4H- STATIKPROGRAMME AUS HANNOVER

DTE Desktop Engineering ®

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

4H-BETON

Spannbetonnachweise

November 2014

4H-BETON

Spannbetonnachweise

Copyright 2002-2014

4. erweiterte Auflage, November 2014

pcae GmbH, Kopernikusstr. 4 A, 30167 Hannover

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.

Änderungen an Programm und Beschreibung vorbehalten.

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-BETON, Spannbetonnachweise, führt den Nachweis typisierter Spannbetonquerschnitte n. EC 2 (DIN EN 1992), DIN-Fachbericht 101/102 und DIN 4227. Hierdurch können einerseits die Nachweisverfahren einander gegenübergestellt und zweitens bestehende Bauwerke gemäß den alten Vorschriften nachgerechnet werden.

Zur Berechnung müssen Querschnittsgeometrie und äußere Schnittgrößen vorgegeben werden. Zur Auswahl stehen Rechteck-, Doppel-T-, Kreisring-, Hohlkasten und Plattenbalkenquerschnitte. Bei letzterem kann durch Weglassen von Teilabschnitten eine Vielzahl neuer Querschnittsformen mutiert werden. Die Geometrieeingabe erfolgt in den Maßketten des gewählten Querschnitts. Maximal 50 Spannstahllagen und die Betonstahlgeometrie mit Zulagemöglichkeiten werden in ihrer geometrischen Anordnung exakt in den Nachweisen erfasst. Die mitgelieferte Spannstahlbibliothek kann individuell erweitert werden.

Die Berechnungsnormen EC 2, DIN Fachbericht 101/102 oder DIN 1072/DIN 4227 können mit ihren unterschiedlichen Einwirkungs- und Nachweisstrukturen in einem Datensatz verwaltet werden, so dass allein durch Umschalten der gewählten Norm alle Daten zur Berechnung vollständig parat sind und jederzeit zwischen den Normen umgeschaltet werden kann, ohne dass zuvor eingegebene Werte verloren gehen.

Als Bauteilarten kommen Straßenbrücke/Geh- und Radwegbrücke/Eisenbahnbrücke zur Anwendung. Sämtliche daraus resultierenden ***Teilsicherheitsbeiwerte*** (γ-Werte) und ***Kombinationsbeiwerte*** (Ψ-Werte) werden vom Programm automatisch gesetzt.

Die Parameter zur Berechnung der Spannstahlrelaxation sind in den Zulassungen angegeben. Im Programm werden bzgl. der Sp. vier Alternativen zur Auswahl angeboten: 1. keine Berücksichtigung der Relaxation, 2. Berechnung n. DIN Fachbericht 102, 4.2.3.4.1, 1. Auflage (dieses Abschätzungsverfahren entspricht dem Verfahren des EC 2), 3. mit normaler und 4. mit sehr niedriger Relaxation.

Nach Vorgabe der erforderlichen querschnittsabhängigen Parameter berechnet das Programm die Schnittgrößen aus ***Schwind- und Kriecheinflüssen*** automatisch. Dabei werden standardmäßig zwei relevante Zeitpunkte berücksichtigt.

Der Eingabeassistent für die Belastungsstruktur baut ein komplettes Schnittgrößenüberlagerungsschema zur korrekten automatischen Zuweisung der Sicherheits-/Kombinationsbeiwerte auf. Alle erforderlichen Lastarten des EC 2/DIN Fb werden hierbei unterstützt: Eigengewicht G1-G3, horizontaler Erddruck aus Bodeneigengewicht, Vorspannung mit sofortigem/nachträglichem/ohne Verbund, externe Vorspannung, wahrscheinliche/mögliche Stützensenkungen, Lagerwechsel, Temperatur, Wind, Gehweg-, Erdbeben-, Sonderlasten, Tandem- und LM3-Stellungen in beliebiger Anzahl Fahrspuren. Analog werden alle erforderlichen Lastarten der DIN 1072/4227 unterstützt.

Für alle definierten Lastfälle können in einer Tabelle zugehörige Schnittgrößen bei minimaler Tipparbeit aus ASCII-Dateien ***importiert*** oder direkt eingegeben werden. Hieraus erzeugt das Programm automatisch die ***Überlagerungen*** der Schnittgrößen zur Durchführung der einzelnen Nachweise.

Alle n. EC/DIN Fb erforderlichen Nachweise können geführt werden: Tragfähigkeit Biegung/Schub S/V, A, E; Gebrauchsfähigkeitsnachweise der Kategorien A-E, Ermüdungsnachweise Stufe 1/2, Betonrandspannungen seltene Einwirkungskombination, Rissnachweis, Betondruckspannungen im Bauzustand und für K+S wesentlich, Betondruck- und Betonstahlspannungen, Spannstahlspannungen und Robustheitsbewehrung. Analog alle erforderlichen Nachweise n. DIN 4227.

In einem detaillierten Protokoll aller Nachweise werden alle Nachweislastkombinationen mit ihren Bildungslastfällen und den zugehörigen Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten ausgewiesen.

Die Programmentwicklung erfolgt nahezu ausschließlich durch Bauingenieure.

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

Zur *4H*-BETON-Dokumentation gehört das Manual *DTE®-DeskTopEngineering.*

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit *4H*-BETON.

pcae, Hannover, im November 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***, ***Imperfektion*** und ***Extremalbildungsvorschrift*** s. Handbuch *das pcae-Nachweiskonzept*, Theoretischer Teil.

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

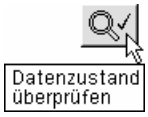
Bricht Eigenschaftsblätter ohne Änderung der Eingabewerte ab.

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 ... 5
2 Bauteil erzeugen ... 7
3 Eingabeoberfläche ... 9
3.1 Berechnungsoptionen ... 10
3.2 Sicherheitsbeiwerte Eurocode ... 12
3.3 Sicherheitsbeiwerte DIN Fachberichte ... 12
3.4 Verwaltung der Einwirkungen ... 14
3.4.1 Assistent zur Laststrukturierung ... 14
3.4.2 Einwirkungen und Lastfälle ... 15
3.4.3 Einwirkungseigenschaften ... 17
3.5 Schnittgrößen ... 18
3.6 Koordinatensysteme ... 19
3.7 freie Betonfestigkeitsklassen definieren ... 19
3.8 freien Betonstahl definieren ... 19
3.9 Querschnitte ... 20
3.9.1 Geometriedaten für Brückenquerschnitte ... 20
3.9.2 Spannstahl eingeben ... 21
3.9.3 Rechteckquerschnitt ... 22
3.9.4 Plattenbalken ... 23
3.9.5 Doppel-T-Querschnitt ... 23
3.9.6 Hohlkasten ... 24
3.9.7 Kreis- / Kreisringquerschnitt ... 25
3.9.8 mitwirkende Breiten EC / DIN Fb ... 26
3.9.9 mitwirkende Breiten DIN 1075 ... 27
3.9.10 Schlaffstahleingabe ... 28
3.9.11 Kriechen und Schwinden ... 29
3.9.12 Kriech- und Schwindparameter ... 30
3.9.13 Querschnittswerte ... 31
3.10 Nachweisparameter ... 32
3.10.1 Nachweisoptionen EC 2 und DIN Fb ... 32
3.10.2 Nachweisoptionen DIN 4227 ... 32
3.10.3 Betongüte und Betonstahlsorte ... 33
3.11 Ermüdungsnachweis ... 33
3.12 Spannstahlrelaxation ... 34
3.13 Nachweise n. Eurocode ... 35
3.13.1 Tragfähigkeit Biegung mit Längskraft n. EC 2 ... 35
3.13.2 Tragfähigkeit Querkraft mit Torsion n. EC 2 ... 36
3.13.3 Robustheitsbewehrung n. EC 2 ... 37
3.13.4 Rissnachweis n. EC 2 ... 38
3.13.5 Dekompression n. EC 2 ... 39
3.13.6 Betondruckspannungen n. EC 2 ... 40
3.13.7 Betondruck- und Betonstahlspannungen n. EC 2 ... 41
3.13.8 Spannstahlspannungen n. EC 2 ... 42
3.13.9 Betonrandspannungen unter seltener Einwirkungskombination ... 42
3.13.10 Ermüdungsnachweis Beton unter Druck oder Querkraft n. EC 2 ... 43
3.13.11 Ermüdungsnachweis Beton- und Spannstahl n. EC 2 ... 44
3.14 Nachweise n. DIN Fachbericht ... 46
3.14.1 Tragfähigkeit Biegung mit Längskraft n. DIN Fb ... 46
3.14.2 Tragfähigkeit für Querkraft mit Torsion n. DIN Fb ... 47
3.14.3 Robustheitsbewehrung n. DIN Fb ... 48
3.14.4 Rissnachweis n. DIN Fb ... 49
3.14.5 Dekompression n. DIN Fb ... 50
3.14.6 Betondruckspannungen n. DIN Fb ... 51
3.14.7 Betondruck- und Betonstahlspannungen n. DIN Fb ... 52
3.14.8 Betondruckspannungen im Bauzustand ... 53
3.14.9 Spannstahlspannungen DIN Fb ... 54
3.14.10 Betonrandspannungen unter seltener Einwirkungskombination ... 54
3.14.11 Ermüdung Stufe 1 n. DIN Fb ... 55
3.14.12 Ermüdung Stufe 2 n. DIN Fb ... 55
3.14.13 Hauptzugspannungen n. ARS 11/2003 ... 57
3.15 Berechnung ... 57
3.16 Ausdruck des Nachweises ... 57

3.17 Bearbeitung beenden 57
4 Literaturverzeichnis 58
5 Index 59

1 Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten

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

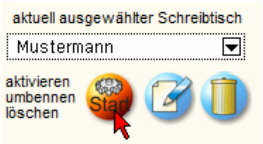
Sofern Sie bereits im Besitz anderer ///-Programme sind und diese auf Ihrem Rechner installiert sind, lesen Sie bitte auf S. 7 weiter.

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 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.

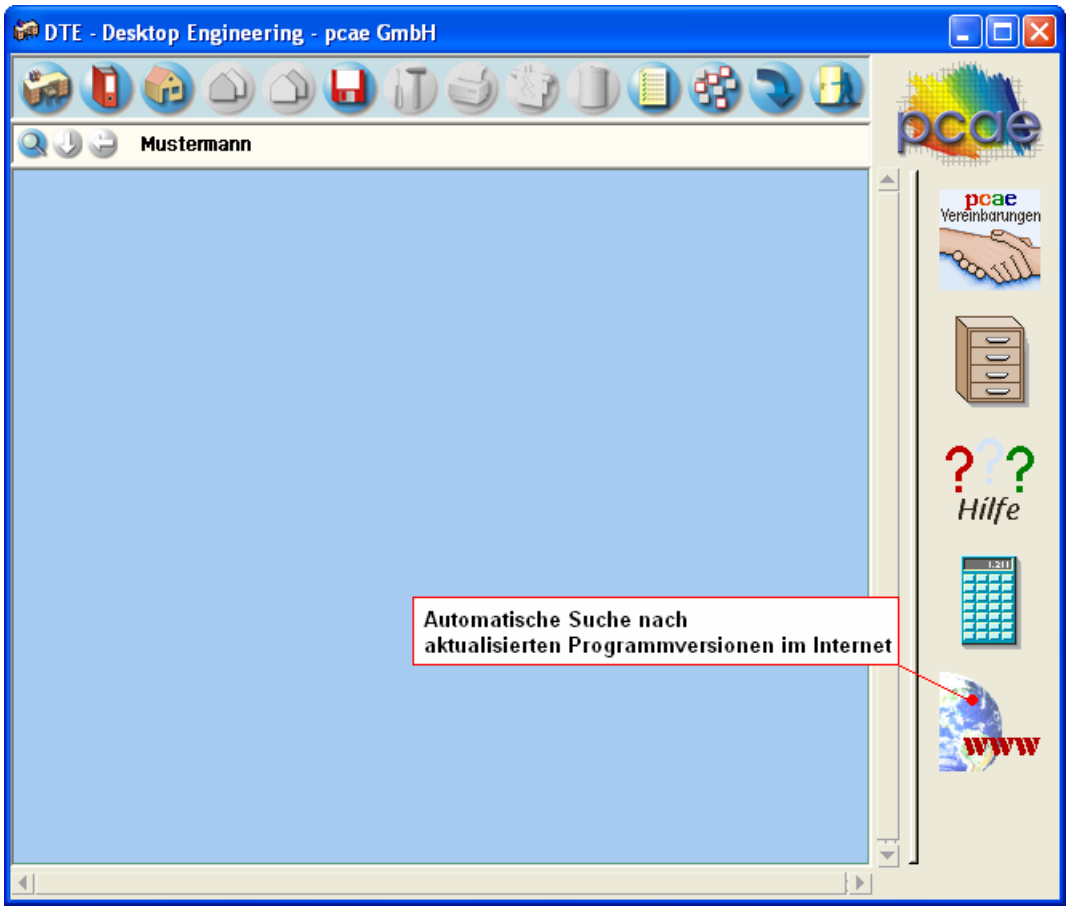


Nach Bestätigen über das ***Hakensymbol*** erscheint wieder die Schreibtischauswahl, in die der neue Name bereits eingetragen ist. Drücken Sie auf ***Start*** und die DTE®-Schreibtischoberfläche erscheint auf dem Bildschirm.

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.*

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

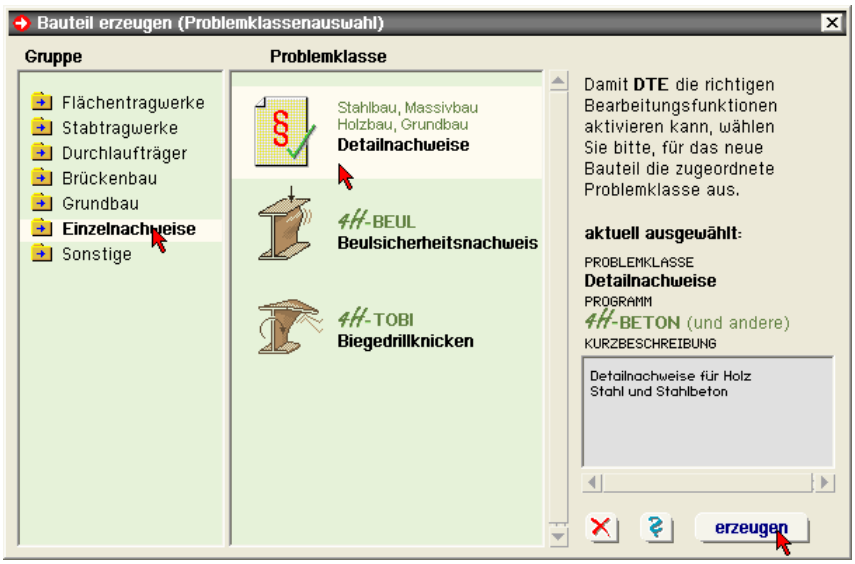
2 Bauteil erzeugen

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

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

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

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



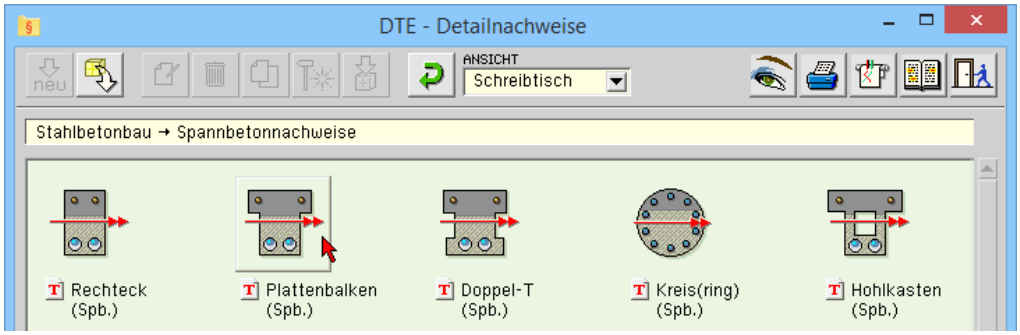
Der schwarze Rahmen der neuen Bauteilikone lässt sich mit der Maus über den Schreibtisch bewegen. Klicken Sie die LMT an der Stelle, an der das Bauteil auf dem Schreibtisch platziert werden soll. Das Eigenschaftsblatt *Name und Bezeichnung* erscheint.

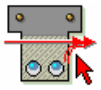
Überschreiben Sie den Begriff *Detailnachweise* zur Identifikation durch einen sinnvollen Text. Nach ***Bestätigen*** ist das Bauteil mit dem neuen Namen eingerichtet. Durch Doppelklicken des neuen Symbols wird die Verwaltung der DTE®-Detailnachweise geöffnet.

Übersicht Detailnachweise

Stahlbeton

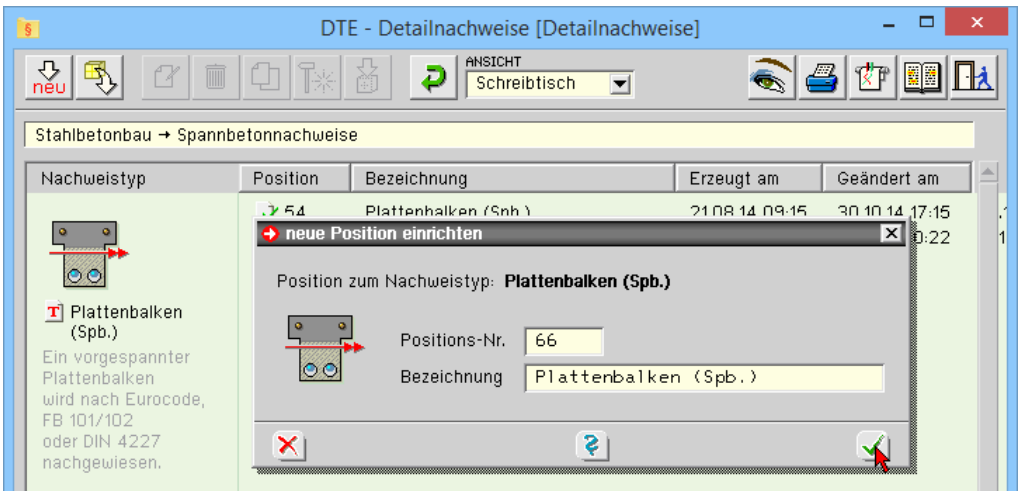
Spannbeton-nachweise



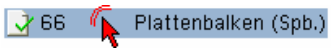


Klicken Sie im folgenden Übersichtblatt den Nachweistyp mit der LMT doppelt an. Im nächsten Eigenschaftsblatt können der Position eine beliebige Nummer und ein kennzeichnender Text zugewiesen werden.

neue Position

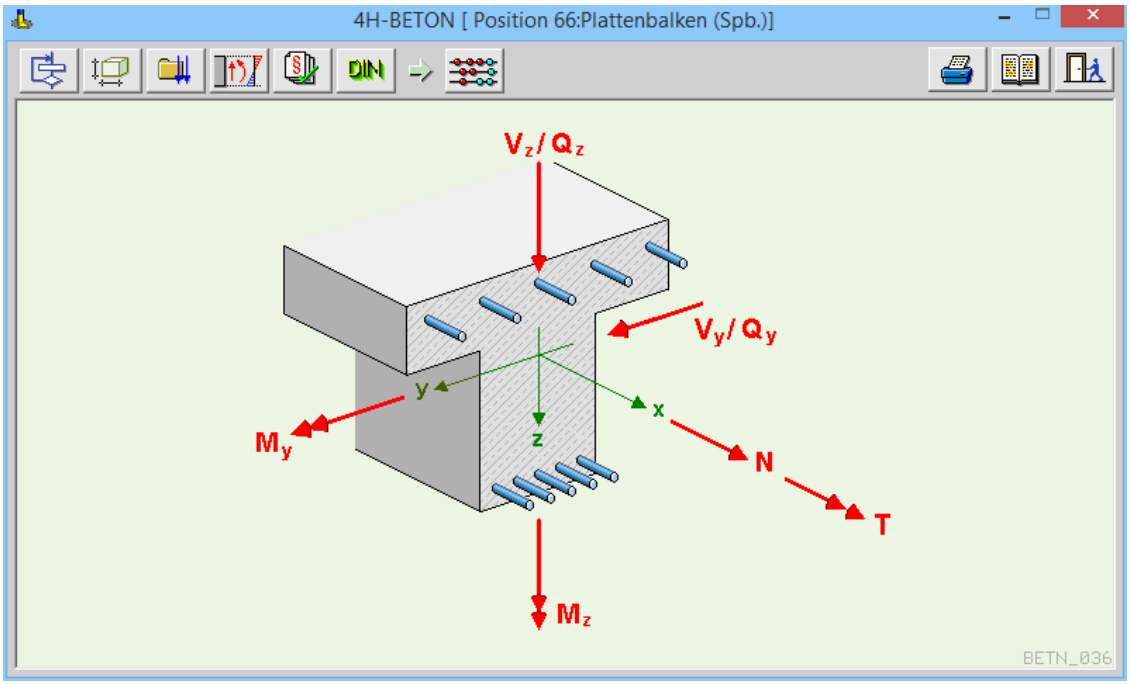


Zur übergeordneten Detailnachweiseinteraktion s. Handbuch *DTE®-DeskTopEngineering.*



Im rechten Bereich erscheint die neue Position in einem Verzeichnis. Klicken Sie hier bitte doppelt auf den neuen Schriftzug. Daraufhin erscheint das Übersichtsfenster des Nachweistyps *Plattenbalken (Spb.)*.

