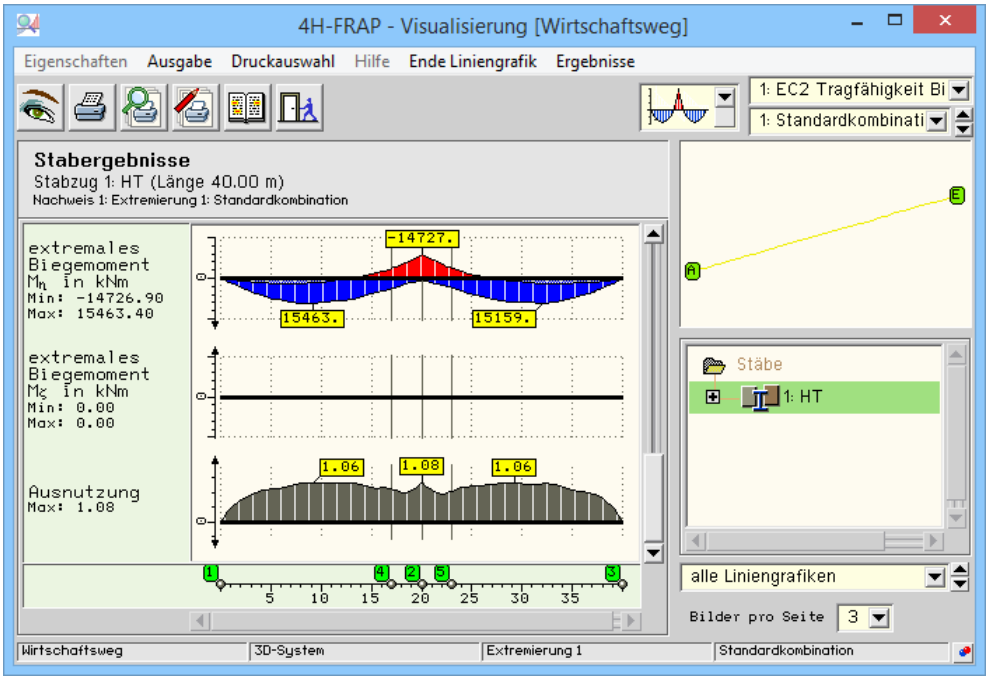




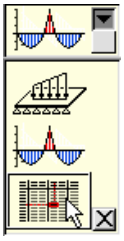
Dergestalt können die angebotenen Teil- und Endergebnisse am Gesamtsystem eingesehen werden. Eine weitere Form der Darstellung sind die linienorientierten Grafiken.

Im vorliegenden Beispiel mit nur einem Hauptträger werden die Vorzüge dieser Darstellungsform nicht so deutlich wie bei einem System mit mehreren Stabzügen.

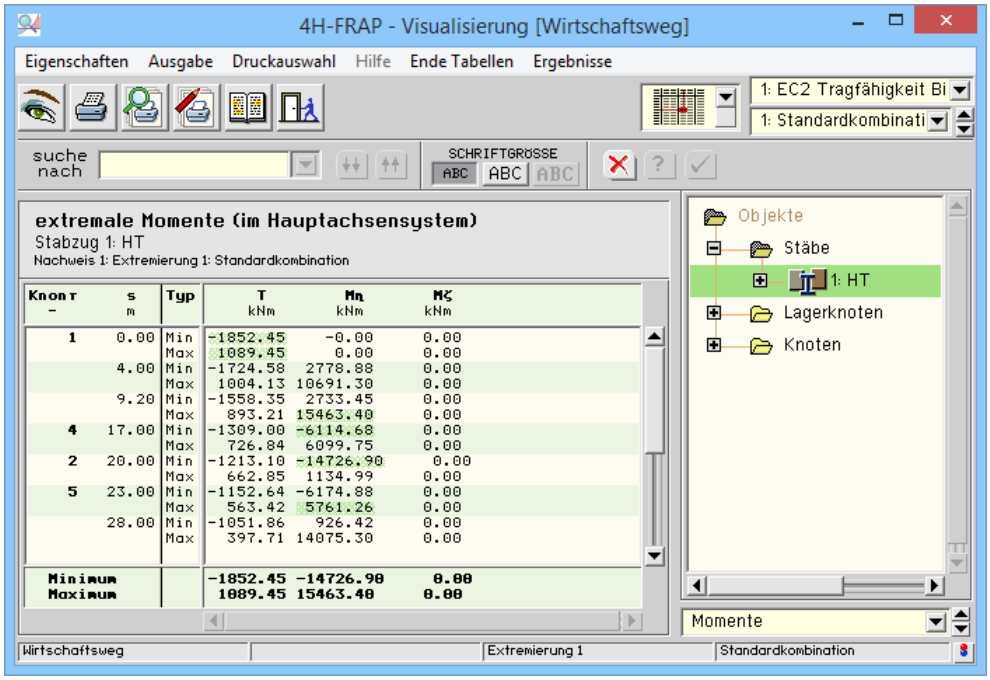
4.9.2 Liniengrafiken



4.9.3 Tabellen



Als dritte Form der angebotenen Darstellungen stehen Tabellen zur Verfügung.



Alle auf dem Bildschirm individuell zusammengestellten Grafiken können für das Druckdokument gesichert und später auf dem Drucker ausgegeben werden, s. Abs. 8.2, S. 118.

Probieren Sie weitere Ausgabeformen, Auswahlen und Einstellungen selbständig aus! Zerstören können Sie nichts.

Erläuterungen und vor allem eine Zusammenstellung der darstellbaren physikalischen Größen mit ihren Bezeichnungen finden Sie unter Abs. 8 ab S. 116.

Erläuterungen zur Drucklistengestaltung und Druckausgabe finden Sie unter Abs. 9 ab S. 128 bzw. Abs. 10, S. 132.

Hiermit ist die Beispieleingabe abgeschlossen. Durch Anklicken der ***Ende***-Symbole in der Visualisierung und der grafischen Systemeingabe gelangen Sie wieder auf den DTE®-Schreibtisch.

5 Erläuterungen zu Berechnung und Nachweisen

5.1 Koordinatensysteme

In *4H*-SPBR werden verschiedene Koordinatensysteme benutzt. In den Ausdrucken werden diese durch die Indizes an den Schnitt- oder Verschiebungsgrößen gekennzeichnet.

X-Y-Z bzw. x-y-z	globales Koordinatensystem mit positiver z-Achse in Richtung der Erdbeschleunigung
l-m-n	lokales Stabkoordinatensystem, l zeigt in Richtung der Stabachse (vom Anfangs- zum Endknoten)
r-s-t	lokales Knotenkoordinatensystem. Wird das System nicht verdreht, so gilt rst = XYZ .
l-η-ζ	die η-ζ-Achsen entsprechen den Hauptachsen der Querschnitte. Bei achsensymmetrischen Querschnitten entsprechen diese genau den m-n-Achsen des Stabes. Bei Schnittgrößenextremierungen werden die lokalen m-n-Schnittgrößen in das η-ζ-System transformiert, um anschließend die Extremierung für die η-ζ-Schnittgrößen durchzuführen.

Auf diese Weise werden die für den Querschnitt ungünstigsten Schnittgrößenkombinationen ermittelt.

5.2 Extremierungen

Schnittgrößen

Schnittgrößen werden grundsätzlich im l-η-ζ – Koordinatensystem extremiert.

Verformungen

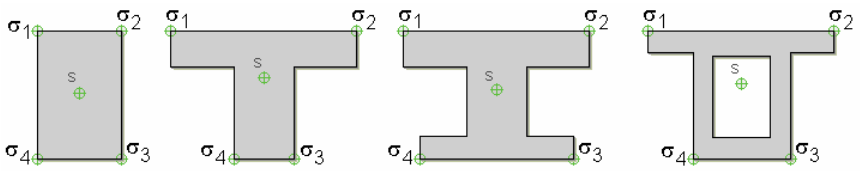
Verformungen werden im l-m-n-System extremiert.

Spannungen (Zustand I)

Für verschiedene Nachweise müssen extremale Randnormalspannungen berechnet werden.

Die Berechnung extremaler Spannungen aus extremalen Schnittgrößen N, M_m und M_n ist bei vorgespannten Querschnitten nicht ohne Weiteres möglich, da im Spannbetonbau die Spannungen für unterschiedliche Lastfalltypen (G_1, G_2, P, Verkehr ..) mit unterschiedlichen Querschnittswerten (brutto, netto oder ideell) ermittelt werden. Daher wird in *4H*-SPBR direkt nach Spannungen extremiert. Hierzu sind für jeden Querschnittstyp vier umhüllende Eckpunkte definiert. Für jeden dieser Punkte werden die Eckspannungen lastfallweise mit den zugehörigen Querschnittswerten berechnet. Die Extremierung erfolgt dann für jede dieser Eckspannungen $\sigma_1$bis σ_4.

Für die Querschnittstypen Rechteck, Plattenbalken, Doppel-T und Hohlkasten sind σ_1 bis σ_4 wie folgt festgelegt.



Diese Vorgehensweise funktioniert ausschließlich bei linearen Spannungsberechnungen nach Zustand I. Bei Berechnungen im gerissenen Zustand II werden die extremierten Schnittgrößen N, M_ζ und M_η angesetzt.

5.3 Bezeichnungen

Schnittgrößen

N Normalkraft

M Moment

Q Querkraft (im Gegensatz zu den auf EC basierenden Vorschriften wird bei Schnittgrößen in den Lastfalltabellen die alte Bezeichnung Q weiter verwendet, bei den Nachweisen wird die neuere Bezeichnung V benutzt)

T Torsionsmoment

Auflagerkräfte

A_P Auflagerkraft

A_M Auflagermoment

Verformungen

u Verschiebung

v Verdrehung

Der Index verweist auf die verwendete Koordinatenachse.

Spannungen

σ Zug- oder Druckspannung

τ Schubspannung

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$ umhüllende Eckspannungen (s. Abs. 5.2, S. 35)

Lastfälle

Für Lastfälle werden die im Brückenbau gebräuchlichen Abkürzungen verwendet.

G_1 Eigengewicht ohne Ausbaulasten

G_2 Ausbaulasten (Belag, Kappen, Geländer ...)

G_3 zusätzliche Ausbaulast, sonst wie G_2

T_o gleichmäßige Temperaturerhöhung

ΔT ungleichmäßige Temperaturerhöhung

LM3 Lastmodell 3 (Ermüdungsfahrzeug)

P' statisch unbestimmter Anteil der Vorspannung (Zwangsanteil)

P_0 statisch bestimmter Anteil der Vorspannung

P Vorspannung ($P = P_0 + P'$)

KS_1 Kriechen und Schwinden zum Zeitpunkt 1 (Verkehrsübergabe)

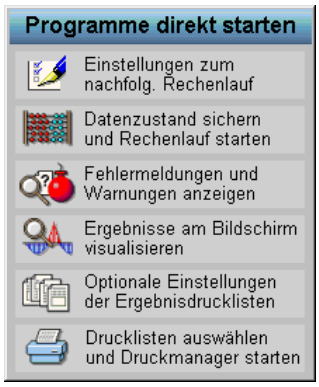
KS_∞ Kriechen und Schwinden zum Zeitpunkt ∞ (max. Nutzungsdauer)

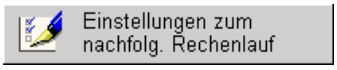
KS_1' statisch unbestimmter Anteil von KS_1

KS_∞' statisch unbestimmter Anteil von KS_∞

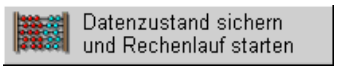
6 Programmsteuerung

Der ***Quickstart***-Button am linken unteren Rand des Bearbeitungsfensters ruft ein Menü zum Direktaufruf weiterer Bearbeitungsmodule auf.

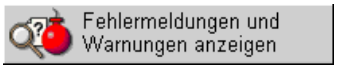




In ##-SPBR wird grundsätzlich eine statische Berechnung nach Theorie I. Ord. durchgeführt.



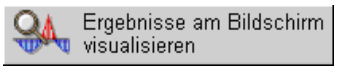
Die Eingabedaten werden auf der Festplatte gespeichert und das Berechnungsmodul gestartet.



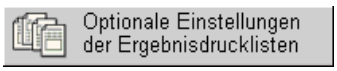
Sofern die Berechnung nicht ohne Beanstandungen durchgeführt werden konnte, werden die zugehörigen Meldungen eingeblendet.

Fehlermeldungen weisen auf eine nicht ordnungsgemäß abgeschlossene Berechnung hin; Warnungen geben z.B. Hinweise auf Überschreitungen zulässiger Grenzwerte.

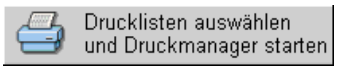
Vorhandene Meldungen werden automatisch vor dem Start eines neuen Bearbeitungsschritts eingeblendet.



Start des Visualisierungsmoduls (Abs. 8, S. 116) zur grafischen Darstellung am Gesamtsystem, als Liniengrafiken oder in Form von Tabellen zur Überprüfung der erzielten Ergebnisse.



Aufruf der Drucklistengestaltung (Abs. 9, S. 128) zur Zusammenstellung der Komponenten des Statikdokuments.



Aufruf des Druckmanagers. Hierüber können die Drucklisten auch vorab über den DTE®-Viewer (Abs. 10, S. 132) auf dem Bildschirm eingesehen werden.

7 4H-SPBR - Grafisches Eingabemodul

7.1 Einführung

7.1.1 Definition von 3D-Stabwerken

Arbeiten mit dem grafischen Eingabemodul

Das grafische Eingabemodul von 4H-SPBR dient zur Definition des zu berechnenden, dreidimensionalen Stabwerks. Alle das gegebene Problem spezifizierenden Angaben sowie alle Festlegungen zur Steuerung des Rechenprogramms werden in diesem Modul definiert. Hierbei empfiehlt es sich, eine gewisse Reihenfolge einzuhalten. S. hierzu Bearbeitungsablauf Abs. 3, S. 10.

1. Zunächst sollte das Netzwerk (Abs. 7.1.4, S. 39) hinsichtlich seiner Geometrie festgelegt werden. Hierzu müssen Knoten (Abs. 7.1.2, S. 38) und Stäbe (Abs. 7.1.3, S. 38) erzeugt werden. Dies kann einzeln (Abs. 7.7.2, S. 62), mit Hilfe von Generierungsfunktionen (Abs. 7.7.1, S. 60) oder tabellarisch (Abs. 7.7.2.3, S. 63) erfolgen. Nutzen Sie auch die Modellierungstechniken (Abs. 7.9.2, S. 66), die i.d.R. über Duplizierungsmechanismen verfügen. Hilfreich ist hierbei auch das Arbeiten in Ebenen (Abs. 7.11.1, S. 75). In diesem Stadium kann es bereits sinnvoll sein, Gruppen (Abs. 7.11.5, S. 76) zu definieren.
2. Im nächsten Schritt sollten die lastunabhängigen Systemeigenschaften festgelegt werden. Hierunter werden die stabbezogenen geometrischen Stabeigenschaften (Abs. 7.10.3.2, S. 70), die Material- und Querschnittsangaben (Abs. 7.10.3.5, S. 72), die Bemessungsoptionen die Angaben zur elastischen Bettung (Abs. 7.10.3.1, S. 70) wie auch die knotenbezogenen Lagerangaben (Abs. 7.10.2.1, S. 69) verstanden. Nutzen Sie hierbei die Möglichkeiten intelligenter Auswahlmechanismen (Abs. 7.14.7, S. 102) und kontrollieren Sie ihre Festlegungen mit Hilfe der optionalen Darstellungsmöglichkeiten (Abs. 7.2.4, S. 43) sowie der Darstellung in fotorealistischer Form (Abs. 7.2.6, S. 44). Die Datenzustandsüberprüfungsfunktion (Abs. 7.14.1, S. 99) bietet ebenfalls ihre Dienste an.
3. Legen Sie nun die Struktur der Einwirkungen und Lastfälle über den Eingabeassistenten fest (Abs. 7.12.1, S. 79). Füllen Sie dann die Lastfälle mit den erforderlichen Lastbilder (Abs. 7.12.2, S. 79).
4. Legen Sie die zu führenden Nachweise (Abs. 7.13, S. 86) fest. Beachten Sie, dass für jeden Nachweis eine Extremierungsvorschrift und/oder ein Lastkollektiv anzugeben ist!
5. Beenden Sie die Sitzung! In dem abschließenden Eigenschaftsblatt (Abs. 7.14.11, S. 103) sollte die Datenzustandsüberprüfungsfunktion auf jeden Fall noch einmal durchgeführt werden.

7.1.2 Knoten

Ein Knoten ist zunächst ein geometrischer Ort im dreidimensionalen Raum. Er wird durch seine Koordinaten im globalen, ortsfesten XYZ-Koordinatensystem beschrieben. Um einen solchen Knoten von den lokalen Knoten (Abs. 7.10.3.2, S. 70) zu unterscheiden, wird er auch "globaler Knoten" genannt. Für die Berechnung des Stabwerks ist ein Knoten nur sinnvoll, wenn mindestens ein Stab (Abs. 7.1.3, S. 38) mit ihm verbunden ist.

Ein Knoten verfügt als auswählbares Objekt (Abs. 7.14.7, S. 102) über Lagereigenschaften (Abs. 7.10.2.1, S. 69) und besitzt ein individuelles Koordinatensystem (Abs. 7.10.2.2, S. 69). Weiterhin kann ein Knoten durch Knotenlasten (Abs. 7.12.2.6, S. 81) belastet werden. Speziell einem gelagerten Knoten kann eine Stützenverformung (Abs. 7.12.2.7, S. 82) zugeordnet werden. Knoten können im grafischen Eingabemodul erzeugt (Abs. 7.7.2.1, S. 63), modelliert (Abs. 7.9.2, S. 66), tabellarisch (Abs. 7.7.2.3, S. 63) modifiziert, individuell bearbeitet und (nach Bedarf) wieder gelöscht (Abs. 7.9.1, S. 66) werden.

7.1.3 Stäbe

Ein Stab ist eine mechanische Verbindung zweier Knoten (Abs. 7.1.2, S. 38). Die Geometrie der Verbindung wird durch die geometrischen Stabeigenschaften (Abs. 7.10.3.2, S. 70) beschrieben. Stäbe können Kräfte und Momente von einem zum anderen Knoten leiten. Dieser "Spannungsfluss" kann durch die Definition von Gelenken (Abs. 7.10.3.4, S. 71) beeinflusst werden. Ein Stab verfügt über ein eigenes lmn-Koordinatensystem (Abs. 7.10.3.3, S. 71), über Material- und Querschnittswerte (Abs. 7.10.3.5, S. 72) und kann elastisch gebettet (Abs. 7.10.3.1, S. 70) werden.

Ein Stab kann mit Eigengewichtslasten (Abs. 7.12.2.1, S. 80), Linienlasten (Abs. 7.12.2.2, S. 80), Stabeinzellasten (Abs. 7.12.2.4, S. 81) und mit Temperaturlasten (Abs. 7.12.2.5, S. 81) belastet werden.

Stäbe können als auswählbare Objekte (Abs. 7.14.7, S. 102) im grafischen Eingabemodul von ///-SPBR erzeugt (Abs. 7.7.2.2, S. 63), modelliert (Abs. 7.9.2, S. 66), tabellarisch (Abs. 7.7.2.3, S. 63) modifiziert, individuell bearbeitet (Abs. 7.8, S. 64) und (nach Bedarf) wieder gelöscht (Abs. 7.9.1, S. 66) werden.

Stäbe und Knoten bilden gemeinsam das Netzwerk.

7.1.4 Netzwerk

Die Menge aller Knoten (Abs. 7.1.2, S. 38) und Stäbe (Abs. 7.1.3, S. 38) bildet das Netzwerk. Das Netzwerk muss mindestens einfach zusammenhängend sein und darf nicht aus mehreren unabhängigen Teilsystemen bestehen. Jeder Knoten muss mit mindestens einem Stab verbunden sein. Ein Stab muss mit seinen Stabenden immer mit zwei definierten, unterschiedlichen Knoten verknüpft sein. Hierbei ist speziell bei der tabellarischen Definition (Abs. 7.7.2.3, S. 63) zu achten.

Im grafischen Eingabemodul kann das Netzwerk überprüft (Abs. 7.14.1, S. 99) und teilweise automatisch bereinigt (Abs. 7.14.2, S. 99) werden.

7.1.5 Strukturierung der Belastung

Begriffe und allgemeine Informationen

Lastbilder

Ein Lastbild ist die kleinste interaktiv ansprechbare Belastungseinheit. Lastbilder werden in knotenbezogene Lasten und stabbezogene Lasten eingeteilt. Ein Lastbild ist immer einem Lastfall zugeordnet.

S. auch Erzeugung von Lastbildern (Abs. 7.12.2, S. 79).

knotenbezogene Lastbilder

Knotenbezogene Lasten beziehen sich auf einen Knoten und sind am Knoten wirkende Kräfte [kN], Momente [kNm] oder Stützenverformungen [cm, ‰ (Bogenmaß)].

stabbezogene Lastbilder

Stabbezogene Lasten beziehen sich auf einen Stab und sind am Stab wirkende Kräfte [kN], Momente [kNm], Eigengewichtslasten [kNm^3] sonstige Streckenlasten [kN/m, kNm/m] sowie Temperaturbelastungen [°K].

Lastfälle

Ein Lastfall ist die kleinste berechenbare Belastungseinheit. Die Lasten eines Lastfalls sind durch die Summe der zu diesem Lastfall gehörenden Lastbilder definiert. Ein Lastfall ist immer genau einer Einwirkung zugeordnet und ist von einem bestimmten Lastfalltyp, der angibt, ob der LF additiv oder alternativ zu anderen Lastfällen steht.

7.1.6 Objekte aus- und abwählen

Im Darstellungsfenster des grafischen Eingabemoduls werden die Knoten (Abs. 7.1.2, S. 38), die Stäbe (Abs. 7.1.3, S. 38) sowie die Lastbilder (Abs. 7.12.2, S. 79) Knotenlasten, Stabeinzellasten und Linienlasten dargestellt. Diese können über einen einfachen Mausklick (linke Maustaste) aus- bzw. abgewählt werden. Wird ein Objekt ausgewählt, so ändert es (zur Kennzeichnung seines besonderen Zustandes) seine Farbe (weiß, rot).

Mit den ausgewählten Objekten können gemeinsam Aktionen durchgeführt werden. Dies gilt teilweise für alle ausgewählten Objekte gemeinsam (z.B. löschen: Abs. 7.9.1, S. 66) oder aber nur für ausgewählte Objekte gleichen Typs. So können nur den ausgewählten Stäben Materialeigenschaften (Abs. 7.10.3.5, S. 72) zugewiesen werden. Ausgewählte Knoten und Lastbilder werden bei dieser Aktion ignoriert. Andererseits können allen Knoten Knotenlagereigenschaften (Abs. 7.10.2.1, S. 69) zugewiesen werden, was sich weder auf die ausgewählten Stäbe noch auf die ausgewählten Lastbilder auswirkt.

Objekte können auch durch Umfahren aus- bzw. abgewählt werden. Hierzu muss die Maus in einen Eckpunkt eines gedachten Umgebungsrechtecks positioniert werden. Sodann wird die Maus bei gedrückt gehaltener linker Maustaste in den diagonal gegenüber liegenden Eckpunkt des nun sichtbaren Rechtecks gefahren. Wird die Maustaste losgelassen, so werden alle Objekte, die sich vollständig in dem Rechteck befinden, ausgewählt (wenn sie abgewählt waren) bzw. abgewählt (wenn sie ausgewählt waren).

Speziell für das Abwählen der ausgewählten Objekte werden weitere Interaktionselemente angeboten, s. Objekte deaktivieren Abs. 7.14.10, S. 103.

Die Anzahl der ausgewählten Objekte wird in der Statuszeile angezeigt. Im Zweifelsfall besteht hier also ein Kontrollmechanismus.

Häufig kommt es vor, dass mehrere Objekte gleichen Typs Eigenschaften zugewiesen bekommen sollen. Hierzu werden die Objekte ausgewählt und dann das Eigenschaftsblatt aktiviert, das der gewünschten Eigenschaft zugeordnet ist. Hierbei werden zunächst die Eigenschaften des Referenzobjekts bearbeitet. Das Referenzobjekt ist hierbei das Objekt, das als erstes ausgewählt wurde. Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts erhalten alle ausgewählten Objekte die gewählten Eigenschaften. Diese Tatsache lässt sich zur Vereinheitlichung von Objekteigenschaften sowie zur gezielten Übergabe von Eigenschaften eines bestimmten Objekts an andere Objekte verwenden.

S. auch Stabgruppen auswählen (Abs. 7.11.7, S. 77) und Objekte (per Doppelklick) bearbeiten (Abs. 7.1.7, S. 40).

7.1.7 Bearbeitung einzelner Objekte mit Doppelklick-Funktionen

Erfährt ein Objekt im Darstellungsfenster einen Doppelklick (zweimal kurz hintereinander linke Maustaste anklicken), so wird ein individuell auf dieses Objekt zugeschnittenes Eigenschaftsblatt auf dem Sichtgerät erscheinen. Diesem können zum einen Informationen zum Objekt entnommen werden, zum anderen können hier aber auch Änderungsaktionen durchgeführt werden.

Weitere (objekttypspezifische) Informationen s. Doppelklick auf ...

- einen Stab (Abs. 7.8, S. 64)
- einen Knoten
- eine Knotenlast (Abs. 7.12.2.6, S. 81)
- eine Linienlast (Abs. 7.12.2.2, S. 80)
- eine Stabeinzellast (Abs. 7.12.2.4, S. 81)

7.1.8 Indexverzeichnis

Begriffe

Netzwerk (Abs. 7.1.4, S. 39)
Knoten (Abs. 7.1.2, S. 38)
Stab (Abs. 7.1.3, S. 38)
Belastung (Abs. 7.1.5, S. 39)

Netzwerk definieren

Generierungsmöglichkeiten (Abs. 7.7.1, S. 60)
Einzelobjekte erzeugen (Abs. 7.7.2.1, S. 63)
Knoten- und Stabtabelle bearbeiten (Abs. 7.7.2.3, S. 63)
modellieren, duplizieren (Abs. 7.9.2, S. 66)

Stabeigenschaften

Gelenke (Abs. 7.10.3.4, S. 71)
lmn-System (Abs. 7.10.3.3, S. 71)
Material und Querschnitte (Abs. 7.10.3.5, S. 72)

Lagerangaben

Knotenlager (Abs. 7.10.2.1, S. 69)
elastische Bettung (Abs. 7.10.3.1, S. 70)

Belastung

Definitionen (Abs. 7.1.5, S. 39)
Lastbilder (Abs. 7.12.2, S. 79)
Lastfälle

Hilfsmittel, Werkzeuge

Blickrichtung ändern (Abs. 7.2.1, S. 42)
Ausschnitte definieren (Zoomen) (Abs. 7.2.3, S. 42)
Arbeiten in Ebenen (Abs. 7.11.1, S. 75)
Definition von Gruppen (Abs. 7.11.5, S. 76)
temporäre Sicherungen
Darstellungsoptionen (Abs. 7.2.4, S. 43)
fotorealistische Darstellung (Abs. 7.2.6, S. 44)
Daten-Checkfunktion (Abs. 7.14.1, S. 99)
Konstruktionskoordinatensystem (Abs. 0, S. 76)

7.2 Ansichtssteuerung

7.2.1 Blickwinkel, Augpunkt

Das System wird im Darstellungsfenster unter einem bestimmten Blickwinkel dargestellt. Hierzu ist die Position des Auges (bzw. der Fotokamera) festzulegen. Mit Hilfe der nebenstehend dargestellten Interaktionselemente lässt sich dies sehr einfach bewerkstelligen.

Werden die vertikalen Pfeilbuttons gedrückt, kippt das System nach oben bzw. nach unten. Werden die horizontalen Pfeilbuttons gedrückt, dreht sich das System um die eigene vertikale z-Achse.

Der Abstand zwischen Kamera und Objektpunkt kann verkleinert (-) oder vergrößert (+) werden. Ein sehr großer Abstand führt zu einer Parallelperspektive. Ein sehr kleiner Abstand führt hingegen zu einer Zentralperspektive mit verwirrenden Verzerrungen.

Die Position von Kamera und Objektpunkt kann auch numerisch festgelegt werden. Hierzu muss der oben dargestellte ***numerisch***-Button angeklickt werden.

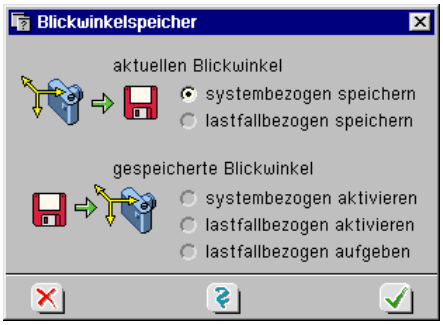
Mit Hilfe des ***Diskettensymbols*** kann der aktuelle Blickwinkel gespeichert (Abs. 7.2.2, S. 42) werden.

Vgl. auch Zoomfunktionen (Abs. 7.2.3, S. 42).

7.2.2 Blickwinkelspeicher

Der aktuelle Blickwinkel kann gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt aktiviert werden. Hierzu muss das dargestellte Diskettensymbol angeklickt werden.

Die Speicherung erfolgt system- oder lastfallbezogen.



Man beachte, dass die System- und Lastfallgrafiken in der Druckliste die gespeicherten Blickwinkel benutzen! Hierdurch kann eine übersichtliche Darstellung erzielt werden.

7.2.3 Zoomfunktionen

Das System wird normalerweise unter Berücksichtigung des aktuell eingestellten Blickwinkels (Abs. 7.2.1, S. 42) derart dargestellt, dass alle Knoten und Stäbe mit einem vorgebbaren Abstand (Abs. 7.2.5, S. 43) optimal in das Darstellungsfenster eingepasst werden.

Um die Darstellung ausschnittweise zu vergrößern, bedient man sich der Zoomfunktionen, die über die gezeigten Symbole zur Verfügung stehen.

Nach Anklicken des ***+-Buttons*** erscheint ein Fadenkreuz auf dem Sichtgerät, das mit Hilfe der Maus bewegt werden kann. Es muss in einer gedachten Ecke eines rechteckförmigen Bereiches positioniert werden. Nach Drücken (und gedrückt halten) der linken Maustaste spannt sich durch Bewegen der Maus ein Rechteck auf. Wird die Maustaste losgelassen, wird der Bereich des so definierten Rechtecks im Darstellungsfenster angepasst.

Der ***--Button*** macht die letzte Zoomaktion rückgängig. Die Darstellung schaltet also in die vorangegangene Zoomebene zurück.

Der dritte Button sorgt wieder dafür, dass sämtliche Knoten und Stäbe im Darstellungsfenster erscheinen.

7.2.4 Eigenschaften der grafischen Darstellung

Nach Anklicken des Buttons erscheint ein Eigenschaftsblatt auf dem Sichtgerät, in dem auf die Darstellung der Objekte im Darstellungsfenster Einfluss genommen werden kann.

Hier wird festgelegt, ob Knoten- und/oder Stabnummern mit dargestellt werden und elastisch gebettete Stäbe gesondert gekennzeichnet werden sollen. Weiterhin kann bestimmt werden, ob Knotenlager- (Abs. 7.10.2.1, S. 69) und Gelenksymbole (Abs. 7.10.3.4, S. 71) eingeblendet werden sollen. Alternativ zu den Stabnummern kann jedem Stab auch ein Querschnittssymbol zugeordnet werden. Dieses vermag die Übersicht über den Bearbeitungszustand hinsichtlich der Material- und Querschnittsdefinitionen (Abs. 7.10.3.5, S. 72) zu erhöhen. Darüber hinaus kann entschieden werden, ob das globale Koordinatensystem, die lokalen lmn- Stabkoordinatensysteme (Abs. 7.10.3.3, S. 71) und/oder die rst-Knotenkoordinatensysteme (Abs. 7.10.2.2, S. 69) angetragen werden sollen.

Auch für die einzelnen Lastbildtypen kann angegeben werden, ob sie dargestellt werden und - wenn ja - ob die jeweiligen Lastordinaten angetragen werden sollen.

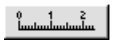
Für Knoten, Stäbe und Lastbilder kann weiterhin festgelegt werden, ob sie (per Mausklick) ausgewählt (Abs. 7.14.7, S. 102) werden können sollen. Bei der Bearbeitung der Lastbilder kann die Möglichkeit, Stäbe nicht auswählen zu können von Vorteil sein, da ein Mausklick auf einen Stab sodann nur die Stablast auf diesem Stab auswählen kann.

Man beachte, dass die hier getroffenen Festlegungen beim Verlassen des grafischen Eingabemoduls gespeichert und beim erneuten Aufruf wieder geladen werden! Wenn also (nach zweiwöchiger Pause) keine Lastbilder im Darstellungsfenster dargestellt werden, muss es nicht unbedingt daran liegen, dass noch keine Lastbilder definiert wurden. Möglicherweise wurde nur ihre Visualisierung abgestellt.

Stückliste und Lastsummen

Der Button unter der Überschrift ***Stückliste*** *und Lastsummen* (Abs. 7.2.8, S. 45) führt zur Darstellung des aktuell definierten Materialeinsatzes sowie der resultierenden Kräfte aus den einzelnen Lastfällen.

Skalierungen



Der Skalierungsbutton im Eigenschaftsblatt unten rechts ermöglicht weitere Einstellungen des Darstellungsfensters, die speziell die Skalierungen (Abs. 7.2.5, S. 43) betreffen.

Objekte auswählen

Die gezielte Auswahl bestimmter Knoten und Stäbe kann mit Hilfe des Buttons ***Objekte auswählen*** bewerkstelligt werden. Hierbei wird zwischen bedingter Auswahl (Abs. 7.14.8, S. 103) und direkter Auswahl (Abs. 7.14.9, S. 103) unterschieden.

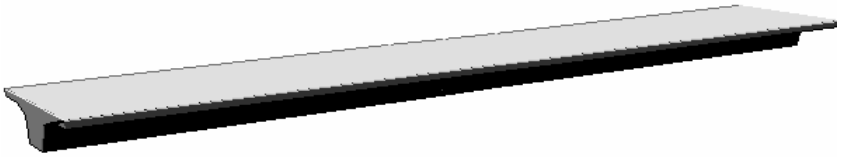
7.2.5 Skalierungseigenschaften

Die Skalierungseigenschaften haben Einfluss auf die Größenordnung, in der die Objekte im Darstellungsfenster normalerweise (ohne Zoomfunktion) dargestellt werden. Hier können zunächst die Randabstände festgelegt werden. Diese werden in der Dimension [m] angegeben. Das grafische Eingabemodul stellt den (die Knoten und Stäbe umgebenden) Kubus mit den hier in Weltkoordinaten angegebenen Randabständen dar.

Letztlich können Faktoren für die Ordinaten der Lastbilder angegeben werden.

7.2.6 fotorealistische Darstellung

Durch Anklicken des dargestellten Buttons wird eine fotorealistische Darstellung des aktuell eingestellten Ausschnitts eingeleitet.



Zunächst wird in einem Eigenschaftsblatt der Sonneneinstrahlwinkel festgelegt, der Auswirkung auf den Schattenwurf hat. Dies geschieht durch Vorgabe eines Winkels, der die Außermittigkeit der Lichtquelle zur Blickrichtung in der XY-Ebene festlegt sowie eines Winkels, der die Höhe des Sonnenstandes definiert.

Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts wird das Bild berechnet und dargestellt. Stäbe in Gruppen, die auf "nicht sichtbar" geschaltet sind, werden nicht dargestellt. Werden weitere Stäbe nicht dargestellt, so liegt dies daran, dass ihre geometrischen Querschnittswerte nicht eindeutig berechenbar sind.

Man beachte hierzu die Meldungen in der Statuszeile und bemühe ggf. die Daten-Checkfunktion (Abs. 7.14.1, S. 99)!

Die Darstellung dient der Überprüfung der eingegebenen Querschnittswerte, der exzentrischen Anschlussdefinitionen und der Angaben zu den lokalen lmn-Systemen und vermittelt einen Eindruck über das zukünftige Bauwerk. In den Stabenden kann es hierbei zu irritierenden Detaildarstellungen kommen. Dies liegt i.W. an der Tatsache, dass die Knotenanschlüsse der einzelnen Stäbe programmintern nicht bekannt sind. Der Benutzer mag darüber hinwegsehen.

Die Darstellung kann wahlweise direkt auf dem Drucker ausgegeben oder in der Druckliste *Details, Ansichten* gespeichert werden. S. hierzu Abs. 7.2.7, S. 44.

Die fotorealistische Darstellung wird beendet, in dem die Menüfunktion *Ende* aktiviert oder die linke Maustaste gedrückt wird.

7.2.7 Ausgabe der fotorealistischen Darstellung

Befindet sich die Interaktion in der fotorealistischen Darstellung (blauer Hintergrund), kann per Menüfunktion *drucken* (RMT) die Ausgabe dieses Bildes eingeleitet werden. In dem hierdurch nach Bestätigen des Windows-Druckertreibers (OK) hervorgerufenen Eigenschaftsblatt muss zunächst festgelegt werden, ob die Abbildung in der Druckliste *Details, Ansichten* gespeichert und/oder die Zeichnung direkt (online) auf dem Drucker ausgegeben werden soll.

Die Zeichnung kann um 90° gedreht ausgegeben werden, um eine höhere Skalierung zu erreichen. Soll das Bild nicht in die Druckliste gespeichert werden, so kann entschieden werden, ob das Blatt als Druckliste (mit Kopf- und Fußzeilen) oder als Zeichnung (ohne Kopf- und Fußzeilen) ausgegeben werden soll. Trifft die Wahl auf die Ausgabeform *Zeichnung*, kann das Papierformat des Druckers ausgewählt werden.

Hierbei sollten (natürlich) nur Formate angegeben werden, die der angeschlossene Drucker auch unterstützt.

Nach Bestätigen wird die ausgewählte Aktion durchgeführt.

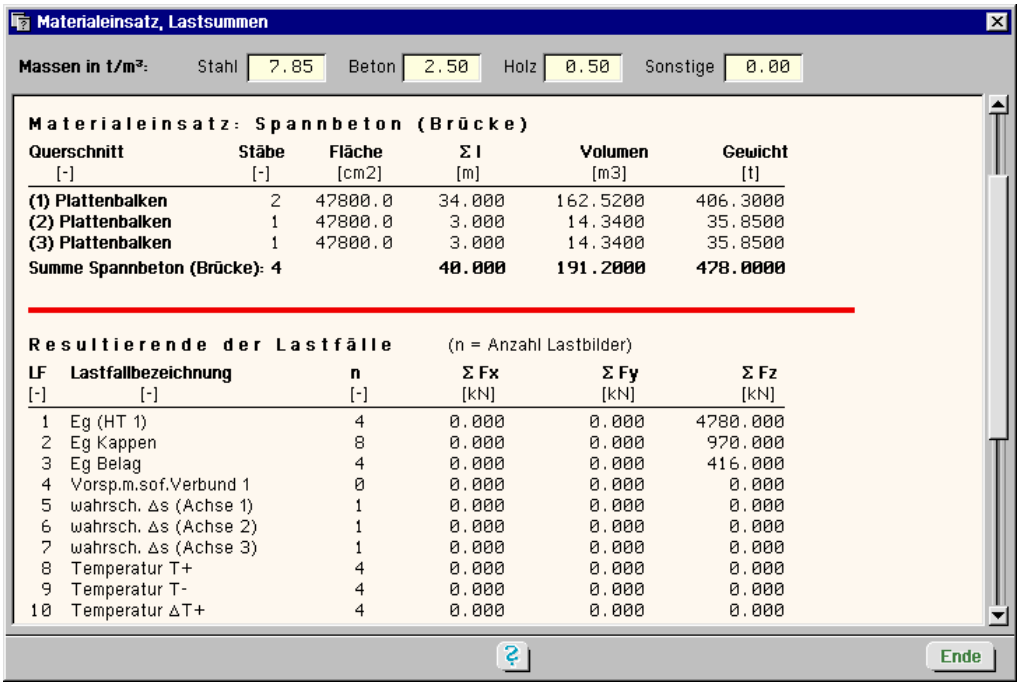
Soll das Bild in die Druckliste gespeichert werden, so erfolgt u.U. eine Meldung bzgl. bereits existierender Bilder in dieser Liste. Hier kann zwischen den Aktionen ***überschreiben*** und ***hinzufügen*** ausgewählt werden. Weiterhin können Über- und Unterschriften zur Beschreibung des Bildes angegeben werden.

Soll das Bild direkt ausgegeben werden, erfolgen ggf. weitere Interaktionen zur Auswahl des Druckers etc.

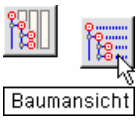
7.2.8 Materialeinsatz und Lastsummen

In einer dem jeweiligen Material zugeordneten Tabelle werden alle Querschnitte, die im System vorkommen, aufgeführt. Der Tabelle kann die Anzahl der Stäbe, die auf den Querschnitt Bezug nehmen, die Querschnittsfläche (A) und die Summe der Stablängen (ΣI) entnommen werden. Die vorletzte Spalte weist das Volumen ($V = \Sigma l \cdot A$) und die letzte Spalte das Gewicht ($G = V \cdot \gamma$) aus, wobei γ im Kopf des Eigenschaftsblatts angegeben werden kann.

In der letzten Tabelle werden die resultierenden Kraftgrößen der einzelnen Lastfälle protokolliert.



7.2.9 Baumansicht

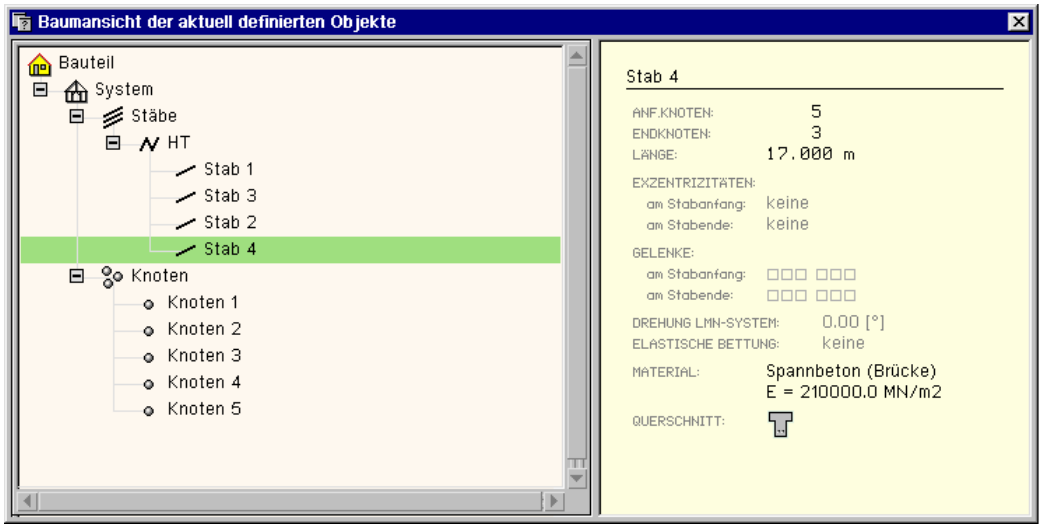


Die Baumansicht dient der übersichtlichen Darstellung aller bisher im Eingabemodul definierten Festlegungen. Sie stellt alle definierten Objekte in einer Baumstruktur (ähnlich dem des Windows-Explorers) dar.

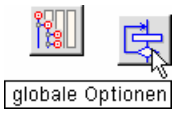
Enthält ein Objekt Unterobjekte, kann es geöffnet werden. Hierzu ist das +-Zeichen anzuklicken. Ein geöffnetes Objekt kann durch Anklicken des --Zeichens wieder geschlossen werden.

Wird der Name eines Objekts angeklickt, erscheint im rechten Fenster eine Kurzbeschreibung des Objekts.

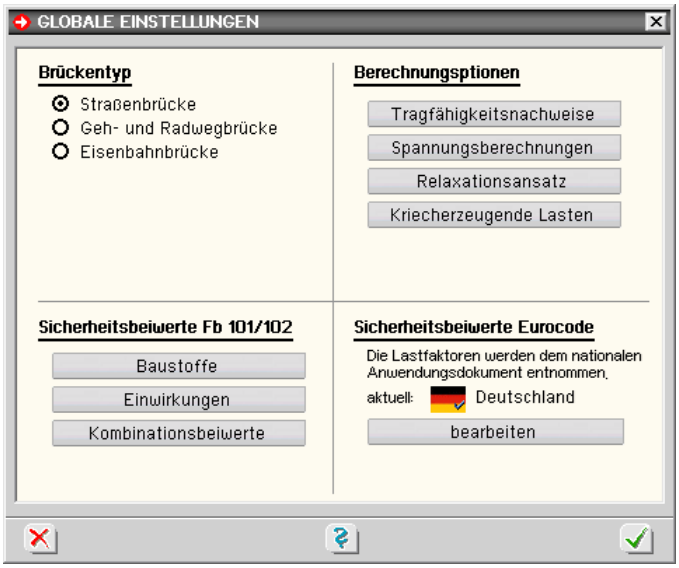
Die Baumansicht kann zur übersichtlichen Überprüfung des aktuellen Datenzustands genutzt werden.



7.3 globale Einstellungen

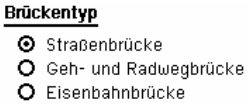


Das Fenster mit den globalen Einstellungen wird durch Klicken des ***Global***- und des ***Options***-Buttons erreicht. Folgende globale Parameter können festgelegt werden.



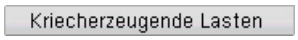
7.3.1 Brückentyp

Über die Optionsschalter ***Straßenbrücke/Geh- und Radwegbrücke/Eisenbahnbrücke*** wird die Bauteilart festgelegt. Dies hat i.W. Einfluss auf die Teilsicherheits- (γ-Werte) und Kombinationsbeiwerte (Ψ-Werte) nach DIN Fachbericht 101, Anhang C und D, die vom Programm automatisch gesetzt werden.

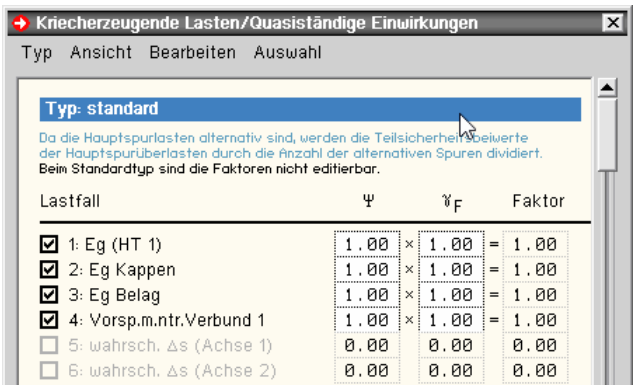


7.3.2 kriecherzeugende Lasten

Die kriecherzeugenden Lasten (Abs. 7.6.7, S. 58) werden automatisch vom Programm entsprechend DIN Fachbericht 102, 4.2.3.5.5, ermittelt.



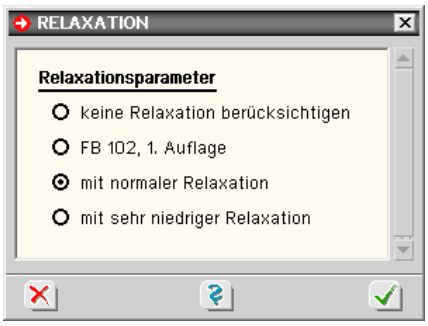
Es kann jedoch auch ein benutzerdefiniertes Lastkollektiv gebildet werden. Das entsprechende Eingabefenster wird durch Anklicken des ***Optionsbuttons*** geöffnet. Nach Umstellen des Typs auf ***benutzerdefiniert***, können einzelne Lastfälle durch Anklicken der ***Häkchensymbole*** aktiviert oder deaktiviert werden (Abs. 7.6.7, S. 58).



7.3.3 Relaxationsansatz

Relaxationsansatz

Der Button ***Relaxationsansatz*** ermöglicht die Berücksichtigung verschiedener Spannstahlrelaxationsansätze.



Üblicherweise sind die Parameter zur Berechnung der Spannstahlrelaxation in den Zulassungen angegeben. Im Programm werden folgende Alternativen zur Auswahl angeboten

- keine Berücksichtigung der Relaxation
- Berechnung nach DIN Fachbericht 102, 4.2.3.4.1, 1. Auflage.
  Dieses Abschätzungsverfahren entspricht dem Verfahren des EC 2.
- gemäß Zulassung Z - 12.3-6(36).
  Die genauen Relaxationskennwerte können den Spanndrahtzulassungen entnommen werden. Da jedoch nicht sichergestellt ist, dass alle von den Spanngliedherstellern verwendeten Spanndrähte die gleichen Materialeigenschaften aufweisen, sind hier die Parameter der Zulassungen Z - 12.3-6 und Z - 12.3-36 zur Auswahl angeboten. Die Relaxationskennwerte beider Zulassungen sind identisch, wobei zwischen Spannstahl mit normaler und sehr niedriger Relaxation unterschieden wird.

  Folgende Rechenwerte für die Spannungsverluste in % der Anfangsspannung R_i sind gegeben.

mit normaler Relaxation

	Zeitspanne nach dem Vorspannen in Stunden						
R_i/R_m	1	10		1000	5000	$5 \cdot 10^5$	10^6
0.45	unter 1 %					1.7	2.0
0.50					1.7	4.5	5.0
0.55				2.5	3.4	7.3	8.0
0.60		1.2		4.2	5.5	10.0	11.0
0.65		2.0		5.8	7.4	13.0	13.5
0.70	1.2	2.7		7.5	9.5	16.0	17.0
0.75	1.6	3.2		9.0	11.5	19.0	21.0
0.80							

mit sehr niedriger Relaxation

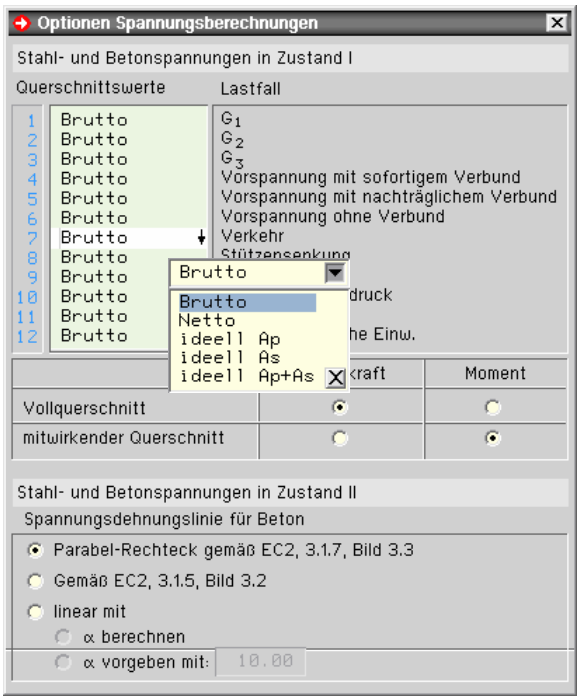
	Zeitspanne nach dem Vorspannen in Stunden						
R_i/R_m	1	10	200	1000	5000	$5 \cdot 10^5$	10^6
0.45	unter 1 %						
0.50							
0.55						1.0	1.2
0.60					1.2	2.5	2.8
0.65				1.3	2.0	4.0	5.0
0.70			1.0	2.0	3.0	6.5	7.0
0.75		1.2	2.5	3.0	4.5	9.0	10.0
0.80	1.0	2.0	4.0	5.0	6.5	13.0	14.0

7.3.4 Optionen für Spannungsberechnungen (n. Zustand I)

Spannungsberechnungen

Ein Klick auf den ***Optionsschalter*** öffnet ein Fenster zur Einstellung der Querschnittswerte mit denen die Randspannungen nach Zustand I berechnet werden.

Für jede Lastfallart kann festgelegt werden mit welchen Querschnittswerten die Randspannungen berechnet werden sollen.



Wenn eine Eingabezeile mit der LMT angeklickt wurde, erscheint ein kleines Pfeilsymbol in dieser Zeile. Durch Drücken der Leertaste erscheint das zugehörige Untermenü.

Zur Auswahl stehen jeweils Netto- oder Bruttoquerschnittswerte sowie die ideellen Querschnittswerte unter Berücksichtigung der schlaffen Bewehrung (A_s), des Spannstahls (A_p) oder der schlaffen und der Spannstahlbewehrung ($A_s + A_p$).

Ferner kann über die ***Optionsknöpfe*** festgelegt werden, ob die Anteile aus Normalkraft und Moment mit den vollen oder den mitwirkenden Querschnittsteilen berechnet werden.

Für Berechnungen in Zustand II, dies sind i.W. die Nachweise zur Begrenzung der Betondruck-, Betonstahl- und Spannstahlspannungen, kann das Materialgesetz für den Beton gewählt werden. Da die Norm hier keine eindeutigen Angaben macht, bestehen folgende Wahlmöglichkeiten

- Parabel-Rechteckdiagramm entspr. gewählter Norm

  Dieser Ansatz gilt für Bemessung und Bruchsicherheitsnachweise und liefert aufgrund des „weichen" Ansatzes für Beton, geringe Betonspannungen.

- Spannungsdehnungslinie für Verformungsberechnungen entspr. gewählter Norm

  Diese Linie ist zwar für Verformungsberechnungen vorgesehen, liefert aber aufgrund der realitätsnahen Abbildung des Betonverhaltens realistische Werte für die Betonrandspannungen. Dies ist die Standardeinstellung.

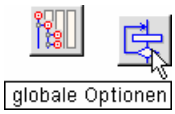
- Lin. Spannungsdehnungslinie mit berechnetem oder vorgebbaren Verhältnis der E-Moduli

  Dieser Ansatz ist als „kann-Bestimmung" in der Norm vorgesehen, erzeugt jedoch insbesondere bei höheren Ausnutzungsgraden zu ungenaue Betonrandspannungen. Die Einstellungsmöglichkeit wurde vorgesehen, da die Norm dies erlaubt und um Vergleichsrechnungen zu anderen Programmen anzustellen, die mit dieser Methode arbeiten.

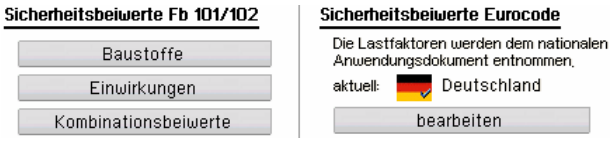
7.3.5 Optionen für Tragfähigkeitsnachweise

Ein Klick auf den Optionsschalter öffnet ein Fenster zur Einstellung der Abminderungsfaktoren der Zwangsschnittgrößen bei Tragfähigkeitsnachweisen (Bruchzustand).

7.4 Sicherheitsbeiwerte



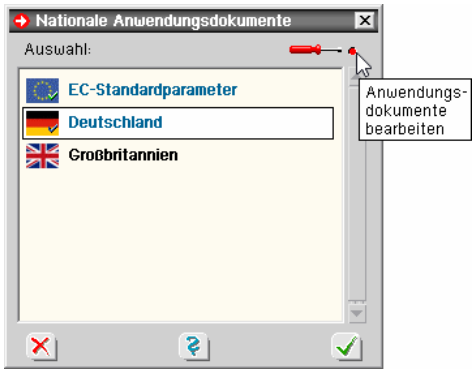
Die Sicherheitsbeiwerte der gewählten Norm können im Eigenschaftsblatt *Globale Einstellungen* (Abs. 7.3, S. 46) durch Anklicken der entsprechenden Option geändert werden.

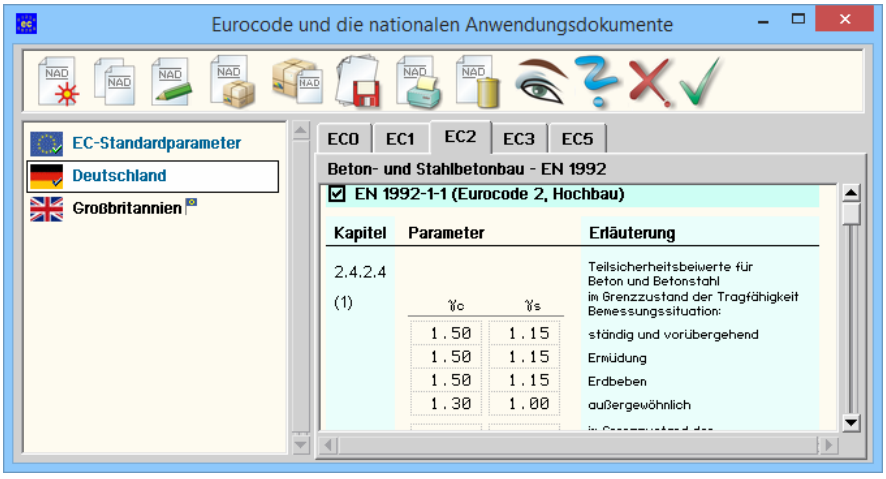


Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass bei Änderung der Standardsicherheitsbeiwerte, die Nachweise nicht mehr der gewählten Norm entsprechen!
Vom Standard abweichende Werte werden in der Eingabemaske farblich markiert.

7.4.1 Sicherheitsbeiwerte Eurocode

Nach Klicken des ***bearbeiten***-Buttons erscheint die Auswahl der eingerichteten NADs. Über den ***Werkzeug***-Button werden die zugehörigen manipulierbaren EC-Parameter zugänglich.





7.4.2 Sicherheitsbeiwerte DIN Fb

7.4.2.1 Baustoffe

Baustoffe

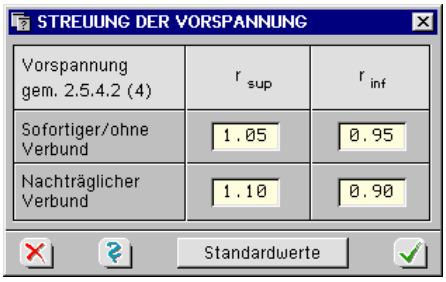
Durch Anklicken des betreffenden ***Optionsknopfs*** wird ein Eigenschaftsblatt mit den aktuellen Sicherheitsbeiwerten zu den Baustoffen gemäß DIN Fachbericht 102, II-2.3.3.2, Tab. 2.3, geöffnet.

Durch Klicken auf den ***Standardwerte-Knopf*** werden die Standardwerte der gewählten Norm zurückgesetzt.

7.4.2.2 Einwirkungen

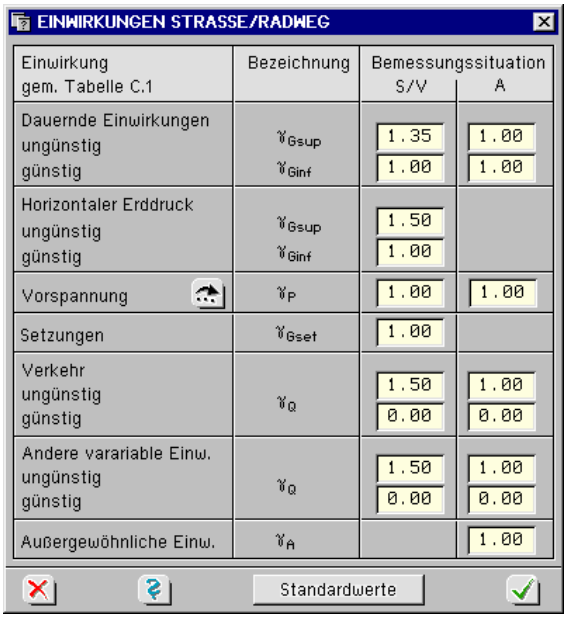
Einwirkungen

Durch Anklicken des betreffenden ***Optionsknopfs*** wird ein Eigenschaftsblatt mit den aktuellen Sicherheitsbeiwerten zu den Einwirkungen geöffnet.



Über den ***Optionsknopf*** in der Zeile *Vorspannung* wird ein Fenster zur Eingabe der Beiwerte r_{sup} und r_{inf} zur Berücksichtigung der Streuung der Vorspannkraft der gewählten Norm geöffnet.

Durch Klicken auf den ***Standardwerte-Knopf*** werden die Standardwerte der gewählten Norm zurückgesetzt.



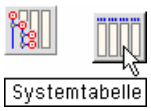
7.4.2.3 Kombinationsbeiwerte

Kombinationsbeiwerte

Durch Anklicken des betreffenden ***Optionsknopfs*** wird ein Eigenschaftsblatt mit den aktuellen Kombinationsbeiwerten geöffnet. In Abhängigkeit der bei den Materialdaten gewählten Bauteilart (Abs. 7.3, S. 46, Straßen- oder Geh-/Radwegbrücke) wird das entsprechende Eigenschaftsblatt zu der gewählten Norm geöffnet.

Durch Klicken auf den ***Standardwerte-Knopf*** werden die Standardwerte der gewählten Norm zurückgesetzt.

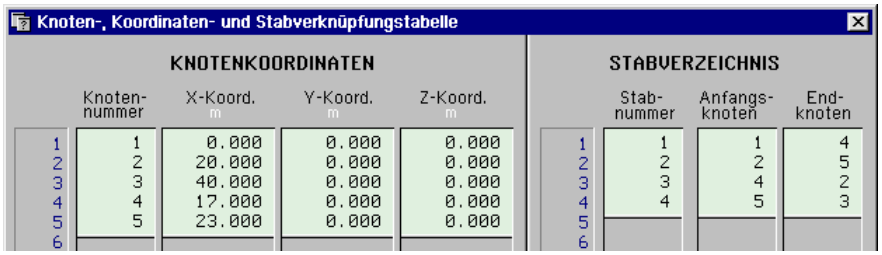
7.5 Systemtabelle



In der Systemtabelle sind die im System vorkommenden Knoten mit ihren Koordinaten sowie das Stabverzeichnis mit den vorhandenen Verknüpfungen zusammengestellt.

Das System kann hier einerseits als Alternative zur grafischen Erzeugung durch Eingabe von Zahlenwerten über die Tastatur erweitert oder durch Änderung der Werte modifiziert werden (s. auch Abs. 7.7.2.3, S. 63).

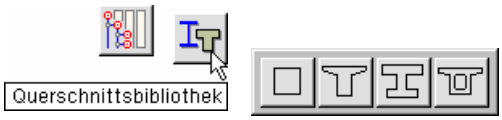
Änderungen werden nach Bestätigen der Tabelle sofort grafisch im Bearbeitungsfenster umgesetzt.



7.6 Querschnitte eingeben

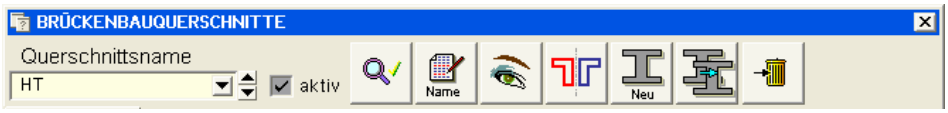
Querschnitte werden in einer bauteileigenen Bibliothek gespeichert und dann den Stäben zugeordnet. D.h., werden Querschnittsparameter verändert, so ändern sich diese an allen Stäben, denen der Querschnitt zugeordnet ist. Zur Auswahl stehen folgende typisierte Querschnitte

- Rechteck (Abs. 7.6.4, S. 54),
- Plattenbalken (Abs. 7.6.5, S. 55),
- Doppel-T (Abs. 7.6.5, S. 55).

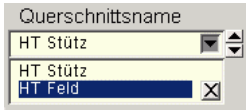


Die Eingabe von Brückenquerschnitten erfolgt durch Drücken der Buttons ***Globale Einstellungen*** und ***Querschnittsangaben*** mit anschließender Auswahl des gewünschten Querschnittstyps.

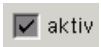
Sofern einzelne Nachweise dies erfordern, zerlegt das Programm einen gegliederten Querschnitt (Plattenbalken oder Doppel-T-Profil) automatisch in Gurt- und Steganteile.



Zur Bearbeitung der Querschnitte stehen in der oberen Schalterleiste folgende Funktionen zur Verfügung.



über die Auswahlliste wird der Querschnittstyp zur Bearbeitung ausgewählt



Über den ***aktiv***-Button können Querschnitte aktiviert oder deaktiviert werden. Deaktivierte Querschnitte werden in der Bibliothek gespeichert, erscheinen aber nicht in den Drucklisten und können auch nicht den Stäben zugeordnet werden.

Der ***Datencheck***-Button überprüft die Korrektheit der eingegebenen Querschnittsdaten.

Der ***Name***-Button öffnet ein Fenster zur Eingabe oder Korrektur der Querschnittsbezeichnung.

Startet den Viewer zur Kontrolle der eingegebenen Daten.

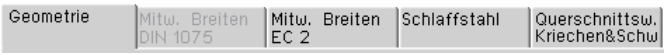
Querschnitt an der z-Achse spiegeln. Mittels dieser Funktion können z.B. bei Eingabe eines zweistegigen, symmetrischen Plattenbalkens als Trägerrost, durch Kopieren und anschließendes Spiegeln auf einfache Art ein „linker“ und ein „rechter“ Plattenbalken erzeugt werden.

neuen Querschnitt anlegen

aktuellen Querschnitt kopieren

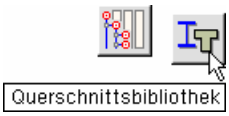
Aktuellen Querschnitt löschen. Ist der Querschnitt einem oder mehreren Stäben zugeordnet, erscheint eine Meldung und der Löschvorgang wird abgebrochen.

Unter der Schalterleiste stehen Karteireiter mit Registerblättern zur Eingabe verschiedener querschnittsbezogener Größen zur Verfügung.

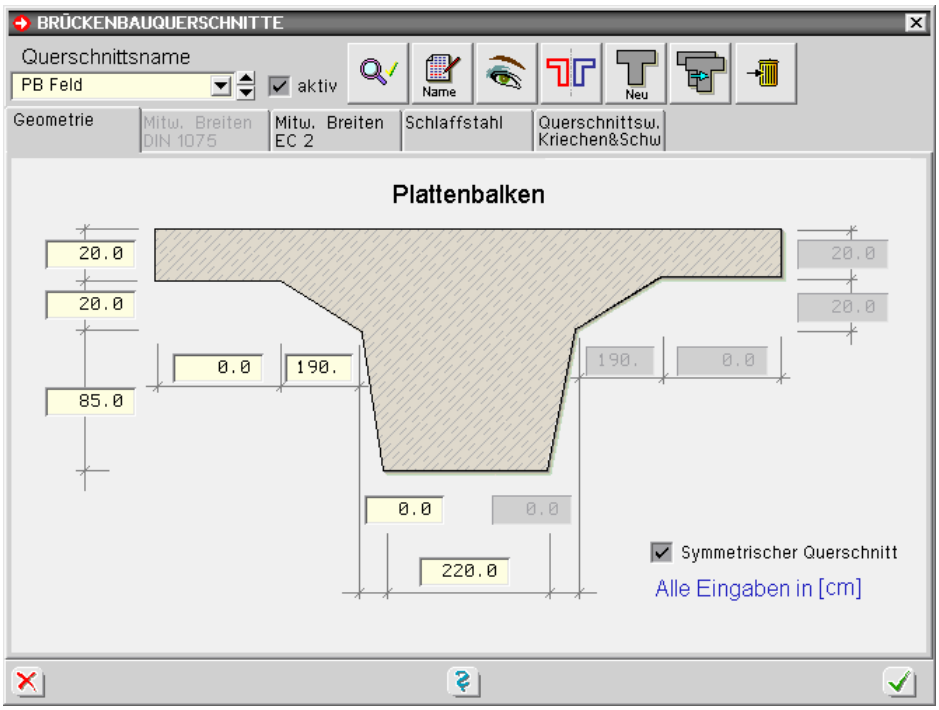


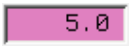
Geometrie	hier werden die äußeren Abmessungen eingegeben
Mitw. Breiten	Eingabe der mitwirkenden Breiten nach der gewählten Norm
Schlaffstahl	Eingabe der Betonstahlbewehrung
Querschnittsw.	Definition der Kriech- und Schwindparameter, sowie Angaben zur Querschnittswerteermittlung

7.6.1 Geometriedaten für Brückenquerschnitte



Nach Aufruf der Querschnittsbibliothek (Abs. 7.6, S. 51) für den entsprechenden Querschnittstyp erfolgt die Eingabe der Geometrie.



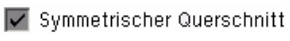


Die Abmessungen werden direkt im Eingabefenster des Geometrieregisterblatts eingetippt. Die Eingabe unzulässiger Werte wird durch einen roten Hintergrund im Eingabefeld angezeigt. Der Wert ist entsprechend zu korrigieren.

Durch Klicken des ***Check***-Buttons können die eingegebenen Daten ebenfalls überprüft werden.

Eine maßstäbliche grafische Kontrolle der Geometrie kann mit Hilfe der ***Grafikvorschau*** durchgeführt werden. Grundsätzlich werden alle Maße in cm eingegeben. Mit Ausnahme der Plattendicken von Gurten und der Steghöhe können bei Plattenbalken- und Doppel-T-Querschnitten einzelne Maße zu Null gesetzt werden, so dass entartete Querschnitte erzeugt werden können.

Nach Eingabe aller Werte wird das Eingabefenster durch Klicken des ***bestätigen***-Buttons geschlossen.

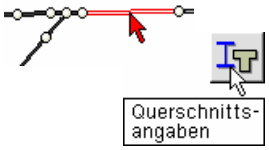


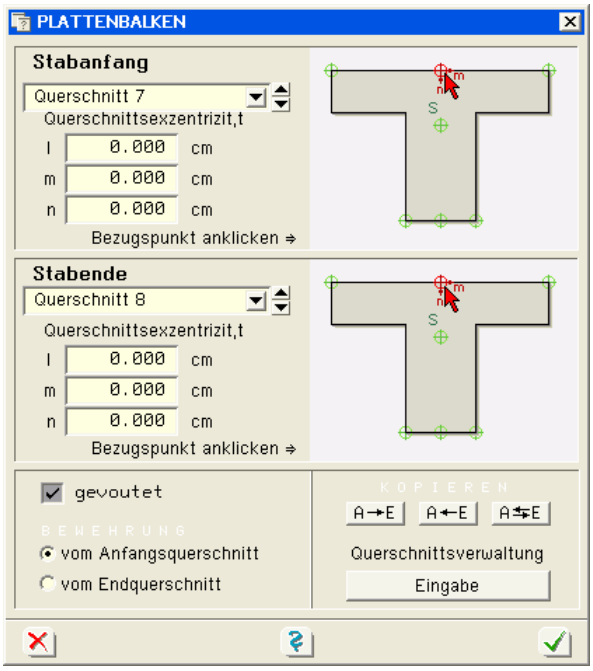
Zur Erleichterung der Eingabe kann über den Optionsknopf ***Symmetrischer Querschnitt*** in den Symmetriemodus gewechselt werden (Plattenbalken, Doppel-T, Hohlkasten). Bei Aktivierung dieses Modus werden alle symmetrischen Maßangaben von der linken Querschnittshälfte auf die rechte gespiegelt.

7.6.2 exzentrische Ankopplung von Querschnitten

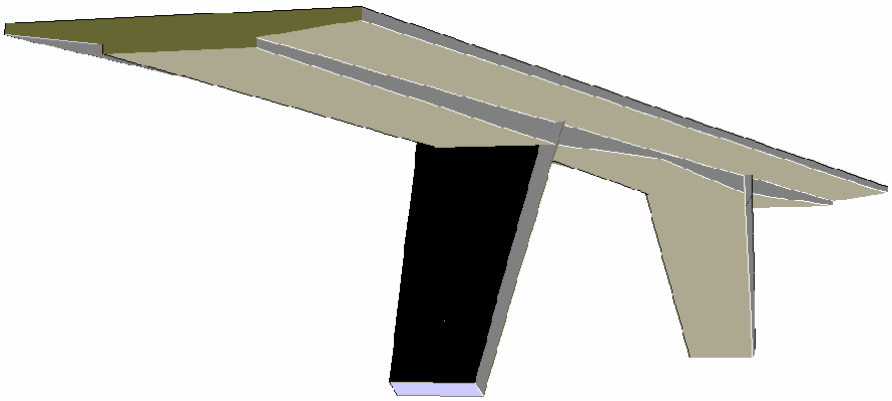
Querschnitte können nicht nur an ihrem Schwerpunkt an den Stab angebunden werden, sondern an allen markanten Querschnittspunkten. Im folgenden Eigenschaftsblatt ist z.B. die Querschnittsoberkante gewählt worden.

Hierzu wird der gewünschte Stab markiert und über den Button ***Querschnittsangaben*** das rechts dargestellte Eigenschaftsblatt zur Eingabe von Exzentrizitäten aufgerufen. Durch Anklicken der grün markierten möglichen Auswahlpunkte wird bestimmt, wie der Querschnitt an den Stab angebunden wird.





Durch die Definition exzentrischer Anschlüsse in der Querschnittsbeschreibung lassen sich gevoutete Brückenquerschnitte bequem eingeben. Die Kontrolle der Eingabe erfolgt über die fotorealistische Darstellung.

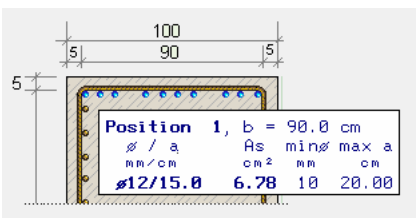


7.6.3 Schlaffstahleingabe

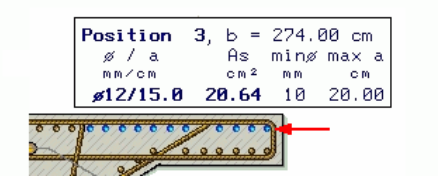
Nach Aufruf der Querschnittsbibliothek (Abs. 7.6, S. 51) für den entsprechenden Querschnittstyp erfolgt die Eingabe der Betonstahlbewehrung im entsprechenden Register.

Für jede Querschnittskante, die länger als 5 cm ist, kann eine Bewehrungsposition eingegeben werden. Das Programm verschiebt hierzu alle Querschnittskanten um das Maß der Betondeckung nach innen; der seitliche Randabstand angrenzender Kanten wird dabei abgezogen.

Zusätzlich können im Steg jeweils Zulagen am oberen und unteren Rand angeordnet werden. Die Positionsnummern werden vom Programm automatisch vergeben.

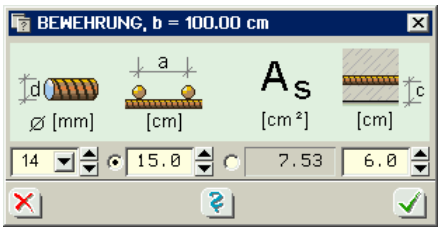


Zur Eingabe einer Position muss der Mauszeiger auf die entsprechende Stelle in der Eingabemaske geführt werden. Die betreffenden Bewehrungsstäbe erscheinen dann in hellblauer Farbe. Zusätzlich wird ein Infofenster mit den Daten der Position sichtbar.



Durch Klicken der linken Maustaste wird das Eigenschaftsblatt zur Eingabe der Position geöffnet.

Hier können die erforderlichen Angaben über Durchmesser, Stababstand, Bewehrungsquerschnitt und Randabstand vorgenommen werden.

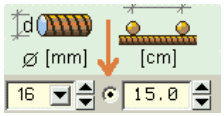


Prinzipiell stehen zwei Möglichkeiten zur Eingabe des Betonstahls zur Verfügung.

- Vorgabe des Durchmessers und des Stababstands; hierfür berechnet das Programm den Querschnitt A_s
- Vorgabe des Durchmessers und des Querschnitts A_s; hierfür berechnet das Programm den Stababstand

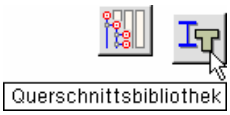
Beide Möglichkeiten können über die Optionsschalter neben den Eingabefeldern für den Stababstand und A_s gewählt werden.

In Bereichen, die kleiner als 5 cm sind, kann keine Bewehrung eingegeben werden.

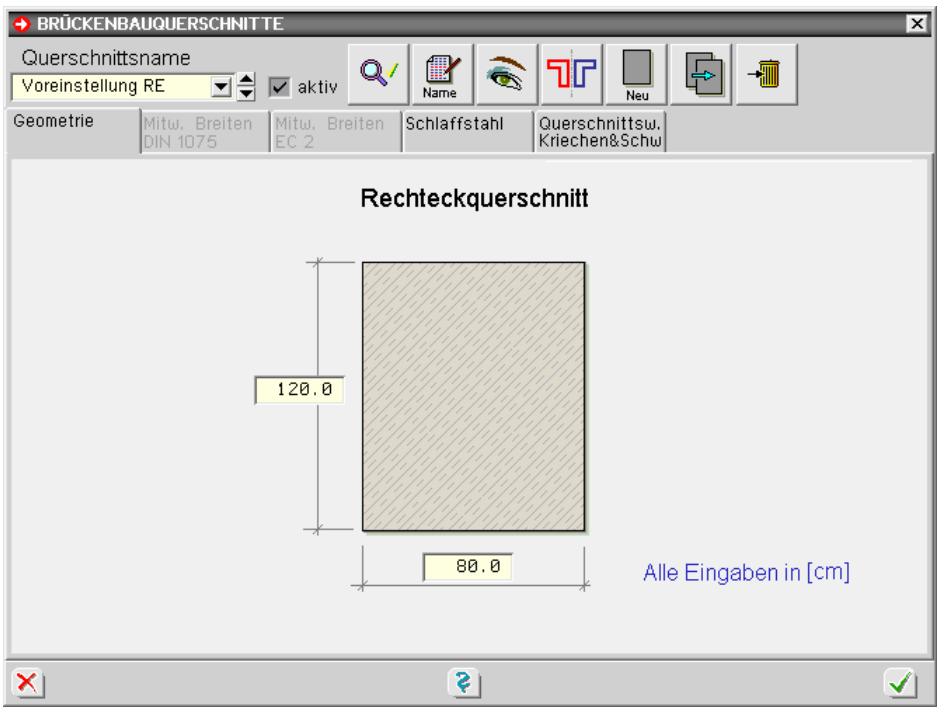


Für Stege sollte in jedem Falle eine umlaufende Bewehrung angeordnet werden, da viele Nachweise, z.B. alle Schubnachweise, eine Stegbewehrung voraussetzen. Die Berechnung der effektiven Wanddicken t_{eff} erfolgt aus den Betonstahlrandabständen der betreffenden Stegbewehrungspositionen.

7.6.4 Rechteckquerschnitt



Nach Aufruf der entsprechenden Querschnittsbibliothek startet das Eingabefenster für Rechteckquerschnitte.



Das Fenster enthält ein Register mit Karteireitern zur Eingabe von

- Geometrie (Abs. 7.6.1, S. 52)
- Schlaffstahl (Abs. 7.6.3, S. 53)
- Parametern für Querschnittswerte, Kriechen + Schwinden (Abs. 7.6.6, S. 57)

Die Karteireiter für mitwirkende Breiten sind bei Rechteckquerschnitten ohne Funktion.

7.6.5 Plattenbalken, Doppel-T-Querschnitt und Hohlkasten

Nach Aufruf der entsprechenden Querschnittsbibliothek startet das Eingabefenster für Plattenbalken-, Doppel-T- und Hohlkastenquerschnitte zur Verfügung.

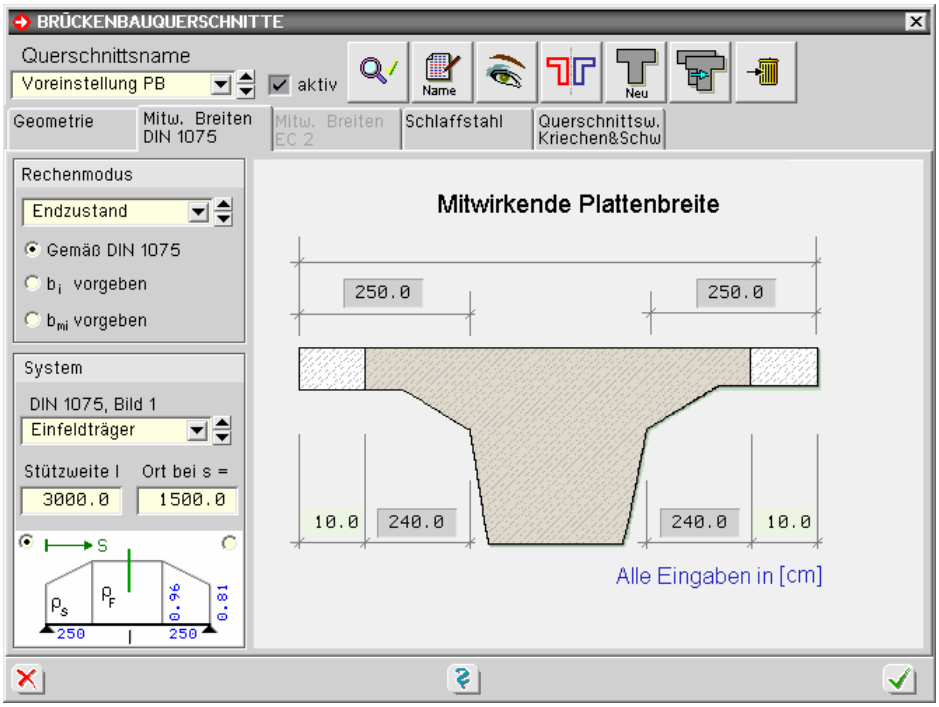
Das jeweilige Fenster enthält ein Register mit Karteireitern zur Eingabe von

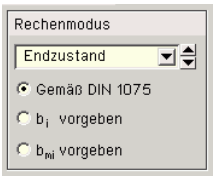
- Geometrie (Abs. 7.6.1, S. 52)
- Schlaffstahl (Abs. 7.6.3, S. 53)
- mitwirkende Breiten DIN 1075 (Abs. 7.6.5.1, S. 55)
- mitwirkende Breiten DIN Fachbericht 102 (Abs. 7.6.5.2, S. 56)
- Parameter für Querschnittswerte, Kriechen + Schwinden (Abs. 7.6.6, S. 57)

7.6.5.1 mitwirkende Breiten DIN 1075

Bei der Eingabe von Plattenbalken-, Doppel-T- und Hohlkastenquerschnitten können vom Programm die mitwirkenden Breiten entspr. DIN 1075 berechnet und bei den Nachweisen berücksichtigt werden.

Die Eingabe der erforderlichen Parameter erfolgt in der Querschnittsbibliothek im Registerblatt *Mitwirkende Breiten DIN 1075*.





Unter dem Auswahlpunkt *Rechenmodus* kann zwischen folgenden Optionen gewählt werden.

Gemäß DIN 1075 Nach Vorgabe der Stützweite, der x-Koordinate auf dem Stab sowie des statischen Systems gemäß DIN 1075, Bild 1, werden die mitwirkenden Breiten der Gurte vom Programm ermittelt. Die errechneten Maße werden in der Querschnittsskizze angezeigt.

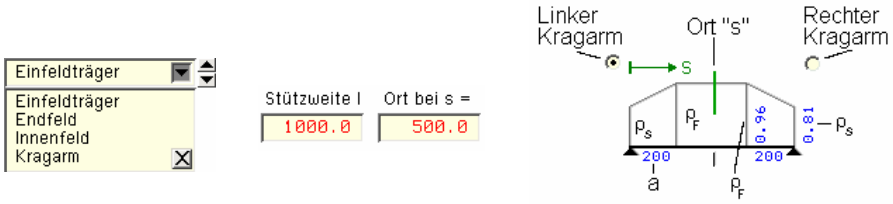
Vorgabe der Werte b_i Die Breiten der Gurte werden vom Anwender vorgegeben; die übrige Berechnung erfolgt wie unter der vorherigen Option. Dieser Rechenmodus kann sinnvoll sein, wenn beispielsweise aufgrund von Vouten die Breiten der Gurte nicht eindeutig vom Programm berechnet werden können.

Vorgabe der Werte b_{mi} Durch diese Option werden die mitwirkenden Breiten manuell vom Anwender vorgegeben.

Bei der Berechnung der mitwirkenden Breiten durch das Programm sind folgende Eingaben notwendig.

7.6.5.1.1 statisches System nach DIN 1075, Bild 1

Zur Wahl stehen ***Einfeld***, ***Endfeld***, ***Innenfeld*** oder ***Kragarm***. Entsprechend der gewählten Option wird das Statusfenster unterhalb der Wahlliste aktualisiert.

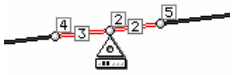


7.6.5.1.2 Stützweite l und Ort s

Hier sind die Stützweite des Stabes und die x-Koordinate auf dem Stab anzugeben.

Zur Kontrolle können in dem kleinen Statusfenster unterhalb der Vorgabeparameter die Zwischenwerte a, l_i, ρ_F und ρ_S angezeigt werden.

Über die Optionsfelder in den oberen rechten und linken Ecken des Statusfensters kann die Anzeige der rechten und linken Kragarmwerte gewählt werden.



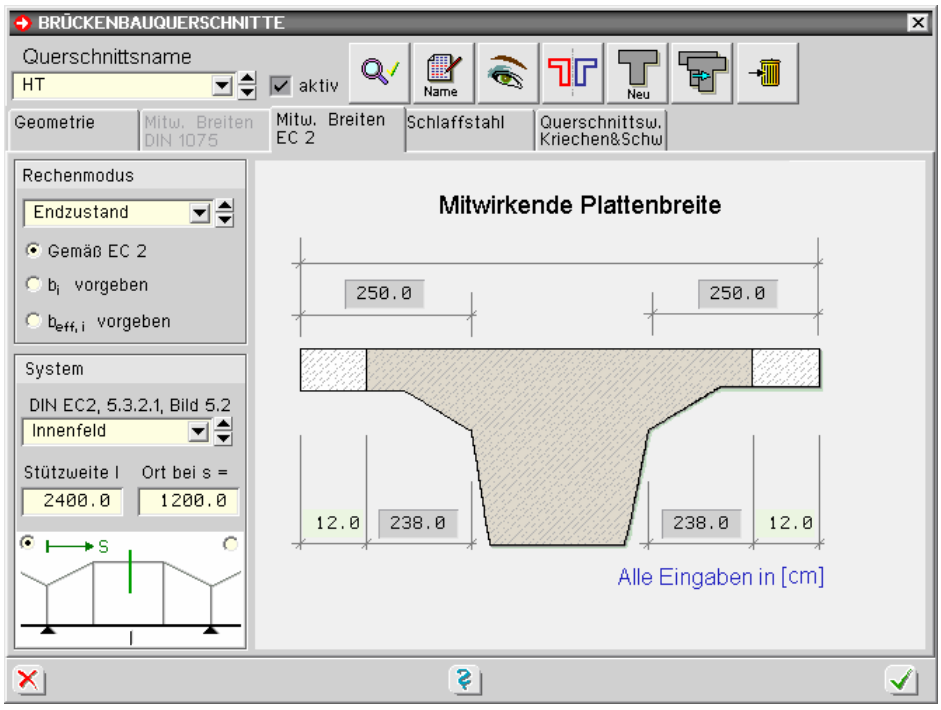
Soll die ***Einschnürung*** der mitwirkenden Breiten über Stützen vom Programm berücksichtigt werden, müssen für Feld- und Stützenbereich zwei verschiedene Querschnitte angelegt werden.

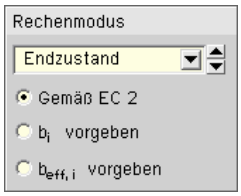
Entsprechend muss am Beginn der Einschnürung auf dem Stab ein Zwischenknoten gesetzt werden. Den Stäben vor und hinter dem Auflager wird dann ein gevouteter Querschnitt zugeordnet, der am Beginn der Einschnürung den Feldquerschnitt und über der Stütze den Stützenquerschnitt erhält.

7.6.5.2 mitwirkende Breiten DIN EN 1992 bzw. DIN Fachbericht 102

Bei der Eingabe von Plattenbalken-, Doppel-T- und Hohlkastenquerschnitten können vom Programm die mitwirkenden Breiten entspr. Norm berechnet und bei den Nachweisen berücksichtigt werden.

Die Eingabe der erforderlichen Parameter erfolgt in der Querschnittsbibliothek im Registerblatt *Mitwirkende Breiten EC 2 / DIN Fb.*





Unter der Auswahl *Rechenmodus* kann zwischen folgenden Optionen gewählt werden.

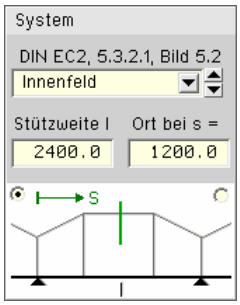
Gemäß DIN EC 2 Nach Vorgabe der Stützweite, der x-Koordinate auf dem Stab sowie des statischen Systems gemäß Norm werden die mitwirkenden Breiten der Gurte vom Programm ermittelt. Die errechneten Maße werden in der Querschnittsskizze angezeigt.

Vorgabe der Werte b_i Die Breiten der Gurte werden vom Anwender vorgegeben; die übrige Berechnung erfolgt wie unter der vorherigen Option. Dieser Rechenmodus kann sinnvoll sein, wenn beispielsweise aufgrund von Vouten die Breiten der Gurte nicht eindeutig vom Programm berechnet werden können.

Vorgabe der Werte $b_{eff,i}$ Durch diese Option werden die mitwirkenden Breiten manuell vom Anwender vorgegeben.

Bei der Berechnung der mitwirkenden Breiten durch das Programm sind folgende Eingaben notwendig.

7.6.5.2.1 statisches System nach EC 2 / DIN Fb

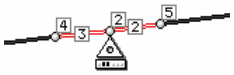


Zur Wahl stehen ***Einfeld***, ***Endfeld***, ***Innenfeld*** oder ***Kragarm***. Entsprechend der gewählten Option wird das Statusfenster unterhalb der Auswahlliste aktualisiert.

7.6.5.2.2 Stützweite l und Ort s

Hier sind die Stützweite des Stabes und die x-Koordinate auf dem Stab anzugeben.

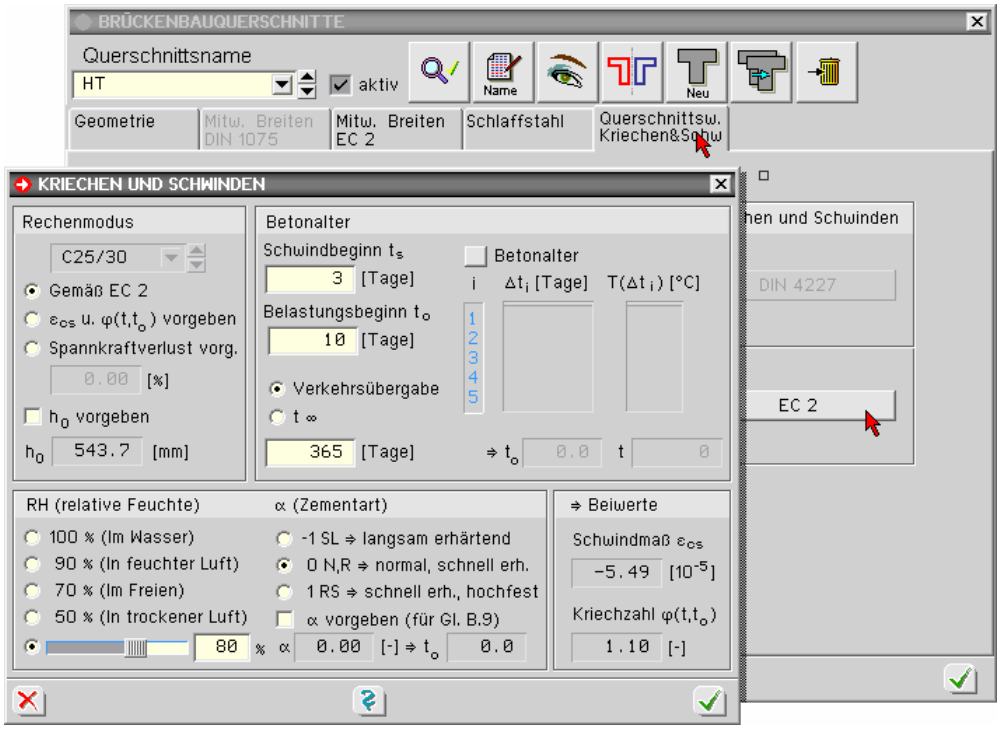
Soll die Einschnürung der mitwirkenden Breiten über Stützen vom Programm berücksichtigt werden, müssen für Feld- und Stützenbereich zwei verschiedene Querschnitte angelegt werden.



Entsprechend muss am Beginn der ***Einschnürung*** auf dem Stab ein Zwischenknoten gesetzt werden. Den Stäben vor und hinter dem Auflager wird dann ein gevouteter Querschnitt zugeordnet, der am Beginn der Einschnürung den Feldquerschnitt und über der Stütze den Stützenquerschnitt erhält.

7.6.6 Kriech- und Schwindparameter

Die Kriech- und Schwindbeiwerte ε_{cs} und φ werden nach Vorgabe der erforderlichen querschnittsabhängigen Parameter vom Programm nach der gewählten Norm berechnet (Abs. 7.6.7, S. 58). Die Eingabe der Kriech- und Schwindparameter erfolgt im Registerblatt *Querschnittswerte/Kriechen + Schwinden* der Querschnittsbibliothek (Abs. 7.6, S. 51).



Das Anklicken des Knopfes ***EC 2*** öffnet das Fenster zur Eingabe der Kriech- und Schwindparameter. Folgende Angaben sind in diesem Fenster möglich.

7.6.6.1 Rechenmodus

- ***Betongüte*** Die Betongüte geht entsprechend dem Nomogramm nach Fachbericht 102, 3.1.5.5, in die Ermittlung der Kriech- und Schwindbeiwerte ein.
- ***Gemäß EC 2*** Automatische Ermittlung der Kriech- und Schwindbeiwerte nach DIN Fachbericht 102, 3.1.5.5. Die Zement- und Betongüte sowie die relative Luftfeuchte müssen vom Anwender vorgegeben werden. Das Programm ermittelt damit die Kriech- und Schwindmaße ε_{cs} und φ.
- ***ε_{cs} und φ vorgeben*** Der Anwender gibt die Werte ε_{cs} und φ direkt vor.
- ***Spannkraftverlust vorgeben*** Der Anwender gibt den Spannkraftverlust in % direkt vor. Der Verlust ist als positive Zahl einzugeben.
- ***h_0 vorgeben*** Durch Anklicken der Option kann die wirksame Bauteildicke h_0 gemäß 3.1.5.5 (7)* direkt vorgegeben werden. Ist die Option nicht aktiv, wird h_0 vom Programm berechnet.

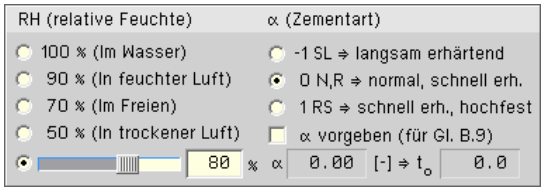
7.6.6.2 Betonalter

- ***Schwindbeginn t_s*** Dies ist das Betonalter beim Beginn des Schwindvorganges.
- ***Belastungsbeginn t_0*** Das Betonalter beim Aufbringen der kriecherzeugenden Belastung (i.d.R. ist dies der Lastfall Vorspannung)
- ***Zeitpunkt t*** Die Schnittgrößen infolge Kriechen und Schwinden werden vom Programm zu zwei Zeitpunkten berechnet: Verkehrsübergabe und t_∞. Über die ***Options***-Buttons wechselt die Anzeige zwischen den beiden Zeitpunkten. Die Parameter sind für beide Zeitpunkte einzugeben.

7.6.6.3 RH (relative Luftfeuchte)

Der Gültigkeitsbereich liegt zwischen 40% und 100%. Über die Optionsschalter können Standardwerte für bestimmte Umweltbedingungen (im Wasser, in feuchter Luft, im Freien, in trockener Luft) gewählt werden.

Die Eingabe individueller Werte erfolgt über den untersten Optionsschalter, der den nebenstehenden Schieberegler und das zugehörige Eingabefeld aktiviert.



7.6.6.4 α (Zementart)

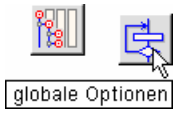
Die Zementart wird über die ***Options***-Buttons gewählt.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, durch Anklicken der entsprechenden Option einen freien Wert für α (entspr. EC2, Teil 1-1, Anhang 1) zu wählen.

7.6.7 Kriechen und Schwinden

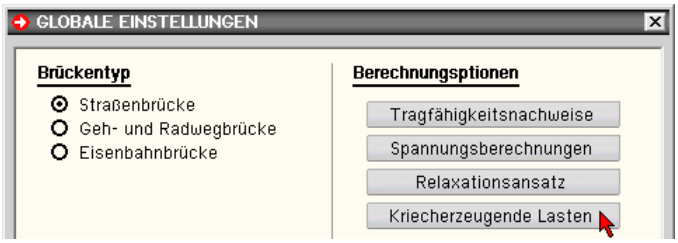
Bei vorgespannten Bauteilen müssen die Verluste der Spannkraft infolge von Schwind- und Kriechprozessen berücksichtigt werden. Die Ermittlung der Verluste ist in den Normen geregelt. Nach Vorgabe der erforderlichen querschnittsabhängigen Parameter (Abs. 7.6.6, S. 57) berechnet das Programm die Schnittgrößen aus Schwind- und Kriecheinflüssen automatisch. Dabei werden standardmäßig zwei relevante Zeitpunkte berücksichtigt: Verkehrsübergabe und t_∞.