3 Eingabeoberfläche



Im oberen Bereich des Haupteigenschaftsblatts befinden sich die ***Buttons*** zur Nachweissteuerung, deren Funktionen im Folgenden beschrieben werden.

Der Detailnachweis ***4H***-BETON, Spannbetonnachweise, gestattet den Nachweis typisierter Spannbetonquerschnitte nach DIN EN 1992 (EC 2), DIN Fachbericht 101/102 oder DIN 4227 (z.B. für Nachrechnungen).

Um eine Berechnung durchzuführen, müssen Querschnittsgeometrie und äußere Schnittgrößen vorgegeben werden. Zur Auswahl stehen die typisierten ***Querschnitte*** *Rechteck*, *Plattenbalken*, *Doppel-T*, *Kreis-/Kreisring* und *Hohlkasten*, die durch Weglassen von Teilabschnitten zu einer Vielzahl neuer Querschnittsformen mutiert werden können.

Da die Bildung der Einwirkungskombinationen ein wesentlicher Bestandteil der neuen Normen ist, wird die Überlagerung der charakteristischen Schnittgrößen automatisch vom Programm übernommen.

Zur Durchführung der Eingabe sollte in folgender Abfolge vorgegangen werden.

Eingabe der grundlegenden Berechnungsoptionen und Normenparameter (Abs. 3.1, S. 10)

Eingabe der Querschnittsgeometrie und der Schlaff- und Spannstahleinlagen (Abs. 3.9, S. 20)

Definition der Einwirkungen und Lastfälle (Abs. 3.4, S. 14)

Eingabe der Schnittgrößen (Abs. 3.5, S. 18)

Anlegen der erforderlichen Nachweise (Abs. 3.10, S. 32)

Eingabe der Materialangaben und der Nachweisoptionen (Abs. 3.10, S. 32)

Durchführung der Berechnung (Abs. 3.15, S. 57)

Ergebnisse drucken (Abs. 3.16, S. 57)

Hilfestellungen

Beenden der Bearbeitung (Abs. 3.17, S. 57)

Grundsätzlich ist die Eingabereihenfolge beliebig; es muss jedoch vor der Eingabe der Schlaff- und Spannstahleinlagen das Materialeigenschaftsblatt ausgefüllt werden.

3.1 Berechnungsoptionen

das Fenster mit den globalen Einstellungen wird durch Klicken des ***Global***-Buttons erreicht.

Folgende globale Parameter können festgelegt werden.

Über die Optionsschalter ***Straßenbrücke*** / ***Geh- und Radwegbrücke*** / ***Eisenbahnbrücke*** wird die Bauteilart festgelegt. Dies hat i.W. Einfluss auf die Teilsicherheitsbeiwerte (γ-Werte) und Kombinationsbeiwerte (ψ-Werte) nach Eurocode bzw. DIN Fachbericht, die vom Programm automatisch gesetzt werden.

Über die ***Norm***-Buttons können gewählt werden

- DIN 4227
- DIN Fachbericht 102
- Eurocode 2 DIN EN 1992

Hierbei ist zu beachten, dass jede Norm eine eigene Einwirkungsstruktur bzgl. der Schnittgrößenvorgabe sowie eine eigene Nachweisstruktur besitzt. D.h. bei einem Normenwechsel müssen die Einwirkungen mit den Schnittgrößen und die Nachweise neu eingerichtet bzw. aktualisiert werden.

Die kriecherzeugenden Lasten (s. Abs. 3.9.11, S. 29) werden automatisch vom Programm entspr. DIN EN 1992, 5.10.6, bzw. 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.

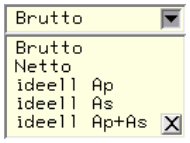
Gemäß DIN EN 1992, 5.10.6 (1), bzw. DIN Fachbericht 102, 4.2.3.5.5 (2)P, sind die Spannkraftverluste infolge ***Spannstahlrelaxation*** (s. Abs. 3.12, S. 34) zu berücksichtigen. Die Kennwerte zur Berechnung der Relaxation sind üblicherweise den Zulassungen zu entnehmen.

Die Sicherheitsbeiwerte gemäß Eurocode bzw. DIN Fachbericht 101/102 sind standardmäßig voreingestellt. Es ist jedoch möglich, über die Optionsknöpfe im Auswahlbereich Sicherheitsbeiwerte (s. Abs. 3.2, S. 12) abweichende Werte für die DIN Fachberichte und Eurocode einzustellen.

Bei Änderung der Standardsicherheitsbeiwerte entsprechen die Nachweise nicht mehr der gewählten Norm!

Ein Klick auf den Schalter ***Spannungsberechungen*** öffnet ein Fenster zur Einstellung der Parameter, mit denen die Randspannungen nach Zustand I bzw. Zustand II berechnet werden sollen.

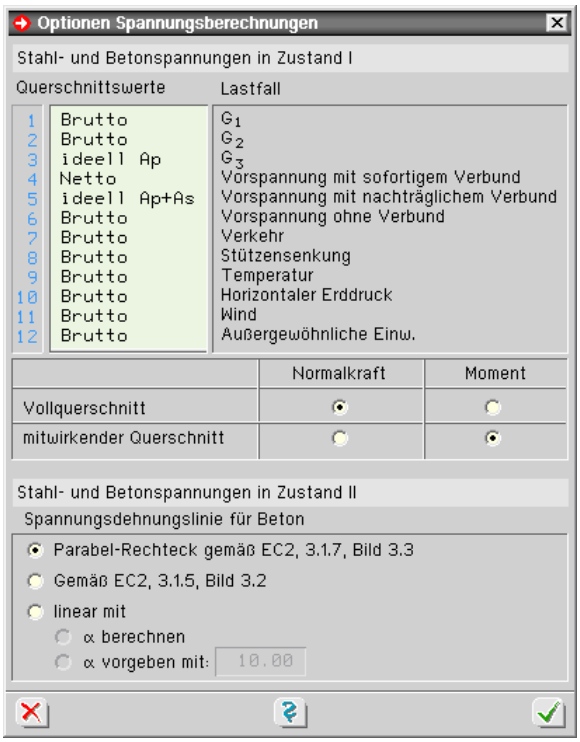
Für die Berechnung in Zustand I kann für jede Lastfallart definiert werden mit welchen Querschnittswerten die Randspannungen berechnet werden sollen.



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

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

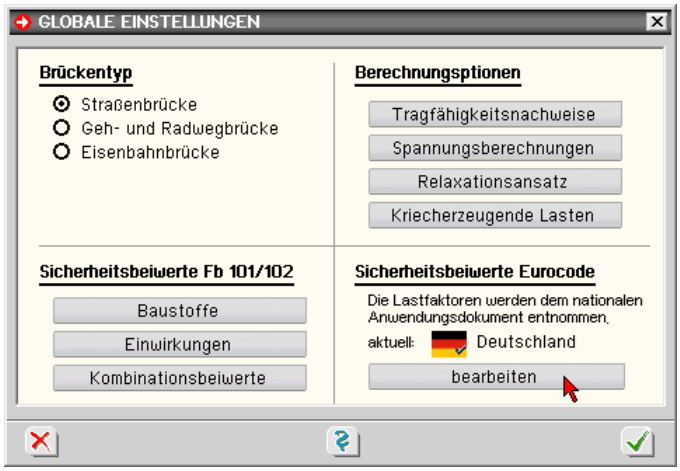
- Parabel-Rechteckdiagramm entspr. DIN EN 1992, 3.1.7 Bild 3.3, bzw. DIN Fachbericht 102, 4.2.1.3, Abb. 4.2. Dieser Ansatz gilt für Bemessung und Bruchsicherheitsnachweise und liefert aufgrund des „weichen" Ansatzes für Beton geringe Betonspannungen.
- Spannungsdehnungslinie für Verformungsberechnungen entspr. DIN EN 1992, 3.1.5 Bild 3.2, bzw. DIN Fachbericht 102 4.2.1.3, Abb. 4.1. Diese Linie ist zwar für Verformungsberechnungen vorgesehen, liefert aber aufgrund der realitätsnahen Abbildung des Betonverhaltens realistische Werte für die Betonrandspannungen. Dies ist die Standardeinstellung.
- lineare Spannungsdehnungslinie mit berechnetem oder vorgebbaren Verhältnis der E-Moduln. 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.

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

3.2 Sicherheitsbeiwerte Eurocode

Die Sicherheitsbeiwerte nach DIN EN 1990 und DIN EN 1992 können im Eigenschaftsblatt ***Globaleinstellungen*** durch Anklicken der entsprechenden Option geändert werden.

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Nachweise bei Änderung der Standardsicherheitsbeiwerte nicht mehr den Normen entsprechen!



Das Anklicken des ***bearbeiten***-Buttons öffnet das Fenster zur Auswahl des nationalen Anwendungsdokuments. Hier können das zu verwendende Anwendungsdokument ausgewählt und die Bemessungsparameter eingesehen und ggf. bearbeitet werden.

3.3 Sicherheitsbeiwerte DIN Fachberichte

Die Sicherheitsbeiwerte nach DIN-Fachbericht 101/102 können im Eigenschaftsblatt globale Einstellungen durch Anklicken der entsprechenden Optionen geändert werden.

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Nachweise bei Änderung der Standardsicherheitsbeiwerte nicht mehr den Normen entsprechen!

Folgende Beiwerte können editiert werden.

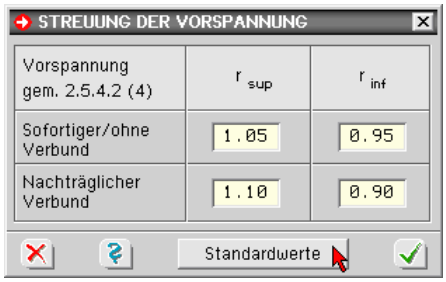
Baustoffe

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.

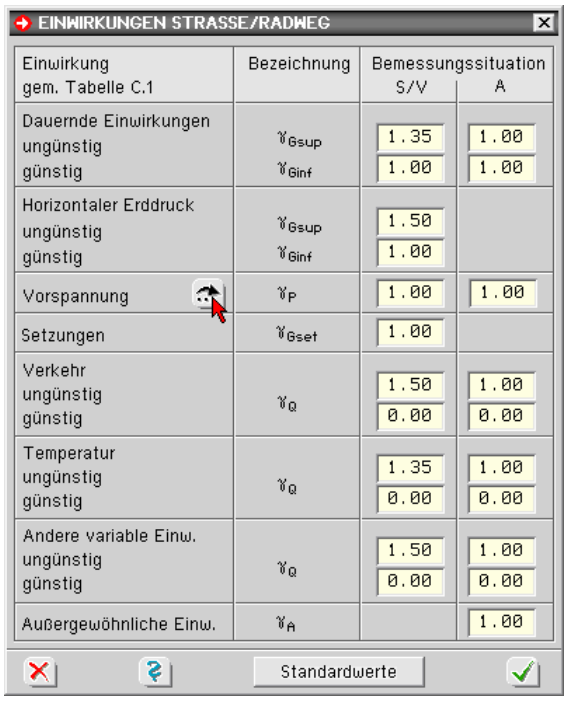
Durch Anklicken des markierten Knopfs werden die ***Standardwerte*** nach DIN Fachbericht 102 zurückgesetzt.

Einwirkungen

Durch Anklicken des betreffenden Optionsknopfs wird ein Eigenschaftsblatt mit den aktuellen Sicherheitsbeiwerten zu den Baustoffen gemäß DIN Fachbericht 102, IV-C.2.3, Tab. C.1, 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 gemäß DIN Fachbericht 102, II-2.5.4.2, geöffnet.

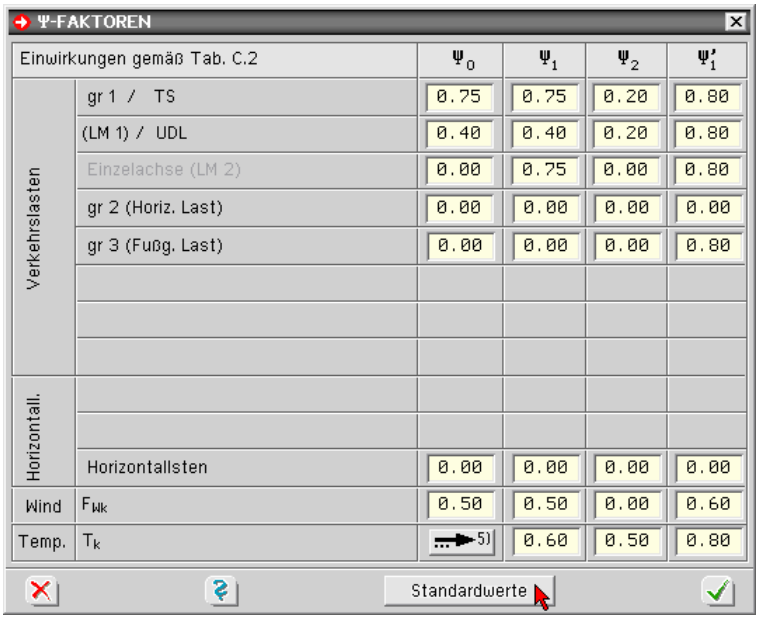


Durch Anklicken des markierten Knopfs werden die ***Standardwerte*** nach DIN Fachbericht 102 zurückgesetzt.

Kombinationsbeiwerte

Durch Anklicken des betreffenden Optionsknopfs wird ein Eigenschaftsblatt mit den aktuellen Kombinationsbeiwerten geöffnet. In Abhängigkeit der bei den Materialdaten gewählten Bauteilart (***Straßen***-, ***Geh-/Radweg***- oder ***Eisenbahnbrücke***) wird das entsprechende Eigenschaftsblatt zu DIN Fachbericht 102, IV-C.2 oder D.2, geöffnet.

Durch Anklicken des markierten Knopfs werden die ***Standardwerte*** nach DIN Fachbericht 102 zurückgesetzt.



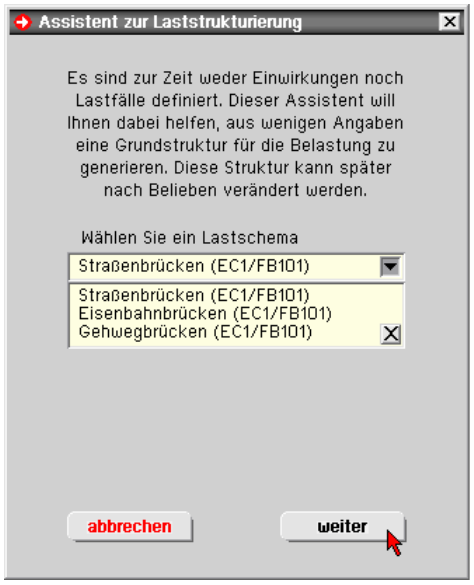
3.4 Verwaltung der Einwirkungen

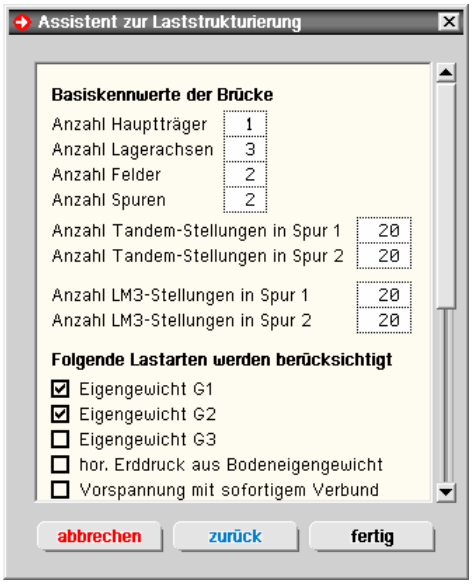
3.4.1 Assistent zur Laststrukturierung

Durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Buttons wird das Fenster zur Definition von Einwirkungen und Lastfällen aktiviert.

Da im Brückenbau eine spezielle Einwirkungsstruktur mit brückenbauspezifischen Lastfällen und Überlagerungsregeln erzeugt werden muss, wird zur Erleichterung der Eingabe beim erstmaligen Aufruf der Einwirkungsverwaltung der Einwirkungsassistent gestartet.

Im Assistenten erscheint zunächst eine Listbox, in der die Brückenart gewählt wird.





Im zweiten Eigenschaftsblatt werden vom Anwender, abhängig von der Brückenart (Straßen-, Eisenbahn- oder Fußgängerbrücke), die zu berücksichtigen Lastfallarten (z.B. Eigengewicht, Verkehr, Temperatur, Stützensenkung, ...) angewählt.

Der Assistent erzeugt daraufhin automatisch die zugehörige Einwirkungsstruktur mit allen brückenbauspezifischen Überlagerungsregeln.

Im Brückenbau werden Lastfälle niemals direkt unter Einwirkungen angelegt. Lastfälle sind immer in so genannten Gruppenordnern enthalten.

Anhand des Typs des Gruppenordners (z.B. G1, G2, Tandemlasten, ...) erkennt das Programm die Lastart und erhält somit die nötigen Informationen zum Setzen der Überlagerungsregeln (additiv oder alternativ) sowie der Sicherheits- und Kombinationsbeiwerte.

Die vom Assistenten erzeugte Struktur kann nachträglich vom Anwender verändert werden; die Struktur des Einwirkungsbaums sollte dabei aber nicht verändert werden.

Bei der Lastbeschreibung ist Folgendes zu beachten

- um für Verkehrslasten die ungünstigste Lastkombination zu ermitteln, muss die Brückenfläche schachbrettartig in Felder unterteilt werden, die von den Lager- und Hauptträgerachsen (in Quer- und Längsrichtung) begrenzt werden. Hierzu müssen die Anzahlen der Lagerachsen, der Hauptträger und der Felder angegeben werden.
- die Anzahl der Spuren legt fest, wie viel unterschiedliche Hauptspuranordnungen untersucht werden sollen.
- anhand dieser Informationen kann der Assistent nach Anklicken des ***Fertig***-Buttons die Einwirkungsstruktur erzeugen.
- wird die Einwirkungsverwaltung anschließend mit dem grünen ***Haken*** verlassen, wird die gewählte Einwirkungsstruktur gespeichert.
- ein nochmaliges Starten der Einwirkungsverwaltung öffnet direkt die Einwirkungsstruktur, die nun nachträglich verändert werden kann; der Assistent startet nicht mehr.
- soll der Assistent trotzdem erneut gestartet werden, muss zuvor der gesamte Einwirkungsbaum gelöscht werden.

3.4.2 Einwirkungen und Lastfälle

Durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Buttons wird das Fenster zur Definition von Einwirkungen und Lastfällen aktiviert.

Hierin werden Einwirkungen und Lastfälle erzeugt und hinsichtlich ihrer Eigenschaften festgelegt. Die Eigenschaften haben Einfluss auf die Bildung der den Nachweisen zugeordneten Extremalbildungsvorschriften und Lastkollektive.

Im Brückenbau ist die Struktur der Einwirkungen von vornherein festgelegt. Üblicherweise wird die Einwirkungs- und Lastfallstruktur beim erstmaligen Klick auf den Einwirkungsbutton vom Assistenten zur Laststrukturierung erzeugt. Es können aber auch nachträglich Änderungen (Löschen, Hinzufügen von Einwirkungen und Lastfällen) vorgenommen werden. Die brückenbauspezifische Einwirkungsstruktur darf dabei aber nicht verändert werden.

Unter den Einwirkungen werden so genannte Gruppenordner eingefügt. Die G. legen den Lastfalltyp und damit auch die Überlagerungsregeln (additiv oder alternativ) sowie die Kombinations- und Sicherheitsbeiwerte der Elemente fest, die sie beinhalten.