Der Zeitpunkt *Verkehrsübergabe* erstreckt sich von der Erstellung des Bauwerks bis zur Inbetriebnahme. t_∞ entspricht der vorgesehenen maximalen Nutzungsdauer des Bauwerks. Als kriecherzeugende Lastkombination wird entsprechend Normen die quasi-ständige Einwirkungskombination angesetzt.



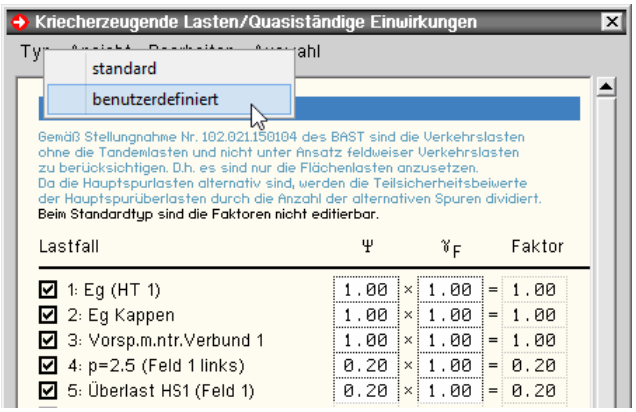
Alternativ kann das kriecherzeugende Lastkollektiv auch vom Benutzer vorgegeben werden. Hierzu sind die ***Globaleinstellungen*** und der Button ***kriecherzeugende Lasten*** zu drücken.

In dem Fenster erscheint eine Übersicht mit den vom Programm automatisch berücksichtigten Lastfällen.



Hierbei ist zu beachten, dass in der quasi-ständigen Kombination die Verkehrslasten mit dem Ψ–Wert 0.2 eingehen. Gemäß Stellungnahme Nr. 102.021.150104 des BAST sind an dieser Stelle die Verkehrslasten ohne die Tandemlasten und nicht unter Ansatz feldweiser Verkehrslasten zu berücksichtigen. D.h., es sind nur die Flächenlasten anzusetzen. Da die Hauptspurlasten alternativ sind, werden die Teilsicherheitsbeiwerte der Hauptspurüberlasten durch die Anzahl der alternativen Spuren dividiert.

Über den Menüpunkt *Typ-benutzerdefiniert* kann in den benutzerdefinierten Modus gewechselt werden, in dem einzelne Lastfälle durch Anklicken der ***Häkchensymbole*** aktiviert oder deaktiviert werden können.



7.7 Systemobjekte erzeugen

7.7.1 Generierungsmöglichkeiten

Das Eingabemodul von *4H*-SPBR bietet zwei unterschiedliche Funktionen zur Generierung von Knoten und Stäben sowie eine Möglichkeit zum Datenimport aus einer externen Datei an. Die Funktionen zur Generierung erzeugen

orthogonal gerasterte Systeme s. Abs. 7.7.1.1, S. 60, sowie

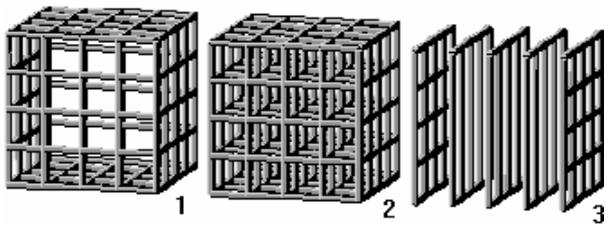
rotationssymmetrische Systeme s. Abs. 7.7.1.2, S. 60.

Die Funktion zum Datenimport, s. Abs. 7.7.1.3, S. 61, unterscheidet auf oberster Ebene zwischen dem Import via Text- und DXF-Datei.

7.7.1.1 Generierung orthogonal gerasterter Systeme

Zur Generierung orthogonal gerasterter Systeme werden im oberen Bereich des hierzu gehörenden Eigenschaftsblatts Angaben zu den zu generierenden Knoten vorgenommen. In drei Tabellen werden die Abstände in x-, y- und z-Richtung jeweils getrennt vorgegeben. Hierbei ist die im Eigenschaftsblatt angegebene Skizze zu beachten (Abs. 4.2, S. 16). Die Anzahl der Zeilen in den drei unterschiedlichen Tabellen legen die Anzahlen der Stäbe in den jeweiligen Richtungen fest.

Zur Generierung der Stäbe kann pro Richtung festgelegt werden, ob sie nur außen, überall oder gar nicht generiert werden sollen. Dieser Sachverhalt wird am dargestellten Beispiel erläutert.



Im Generierungsbeispiel 1 wurde für alle Richtungen ***nur außen*** festgelegt.

Im Generierungsbeispiel 2 wurde für alle Richtungen ***alle Stäbe*** festgelegt.

Im Generierungsbeispiel 3 wurden für die drei Richtungen unterschiedliche Angaben gemacht. Und zwar für die Stäbe in X-Richtung ***keine***, für die Stäbe in Y-Richtung ***außen*** und für die Stäbe in Z-Richtung ***alle***.

Zur Montage der zu generierenden Stäbe und Knoten in das ortsfeste XYZ-Koordinatensystem von *4H*-SPBR kann mit X_0, Y_0 und Z_0 zusätzlich ein Verschiebungsvektor und mit dem Winkel α ein Verdrehungsvektor, der um die verschobene z-Achse wirkt, angegeben werden.

Mit dem nebenstehend dargestellten Kopierbutton kann der aktuelle Inhalt des Eigenschaftsblatts (für eine spätere Modifikation) gespeichert werden.

Durch Drücken des ***bestätigen***-Buttons wird die Generierung durchgeführt und die neuen Knoten und Stäbe erscheinen (ggf. zusätzlich zu den bereits definierten Objekten) im Darstellungsfenster.

7.7.1.2 Generierung rotationssymmetrischer Systeme

Zur Generierung rotationssymmetrischer Systeme wird zunächst auf der Seite *Ebenendefinition* ein ebenes Stabwerk in einer gedachten ξ-η-Ebene beschrieben. Im oberen Bereich der Seite sind Knotennummern und ξ-η-Koordinaten anzugeben und im unteren Bereich Stabnummern und ihre Verknüpfung zu den o. a. Knoten einzutragen. Die Knoten- und Stabnummern haben hierbei nur eine für den Generierungsprozess lokale Bedeutung. Man beachte, dass die η-Achse letztlich eine Rotationsachse für die Generierung und Montage darstellt!

Um auf die Seite *Montage* zu gelangen, muss der ***Montage***-Button angeklickt werden.

In der hier angebotenen Spalte *Montage der Rotationsachse* werden drei Vektoren definiert, die die Lage des ebenen ξ-η-Systems im 3D-Raum beschreiben.

Der Vektor $[x_0, y_0, z_0]$ legt die Lage des ebenen ξ-η-Nullpunkts im dreidimensionalen XYZ-Raum

fest. Der Richtungsvektor [a_x, a_y, a_z] beschreibt die Richtung der Rotationsachse (ξ) im Raum. Der Richtungsvektor [r_x, r_y, r_z] legt die Richtung der ebenen η-Achse im XYZ-System fest. Mit Hilfe dieser drei Vektoren kann das zu generierende System beliebig in den Raum transportiert werden. Da das ξ-η-System ein rechtwinkliges Koordinatensystem darstellt, müssen die Richtungsvektoren ebenfalls rechtwinklig aufeinander stehen. Im Zweifelsfalle wird dies vom Programm selbständig korrigiert. Bei der Festlegung der Vektoren beachte man die Skizze auf der rechten Seite des Eigenschaftsblatts!

Im Register *Rotationswinkel* werden die bei der Generierung zu berücksichtigenden Rotationsinkremente angegeben. Hier wird zwischen regelmäßigen und unregelmäßigen Inkrementen unterschieden.

Sollen regelmäßige Inkremente generiert werden, muss die Anzahl der zu generierenden Ebenen angegeben werden (Voreinstellung: n=4 und α=90°). Sollen unregelmäßige Inkremente generiert werden, müssen die einzelnen Winkelinkremente in einer Tabelle angegeben werden. Auch hierbei empfiehlt sich die Beachtung der im Eigenschaftsblatt angegebenen Skizze.

Mit Hilfe zweier logischer Buttons kann festgelegt werden, ob auch die Stäbe (von Knoten zu Knoten) in Radialrichtung generiert werden sollen und (wenn ja) das System in Rotationsrichtung geschlossen ist. Mit dieser Möglichkeit und der Vorgabe unregelmäßiger Inkremente können auch sehr einfach viertel- oder halbkreisförmige Systeme generiert werden.

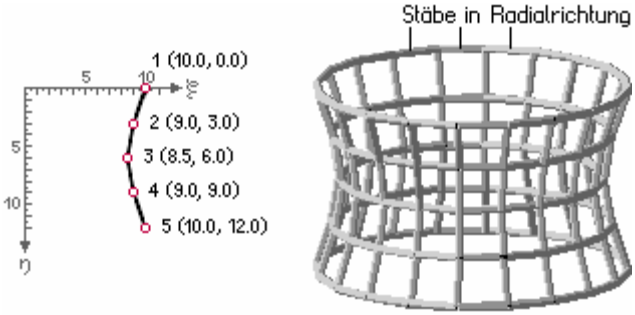
Das nachfolgend angegebene Beispiel dokumentiert die Zusammenhänge.

Im Beispiel wurden 5 Knoten und 4 Stäbe in der ξ-η-Ebene beschrieben. Diese wurden mit 20 regelmäßigen Inkrementen generiert, wobei die Radialstäbe geschlossen mitgeneriert wurden. Die Vektoren lauteten

[x_0, y_0, z_0] = [0.0, 0.0, -12.0]

[a_x, a_y, a_z] = [0.0, 0.0, 1.0]

[r_x, r_y, r_z] = [1.0, 0.0, 0.0]



Mit dem nebenstehend dargestellten Kopierbutton kann der aktuelle Inhalt des Eigenschaftsblatts (für eine spätere Modifikation) gespeichert werden.

Durch Drücken des ***bestätigen***-Buttons wird die Generierung durchgeführt und die neuen Knoten und Stäbe erscheinen (ggf. zusätzlich zu den bereits definierten Objekten) im Darstellungsfenster.

7.7.1.3 Knoten und Stäbe importieren

Mit der vorliegenden Version von *fff*-SPBR ist es möglich, aus einer externen Datei Knotenkoordinaten und Stabverzeichnis einzulesen und die so beschriebenen Objekte in das grafische Eingabemodul zu integrieren. Die Datei muss entweder eine (im ASCII-Format beschriebene) Textdatei oder eine im DXF-Format erzeugte CAD-Austauschdatei sein.

7.7.1.3.1 Import aus DXF-Datei

Wenn Sie im Eigenschaftsblatt zum Datenexport das DXF-Register aktiviert haben, wird nach Anklicken des ***Datei laden***-Buttons der DXF-Filter als selbständiges Programm geladen. Erläuterung zu diesem Filter entnehmen Sie bitte der dortigen Online-Hilfe.

7.7.1.3.2 Import aus Text-Datei

Knotenkoordinaten und Stabverzeichnis können aus einer externen Datei eingelesen und die so beschriebenen Objekte in das grafische Eingabemodul integriert werden. Die Datei muss eine (im ASCII-Format beschriebene) Textdatei sein. Die einzulesenden Informationen müssen wie nachfolgend beschrieben angegeben werden.

Die Knotenkoordinaten folgen dem linksbündig einzugebenden Suchbegriff "KNOTENVERZEICHNIS". Hierunter sind zeilenweise die Informationen <Knotennummer>, <X-Koordinate>, <Y-Koordinate> und <Z-Koordinate> abzulegen.

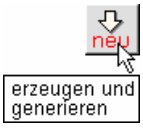
Das Stabverzeichnis folgt dem linksbündig einzugebenden Suchbegriff "STABVERZEICHNIS". Hierunter sind zeilenweise die Informationen <Stabnummer>, <Anfangsknotennummer> und <Endknotennummer> abzulegen. Beispiel

```
KNOTENVERZEICHNIS
101 10.50 25.30 -5.00
102 10.50 30.00 -5.00
103 15.20 30.00 -5.00
104 15.20 25.30 -5.00
STABVERZEICHNIS
1001 101 102
1002 102 103
1003 103 104
1004 104 101
```

Wählen Sie ***übernehmen***, wenn die in der Datei angegebenen Nummern übernommen werden sollen. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Nummern nicht bereits an existierende Objekte vergeben wurden.

Wählen Sie ***automatisch***, wenn die Nummerierung vom Programm automatisch neu vorgenommen werden soll. Ein Nummernkonflikt wie o.a. existiert in diesem Falle nicht.

7.7.2 Objekte erzeugen



Wird der dargestellte Button angeklickt, verzweigt die Interaktion in ein symbolisches Untermenü, das die Erzeugung von Objekten einleitet.

Befindet man sich aktuell in der Systemfolie, werden die Erzeugung von Knoten (s. Abs. 7.7.2.1, S. 63) und die Erzeugung von Stäben (s. Abs. 7.7.2.2, S. 63) ermöglicht, sowie Generierungsfunktionen (s. Abs. 7.7.1, S. 60) angeboten.

Im Ebenenmodus (Abs. 7.11.1, S. 75) können Knoten alternativ zur numerischen Erzeugung auch manuell erzeugt werden. Bei der manuellen Erzeugung wird der Knoten durch die Mausbewegung positioniert. Man beachte hierbei die Aufforderungen in der Statuszeile!

Befindet sich die Eingabe aktuell in einer Lastfallfolie, wird die Erzeugung von Lastbildern ermöglicht. Vgl.

- Eigengewicht (Abs. 7.12.2.1, S. 80),
- Streckenlasten (Abs. 7.12.2.2, S. 80),
- Stabeinzellasten (Abs. 7.12.2.4, S. 81),
- Temperaturlasten (Abs. 7.12.2.5, S. 81),
- Knotenlasten (Abs. 7.12.2.6, S. 81),
- Auflagerzwangsverformungen (Abs. 7.12.2.7, S. 82).

Die Buttons im Menü *neue Lastbilder erzeugen* können nur angeklickt werden, wenn mindestens ein dem Lastbild zugeordnetes Objekt (Knoten oder Stab) ausgewählt ist.

7.7.2.1 Knoten erzeugen

Nach Anklicken der beiden Buttons in der dargestellten Reihenfolge kann ein neuer Knoten numerisch erzeugt werden. Hierzu erscheint ein Eigenschaftsblatt zur Festlegung der Knotenkoordinaten. Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts erscheint der Knoten im Darstellungsfenster.

Befindet sich die Interaktion im Ebenenmodus (Abs. 7.11.1, S. 75), kann ein Knoten auch manuell erzeugt werden. Bei der manuellen Erzeugung wird der Knoten durch die Mausbewegung positioniert. Man beachte hierbei die Aufforderungen in der Statuszeile!

7.7.2.2 Stäbe erzeugen

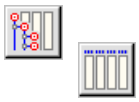
Durch Anklicken der beiden Buttons in der dargestellten Reihenfolge wird die manuelle Erzeugung von Stäben eingeleitet.

Es erscheint ein von der Maus gesteuertes Fadenkreuz auf dem Bildschirm und die Aufforderung in der Statuszeile, zunächst den Stabanfangsknoten und dann den Stabendknoten anzuklicken. Wird dem Folge geleistet, so wird der entsprechende Stab generiert. Wird der Endknoten mit der rechten Maustaste bestätigt, wird der Anfangsknoten des nächsten Stabes angefordert. Man beachte hierzu die Aufforderungen in der Statuszeile!

Im normalen 3D-Modus muss ein existierender Knoten angeklickt werden. Wird im Ebenenbearbeitungsmodus eine freie Stelle angeklickt, wird dort ein neuer Knoten automatisch generiert.

Bei der manuellen Erzeugung mehrerer Stäbe werden die Anfangspunkte mit der LMT und die Endpunkte mit der RMT angeklickt. Hierdurch bleibt der Erzeugemodus so lange bestehen, bis zwei Punkte nacheinander mit der LMT angeklickt werden oder die ESC-Taste gedrückt wird.

7.7.2.3 tabellarische Netzwerkbearbeitung



Neben den umfangreichen Möglichkeiten zur Erzeugung (Abs. 7.7.2, S. 62) und Modellierung (Abs. 7.9.2, S. 66) von Knoten und Stäben können diese auch tabellarisch modifiziert und ergänzt werden. Hierzu müssen die angegebenen Buttons angeklickt werden. Es erscheint ein Eigenschaftsblatt, in dem auf der linken Seite eine Knotentabelle mit Nummern und Koordinaten und auf der rechten Seite eine Stabtabelle mit Knotenverknüpfungsangaben angeboten werden (Abs. 7.5, S. 51). Die hier editierbaren Inhalte können beliebig geändert, gelöscht und/oder erweitert werden. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass sämtliche (Bezug nehmenden) Knotennummern in der Stabtabelle auch tatsächlich in der Knotentabelle existieren müssen. Dies wird bei Bestätigen des Eigenschaftsblatts abgeprüft.

Werden Zeilen in den Tabellen kopiert, erhalten die Kopien sämtliche lastunabhängigen Eigenschaften von den Originalen. D.h., durch den Kopiervorgang werden nicht nur die in der Tabelle angegebenen Beziehungen sondern auch Lager- und Querschnittseigenschaften etc. übertragen.

7.8 Systemobjekte modellieren - Modellieren am Einzelstab

Erfährt ein Objekt (Knoten, Stab, Lastbild) im Darstellungsfenster einen Doppelklick, wird ein individuell auf dieses Objekt zugeschnittenes Eigenschaftsblatt auf dem Sichtgerät erscheinen. Diesem können zum einen Informationen zum Objekt entnommen werden, zum anderen können hier aber auch Änderungsaktionen durchgeführt werden.

Handelt es sich bei dem Objekt um einen Stab, werden im mittleren Bereich des Eigenschaftsblatts die Knotenbeziehung und die Stablänge ausgewiesen.

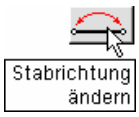
Im oberen Bereich des Eigenschaftsblatts befinden sich Buttons, mit deren Hilfe man zu den Eigenschaftsblättern zur Festlegung der Stabgeometrie (Abs. 7.10.3.2, S. 70), der elastischen Bettung (Abs. 7.10.3.1, S. 70), von Material und Querschnitten (Abs. 7.10.3.5, S. 72) sowie zu den Bemessungs- und Nachweiseigenschaften (Abs. 7.10.3.6, S. 74) gelangt (von links nach rechts).

Im unteren Bereich befinden sich Buttons, die Modellierungsaktionen bzgl. des aktuell (per Doppelklick) ausgewählten Stabes anbieten. Im Einzelnen sind dies Stabrichtung ändern, Abs. 7.8.1, S. 64, Stab von Knoten lösen, Abs. 7.8.2, S. 64, Stablänge ändern, Abs. 7.8.3, S. 65, Stab verschieben, Abs. 7.8.4, S. 65, und Stab unterteilen, Abs. 7.8.5, S. 65.

Man beachte, dass sämtliche Aktionen, die in dem hier besprochenen Eigenschaftsblatt durchgeführt werden können, allein Auswirkungen auf den Stab haben, der den Doppelklick erfuhr! Dies gilt unabhängig vom Status sonstiger ausgewählter Stäbe (Abs. 7.14.7, S. 102).

Durch Anklicken des ***Mülleimersymbols*** wird der Stab (mit Nachfrage) gelöscht.

7.8.1 Anfangs- und Endknoten vertauschen



Anfangs- und Endknoten von einzelnen (per Doppelklick ausgewählten) Stäben können vertauscht werden. Hierdurch wird die Stabrichtung im 3D-Raum umgedreht.

Da diese Aktion Auswirkungen auf weitere Eigenschaften des Stabes hat, kann hier festgelegt werden, ob die Vertauschung

- inkl. der Gelenkangaben (Abs. 7.10.3.4, S. 71),
- inkl. des lmn-Systems (Abs. 7.10.3.3, S. 71),
- und/oder inkl. der Stablasten

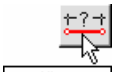
erfolgen soll. Die Aktion ist nur für Stäbe verfügbar, die keinem Stabzug zugeordnet sind (vgl. Gruppierungen Abs. 7.11.5, S. 76).

7.8.2 Stab von Knoten lösen

Ein (per Doppelklick ausgewählter) Stab kann von seinem Anfangs- bzw. Endknoten gelöst werden. Wird das Eigenschaftsblatt bestätigt, erscheint ein Fadenkreuz im Darstellungsfenster mit der Aufforderung, einen (anderen) Knoten anzuklicken, der die Rolle des gelösten Knotens übernimmt.

Die Aktion ist nur für Stäbe verfügbar, die keinem Stabzug zugeordnet sind (vgl. Gruppierungen Abs. 7.11.5, S. 76).

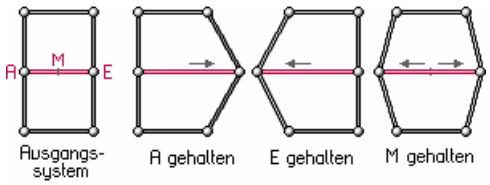
7.8.3 Stablänge verändern



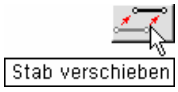
Die Länge eines (per Doppelklick ausgewählten) Stabes kann verändert werden. In dem hierzu angebotenen Eigenschaftsblatt muss neben der neuen Stablänge ein Festhaltepunkt (Anfangsknoten, Endknoten oder Stabmitte) angegeben werden.

Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts erhält der Stab seine neue Länge unter Beibehaltung seiner Stabrichtung.

Die Aktion entspricht letztlich einem Verschieben von Anfangs- und/oder Endknoten in Stabrichtung. Im u.a. Beispiel kann die Auswirkung der Wahl des Festhaltepunkts studiert werden.

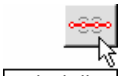


7.8.4 Stab verschieben



Ein (per Doppelklick ausgewählter) Stab kann um ein anzugebendes Koordinateninkrement verschoben werden. In dem hierzu angebotenen Eigenschaftsblatt können die Inkremente wahlweise im globalen XYZ- oder im lokalen lmn-System angegeben werden.

7.8.5 Generierung von Zwischenknoten



Ein Stab, der keinem Stabzug (Abs. 7.11.5, S. 76) zugeordnet ist, kann unterteilt werden. Zum Eigenschaftsblatt s. Abs. 4.5.2, S. 18.

Wird eine regelmäßige Einteilung gewählt, werden n Zwischenknoten in äquidistanten Abständen erzeugt, wobei der Wert für $n > 0$ angegeben werden muss.

Bei einer unregelmäßigen Einteilung sind die Einzelabschnitte in der angebotenen Tabelle anzugeben. Die Anzahl der eingetragenen Werte entspricht der Anzahl der zu generierenden Zwischenknoten. Die Anzahl der sich insgesamt ergebenden Einzelabschnitte ist also jeweils um den Wert 1 größer. Dementsprechend muss die Summe der angegebenen Einzelabschnitte kleiner sein, als die ursprüngliche Stablänge. Jeder Einzelabschnitt für sich muss > 0 sein.

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

7.9 Objektmodellierung

7.9.1 ausgewählte Objekte löschen

Die Löschfunktion wirkt sich allein auf die ausgewählten Objekte (Abs. 7.14.7, S. 102) aus.

Durch Löschen von Stäben und/oder Knoten werden die diesen Objekten zugeordneten Lastbilder (Abs. 7.12.2, S. 79) automatisch mit gelöscht.

Ein Knoten wird nur dann tatsächlich gelöscht, wenn kein Stab mit ihm verknüpft ist.

7.9.2 ausgewählte Objekte modellieren

Nach Anklicken des dargestellten Buttons erscheint ein symbolisches Menü auf dem Sichtgerät, das die integrierten Modellierungsfunktionen anbietet. Im Einzelnen sind dies

Objekte verschieben (Abs. 7.9.2.1, S. 66)

Objekte drehen (Abs. 7.9.2.5, S. 68)

Objekte skalieren (Abs. 7.9.2.3, S. 67)

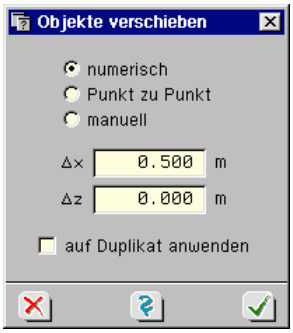
Objekte löschen (Abs. 7.9.1, S. 66)

Die hier angebotenen Aktionen wirken sich nur auf die ausgewählten Objekte (Abs. 7.14.7, S. 102) (Knoten bzw. Stäbe) aus.

Beachte auch Modellierungsaktionen am Einzelstab (Abs. 7.8, S. 64)!

7.9.2.1 ausgewählte Objekte verschieben (2D)

Die ausgewählten Knoten und Stäbe (Abs. 7.14.7, S. 102) können in der Ebene (Ebenenmodus Abs. 7.11.1, S. 75) verschoben werden. Dies kann wahlweise numerisch oder manuell durchgeführt werden.



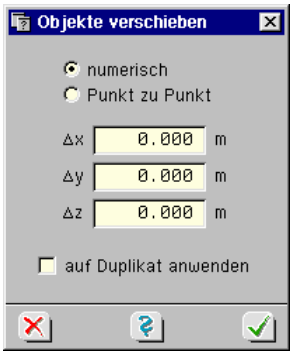
Bei der numerischen Translation müssen die Verschiebungsinkremente der aktuellen Ebene angegeben werden. Falls das Konstruktionskoordinatensystem (Abs. 0, S. 76) aktiviert ist, gelten dessen (u.U. verdrehte) Koordinatenrichtungen. Bei der manuellen Translation reagiert die Verschiebeaktion auf die Mausbewegung. Die Genauigkeit des Ergebnisses ist hierbei abhängig von der Bildschirmauflösung.

Die Operation wird auf alle ausgewählten Knoten (und alle Richtungen) angewandt. Hierbei gilt auch ein nicht explizit ausgewählter Knoten als ausgewählt, wenn ein mit ihm verknüpfter Stab ausgewählt ist.

Die Translation kann wahlweise an einem Duplikat der aktuell ausgewählten Objekte durchgeführt werden. Dies hat zur Folge, dass die verschobenen Objekte dem unverändert bleibenden aktuellen Zustand hinzugefügt werden.

7.9.2.2 ausgewählte Objekte verschieben (3D)

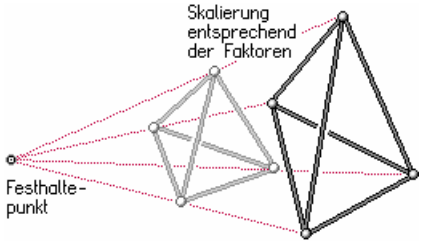
Die ausgewählten Knoten und Stäbe (Abs. 7.14.7, S. 102) können im 3D-Raum verschoben werden. Hierzu müssen die Verschiebungsinkremente Δx, Δy, Δz angegeben werden. Die Operation wird auf alle ausgewählten Knoten (und alle Richtungen) angewandt. Hierbei gilt auch ein nicht explizit ausgewählter Knoten als ausgewählt, wenn ein mit ihm verknüpfter Stab ausgewählt ist.

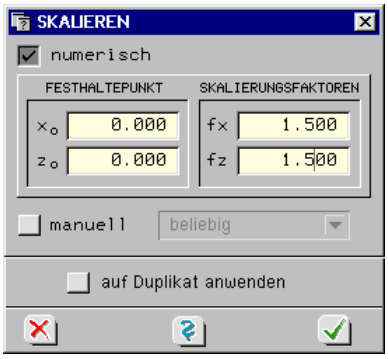


Die Translation kann wahlweise an einem Duplikat der aktuell ausgewählten Objekte durchgeführt werden. Dies hat zur Folge, dass die verschobenen Objekte dem unverändert bleibenden aktuellen Zustand hinzugefügt werden.

7.9.2.3 ausgewählte Objekte skalieren (2D)

Die ausgewählten Knoten und Stäbe (Abs. 7.14.7, S. 102) können in der Ebene skaliert (vergrößert oder verkleinert) werden. Dies geschieht numerisch, indem ein ebener Festhaltepunkt und zwei Skalierungsfaktoren angegeben werden.





Ist $\Delta\xi$(alt) der existierende Abstand in ξ-Richtung eines ausgewählten Knotens vom Festhaltepunkt, so ergibt sich der neue ξ-Abstand des Knotens zu

$$\Delta\xi_{(neu)} = f_\xi \cdot \Delta\xi_{(alt)}$$

Ist das ***Konstruktionskoordinatensystem*** (Abs. 0, S. 76) aktiviert, beziehen sich die Angaben auf dessen Ursprung und (u.U. verdrehte) Koordinatenrichtungen.

Die Skalierungsvorschrift wird für alle ausgewählten Knoten (und alle Richtungen) ausgewertet. Hierbei gilt auch ein nicht explizit ausgewählter Knoten als ausgewählt, wenn ein mit ihm verknüpfter Stab ausgewählt ist.

Bei der manuellen Skalierung wird die Aktion von der Mausbewegung gesteuert. Hierbei können bestimmte Skalierungsrichtungen unterdrückt werden (s. Auswahlliste).

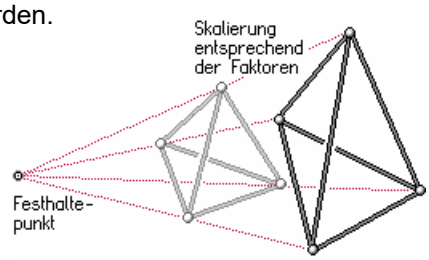
Die Skalierung kann wahlweise an einem Duplikat der aktuell ausgewählten Objekte durchgeführt werden. Dies hat zur Folge, dass die skalierten Objekte dem unverändert bleibenden aktuellen Zustand hinzugefügt werden.

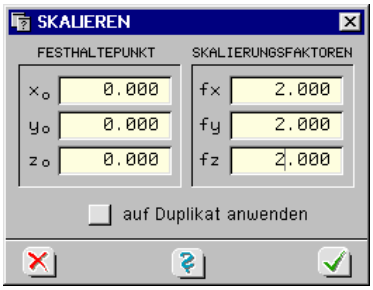
Ist bei der numerischen Skalierung ein Faktor > 1, wird die Objektgruppe in der betrachteten Richtung vergrößert. Ist ein Faktor > 0 und < 1, wird die Objektgruppe in der betrachteten Richtung verkleinert. Faktoren < 0 bewirken eine Spiegelung.

Die Funktion hat keine Auswirkungen auf die Ordinaten ausgewählter Lastbilder.

7.9.2.4 ausgewählte Objekte skalieren (3D)

Die ausgewählten Knoten und Stäbe (Abs. 7.14.7, S. 102) können skaliert (vergrößert oder verkleinert) werden. Dies geschieht, indem ein Festhaltepunkt und drei Skalierungsfaktoren angegeben werden.





Ist Δx(alt) der existierende Abstand in x-Richtung eines ausgewählten Knotens vom Festhaltepunkt, so ergibt sich der neue x-Abstand des Knotens zu

$$\Delta x_{(neu)} = f_x \cdot \Delta x_{(alt)}$$

Dies wird für alle ausgewählten Knoten (und alle Richtungen) ausgewertet. Hierbei gilt auch ein nicht explizit ausgewählter Knoten als ausgewählt, wenn ein mit ihm verknüpfter Stab ausgewählt ist.

Die Skalierung kann wahlweise an einem Duplikat der aktuell ausgewählten Objekte durchgeführt werden. Dies hat zur Folge, dass die skalierten Objekte dem unverändert bleibenden aktuellen Zustand hinzugefügt werden.

Ist ein Faktor > 1, wird die Objektgruppe in der betrachteten Richtung vergrößert. Ist ein Faktor > 0 und < 1, wird die Objektgruppe in der betrachteten Richtung verkleinert. Faktoren < 0 bewirken eine Spiegelung.

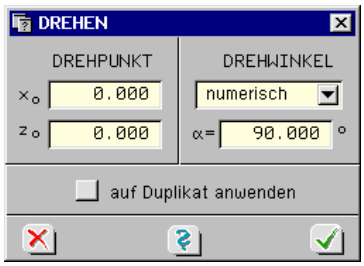
Die Funktion hat keine Auswirkungen auf die Ordinaten ausgewählter Lastbilder.

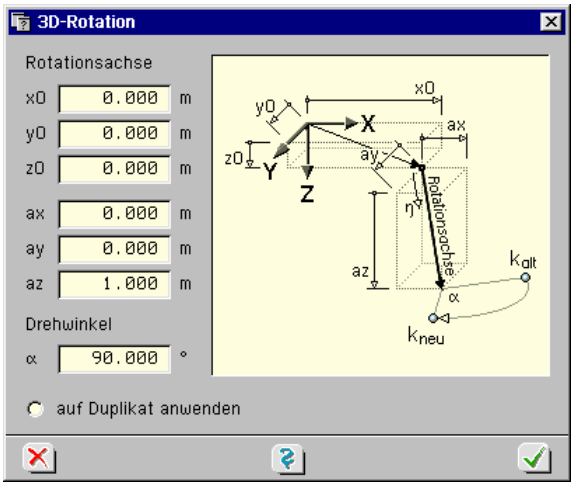
7.9.2.5 ausgewählte Objekte verdrehen (2D)

Die ausgewählten Knoten und Stäbe (Abs. 7.14.7, S. 102) können in der Ebene um einen vorgegebenen Punkt gedreht werden. Ist das Konstruktionskoordinatensystem (Abs. 0, S. 76) aktiviert, gilt dessen Koordinatenursprung bei der Angabe der Drehpunktskoordinaten. Bei der numerischen Drehung wird der Drehwinkel (im Uhrzeigersinn positiv) vorgegeben. Bei der manuellen Drehung gehorcht die Drehoperation der Mausbewegung. Hierbei kann der Drehwinkel nur ungefähr eingestellt werden.

Die Rotation kann wahlweise an einem Duplikat der aktuell ausgewählten Objekte durchgeführt werden. Dies hat zur Folge, dass die gedrehten Objekte dem unverändert bleibenden aktuellen Zustand hinzugefügt werden.

Die manuelle Objektrotation wird nur im Ebenenmodus (Abs. 7.11.1, S. 75) angeboten.





7.9.2.6 ausgewählte Objekte verdrehen (3D)

Befindet sich die Interaktion im normalen 3D-Modus und sind Knoten und/oder Stäbe ausgewählt (Abs. 7.14.7, S. 102), wird nach Anklicken der beiden dargestellten Symbole in der angegebenen Reihenfolge das Eigenschaftsblatt zur Definition einer Drehung (3D-Rotation) eingeblendet.

Die Drehung wird um eine Rotationsachse durchgeführt, die durch die hinführenden Koordinaten (x_0, y_0, z_0) sowie den Richtungsvektor (a_x, a_y, a_z) zu beschreiben ist. Vergleiche hierzu die angegebene Skizze im Eigenschaftsblatt. Der Drehwinkel ist als rechtshändig positive Drehung um die Rotationsachse anzugeben.

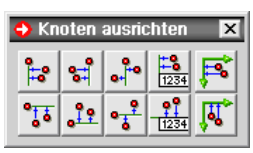
Es kann entschieden werden, ob die aktuell ausgewählten Objekte im Original oder ein zuvor erzeugtes Duplikat gedreht werden soll.

Sollte die Operation nicht zum gewünschten Ergebnis geführt haben, kann sie über den Undomechanismus zurückgenommen werden (Abs. 7.14.3, S. 100).

7.9.3 Knoten ausrichten

Befindet sich die Bearbeitung im Ebenenbearbeitungszustand (Abs. 7.11.1, S. 75) und sind aktuell Knoten ausgewählt, können diese mit Hilfe der Ausrichtungsfunktionen ausgerichtet werden.

Klicken Sie hierzu in der angegebenen Reihenfolge auf die nebenstehend dargestellten Buttons. Es erscheint das dargestellte Steuerfenster, von dem aus alle ausgewählten Knoten



obere Reihe (horizontale Ausrichtung): linksbündig, rechtsbündig, gemittelt, numerisch oder an der y-Achse des KKS

untere Reihe (vertikale Ausrichtung): obenbündig, untenbündig, gemittelt, numerisch oder an der x-Achse des KKS

ausgerichtet werden können.

7.10 Eigenschaften

7.10.1 Referenzobjekte

Häufig kommt es vor, dass mehrere Objekte gleichen Typs Eigenschaften zugewiesen bekommen sollen. Hierzu werden die Objekte ausgewählt und das Eigenschaftsblatt aktiviert, das der gewünschten Eigenschaft zugeordnet ist. Hierbei werden zunächst die Eigenschaften des Referenzobjekts bearbeitet. Das Referenzobjekt ist hierbei das Objekt, das als erstes ausgewählt wurde. Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts erhalten alle ausgewählten Objekte die gewählten Eigenschaften. Diese Tatsache lässt sich zur Vereinheitlichung von Objekteigenschaften sowie zur gezielten Übertragung von Eigenschaften eines bestimmten Objekts auf andere Objekte verwenden.

7.10.2 Knoteneigenschaften

7.10.2.1 Knotenlager definieren

In ##-SPBR können ausgewählte Knoten in allen 6 Freiheitsgraden wahlweise starr, federnd oder nicht gelagert werden. Im Falle einer federnden Lagerung müssen Federkonstanten (Kraftfeder in kN/m, Momentenfedern in kNm) angegeben werden.

Knotenlager werden grundsätzlich im Knotenkoordinatensystem rst (Abs. 7.10.2.2, S. 69) beschrieben. Im Normalzustand gilt rst = XYZ .

Die Lagersituationen der definierten Knoten können im Darstellungsfenster dargestellt (Abs. 7.2.4, S. 43) werden. Hierbei wird jedem gelagerten Knoten ein Lagersymbol beigefügt.

Der häufig vorkommende Fall, bei dem alle Kraftgrößen starr gelagert und alle Momentengrößen frei verdrehbar sind, wird durch ein einfaches Dreieck (mit Spitze nach oben) symbolisiert.

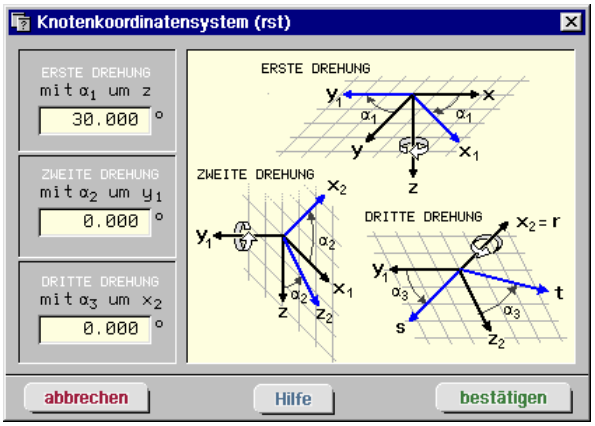
In allen anderen Fällen enthält das Dreieck eine kreisförmige Aussparung und ein zusätzliches Rechteck, in dem sechs Blöcke dargestellt sind.

Diese korrespondieren mit den Knotenfreiheitsgraden in der Reihenfolge (s. Skizze), wobei die Farben der Blöcke die Lagerungsart angeben.

schwarz	der Knoten ist in der entsprechenden Richtung starr gelagert
rot	der Knoten ist in der entsprechenden Richtung elastisch gelagert
hellgrau	der Knoten ist in der entsprechenden Richtung nicht gelagert

7.10.2.2 Knotenkoordinatensystem verdrehen

Jedem Knoten ist ein individuell einstellbares rst-Koordinatensystem zugeordnet. Es dient i.W. der Definition schiefer Knotenlager.



Voreinstellung

Die Voreinstellung für das Knotenkoordinatensystem ist rst = XYZ. Diese Einstellung kann durch Angabe dreier Winkel geändert werden.

Wie der Skizze des Eigenschaftsblatts zur Definition des rst-Systems zu entnehmen ist, beschreiben die Winkel Drehungen um definierte Achsen. Ausgehend vom Zustand rst = XYZ bewirkt α_1 eine Verdrehung der r- und s-Achsen um die t- = Z-Achse (im positiven Drehsinn, Rechtsschraubenregel).

Die zweite Drehung (mit α_2) setzt auf diesen Zustand auf und verdreht die r- und t-Achsen um die (u. U. mit α_1 bereits verdrehte) s-Achse.

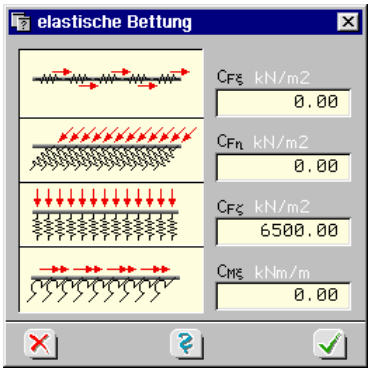
Die letzte Drehung (mit α_3) verdreht die s- und t-Achsen um die (mit der ersten und zweiten Drehung modifizierte) r-Achse.

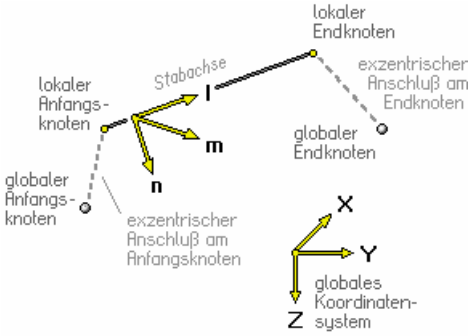
7.10.3 Stabeigenschaften

7.10.3.1 elastisch gebettete Stäbe

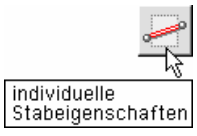
In ///-SPBR können ausgewählte Stäbe elastisch gebettet werden. Der Berechnung liegt hierbei die Theorie des Bettungszahlverfahrens zugrunde. Gebettet werden können sämtliche Kraftgrößen sowie das Torsionsmoment, wobei die Bettung über den gesamten Stab als konstant angenommen wird. Die anzugebenden Bettungszahlen sind dem Bodengutachten zu entnehmen.

Die Bettungszahlen sind vorab mit der Aufstandsbreite des Stabes zu multiplizieren.





7.10.3.2 geometrische Stabeigenschaften



Jeder Stab wird grundsätzlich wie folgt beschrieben.

Vom globalen Anfangsknoten führt zunächst ein zum Stab gehörender exzentrischer Anschluss zum lokalen Stabanfangsknoten. Diese Exzentrizität verhält sich theoretisch wie ein unendlich steifer Stab.

Vom lokalen Anfangsknoten ausgehend erstreckt sich der eigentliche elastische Stab auf einer Geraden bis zum lokalen Endknoten. Dieser ist wiederum mit einer möglichen Exzentrizität mit dem globalen Endknoten verbunden (s. Skizze).

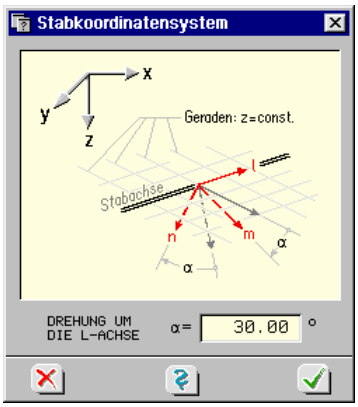
Die Gelenksituationen (Abs. 7.10.3.4, S. 71) eines Stabes sind in seinen lokalen Anfangs- und Endknoten definiert. Zur Staborientierung dient das lokale lmn-Stabkoordinatensystem, das mit Hilfe eines Drehwinkels (Abs. 7.10.3.3, S. 71) festgelegt werden kann.

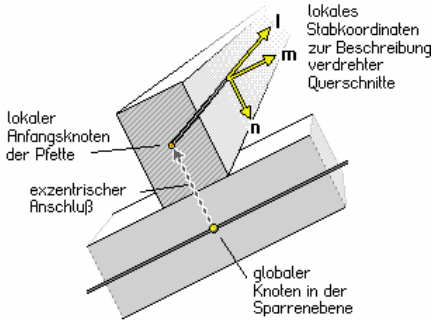
7.10.3.3 lokales lmn-Stabkoordinatensystem

Das lmn-Stabkoordinatensystem dient zur Orientierung des Stabes im Raum. Es kann durch Angabe eines Winkels α vom Benutzer modifiziert werden. Für das lmn-System gelten folgende Definitionen.

- der Vektor l zeigt immer vom lokalen Stabanfangsknoten zum lokalen Stabendknoten
- für $\alpha = 0$ liegt der Vektor m in einer zur x-y-Ebene parallelen Ebene. Bei Stützen (senkrechte Stäbe mit $\Delta x = 0$ und $\Delta y = 0$) ist für $\alpha = 0$ weiterhin $m = y$.
- der Vektor n steht senkrecht auf l und m. Die Vektoren l, m und n bilden in dieser Reihenfolge ein Rechtssystem.
- ein positiver Winkel α verdreht m und n im positiven Drehsinn um l (Rechtsschraube)

Bzgl. des lmn-Systems werden die Querschnitte definiert, lokale Stablasten angegeben und die Schnittgrößen ausgegeben.



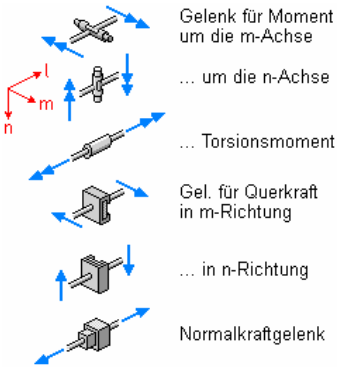


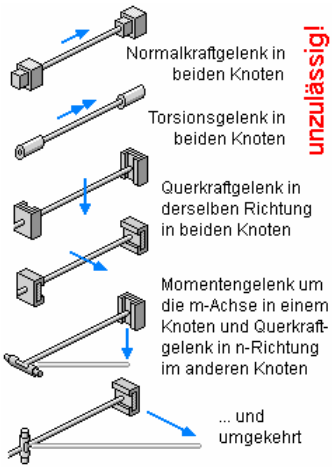
In der dargestellten Skizze ist der Winkel α der Pfette gleich der negativen Neigung des Sparrens definiert worden (Rechtsschraube).

7.10.3.4 Gelenke

Gelenke werden in den lokalen Stabendknoten im lokalen lmn-Koordinatensystem (Abs. 7.10.3.2, S. 70) definiert (Stabendgelenke).

Hierbei wird zwischen folgenden Gelenktypen unterschieden.





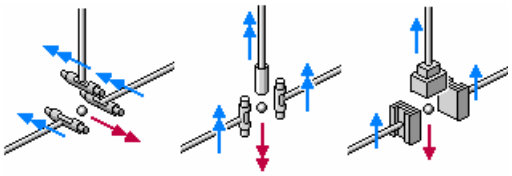
Grundsätzlich kann eine beliebige Kombination aus den hier angebotenen Gelenktypen am lokalen Stabanfang wie auch am lokalen Stabende des betrachteten Stabes definiert werden. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass der Stab kinematisch unverschieblich und unverdrehbar mit dem Restsystem verbunden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

7.10.3.4.1 Gelenkkombination am Stab

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

7.10.3.4.2 Gelenkkombination am Knoten

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

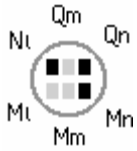


Ein Verstoß gegen diese Vorgabe kann vom grafischen Eingabemodul nicht automatisch überprüft werden. Gleiches gilt auch für eine gerade Stabgruppe, deren erster und letzter Stab Torsionsgelenke aufweisen, so dass die gesamte Stabgruppe um sich selbst rotieren kann.

Das Rechenprogramm meldet nicht ausreichend gefesselte Verformbarkeiten am Knoten unter Angabe des Freiwertes (FW). Die Freiwerte 1 bis 3 sind die Verschiebungen in X, Y und Z-Richtung, die Freiwerte 4 bis 6 sind die Verdrehungen um die X-, Y- und Z-Achsen.

Letztlich sind für eine hinreichende kinematische Verträglichkeit im Sinne einer statischen Berechnung neben den Gelenkdefinitionen auch die Lagerangaben verantwortlich.

Die Gelenksituationen der definierten Stäbe können im Darstellungsfenster optional dargestellt werden (Abs. 7.2.4, S. 43). Hierbei wird jeder lokale Stabendknoten mit Gelenkdefinitionen durch das dargestellte kreisförmige Symbol markiert.

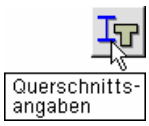


Der Kreis enthält sechs rechteckförmige Blöcke, die entweder schwarz oder hellgrau angelegt sind.

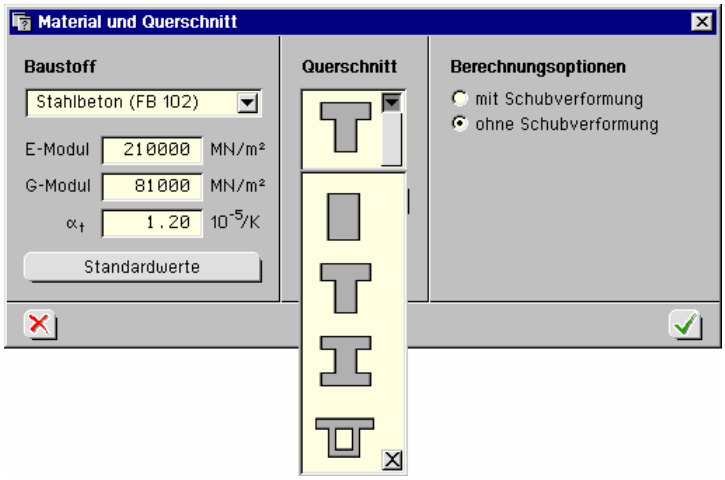
Die schwarze Farbe weist ein Gelenk aus, während die hellgraue Farbe eine ungehinderte Kraftübertragung anzeigt. Die obere Reihe zeigt dies für die Kraftgrößen und die untere Reihe für die Momentengrößen jeweils in der Reihenfolge l, m und n an.

7.10.3.5 Material- und Querschnittsangaben

Die Materialangaben werden an zwei Stellen im Programm eingestellt. Hierbei ist zu beachten, dass ##-SPBR zwischen den Materialparametern zur Schnittgrößenermittlung und zur Nachweisführung unterscheidet! So wird der E-Modul zur Schnittgrößenberechnung über die Querschnittsangaben eingestellt.

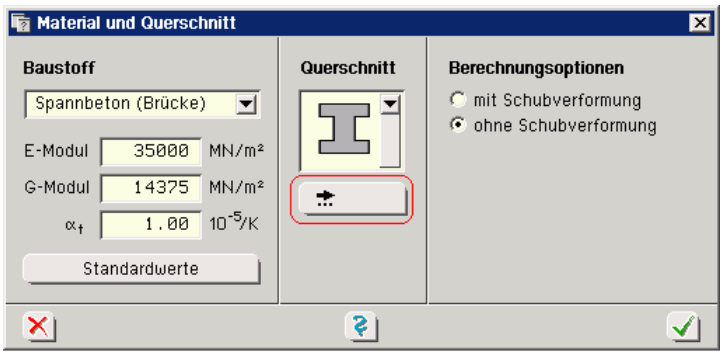


Um ausgewählten Stäben (Abs. 7.14.7, S. 102) Material- und Querschnittsangaben zuzuordnen, muss das nebenstehende Symbol angeklickt werden.

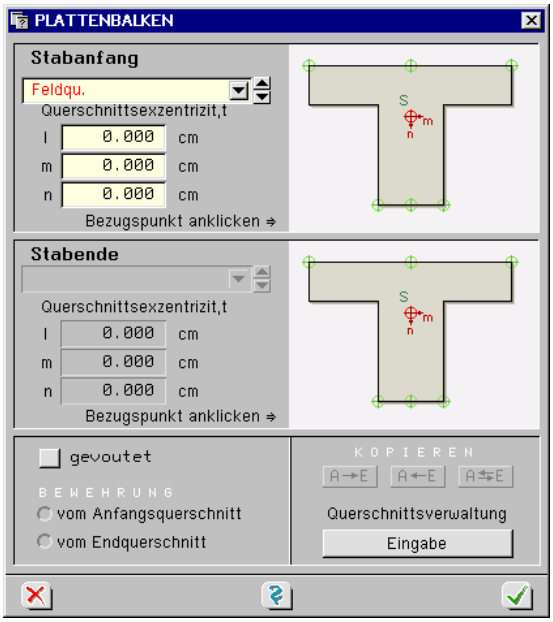


Die Zuordnung der in der Querschnittsbibliothek definierten Querschnitte zu den richtigen Stäben erfolgt in folgenden Schritten

Markieren der betroffenen Stäbe, Klicken des Buttons ***Querschnittsangaben***, Auswahl des Baustoffs und des Querschnittstyps und Klicken des ***weiter***-Buttons.

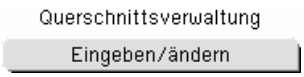


Abschließend erfolgt die Auswahl des gewünschten Querschnitts über seinen Namen.



7.10.3.5.1 Voutung

Bei Aktivierung des ***gevoutet***-Buttons können Stabanfang und -ende unterschiedliche Querschnitte zugeordnet werden.

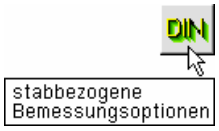


Zusätzlich kann die Querschnittsverwaltung (Abs. 7.6, S. 51) aus diesem Eigenschaftsblatt heraus aufgerufen werden.

7.10.3.6 stabbezogene Nachweisoptionen DIN EN 1992 und DIN Fachbericht

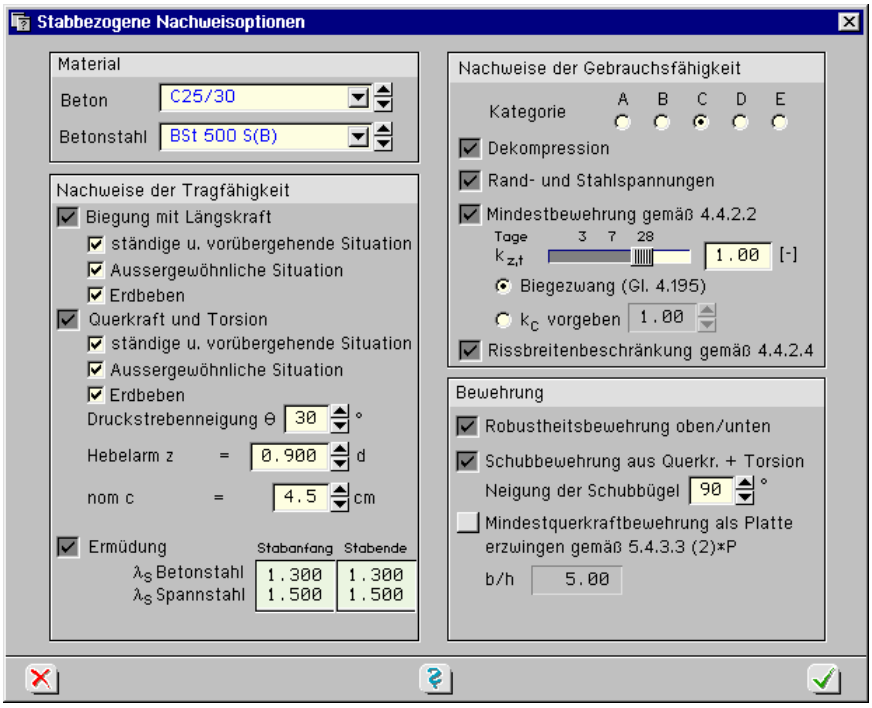
Die Einrichtung neuer Nachweise erfolgt über den ***Nachweis***-Button.

Standardmäßig wird der Nachweis für alle Stäbe geführt. Es können jedoch stabweise einzelne Nachweise deaktiviert bzw. Nachweisoptionen verändert werden.



Dies geschieht durch Markieren der betroffenen Stäbe und anschließendes Klicken des ***DIN***-Buttons.

Im Eingabefenster können die Materialgüten und Nachweisparameter eingestellt werden.

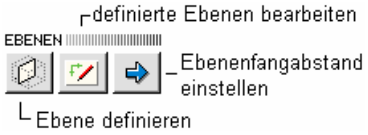


An dieser Stelle wird nur festgelegt, welche Bemessungs- und Nachweisparameter berücksichtigt werden sollen, wenn der Nachweis geführt wird. Damit der Nachweis tatsächlich geführt wird, ist er unter der Nachweisverwaltung, s. Abs. 7.13, S. 86, einzurichten.

7.11 Ebenen und Gruppen

7.11.1 Arbeiten mit Ebenen

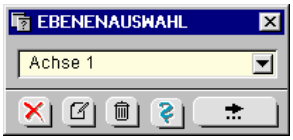
Das grafische Eingabemodul von 4H-SPBR ermöglicht die Definition einer beliebigen Anzahl von Ebenen. Eine Ebene kann im Ebenenbearbeitungsmodus bearbeitet werden. Hierbei werden nur die Objekte (Knoten und Stäbe) dargestellt, die sich in dieser Ebene befinden. Im Ebenenbearbeitungsmodus existieren erweiterte Konstruktionsmöglichkeiten wie das manuelle Erzeugen (Abs. 7.7.2.1, S. 63) und Modellieren (Abs. 7.9.2, S. 66) sowie das Arbeiten mit dem Konstruktionskoordinatensystem (KKS, Abs. 0, S. 76). Auf eine definierte Ebene kann jederzeit (auch im Ergebnisvisualisierungsprozess) zurückgegriffen werden.



Um eine Ebene zu definieren, müssen im normalen 3D-Bearbeitungsmodus drei Knoten, die nicht auf einer Geraden liegen, ausgewählt sein (Abs. 7.14.7, S. 102). Dann muss der Button zur Definition einer Ebene (s.r.) angeklickt werden.

Ist die so festgelegte Ebene noch nicht definiert, erscheint ein Eigenschaftsblatt, in dem eine Bezeichnung (Abs. 7.11.3, S. 75) für die Ebene angegeben werden kann. Nach Bestätigen erfolgt die Transformation. In der hierzu gehörenden Animation kann die Drehung des Systems in die gewählte Ebene verfolgt werden.

Das grafische Eingabemodul erkennt, ob es sich bei der Ebene um eine Parallele zur XY-, YZ- oder XZ-Ebene oder um eine beliebige $\xi\eta$-Ebene handelt. Entsprechende Informationen können der Kopfzeile über dem Darstellungsfenster im Ebenenmodus entnommen werden. Bei der Entscheidung, ob ein Knoten bzw. Stab in der gewählten Ebene liegt, operiert das grafische Eingabemodul mit einem einstellbaren Fangabstand (Abs. 7.11.2, S. 75).



Im Eigenschaftsblatt zur Bearbeitung der Ebenen werden die definierten Ebenen in einer Auswahlliste angeboten. Die aktuell ausgewählte Ebene kann namentlich geändert (***Schreibstiftsymbol***), gelöscht (***Mülleimersymbol***) oder bearbeitet (***symbolischer Bearbeitungsbutton***) werden.

Um aus dem Ebenenbearbeitungsmodus wieder zurück in den normalen 3D-Modus zu gelangen, muss der ***zurück***-Button (der anstelle des Ebenenauswahlbuttons erscheint) angeklickt werden.

7.11.2 Ebenenfangabstand

Bei der Transformation des Systems in die Ebene (Abs. 7.11.1, S. 75) benutzt das grafische Eingabemodul einen einstellbaren Fangabstand, mit dem der Benutzer festlegen kann, wie groß der Abstand eines Knotens von der Ebene maximal sein darf, damit der Knoten noch als zur Ebene gehörend erkannt wird.

Stäbe werden als zur Ebene gehörend angenommen, wenn ihre globalen Anfangs- und Endknoten in der Ebene liegen. Dies gilt ungeachtet evtl. definierter Exzentrizitäten.

Für im Ebenenbearbeitungsmodus erzeugte neue Knoten wird deren Abstand von der Ebene mit 0 festgelegt. Alle bereits existierenden Knoten behalten ihren Abstand von der Ebene.

7.11.3 Ebenenbezeichnung

Bei der Definition einer Ebene (Abs. 7.11.1, S. 75) sollte eine Bezeichnung vergeben werden, die der Wiedererkennung der Ebene zu einem späteren Zeitpunkt dient. Typische Bezeichnungen sind "Binderebene 1", "Sparrenlage (Süd)" oder "Zwischendecke bei z = 4.0".

Ebenendarstellungen werden optional auch in der System-Druckliste (Abs. 7.14.4, S. 101) (mit Angabe der Bezeichnung) dargestellt und auch das Ergebnisvisualisierungsmodul greift namentlich auf die Ebenen zu.

7.11.4 Konstruktionskoordinatensystem der Ebene

Im Ebenenbearbeitungsmodus (Abs. 7.11.1, S. 75) kann das Konstruktionskoordinatensystem (KKS) aktiviert werden.

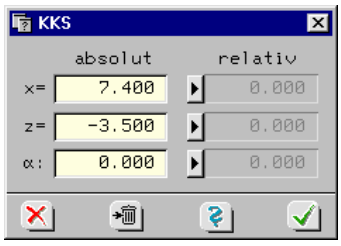
Hierzu wird der ***KKS***-Button angeklickt, der sich unter der Überschrift *Ebenen* befindet.

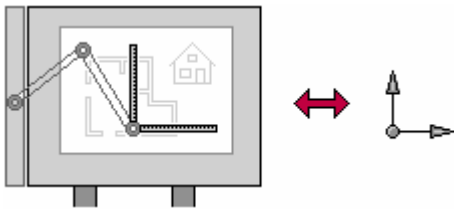
Das aktivierte KKS kann beliebig im Darstellungsfenster positioniert und jederzeit verschoben werden. Hierzu wird die Maus im Nullpunkt des KKS positioniert und mit gedrückt gehaltener linker Maustaste verschoben. Wird das KKS hierbei direkt über einem Knoten abgelegt, nimmt das KKS die genaue Position des Knotens ein und es erfolgt eine entsprechende Meldung in der Statuszeile.

Das KKS kann auch verdreht werden. Hierzu wird die Maus über einen der Richtungspfeile des KKS's positioniert und mit gedrückt gehaltener linker Maustaste verschoben. Wird die Maustaste losgelassen, während die Maus auf einen Knoten zeigt, so verdreht sich die entsprechende Achse präzise auf diesen Knoten. Auch dies wird mit einer entsprechenden Meldung in der Statuszeile versehen.

Bei aktiviertem KKS beziehen sich sämtliche absoluten Koordinatenangaben in der Ebene sowie sämtliche Koordinatenrichtungsangaben auf dieses Koordinatensystem. Zur Erinnerung an diesen Umstand sind die betreffenden Eingabefelder in den Eigenschaftsblättern grün dargestellt.

Wird der Doppelklick auf den Koordinatenursprung des KKS angewandt, so erscheint das Eigenschaftsblatt des Konstruktionskoordinatensystems auf dem Sichtgerät, in dem die Lage und der Drehwinkel numerisch eingestellt werden können. Hier können auch Inkremente festgelegt werden, die die Koordinatensystemangaben nach jeder Bestätigung des Eigenschaftsblatts automatisch um einen konstanten Wert verändern.





Da das KKS beliebig positioniert und verdreht werden kann, können Knoten in beliebiger Form untereinander vermessen und in ihrer ebenen Lage konstruiert werden. Das KKS kann deshalb mit einem herkömmlichen Zeichengerät verglichen werden, dessen Arme ebenfalls dem zu zeichnenden Detail angepasst werden können.

Um das KKS zu deaktivieren, muss das ***Mülleimersymbol*** im KKS-Eigenschaftsblatt oder der ***KKS-Aktivierungsbutton*** angeklickt werden.

7.11.5 Definition von Gruppen

Stäbe können zu Stabgruppen zusammengefasst werden. Entsprechende Interaktionselemente finden sich in der rechten Spalte des Eingabefensters.

Hierzu sind die betreffenden Stäbe zu markieren und das Eigenschaftsblatt *neue Gruppe* über den ***erzeugen***-Button aufzurufen.

Gruppen dienen der Strukturierung von Stabtragwerken. Insbesondere im Brückenbau dienen die Charakteristika im rechten Bereich des Eigenschaftsblatts (***Hauptträger***, ...) dazu, für den weiteren Verlauf der Bearbeitung bereits sinnvolle Unterscheidungsmerkmale festzulegen.

Gruppen können ausgewählt und bearbeitet werden (Abs. 7.11.7, S. 77).

Bei Stabgruppen wird zwischen ***Stabzügen*** und ***losen Gruppen*** unterschieden (s. rechte Tabelle). Ein Stabzug ist eine zusammenhängende Stabgruppe mit jeweils einem definierten An-

fangs- und Endknoten sowie beliebig vielen Zwischenknoten. Eine lose Gruppe verfügt nicht über diese einschränkende topologische Eigenschaft und kann beliebige, nicht miteinander verknüpfte Stäbe umfassen.

Befinden sich im Darstellungsfenster ausgewählte Stäbe (Abs. 7.14.7, S. 102), können diese zu einer Stabgruppe zusammengefasst werden, indem der Button zur Gruppendefinition angeklickt wird (Ausnahmen s. weiter unten). Hat die Menge der aktuell ausgewählten Stäbe hinsichtlich ihrer Verknüpfung untereinander die Eigenschaft eines Stabzuges, so muss bei der Definition der Gruppentyp (lose Gruppe oder Stabzug) festgelegt werden. Der neu definierten Gruppe sollte eine wiedererkennbare Bezeichnung gegeben werden.

Innerhalb des Eingabemoduls hat ein definierter Stabzug eine höhere Bindung als eine lose Stabgruppe. Für die Interaktion bedeutet dies

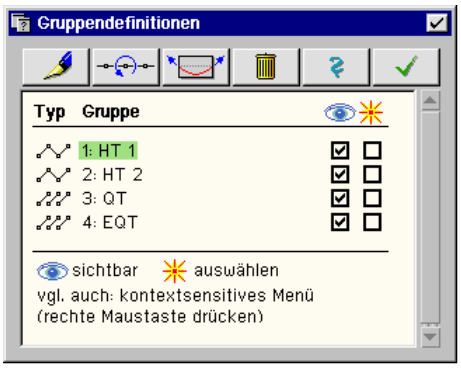
- Stäbe, die zu einem Stabzug gehören, können nicht gelöscht oder anderweitig die Gruppenstruktur zerstörend modelliert werden
- Stäbe können maximal zu einer Stabgruppe gehören. Soll ein Stab, der bereits zu einer losen Gruppe gehört, einer anderen Gruppe zugeordnet werden, wird er zunächst aus der vorhandenen Gruppe herausgenommen. Jedoch können Stäbe, die zu einem Stabzug gehören, keiner Gruppe mehr zugeordnet werden. Hierzu muss der Stabzug zunächst aufgelöst werden.

7.11.6 Tipps zur Gruppenbildung

Durch die Stabgruppenbildung sind folgende Vorteile gegeben

- im Gruppenbearbeitungseigenschaftsblatt können sämtliche Stäbe einer Gruppe einfach ausgewählt (Abs. 7.14.7, S. 102) werden. Außerdem lassen sich hier Stäbe einer (oder mehrerer) Gruppen "unsichtbar" schalten. Bei einer großen Anzahl existierender Stäbe kann dies aus Übersichtlichkeitsgründen für die Bearbeitung im 4C-SPBR-Eingabemodul von Vorteil sein. Hier liegen also interaktionstechnische Vorteile vor.
- der Visualisierungsprozess von 4C-SPBR nimmt die Strukturierungsfestlegungen der Stabgruppenbildung des Eingabemoduls auf und bietet die Stäbe in seinen Baumstrukturen gruppenweise geordnet an. Hierdurch können einzelne Stäbe sehr viel übersichtlicher wiedergefunden werden.
- in der Systemdruckliste kann die Beschreibung des Systems optional gruppenweise erfolgen (Voreinstellung). Auch dies erhöht die Übersichtlichkeit beim Lesen der Druckliste speziell für Dritte.
- Schnittgrößen und Verformungszustände werden in der Ergebnisdruckliste und im Ergebnisvisualisierungsprozess optional am gesamten definierten Stabzug ausgegeben. Dies erscheint sehr viel übersichtlicher als die Ausgabe der Zustandsgrößen an den Einzelstäben.

7.11.7 Gruppenauswahl und -bearbeitung



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

In diesem Eigenschaftsblatt sind die definierten Gruppen zeilenweise aufgeführt. Jeder Zeile können der Gruppentyp und die Gruppenbezeichnung entnommen werden. In der vorletzten Spalte kann per Mausklick festgelegt werden, ob die Stäbe einer bestimmten Gruppe im Darstellungsfenster sichtbar (Haken) oder unsichtbar dargestellt werden sollen. Hierdurch ist ein Ausblendmechanismus gegeben, der bei der Bearbeitung von Systemen mit sehr vielen Stäben die Übersichtlichkeit steigern kann.

Ein Haken in der letzten Spalte besagt, dass alle Stäbe dieser Gruppe(n) nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts den Status ***ausgewählt*** (Abs. 7.14.7, S. 102) bekommen.

Wird eine Gruppenbezeichnung angeklickt, so wird diese grün hinterlegt dargestellt. Eine derart ausgewählte Gruppe kann

gelöscht oder

hinsichtlich ihrer Bezeichnung umbenannt werden.

Handelt es sich bei der ausgewählten Gruppe um einen Stabzug, so kann dieser

hinsichtlich seiner Stabrichtung bearbeitet (Abs. 7.11.8, S. 78) werden.

im Brückenbaumodul findet sich hier der Zugang zur Vorspannungsdefinition (Abs. 7.15, S. 104).

S. weiterhin die Definition von Gruppen (Abs. 7.11.5, S. 76), Tipps zur Gruppenbildung (Abs. 7.11.6, S. 77) und das Gruppenmenü (Abs. 7.11.9, S. 78).

7.11.8 Stabzugdefinitionen

Bei der Stabzugdefinition wird festgelegt, welches der beiden Stabzugenden als Anfangsknoten und welches als Endknoten angesprochen werden soll. Dies ist speziell für die grafische Ergebnisdarstellung wichtig, um die Ordinaten der Zustandsgrößen den richtigen Punkten und Stäben zuordnen zu können. Bei geschlossenen Stabzügen muss weiterhin der Knoten ausgewählt werden, an dem der Stabzug aufgeschnitten werden soll. Letzteres geschieht durch Anklicken des gewählten Knotens im Informationsfenster des Eigenschaftsblatts.

Die hier angegebenen Festlegungen können über die Gruppenbearbeitung (Abs. 7.11.7, S. 77) jederzeit geändert werden.

7.11.9 Menüangebot bei der Gruppenauswahl

In der Gruppenauswahl (Abs. 7.11.7, S. 77) können die Funktionen

alle Gruppen sichtbar
alle Gruppen unsichtbar
alle sichtbaren Gruppen auswählen
alle sichtbaren Gruppen nicht auswählen

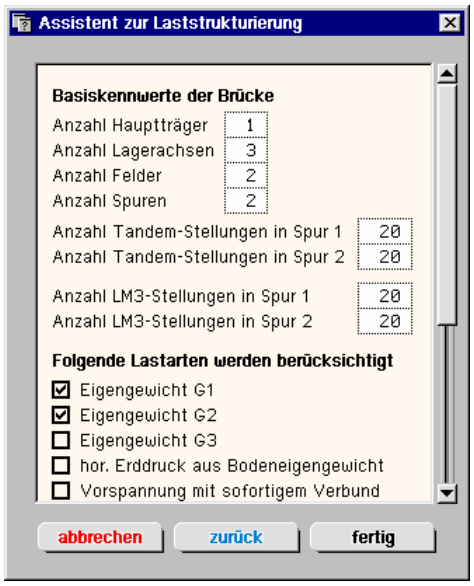
aktiviert werden. Hierdurch ist bei einer großen Anzahl von Gruppen eine schnelle Möglichkeit gegeben, Eigenschaften kollektiv an alle Gruppen zu vergeben.

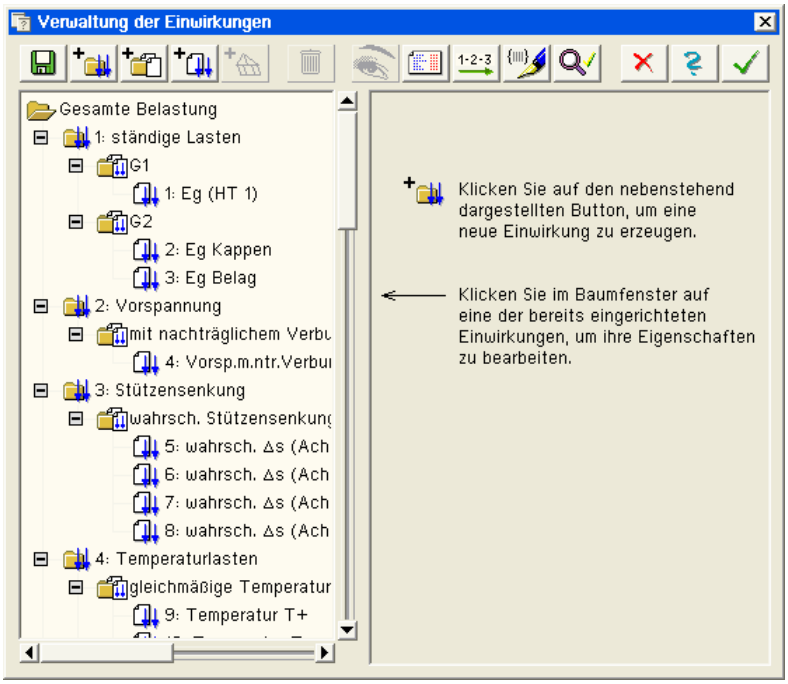
7.12 Belastung

7.12.1 Einwirkungen und Lastfälle - Eingabeassistent

Die aus Einwirkungen und darunter befindlichen Lastfällen bestehende Belastungsstruktur eines Brückenbauwerks ist bei Berechnung nach neuen Normen hinreichend komplex. Die Zusammenführung dieser Komponenten für die Vielzahl der zu führenden Nachweise stellt eine weitere Erschwernis dar.

Es ist daher nicht nur sinnvoll sondern notwendig, bereits vor Eingabe der eigentlichen Lasten die komplette Belastungsstruktur für das Bauwerk festzulegen (Änderungen sind natürlich auch später noch möglich). Bei erstmaligem Aufruf des Buttons ***Einwirkungen und Lastfälle definieren*** erscheint daher der ***Eingabeassistent*** zur Laststrukturierung.





Die hier möglichen Eintragungen sind mit Kenntnis der neuen Terminologien (LM = Lastmodell etc.) selbsterläuternd.

Die mit diesen Angaben erstellte Belastungsstruktur wird im Eigenschaftsblatt *Verwaltung der Einwirkungen* in einem Verzeichnisbaum zur Einsichtnahme und ggf. weiteren Bearbeitung bereitgestellt.

7.12.2 Lastbilder erzeugen

Befindet sich die Interaktion in einer Lastfallfolie, kann nach Anklicken des links dargestellten Buttons eines der nachfolgend symbolisch dargestellten Lastbilder erzeugt werden.

Eigengewichtslasten Abs. 7.12.2.1, S. 80,

Linienlasten Abs. 7.12.2.2, S. 80,

Knotenlasten Abs. 7.12.2.6, S. 81,

Stabeinzellasten Abs. 7.12.2.4, S. 81,

Temperaturlasten Abs. 7.12.2.5, S. 81,

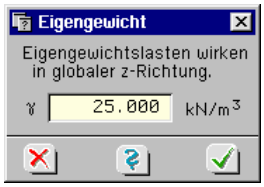
Stützenverformungen Abs. 7.12.2.7, S. 82,

Wanderlasten Abs. 7.12.3, S. 82.

Stabbezogene Lasten (Abs. 7.1.5, S. 39) können nur erzeugt werden, wenn mindestens ein Stab ausgewählt (Abs. 7.14.7, S. 102) ist. Knotenbezogene Lasten (Abs. 7.1.5, S. 39) können nur erzeugt werden, wenn mindestens ein Knoten ausgewählt ist. Vgl. Bearbeitung existierender Lasten (Abs. 7.12.5, S. 84).

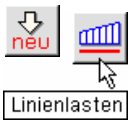
7.12.2.1 Eigengewichtslasten

Eigengewichtslasten sind eigentlich stabbezogene Materialangaben zur Dichte in kN/m^3. Sind diese in einem gegebenen Lastfall definiert, so wird das Rechenprogramm unter Zuhilfenahme der gegebenen oder berechneten Querschnittsfläche eine Linienlast generieren, die auch ggf. gevoutete Stäbe korrekt berücksichtigt. Eigengewichtslasten wirken grundsätzlich in globaler Z-Richtung.

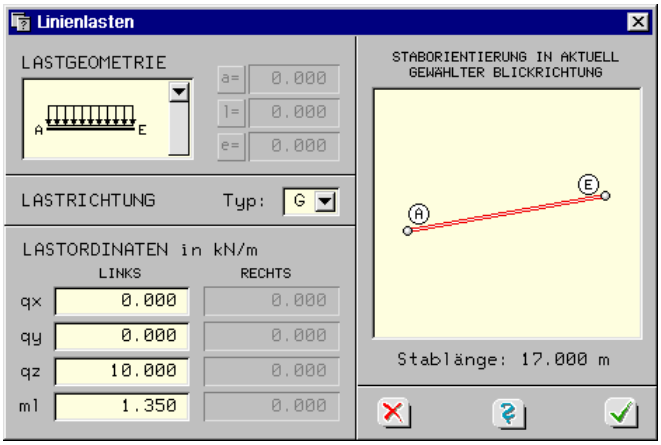


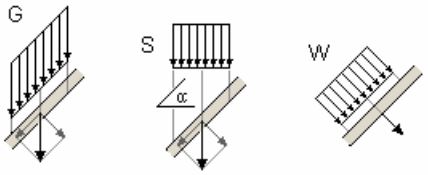
Bei der Erzeugung von Eigengewichtslasten werden allen ausgewählten Stäben (Abs. 7.14.7, S. 102) nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts die aktuellen im Eigenschaftsblatt eingetragenen Lasten zugewiesen. Die erzeugten Eigengewichtslasten werden automatisch dem aktuellen Lastfall zugewiesen.

7.12.2.2 Linienlasten



Linienlasten sind Streckenlasten, die sich über einen Teilbereich oder über den gesamten Bereich eines Stabes erstrecken. Hierbei wird zwischen den drei Kraftrichtungen in kN/m und dem Linientorsionsmoment in kNm/m unterschieden. Die Figur des Lastbildes kann in einer symbolischen Auswahlliste ausgewählt werden. Hierin werden Gleichstreckenlasten, Dreieckslasten und Trapezlasten angeboten, die entweder im Gesamtbereich oder in einem Teilbereich des Stabes wirken. Die zur aktuell ausgewählten Lastfigur gehörenden Informationen müssen in den hierzu angebotenen Eingabefeldern angegeben werden.





7.12.2.3 Lastrichtungstyp

Der Typ der Linienlast legt die Lastrichtung fest. Hier wird zwischen den Typen ***G***, ***W*** und ***S*** unterschieden. Die Buchstabenkürzel weisen bereits auf die typischen Lastbeispiele Eigengewicht (G), Windlasten (W) und Schneelasten (S) hin.

Der Typ G (wie Eigengewicht) wirkt grundsätzlich im globalen XYZ-System. Die globale Z-Achse weist in Richtung der Erdbeschleunigung.

Lasten vom Lasttyp S (wie Schnee) wirken ebenfalls immer in Richtung der globalen Z-Achse. Ihre Ordinaten werden im Gegensatz zum Lasttyp G jedoch mit cos α abgemindert; ihre Lasteinwirkungslängen reduzieren sich also auf die senkrecht zur Lastrichtung stehenden Projektionsebenen des Stabes.

Lasten vom Lasttyp W (wie Wind) wirken immer in Richtung der lokalen lmn-Achsen (Abs. 7.10.3.3, S. 71).

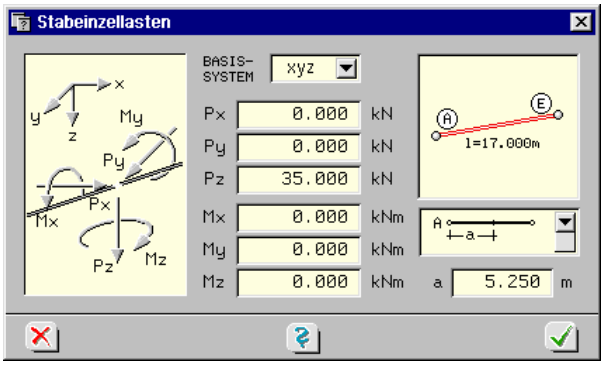
Bei der Erzeugung von Linienlasten (Abs. 7.12.2, S. 79) werden allen ausgewählten Stäben (Abs. 7.14.7, S. 102) nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts die aktuellen, im Eigenschaftsblatt eingetragenen Lasten zugewiesen. Die erzeugten Linienlasten werden automatisch dem aktuellen Lastfall zugewiesen.

Bei Bearbeitung von Linienlasten (Abs. 7.12.5, S. 84) werden alle ausgewählten Linienlasten (Abs. 7.14.7, S. 102) nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts entsprechend den Angaben im Eigenschaftsblatt vereinheitlicht. Sind mehrere Linienlasten ausgewählt, so gibt die Statuszeile Auskunft über die Referenzlast (Abs. 7.10.1, S. 69), deren Eigenschaften im Eigenschaftsblatt ausgewiesen werden.

7.12.2.4 Stabeinzellasten

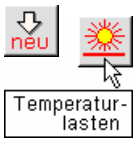
Stabeinzellasten sind Kräfte und/oder Momente, die an einer bestimmten Stelle auf dem Stab wirken. Sie können sich wahlweise auf das globale XYZ-Koordinatensystem oder auf das stabbezogene lmn-Koordinatensystem (Abs. 7.10.3.3, S. 71) beziehen. Die Stelle, an der die Stabeinzellasten wirken, muss als Abstand vom lokalen Stabanfangsknoten oder wahlweise vom lokalen Endknoten angegeben werden.

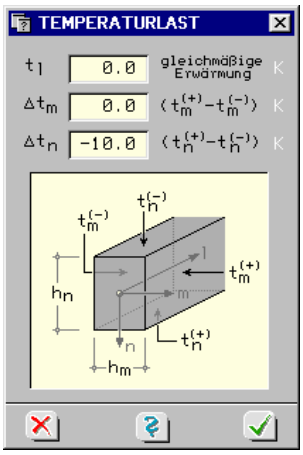
Bei Erzeugung von Stabeinzellasten (Abs. 7.12.2, S. 79) werden allen ausgewählten Stäben (Abs. 7.14.7, S. 102) nach Bestätigen des Eigenschaftsblattes die aktuellen, im Eigenschaftsblatt eingetragenen Lasten zugewiesen. Die erzeugten Stabeinzellasten werden automatisch dem aktuellen Lastfall zugewiesen.



Bei Bearbeitung von Stabeinzellasten (Abs. 7.12.5, S. 84) werden alle ausgewählten Stabeinzellasten (Abs. 7.14.7, S. 102) nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts entsprechend der Angaben im Eigenschaftsblatt vereinheitlicht. Sind mehrere Stabeinzellasten ausgewählt, so gibt die Statuszeile Auskunft über die Referenzlast (Abs. 7.10.1, S. 69), deren Eigenschaften im Eigenschaftsblatt ausgewiesen werden.

7.12.2.5 Temperaturlasten



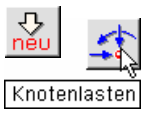


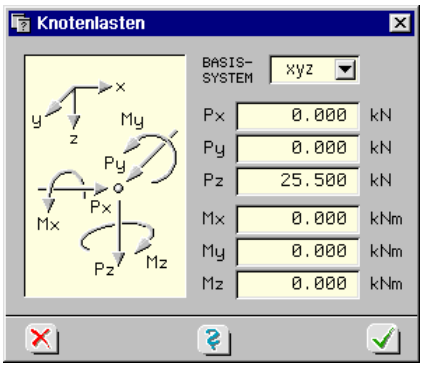
Temperaturlasten sind einem Lastfall zugeordnete stabbezogene Lasten, die das Systemverhalten bei Erwärmung (bzw. Abkühlung bei negativer Zahlenangabe) des Materials untersuchen.

Der Beschreibung liegt das lmn-Stabkoordinatensystem (Abs. 7.10.3.3, S. 71) zu Grunde. Die gleichförmige Erwärmung (t_l) gibt die Erwärmung des Materials gegenüber der Temperatur zum Zeitpunkt des Einbaus (in °K) an. Die ungleichförmigen Temperaturlasten untersuchen den Fall, dass gegenüberliegende Randfasern (in m- bzw. n-Richtung) unterschiedlich erwärmt werden. Hierzu sind die Differenzlasten Δt_m und Δt_n anzugeben. Als Abstand der Randfasern wird die maximale Ausdehnung des gewählten Querschnitts (Abs. 7.10.3.5, S. 72) in den m- und- n-Richtungen angenommen.

Wenn Temperaturlastbilder erzeugt (Abs. 7.12.2, S. 79) werden, so werden allen ausgewählten Stäben (Abs. 7.14.7, S. 102) nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts die aktuellen, im Eigenschaftsblatt eingetragenen Lasten zugewiesen. Die erzeugten Temperaturlasten werden automatisch dem aktuellen Lastfall zugewiesen.

7.12.2.6 Knotenlasten





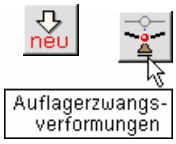
Knotenlasten sind Kräfte und/oder Momente, die auf den globalen Knoten einwirken. Sie können sich wahlweise auf das globale XYZ-Koordinatensystem oder auf das gedrehte, knotenbezogene rst-Koordinatensystem (Abs. 7.10.2.2, S. 69) beziehen.

Wenn Knotenlasten erzeugt (Abs. 7.12.2, S. 79) werden, so werden allen ausgewählten Knoten (Abs. 7.14.7, S. 102) nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts die aktuellen, im Eigenschaftsblatt eingetragenen Lasten zugewiesen.

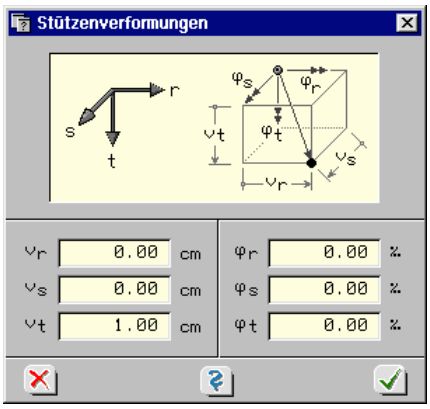
Verfügen einige der ausgewählten Knoten bereits über Knotenlasten, so erfolgt eine Abfrage, in der angegeben werden muss, ob die neuen Lasten zu den vorhandenen addiert oder die vorhandenen Lasten mit den neuen Lasten überschrieben werden sollen. Die erzeugten Knotenlasten werden automatisch dem aktuellen Lastfall zugewiesen.

Wenn Knotenlasten bearbeitet (Abs. 7.12.5, S. 84) werden, so werden alle ausgewählten Knotenlasten (Abs. 7.14.7, S. 102) nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts entsprechend der Angaben im Eigenschaftsblatt vereinheitlicht. Sind mehrere Knotenlasten ausgewählt, gibt die Statuszeile Auskunft über die Referenzlast (Abs. 7.10.1, S. 69), deren Eigenschaften im Eigenschaftsblatt ausgewiesen werden.

7.12.2.7 Stützenverformungen



Entsprechend den sechs Freiheitsgraden des 3D-Tragwerkes können in aktivierten Lagerpunkten Auflagerzwangsverformungen für drei Verschiebungen und drei Verdrehungen im lokalen Knotenkoordinatensystem rst (Abs. 7.10.2.2, S. 69) aufgebracht werden.



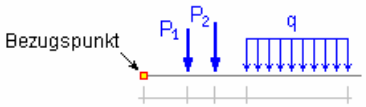
7.12.3 Wanderlasten

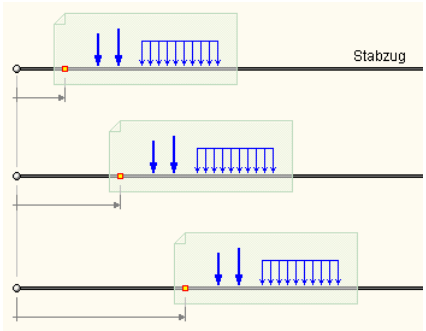
Durch Anklicken der nebenstehenden Buttons oder nach Aktivierung der Menüfunktion *bearbeiten → Wanderlastzüge* erscheint das Eigenschaftsblatt zur Verwaltung der Wanderlastzüge auf dem Bildschirm. Hiermit können Lastenzüge, die aus Einzel- und /oder Linienlasten bestehen, inkrementell verschoben und unterschiedlichen Lastfällen zugeordnet über einen Stabzug "geschoben" werden.

7.12.3.1 Grundidee

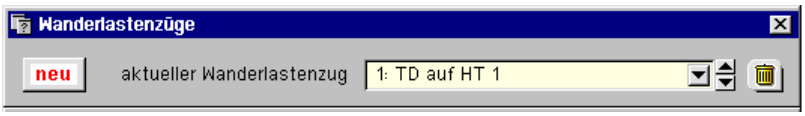
Ein Lastenzug wird zunächst losgelöst vom Stabzug bezüglich seiner Ordinaten beschrieben und hinsichtlich eines Bezugspunkts vermaßt. Hierbei können beliebig viele Einzellasten und Linienlasten vorgegeben werden.

Im zweiten Schritt wird dieser Lastenzug lastfallbezogen über den Stabzug verschoben, wobei allein die Lage des Bezugspunkts variiert wird.





Der Bereich oberhalb der Register des Eigenschaftsblatts dient der Erzeugung und Verwaltung beliebig vieler Lastenzüge.



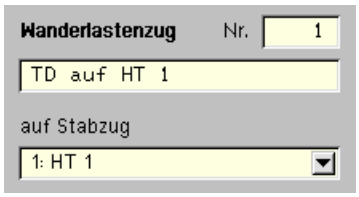
Durch Klicken auf den nebenstehend dargestellten Button wird ein neuer Wanderlastenzug definiert.

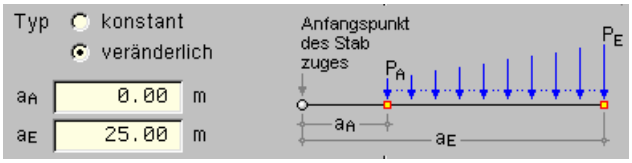
Mit Hilfe der Auswahlliste kann einer der aktuell definierten Wanderlastzüge ausgewählt werden. In den Registerblättern werden die Eigenschaften des jeweils ausgewählten Lastenzugs angezeigt und zur Bearbeitung angeboten.

Der nebenstehend dargestellte Button löscht den ausgewählten Lastenzug.

7.12.3.2 Register Basisdaten

Zunächst müssen dem Wanderlastenzug im linken Bereich eine Nummer und eine Bezeichnung zugeordnet werden. Weiterhin muss der Stabzug (Abs. 7.11.7, S. 77) festgelegt werden, auf den die Wanderlast einwirkt.



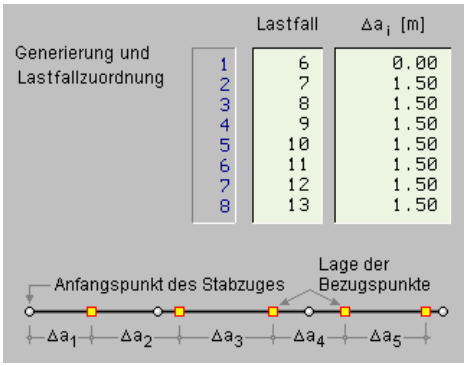


Danach wird festgelegt, ob die Ordinaten der Kraftgrößen beim Durchwandern des Stabzugs ihre Größe verändern sollen. Zur Wahl stehen hier die Typen ***konstant*** oder linear ***veränderlich***.

Wird ***konstant*** gewählt, sind keine weiteren Angaben erforderlich. Bei ***linearer Veränderlichkeit*** müssen zwei Orte der Bezugspunkte beschrieben werden, an denen die Ordinaten bestimmte Werte annehmen. Diese beiden Orte sind jeweils in Metern gemessen vom Anfangspunkt des Stabzugs anzugeben.

Die rechte Seite des Registers befasst sich mit der Generierung und Lastfallzuordnung. Hier wird in einer Tabelle jedem Lastfall ein Verschiebungsinkrement Δa_i zugeordnet. Die Anzahl der eingegebenen Tabellenzeilen legt die Anzahl der zu generierenden Lastfälle fest. Der jeweilige Wert für Δa_i legt den Abstand des Bezugspunkts vom vorangegangenen Punkt fest.

Im nebenstehenden Beispiel soll im Lastfall 6 die Lage des Bezugspunkts mit dem Anfangspunkt des Stabzugs identisch sein. Sodann soll (in den Lastfällen 7 bis 13) der Lastenzug um jeweils 1.50 m in Stablängsrichtung verschoben werden.



Beachten Sie, dass die Erzeugung der Lastbilder nur bei bereits eingerichteten Lastfällen funktionieren wird (Abs. 7.12.1, S. 79)!

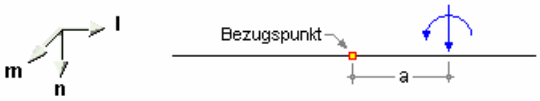
Letztlich muss in diesem Register noch entschieden werden, ob der Lastenzug nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts (✔)aufgelöst werden soll oder nicht.

Entscheiden Sie sich nur dann für die Auflösung, wenn die Ordinaten der sich ergebenden Lastbilder im Nachhinein noch einzeln nachbearbeitet werden müssen. Der Wanderlastenzug wird in diesem Fall nach der Generierung der Lastbilder aus der Verwaltung herausgenommen. Die Lastbilder verhalten sich so, als wären sie manuell definiert worden.

Besser ist es (wann immer es geht) den Wanderlastenzug nicht aufzulösen. Er bleibt dann in der Verwaltung des hier besprochenen Eigenschaftsblatts und kann zu einem späteren Zeitpunkt wieder bearbeitet werden. Die generierten Lastbilder sind im letztgenannten Falle jedoch nicht einzeln ansprechbar bzw. editierbar. Ein Doppelklick auf ein solches (bereits farblich anders markiertes) Lastbild quittiert diesen Zusammenhang mit einer entsprechenden Meldung.

7.12.3.3 Register Einzellasten

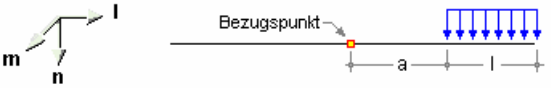
Hier werden die Ordinaten der am Wanderlastenzug beteiligten Einzellasten und deren Abstände zum Bezugspunkt angegeben. Dies geschieht im lmn-System (Abs. 7.10.3.3, S. 71) der betroffenen Stäbe. Da der Abstand einer Einzellast vom Bezugspunkt immer konstant ist, wird ihre Lage in den jeweiligen Lastfällen i.W. durch die unterschiedlichen Positionen der Bezugspunkte beschrieben.



Ist der Wanderlastenzug vom Typ ***veränderlich***, müssen die Ordinaten der Einzellasten einmal für den im ersten Register beschriebenen Punkt A und ebenfalls für den Punkt E beschrieben werden.

7.12.3.4 Register Linienlasten

Hier werden die Ordinaten der am Wanderlastenzug beteiligten Linienlasten, deren Abstände zum Bezugspunkt und die Ausbreitungslänge angegeben. Dies geschieht im lmn-System der betroffenen Stäbe. Da der Abstand einer Linienlast vom Bezugspunkt immer konstant ist, wird ihre Lage in den jeweiligen Lastfällen i.W. durch die unterschiedlichen Positionen der Bezugspunkte beschrieben.



Ist der Wanderlastenzug vom Typ ***veränderlich***, müssen die Ordinaten der Linienlasten einmal für den im ersten Register beschriebenen Punkt A und ebenfalls für den Punkt E beschrieben werden.

7.12.4 Knotenlasten überschreiben oder hinzufügen

Sie sind dabei, (neue) Knotenlasten zu erzeugen und haben dazu einen oder mehrere Knoten ausgewählt. Einer (oder mehrere) dieser ausgewählten Knoten verfügen bereits über Knotenlasten. Es stellt sich nun die Frage: Sollen die neuen Knotenlasten die vorhandenen überschreiben oder sollen die neuen Knotenlasten zu den bereits existierenden Knotenlasten hinzugezählt werden?

7.12.5 existierende Lastbilder bearbeiten

Die im Darstellungsfenster dargestellten Lastbilder können per Mausklick aktiviert (Abs. 7.14.7, S. 102) werden. Soll eines dieser Lastbilder eingesehen bzw. bearbeitet werden, kann dies sehr leicht durch Doppelklicken des Lastbilds geschehen.

Sollen alle ausgewählten Lastbilder bearbeitet und vereinheitlicht werden, muss das links dargestellte Symbol angeklickt und das Symbol des speziellen Typs ausgewählt werden.

Das hierauf erscheinende Eigenschaftsblatt zeigt die Eigenschaften (Lastangaben) der Referenzlast (Abs. 7.10.1, S. 69) an. Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts erhalten alle ausgewählten Lastbilder des gewünschten Typs die hier angegebenen Festlegungen.

Es können nur die Lastbilder des aktuellen Lastfalls bearbeitet werden. Um Lastbilder eines anderen Lastfalls zu bearbeiten, muss der aktuelle Lastfall gewechselt werden.