Im Kopf des Eigenschaftsblatts sind die Buttons lokalisiert, die die erforderlichen Aktionen einleiten.

Belastungsschemata speichern

Mittels des Kopier-Buttons können Belastungsschemata schreibtischglobal gespeichert und später in einem anderen Bauteil wieder geladen werden.

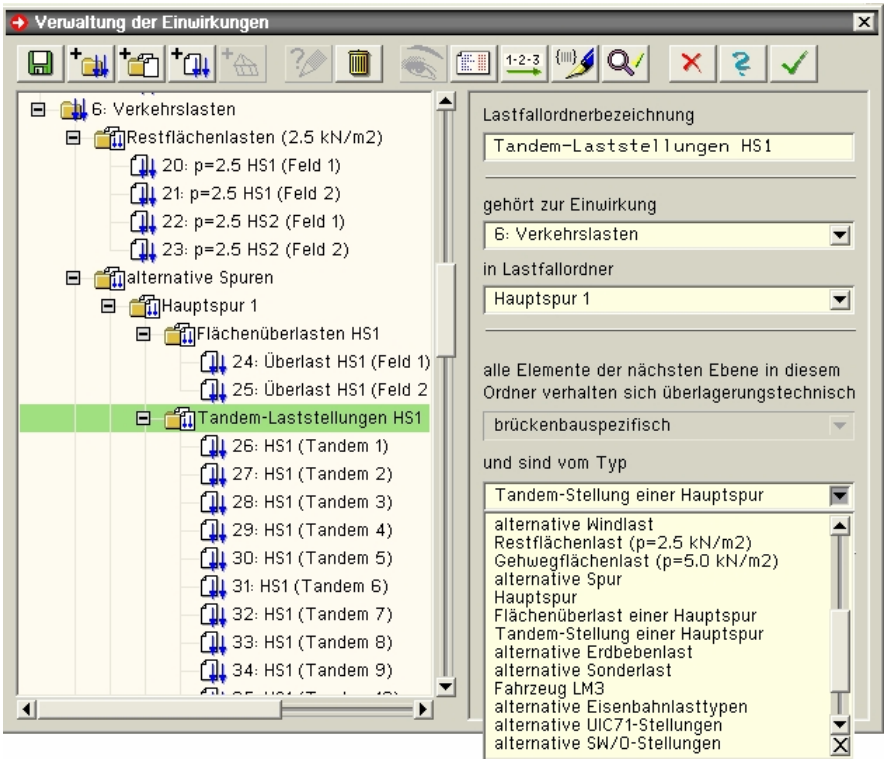
Wurde also eine Struktur von Einwirkungen und Lastfällen erzeugt, die auch bei anderen Bauteilen sinnvoll zum Einsatz kommen könnte, bietet es sich an, diese Struktur unter einem bestimmten Namen zu speichern. Bei einem später zu bearbeitenden Bauteil kann dann das komplette Belastungsschema geladen werden.

Einwirkung erzeugen

Über den ***erzeuge-Einwirkung***-Buttons wird eine neue Einwirkung erzeugt, in die Liste der bestehenden Einwirkungen im Objektbaum aufgenommen und ausgewählt, sodass ihre Eigenschaften (s. Abs. 3.4.3, S. 17) festgelegt werden können.

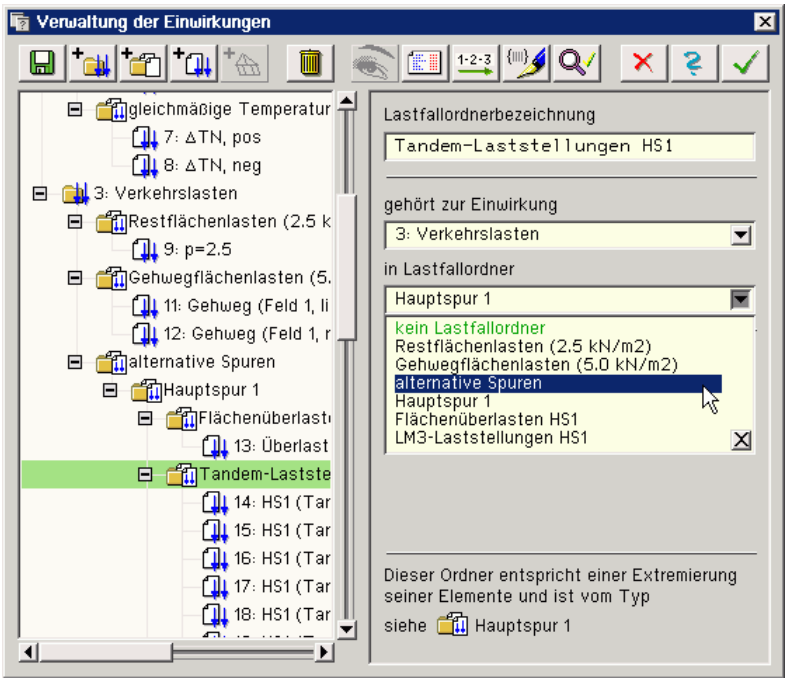
Lastfallgruppe erzeugen

Der ***erzeuge-Gruppenordner***-Button erzeugt eine Lastfallgruppe, die einzelne Lastfälle oder weitere Gruppenordner enthalten kann. Grundsätzlich sind alle Gruppenordner vom Typ *brückenbauspezifisch*. Die Listbox *Typ* legt den Typ der Elemente fest, die im gewählten Gruppenordner enthalten sind.



Anhand dieses Typs bildet das Programm automatisch die entsprechende brückenbauspezifische Überlagerungsvorschrift.

Über die entsprechenden Listboxen kann eine Gruppe in eine andere Gruppe oder Einwirkung verschoben werden.



Lastfall erzeugen

Mit dem ***erzeuge-Lastfall***-Button wird ein neuer Lastfall erzeugt, in die Liste der bestehenden Lastfälle im Objektbaum aufgenommen und ausgewählt, sodass seine Eigenschaften festgelegt werden können.

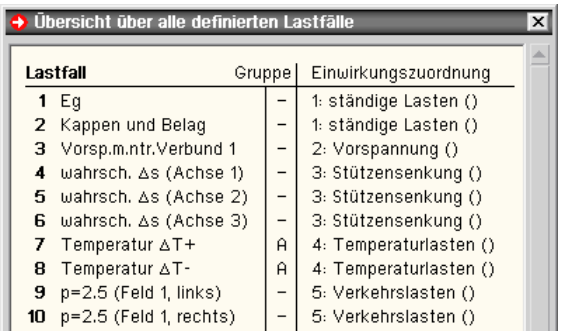
Der Lastfall wird automatisch der aktuell ausgewählten Einwirkung zugeordnet. Diese Zuordnung lässt sich über die Lastfalleigenschaften im Nachhinein ändern.

Objekt löschen

Mit dem ***lösche-Objekt***-Button kann ein ausgewähltes (grün hinterlegtes) Objekt aus dem Objektbaum gelöscht werden.

Übersicht Lastfälle - Einwirkungszuordnung

Der nebenstehend gezeigte Button liefert eine Gesamtübersicht über die bisherigen Festlegungen.



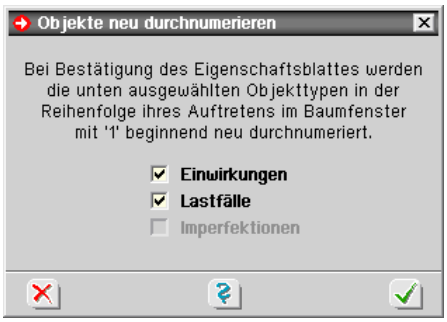
Übersicht über alle definierten Lastfälle

	Lastfall	Gruppe	Einwirkungszuordnung
1	Eg	–	1: ständige Lasten ()
2	Kappen und Belag	–	1: ständige Lasten ()
3	Vorsp.m.ntr.Verbund 1	–	2: Vorspannung ()
4	wahrsch. Δs (Achse 1)	–	3: Stützensenkung ()
5	wahrsch. Δs (Achse 2)	–	3: Stützensenkung ()
6	wahrsch. Δs (Achse 3)	–	3: Stützensenkung ()
7	Temperatur ΔT+	A	4: Temperaturlasten ()
8	Temperatur ΔT-	A	4: Temperaturlasten ()
9	p=2.5 (Feld 1, links)	–	5: Verkehrslasten ()
10	p=2.5 (Feld 1, rechts)	–	5: Verkehrslasten ()

Einwirkungen / Lastfälle neu nummerieren

Über den ***Nummerierungs***-Button können die definierten Einwirkungen und Lastfälle neu (geschlossen) durchnummeriert werden.

Dies bietet sich insbesondere an, wenn zwischenzeitlich erzeugte Objekte im Explorerfenster im Nachhinein wieder gelöscht wurden.



Datenzustandsüberprüfung

Die Datenzustandsüberprüfung untersucht die aktuellen Definitionen auf Plausibilität hin und sollte vor Verlassen des Eigenschaftsblatts ausgeführt werden.

Etwaige Warnungen können dabei helfen, Missverständnisse im Datenzustand auszuräumen.

sonstige Buttons

Das Anklicken des ***abbrechen***-Buttons schließt das Eigenschaftsblatt, wobei sämtliche Änderungen verworfen werden.

Das Anklicken des ***Hilfe***-Buttons ruft die Onlinehilfe auf.

Das Anklicken des ***bestätigen***-Buttons schließt Eigenschaftsblatt und sämtliche Festlegungen werden in den Datenbereich des Eingabemoduls übernommen.

Nachdem Einwirkungen und Lastfälle definiert wurden, können Schnittgrößen eingegeben werden (s. Abs. 3.5, S. 18).

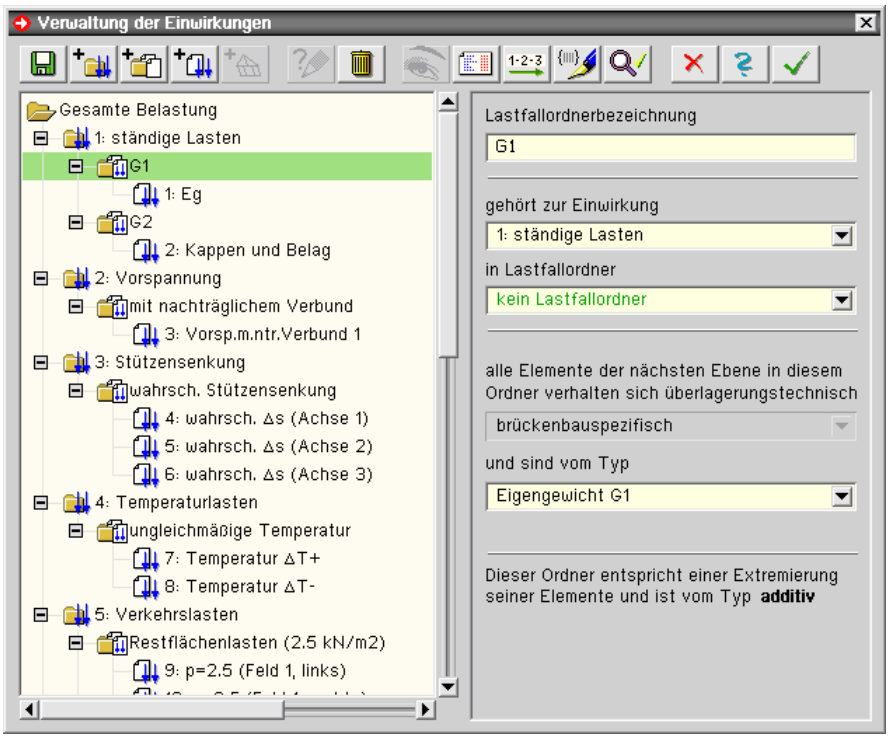
Weitere Informationen s. Einwirkungseigenschaften Abs. 3.4.3, S. 17.

Ausführliche Erläuterungen zu den Verwaltungen der Einwirkungen und Nachweise sind zudem im Handbuch *das pcae-Nachweiskonzept* enthalten. Das H. kann als pdf-Dokument von unserer Website www.pcae.de heruntergeladen werden.

3.4.3 Einwirkungseigenschaften

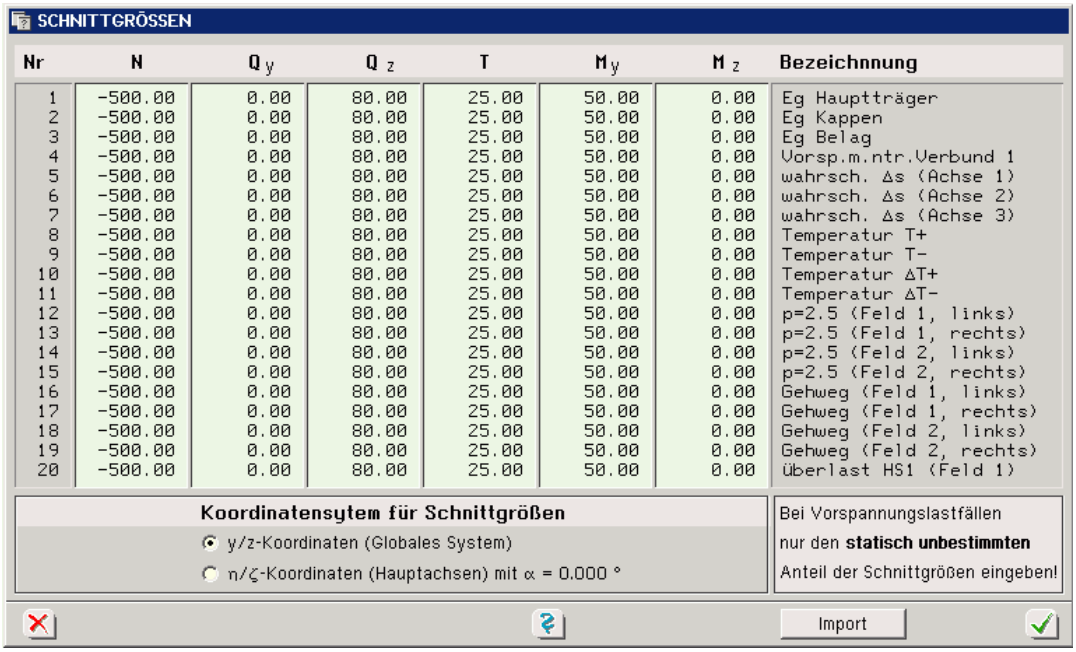
Ist auf der linken Seite des Eigenschaftsblatts zur Verwaltung von Einwirkungen und Lastfällen eine Einwirkung markiert, erscheint auf der rechten Seite ein Rahmen, der die Eigenschaften der Einwirkung wiedergibt und zur Bearbeitung anbietet.

Neben der Einwirkungsnummer und der Bezeichnung werden hier Angaben zur Festlegung von Teilsicherheitsbeiwerten (oberer Bereich) und Kombinationsbeiwerten (unterer Bereich) festgelegt.



3.5 Schnittgrößen

Das Fenster zur Eingabe der Schnittgrößen wird durch Anklicken des dargestellten Buttons geöffnet.



SCHNITTGRÖSSEN

Nr	N	Q y	Q z	T	M y	M z	Bezeichnnung
1	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	Eg Hauptträger
2	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	Eg Kappen
3	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	Eg Belag
4	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	Vorsp.m.ntr.Verbund 1
5	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	wahrsch. Δs (Achse 1)
6	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	wahrsch. Δs (Achse 2)
7	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	wahrsch. Δs (Achse 3)
8	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	Temperatur T+
9	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	Temperatur T-
10	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	Temperatur ΔT+
11	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	Temperatur ΔT-
12	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	p=2.5 (Feld 1, links)
13	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	p=2.5 (Feld 1, rechts)
14	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	p=2.5 (Feld 2, links)
15	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	p=2.5 (Feld 2, rechts)
16	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	Gehweg (Feld 1, links)
17	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	Gehweg (Feld 1, rechts)
18	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	Gehweg (Feld 2, links)
19	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	Gehweg (Feld 2, rechts)
20	-500.00	0.00	80.00	25.00	50.00	0.00	Überlast HS1 (Feld 1)

In Abhängigkeit der eingestellten Nachweisnorm erscheint das Eigenschaftsblatt zur Eingabe der Schnittgrößen gemäß Eurocode, DIN-Fachbericht 101 oder DIN 4227.

In die Tabelle sind alle Schnittgrößen lastfallweise für Normalkraft, Biegemomente, Querkräfte und Torsionsmoment einzugeben.

Das Programm erzeugt aus diesen Vorgaben automatisch die Überlagerungen der Schnittgrößen zur Durchführung der einzelnen Nachweise.

Lastfall Vorspannung

Der statisch bestimmte Anteil der Vorspannung wird intern vom Programm aus der Querschnittsgeometrie sowie den in der Geometrieeingabe eingesetzten Spannstahllagen berechnet.

In der Schnittgrößeneingabe wird daher nur der statisch unbestimmte Anteil (Zwang) eingegeben!

Sollte das Tragwerk statisch bestimmt gelagert sein, sind die Schnittgrößen für den statisch unbestimmten Anteil zu Null zu setzen.

schiefe Hauptachsen

Bei Querschnitten mit schiefen Hauptachsen ist zu beachten, dass die Schnittgrößen wahlweise in Bezug auf die y-z-Achse oder auf die Hauptachsen η / ζ eingegeben werden können.

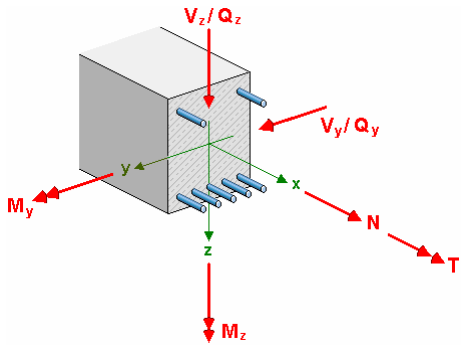
Das Umschalten zwischen den beiden Koordinatensystemen erfolgt über die Optionsknöpfe im unteren Bereich des Eigenschaftsblatts.

3.6 Koordinatensysteme

Alle Ein- und Ausgaben beziehen sich auf das rechtshändige xyz-Koordinatensystem. Der Querschnitt liegt in der y-z-Ebene, die gedachte Stabachse verläuft in der x-Achse.

Die Orientierung der Schnittgrossen ist wie folgt

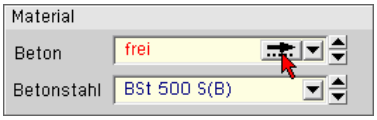
- N (Normalkraft) in x-Richtung
- M_y (Biegemoment) dreht um die y-Achse
- M_z (Biegemoment) dreht um die z-Achse
- V_y / Q_y (Querkraft) in y-Richtung
- V_z / Q_z (Querkraft) in z-Richtung
- T (Torsionsmoment) dreht um die x-Achse



3.7 freie Betonfestigkeitsklassen definieren

Die Eingabe eines frei definierten Betons erfolgt im Eigenschaftsblatt *Nachweisoptionen* (s. Abs. 3.10.1, S. 32).

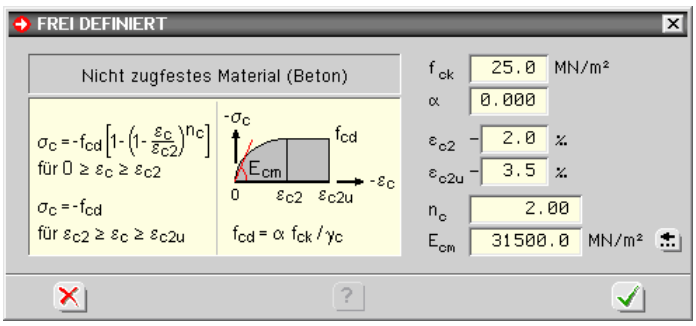
Wird in der Auswahlbox *Festigkeitsklasse* der Eintrag ***frei*** gewählt, erscheint in der Auswahlbox ein Optionsknopf über den das Eigenschaftsblatt zur Eingabe der erforderlichen Materialparameter geöffnet wird.



Die Spannungsdehnungsbeziehung für den Beton wird als Parabel-Rechteckdiagramm idealisiert. In den Eingabefeldern können die zugehörigen Parameter f_{ck}, α, ε_{c2}, ε_{c2u} und n_c eingegeben werden.

Der E-Modul E_{cm} wird entsprechend der eingestellten Norm berechnet. Alternativ kann der E-Modul E_{cm} direkt vorgegeben werden.