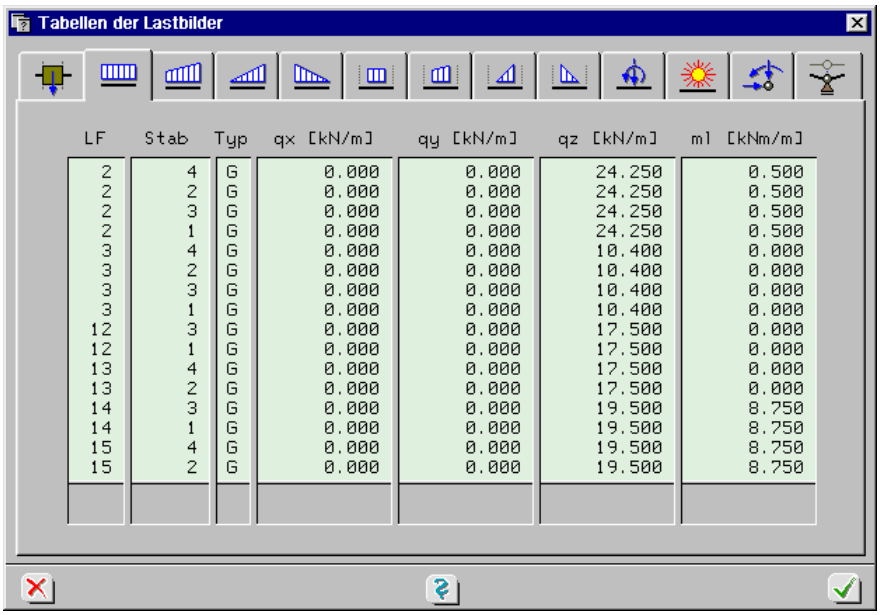
7.12.6 Lastbilder kopieren

Ausgewählte Lastbilder können in einen anderen Lastfall kopiert oder verschoben werden. Hierzu sind die Lastfallnummer und ein Faktor, mit dem die Lastbildordinaten multipliziert werden, anzugeben.

7.12.7 Lastbilder tabellarisch bearbeiten

Befindet sich die Interaktion in einer Lastfallfolie, kann durch Anklicken des dargestellten Symbols das Eigenschaftsblatt zur tabellarischen Bearbeitung der definierten Lastbilder aktiviert werden.

Die einzelnen, den Lastbildtypen zugeordneten Tabellen können hierin über die Register angesteuert und bearbeitet werden.



LF	Stab	Typ	qx [kN/m]	qy [kN/m]	qz [kN/m]	ml [kNm/m]
2	4	G	0.000	0.000	24.250	0.500
2	2	G	0.000	0.000	24.250	0.500
2	3	G	0.000	0.000	24.250	0.500
2	1	G	0.000	0.000	24.250	0.500
3	4	G	0.000	0.000	10.400	0.000
3	2	G	0.000	0.000	10.400	0.000
3	3	G	0.000	0.000	10.400	0.000
3	1	G	0.000	0.000	10.400	0.000
12	3	G	0.000	0.000	17.500	0.000
12	1	G	0.000	0.000	17.500	0.000
13	4	G	0.000	0.000	17.500	0.000
13	2	G	0.000	0.000	17.500	0.000
14	3	G	0.000	0.000	19.500	8.750
14	1	G	0.000	0.000	19.500	8.750
15	4	G	0.000	0.000	19.500	8.750
15	2	G	0.000	0.000	19.500	8.750

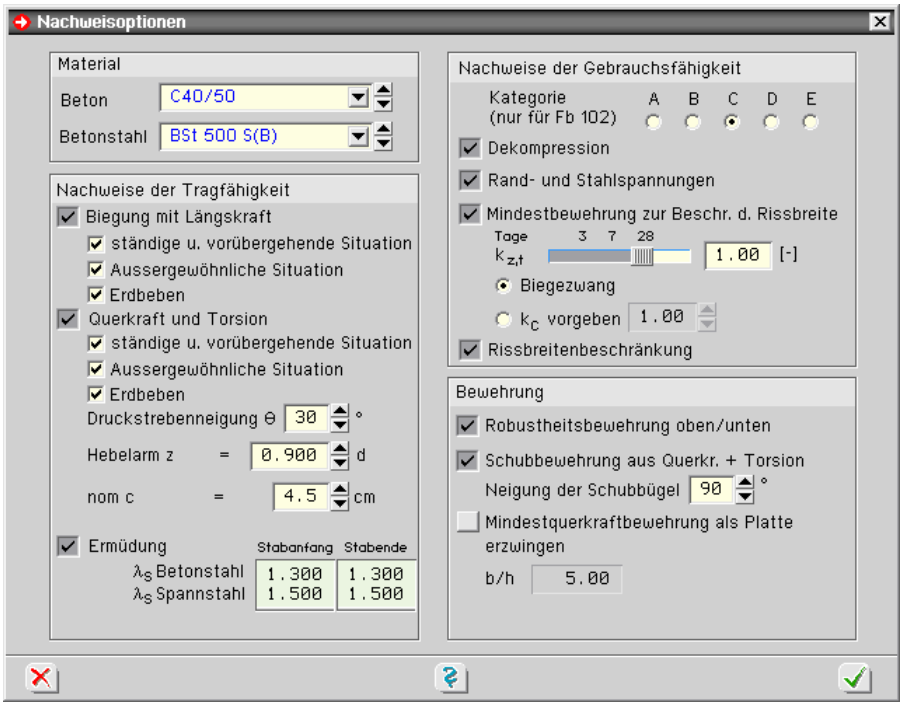
7.13 Nachweise

Nachfolgend werden die Nachweise n. EC 2 beschrieben. Eine Beschreibung der sinngemäß gleichen Nachweise entspr. DIN Fachbericht kann über die Onlinehilfe des Programms abgerufen werden. Gleiches gilt für Nachweise entspr. DIN 4227.

7.13.1 Nachweisoptionen EC 2 und DIN Fb

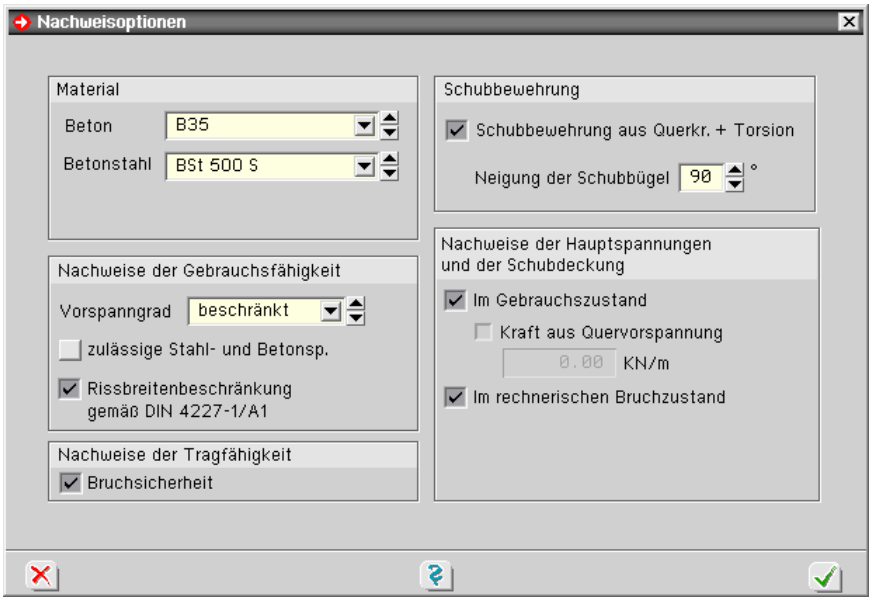
Die Nachweisoptionen gelten für Nachweise nach DIN Fachbericht 102 sowie in gleicher Weise für die entsprechenden Nachweise des EC 2 (DIN EN 1992).

Im folgenden Eingabefenster können die Materialgüten und Nachweisparameter eingestellt werden.



7.13.2 Nachweisoptionen DIN 4227

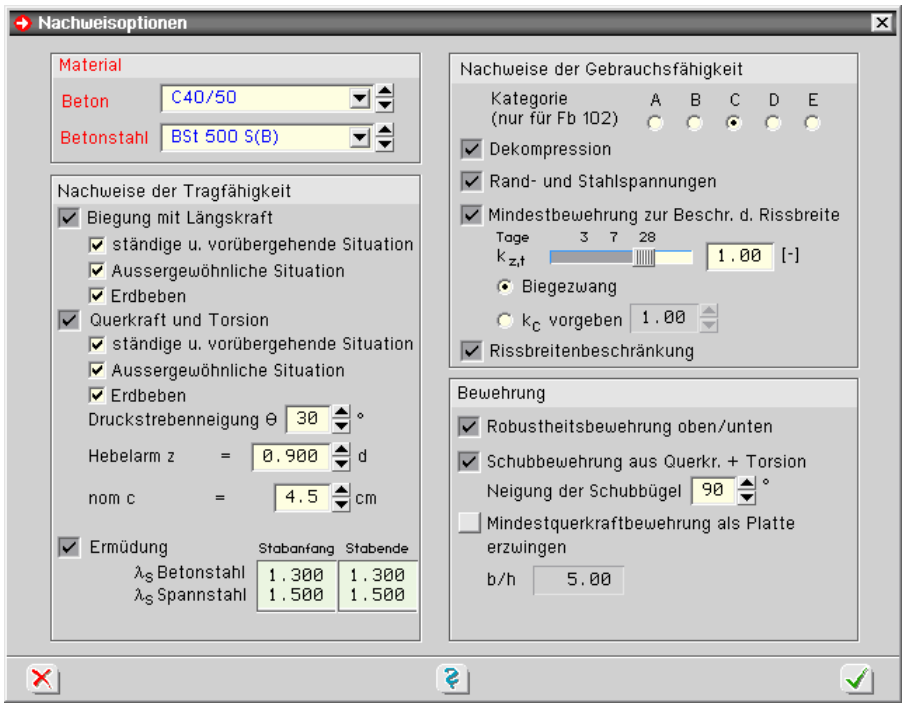
Im folgenden Eingabefenster können die Materialgüten und Nachweisparameter bzgl. DIN 4227 eingestellt werden.



7.13.3 Betongüte und Betonstahlsorte

Die Wahl der Materialgüten für die Nachweise erfolgt über die Nachweisoptionen, die durch Anklicken des ***DIN***-Buttons aufgerufen werden.

Im folgenden Eingabefenster können die Materialgüten und Nachweisparameter eingestellt werden.



7.13.4 Ermüdungsnachweis

Nach DIN EN 1992, 6.8.1 (102), bzw. DIN Fachbericht 102, 4.3.7, muss bei Bauwerken, die regelmäßigen Lastwechseln unterworfen sind, ein Nachweis gegen Ermüdung von Beton und Stahl im Grenzzustand der Tragfähigkeit geführt werden.

Entspr. DIN EN 1992, 6.8.3, bzw. DIN Fachbericht 101, 4.6.1, sind Ermüdungsberechnungen mit dem Lastmodell 3 durchzuführen. Die Erzeugung der Laststellungen erfolgt zweckmäßigerweise über die Generierung von Wanderlasten.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass gemäß DIN EN 1992, NCI NA.NN (108)P, bzw. DIN Fachbericht 101, 4.6.1 (7), die Achslasten im Bereich von Dehnfugen erhöht werden müssen.

Im Einzelnen sind folgende Nachweise gefordert

- Beton unter Druckbeanspruchung
- Beton unter Querkraftbeanspruchung
- Betonstahl
- Spannstahl (sofern vorhanden)

Bei Straßenbrücken kann i.d.R. gemäß BK 2004, Teil 1, 7.5.1, der Nachweis des druckbeanspruchten Betons entfallen, sofern der Nachweis der Betondruckspannung erfüllt ist.

Gemäß DIN EN 1992, 6.8.2 (2)P, bzw. DIN Fachbericht 102, 4.3.7.3 (3)*P, muss bei vorgespannten Bauteilen die Erhöhung der Betonstahlspannung, resultierend aus dem unterschiedlichen Verbundverhalten zwischen Beton- und Spannstahl, nach Gl. (6.64) berücksichtigt werden. Dabei soll zusätzlich die unterschiedliche Höhenlage (Abstand von der Dehnungsnulllinie) der Beton- und Spannstahlpositionen angemessen berücksichtigt werden.

In ##-SPBR wurde daher die Gl (6.64) wie folgt erweitert

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^{ns} \varepsilon_{si} \cdot A_{si} + \sum_{i=1}^{np} \varepsilon_{pi} \cdot A_{pi}}{\sum_{i=1}^{ns} \varepsilon_{si} \cdot A_{si} + \sum_{i=1}^{np} \varepsilon_{pi} \cdot A_{pi} \cdot \sqrt{\xi \cdot \frac{d_s}{d_p}}}$$

ε_{pi} Dehnung Spannstahl

ε_{si} Dehnung Betonstahl

alle übrigen Bezeichnungen wie in Gl. (6.64)

Im Programm wird für A_p nur der Spannstahlquerschnitt berücksichtigt, der sich in der Zugzone befindet. Liegen mehrere Spannglieder in der Zugzone, wird ε_{ps} im Schwerpunkt des Spannstahls berechnet.

Für den Nachweis der ermüdungsrelevanten Bauteile gibt DIN EN 1992 zwei Nachweise vor

- Ermüdungsnachweis für Beton unter Druck- und Querkraftbeanspruchung (s. Abs. 7.13.14, S. 96)
- Ermüdungsnachweis für Betonstahl (s. Abs. 7.13.15, S. 97)

7.13.5 Tragfähigkeit Biegung mit Längskraft n. EC 2

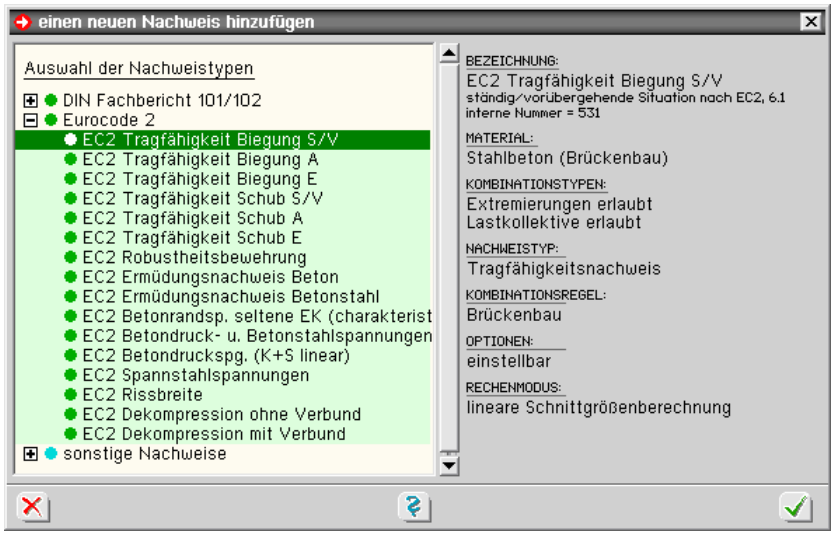
Gemäß DIN EN 1992, 6.1, ist der Nachweis für Biegung mit und ohne Längskraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Bruchsicherheit) gefordert. Dabei sind gemäß NCI zu 2.3.1.2(2) und (3) Zwangsschnittgrößen zu berücksichtigen.

Die Abminderungsfaktoren infolge Übergangs in Zustand II können unter den *globalen Einstellungen* (Abs. 7.3.5, S. 49) vorgegeben werden. Standardmäßig ist für Temperatur und Setzungen 0.6 eingestellt.

Im Nachweis werden als Standard die *möglichen* Stützensenkungen berücksichtigt. Sind keine Lastfälle dieses Typs vorhanden, werden automatisch die *wahrscheinlichen* Stützensenkungen eingesetzt.

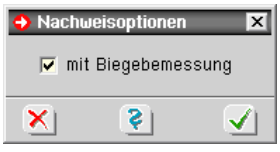
Der Nachweis muss in der *ständigen und vorübergehenden*, der *außergewöhnlichen* und ggf. in der *Erdbebensituation* geführt werden.

Die Aktivierung des Nachweises erfolgt im Programm über den ***Nachweis***-Button.

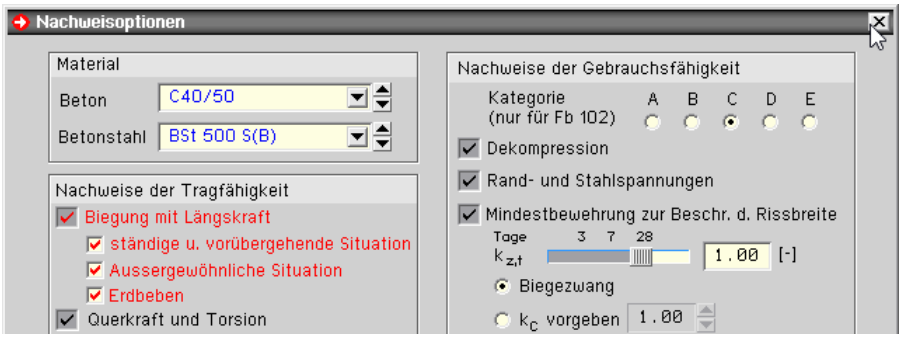


optionale Einstellungen

über den Optionsschalter kann eine automatische Schlaffstahlbemessung aktiviert werden. In diesem Falle wird an allen Bemessungsquerschnitten, an denen die Bruchsicherheit nicht eingehalten ist, die Bewehrung der maßgebenden Bewehrungspositionen so lange erhöht, bis die Bruchsicherheit erfüllt ist.



Der Nachweis kann über die Nachweisoptionen fein eingestellt oder deaktiviert werden.



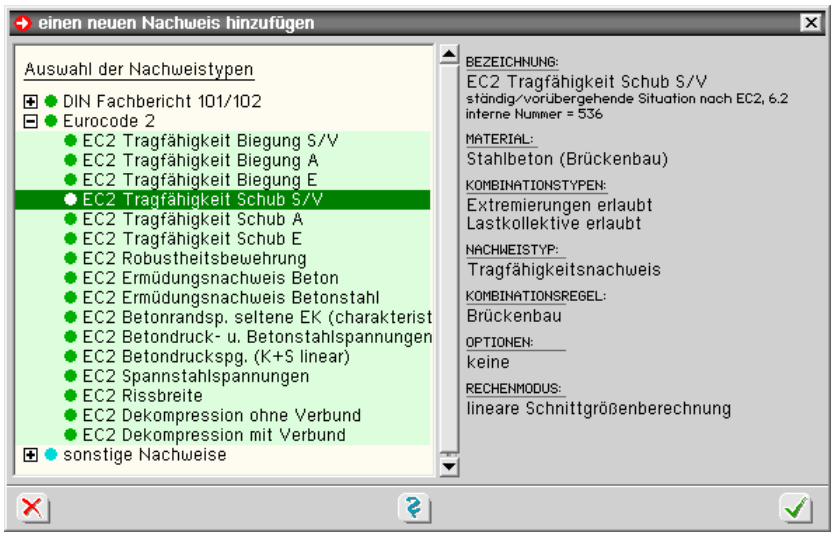
7.13.6 Tragfähigkeit Querkraft mit Torsion n. EC 2

Gemäß DIN EN 1992, 6.2 und 6.3, ist der Nachweis für Querkraft mit und ohne Torsion im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Bruchzustand) gefordert.

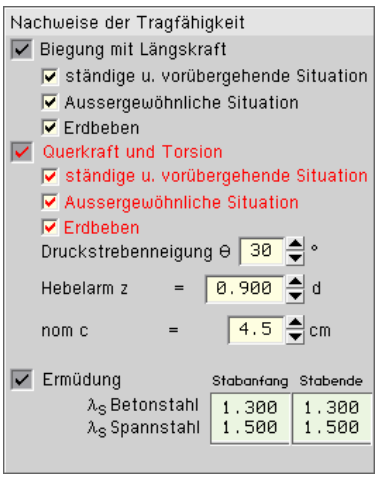
Im Nachweis werden als Standard die *möglichen* Stützensenkungen berücksichtigt. Sind keine Lastfälle dieses Typs vorhanden, werden automatisch die *wahrscheinlichen* Stützensenkungen eingesetzt.

Der Nachweis muss in der *ständigen und vorübergehenden*, der *außergewöhnlichen* und ggf. in der *Erdbebensituation* geführt werden.

Die Aktivierung des Nachweises erfolgt im Programm über den ***Nachweis***-Button.



Der Nachweis kann über die Nachweisoptionen fein eingestellt oder deaktiviert werde.



Bemessung für Querkräfte

Der Nachweis der Tragfähigkeit für Querkraft beruht auf einem Fachwerkmodell. Die Formeln des Eurocode gehen dabei von einem rechteckigen Querschnitt unter einachsiger Belastung aus (Querkraftkomponente $V_y = 0$).

Programmintern wird bei gegliederten Querschnitten ausschließlich der Steg zum Abtrag der Querkräfte berücksichtigt.

Tritt neben der Querkraft V_z eine Querkraftkomponente V_y auf, erfolgt die Bemessung für die resultierende Querkraft. Diese Vorgehensweise sollte bei geringen Querkraftanteilen in y-Richtung ausreichend genau sein.

Treten jedoch größere Querkräfte in y-Richtung auf, ist eine Bemessung mit dem hier implementierten Verfahren nicht mehr möglich. Das Gleiche gilt für Stegquerschnitte, die zu stark von der Rechteckform abweichen. Im Zweifelsfall sind die Bemessungsergebnisse durch eine genauere Betrachtung zu überprüfen.

Bemessung für Torsion

Die Tragfähigkeit für Torsion wird entspr. DIN EN 1992, 6.3.1 (3), für einen dünnwandigen, geschlossenen Querschnitt nachgewiesen.

Wie bei der Querkraftbemessung wird hier ausschließlich der Stegquerschnitt zum Lastabtrag herangezogen.

Bei Vollquerschnitten wird die Ersatzwand des gedachten Hohlquerschnitts entspr. NCI zu 6.3.2(1) selbständig vom Programm ermittelt. Die Wanddicken werden aus den Betonstahlrandabständen generiert, die vom Benutzer in der Querschnittseingabe definiert wurden.

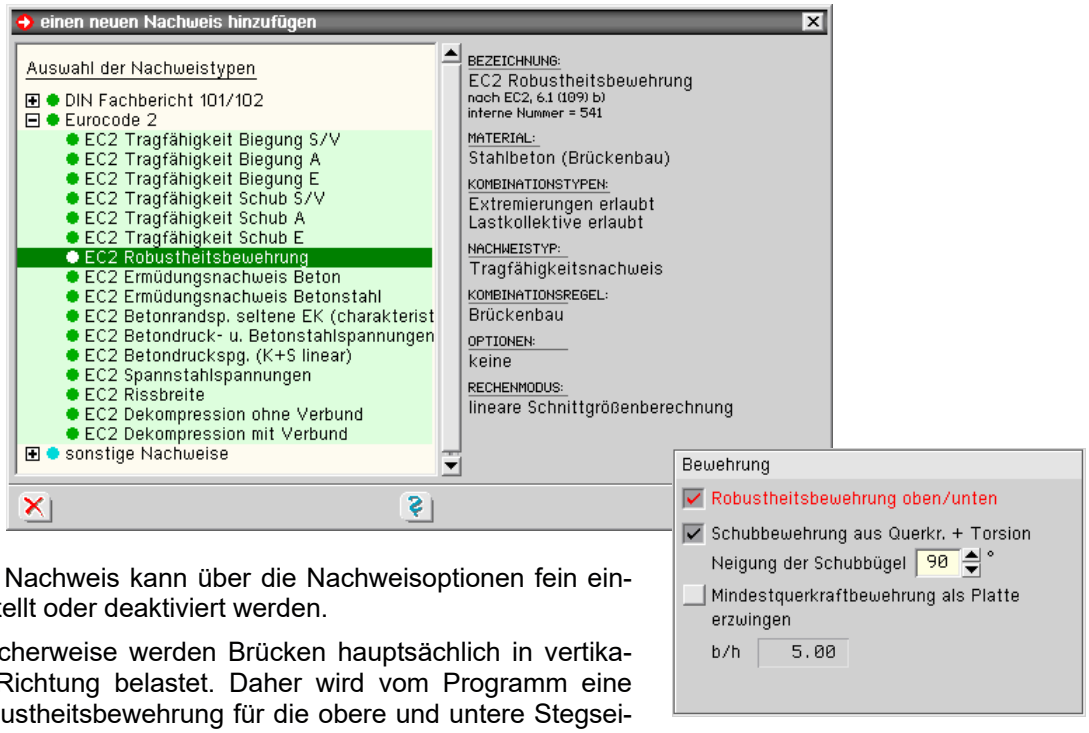
kombinierte Beanspruchung aus Querkraft und Torsion

Bei kombinierter Beanspruchung wird der Nachweis entspr. NCI zu 6.3.2(102) ff. geführt.

7.13.7 Robustheitsbewehrung n. EC 2

Nach DIN EN 1992, 5.10.1 (5)P, müssen bei vorgespannten Bauwerken ein Versagen ohne Vorankündigung und scheinbare Überfestigkeiten bei Erstrissbildung vermieden werden. Diese Bedingungen werden durch Einlegen einer Robustheitsbewehrung erfüllt.

Die Aktivierung des Nachweises erfolgt im Programm über den ***Nachweis***-Button.



Der Nachweis kann über die Nachweisoptionen fein eingestellt oder deaktiviert werden.

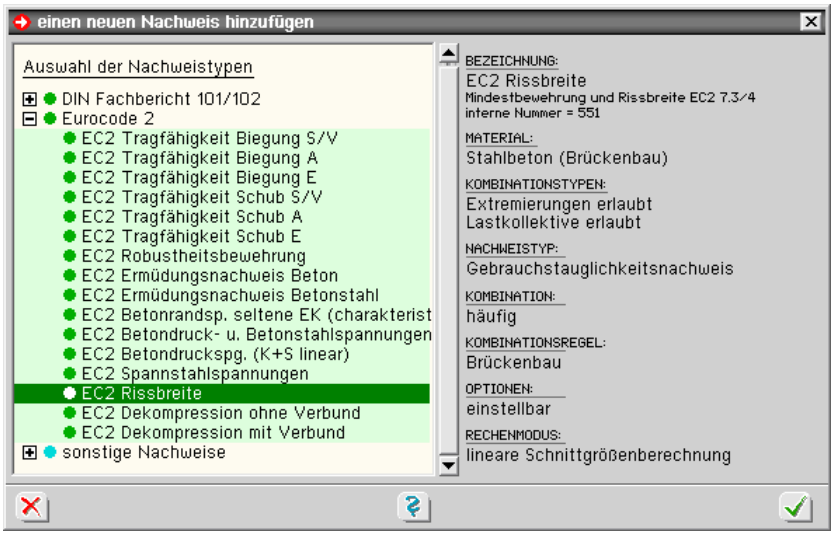
Üblicherweise werden Brücken hauptsächlich in vertikaler Richtung belastet. Daher wird vom Programm eine Robustheitsbewehrung für die obere und untere Stegseite ermittelt.

7.13.8 Rissnachweis n. EC 2

Vom Programm werden die Nachweise der Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite nach 7.3.2 und die Berechnung der Rissbreite nach 7.3.4 geführt. Die Berechnungen erfolgen für die maßgebende Einwirkungskombination nach Tab.7.102DE.

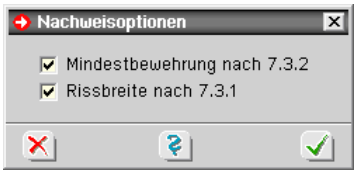
Um die Nachweise durchführen zu können, muss der Nachweis *Betonrandspannungen unter seltener Einwirkungskombination* (s. Abs. 7.13.13, S. 95) eingerichtet werden, da dieser Nachweis notwendig ist um festzustellen, ob sich der Querschnitt im Zustand I oder II befindet.

Die Aktivierung des Nachweises erfolgt im Programm über den ***Nachweis***-Button.

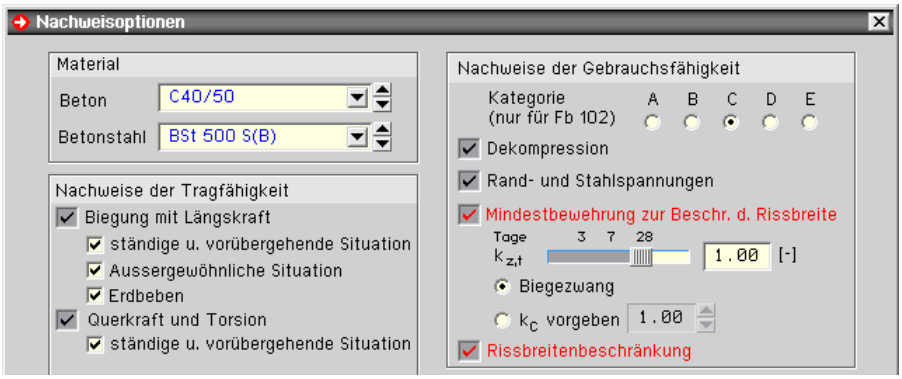


optionale Einstellungen

Optional können die beiden Einzelnachweise (Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite und Berechnung der Rissbreite) deaktiviert werden.



Die Rissnachweise können über die Nachweisoptionen deaktiviert werden.



Der $k_{z,t}$ - Wert des Zements zur Berechnung der zeitabhängigen Betonzugfestigkeit kann vorgegeben werden.

Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite

Nach DIN EN 1992, 7.3.2, ist eine Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite gefordert. Das Programm überprüft, ob die vorhandene Grundbewehrung ausreichend ist und berechnet ggf. die erforderliche Zulagebewehrung.

Die Mindestbewehrung wird für die Stegober- und -unterseite berechnet. Bei gegliederten Querschnitten werden zusätzlich die Gurte bemessen; dabei werden die Bewehrungen von Gurtober- und -unterseite jeweils zusammengefasst.

Berechnung der Rissbreite

Nach DIN EN 1992, 7.3.1, ist eine Begrenzung der Rissbreite gefordert. Die zulässige Rissbreite ist in Tab. 7.102DE festgelegt.

Im Programm erfolgt der Nachweis durch eine direkte Berechnung nach 7.3.4, Gl. (7.8).

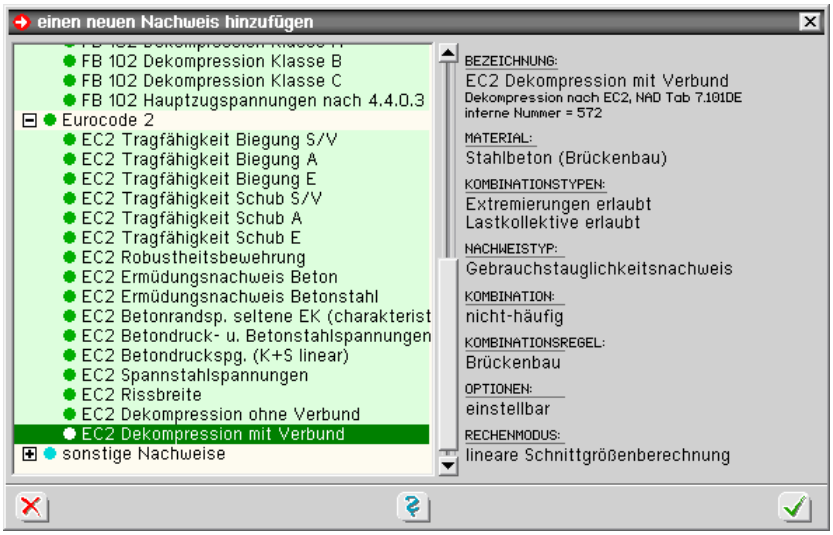
7.13.9 Dekompression n. EC 2

Gemäß DIN EN 1992, 7.3.1 (105), ist bei vorgespannten Brücken der Nachweis der Dekompression zu führen. Der Nachweis wird grundsätzlich im Zustand I geführt.

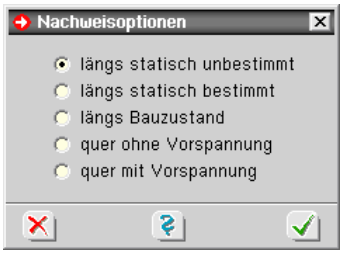
Nach NCI zu 4.3.1(105) dürfen unter der maßgebenden Einwirkungskombination keine Zugspannungen an dem Rand auftreten, der dem Spannstahl am nächsten liegt. Die maßgebenden Einwirkungskombinationen und die zulässigen Randspannungen sind in DIN EN 1992, Tab.7.101DE, geregelt.

Folgende Schritte sind erforderlich, um den Nachweis im Programm zu führen.

Einrichten des Nachweis *Dekompression* für Vorspannung *mit* oder *ohne Verbund*



optionale Einstellungen Einstellen der Nachweisanforderungen über den ***Optionsschalter***



Bei Wahl der Option *Bauzustand* bleiben die Verkehrslasten in der automatisch gebildeten Extremierung unberücksichtigt und für die Streuungsfaktoren der Vorspannung im nachträglichen Verbund werden die Werte $r_{inf} = 0.95$ und $r_{sup} = 1.05$ entsprechend NCI 5.10.9 (1)P eingesetzt.

Sollten im Bauzustand andere Lasten wirken, ist die Extremierungsvorschrift auf ***benutzerdefiniert*** umzustellen und die zu berücksichtigenden Lasten sind entsprechend zu ergänzen.

Der Rand, der dem Spannstahl am nächsten liegt, wird vom Programm automatisch ermittelt. Überprüft werden hierbei die Stegseiten des Querschnitts, da davon ausgegangen wird, dass Spannglieder ausschließlich im Stegbereich angeordnet werden.

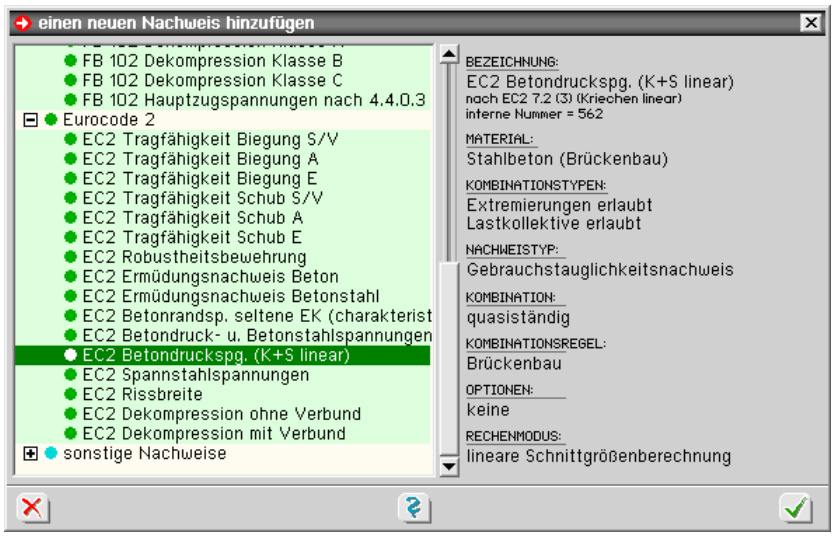
Liegen mehrere Spannglieder in einem Schnitt, wird vom Spannstahlschwerpunkt ausgegangen.

7.13.10 Betondruckspannungen n. EC 2

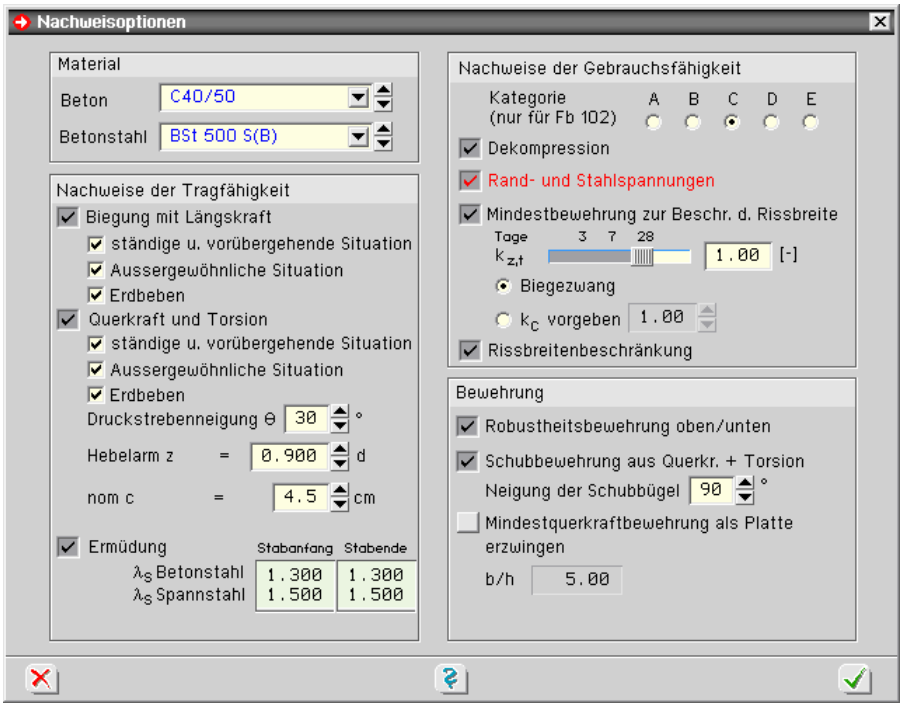
Nach DIN EN 1992, 7.2 (3), sind die maximalen Betondruckspannungen unter der *quasi-ständigen* Einwirkungskombination auf $0.45 \cdot f_{ck}$ zu begrenzen, wenn Gebrauchstauglichkeit, Tragfähigkeit oder Dauerhaftigkeit durch das Kriechen wesentlich beeinflusst werden.

Um den Nachweis durchführen zu können, muss der Nachweis *Betonrandspannungen unter seltener Einwirkungskombination* (s. Abs. 7.13.13, S. 95) eingerichtet werden, da dieser Nachweis notwendig ist um festzustellen, ob sich der Querschnitt im Zustand I oder II befindet.

Die Aktivierung des Nachweises erfolgt im Programm über den ***Nachweis***-Button.



Die Spannungsnachweise können über die Nachweisoptionen fein eingestellt und deaktiviert werden.



7.13.11 Betondruck- und Betonstahlspannungen n. EC 2

Nach DIN EN 1992 sind die Spannungen für Beton und Betonstahl im Gebrauchszustand zu begrenzen.

Um den Nachweis durchführen zu können, muss der Nachweis *Betonrandspannungen unter seltener Einwirkungskombination* (s. Abs. 7.13.13, S. 95) eingerichtet werden, da dieser Nachweis notwendig ist um festzustellen, ob sich der Querschnitt im Zustand I oder II befindet.

Im Einzelnen werden folgende Teilnachweise vom Programm geführt.

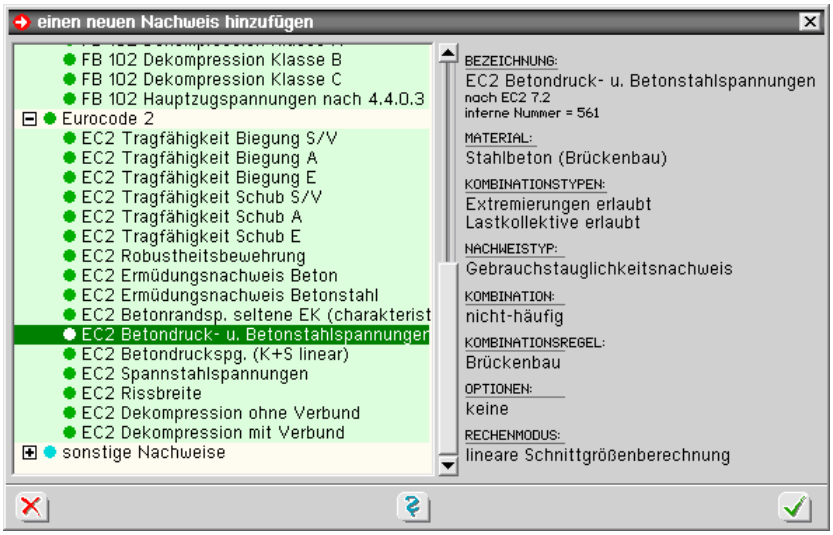
Beton

Nach 7.2 (102) sind die maximalen Betondruckspannungen unter der seltenen Einwirkungskombination und dem Mittelwert der Vorspannung auf $0.6 \cdot f_{ck}$ zu begrenzen.

Betonstahl

Nach 7.2 (5) sind die maximalen Betonstahlzugspannungen unter der seltenen Einwirkungskombination auf $0.8 \cdot f_{yk}$ zu begrenzen.

Die Aktivierung des Nachweises erfolgt im Programm über den ***Nachweis***-Button.



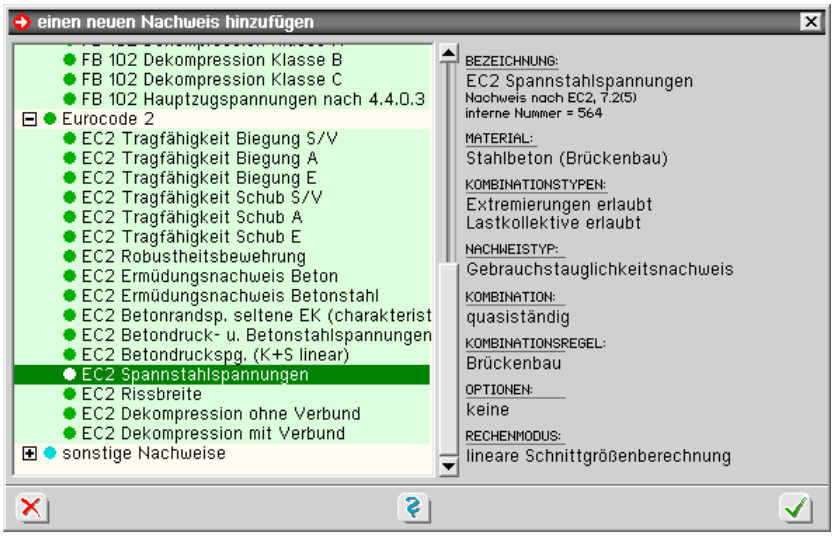
Die Spannungsnachweise können über die Nachweisoptionen fein eingestellt und deaktiviert werden.

7.13.12 Spannstahlspannungen n. EC 2

Nach DIN EN 1992, 7.2 (5), sind die maximalen Spannstahlspannungen im Gebrauchszustand auf $0.65 \cdot f_{pk}$ zu begrenzen.

Um den Nachweis durchführen zu können, muss der Nachweis *Betonrandspannungen unter seltener Einwirkungskombination* (s. Abs. 7.13.13, S. 95) eingerichtet werden, da dieser Nachweis notwendig ist um festzustellen, ob sich der Querschnitt im Zustand I oder II befindet.

Die Aktivierung des Nachweises erfolgt im Programm über den ***Nachweis***-Button.



Die Spannungsnachweise können über die Nachweisoptionen fein eingestellt und deaktiviert werden.

7.13.13 Betonrandspannungen unter seltener Einwirkungskombination

Nach DIN EN 1992, 7.2, bzw. DIN Fachbericht 102, 4.4.1, sind die Spannungen für Beton, Betonstahl und Spannstahl zu begrenzen.

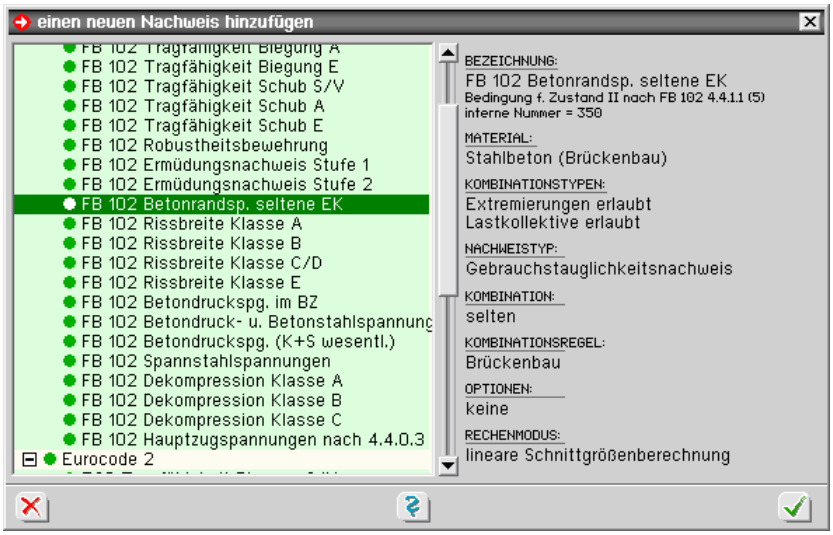
Nach DIN Fachbericht 102, 4.4.1.1 (5), sollte dabei der ungerissene Zustand I angenommen werden. Geht der Querschnitt jedoch in den gerissenen Zustand II über, muss auch die Berechnung der Spannungen im Zustand II erfolgen.

Nach Fachbericht 102, 4.4.1.1 (5), kann der gerissene Zustand angenommen werden, wenn unter der *seltenen Einwirkungskombination* die Betonzugfestigkeit f_{ctm} nicht überschritten wird. Dieser Nachweis ist daher streng genommen kein Nachweis, sondern ein Indikator, ob die Materialspannungen der eigentlichen Spannungsnachweise im Zustand I oder II berechnet werden.

Bei Nachweisen nach DIN EN 1992 wird in Analogie zum DIN Fachbericht genauso verfahren.

Dieser Nachweis muss daher immer aktiviert werden, wenn Spannungsnachweise geführt werden sollen.

Die Aktivierung des Nachweises erfolgt im Programm über den ***Nachweis***-Button.



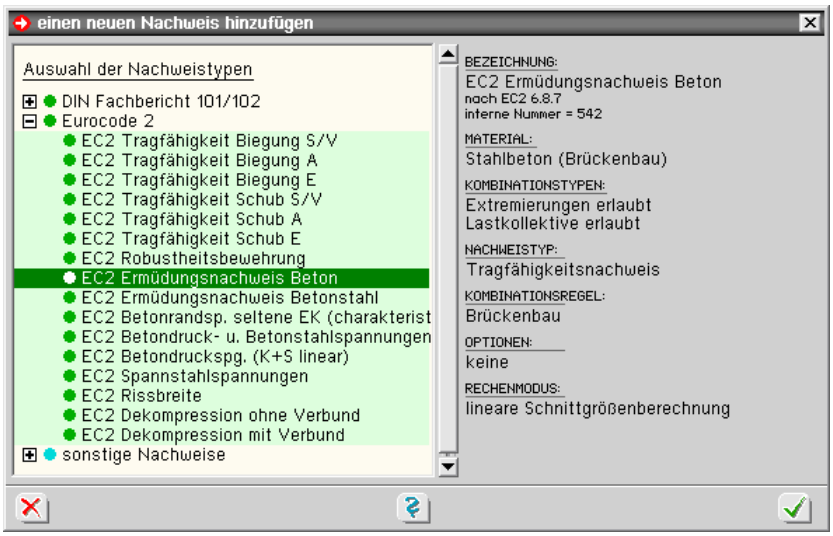
Die Spannungsnachweise können über die Nachweisoptionen fein eingestellt und deaktiviert werden.

7.13.14 Ermüdungsnachweis Beton unter Druck oder Querkraft n. EC 2

Dieser Nachweis entspricht dem vereinfachten Nachweis der Ermüdung für Beton gemäß DIN EN 1992, 6.8.7. Dieser Nachweis ermittelt zusätzlich die Beton- und Spannstahlspannungen. Die Berechnung hierfür erfolgt analog DIN EN 1992, 6.8.6. Die Betonstahlspannung $\Delta\sigma_s$ wird auf 70 N/mm^2 begrenzt.

Die Spannungen des Spannstahls werden entspr. BK 2004, Teil 1, 8.2.3, aus den Wöhlerlinien für Spannstahl für eine Lastspielzahl N = 10^8 unter Berücksichtigung eines Sicherheitsbeiwert $\gamma_{s,fat}$ = 1.15 auf einen Grenzwert $\Delta\sigma_p$ = 62 N/mm^2 begrenzt.

Die Aktivierung des Nachweises erfolgt im Programm über den ***Nachweis***-Button.



Der Nachweis wird in der *häufigen* Kombination geführt, wobei die Beanspruchungen infolge Temperatur und Stützensenkung lediglich in das Grundmoment einfließen und demzufolge auch keine ermüdungswirksame Schwingung erzeugen.

7.13.15 Ermüdungsnachweis Beton- und Spannstahl n. EC 2

Dieser Nachweis entspricht dem Ermüdungsnachweis für Betonstahl und Spannstahl mit schädigungsäquivalenten Schwingbreiten nach DIN EN 1992, 6.8.4.