Die weitere Berechnung erfolgt dann entsprechend den Vorgaben der eingestellten Norm.

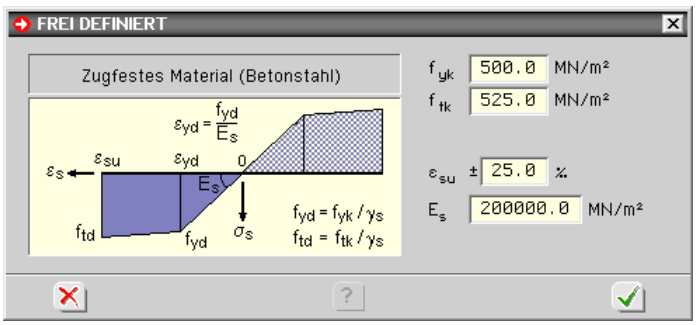


3.8 freien Betonstahl definieren

Die Eingabe eines frei definierten Betonstahls erfolgt im Eigenschaftsblatt *Nachweisoptionen* (s. Abs. 3.10.1, S. 32).

Wird in der Auswahlbox *Betonstahl* der Eintrag ***frei*** gewählt, erscheint in der Auswahlbox ein Optionsknopf über den ein Eigenschaftsblatt zur Eingabe der erforderlichen Materialparameter geöffnet wird.

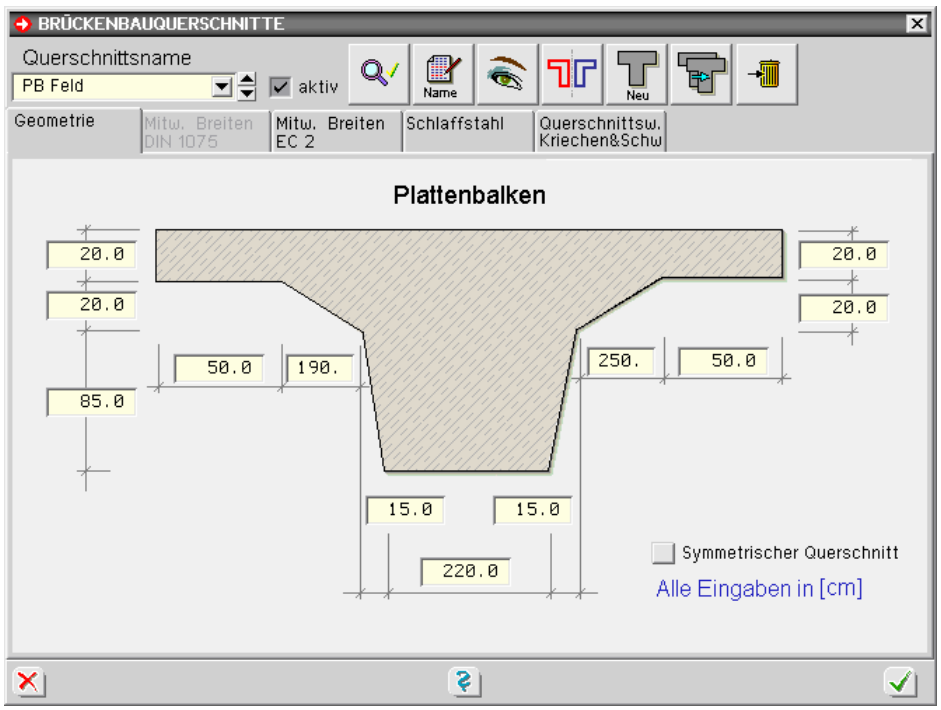
Die Spannungsdehnungsbeziehung für den Betonstahl wird als bilinearer Verlauf, der nach Erreichen der Streckgrenze konstant bzw. linear veränderlich ist. In die Eingabefelder können die zugehörigen Parameter f_{yk}, f_{tk}, ε_{su} und E_s eingetragen werden.



3.9 Querschnitte

3.9.1 Geometriedaten für Brückenquerschnitte

Nach Anklicken des Buttons ***Geometriedaten*** wird das Eigenschaftsblatt zur Eingabe von Abmessungen, mitwirkenden Breiten, sowie Schlaffstahl- und Kriech- u. Schwindparametern für den aktuellen Querschnittstyp aufgerufen.



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.

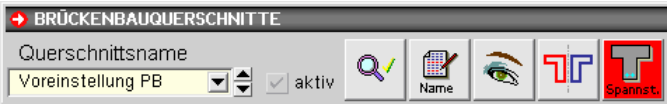
Mit Ausnahme der Plattendicken von Gurten und der Steghöhe können bei Plattenbalken- und Doppel-T-Querschnitten einzelne Maße zu Null gesetzt werden, so dass entartete Querschnitte erzeugt werden können.

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

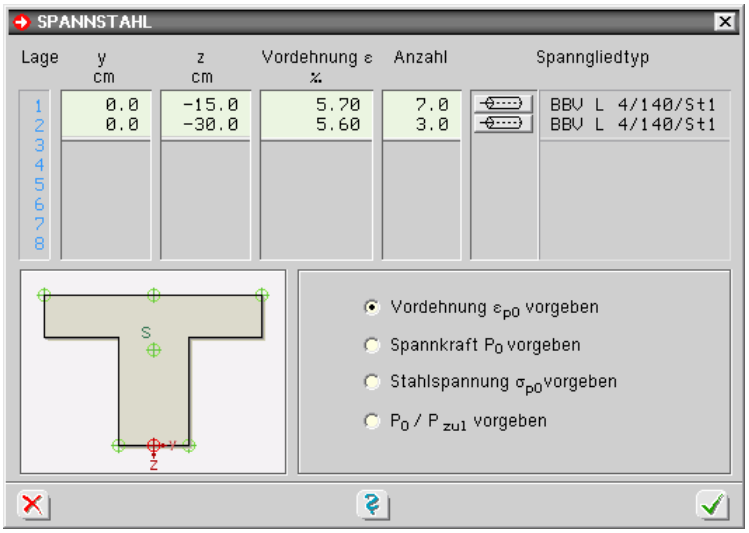
Zur Erleichterung der Eingabe kann über den Optionsknopf ***Symmetrischer Querschnitt*** in den Symmetriemodus gewechselt werden. Bei Aktivierung dieses Modus werden alle symmetrischen Maßangaben von der linken Querschnittshälfte auf die rechte gespiegelt.

3.9.2 Spannstahl eingeben

Die Eingabe der Spannglieder erfolgt über die Geometrieeingabe.

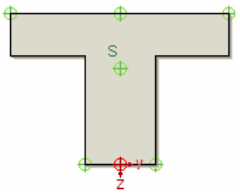


Es können mehrere Spannstahllagen eingegeben werden, wobei eine Lage wiederum eine beliebige Anzahl von Spanngliedern des gleichen Typs enthalten kann.



Folgende Angaben müssen für jede Lage in die Tabelle eingetragen werden.

Koordinaten des Spannglieds

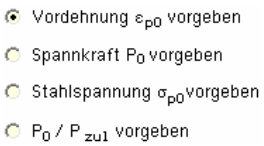


Der Ursprung des Bezugskoordinatensystems für die Spannglieder kann durch Anklicken der grün dargestellten, zur Auswahl stehenden Bezugspunkte in der Übersichtsskizze gewählt werden.

Alle Spanngliedkoordinaten beziehen sich auf das rot dargestellte Koordinatensystem.

Die y-z-Werte der Koordinaten sind in den entsprechenden Tabellenspalten einzutragen.

Vordehnung, Vorspannkraft, Stahlspannung oder P_0/P_{zul}



Durch Wahl der entsprechenden Option durch die Schalter unter der Spanngliedtabelle können entweder die Vordehnung, die Vorspannkraft, die Stahlspannung oder P_0/P_{zul} vorgegeben werden.

Anzahl

Die Spanngliedanzahl muss > 0 sein, wenn das Sp. berücksichtigt werden soll. Nach Vorgabe einer Null für n wird das Spannglied bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Eine gebrochene Anzahl von Spanngliedern ist ebenfalls möglich.

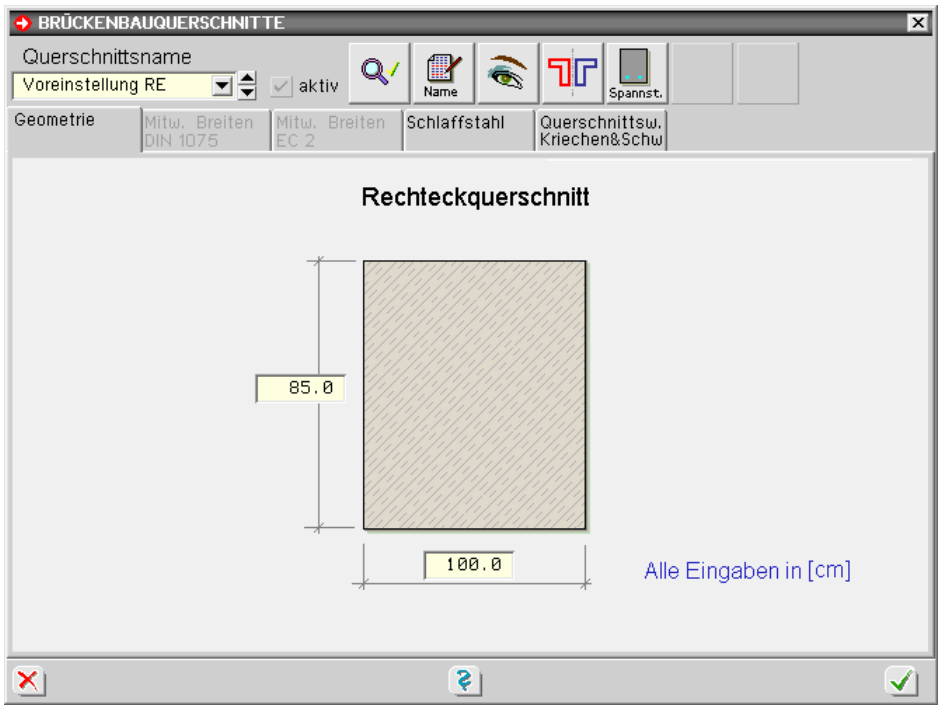
Spanngliedtyp

Durch Drücken des nebenstehenden Buttons in der betreffenden Tabellenzeile wird das Fenster zur Auswahl des Spanngliedtyps aus der programminternen ***Bibliothek*** geöffnet.

Über die Listboxen werden das gewünschte Spannglied und der Hüllrohrtyp gewählt.

Das Verwaltungsprogramm der Spanngliedbibliothek kann durch Anklicken des nebenstehenden Buttons geöffnet werden. Hierüber können auch eigene Spanngliedtypen definiert werden.

3.9.3 Rechteckquerschnitt

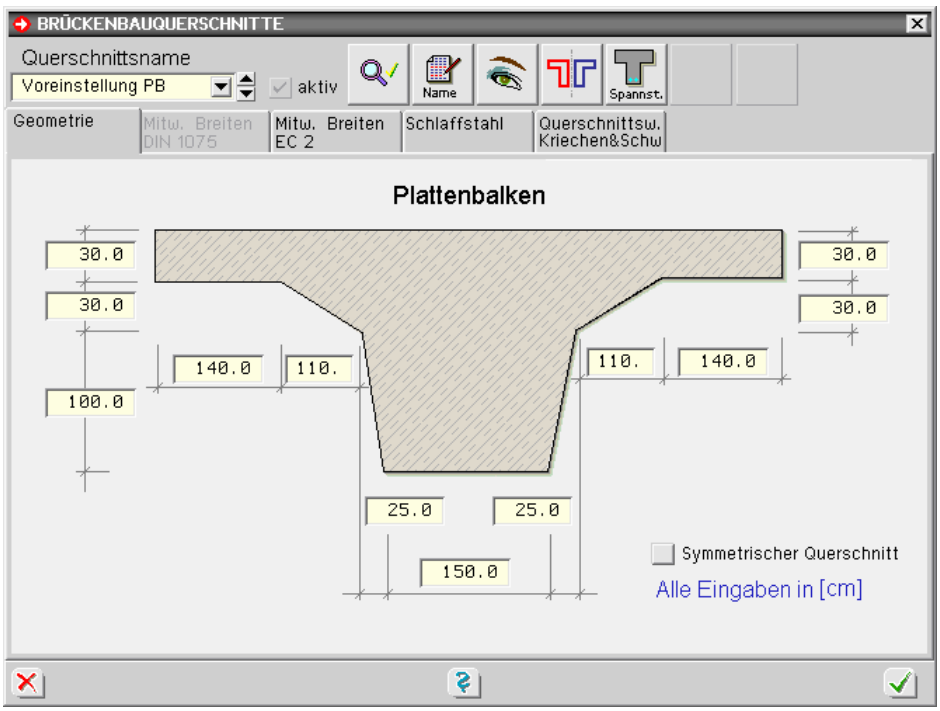


Das Fenster enthält ein Register mit Karteireitern zur Eingabe von

- Geometrie, s. Abs. 3.9.1, S. 20
- Schlaffstahl, s. Abs. 3.9.10, S. 28
- Parametern für Querschnittswerte, Kriechen & Schwinden, s. Abs. 3.9.12, S. 30

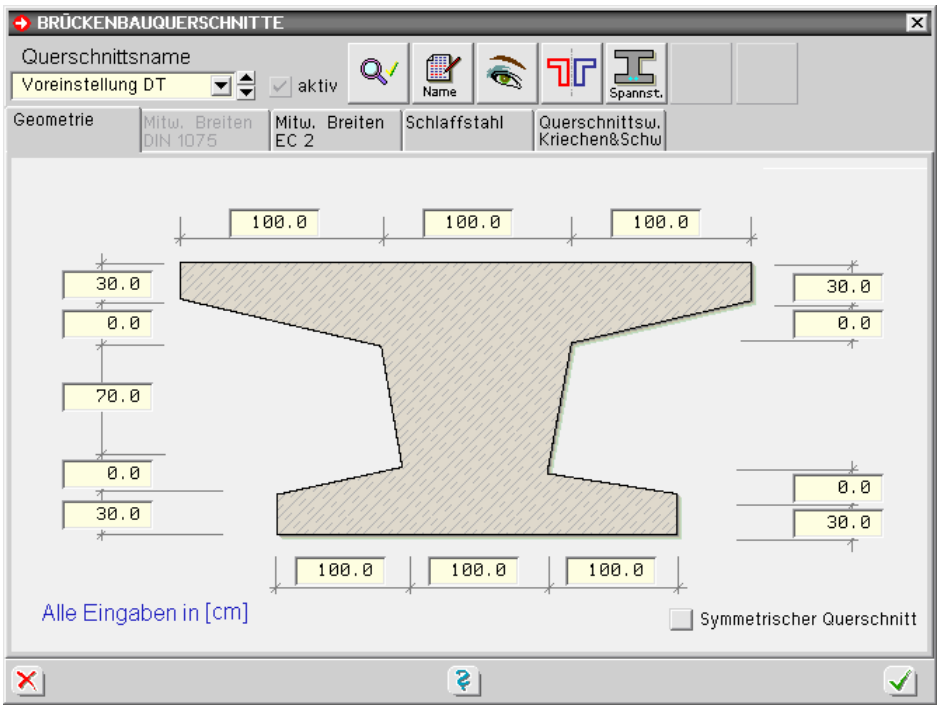
Die Karteireiter für mitwirkende Breiten sind bei Rechteckquerschnitten ohne Funktion.

3.9.4 Plattenbalken



Zu den Karteireitern s. Doppel-T-Querschnitt.

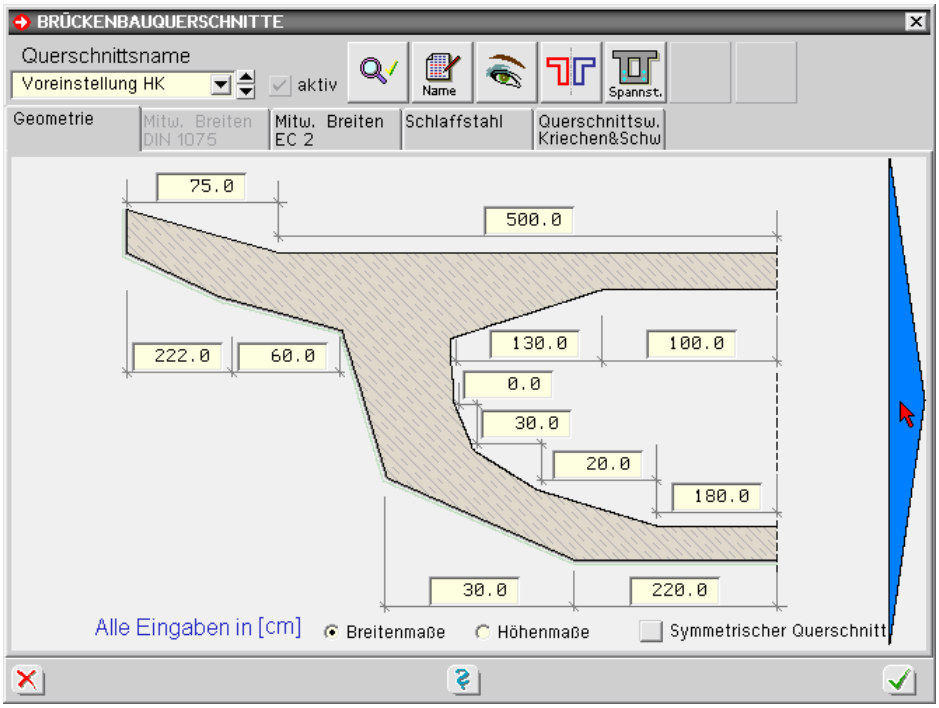
3.9.5 Doppel-T-Querschnitt



Das Fenster enthält ein Register mit Karteireitern zur Eingabe von

- Geometrie, s. Abs. 3.9.1, S. 20
- Schlaffstahl, s. Abs. 3.9.10, S. 28
- mitwirkenden Breiten DIN 1075, s. Abs. 3.9.9, S. 27
- mitwirkenden Breiten DIN EN 1992 und DIN Fachbericht 102, s. Abs. 3.9.8, S. 26
- Parametern für Querschnittswerte, Kriechen & Schwinden, s. Abs. 3.9.12, S. 30

3.9.6 Hohlkasten

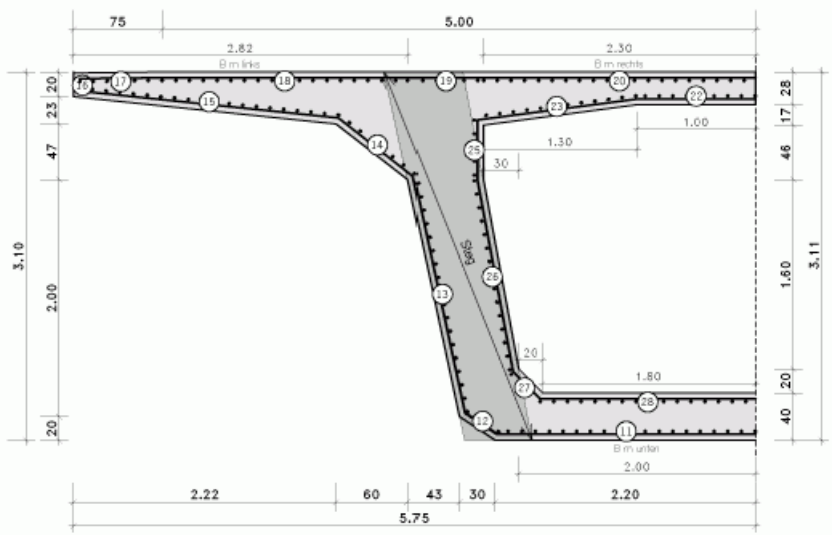


Das Fenster enthält ein Register mit Karteireitern zur Eingabe von

- Geometrie, s. Abs. 3.9.1, S. 20
- Schlaffstahl, s. Abs. 3.9.10, S. 28
- mitwirkenden Breiten DIN 1075, s. Abs. 3.9.9, S. 27
- mitwirkenden Breiten DIN EN 1992 und DIN Fachbericht 102, s. Abs. 3.9.8, S. 26
- Parametern für Querschnittswerte, Kriechen & Schwinden, s. Abs. 3.9.12, S. 30

Durch Anklicken des Pfeils im Eingabefenster kann zwischen der Eingabe der Maße der linken und rechten Querschnittshälfte gewechselt werden.

Um die Querkraft- und Torsionsnachweise führen zu können, müssen die Stegquerschnitte definiert werden. Dies geschieht automatisch durch das Programm. In der Grafikvorschau werden die vom Programm erkannten Steganteile dargestellt.



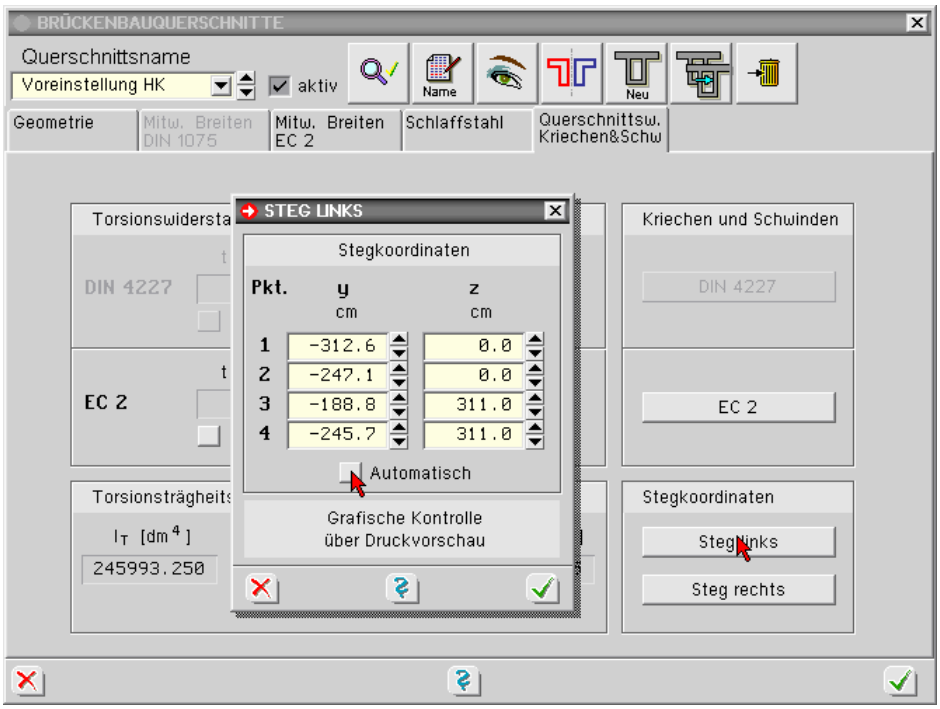
Mitwirkende Breiten

Zustand	Seite	System	l	s	bt	bv	beff,i
-			cm	cm	cm	cm	cm
Endzustand	li oben	Einfeld	3000.0	1500.0	282.0	70.0	282.0
Endzustand	re oben	Einfeld	3000.0	1500.0	230.0	17.0	230.0
Endzustand	li unt.	Einfeld	3000.0	1500.0	200.0	20.0	200.0

Stegkoordinaten

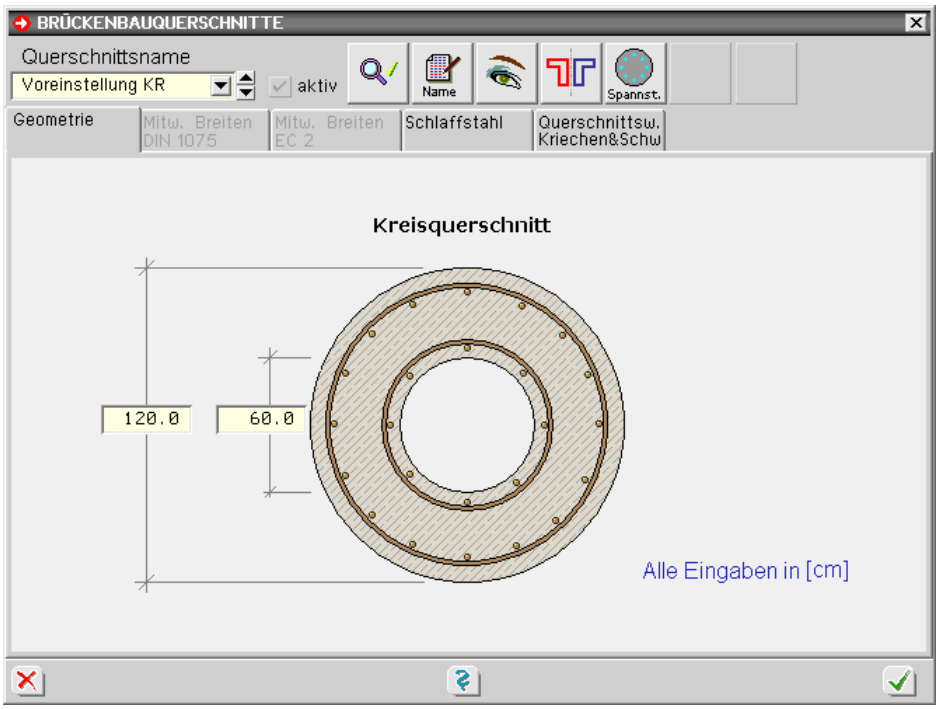
Pkt.	y	z
-	cm	cm
1	-312.6	0.0
2	-247.1	0.0
3	-188.8	311.0
4	-245.7	311.0

Es ist jedoch auch möglich, die Koordinaten der Steganteile manuell zu bestimmen. Hierzu sind das Registerblatt *Querschnittswerte, Kriechen & Schwinden* zu wählen und dort die Buttons ***Stegkoordinaten links*** oder ***rechts*** zu drücken.



Durch Deaktivierung des Knopfs ***Automatisch*** werden die Eingabefelder für die Koordinaten freigegeben. Die Querkraftnachweise werden getrennt für beide Stege geführt.

3.9.7 Kreis- / Kreisringquerschnitt



Das Fenster enthält ein Register mit Karteireitern zur Eingabe von

- Geometrie, s. Abs. 3.9.1, S. 20
- Schlaffstahl, s. Abs. 3.9.10, S. 28
- Parametern für Querschnittswerte, Kriechen & Schwinden, s. Abs. 3.9.12, S. 30

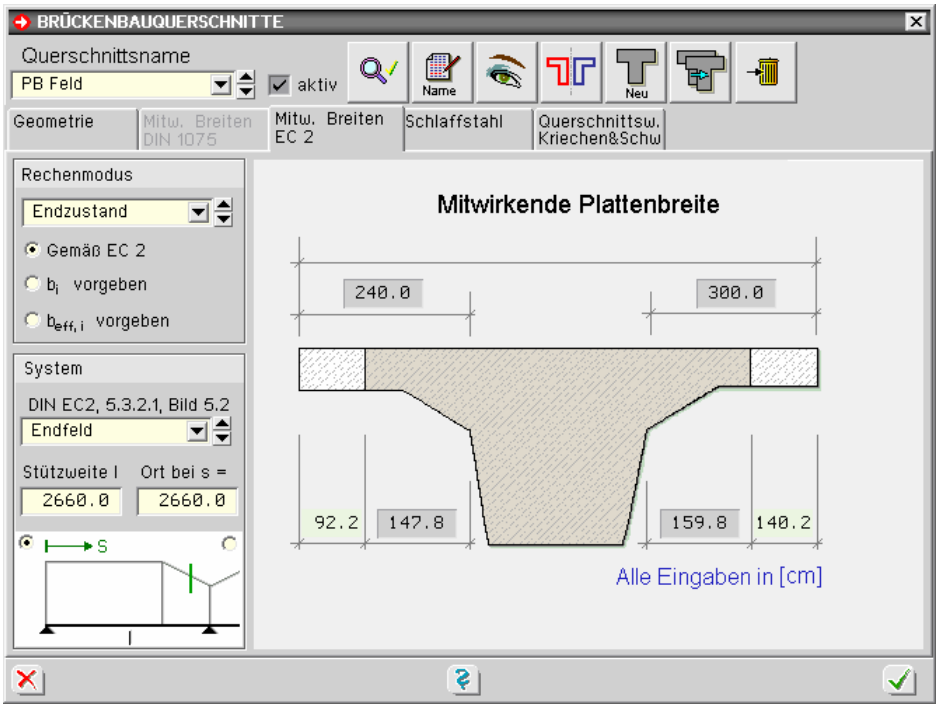
Die Karteireiter für mitwirkende Breiten sind bei Kreisringquerschnitten ohne Funktion.

Soll anstelle eines Kreisrings ein Vollkreis berechnet werden, ist der Innendurchmesser auf Null zu setzen.

3.9.8 mitwirkende Breiten EC / DIN Fb

Bei der Eingabe von Plattenbalken-, Doppel-T-Querschnitten oder Hohlkästen können die mitwirkenden Breiten entspr. DIN EN 1922, 5.3.2.1, bzw. DIN Fachbericht 102, 2.5, vom Programm berechnet und bei den Nachweisen berücksichtigt werden.

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



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

- Gemäß EC 2
  Nach Vorgabe der Stützweite, der x-Koordinate auf dem Stab sowie des statischen Systems gemäß DIN EN 1992, 5.3.2.1, Bild 5.3, bzw. DIN FB 102, Abb. 2.102a, 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.

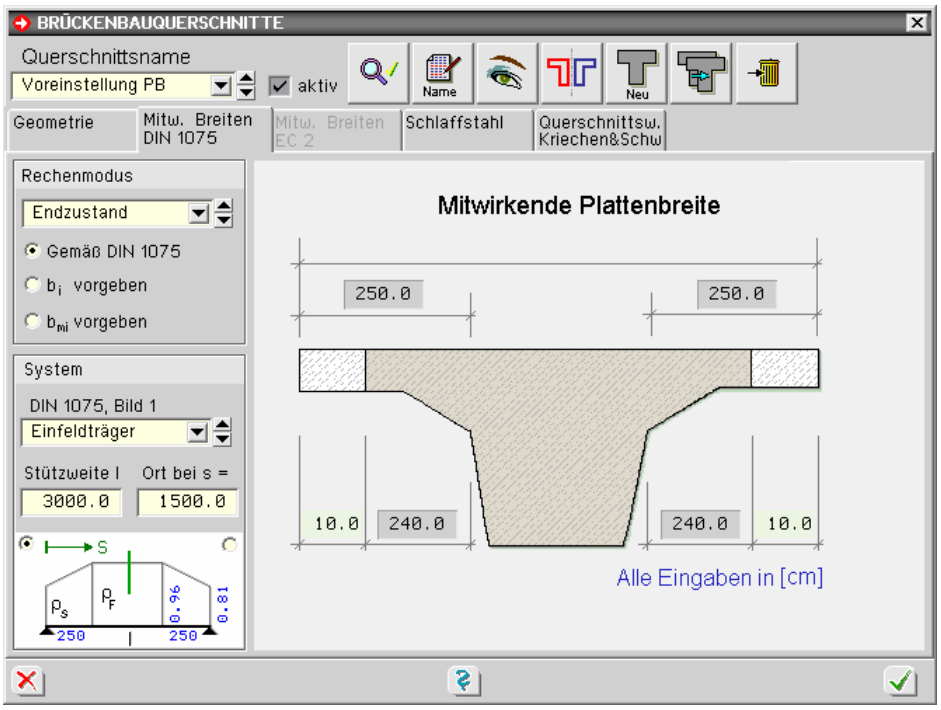
Bei Berechnung der mitwirkenden Breiten durch das Programm sind folgende Eingaben notwendig

- statisches System nach DIN EN 1992, 5.3.2.1, Bild 5.2, bzw. DIN FB 102, Abb. 2.102b
  Zur Wahl stehen *Einfeldträger*, *Endfeld*, *Innenfeld* oder *Kragarm*. Entsprechend der gewählten Option wird das Statusfenster unterhalb der Wahlliste aktualisiert.
- Stützweite l und Ort s
  Hier sind die Stützweite des Stabes und die x-Koordinate auf dem Stab anzugeben.

3.9.9 mitwirkende Breiten DIN 1075

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

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

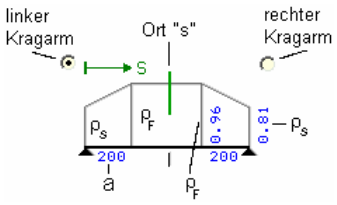


Unter dem Auswahlpunkt ***Rechenmodus*** kann zwischen folgenden Optionen gewählt werden

- 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 Berechnung der mitwirkenden Breiten durch das Programm sind folgende Eingaben notwendig

- statisches System nach DIN 1075, Bild 1
  Zur Wahl stehen *Einfeldträger*, *Endfeld*, *Innenfeld* oder *Kragarm*. Entsprechend der gewählten Option wird das Statusfenster unterhalb der Wahlliste aktualisiert.
- Stützweite l und Ort s
  Hier sind die Stützweite des Stabes und die x-Koordinate auf dem Stab anzugeben.
  Zur Kontrolle werden in dem kleinen Statusfenster unterhalb der Vorgabeparameter die Zwischenwerte a, li, ρ_F und ρ_S angezeigt.
  Über die Optionsfelder in den oberen rechten und linken Ecken des Statusfensters kann die Anzeige der rechten und linken Kragarmwerte gewählt werden.



3.9.10 Schlaffstahleingabe

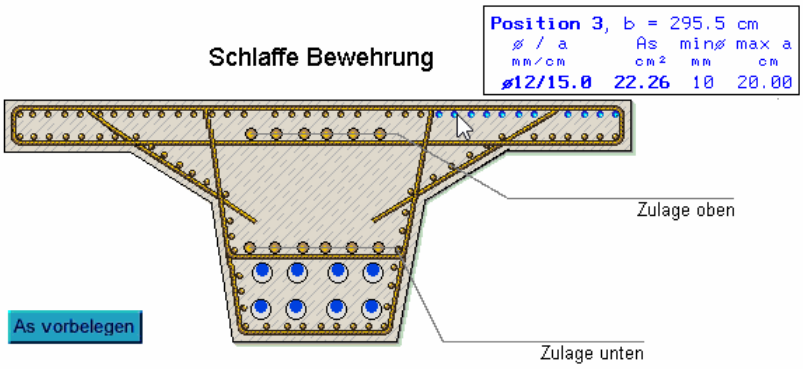
Im Geometrieeigenschaftsblatt des aktuellen Querschnittstyps erfolgt die Eingabe der schlaffen Bewehrung im Register *Schlaffstahl*.

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.

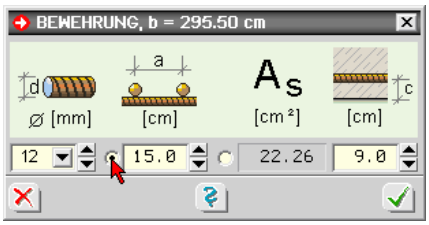
Zusätzlich können im Steg Zulagen am oberen und am unteren Rand angeordnet werden.

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 werden hellblau markiert und ein Infofenster mit den Positionsdaten erscheint.



Durch Klicken der linken Maustaste wird das Eigenschaftsblatt zur Eingabe der Position geöffnet. Hier können die erforderlichen Angaben zu Durchmesser, Stababstand, Bewehrungsquerschnitt und Randabstand gemacht werden.



Prinzipiell stehen zwei Möglichkeiten zur Eingabe des Betonstahls zur Verfügung, die über die Optionsschalter neben den Eingabefeldern für den Stababstand und A_s gewählt werden können.

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

In Bereichen, die kürzer 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.

3.9.11 Kriechen und Schwinden

Bei vorgespannten Bauteilen müssen die Spannkraftverluste infolge von Schwind- und Kriechprozessen berücksichtigt werden.

Die Ermittlung der Verluste ist in DIN EN 1992, 3.1.4 und 5.10.6, bzw. im DIN Fachbericht 102, 3.1.5.5 und 4.2.3.5.5, geregelt.

Nach Vorgabe der erforderlichen querschnittsabhängigen Parameter berechnet das Programm die Schnittgrößen aus Schwind- und Kriecheinflüssen automatisch.

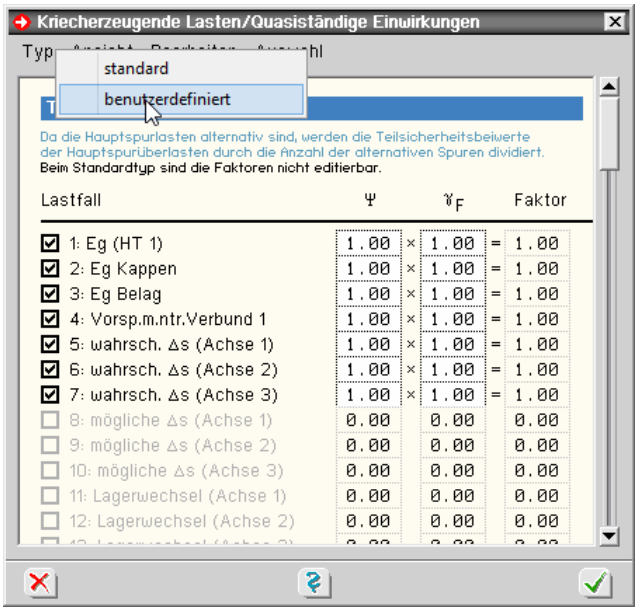
Dabei werden standardmäßig die zwei relevanten Zeitpunkte *Verkehrsübergabe* und t_∞ berücksichtigt.

- der Zeitpunkt *Verkehrsübergabe* erstreckt sich von der Erstellung des Bauwerks bis zur Inbetriebnahme
- t_∞ entspricht der vorgesehenen maximalen Nutzungsdauer des Bauteils

Als kriecherzeugende Lastkombination wird entspr. DIN EN 1992, 5.10.6(2), bzw. DIN Fachbericht 102, 4.2.3.5.5(8), die quasi-ständige Einwirkungskombination angesetzt.

Alternativ kann das kriecherzeugende Lastkollektiv 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! Da die Hauptspurlasten alternativ sind, werden die Teilsicherheitsbeiwerte der Hauptspurüberlasten durch die Anzahl der alternativen Spuren dividiert.

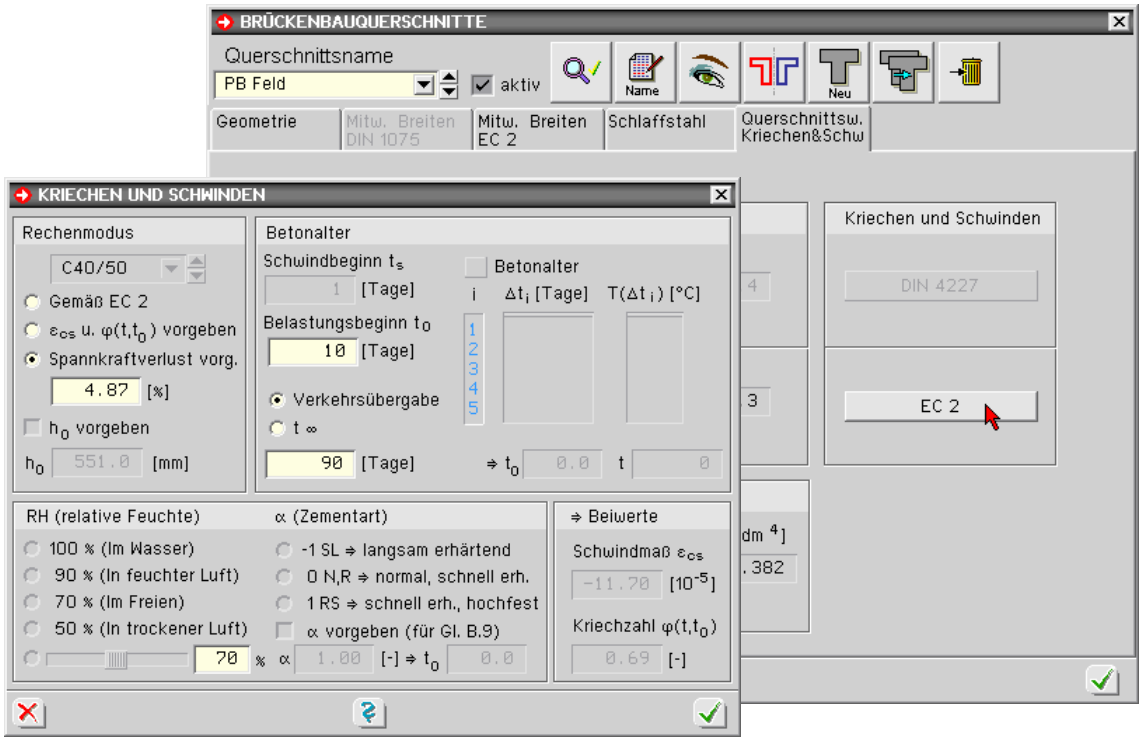


Über den Menüpunkt ***Typ benutzerdefiniert*** kann in den benutzerdefinierten Modus gewechselt werden, in dem einzelne Lastfälle durch Anklicken der Häkchensymbole aktiviert oder deaktiviert werden können.