Die schädigungsäquivalenten Spannungen $\Delta\sigma_{s,equ}$ werden auf $\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$ begrenzt. Der Nachweis gilt als erfüllt, wenn die Bedingung nach DIN EN 1992, 6.8.5 (3), (Gl 6.71), eingehalten ist.

$$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta\sigma_{s,equ}(N^*) \le \frac{\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)}{\gamma_{s,fat}}$$

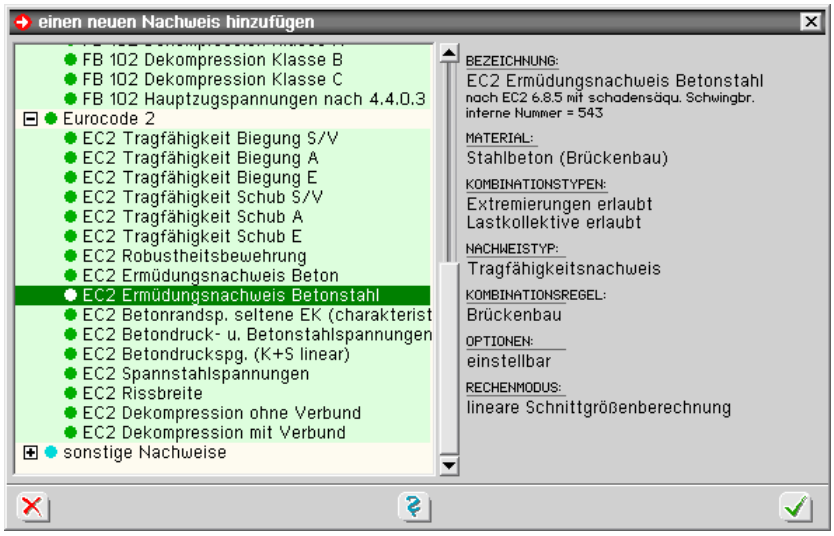
Die schädigungsäquivalente Schwingbreite wird nach DIN EN 1992, NCI Anhang NA.NN, (Gl. NA.NN.1) und (Gl. NA.NN.2), berechnet.

$$\Delta\sigma_{s,equ} = \Delta\sigma_s \cdot \lambda_s \quad \text{... mit ...} \quad \lambda_s = \varphi_{fat} \cdot \lambda_{s,1} \cdot \lambda_{s,2} \cdot \lambda_{s,3} \cdot \lambda_{s,4}$$

Der Faktor λ_s muss vom Anwender entspr. DIN EN 1992, NCI Anhang NA.NN (103)P, (104)P, (105)P, (106)P und (107)P, ermittelt werden.

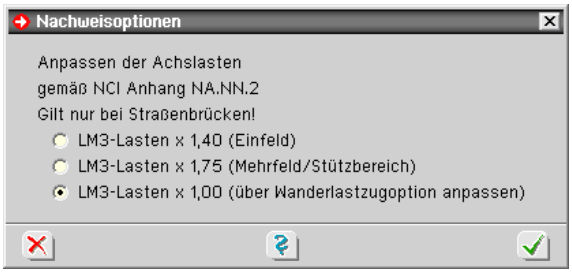
Da der Wert von λ_s stützenweitenabhängig ist, kann er stabweise unterschiedlich sein. Die Eingabe erfolgt daher im Fenster *Nachweisoptionen* (s. Abs. 7.13.1, S. 86), jeweils getrennt für Beton- und Spannstahl.

Die Aktivierung des Nachweises erfolgt im Programm über den ***Nachweis***-Button.



optionale Einstellungen Einstellen der Lastmodelle über den ***Optionsschalter***

Das maßgebende ***Lastmodell*** ist entspr. DIN EN 1992, NCI NA.NN.2 (101)P, das Lastmodell 3.



Jedoch sind die Achslasten im Feldbereich mit 1.40 und im Stützbereich mit 1.75 zu multiplizieren.

Um den Eingabeaufwand so gering wie möglich zu halten, werden vom Programm drei Optionen zur Berücksichtigung dieses Achslastfaktors vorgeschlagen.

Die Optionen bewirken im Einzelnen

- alle Achslasten mit 1.40 multiplizieren

  Diese Option sollte nur bei Einfeldsystemen gewählt werden, da hier alle Achslasten mit dem gleichen Erhöhungsfaktor zu multiplizieren sind.

- alle Achslasten mit 1.75 multiplizieren

  Diese Option ist sinnvoll bei Mehrfeldsystemen. Da alle Achsen (auch die im Feldbereich) mit dem gleichen, ungünstigen Stützbereichsfaktor multipliziert werden, liegen die Ergebnis-

se i.A. auf der sicheren Seite.

- alle Achslasten mit 1.00 multiplizieren und über Wanderlastenzugoption anpassen

  Bei der Definition der Wanderlastenzüge kann die Option ***Ermüdungsnachweis Stufe 2*** gewählt werden. Bei dieser Option werden die Achslasten automatisch vom Programm entspr. den Vorgaben des Eurocode angepasst.

Standardmäßig sollte die 3. Option gewählt werden, da bei der Eingabe der Wanderlastenzüge die Erhöhungsfaktoren automatisch vom Programm ermittelt werden können.

Die Erhöhung der Achslasten bei Anwahl der Optionen 1 oder 2 erfolgt programmtechnisch über eine entsprechende Erhöhung des Lastsicherheitsbeiwerts γ_{inf} bei der Standardextremierungsvorschrift. Daher sind die Optionen 1 und 2 nur wirksam, wenn die Extremierungsvorschrift auf ***standard*** eingestellt ist.

Wird die Extremierungsvorschrift auf ***benutzerdefiniert*** umgestellt, sind alle Kombinations- und Sicherheitsbeiwerte auf Korrektheit zu überprüfen.

7.14 Werkzeuge, Sonstiges

7.14.1 Datenzustand überprüfen

Die Datenzustandsüberprüfungsfunktion kann durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Symbols unter der Überschrift *Datenzustand* gestartet werden.

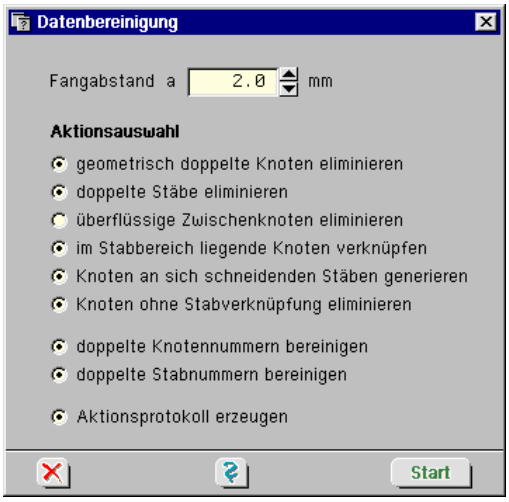
Die Funktion überprüft den aktuellen Datenzustand im Hinblick auf einen erfolgreichen Rechenlauf. U.A. wird überprüft, ob

- alle Knotennummern > 0 sind, keine doppelten Knotennummern vergeben wurden, alle Knoten einen sinnvollen Abstand voneinander haben und mit mindestens einem Stab verknüpft sind;
- alle Stabnummern > 0 sind, keine doppelten Stabnummern vergeben wurden, Stäbe nur auf definierte Knoten verweisen, der Anfangsknoten eines Stabes immer ungleich dem Endknoten ist und alle Stablängen hinreichend groß sind;
- die Gelenkangaben derart definiert sind, dass Knoten und Stäbe unverschieblich mit dem Restsystem verknüpft sind und das Gesamtsystem einfach zusammenhängend ist;
- die Material- und Querschnittsangaben vollständig und im Hinblick auf die nachfolgende Berechnung sinnvoll belegt sind;
- alle Lastbilder definierten Lastfällen zugeordnet sind und hinsichtlich Geometrie- und Ordinatenangaben über berechenbare Parameter verfügen;
- die Struktur der Einwirkungen und Lastfälle formal und inhaltlich korrekt beschrieben ist;
- die Nachweise korrekt beschrieben wurden. Hierbei wird insbesondere kontrolliert, ob die in den Extremierungen und Lastkollektiven angegebenen Einwirkungs- und Lastfallnummern existieren. Eine ggf. definierte Stabauswahl wird entsprechend auf die Existenz der angegebenen Stäbe überprüft.
- alle angegebenen Detailnachweispunkte auf existierende Knoten und Stäbe verweisen und Abstandsangaben im Bereich der Stablängen liegen.

pcae empfiehlt, intensiv von der Datencheckfunktion Gebrauch zu machen.

7.14.2 Netzwerk-Bereinigungsfunktion

Mit Hilfe der Datenbereinigungsfunktion werden unzulässige Zustände in der aktuell definierten Netzwerkstruktur (Abs. 7.1.4, S. 39) bereinigt. Diese Zustände können bei bestimmten Modellierungsaktionen entstehen.



Im Einzelnen können an- bzw. abgewählt werden

1. geometrisch doppelte Knoten eliminieren. Es werden alle Knoten eliminiert, die sich an geometrischen Orten befinden, an denen bereits ein anderer Knoten existiert. Hierbei werden Stäbe, die mit dem zu löschenden Knoten verknüpft sind, mit dem existierenden Knoten verbunden.
2. doppelte Stäbe eliminieren. Es werden alle Stäbe eliminiert, deren Anfangs- und Endknoten

(nach der ersten Operation) identisch und deren Knotenverknüpfung bereits anderen Stäben zugeordnet sind.

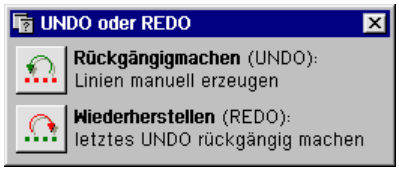
3. überflüssige Zwischenknoten eliminieren. Ein Knoten zwischen zwei durchgehenden Stäben wird gelöscht, wenn dadurch die Geometrie nicht verändert wird.
4. im Stabbereich liegende Knoten verknüpfen. Liegt ein Knoten auf der Linie zwischen Anfangs- und Endknoten eines definierten Stabes, wird der Stab geteilt und mit dem Knoten verknüpft.
5. Knoten an sich schneidenden Stäben generieren. Verfügen Stäbe über einen gemeinsamen Schnittpunkt, wird an dieser Stelle ein neuer Knoten erzeugt und die Stäbe werden unterteilt.
6. Knoten ohne Stabverknüpfung eliminieren. Knoten, die mit keinem Stab verbunden sind, werden gelöscht.
7. doppelte Knotennummern bereinigen. Verfügen zwei Knoten über dieselbe Knotennummer, wird einem der beiden Knoten eine noch verfügbare freie Nummer zugewiesen.
8. doppelte Stabnummern bereinigen. Verfügen zwei Stäbe über dieselbe Stabnummer, wird einem der beiden Stäbe eine noch verfügbare freie Nummer zugewiesen.

Auf Wunsch kann ein Aktionsprotokoll angelegt werden. Diesem kann nach Durchführung der Datenbereinigung entnommen werden, welche Bereinigungsaktionen im Einzelnen durchgeführt wurden.

Zur Entscheidung identischer geometrischer Orte ist die Vorgabe eines Fangabstands erforderlich. Da die Bereinigungsfunktion automatisch in die Netzwerkstruktur eingreift, kann zuvor eine temporäre Sicherung des aktuellen Zustands angelegt werden.

7.14.3 Eigenschaften der UNDO-Funktion

Die undo-Funktion verwaltet bis zu 10 Kopien des Datenzustands in chronologischer Reihenfolge. Jedes Mal bevor eine datenzustandsverändernde Aktion durchgeführt wird, wird eine entsprechende Kopie erzeugt, um dem Benutzer zu ermöglichen, auf den gesicherten Datenzustand zurückzugreifen.



Durch Anklicken des ***undo***-Buttons kann eine versehentlich durchgeführte Aktion rückgängig gemacht werden. Wird der ***undo***-Button ein zweites Mal angeklickt, erscheint ein kleines Eigenschaftsblatt, in dem entschieden werden kann, ob eine geschichtlich weiter zurückliegende Kopie aktiviert oder aber die letzte undo-Aktion rückgängig gemacht werden soll (redo).

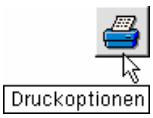
Die undo-Funktion arbeitet mit temporären Dateien. Bei sehr großen Systemen (mehrere 1000 Stäbe) und langsamen Rechnern kann dies zu merklichen Geschwindigkeitsverlusten in der Interaktion führen. Aus diesem Grunde kann der Benutzer die undo-Funktionen ein- oder abstellen.

Klicken Sie auf den Button für die Darstellungsoptionen und dann weiter auf undo-Service.

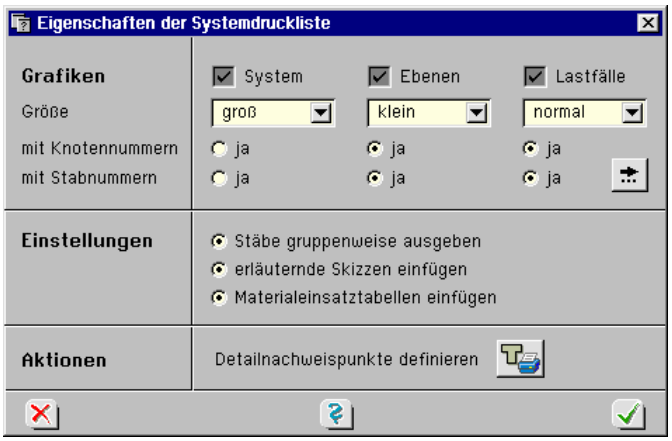
Es erscheint das nebenstehend dargestellte Eigenschaftsblatt, in dem der undo-Service insgesamt abgeschaltet oder aber der undo-Level (die Anzahl der parallel vorgehaltenen Kopien) verringert werden kann.

Beachten Sie, dass die undo-Funktionen auch bei Rechnerabstürzen hilfreich sein können, da das grafische Eingabemodul beim Hochfahren kontrolliert, ob es noch temporäre undo-Sicherungsdateien gibt, die jünger sind als die Originaldatei!

7.14.4 Eigenschaften der Systemdruckliste



Nach Anklicken des dargestellten Buttons erscheint ein Eigenschaftsblatt auf dem Sichtgerät, in dem auf das Layout der Systemdruckliste Einfluss genommen werden kann.



Zunächst kann festgelegt werden, ob eine Skizze vom Gesamtsystem in der Druckliste erscheinen soll. Diese kann wahlweise mit oder ohne Knoten- und Stabnummern ausgegeben werden. Weiterhin kann die Größe der Zeichnung festgelegt werden.

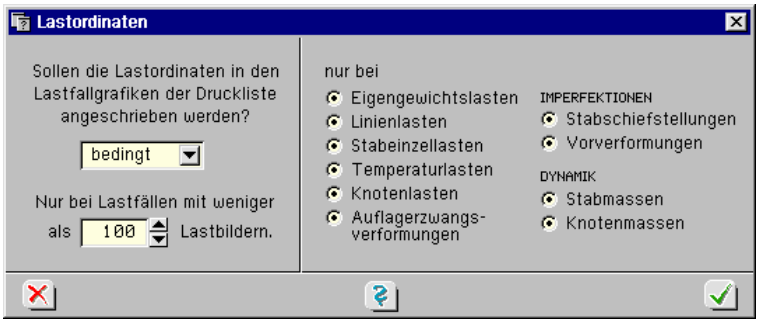
Dieselben Angaben können für die einzelnen Ebenendarstellungen (Abs. 7.11.1, S. 75) und für die Lastfallgrafiken vorgenommen werden. Speziell für die Ordinaten der Lastbilder in der Lastfallgrafik können weitere Festlegungen getroffen werden. Klicken Sie hierzu den symbolischen ***bearbeiten***-Button an.

Es kann bestimmt werden, ob die Stäbe in der Reihenfolge ihrer Gruppenzuordnung (Abs. 7.11.5, S. 76) ausgegeben werden sollen (übersichtlich) oder alle Stäbe gemeinsam in einer Tabelle erscheinen sollen (Platz sparend). Letztlich kann das Einstreuen erläuternder Skizzen an- bzw. abgeschaltet werden.

Weiterhin kann die Materialeinsatztabelle (Abs. 7.2.8, S. 45) auf Wunsch als Zusatzinformation in die Druckliste aufgenommen werden.

7.14.5 Lastordinaten in der Druckliste

Wenn festgelegt wurde, dass die Lastfallgrafiken in der Druckliste erscheinen sollen, kann hier zusätzlich angegeben werden, ob die Ordinaten der Lastbilder mit angeschrieben werden sollen. Dies kann grundsätzlich ausgeschlossen oder auch bedingt geschehen. Weiterhin kann dies für bestimmte Lastbildtypen an- bzw. abgewählt werden.

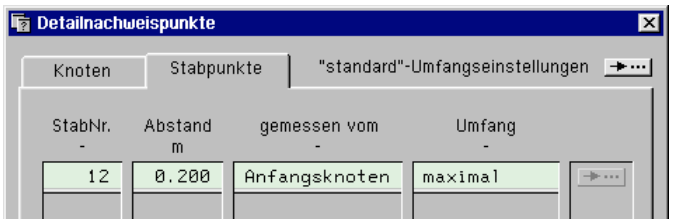


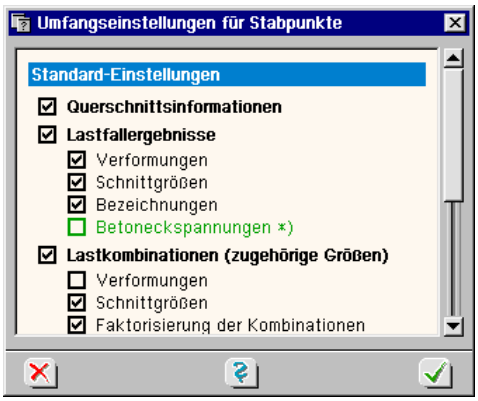
Es sei an dieser Stelle daran erinnert, dass die lastfallbezogene Speicherung der aktuellen Blickrichtung (Abs. 7.2.2, S. 42) die Übersichtlichkeit der Darstellungen in der Druckliste erhöhen kann.

7.14.6 Detailnachweispunkte

In den Detailnachweispunkten werden zusätzlich zum gewählten Ausgabeumfang der Ergebnisdruckliste ausführliche Informationen zu den geführten Nachweisen ausgegeben.

Als Detailnachweispunkte können Knoten und Stabpunkte definiert werden. Stabpunkte werden durch die Stabnummer sowie eine Ordinate gemessen vom Anfangspunkt bzw. Endpunkt des Stabes beschrieben.





Wenn der Mauscursor in den Spalten *gemessen vom* und *Umfang* platziert wird, kann durch Drücken der Leertaste auf der Tastatur eine Umschaltung auf eine andere Alternative erfolgen.

Über den Button ***Standard - Umfangseinstellungen*** erscheint eine Auswahlliste mit möglichen Ausgaben, die durch Anklicken aktiviert werden können.

7.14.7 Objekte aus- und abwählen

Im Darstellungsfenster des grafischen Eingabemoduls werden die Knoten (Abs. 7.1.2, S. 38), die Stäbe (Abs. 7.1.3, S. 38) sowie die Lastbilder (Abs. 7.12.2, S. 79) Knotenlasten, Stabeinzellasten und Linienlasten dargestellt. Diese können über einen einfachen Mausklick (linke Maustaste) aus- bzw. abgewählt werden. Wird ein Objekt ausgewählt, ändert es zur Kennzeichnung seines besonderen Zustands seine Farbe (weiß, rot).

Mit den ausgewählten Objekten können gemeinsame Aktionen durchgeführt werden. Dies gilt teilweise für alle ausgewählten Objekte zusammen (z.B. löschen Abs. 7.9.1, S. 66) oder nur für ausgewählte Objekte gleichen Typs. So können nur den ausgewählten Stäben Materialeigenschaften (Abs. 7.10.3.5, S. 72) zugewiesen werden; ausgewählte Knoten und Lastbilder werden bei dieser Aktion ignoriert. Andererseits können allen Knoten Knotenlagereigenschaften (Abs. 7.10.2.1, S. 69) zugewiesen werden, was sich weder auf die ausgewählten Stäbe noch auf die ausgewählten Lastbilder auswirkt.

Objekte können auch durch Umfahren aus- bzw. abgewählt werden. Hierzu muss die Maus in einen Eckpunkt eines gedachten Umgebungsrechtecks positioniert werden. Sodann wird die Maus bei gedrückt gehaltener linker Maustaste in den diagonal gegenüber liegenden Eckpunkt des nun sichtbaren Rechtecks gefahren. Wird die Maustaste losgelassen, so werden alle Objekte, die sich vollständig in dem Rechteck befinden, ausgewählt (wenn sie abgewählt waren) bzw. abgewählt (wenn sie ausgewählt waren).

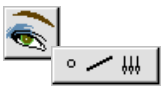
Speziell für das Abwählen der ausgewählten Objekte werden weitere Interaktionselemente angeboten, s. Objekte deaktivieren (Abs. 7.14.10, S. 103).

Die Anzahl der ausgewählten Objekte wird in der Statuszeile angezeigt. Im Zweifelsfall besteht hier also ein Kontrollmechanismus.

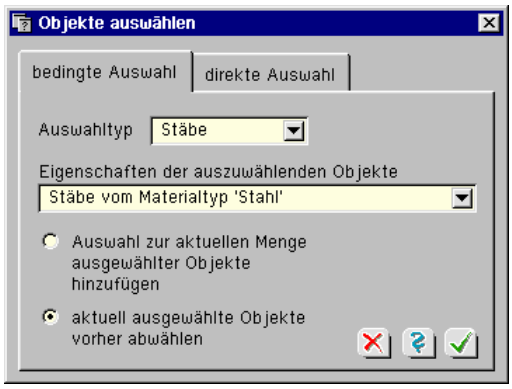
Häufig kommt es vor, dass mehrere Objekte gleichen Typs Eigenschaften zugewiesen bekommen sollen. Hierzu werden die Objekte ausgewählt und das Eigenschaftsblatt aktiviert, das der gewünschten Eigenschaft zugeordnet ist. Hierbei werden zunächst die Eigenschaften des Referenzobjekts bearbeitet. Das Referenzobjekt ist hierbei das Objekt, das als erstes ausgewählt wurde. Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts erhalten alle ausgewählten Objekte die gewählten Eigenschaften. Diese Tatsache lässt sich zur Vereinheitlichung von Objekteigenschaften sowie zum gezielten Übertragen von Eigenschaften eines bestimmten Objektes auf andere Objekte verwenden.

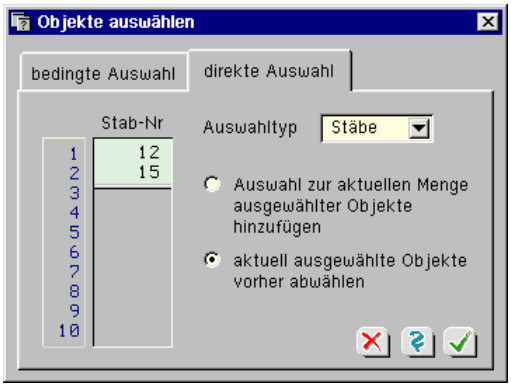
S. auch *Stabgruppen auswählen* (Abs. 7.11.7, S. 77) und *Objekte (per Doppelklick) bearbeiten* (Abs. 7.1.7, S. 40).

7.14.8 bedingte Auswahl



Bei der bedingten Auswahl können Knoten oder Stäbe ausgewählt werden, die eine bestimmte Bedingung erfüllen. Diese bestimmten Eigenschaften können in einer Auswahlliste ausgewählt werden. Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts erscheinen die Objekte ausgewählt (Abs. 7.14.7, S. 102) im Darstellungsfenster.

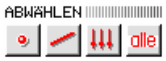




7.14.9 direkte Auswahl

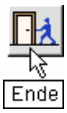
Die Nummern der ausgewählten Objekte sind in der angebotenen Tabelle anzugeben. Nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts erscheinen die Objekte ausgewählt (Abs. 7.14.7, S. 102) im Darstellungsfenster.

7.14.10 Objekte deaktivieren



Mit den hier dargestellten Interaktionselementen können die aktuell ausgewählten Knoten (Abs. 7.14.7, S. 102), Stäbe oder Lastbilder (von links nach rechts) oder alle aktuell ausgewählten Objekte gemeinsam abgewählt werden. Dieselben Funktionen werden über ein gleich lautendes Menü angeboten.

7.14.11 Ende der grafischen Eingabe



mit Angaben zum (nachfolgenden) Rechenlauf.

Wird der links dargestellte Button angeklickt, so erscheint ein abschließendes Eigenschaftsblatt auf dem Sichtgerät, in dem letzte Einstellungen bzgl. des Rechenlaufs erfolgen können.

Sind in der aktuellen Sitzung keine Änderungen vorgenommen worden oder sollen die durchgeführten Änderungen/Ergänzungen der aktuellen Sitzung nicht abgespeichert werden, so sollte der logische ***abspeichern***-Button gelöst werden. In diesem Fall sind keine weiteren Angaben erforderlich.

Nach Drücken des ***Datencheck***-Buttons (Abs. 7.14.1, S. 99) findet eine ausführliche Überprüfung der bisher erfolgten Angaben im Sinne einer erfolgreichen Berechnung statt. Entsprechende Warnungen und Fehlermeldungen werden ausgegeben.

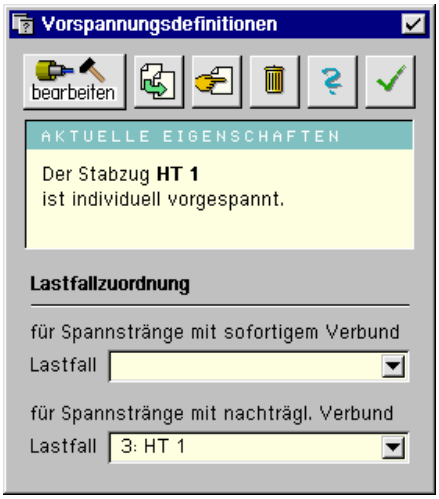
Zu den weiteren Bearbeitungsschritten s. Programmsteuerung Abs. 6, S. 37.

7.15 Vorspannung

7.15.1 Eingabemodul aufrufen

Nach Aufruf der Vorspannungsdefinitionen über den Button ***Gruppen ändern*** erscheint das dargestellte Eigenschaftsblatt zur Verwaltung der Definitionen vorgespannter Stabzüge.

Klicken Sie auf den nebenstehend dargestellten Button, um die Vorspannungseigenschaften des ausgewählten Stabzugs zu bearbeiten. Es wird sodann das Vorspannungsmodul gestartet, mit dessen Hilfe Sie Spannstränge erzeugen bzw. löschen, die Geometrie der Spannstrangverläufe modellieren und den definierten Spannsträngen Spanngliedtypen (Spannverfahren) und Spannvorgänge zuordnen können.



Klicken Sie auf den nebenstehend dargestellten Button, um die Vorspannungsdefinitionen von einem anderen (bereits vorgespannten) Stabzug zu übernehmen. Hierdurch wird dem aktuell ausgewählten Stabzug eine Kopie des vorgespannten Stabzugs übergeben, die (durch Anklicken des o.a. ***bearbeiten***-Buttons) verändert und dem ausgewählten Stabzug angepasst werden kann.

Klicken Sie auf den nebenstehend dargestellten Button, um eine Klonbeziehung (Abs. 7.15.2) zu erzeugen. Der aktuell ausgewählte Stabzug erhält hierdurch Vorspannungsdefinitionen per Verweis. D.h., das Eingabemodul merkt sich, dass der ausgewählte Stabzug genau dieselben Vorspannungsdefinitionen besitzt wie ein anderer Stabzug. Dies gilt insbesondere auch bei späteren Änderungen des Originalstabzugs.

Klicken Sie auf den nebenstehend dargestellten Button, um Vorspannungsdefinitionen zu löschen. Der Stabzug verhält sich dann wie ein nicht vorgespannter Stabzug.

Im mittleren Bereich des Eigenschaftsblatts sind die aktuellen Eigenschaften des ausgewählten Stabzugs angegeben.

Unter *Lastfallzuordnung* muss die Vorspannungseigenschaft des ausgewählten Stabzugs letztlich noch einem Lastfall zugeordnet werden. In den beiden Auswahllisten werden hierzu die in Frage kommenden Lastfälle zur Auswahl angeboten. Es sind dies nur die Lastfälle, die sich in brückenbauspezifischen Lastfallordnern mit entsprechender Vorspannungstypisierung befinden. Es empfiehlt sich deshalb, vor der Bearbeitung der Vorspannungseigenschaften Einwirkungen und Lastfälle einzurichten.

7.15.2 Kopie oder Klon

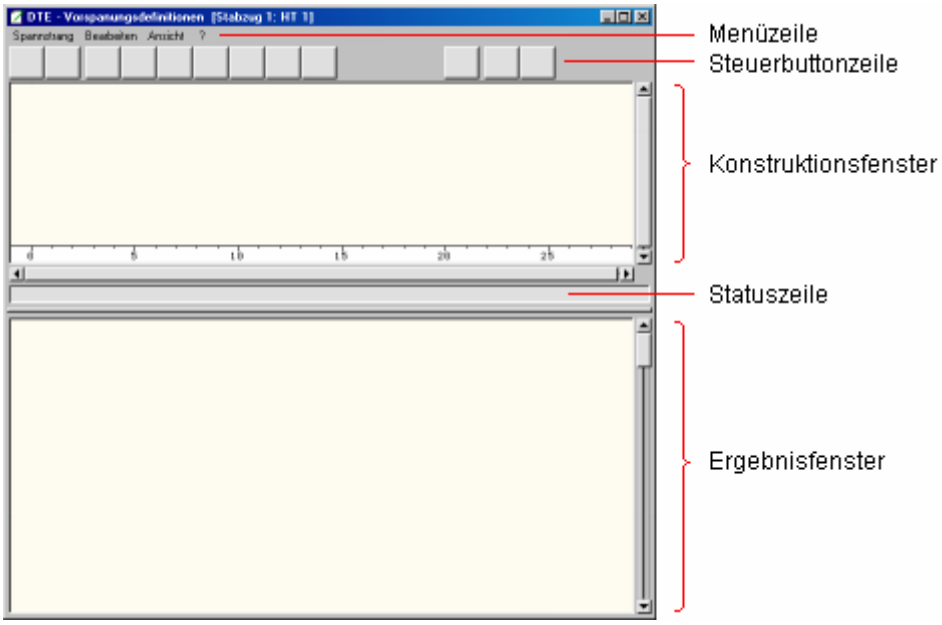
Das Eingabemodul bietet dem Benutzer an, Kopien bzw. Klone zu definieren. Immer wenn ein Stabzug über dieselben Vorspannungseigenschaften verfügen soll wie ein anderer Stabzug, stellt sich die Frage, ob man die bereits definierten Eigenschaften klonen oder kopieren soll.

Bei der Erzeugung einer Kopie werden die Vorspannungseigenschaften des Originalstabzugs dem aktuellen Stabzug in einer Kopie untergeschoben. Nach der Kopieraktion verfügt der aktuelle Stabzug über eigenständige Vorspannungseigenschaften, die denen des Originals entsprechen und nach Belieben geändert werden können. Diese Änderungen gelten dann nur für den aktuellen Stabzug.

Bei der Erzeugung eines Klons bekommt der aktuelle Stabzug nur einen Verweis auf die Eigenschaften des Originals. Wenn sich im Nachhinein die Originaleigenschaften ändern, ändern sich automatisch auch die Vorspannungseigenschaften des Klons. Dies lässt sich mit Vorteil bei parallel verlaufenden mehrstegigen Plattenbalken nutzen. Änderungen im Vorspannungsverlauf, im Spannverfahren oder in der Definition der Spannvorgänge brauchen nur einmal (am Original) vorgenommen zu werden. Es ist allerdings zu beachten, dass die Stabzüge absolut identisch sein müssen! Dies betrifft insbesondere die Stabeinteilung sowie die Längen und Ausrichtungen der Einzelstäbe.

7.15.3 Eingabeoberfläche und Interaktionselemente

Im grafischen Eingabemodul zur Bearbeitung der Vorspannungseigenschaften werden dem aktuell ausgewählten Stabzug Spannstränge zugeordnet.



Mit den Funktionen der Menüs in der Menüzeile und der Steuerbuttons wird das Programm gesteuert. Die Symbole der Steuerbuttons bedeuten im Einzelnen

erzeuge einen neuen Spannstrang (Abs. 7.15.5, S. 109)

bearbeite Tabelle aller definierten Spannstränge (Abs. 7.15.9, S. 112)

Spannstrang verschieben und kopieren

Spannstrang spiegeln und kopieren

Ansichtwechsel im Konstruktionsfenster von Seitenans. zu Draufs. (Abs. 7.15.17, S. 114)

Überhöhungsfaktor festlegen (Abs. 7.15.16, S. 114)

Ausschnitt vergrößern = Zoom-Rechteck durch Umfahren auswählen

zum vorangegangenen Zoomausschnitt zurückkehren

Zoomausschnitt auf *alle Objekte* zurücksetzen

Darstellungseigenschaften bearbeiten (Abs. 7.15.14, S. 113)

Drucklistenvorschau starten

letzte Aktion rückgängig machen (Undo)

aktuellen Datenzustand speichern

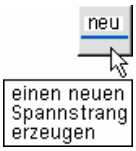
Hilfedokument aufrufen

Datenzustand sichern und Bearbeitung beenden

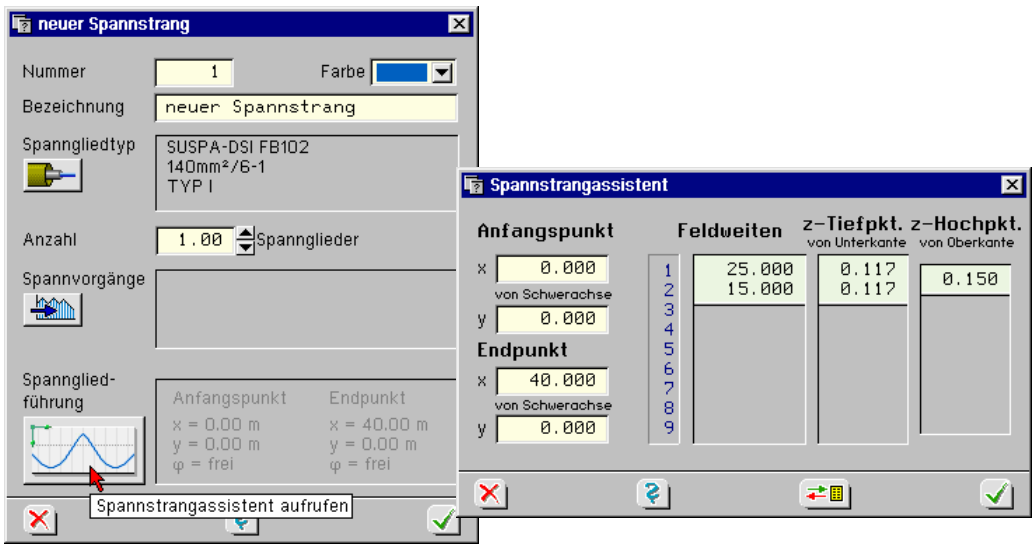
Die Menüfunktionen (RMT drücken)
Spannstrang → *aktiven Spannstrang* → *verschieben* (Abs. 7.15.12, S. 113) und
Spannstrang → *aktiven Spannstrang* → *spiegeln* (Abs. 7.15.13, S. 113)
verfügen über einen Kopiermechanismus.

7.15.4 Vorgehensweise Spannstrangeingabe

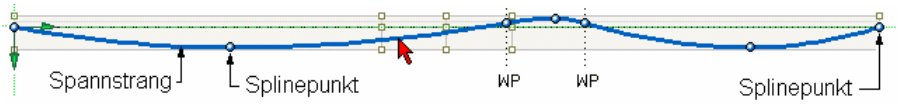
Im Folgenden wird die Erzeugung und Bearbeitung eines Spannstrangs hinsichtlich seiner geometrischen Form am Beispiel erläutert. Führen Sie die *blau und kursiv* dargestellten Anweisungen durch, um am Beispiel die Reaktionsweise des Programms kennenzulernen.



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



Hier kann der ***Spannstrangassistent*** zur tabellarischen Eingabe der Stranggeometrie aufgerufen werden. Nach Vorgabe der Feldweiten mit den zugehörigen Tiefpunktordinaten in Feldmitte und der Hochpunktlage über der Stütze erscheint nach Bestätigen des Eigenschaftsblatts der Spannstrang im Konstruktionsfenster.



Klicken Sie nun auf den Spannstrang. Es erscheint ein Fenster mit weiteren Steuerbuttons zur Bearbeitung des angeklickten Spannstranges. Hiermit können Sie

die Basisdaten des ausgewählten Spannstrangs bearbeiten (Abs. 7.15.7, S. 110)

die Spanngliedeigenschaften des Spannstrangs festlegen/ändern (Abs. 7.15.9, S. 112)

die Spannvorgänge des Spannstrangs kontrollieren (Abs. 7.15.10, S. 112)

einen neuen Splinepunkt im Spannstrang erzeugen

eine Gerade im angeklickten Spannstrangabschnitt erzwingen

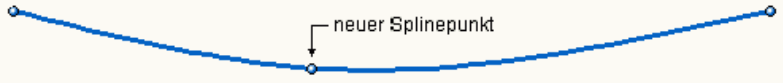
den ausgewählten Spannstrang löschen

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

Der Splinepunkt erscheint an der Stelle, an der Sie den Spannstrang angeklickt haben.

Fahren Sie nun den Mauszeiger über den neuen Splinepunkt und verschieben Sie ihn (linke Maustaste gedrückt haltend) aus der Geraden heraus.

Das Ergebnis sollte der nachfolgend dargestellten Grafik ähnlich sein.



Wiederholen Sie die Aktionen

- Spannstrang anklicken
- Splinepunkt erzeugen und
- Splinepunkt verschieben

noch einige Male und modellieren hierdurch die Spannstranggeometrie nach Ihren Wünschen.

Das Ergebnis könnte nun z.B. so aussehen.

Theoretischer Einschub Der so definierte Spannstrang stellt geometrisch die Figur eines natürlichen, kubischen Splines dar. Mathematisch bedeutet dies, dass Parabeln 3. Grades zwischen die Splinepunkte eingehängt werden. Diese Parabeln sorgen in den Splinepunkten für einen stetigen Übergang (erste Ableitung = konstant). Ihre zweite Ableitung ist an den Spannstrangenden = 0. Weiterhin gilt für das Integral über einen Spline

$$\int_0^l y''^2(x)\,dx \Rightarrow \text{minimal} \quad \text{...mit...} \quad l \text{ als Länge des Spannstrangs}$$

Bedenkt man, dass sich die Krümmung des Spannstrangs nach der Formel

$$\kappa = \frac{y''}{\left(1+y'^2\right)^{3/2}}$$

berechnet – die Spanngliedneigung y' aber i.d.R. deutlich < 1 ist, so erkennt man, dass kubische Splines die Biegungsenergie minimieren. Dies ist oftmals erwünscht, da

1. der zulässige Mindestradius eines Spannglieds nicht unterschritten werden darf und
2. große Krümmungen mit großen Reibungsverlusten einhergehen.

Im Ergebnisfenster können die Auswirkungen der Aktionen synchron zur Bearbeitung studiert werden. Hier werden Krümmungs- und Spannkraftverläufe, sowie die sich ergebenden Umlenkkräfte dargestellt. Näheres s. Darstellungsoptionen (Abs. 7.15.14, S. 113).

I.d.R. werden große Krümmungen aber doch benötigt, da sie entsprechend große Umlenkkräfte wecken. Aus diesem Grunde kann der bis hierher festgelegte Spline weiter modifiziert werden.

Die Parameter sämtlicher Parabeln 3. Grades eines Splines berechnen sich aus einem Gleichungssystem, in das alle Splinepunktkoordinaten einfließen. Dies hat zur Folge, dass sich sämtliche Splineabschnitte ändern, wenn ein Splinepunkt verschoben wird. Dies kann durch extremes manuelles Verschieben eines Splinepunkts im Darstellungsfenster studiert werden.

Weitere Informationen zu den natürlichen, kubischen Splines finden sich in der Literatur; s. z.B. Numerische Mathematik für Ingenieure, G. Jordan-Engeln/F. Reutter, BI Hochschultaschenbücher Band 104, zweite überarbeitete Auflage, S. 227 ff.

Einschub Ende

Jedes Mal, wenn ein Splinepunkt angeklickt wird, erscheint ein kleines Fenster mit weiteren Steuerbuttons, mit denen der Splinepunkt modelliert werden kann. Es bedeuten

Splinepunkt numerisch bearbeiten (Abs. 7.15.8, S. 111)

Splinepunkt manuell (mit der Maus) horizontal verschieben

Splinepunkt manuell (mit der Maus) vertikal verschieben

Splinepunkt löschen

die Spannstrangneigung im Splinepunkt so verdrehen, dass sich auf der rechten Seite eine Parabel 2. Grades einstellt

die Spannstrangneigung im Splinepunkt auf Null setzen (praktisch zur Definition von Tief- bzw. Hochpunkten)

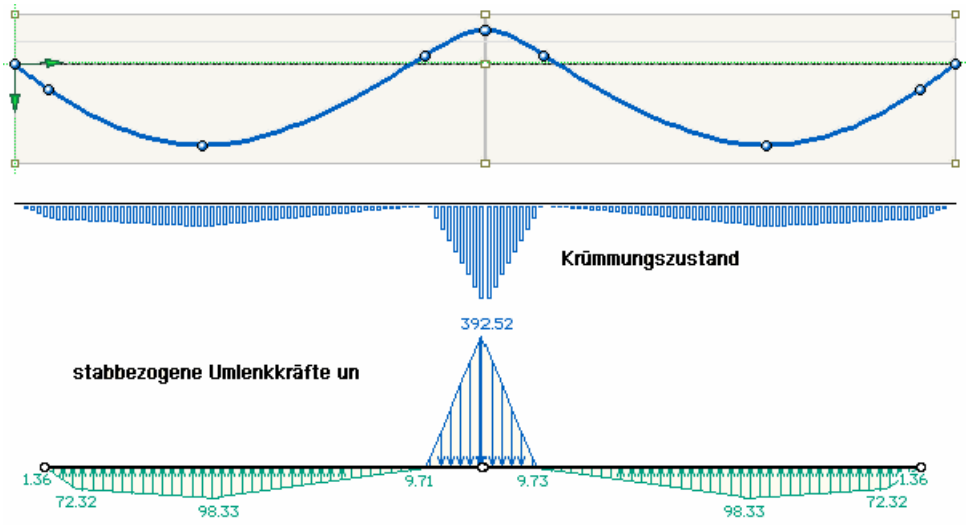
die Spannstrangneigung im Splinepunkt so verdrehen, dass sich auf der linken Seite eine Parabel 2. Grades einstellt

Y-Koordinate und Spannstrangneigung im Splinepunkt so festlegen, dass sich auf der linken Seite eine Gerade und auf der rechten Seite eine Parabel 2. Grades einstellt

Y-Koordinate und Spannstrangneigung im Splinepunkt so festlegen, dass sich auf der linken und rechten Seite eine Parabel 2. Grades einstellen (WP)

Y-Koordinate und Spannstrangneigung im Splinepunkt so festlegen, dass sich auf der rechten Seite eine Gerade und auf der linken Seite eine Parabel 2. Grades einstellen

Gegeben sei der nachfolgend dargestellte symmetrische Spannstrangverlauf mit seinem Krümmungszustand und den berechneten stabbezogenen Umlenkkräften. Zur Erreichung der Symmetrie wurden die Splinepunktkoordinaten exakt numerisch festgelegt (Abs. 7.15.8, S. 111) und die Spannvorgänge (Abs. 7.15.10, S. 112) als beidseitig vorgespannt mit V/zulV = 1.0 vorgegeben. Es handelt sich hierbei um einen reinen kubischen Spline, der den oben angegebenen theoretischen Betrachtungen entspricht.



Klicken Sie auf den mittleren Splinepunkt (Hochpunkt) und danach auf den nebenstehend dargestellten Button.

Hierdurch wird die Spanngliedneigung y' = 0 festgelegt. Das System protokolliert dies durch ein Zusatzsymbol am Splinepunkt, das einen von einer Hand gehaltenen Schraubenschlüssel darstellt.

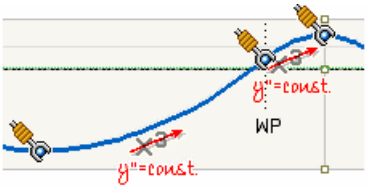
Programmintern wird durch die o.g. Operation der natürliche Spline geteilt. Es entstehen zwei (nicht natürliche) Splines (einer links und einer rechts vom Haltepunkt), die im Haltepunkt dieselbe Neigung (hier = 0) haben. Dies wirkt sich auch auf die Interaktion aus. Wird nun nämlich ein Splinepunkt links oder rechts vom festgehaltenen Punkt manuell verschoben, wirkt sich diese Verschiebung nur noch auf die Abschnitte des zugehörigen Teilsplines aus. Dies kann man sich zu Nutze machen, um Auswirkungen von Verschiebeaktionen lokal zu begrenzen.

Führen Sie dieselbe Operation auch mit den Tiefpunkten durch.

Keine Angst vor falschen Buttonklicks! Jede der hier vorgestellten Aktionen kann rückgängig gemacht werden, wenn sie sich im Nachhinein als falsch erweist. Nutzen Sie hierzu den nebenstehend dargestellten Button, der sich in der Hauptsteuerleiste des Fensters befindet.

Klicken Sie auf einen der beiden dem Hochpunkt benachbarten Punkte und dann auf den nebenstehend dargestellten Button.

Hierdurch werden die y-Koordinate und die Spanngliedneigung des Spannstrangs im Splinepunkt so festgelegt, dass auf beiden Seiten des angeklickten Splinepunkts eine Parabel 2. Grades entsteht.



Da die Krümmungen der so erzeugten Parabeln unterschiedliche Vorzeichen haben, wird hierdurch ein klassischer Wendepunkt (WP) definiert. Das System protokolliert die Aktion durch Zusatzsymbole an den Splineabschnitten zur Kennzeichnung einer Parabel 2. Grades (y" = const) sowie durch das WP-Symbol wie unten angegeben.

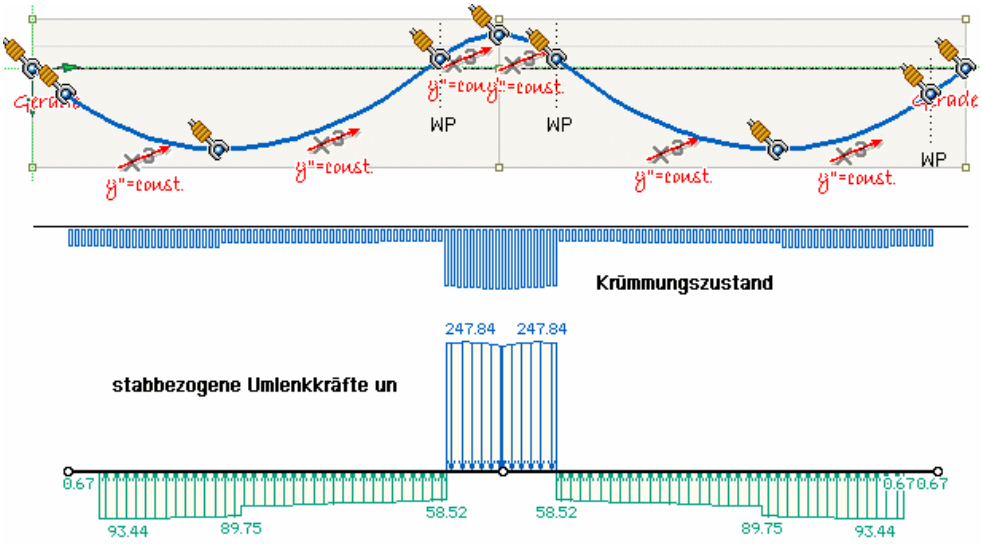
Führen Sie dieselbe Operation auch mit dem anderen Wendepunkt durch.

Klicken Sie nun auf den zweiten Splinepunkt (in der Nähe des Spannstranganfangs) und anschließend auf den nebenstehend dargestellten Button.

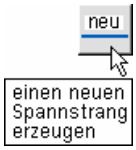
Hierdurch werden die y-Koordinate und die Spanngliedneigung des Spannstranges im Splinepunkt so festgelegt, dass auf der rechten Seite eine Gerade und auf der linken Seite eine Parabel 2. Grades entsteht. Das Programm kennzeichnet dies entsprechend.

Führen Sie dieselbe Operation (sinngemäß) auch mit dem vorletzten Splinepunkt am Ende des Spannstrangs durch.

Nach diesen Aktionen erhalten Sie wiederum ein symmetrisches System, das nun jedoch nicht mehr über die Eigenschaften eines Splines verfügt. Vielmehr handelt es sich hier um eine Kurve, die stückweise aus Geraden und Parabeln 2. Grades zusammengesetzt ist. Da die zweite Ableitung einer Parabel 2. Grades konstant ist, erhalten wir stückweise nahezu konstante Krümmungsabschnitte und Umlenkkraftblöcke, was die nachfolgende Darstellung im Vergleich zum Ausgangssystem anzeigt.



7.15.5 (neuen) Spannstrang erzeugen

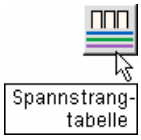


Nach Anklicken des dargestellten Buttons, erscheint ein Eigenschaftsblatt auf dem Sichtgerät, mit dessen Hilfe Sie den neu zu erzeugenden Spannstrang definieren können. Legen Sie hier Nummer und Name des Spannstrangs fest. Ordnen Sie dem Spannstrang eine individuelle Farbe zu. Legen Sie ggf. die Koordinaten des Anfangs- und Endpunkts des Strangs fest. Ordnen Sie dem Spannstrang einen Spanngliedtyp zu. Legen Sie fest, wie viele Spannglieder des gewählten Typs zum Spannstrang gehören. Definieren Sie die dem Spannstrang zuzuordnenden Spannvorgänge.

Alle hier vorgenommenen Festlegungen können selbstverständlich zu einem späteren Zeitpunkt geändert werden.

Bei Bestätigen des Eigenschaftsblatts (✓-Button anklicken) erscheint der Spannstrang in der gewählten Farbe im Konstruktionsfenster des Programms.

7.15.6 Spannstränge tabellarisch bearbeiten



Wird der dargestellte Button angeklickt, erscheint das nachfolgend dargestellte Eigenschaftsblatt, in dem sämtliche aktuell definierten Spannstränge in einer Tabelle aufgelistet sind.

Die hier aufgelisteten Spannstränge können per Mausklick ausgewählt werden. Zur Kennzeichnung eines ausgewählten Spannstrangs wird dieser mit gelber Farbe hinterlegt. Ein ausgewählter Spannstrang kann mit den nachfolgend beschriebenen Buttons bearbeitet werden.

die Basisdaten des ausgewählten Spannstrangs bearbeiten (Abs. 7.15.7, S. 110)

die Spanngliedeigenschaften des Spannstrangs festlegen/ändern (Abs. 7.15.9, S. 112)

die Spannvorgänge des Spannstrangs kontrollieren (Abs. 7.15.10, S. 112)

ausgewählten Spannstrang löschen

Jedem Spannstrang sind im rechten Bereich in drei Spalten angeordnete Kontrollkästchen zugeordnet.

Das Kontrollkästchen unter dem Auge legt fest, ob der Spannstrang im Konstruktionsfenster dargestellt wird oder nicht. Hierdurch haben Sie die Möglichkeit, einen bereits bearbeiteten Spannstrang im Konstruktionsfenster auszublenden, was die Übersichtlichkeit bei der interaktiven Bearbeitung anderer Stränge erhöhen kann.

Das Kontrollkästchen unter dem Stern legt fest, welcher Spannstrang im Konstruktionsfenster ausgewählt ist. Im Konstruktionsfenster ist immer nur ein Sp. ausgewählt; es wird fett dargestellt und hat bei einem Mausklick höchste Priorität.

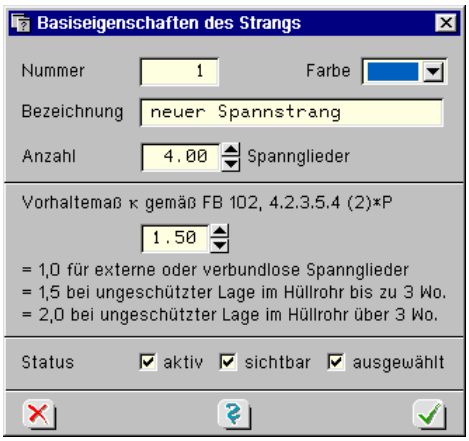
Das Kontrollkästchen unter den Pfeilen legt fest, ob der zugeordnete Spannstrang aktuell aktiviert oder deaktiviert ist. Deaktivierte Spannstränge werden vom Rechenprogramm ignoriert.

Klicken Sie auf die RMT, um ein kontextsensitives Menü zu rufen. Hiermit können Sie

- alle Spannstränge (gleichzeitig) auf sichtbar bzw. unsichtbar schalten
- alle Spannstränge (gleichzeitig) aktivieren bzw. deaktivieren
- eine automatische Umnummerierung der Spannstränge initiieren

7.15.7 Spannstrangbasisdaten

Zu den Basisdaten eines Spannstrangs gehören seine Nummer, Bezeichnung, die Farbe, in der der Spannstrang im Konstruktionsfenster dargestellt wird, und die Anzahl der Spannglieder vom ausgewählten Spanngliedtyp.



Das ***Vorhaltemaß*** ist ein Parameter zum Nachweis der Überspannreserve (Abs. 0, S. 113).

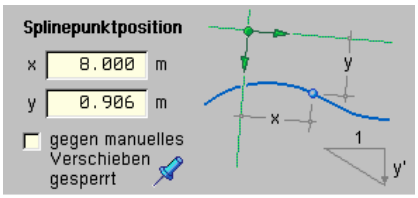
Weiterhin wird unter ***Status*** festgelegt, ob der Spannstrang aktuell aktiviert, sichtbar und ausgewählt ist.

Deaktivierte Spannstränge werden vom Rechenprogramm ignoriert. Durch Abwählen der Sicht-

barkeit eines bereits bearbeiteten Spannstrangs wird dieser im Konstruktionsfenster ausgeblendet, was die Übersichtlichkeit bei der interaktiven Bearbeitung anderer Stränge erhöhen kann. Im Konstruktionsfenster ist immer nur ein Sp. ausgewählt; er wird fett dargestellt und hat bei einem Mausklick höchste Priorität.

7.15.8 Splinepunkteigenschaften numerisch bearbeiten

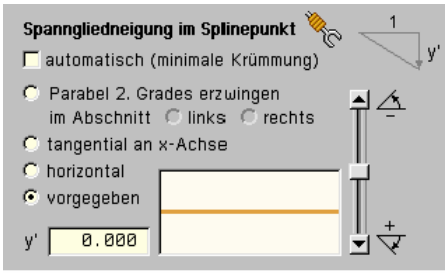
Wird ein Splinepunkt und dann der dargestellte Button angeklickt, erscheint ein Eigenschaftsblatt zur Bearbeitung der geometrischen Eigenschaften des Splinepunkts auf dem Sichtgerät.



Hier können die Koordinaten des Splinepunkts auf den Millimeter genau festgelegt werden. Diese Koordinaten können durch Aktivierung des Kontrollkästchens unter den Eingabefeldern gegen versehentliches manuelles Verschieben gesperrt werden.

Die Koordinaten beziehen sich immer auf die aktuelle Lage des Konstruktionskoordinatensystems (KKS) (Abs. 7.15.17, S. 114).

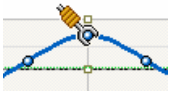
Der untere Teil des Eigenschaftsblatts befasst sich mit der Neigung y' des Spannglieds. Normalerweise (voreingestellt) steht diese auf ***automatisch***. Dies besagt, dass sich die Neigung des Spannstrangs im Splinepunkt aus der Splineberechnung derart ergibt, dass das Integral über die Krümmung minimal wird. Näheres hierzu s. Theoretischer Einschub S. 107.



Wollen Sie spezielle Angaben zur Spanngliedneigung machen, so klicken Sie auf ***automatisch***, um den Kontrollhaken zu lösen. Sie haben nun die Möglichkeit, die Neigung des Spannglieds im Splinepunkt so festzulegen

- dass rechts oder links vom Splinepunkt eine Parabel zweiten Grades entsteht
- dass sich der Spannstrang tangential an die x–Achse des KKS anlegt
- dass sich eine Horizontale (y' = 0) einstellt oder
- dass y' eine zahlenmäßig vorgegebene Größe annimmt

Im letztgenannten Fall können Sie durch Bewegen des ***scroll***-Buttons eine optische Einjustierung vornehmen.



Steht die Einstellung der Spanngliedneigung nicht auf ***automatisch***, wird dies im Konstruktionsfenster mit einem Zusatzsymbol am Splinepunkt protokolliert, das einen von einer Hand gehaltenen Schraubenschlüssel darstellt.

Die Spanngliedneigung eines Splinepunkts wird auch durch andere Aktionen beeinflusst. Es sind dies die Klicks auf die nachfolgend dargestellten Buttons

bei Anklicken eines Spanngliedabschnittes aktivierbar

bei Anklicken eines Splinepunkts aktivierbar

Die letzten drei dargestellten Buttons verändern zusätzlich auch die y-Koordinate des Splinepunkts. Näheres hierzu s. S. 107 f.

7.15.9 Spanngliedeigenschaften bearbeiten

Wird der nebenstehend dargestellte Button angeklickt, erscheint ein Eigenschaftsblatt auf dem Sichtgerät, in dem die Eigenschaften des Spanngliedes (der Spanngliedtyp bzw. das Spannverfahren) eingesehen und verändert werden können.

Hierin werden drei Auswahllisten angeboten, die von oben nach unten zu bedienen sind. Wählen Sie zunächst den Hersteller des Spannverfahrens aus. In der darunter liegenden Auswahlliste erscheinen die Spanngliedtypen, die vom ausgewählten Hersteller angeboten werden. Nach Auswahl des Spanngliedtyps werden in der dritten Auswahlliste die Hüllrohre eingeblendet, die beim gewählten Spanngliedtyp verwendet werden können. Handelt es sich hierbei um ein ovales Hüllrohr, kann die Lage (Ausrichtung) des Hüllrohrs (vertikal oder horizontal) ausgewählt werden.

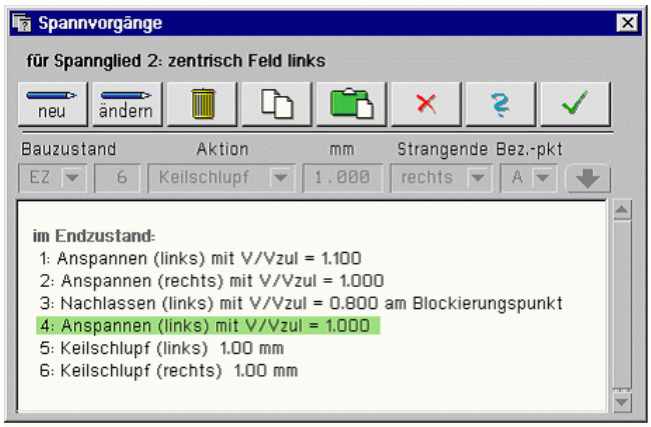
Im Fenster auf der rechten Seite finden Sie die Vorspanneigenschaften der aktuellen Auswahl.

Die Spannverfahren werden von einem separaten **pcae**-Programm verwaltet. Dieses Programm befindet sich in der Schublade des DTE®-Schreibtischs und ist in der Lage, auch benutzerdefinierte Spannverfahren in seine Bibliothek zu integrieren. Klicken Sie auf das dargestellte Symbol, um das Verwaltungsprogramm für die Spannverfahren aufzurufen.

Bei Bestätigen des Eigenschaftsblatts (✓-Button anklicken) wird die aktuelle Auswahl vom ausgewählten Spannstrang übernommen.

7.15.10 Spannvorgänge

Wird der nebenstehend dargestellte Button angeklickt, erscheint ein Eigenschaftsblatt auf dem Sichtgerät, in dem die Spannvorgänge des Spannstrangs eingesehen und verändert werden können.



Im unteren Teil des Eigenschaftsblatts sind die aktuell definierten Spannvorgänge aufgelistet. Durch Anklicken kann ein Vorgang ausgewählt werden. Ein ausgewählter Vorgang wird grün hinterlegt dargestellt.

Die Buttons in der oberen Buttonzeile steuern die Aktionen im Eigenschaftsblatt.

leitet die Erzeugung eines neuen Vorgangs ein

ermöglicht die Änderung des ausgewählten Vorgangs

löscht den ausgewählten Vorgang

kopiert alle aktuell definierten Vorgänge in die programminterne Ablage

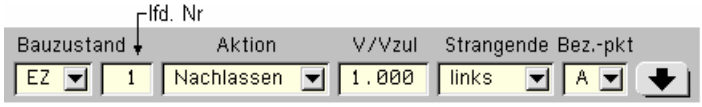
überschreibt die aktuellen Vorgänge mit dem Inhalt der Ablage

bricht die Bearbeitung der Spannvorgänge ohne Änderung ab

ruft den Hilfetext hervor

beendet die Bearbeitung der Spannvorgänge mit Übernahme der Änderungen

Bei Neuerzeugung bzw. Änderung eines Spannvorgangs wird die Editierzeile aktiviert.



Der Eintrag *Bauzustand* dient späteren Programmerweiterungen. Hier kann aktuell nur EZ (= Endzustand) ausgewählt werden. Die lfd. Nr. legt die Reihenfolge der Vorgänge und das Auftauchen des Vorgangs im unteren Teil des Eigenschaftsblatts fest. Als Aktionen können *Vorspannen*, *Nachlassen* oder *Keilschlupf* ausgewählt werden.

Die folgenden Einträge spezifizieren die gewählte Aktion näher.

Anspannvorgänge

Schon bei der Eingabe der Spannglieder wird automatisch der Nachweis der ***Überspannreserve*** gemäß DIN Fachbericht 102, 4.2.3.5.4 (2)*P, geführt. Das Vorhaltemaß wird im Eingabefenster der Basisdaten des Spannstrangs vorgegeben (Abs. 7.15.7, S. 110). Der Nachweis wird automatisch vom Programm für jeden Anspannvorgang geführt.

Spannvorgänge und Überspannreserve mit Vorhaltemaß $\kappa = 1.50$

Nr.	Vorgang	ΔS_{links} mm	ΔS_{rechts} mm	$\Sigma\ \gamma$ Rad	$P_{0,max}$ KN
1	Anspannen rechts mit P/Pzul = 0.940 => Po = 2012.5 KN		307.55	1.04376	2032.6 ≥ P_0
2	Anspannen links mit P/Pzul = 0.980 => Po = 2098.2 KN	25.45		0.62215	2124.6 ≥ P_0
3	Anspannen rechts mit P/Pzul = 0.990 => Po = 2119.6 KN		8.62	0.56209	2138.0 ≥ P_0
4	Anspannen links mit P/Pzul = 0.990 => Po = 2119.6 KN	1.73		0.52188	2147.1 ≥ P_0
5	Anspannen rechts mit P/Pzul = 1.000 => Po = 2141.0 KN		1.74	0.54605	2141.6 ≥ P_0
6	Anspannen links mit P/Pzul = 1.000 => Po = 2141.0 KN	1.73		0.52188	2147.1 ≥ P_0

Bei Vorspannung mit sofortigem Verbund muss beachtet werden, dass die Vorspannkraft, die hier eingegeben wird, nicht der Spannbettkraft entspricht, sondern der, die sich nach dem Durchtrennen der Litzen und der daraus resultierenden Betonverkürzung einstellt!

Die Erzeugung bzw. Änderung wird mit Betätigung des ⬇ -Buttons wirksam.

7.15.11 Nummerierung der definierten Spannstränge

Befindet sich die Interaktion in der tabellarischen Bearbeitung der Spannstränge (Abs. 7.15.9, S. 112), kann mit Hilfe der rechten Maustaste ein kontextsensitives Menü hervorgerufen werden, das eine automatische Umnummerierung der definierten Spannstränge durchführt.

7.15.12 ausgewählten Spannstrang verschieben

Mit Hilfe der Menüfunktion *Spannstrang → aktiven Spannstrang → verschieben* wird das Verschieben des aktuell ausgewählten (im Konstruktionsfenster dick dargestellten) Spannstrangs eingeleitet. Es erscheint ein Eigenschaftsblatt, in dem die Verschiebungsinkremente angegeben werden können.

Durch Aktivierung des Kontrollkästchens *auf Duplikat anwenden* wird bei Bestätigen des Eigenschaftsblatts an Stelle des Originals eine zuvor erzeugte Kopie verschoben.

7.15.13 ausgewählten Spannstrang spiegeln

Mit der Menüfunktion *Spannstrang → aktiven Spannstrang → spiegeln* wird die Spiegelung des aktuell ausgewählten (im Konstruktionsfenster dick dargestellten) Spannstrangs eingeleitet. Es erscheint ein Eigenschaftsblatt, in dem die Form der Spiegelung ausgewählt werden kann.

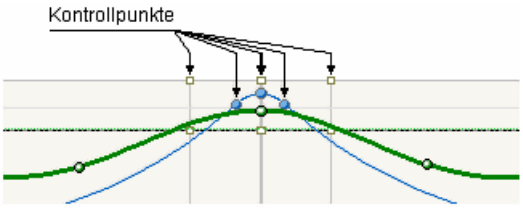
Durch Aktivierung des Kontrollkästchens *auf Duplikat anwenden* wird bei Bestätigen des Eigenschaftsblatts an Stelle des Originals eine zuvor erzeugte Kopie verschoben.

7.15.14 Darstellungseigenschaften

Wird der nebenstehend dargestellte Button angeklickt, erscheint ein Eigenschaftsblatt zur Bearbeitung der Darstellungseigenschaften des Vorspannungsmoduls auf dem Sichtgerät.

So kann z.B. im Konstruktionsfenster das horizontal liegende Lineal zum Einmessen der Splinepunkte ein- bzw. ausgeblendet werden. Die Sonderzustände kennzeichnenden Zusatzsymbole können deaktiviert werden. Ist die Kontrollpunktanziehung aktiviert, wird ein manuell verschobener Splinepunkt beim Loslassen der Maustaste von einem in der Nähe liegenden Kon-

trollpunkt gefangen. Kontrollpunkte sind hierbei Splinepunkte anderer Spannstränge sowie markante Punkte der Stabquerschnitte.



Im Ergebnisfenster können diverse Grafiken an- bzw. abgeschaltet werden. Ist das Kontrollkästchen *Grafiken „online“ aktualisieren* aktiviert, reagieren die Grafiken im Ergebnisfenster auch bei der manuellen Splinepunktverschiebung. Dies ermöglicht etwa, einen Splinepunkt manuell soweit zu verschieben bis die zulässige Krümmung des Spannstrangs erreicht ist. Ist dieser Modus deaktiviert, werden die Grafiken im Ergebnisfenster erst nach Loslassen der Maustaste aktualisiert. Letztgenannte Einstellung bietet sich ggf. bei sehr langsamen Rechnern an.

7.15.15 Undo-Service

Jede durchgeführte Aktion kann rückgängig gemacht werden. Klicken Sie hierzu auf den nebenstehend dargestellten Button. Wird der Button im fortgeschrittenen Bearbeitungsstadium mehrfach hintereinander angeklickt, kann der Benutzer entscheiden, ob eine weiter zurückliegende Aktion rückgängig gemacht (multi-Level-undo) oder die zuletzt rückgängig gemachte Aktion wieder hergestellt werden soll (redo).

Der undo-Service verwaltet bis zu 10 undo-Level. Diese Eigenschaft kann unter dem Menüpunkt *bearbeiten → undo-Einstellungen* geändert werden (s. Abs. 7.14.3, S. 100). **pcae** empfiehlt, es bei den voreingestellten Einstellungen zu belassen.

7.15.16 Einstellung einer überhöhten Darstellung

Insbesondere bei sehr schlanken Bauteilen ist es von Vorteil, im Konstruktionsfenster in überhöhter Darstellung zu arbeiten. Zur Festlegung des Überhöhungsfaktors h/b klicken Sie bitte auf den nebenstehend dargestellten Button.

S. auch das Konstruktionskoordinatensystem (Abs. 7.15.17).

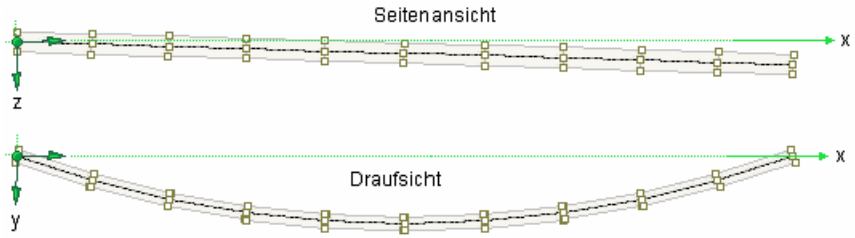
7.15.17 Konstruktionskoordinatensystem

Das globale Koordinatensystem liegt im globalen Anfangsknoten des ersten Stabes des Stabzugs. Die globale x-Achse zeigt in Richtung Endknoten des letzten Stabes des Stabzugs, liegt jedoch grundsätzlich horizontal, so dass die globale z-Achse immer nach unten zeigt. Die y-Achse steht senkrecht auf x und z und liegt ebenfalls horizontal.

Im Konstruktionsfenster kann durch Anklicken des nebenstehenden Buttons zwischen den Ansichten *Seitenansicht* und *Draufsicht* hin- und hergeschaltet werden.

Um die Definition des globalen Koordinatensystems zu verdeutlichen, stelle man sich eine Brücke vor, die mit einem konstanten Gefälle (in der Fahrt von Anfangsknoten zum Endknoten) versehen ist und in der der Fahrer eine konstante Linkskurve fährt.

In den beiden hier vorgestellten Ansichten stellt sich diese Brücke in etwa wie folgt dar.

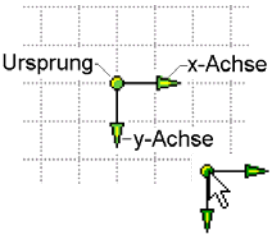


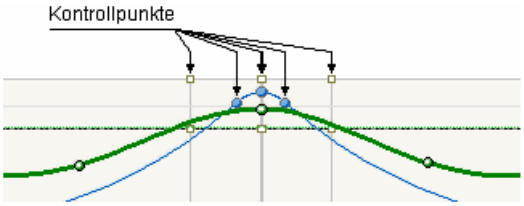
Die Definition des globalen Koordinatensystems wurde wohlüberlegt wie oben beschrieben gewählt. Zur numerischen Festlegung der Koordinaten von Splinepunkten ist diese Definition jedoch willkürlich - zumindest aber oftmals unhandlich. Aus diesem Grunde wurde das Konstruktionskoordinatensystem (KKS) erfunden, dessen Lage und Ausrichtung der Benutzer jederzeit nach Belieben festlegen kann.

Bei Programmstart ist das KKS mit dem globalen Koordinatensystem identisch.

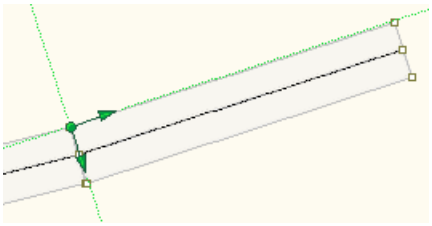
Das Konstruktionskoordinatensystem (KKS)

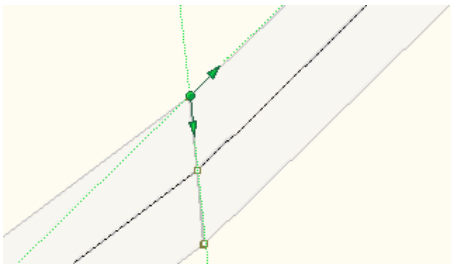
Um das KKS zu verschieben, fahren Sie den Mauszeiger über den Ursprung des KKS und verschieben es mit gedrückt gehaltener linker Maustaste. Befindet sich das KKS beim Loslassen der Maustaste in unmittelbarer Nähe eines Kontrollpunkts, wird es vom Kontrollpunkt gefangen. D.h. das KKS nimmt die exakte Position des Kontrollpunkts ein. Kontrollpunkte sind hierbei definierte Splinepunkte sowie markante Punkte der Stabquerschnitte.





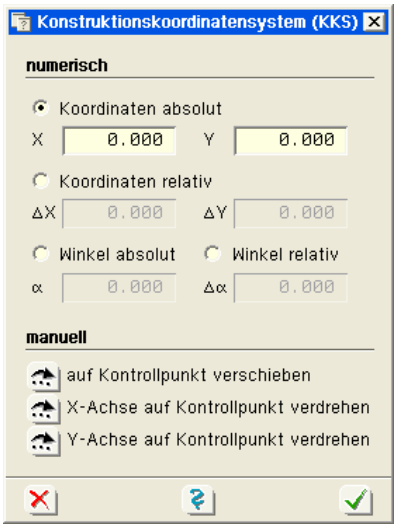
Um das KKS zu verdrehen, fahren Sie den Mauszeiger über den Pfeil der x- oder der y-Achse und bewegen die Maus mit gedrückt gehaltener linker Maustaste. Befindet sich der Mauszeiger beim Loslassen der Maustaste in unmittelbarer Nähe eines Kontrollpunkts, so wird die angeklickte Achse auf den Kontrollpunkt gedreht. Das Ergebnis einer solchen Verdrehung könnte wie folgt aussehen.





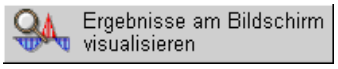
Bei einer überhöhten Darstellung (Abs. 7.15.16, S. 114) h/b > 1 können schiefliegende rechte Winkel nur verzerrt wiedergegeben werden.

Das KKS kann auch numerisch definiert werden. Hierzu muss das KKS-Eigenschaftsblatt aufgerufen werden. Dies geschieht durch Doppelklick auf dem Ursprung des KKS oder mit Hilfe der Menüfunktion *Ansicht → Koordinatensystem*. Die hier einzutragenden Absolutkoordinaten beziehen sich auf das globale Koordinatensystem.

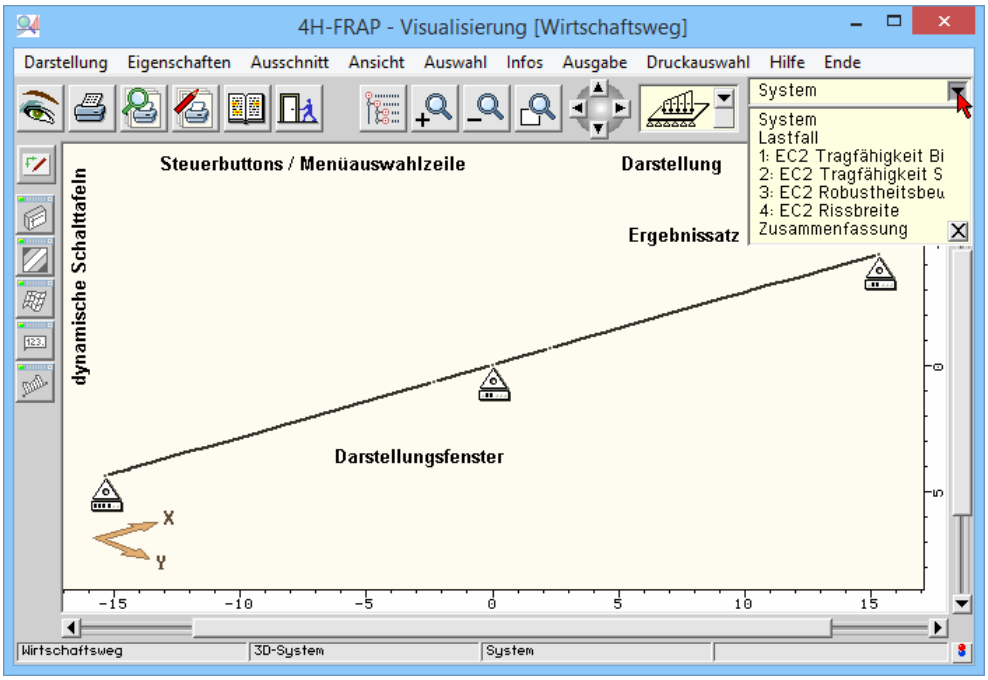


Die Splinepunktkoordinaten beziehen sich immer auf die aktuelle Lage und Ausrichtung des KKS!

8 Ergebnisvisualisierung



Das Visualisierungsmodul zur Darstellung der Ergebnisse wird über die Programmsteuerung (Abs. 6, S. 37) mit dem nebenstehenden Button aufgerufen.



Die Visualisierung umfasst linienorientierte Darstellungen am Gesamtsystem, an Einzelstäben und Stabzügen sowie tabellarische Zusammenstellungen der Ergebnisse.

Die Gesamtsystemgrafiken können sowohl als Ebenendarstellungen in der Draufsicht als auch isometrisch erstellt werden. Überhöhte Deformationsbilder, farbige Kontur- und Grenzliniendarstellungen sowie Zahlenfähnchengrafiken gehören hierzu. Teilweise können die Darstellungsformen auch einander überlagert werden.

Die Tabellen liefern zahlenmäßige Zusammenstellungen der linienorientierten Ergebnisse. Hierbei können unterschiedliche Wertekombinationen abgerufen werden.

Die Verwendung der "Moving-Window-Technologie" gestattet einen direkten Zugriff auf den Vorrat des aktuellen Ergebnissatzes und stellt eine hohe Interaktionsgeschwindigkeit sicher.

Durch Kurzwahlbuttons innerhalb der Auswahllisten und Erkennungsmechanismen der aktuellen Darstellung können z.B. gleichartige Darstellungen einzelner Lastfälle schnell aufgeblättert werden, so dass die letzte Darstellung quasi noch vor dem geistigen Auge steht und die neue somit in Relation gesetzt werden kann.

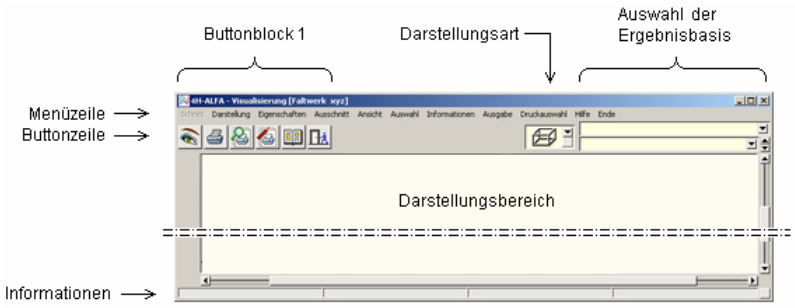
Über den ***Doppelklick*** werden auch hier Objekteigenschaften und -ergebnisse abgerufen.

Die innerhalb einer Sitzung gewählten Darstellungen und ihre Einstellungen können bei Verlassen des Visualisierungsmoduls gespeichert werden, so dass bei neuerlichem Aufruf sofort auf den letzten Status aufgesetzt werden kann.

8.1 allgemeine Erläuterungen

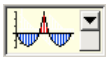
Das Ergebnisvisualisierungsmodul dient dazu, alle von 4H-SPBR berechneten Ergebnisse am Sichtgerät darzustellen. Da diese Ergebnisse sehr umfangreich und vielschichtig sind, bietet das Programm eine Vielzahl von Werkzeugen an, die die interessierenden Größen herausfiltern und in aussagekräftiger Form grafisch darstellen.

Das nachfolgende Bild zeigt schematisch das Fenster des Ergebnisvisualisierungsmoduls mit den unabhängig von der Darstellungsart angebotenen interaktiven Elementen.



Darstellungsart Es werden drei unterschiedliche Darstellungsarten angeboten, die über eine symbolische Liste ausgewählt werden können.

Die ***3D-Darstellung*** ist die vom Umfang her mächtigste Darstellungsart und für die visuelle Präsentation von Ergebnissen am Gesamtsystem von entscheidender Bedeutung. Insbesondere werden hier Werkzeuge angeboten, die die Ergebnisse visualisieren können. In der 3D-Darstellung kann zudem in einzelne Ebenen umgeschaltet werden.



In der Darstellungsart ***Liniengrafiken*** werden Ergebnisse linienförmiger Objekte (Stäbe, Stabzüge …) dargestellt. Die Ergebnisse werden hier in einem Funktionsdiagramm mit Abszisse und Ordinate angegeben.

In der Darstellungsart ***Tabellen*** werden die Ergebnisse numerisch in einer Tabelle ausgewiesen.

Ergebnisbasis Als Ergebnisbasen können ***Lastfälle***, ggf. ***Lastkollektive***, Ergebnisse von Extremalbildungsaufgaben (***Extremierungen***) und ***Zusammenfassungen*** von Extremierungen (Extremierungen von Extremierungen) ausgewählt werden.

Jeder dieser Ergebnisbasen sind unterschiedliche Ergebnistypen zugeordnet. Während Lastfällen und Lastkollektiven die Ergebnistypen ***Schnittgrößen***, ***Verformungen*** und evtl. ***Bodenpressungen*** zuzuordnen sind, gibt bei Extremierungen der Nachweistyp die Ergebnistypen vor.

Bei Spannbetonbemessungsaufgaben sind dies z.B. die erforderliche rechnerisch einzulegende Bewehrung oder der Ausnutzungsgrad als ein wesentlicher Ergebnistyp.

Buttonblock 1 Insbesondere in der 3D-Darstellungsart kann mit Hilfe des nebenstehend dargestellten Buttons die Darstellung des (ergebnisunabhängigen) Systems modifiziert werden. Es kann festgelegt werden, ob Stäbe gefüllt oder als Linien, mit oder ohne Nummern und Bezeichnungen (u.v.m) dargestellt werden sollen. In der Tabellendarstellung kann der Inhalt der Tabellen in seiner Darstellungsart beeinflusst werden.

Der nebenstehend dargestellte Button dient dazu, die aktuelle Darstellung im Darstellungsfenster (unabhängig von der Darstellungsart) zur Ausgabe (auf einem Drucker) zu bringen. Zur Auswahl stehen

- direkte Ausgabe auf einem Drucker (Aufruf des Druckmanagers)
- die Ausgabe zur Drucklistenvorschau am Bildschirm (um das Layout der Grafik zu prüfen)
- das Einspeichern der Grafik in die spezielle Druckliste ausgewählte Grafiken

Sind in der Druckliste *ausgewählte Grafiken* Elemente (Druckansichten) gespeichert, können diese über den nebenstehend dargestellten Buttons direkt zur Anzeige gebracht werden. Hierzu wird eine Auswahlliste angeboten. Die gespeicherten Druckansichten werden unabhängig von der aktuell eingestellten Darstellungsart mit den Darstellungsattributen, wie sie bei der Speicherung gewählt wurden, dargestellt.

Durch Anklicken dieses Buttons erscheint ein Eigenschaftsblatt über das die Elemente der Druckliste *ausgewählte Grafiken* eingesehen und modifiziert werden können. Die *Druckansichten* genannten Elemente können in ihrer Reihenfolge umsortiert, hinsichtlich ihrer Darstellungsattribute bearbeitet, eingesehen, mit Überschriften versehen und gelöscht werden. Weitere Informationen zur Druckliste *ausgewählte Grafiken* s. unter *Verwaltung der Druckansichten* (Abs. 8.2, S. 118).

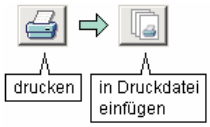
der nebenstehend dargestellte Button öffnet das Hilfedokument

Verlassen der Ergebnisvisualisierung

Menüzeile alle vom *4H*-SPBR-Ergebnisvisualisierungsmodul angebotenen Funktionen können alternativ über die Menüzeile angesteuert werden.

Informationen die Informationszeile enthält Hinweise zum Bauteil und der aktuell ausgewählten Datenbasis.

8.2 Verwaltung der Druckansichten



Im Darstellungsbereich angezeigte Grafiken können in die Druckliste *ausgewählte Grafiken* gespeichert werden. Hierzu müssen das ***Druckersymbol*** und im folgenden Menü der Button ***in Druckdatei speichern*** angeklickt werden. Der gespeicherten Druckansicht kann eine Bezeichnung zugewiesen werden.

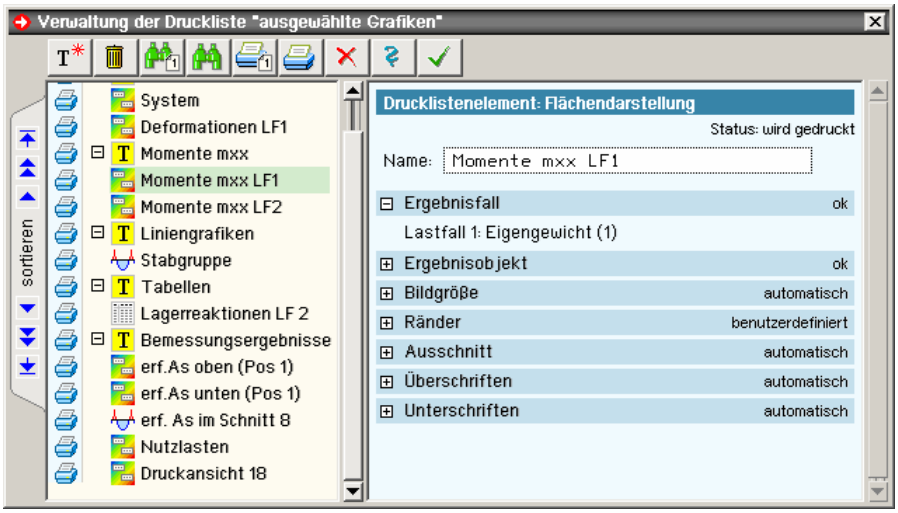
Derart abgespeicherte Druckansichten werden vom Visualisierungsmodul auch über die aktuelle Sitzung hinaus gespeichert. Wird zwischenzeitlich (etwa infolge Änderungen in der Belastungsstruktur) ein Neustart des Rechenlaufs erforderlich, werden die in den gespeicherten Druckansichten dargestellten Ergebnisse automatisch aktualisiert.

Der Anwender kann also sicher sein, dass die dargestellten Ergebnisse bei der Ausgabe der Druckliste *ausgewählte Grafiken* stets dem aktuellen Ergebnisstand entsprechen.

Selbst wenn eine besondere grafische Darstellung nicht in der Druckliste erscheinen soll, empfiehlt es sich u.U., die Grafik für einen späteren Sitzungen einen direkten Zugriff abzuspeichern.

Nach einem Klick auf den nebenstehend dargestellten Button erscheinen alle gespeicherten Druckansichten in einer Auswahlliste. Wird hierin eine bestimmte Druckansicht ausgewählt, schaltet die Anzeige im Darstellungsfenster direkt auf die Darstellung der gewählten Druckansicht um.

Dieser Button ruft das Fenster zur Verwaltung der Druckansichten auf. In der Verwaltung der Druckansichten werden die gespeicherten Druckansichten im linken Teil des Fensters aufgelistet. Die Listenelemente können per Mausklick ausgewählt werden. Die Eigenschaften der aktuell ausgewählten Druckansicht können im rechten Teil des Fensters eingesehen und ggf. geändert werden.



Den Buttons in der Kopfzeile sind folgende Funktionen zugeordnet

erzeuge eine neue Überschrift

lösche die ausgewählte Druckansicht

stelle die ausgewählte Druckansicht im Drucklisten-Viewer dar

stelle die gesamte Liste ausgewählte Grafiken im Drucklisten-Viewer dar

drucke ausgewählte Druckansicht

drucke gesamte Liste *ausgewählte Grafiken*

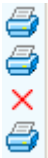
ohne Übernahme der Änderungen abbrechen

rufe das Hilfedokument auf

beenden mit Übernahme der Änderungen

Am linken Rand des Fensters werden Schalttafeln angeboten, mit deren Hilfe die aktuell ausgewählte Druckansicht innerhalb der Liste nach oben bzw. nach unten verschoben werden kann.

Sprung nach ganz oben	Sprung nach ganz unten
mehrere Zeilen nach oben	mehrere Zeilen nach unten
eine Zeile nach oben	eine Zeile nach unten



Jedem Listenelement ist i.d.R. ein kleines Druckersymbol vorangestellt. Hiermit wird ausgedrückt, dass die Druckansicht Teil der Druckliste *ausgewählte Grafiken* ist und beim Druck ausgegeben wird. Ist ein Ausdruck der Grafik nicht gewünscht, muss das Symbol angeklickt werden; die Darstellung ändert sich in ein rotes Kreuz. Listenelemente mit einem roten Kreuz dienen nur der Speicherung (und sorgen dadurch für einen schnellen Zugriff auf das Bild), werden aber im Rahmen der gesamten Druckausgabe nicht mit ausgegeben.

Die den Listenelementen zugeordneten Symbole haben folgende Bedeutungen

Druckansicht von der Darstellungsart *3D*

Druckansicht von der Darstellungsart *Liniengrafik*

Druckansicht von der Darstellungsart *Tabelle*

Überschrift

Überschriften dienen der Strukturierung der Druckliste *ausgewählte Grafiken*. Das Programm geht davon aus, dass die einer Überschrift folgenden Druckansichten thematisch zur Überschrift gehören.

Diesen Gedanken weiter verfolgend bekommt eine Überschrift das zusätzliche Strukturierungselement ⊟, wie es aus den Baumansichten bekannt ist. Wird dieses Zeichen angeklickt, wandelt es sich in ein ⊞-Zeichen um und die zur Überschrift gehörenden Druckansichten verschwinden. Dies hat den Vorteil, dass die Liste überschaubarer wird.

Wird eine derart "zusammengeklappte" Überschrift mit Hilfe der Sortierbuttons innerhalb der Liste verschoben, nimmt die Überschrift die ihnen zugeordneten Druckansichten mit. Mit einem Klick auf das ⊞-Zeichen ("wieder aufklappen") lässt sich dies schnell überprüfen.

Im rechten Fenster sind die Eigenschaften der jeweils ausgewählten Druckansicht dargestellt. Diese Eigenschaften können insbesondere bei Elementen der Darstellungsart *3D* auch inhaltlich bearbeitet werden.

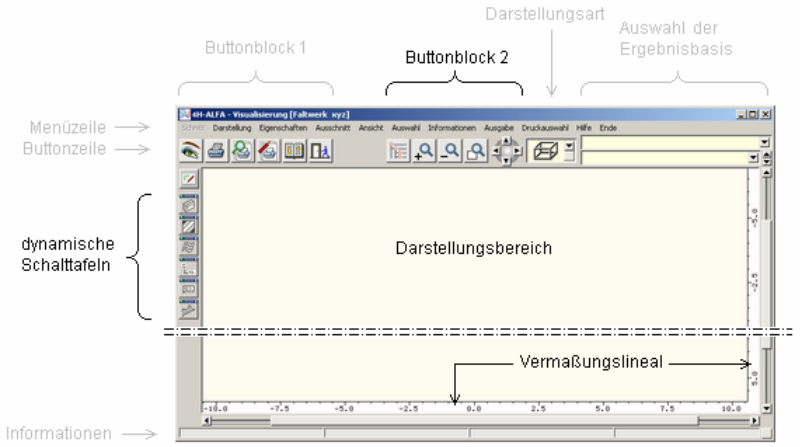
Da die Eigenschaften in Blöcken zusammengefasst sind, muss ein zu bearbeitender Block zuerst durch Anklicken des ⊞- Zeichens geöffnet werden.

Alle Blöcke verfügen über einen Schalter ***automatisch***. Diese Einstellung ist voreingestellt und bewirkt, dass das Programm die Eigenschaften selbständig festlegt. Nur in seltenen Fällen wird es notwendig sein, hier vom Standard abweichende Einstellungen vorzunehmen.

8.3 3D-Darstellung

Die ***3D-Darstellung*** ist die vom Umfang her mächtigste Darstellungsart und für die visuelle Präsentation von Ergebnissen am Gesamtsystem von entscheidender Bedeutung. Insbesondere werden hier Werkzeuge angeboten, die die linienbehafteten Ergebnisse bearbeiten. In der 3D-Darstellung kann zudem in einzelne Ebenen umgeschaltet werden.

Das nachfolgende Bild zeigt schematisch das Fenster des Ergebnisvisualisierungsmoduls. Die blass dargestellten Interaktionselemente gehören zur Standardausrüstung des Visualisierungsmoduls und wurden bereits beschrieben (Abs. 8.1, S. 116). Die in der 3D-Darstellungsart zusätzlich angebotenen Interaktionselemente werden im Folgenden erläutert.



Buttonblock 2

Mit Hilfe des nebenstehend dargestellten Buttons können bestimmte ausgewählte Objekte von der Darstellung ausgenommen werden, die aktuell nicht interessieren. Diese Funktion wird i.d.R. im Programm 4H-SPBR nicht benötigt werden.

Ausschnitt vergrößern: Der nebenstehend dargestellte Button dient dazu, sich in eine 3D-Darstellung hineinzuzoomen. Es erscheint ein Fadenkreuz auf dem Sichtgerät, mit dessen Hilfe ein rechteckförmiger Teilbereich des aktuell dargestellten Systems aufgezogen werden kann. Der so gewählte Teilbereich wird vergrößert dargestellt.

Ausschnitt verkleinern: Ein Klick auf den nebenstehend dargestellten Button macht die letzte Ausschnittvergrößerungsaktion rückgängig.

Ausschnitt zurücksetzen: Das Programm stellt hiermit sicher, dass alle aktuell dargestellten Objekte vollständig zu sehen sind.

Mit Hilfe der nebenstehend dargestellten Buttongruppe können Objekte in der 3D-Ansicht verdreht werden. Wird der Button ***nach rechts drehen*** gedrückt, rotieren die Objekte um eine vertikale Achse nach rechts. Wird der Button ***nach unten drehen*** gedrückt, rotieren die Objekte um eine horizontale Achse nach unten und die Darstellung dreht sich hin zur Vogelperspektive.

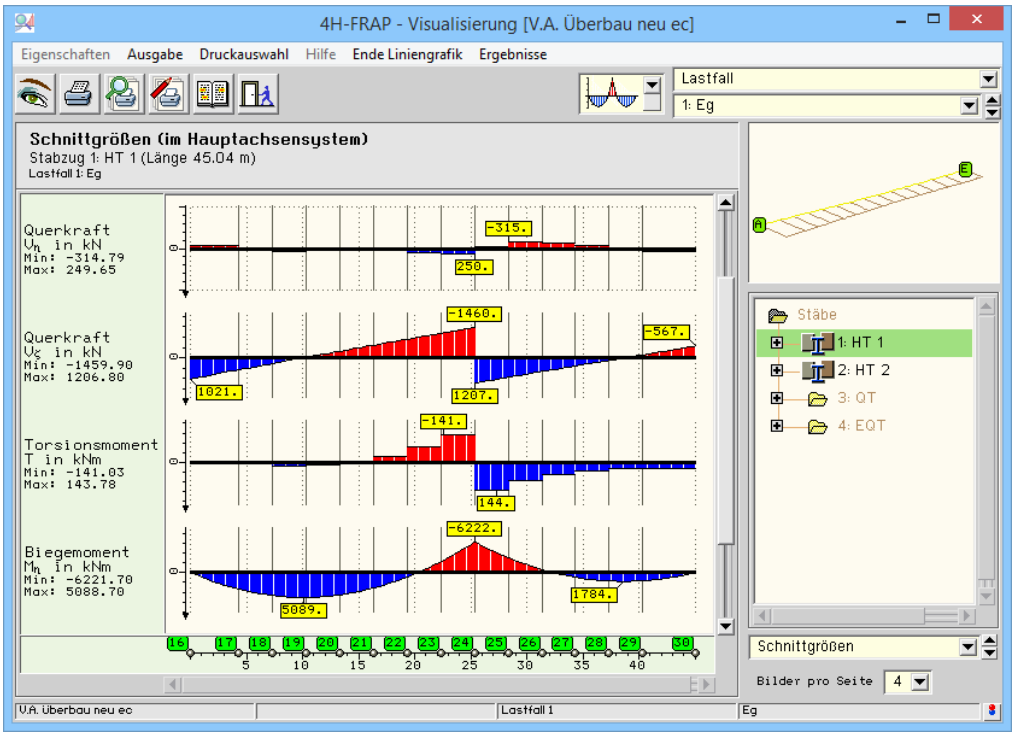
8.4 Darstellungsmodus

Über die symbolische Auswahlliste kann auf einen der drei angebotenen Darstellungsmodi - Darstellung am Gesamtsystem, Liniengrafiken und tabellarische Darstellungen - umgeschaltet werden.

Im Modus ***Gesamtsystem*** wird das System in der Draufsicht oder in der 3D-Ansicht dargestellt. Hier können das deformierte System, die Konturen aller physikalisch sinnvollen Zustandsgrößen und vieles mehr studiert werden.