3.9.12 Kriech- und Schwindparameter

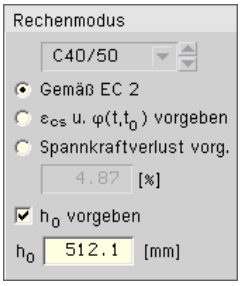
Die Kriech- und Schwindbeiwerte ε_{cs} und φ werden - nach Vorgabe der erforderlichen querschnittsabhängigen Parameter - vom Programm nach DIN EN 1992, 3.1.4, bzw. DIN Fachbericht 102, 3.1.5.5, berechnet.

Die Eingabe der Kriech- und Schwindparameter erfolgt im Geometrieeigenschaftsblatt des aktuellen Querschnittstyps.



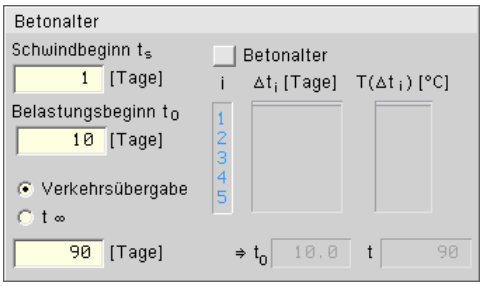
Das Anklicken des Knopfs ***EC 2*** öffnet das Fenster zur Eingabe der Kriech- und Schwindparameter. Folgende Angaben sind in diesem Fenster möglich.

Rechenmodus



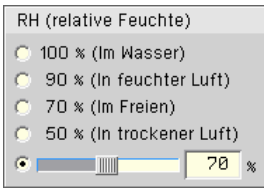
- Betongüte
  Die Betongüte geht entspr. dem Nomogramm nach DIN EN 1992, 3.1.4, bzw. DIN Fachbericht 102, 3.1.5.5, in die Ermittlung der Kriech- und Schwindbeiwerte ein.
- Gemäß EC 2
  Automatische Ermittlung der Kriech- und Schwindbeiwerte nach DIN EN 1992, 3.1.4, bzw. DIN Fachbericht 102, 3.1.5.5. In diesem Falle müssen vom Anwender das Betonalter, die Zement- und Betongüte sowie die relative Luftfeuchte vorgegeben werden.
  Das Programm ermittelt dann 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 als positive Zahl in % direkt vor.
- h_0 vorgeben
  Durch Anklicken der Option kann die wirksame Bauteildicke h_0 gemäß 3.1.5 (5) direkt vorgegeben werden. Ist die Option nicht aktiv, wird h_0 vom Programm berechnet.

Betonalter



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

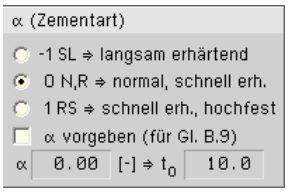
RH (relative Luftfeuchte)



Der RH-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.

α (Zementart)



Die Zementart wird über die Options-Buttons gewählt.

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

3.9.13 Querschnittswerte

Das Programm berechnet folgende Querschnittswerte

- z-Koordinate des Schwerpunkts
- Fläche
- Trägheitsmoment

Die Querschnittswerte werden für folgende Querschnittsarten ausgegeben

- Bruttoquerschnitt
- Nettoquerschnitt
- ideeller Querschnitt unter Berücksichtigung von Spannstahl (Indices z oder p)
- ideeller Querschnitt unter Berücksichtigung von Schlaffstahl (Index s)
- ideeller Querschnitt unter Berücksichtigung von Spannstahl und Schlaffstahl (Indices z+s oder p+s)

Zusätzlich wird bei Berechnung nach DIN 4227 das ***Torsionswiderstandsmoment*** W_T mit den zugehörigen Werten d_1 und A_{Kern} (Kernfläche) gem. DIN 4227, Abs. 12.3.2, ausgegeben.

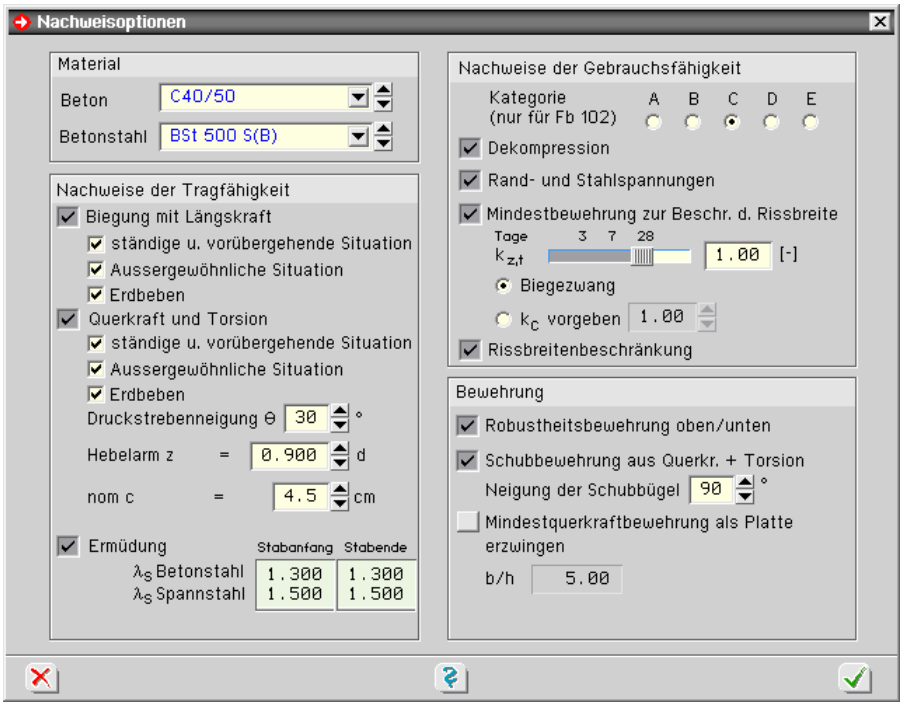
Ist als Norm DIN Fachbericht 102 gewählt, werden neben der Kernfläche A_k auch Kernumfang u_k und Mindestdicke des Ersatzhohlkastens t gemäß DIN Fachbericht 102, II-4.3.3.1, Abb. 4.15, ausgegeben.

3.10 Nachweisparameter

3.10.1 Nachweisoptionen EC 2 und DIN Fb

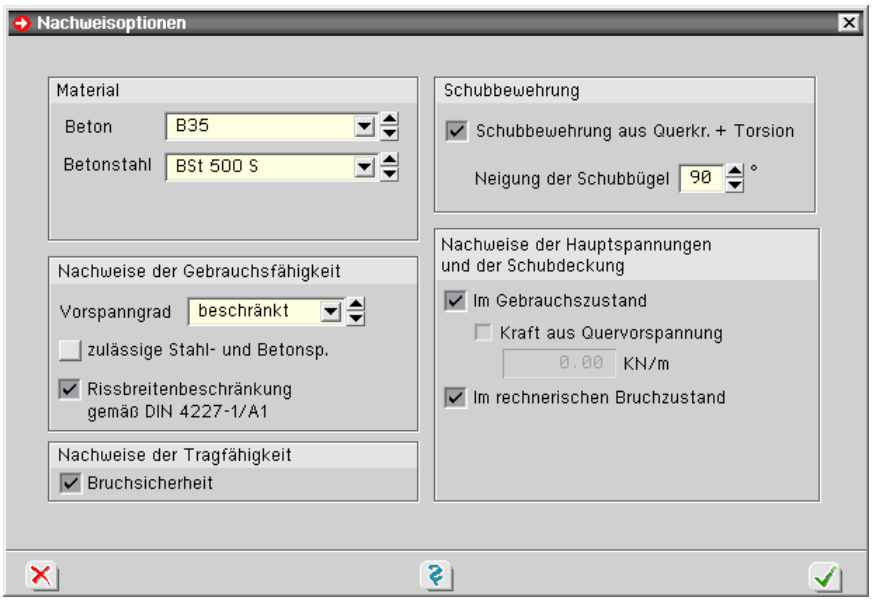
Die Nachweisoptionen gelten für Nachweise nach DIN Fachbericht 102 sowie in gleicher Weise für die entsprechenden Nachweise des EC 2 (DIN EN 1992).

Im folgenden Eingabefenster können die Materialgüten und Nachweisparameter eingestellt werden.



3.10.2 Nachweisoptionen DIN 4227

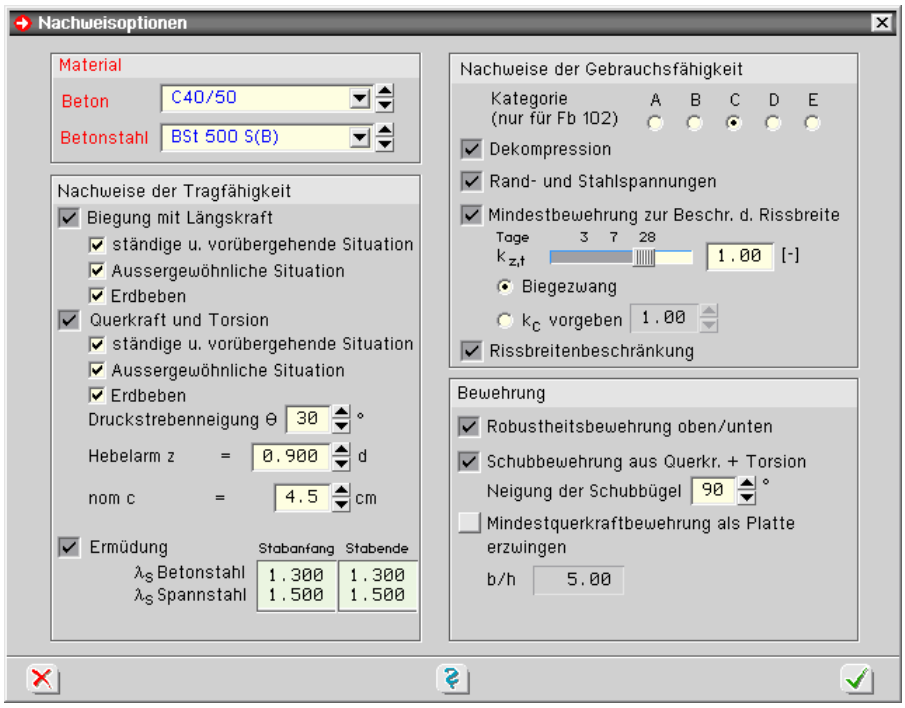
Im folgenden Eingabefenster können die Materialgüten und Nachweisparameter bzgl. DIN 4227 eingestellt werden.



3.10.3 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.



3.11 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 ##-BETON 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

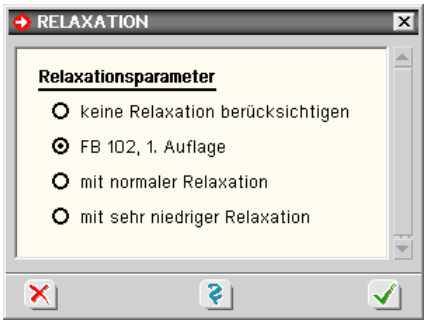
alle übrigen Bezeichnungen wie in Gl. (6.64)

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. 3.13.10, S. 43)
- Ermüdungsnachweis für Betonstahl (s. Abs. 3.13.11, S. 44)

3.12 Spannstahlrelaxation



Das Menü zur Auswahl des Relaxationsansatzes wird über die globalen Einstellungen aufgerufen.

Im Programm stehen verschiedene Alternativen zur Berechnung der Relaxation zur Verfügung

- keine Berücksichtigung der Relaxation
- Berechnung n. DIN Fachbericht 102, 4.2.3.4.1, 1. Aufl.
  Dieses Abschätzungsverfahren entspricht dem Verfahren des EC 2.
- 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

Die Relaxationskennwerte können den Spanndrahtzulassungen entnommen werden. Die vom Programm verwendeten Parameter entstammen den Zulassungen Z - 12.3-6 und Z - 12.3-36 (s. obige Tabellen).

3.13 Nachweise n. Eurocode

3.13.1 Tragfähigkeit Biegung mit Längskraft n. EC 2

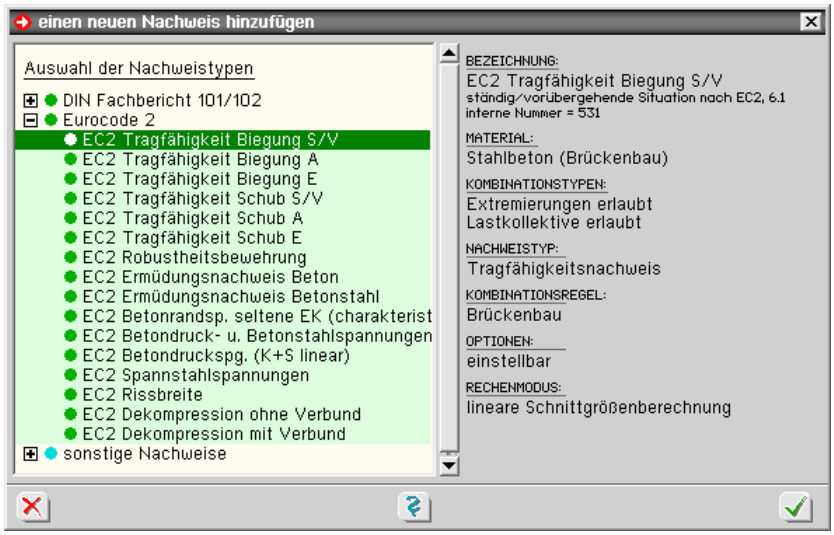
Gemäß DIN EN 1992, 6.1, ist der Nachweis für Biegung mit und ohne Längskraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Bruchsicherheit) gefordert. Dabei sind gemäß NCI zu 2.3.1.2(2) und (3) Zwangsschnittgrößen zu berücksichtigen.

Die Abminderungsfaktoren infolge Übergangs in Zustand II können unter den *globalen Einstellungen* (Abs. 3.1, S. 10) 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.

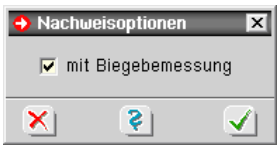
Der Nachweis muss in der *ständigen und vorübergehenden*, der *außergewöhnlichen* und ggf. in der *Erdbebensituation* geführt werden.

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

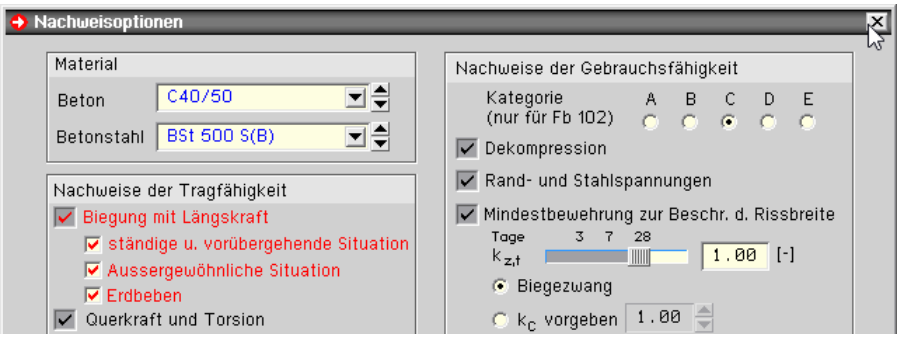


optionale Einstellungen

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 an den maßgebenden Bewehrungspositionen so lange erhöht, bis die Bruchsicherheit erfüllt ist.



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



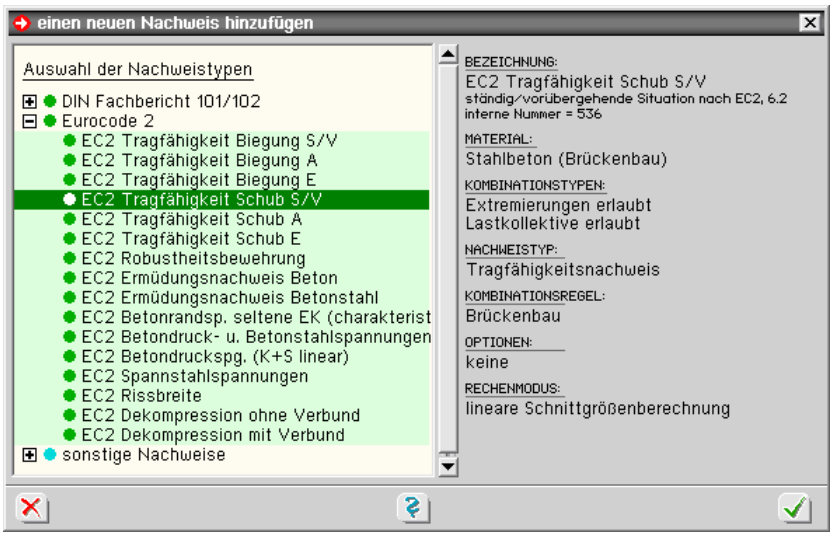
3.13.2 Tragfähigkeit Querkraft mit Torsion n. EC 2

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

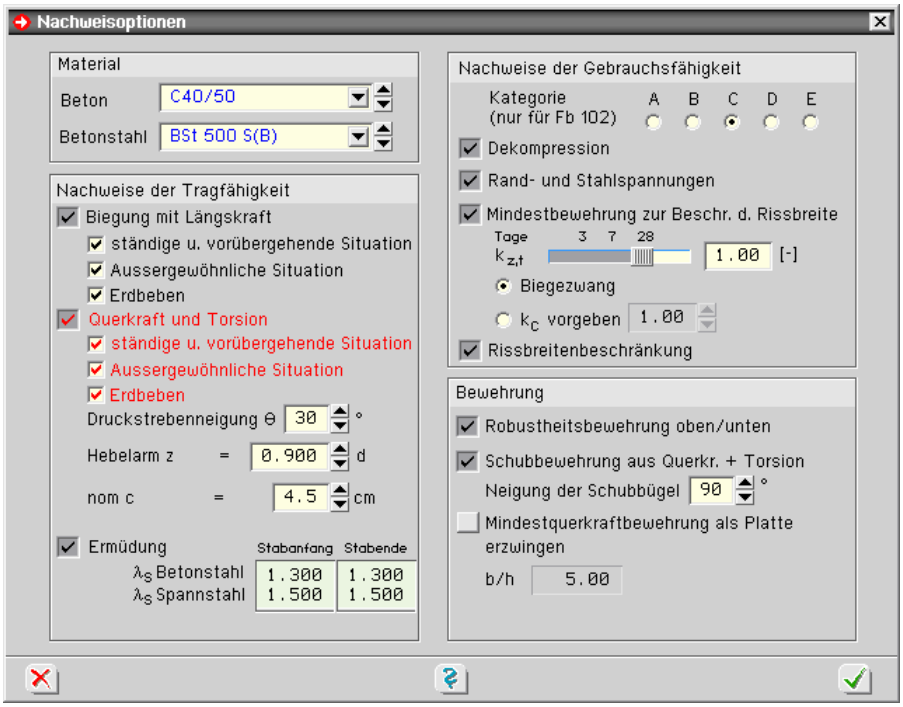
Im Nachweis werden als Standard die *möglichen* Stützensenkungen berücksichtigt. Sind keine Lastfälle dieses Typs vorhanden, werden automatisch die *wahrscheinlichen* Stützensenkungen eingesetzt.

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.

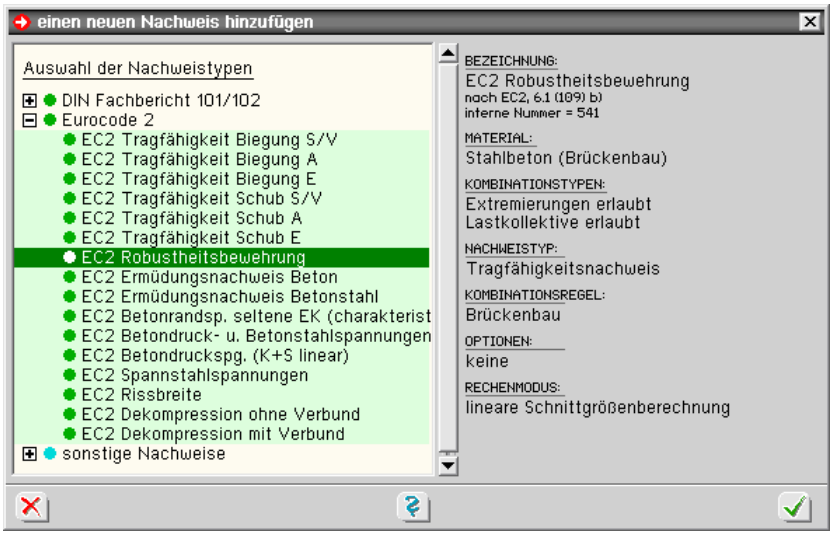
kombinierte Beanspruchung aus Querkraft und Torsion

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

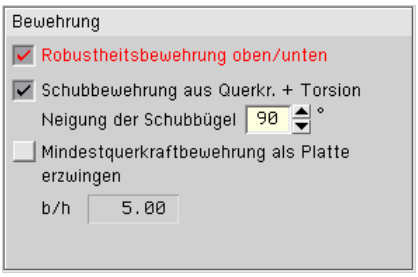
3.13.3 Robustheitsbewehrung n. EC 2

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.



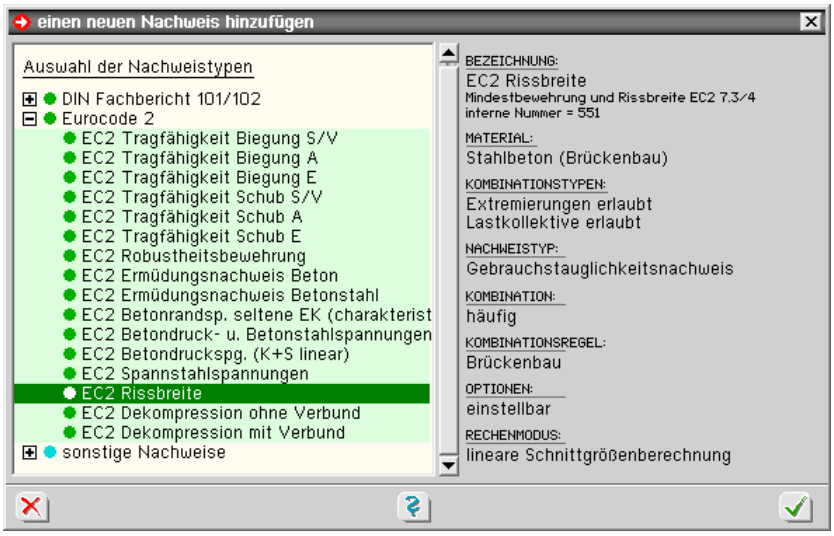
Üblicherweise werden Brücken hauptsächlich in vertikaler Richtung belastet. Daher wird vom Programm eine Robustheitsbewehrung für die obere und untere Stegseite ermittelt.

3.13.4 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.

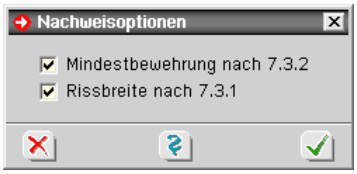
Um die Nachweise durchführen zu können, muss der Nachweis *Betonrandspannungen unter seltener Einwirkungskombination* (s. Abs. 3.13.9, S. 42) eingerichtet werden, da dieser Nachweis notwendig ist um festzustellen, ob sich der Querschnitt im Zustand I oder II befindet.

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

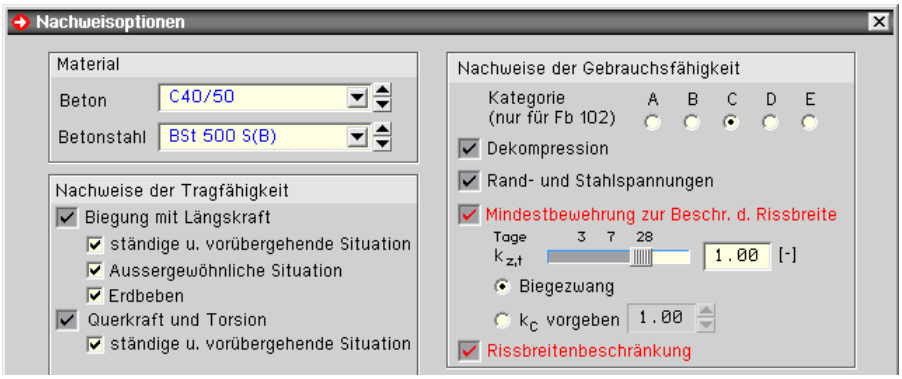


optionale Einstellungen

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).

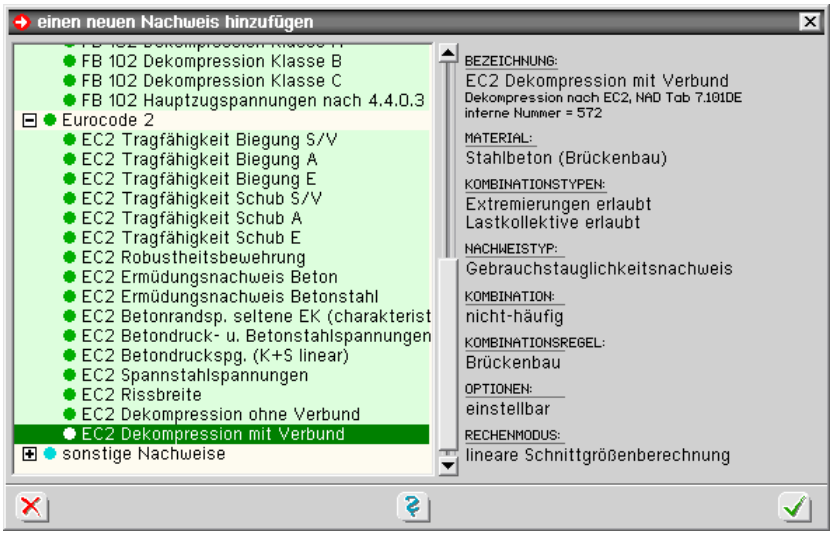
3.13.5 Dekompression n. EC 2

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.

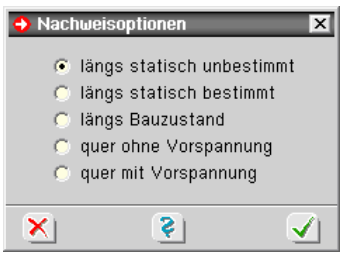
Folgende Schritte sind erforderlich, um den Nachweis im Programm zu führen.

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.

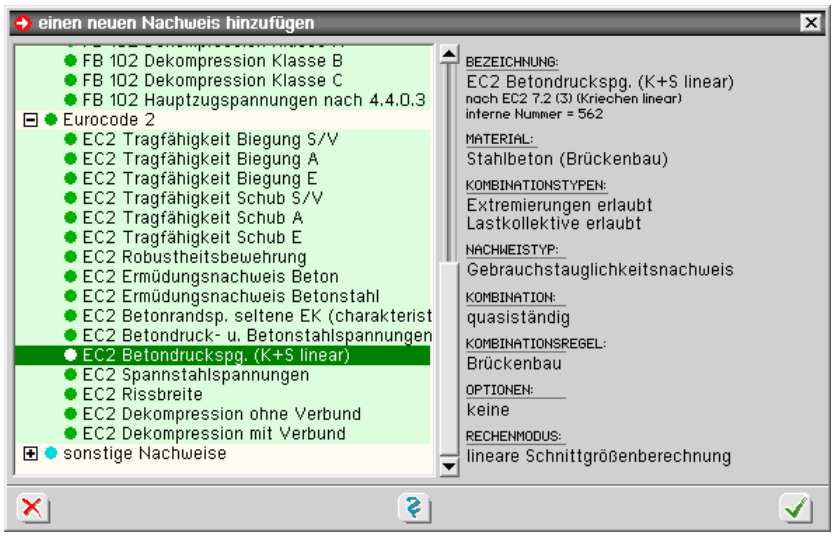
Liegen mehrere Spannglieder in einem Schnitt, wird vom Spannstahlschwerpunkt ausgegangen.

3.13.6 Betondruckspannungen n. EC 2

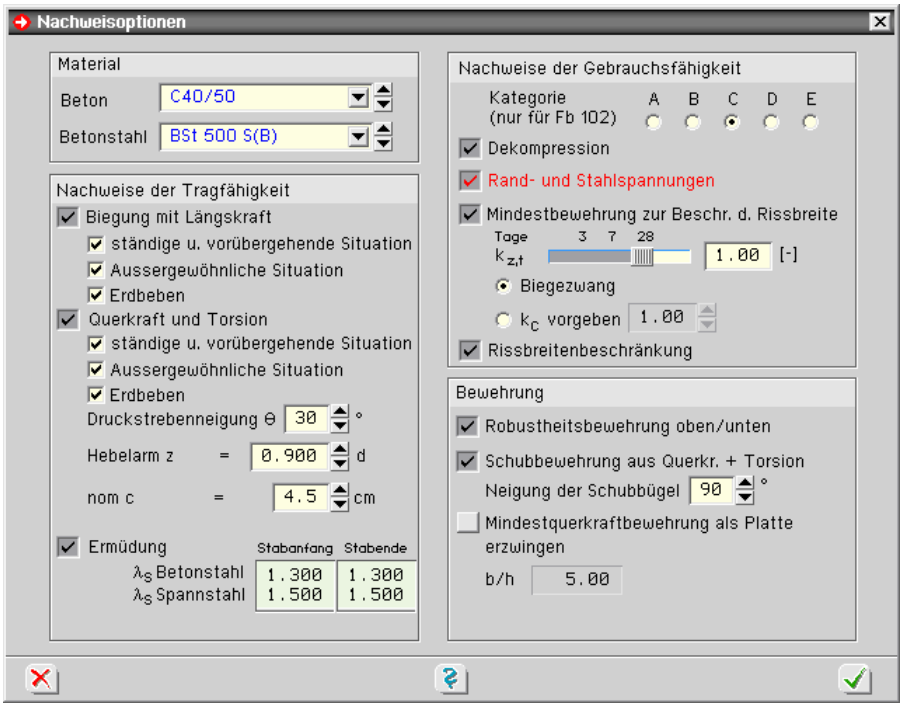
Nach DIN EN 1992, 7.2 (3), sind die maximalen Betondruckspannungen unter der *quasi-ständigen* Einwirkungskombination auf $0.45 \cdot f_{ck}$ zu begrenzen, wenn Gebrauchstauglichkeit, Tragfähigkeit oder Dauerhaftigkeit durch das Kriechen wesentlich beeinflusst werden.

Um den Nachweis durchführen zu können, muss der Nachweis *Betonrandspannungen unter seltener Einwirkungskombination* (s. Abs. 3.13.9, S. 42) 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.



3.13.7 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. 3.13.9, S. 42) 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.

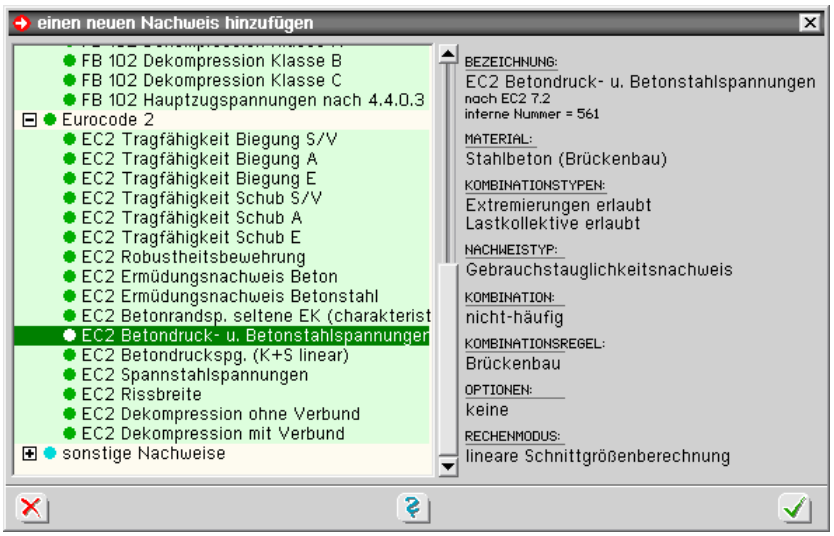
Beton

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.



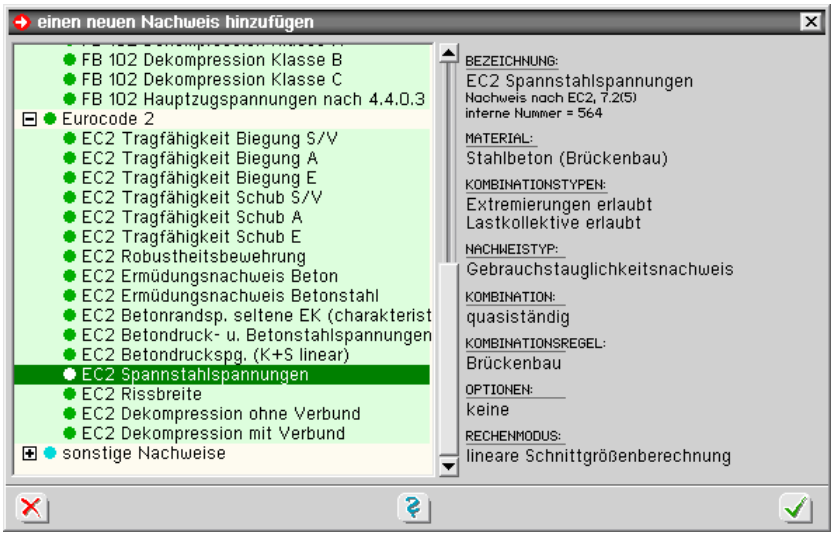
Die Spannungsnachweise können über die Nachweisoptionen fein eingestellt und deaktiviert werden.

3.13.8 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. 3.13.9, S. 42) 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.

3.13.9 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.

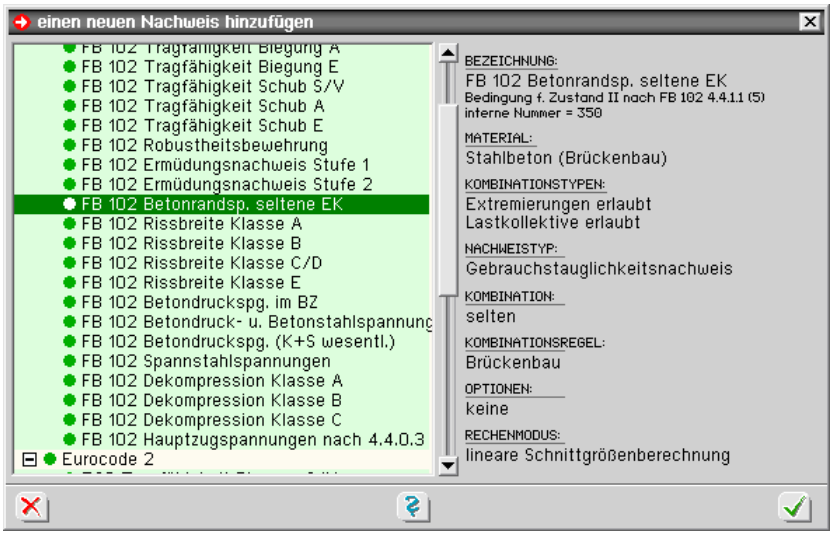
Nach DIN Fachbericht 102, 4.4.1.1 (5), sollte dabei der ungerissene Zustand I angenommen werden. Geht der Querschnitt jedoch in den gerissenen Zustand II über, muss auch die Berechnung der Spannungen im Zustand II erfolgen.

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.



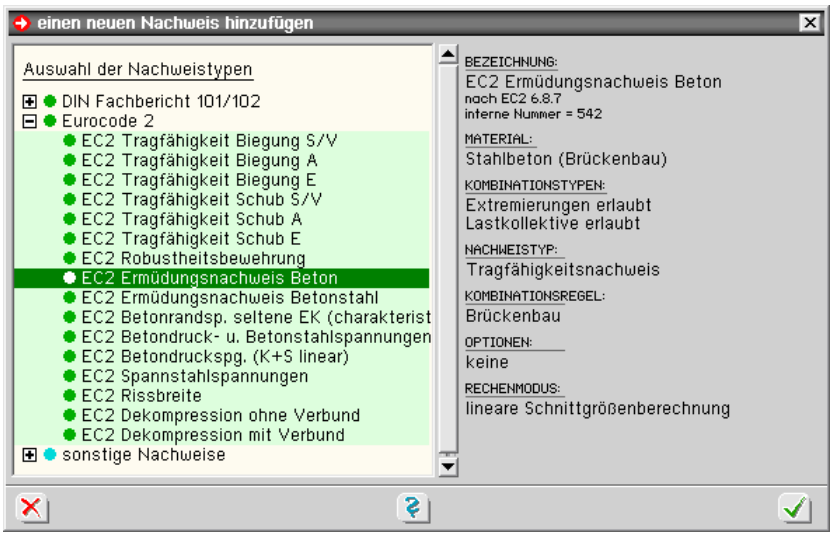
Die Spannungsnachweise können über die Nachweisoptionen fein eingestellt und deaktiviert werden.

3.13.10 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.

3.13.11 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.

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

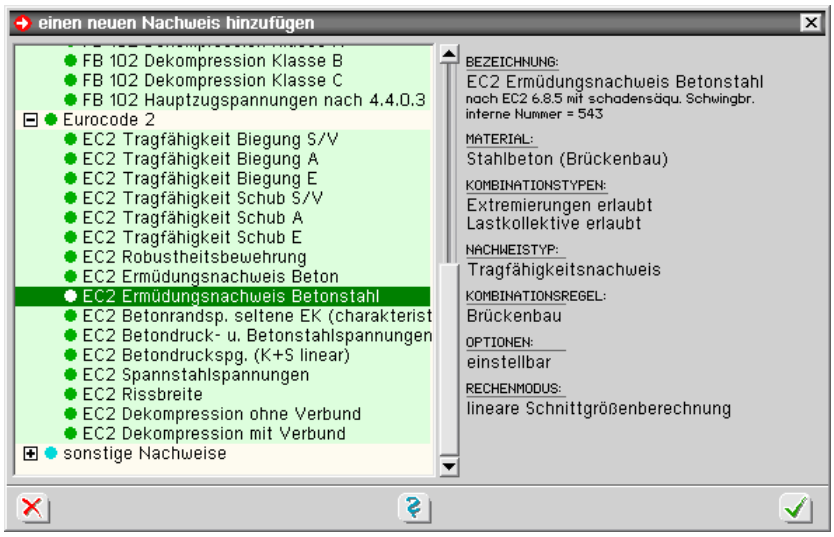
Die schädigungsäquivalente Schwingbreite wird nach DIN EN 1992, NCI Anhang NA.NN, (Gl. NA.NN.1) und (Gl. NA.NN.2), berechnet.

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

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. 3.10.1, S. 32), jeweils getrennt für Beton- und Spannstahl.

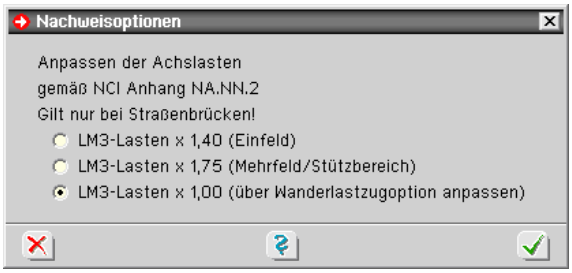
Die Aktivierung des Nachweises erfolgt im Programm über den ***Nachweis***-Button.



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.

3.14 Nachweise n. DIN Fachbericht

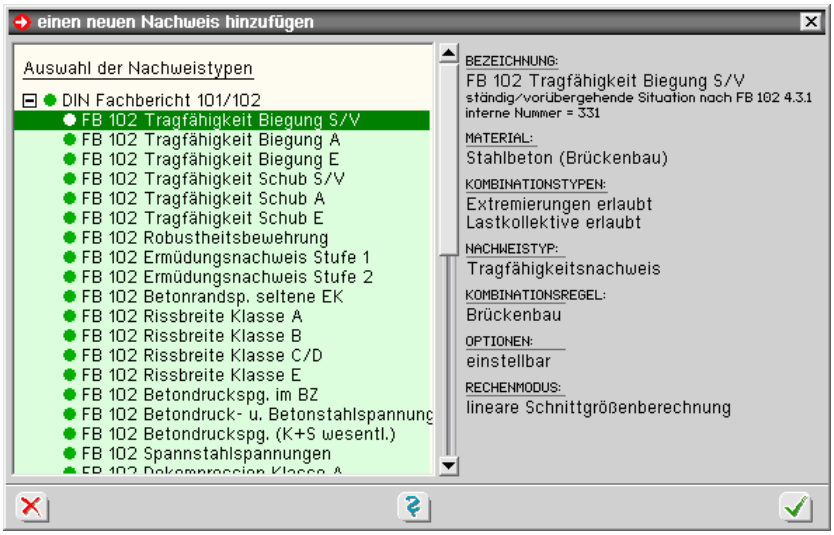
3.14.1 Tragfähigkeit Biegung mit Längskraft n. DIN Fb

Gemäß DIN Fachbericht 102, 4.3.1, ist der Nachweis für Biegung mit und ohne Längskraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Bruchsicherheit) gefordert. Dabei sind gemäß ARS Nr. 11/2003, Anlage (7), Zwangsschnittgrößen zu berücksichtigen.