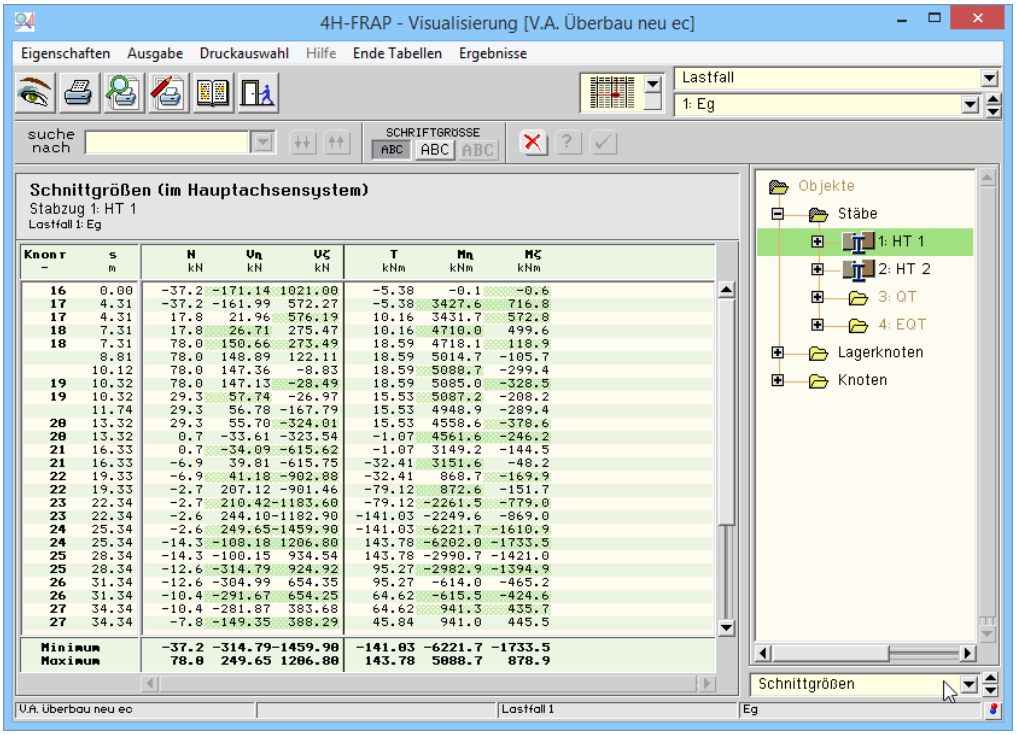
8.4.1 Liniengrafiken

In diesem Modus können die ***Zustandslinien*** einzelner ausgewählter Stäbe bzw. Stabzüge eingesehen werden. Im Darstellungsfenster werden mehrere Grenzlinien gleichzeitig eingeblendet, was für das Studium korrespondierender Zustände (wie Biegelinie, Biegemomentenlinie und Querkraftlinie) besonders gut geeignet ist. In einem Auswahlfenster kann zwischen verschiedenen Stäben bzw. Stabzügen hin- und hergeschaltet werden. Das Übersichtsfenster dient zur Orientierung am Gesamtsystem.

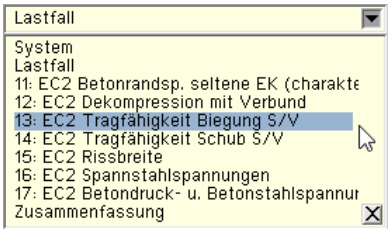


8.4.2 Tabellen

In der tabellarischen Darstellung können die exakten Zahlenwerte der Ergebnisse am besten eingesehen werden. Ähnlich wie im Liniengrafik-Modus können einzelne Stäbe im Auswahlfenster aktiviert werden.



8.5 Ergebnisauswahl



Die ***Auswahllisten*** in der rechten oberen Ecke des Darstellungsfensters ermöglichen ein schnelles Hin- und Herschalten zwischen Systemdarstellung, Lastfall- und Nachweisergebnissen.

Ist in der oberen Liste ***Lastfälle*** ausgewählt, kann in der darunter liegenden Auswahlliste der spezielle Lastfall bestimmt werden.

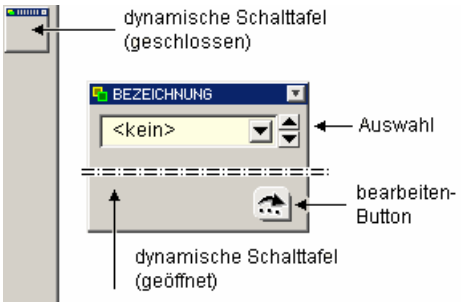
Analog erscheinen unter einem ausgewählten Nachweis die darunter befindlichen Lastfallkombinationen zur Auswahl.

8.6 dynamische Schalttafeln

Jede Ergebnisbasis verfügt über diverse Ergebnistypen, die teilweise als zweidimensionale Vektor- oder Skalarfelder - bestimmten Linien zuzuordnende eindimensionale Funktionen - oder auch nur als punktuell vorliegende Einzelergebnisse gegeben sind.

Für all diese Ergebnistypen bedarf es folglich unterschiedlicher Darstellungsformen, die insbesondere dazu geeignet sind, bestimmte interessierende Sachverhalte unmittelbar begreifbar herauszustellen.

Die dynamischen Schalttafeln stellen hierzu das Angebot des grafischen Ergebnisvisualisierungsmoduls von ///-SPBR dar. Jede dynamische Schalttafel ist hierbei für eine bestimmte Darstellungsform zuständig.



Im geschlossenen Zustand werden die dynamischen Schalttafeln am linken Fensterrand "geparkt". Durch einfaches Anklicken können sie geöffnet werden. Sie bieten dann ihre Interaktionsmöglichkeiten an. Die vorrangige Interaktion in allen dynamischen Schalttafeln ist die Auswahl des Ergebnistyps - also die der interessierenden physikalischen Größe. Alle zur gewählten Darstellungsform passenden Ergebnistypen werden hierzu in einer Auswahlliste angeboten. Jede dynamische Schalttafel besitzt einen ***bearbeiten-Button***, der ein Eigenschaftsblatt aufruft, in dem die Art der Darstellung individuell spezifiziert werden kann.

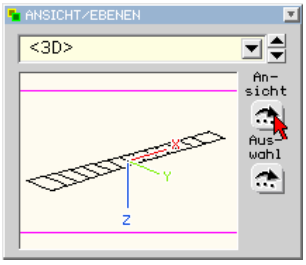
Eine dynamische Schalttafel wird durch Anklicken des ***Pfeil-runter-Buttons*** oben rechts im Bezeichnungsfeld wieder geschlossen.

Nachfolgend werden die dynamischen Schalttafeln und die ihnen zugeordneten Darstellungsformen beschrieben.

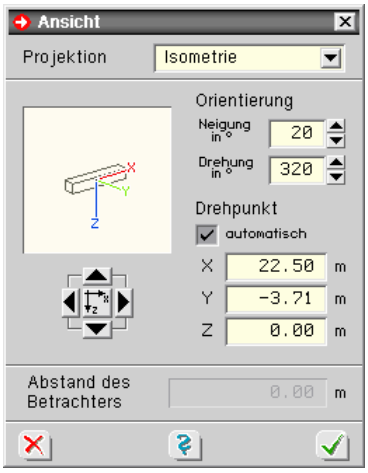
8.6.1 Ansichtssteuerung

Mit dieser dynamischen Schalttafel kann zwischen der normalen 3D-Ansicht und den im grafischen Eingabemodul definierten Ebenenansichten (Abs. 7.11.1, S. 75) gewechselt werden.

In der Auswahlliste werden die bei der Eingabe bestimmten Ebenen zugänglich.

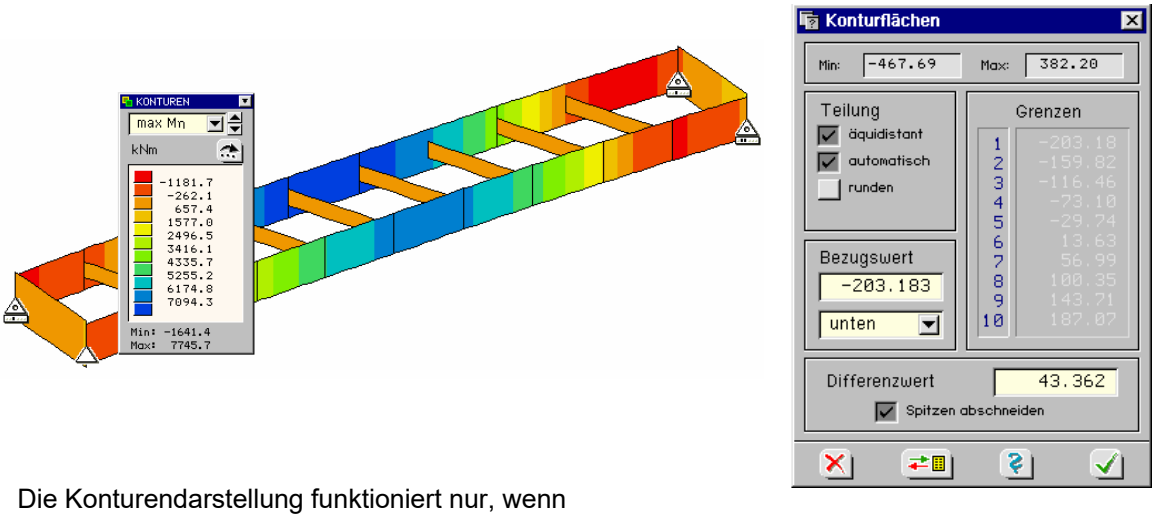


Bei Aktivierung der 3D-Darstellung wird über den Button ***Ansicht*** ein weiteres Eigenschaftsblatt zur Festlegung des Betrachterstandorts geöffnet.



8.6.2 Konturendarstellungen

In die Stabumrisse können auch Ergebnisse in Form von farblich unterscheidbaren Konturen angetragen werden. Mit der dynamischen Schalttafel ***Konturendarstellungen*** wird festgelegt, welche Ergebnisgröße dargestellt werden soll.



Die Konturendarstellung funktioniert nur, wenn

- die Stabdarstellung im Eigenschaftsblatt zur Systemdarstellung ausgewählt nicht auf *Linie* gesetzt ist und
- keine Grenzlinie dargestellt wird.

Der Schalttafel kann der Wertebereich der Farbzuordnungen entnommen werden. Um diese zu ändern, muss der ***bearbeiten***-Button angeklickt werden.

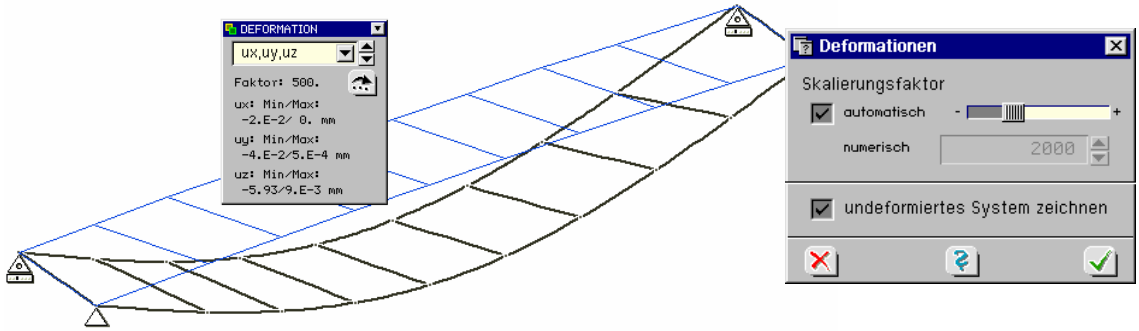
Die Voreinstellung für die hier festzulegenden Eigenschaften ist ***automatisch-äquidistant***.

Hierbei berechnet das Programm für jede betrachtete Größe eine sinnvolle Skalierung der Farbabstufungen. Wird der ***automatisch***-Button gelöst, kann die Farbskala bei äquidistanter Teilung durch Vorgabe eines Bezugswerts und eines Differenzwerts festgelegt werden. Bei nichtäquidistanter Teilung können die Konturflächengrenzen in einer Tabelle im rechten Bereich des Eigenschaftsblatts direkt vorgegeben werden.

Selbst bei sehr komplexen Bauteilen kann die Konturendarstellung noch übersichtliche Resultate liefern.

8.6.3 Deformationen

Für die Darstellung des verformten Systems wird die dynamische Schalttafel ***Deformationen*** benötigt. In der Auswahlliste wird zunächst entschieden, ob das Verformungsverhalten im aktuell gesetzten Lastfall dargestellt werden soll oder nicht. Ist mit ***ux, uy, uz*** die Deformationsdarstellung angeschaltet, können der Schalttafel die minimalen und maximalen Komponenten der Verschiebungsgrößen entnommen werden.



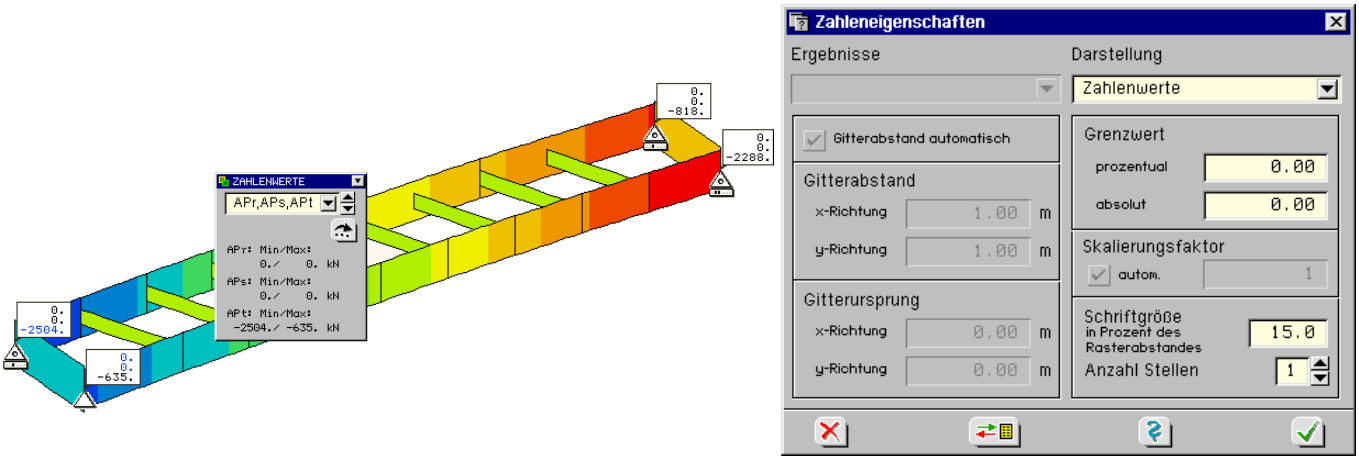
Zur Vorgabe des Überhöhungsfaktors muss der ***bearbeiten***-Button angeklickt werden.

In dem hierzu gehörenden Eigenschaftsblatt kann der Überhöhungsfaktor numerisch vorgegeben oder vom Programm automatisch berechnet werden. Der Schieberegler dient zur schnellen Feinjustierung. Wahlweise kann dem deformierten System auch das undeformierte System hinzugefügt werden.

Die Darstellung des deformierten Systems, die auch mit Konturendarstellungen oder Grenzlinien kombiniert werden kann, liefert i.d.R. einen sehr guten ersten Eindruck vom Reaktionsverhalten einer Struktur auf seine Belastungen.

8.6.4 Zahlenwerte

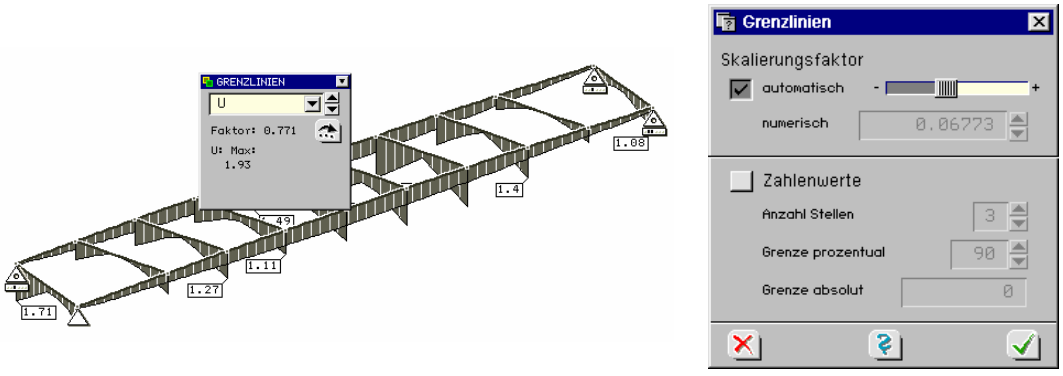
Zur Visualisierung der Lagerreaktionen dient die dynamische Schalttafel ***Zahlenwerte***. Hier kann bestimmt werden, ob die Kraftreaktionen, die Momentenreaktionen oder keine Lagerkräfte am System angetragen werden sollen.



Durch Anklicken des ***bearbeiten***-Buttons kann die Art der Darstellung hinsichtlich der auszugebenden Grenzwerte und der Beschriftung beeinflusst werden.

8.6.5 Grenzlinien

Die im Bauwesen übliche Form zur Darstellung der Zustandsgrößen sind die Grenzlinien. Hier können die Normal- und Querkraftlinien, die Momentenlinien wie auch die Verformungskomponenten aus den einzelnen Lastfällen, aber auch Bemessungsergebnisse an die Stäbe angetragen werden. Die Auswahlliste ermöglicht das direkte Umschalten der gewünschten Zustandsgröße.



In dem Eigenschaftsblatt, das durch Anklicken des ***bearbeiten***-Buttons hervorgerufen wird, kann eine automatische oder numerisch vorgegebene Skalierung der Grenzlinienordinaten angewählt werden.

Der Schieberegler sorgt wiederum für die schnelle Feinjustierung. Wenn neben der Grafik auch Zahlenwerte ausgegeben werden sollen, können mit den hier zur Verfügung gestellten Eingabefeldern die Menge und die Art der Zahlenausgabe bestimmt werden.

8.7 Bezeichnungen

Die Auswahl der Darstellungsform kann auch über die Menüzeile erfolgen.

In dem daraufhin erscheinenden Auswahlfenster werden Erläuterungen zu den Kürzeln und den sich dahinter verbergenden Inhalten gegeben.

8.8 Doppelklick

Durch Doppelklicken eines Stabes erscheint das nachstehend dargestellte Eigenschaftsblatt, von dem aus Informationen zum Stab abgerufen werden können. Darüber hinaus können die Stabergebnisse im Liniengrafik- bzw. Tabellenmodus eingesehen werden.

8.9 darstellbare physikalische Größen

8.9.1 Hauptachsensystem

Das Hauptachsensystem ξ–η–ζ ist das um die lokale l-Achse des Stabes in die Hauptachsen gedrehte l-m-n-System. ξ ist immer gleich l. Bei typisierten, symmetrischen Querschnitten ist darüber hinaus η = m und ζ = n. Dies gilt jedoch nicht für die i.A. unsymmetrischen Überbauquerschnitte.

8.9.2 Lastfälle und Lastkollektive

Bei Lastfällen und Lastkollektiven können dargestellt werden

u_x, u_y, u_z	Verschiebungen in Richtung der globalen Koordinatenrichtungen
AP_r, AP_s, AP_t	Lagerreaktionskräfte im r-s-t-System
AM_r, AM_s, AM_t	Lagerreaktionsmomente im r-s-t-System
u_l, u_m, u_n	Verschiebungen in Richtung der lokalen Koordinatenrichtungen
v_l, v_m, v_n	Verdrehungen um die lokalen Koordinatenachsen
N	Normalkraft
Q_η, Q_ζ	Querkräfte im Hauptachsensystem
T	Torsionsmoment
M_η, M_ζ	Momente im Hauptachsensystem
bF_l, bF_m, bF_n	Bettungskräfte in lokalen Koordinatenrichtungen
bM_l	Bettungsmoment in l-Richtung

8.9.3 Nachweise

Unter den Lastfallkombinationen der Nachweise können in unterschiedlichen Ausgabeformen (Grenzlinien, Konturen, Zahlenwerte) dargestellt werden

ext u_l, u_m, u_n	extremale Verschiebungen in Richtung der lokalen Koordinatenrichtungen
ext N	extremale Normalkraft
ext Q_η, Q_ζ	extremale Querkräfte im Hauptachsensystem
ext T	extremales Torsionsmoment
ext M_η, M_ζ	extremale Momente im Hauptachsensystem
ext bF_l, bF_m, bF_n	extremale Bettungskräfte in lokalen Koordinatenrichtungen
ext bM_l	extr. Bettungsmoment in l-Richtung
Z_{II}	Nachweis nach Zustand I oder II
ext σ_{c1}	extr. Betonspannung (Ecke 1, oben links)
ext σ_{c2}	extr. Betonspannung (Ecke 2, oben rechts)
ext σ_{c3}	extr. Betonspannung (Ecke 3, unten rechts)
ext σ_{c4}	extr. Betonspannung (Ecke 4, unten links)
U	Ausnutzung
min/max u_l	min./max. Verschiebung in l-Richtung
min/max u_m	min./max. Verschiebung in m-Richtung
min/max u_n	min./max. Verschiebung in n-Richtung
min/max v_l	min./max. Verdrehung um l-Achse
min/max v_m	min./max. Verdrehung um m-Achse
min/max v_n	min./max. Verdrehung um n-Achse
min/max N	min./max. Normalkraft
min/max Q_η	min./max. Querkraft in η-Richtung
min/max Q_ζ	min./max. Querkraft in ζ-Richtung
min/max T	min./max. Torsionsmoment
min/max M_η	min./max. Moment um η-Achse
min/max M_ζ	min./max. Moment um ζ-Achse
min/max bF_l	min./max. Bettungskraft in l-Richtung
min/max bF_m	min./max. Bettungskraft in m-Richtung

min/max bF_n	min./max. Bettungskraft in n-Richtung
min/max bM_l	min./max. Bettungsmoment in l-Richtung
min/max σ_{c1}	min./max. Betonspannung (Ecke 1, oben links)
min/max σ_{c2}	min./max. Betonspannung (Ecke 2, oben rechts)
min/max σ_{c3}	min./max. Betonspannung (Ecke 3, unten rechts)
min/max σ_{c4}	min./max. Betonspannung (Ecke 4, unten links)
ext AP_r, AP_s, AP_t	extr. Knotenlagerkräfte im r-s-t-System
ext AM_r, AM_s, AM_t	extr. Knotenlagermomente im r-s-t-System
ext σ_{c1}	extr. Betonspannung (Ecke 1, oben links)
σ_{co}	max. Betonrandspannung (Steg oben)
σ_{cu}	max. Betonrandspannung (Steg unten)
M_{repo}	Bemessungsmoment (Steg oben)
M_{repu}	Bemessungsmoment (Steg unten)
ΔA_{so}	Robustheitsbewehrung (Steg oben)
ΔA_{su}	Robustheitsbewehrung (Steg unten)
min V_{Rdct}	min. Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit
max V_{red}	max. Bemessungsquerkraft
Gl. 4.47	Interaktion Querkraft/Torsion n. Gl. 4.47
As_T	Längsbewehrung infolge Torsion
as_{bQ}	Bügelbewehrung infolge Querkraft
as_{bT}	Bügelbewehrung infolge Torsion
U_c	Ausnutzung Betonspannung
max σ_{cV}	max. Betonhauptspannung aus Querkraft
U_{cV}	Ausnutzung Betonspannung aus Querkraft
$\eta\Delta\sigma_s$	max. Betonstahlspannungsdifferenz
i_s	maßgebende Betonstahlposition
U_s	Ausnutzung Betonstahlspannung
$\Delta\sigma_p$	max. Spannstahlspannungsdifferenz
i_p	maßgebende Spannstahlposition
U_p	Ausnutzung Spannstahlspannung
σ_{c1}	max. Betonspannung Gruppe 1 (Steg oben)
σ_{c2}	max. Betonspannung Gruppe 2 (Steg unten)
σ_{c3}	max. Betonspannung Gruppe 3 (oberer Gurt links)
σ_{c4}	max. Betonspannung Gruppe 4 (oberer Gurt rechts)
σ_{c5}	max. Betonspannung Gruppe 5 (unterer Gurt links)
σ_{c6}	max. Betonspannung Gruppe 6 (unterer Gurt rechts)
w_{k1}	max. Rissbreite Gruppe 1 (Steg oben)
w_{k2}	max. Rissbreite Gruppe 2 (Steg unten)
w_{k3}	max. Rissbreite Gruppe 3 (oberer Gurt links)
w_{k4}	max. Rissbreite Gruppe 4 (oberer Gurt rechts)
w_{k5}	max. Rissbreite Gruppe 5 (unterer Gurt links)
w_{k6}	max. Rissbreite Gruppe 6 (unterer Gurt rechts)
ΔAs_1	Zulagebewehrung Gruppe 1 (Steg oben)
ΔAs_2	Zulagebewehrung Gruppe 2 (Steg unten)
ΔAs_3	Zulagebewehrung Gruppe 3 (oberer Gurt links)
ΔAs_4	Zulagebewehrung Gruppe 4 (oberer Gurt rechts)
ΔAs_5	Zulagebewehrung Gruppe 5 (unterer Gurt links)
ΔAs_6	Zulagebewehrung Gruppe 6 (unterer Gurt rechts)

9 Drucklistengestaltung

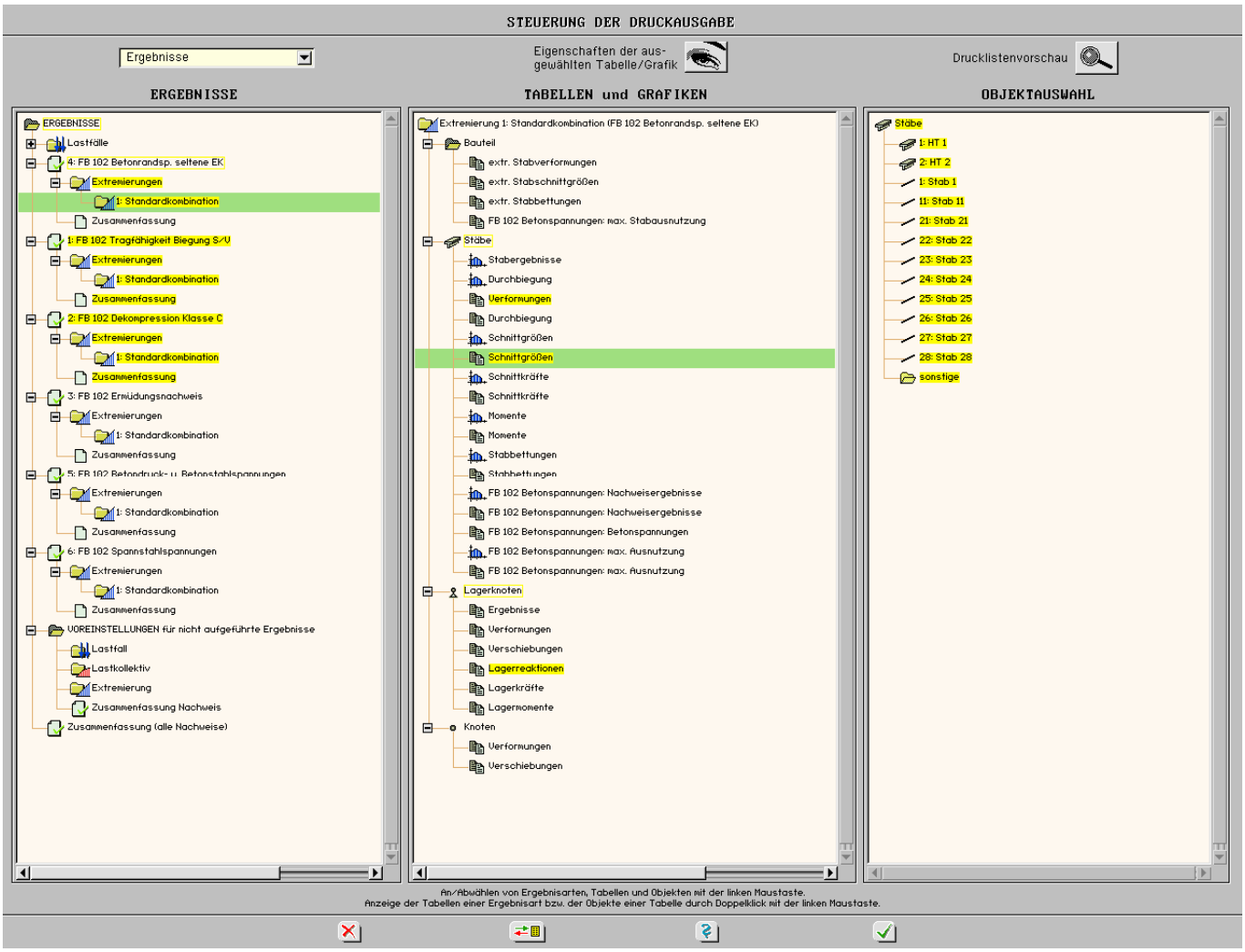
Optionale Einstellungen der Ergebnisdrucklisten

Die Drucklistengestaltung erlaubt eine differenzierte Auswahl der Tabellen und Grafiken, die in der Druckliste zur Präsentation der Ergebnisse erscheinen sollen.

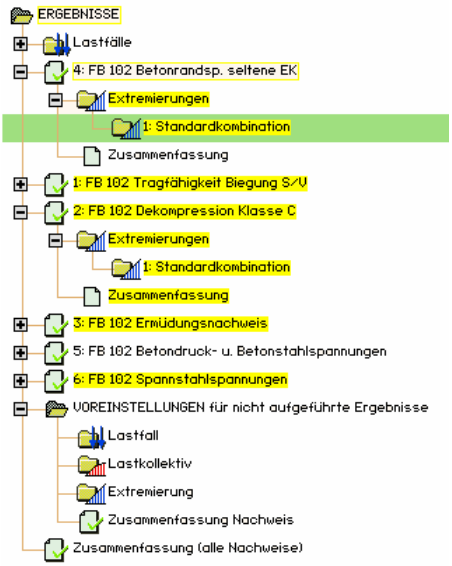
Hier kann z.B. festgelegt werden, dass die Ergebnisse zum LF 1 vollständig gedruckt werden sollen, die Ergebnislisten zum LF 2 jedoch nur die Verformungen der Stäbe enthalten sollen und Ergebnisse zum LF 3 überhaupt nicht ausgegeben werden sollen. Weiterhin könnte von einem LF 4 festgelegt werden, dass nur die Momente eines bestimmten Stabzugs zur Ausgabe gelangen. Für die geführten Nachweise gelten diese Aussagen in gleicher Weise.

Eine derart differenzierte Auswahl bedarf eines entsprechend komplexen, interaktiven Hilfsmittels, das im Folgenden erläutert wird.

Nach Start der Funktion erscheint das dargestellte Eigenschaftsblatt auf dem Sichtgerät, das i.W. drei nebeneinander stehende Auswahlfenster enthält. Diese Fenster haben die Bezeichnung: *Ergebnisse*, *Tabellen und Grafiken* und *Objektauswahl*.



9.1 das Fenster *Ergebnisse*

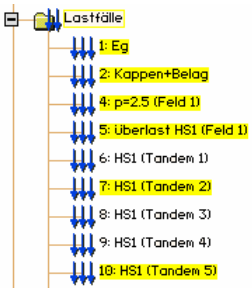


Zunächst wird das Fenster *Ergebnisse* betrachtet, dessen Inhalt rechts dargestellt ist.

Hier wird auf oberster Ebene zwischen den Ergebnistypen

- Lastfälle,
- den definierten Nachweisen,
- der Voreinstellung für nicht aufgeführte Ergebnisse und der
- Zusammenfassung über alle Nachweise

unterschieden, die in einer Baumstruktur zur Auswahl präsentiert werden. Das ⊞-Zeichen vor den Einträgen zeigt an, dass sich weitere Objekte unterhalb dieser Basisobjekte befinden, die diesen zugeordnet sind.



Durch einfaches Anklicken des ⊞-Zeichens werden diese Objekte sichtbar (und damit anwählbar) gemacht. Nebenstehend sind beispielhaft die Unterobjekte des Basisobjekts *Lastfälle* "geöffnet" dargestellt.

Durch Anklicken des ⊟-Zeichens so wird der Ast des Baums geschlossen und die Unterobjekte verschwinden vom Bildschirm. ⊞ steht also für "öffnen" und ⊟ für "schließen".

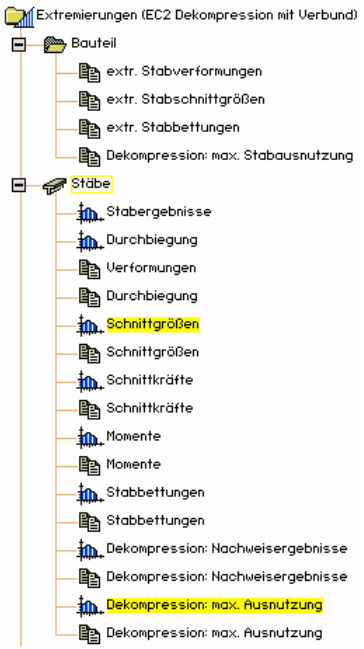
Unter dem Basisobjekt *Voreinstellung für nicht aufgeführte Ergebnisse* wird festgelegt, wie mit aktuell noch nicht definierten Objekten der entsprechenden Art in der Druckliste verfahren werden soll.

Es empfiehlt sich, die Gestaltung der Druckliste erst dann festzulegen, wenn das System im grafischen Eingabemodul vollständig beschrieben worden ist, da die Drucklistengestaltung auf die Objekte des Eingabemoduls zurückgreift.

Lastfälle Durch einfaches Anklicken der Objektbezeichnung wird ein Objekt aus- bzw. wieder abgewählt. Ein ausgewähltes Objekt wird gelb hinterlegt dargestellt, was besagt, dass Ergebnisse zu diesem Objekt ausgegeben werden sollen.

Lastfälle Ist ein Basisobjekt (ein Objekt, das noch über Unterobjekte verfügt) blass gelb umrahmt dargestellt, bedeutet dies, dass die Ergebnisse seiner Unterobjekte teilweise ausgegeben werden sollen. Die Aus- bzw. Abwahl eines Basisobjekts ist gleichbedeutend mit der Aus- bzw. Abwahl sämtlicher seiner Unterobjekte.

9.2 das Fenster *Tabellen und Grafiken*



Der Doppelklick auf ein Objekt erlaubt eine weitere Differenzierung hinsichtlich der Auswahl von Listen und Plänen.

Auch hier gilt wieder: Erfährt ein Basisobjekt (z.B. *Lastfälle*) einen Doppelklick, gelten die weiterführenden Festlegungen für alle Unterobjekte dieses Typs.

Erfährt jedoch ein Unterobjekt (z.B. *Lastfall Eigengewicht*) einen Doppelklick, gelten die Definitionen nur für dieses Objekt.

Bei einem Doppelklick auf ein Objekt im Fenster *Ergebnisse* wird dieses großflächig grün hinterlegt und es erscheint eine zu diesem Objekt angepasste (wiederum baumstrukturierte) Auswahl möglicher Ausgabeobjekte im Fenster *Tabellen und Grafiken* wie nebenstehend dargestellt. Bei den Lastfallobjekten wird hier (auf oberster Stufe) zwischen den Objekten

- Bauteilinformationen,
- Stabergebnisse,
- Ergebnisse der Lagerknoten,
- Knotenergebnisse (allgemein),

unterschieden.

Die Interaktionsmöglichkeiten im Fenster *Tabellen und Grafiken* entsprechen vollständig denen im Fenster *Ergebnisse*. Die Symbole unterscheiden zwischen

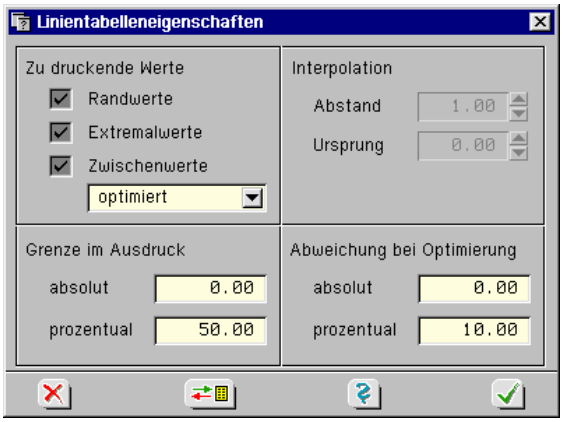
Grafik deformiertes System,

Liniengrafik und

Tabellen.

Die Eigenschaften der ausgewählten Tabellen können über den links dargestellten Button in einem speziellen Eigenschaftsblatt angepasst werden.

Hier werden die auszugebenden Werte fein eingestellt. Je nach Auswahl und Bestimmung der Grenzen für den Ausdruck wird der Ergebnisumfang verändert.

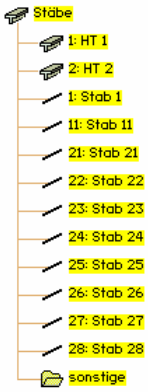


Stababschnitte

Die Teilung der Stäbe in Abschnitte ergibt sich aus dem Standardwert und den evtl. auf dem Stab angreifenden Lasten. Hierdurch entsteht eine Vielzahl von Zwischenergebnissen auf dem Stab.

Die optimierte Ausgabe sorgt für ein Protokoll relevanter Ergebnisse insbesondere dann, wenn sich keine wesentlichen Änderungen über die Stabausdehnung ergeben.

9.3 das Fenster *Objektauswahl*



Per Doppelklick auf ein Objekt im Fenster *Tabellen und Grafiken* lässt sich eine dem Objekt zugeordnete Auswahl im Fenster *Objektauswahl* einblenden. Ein Doppelklick aus dem Bereich der "Stabobjekte" bewirkt etwa die Anzeige wie rechts beispielhaft dargestellt. Hierin können wiederum Objekte an- und abgewählt werden.

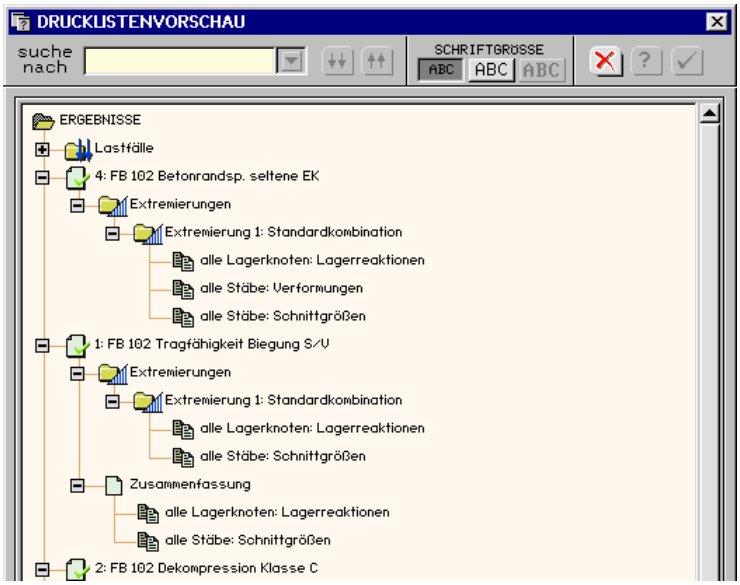
9.4 Tipps zur Drucklistengestaltung

1. Die Drucklistenauswahl hat eine sinnvolle Voreinstellung. Nur wenn diese Voreinstellung nicht Ihren Wünschen entspricht, wird eine Modifikation der Drucklistengestaltung erforderlich.

2. Haben Sie eine Drucklistenauswahl getroffen, von der Sie glauben, dass diese Auswahl für einen Großteil Ihrer Anwendungen sinnvoll ist, empfiehlt es sich, diese "schreibtisch-global" zu speichern. Um dies einzuleiten, betätigen Sie den links dargestellten Button. Auf die so gespeicherten Festlegungen kann auch von anderen Bauteilen aus zugegriffen werden.

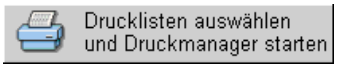
Beachten Sie, dass hierbei allein die Voreinstellungen für nicht aufgeführte Ergebnisse gespeichert werden!

3. Der nebenstehend dargestellte Button dient zur Überprüfung der aktuellen Festlegungen. Nach Betätigen erscheint eine Liste mit sämtlichen Ausgaben, wie sie zum gegebenen Zeitpunkt definiert wurden. Ein Beispiel ist nachfolgend angegeben.



4. Wenn die Berechnung des Bauteils bereits durchgeführt und das System innerhalb des Eingabemoduls nicht verändert wurde, reicht es zur Erzeugung der Drucklisten und Pläne gemäß der hier definierten Festlegungen aus, die Drucklisten automatisch aktualisieren zu lassen. Ein neuer Rechenlauf ist hierzu nicht erforderlich.

10 Druckdokumentenausgabe



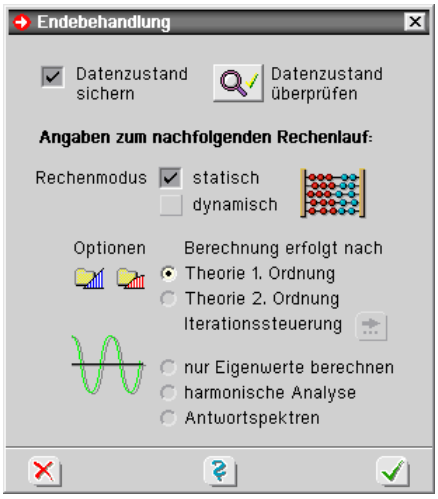
Durch Aktivieren des Eintrags *Drucklisten auswählen und Druckmanager starten* in der Programmsteuerung (s. Abs. 6, S. 37) können die erzeugten Drucklisten auf dem Bildschirm eingesehen und auf einem Drucker ausgegeben werden.

Zu den Funktionalitäten von Druckmanager und DTE®-Viewer s. Handbuch *DTE®- DeskTopEngineering.*

11 Bearbeitung beenden

Durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Symbols wird die Bearbeitung des Bauteils beendet.

In einem nachfolgend auf dem Sichtgerät erscheinenden Eigenschaftsblatt kann entschieden werden, ob die aktuell bearbeiteten Daten auf der Festplatte abgespeichert werden sollen.



12 Detailnachweispunkte

In der Systemeingabe wurden unter den Druckoptionen (Abs. 7.14.6, S. 102) Orte spezifiziert, für die ein Langausdruck mit ausführlichem Protokoll der Nachweise erstellt werden sollte.

Diese Protokolle sind in der Datenkategorie *Detailnachweispunkte* zusammengestellt.

Querschnittsbeschreibung

Die Querschnittsbeschreibung beinhaltet neben der Auflistung der Materialdaten eine maßstäbliche, vermaßte Grafik, das Protokoll der Spanngliedparameter und der Betonstahlbewehrung, die resultierenden Querschnittswerte für den Brutto-, Netto- und ideellen Querschnitt sowie die Kriech- und Schwindparameter.

Lastfallergebnisse

sind eine tabellarische Zusammenstellung der Verformungen und Schnittgrößen der berechneten Lastfälle.

Ferner werden die Betoneckspannungen jedes Lastfalls in einer zweiten Tabelle ausgewiesen.

Nachweisergebnisse

Für jeden geführten Nachweis werden die Ergebnisse der Lastfallkombinationen tabellarisch zusammengestellt. Die extremalen Zustandsgrößen und Spannungen werden mit den Lastfällen, die zu dem jeweiligen Extremwert geführt haben, protokolliert.

Betoneckspannungen der Lastkombinationen

Typ	σ_1 MN/m²	σ_2 MN/m²	σ_3 MN/m²	σ_4 MN/m²	Faktorisierung
Extremierung 1: Standardkombination					
min σ_1	-9.33	-6.96	3.89	2.94	Lf1+Lf2+0.9*Lf70+Lf4+Lf36+Lf44
max σ_1	-3.78	-4.74	-5.54	-5.15	Lf1+Lf2+1.1*Lf71
min σ_2	-9.33	-6.96	3.89	2.94	Lf1+Lf2+0.9*Lf70+Lf4+Lf36+Lf44
max σ_2	-3.78	-4.74	-5.54	-5.15	Lf1+Lf2+1.1*Lf71
min σ_3	-3.78	-4.74	-5.54	-5.15	Lf1+Lf2+1.1*Lf71
max σ_3	-9.33	-6.96	3.89	2.94	Lf1+Lf2+0.9*Lf70+Lf4+Lf36+Lf44
min σ_4	-3.78	-4.74	-5.54	-5.15	Lf1+Lf2+1.1*Lf71
max σ_4	-9.33	-6.96	3.89	2.94	Lf1+Lf2+0.9*Lf70+Lf4+Lf36+Lf44

Das Protokoll jedes Nachweises liefert eine Vielzahl von relevanten Teilergebnissen, um das Ergebnis des Nachweises nachvollziehen zu können. Abschließend wird angegeben, ob der Nachweis erbracht werden konnte oder nicht.

$\max M_{Ed}/M_{Eds} = 0.67 \leq 1 \Rightarrow$ Nachweis der Tragfähigkeit Biegung ständige u. vorüberg. Situation erfüllt

Zusammenfassung

Für jeden Detailnachweispunkt wird am Ende eine Zusammenfassung aller geführten Nachweise mit der maximalen Ausnutzung und dem zugehörigen Nachweis gedruckt.

Zusammenfassung aller Nachweise

max. Ausnutzung: U = 0.880

Faktorisierung der Nachweisergebnisse

U = 0.880 Nw2:Ex1[min σ_1]:Lf1+Lf2+0.9*Lf70+0.2*(Lf4+Lf36+Lf44)

13 Index

Abkürzungen 2
Ansicht 122
Auflagerzwangsverformungen 82
ausrichten 68
Auswahl 103
Auswahlliste 122
Baumansicht 45
Bauteil erzeugen 9
Bearbeitungsablauf 10, 38
Beispiel 15
Belastung 39
Belastungsstruktur 79
Betondruckspannung 93, 94
Betonrandspannung 95
Betonstahl 53
Betonstahlspannung 94
Bettung 70
blank 2
Blickwinkel 42
Brückentyp 46
Buttons 2
Cursor 2
darstellbare Größen 126
Darstellung, fotorealistische 44
Darstellungseigenschaften 43
Darstellungsmodus 120
Darstellungsoptionen 16
Datenbereinigung 99
Datenzustandsüberprüfung 99
Deformationen 123
Dekompression 92
Detailnachweispunkte 102
Doppelklick 40, 116, 125, 130
drehen 68
Drucklistengestaltung 128
Druckmanager 132
DXF 61
Ebene 75
Editorfunktionen 16
Eigengewicht 23, 80
Eingabeassistent 22, 79
Einschnürung 18, 56, 57
Einwirkung 2, 22
e-Mail 8
Ergebnisvisualisierung 116
Ermüdung 87
Ermüdungsnachweis 96, 97
Extremalbildungsvorschrift 2
Exzentrizität 53
Fangerechteck 2
Fehlermeldungen 37
Folie 23
Freiwert 72
FW 72
Gelenke 71
Generierung 60
Gesamtsystem, Darstellung am 120
Grenzlinien 124
Gruppe 24, 76
Hauptachsensystem 126
Installation 7
Klon 104
Knoten 38
Knoten erzeugen 63
Knotenkoordinatensystem 69
Knotenlager 69
Knotenlasten 81
Knotentabelle 63
Kombinationsbeiwerte 50
Konstruktionskoordinatensystem 25, 67, 76, 115
Kontextsensitivität 8, 15
Konturendarstellungen 123
kopieren 84
Kriechbeiwerte 57
Kriechen 58
Kriecherzeugende Lasten 46
Krümmung 26
Lager 69
Lagerangaben 17
Lagerverformung 27
Lastbild 2, 79
Lastbilder kopieren 84
Lastfall 2
Lastkollektiv 2
Lastmodell 97
Lastsumme 45
Liniengrafiken 121
Linienlast 23, 80
Linienlasttyp 80
Material 72
Materialeinsatz 45
Materialgüte 87
Mindestbewehrung 91
mitwirkende Breite 18, 20, 55
Nachweise 31
Nachweisoptionen 74
Nachweisparameter 86
Netzwerk 39
Objektauswahl 39
Objekterzeugung 62
Plattenbalken 55
Programmsteuerung 37
Querschnitte 51
Querschnittsbibliothek 19
Querschnittseigenschaften 18
Randspannungen 48
redo 100, 114
Referenzobjekt 69
Regelfahrzeuge 28
Relaxation 47
Rissnachweis 91
Robustheitsbewehrung 90
Schalttafeln, dynamische 122
Schreibtisch 8
Schreibtischauswahl 7
Schwindbeiwerte 57
Schwinden 58
Sicherheitsbeiwerte 49
skalieren 43, 67
Spanngliedeigenschaften 112
Spannkraftverlust 58
Spannstahlspannung 95
Spannstrangassistent 106
Spannvorgang 27, 112

spiegeln 113
Stab 38
Stab erzeugen 63
Stabeinzellasten 81
Stabkoordinatensystem 71
Stablänge 65
Stabzug 78
Startsymbol 7
Steuerbutton 8
Stückliste 43
Stützensenkungen 27
System instabil 72
Systemdruckliste 101
Systemtabelle 51
Tabellen 121
Temperaturlasten 28, 81
Torsion 90
Tragfähigkeitsnachweis 49, 88, 89
Überspannreserve 113
Umlenkkräfte 26
undo 100, 114
unterteilen 18
Verbund, sofortiger 113
Verkehrslasten 28
verschieben 65, 66
Verschieblichkeit 72
Viewer 132
Visualisierung 116
Vorhaltemaß 110
Vorspannung 24
Vorspannungsdefinition 104
Voutung 21, 73
Wanderlasten 82
Zahlenwerte 124
Zoomfunktionen 42
Zustandslinien 121
Zwischenknoten 65