Die Abminderungsfaktoren infolge Übergangs in Zustand II können unter den *globalen Einstellungen* (s. Abs. 3.1, S. 10) 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.

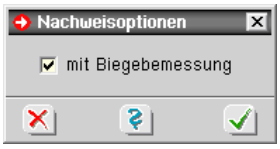
Die Aktivierung des Nachweises erfolgt im Programm über den ***Nachweis***-Button.



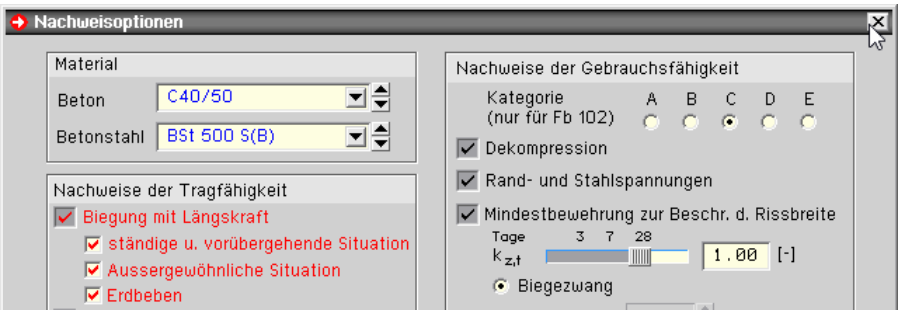
optionale Einstellungen

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 an den maßgebenden Bewehrungspositionen so lange erhöht, bis die Bruchsicherheit erfüllt ist.



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

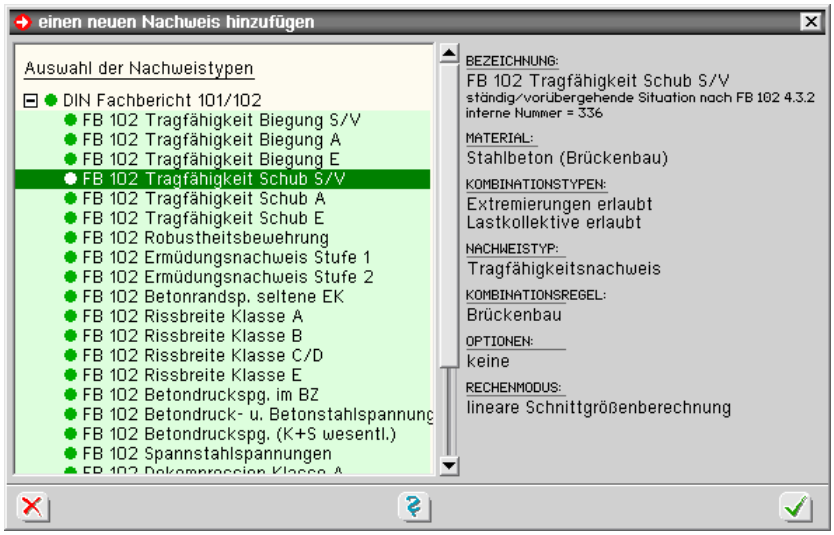


3.14.2 Tragfähigkeit für Querkraft mit Torsion n. DIN Fb

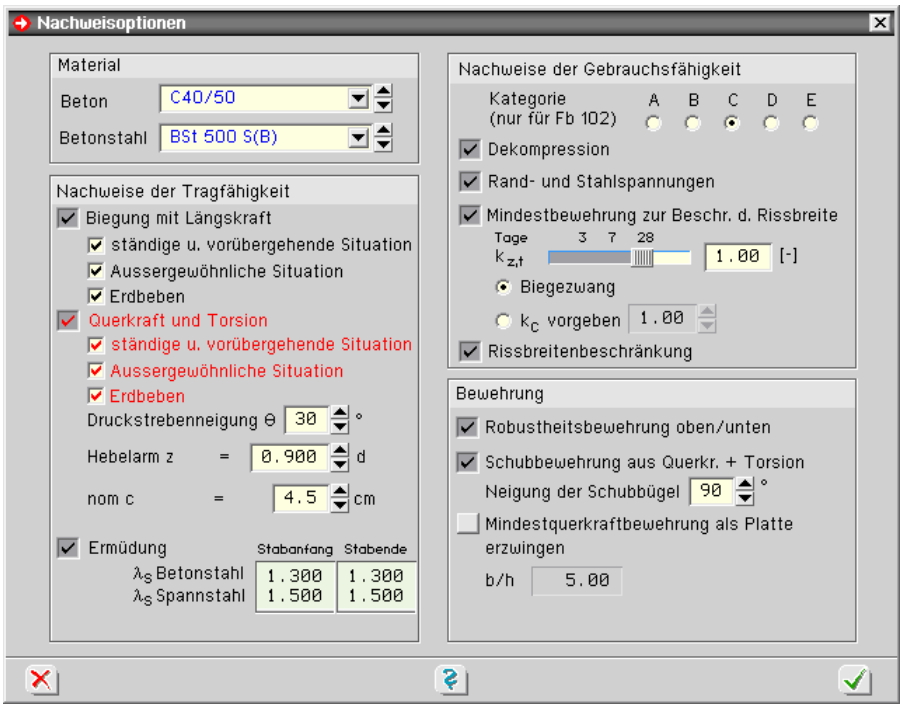
Gemäß DIN Fachbericht 102, 4.3.2 und 4.3.3, ist der Nachweis für Querkraft mit und ohne Torsion im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Bruchzustand) gefordert.

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 werden.



Bemessung für Querkräfte

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

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

Tritt neben der Querkraft V_z eine Querkraftkomponente V_y auf, erfolgt die Bemessung für die re-

sultierende 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 Fachbericht 102, 4.3.3.1 (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. DIN Fb 102, 4.3.3.1 (6)*P, Abb. 4.15, selbständig vom Programm ermittelt. Die Wanddicken werden aus den Betonstahlrandabständen generiert, die vom Benutzer in der Querschnittseingabe definiert wurden.

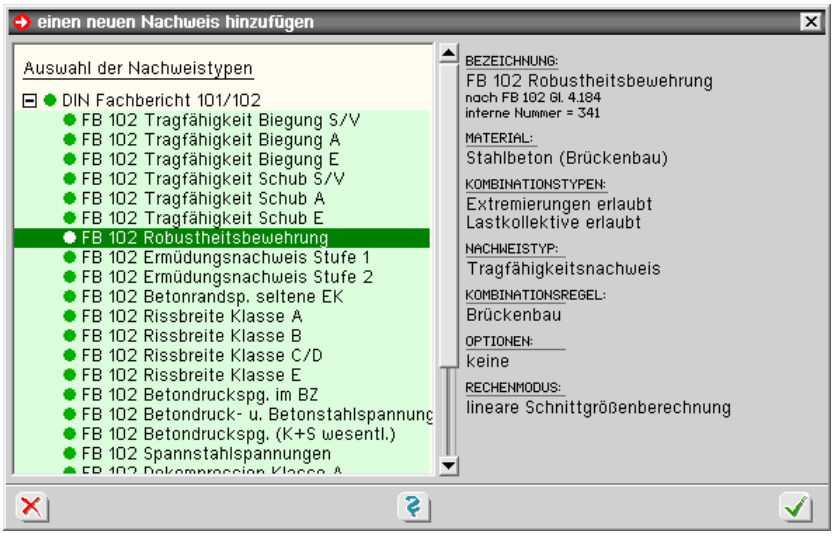
kombinierte Beanspruchung aus Querkraft und Torsion

Bei kombinierter Beanspruchung wird der Nachweis entspr. DIN Fachbericht 102, 4.3.3.2.2, (3)*P, geführt.

3.14.3 Robustheitsbewehrung n. DIN Fb

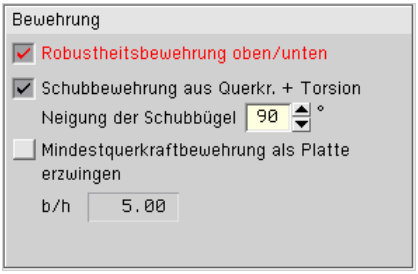
Nach DIN Fachbericht 102, 4.3.1.3, müssen bei vorgespannten Bauwerken ein Versagen ohne Vorankündigung und scheinbare Überfestigkeiten bei Erstrissbildung vermieden werden. Diese Bedingung wird durch Einlegen einer Robustheitsbewehrung erfüllt.

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.



3.14.4 Rissnachweis n. DIN Fb

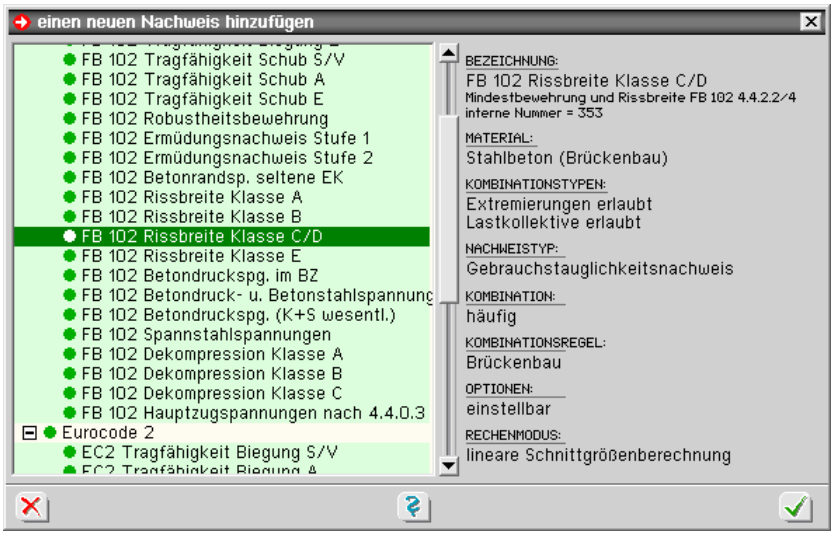
Vom Programm werden die Nachweise der Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite nach 4.4.2.2 und die Berechnung der Rissbreite nach 4.4.2.4 geführt.

Die Berechnungen erfolgen für die maßgebende Einwirkungskombination nach Tab. 4.118.

Um die Nachweise durchführen zu können, muss der Nachweis *Betonrandspannungen unter seltener Einwirkungskombination* (s. Abs. 3.13.9, S. 42) eingerichtet werden, da dieser Nachweis notwendig ist um festzustellen, ob sich der Querschnitt im Zustand I oder II befindet.

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

Einrichten des Nachweises Rissbreite Klasse A, B oder C/D in der Nachweiseingabe

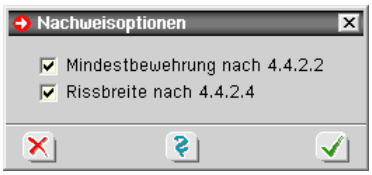


Setzen der entsprechenden Anforderungsklasse (A, B oder C/D) unter den Nachweisoptionen (muss übereinstimmen mit der Anforderungsklasse des oben eingerichteten Nachweises)

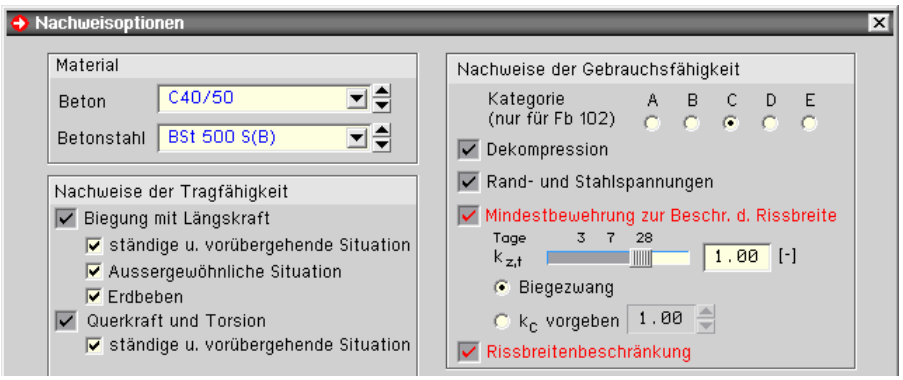
Hat ein Bauwerk in Längs- und Querrichtung unterschiedliche Anforderungsklassen, sind für beide Klassen, wie oben beschrieben, Nachweise einzurichten.

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 Fachbericht 102, 4.4.2.2, 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 Fachbericht 102, 4.4.2.4, ist eine Begrenzung der Rissbreite gefordert. Die zulässige Rissbreite ist entspr. der Anforderungsklasse Tab. 4.118 festgelegt.

Im Programm erfolgt der Nachweis durch eine direkte Berechnung nach 4.4.2.4, Gl. (4.201).

3.14.5 Dekompression n. DIN Fb

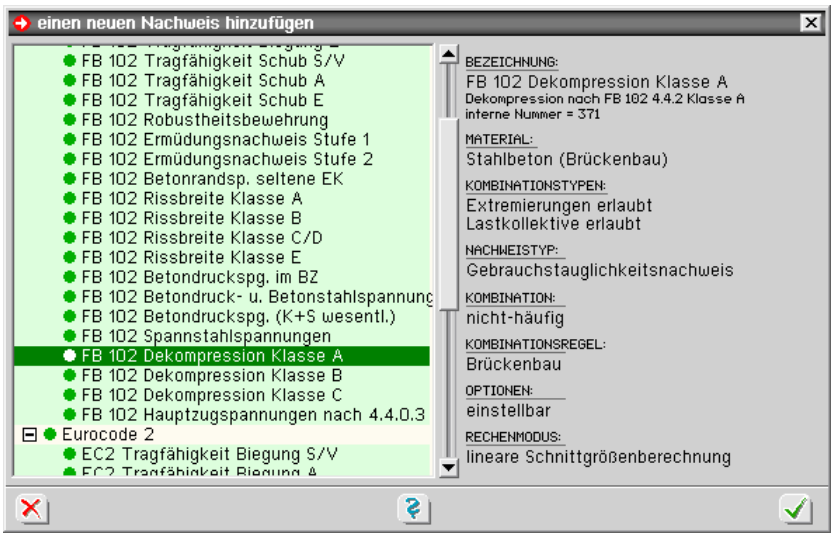
Gemäß DIN Fachbericht 102, II-4.4.2, ist bei vorgespannten Brücken der Nachweis der Dekompression zu führen.

Der Nachweis wird grundsätzlich im Zustand I geführt. Nach 4.4.2.1 (106)P darf im Endzustand im Grenzzustand der Dekompression entsprechend der gewählten Anforderungsklasse nach Tab. 4.118 unter der maßgebenden Einwirkungskombination keine Zugspannung an dem Rand auftreten, der dem Spannstahl am nächsten liegt.

Im Bauzustand müssen nach 4.4.2.1 (107)P die Randspannungen an allen Rändern kleiner $0.85 \cdot f_{ctk,0.05}$ sein.

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

Einrichten des Nachweises Dekompression Klasse A, B oder C

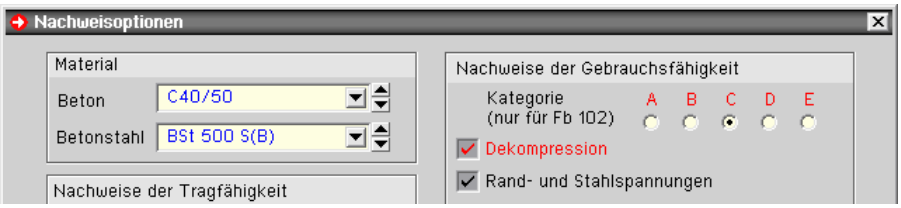


optionale Einstellungen Wahl des Nachweises im ***End***- oder ***Bauzustand*** über den ***Optionsschalter***

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 $r_{sup} = 1.10$ entsprechend 4.4.2.1 (107)P eingesetzt.

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

Setzen der entsprechenden Anforderungsklasse (***A***, ***B*** oder ***C***) unter den Nachweisoptionen (muss übereinstimmen mit der Anforderungsklasse des eingerichteten Nachweises)



Hat ein Bauwerk in Längs- und Querrichtung unterschiedliche Anforderungsklassen, sind für beide Klassen, wie oben beschrieben, Nachweise einzurichten.

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.

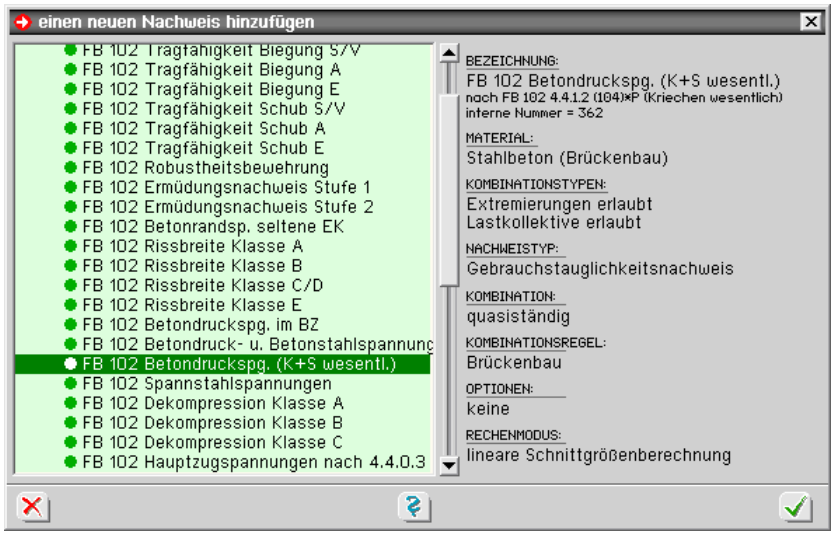
Liegen mehrere Spannglieder in einem Schnitt, wird vom Spannstahlschwerpunkt ausgegangen.

3.14.6 Betondruckspannungen n. DIN Fb

Nach DIN Fachbericht 102, 4.4.1.2 (104)*P, 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. 3.13.9, S. 42) 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.

3.14.7 Betondruck- und Betonstahlspannungen n. DIN Fb

Nach DIN Fachbericht 102 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. 3.13.9, S. 42) 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.

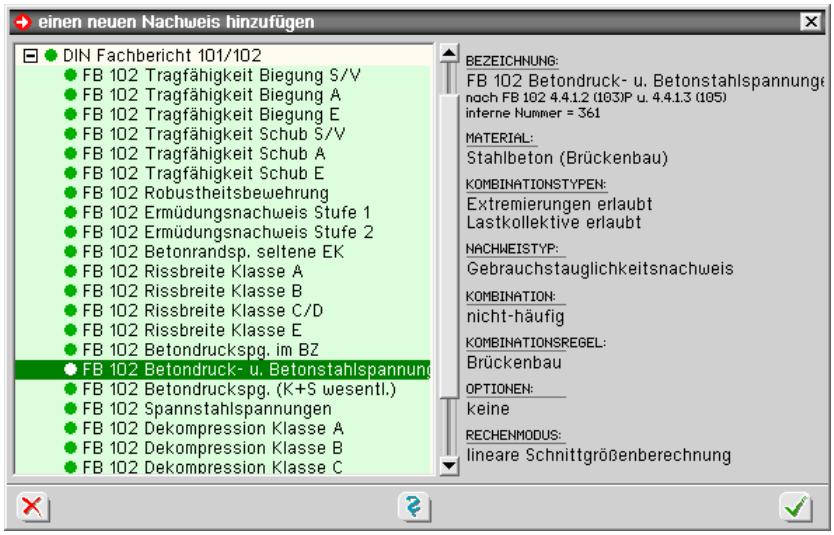
Beton

Nach 4.4.1.2 (103)P sind die maximalen Betondruckspannungen unter der nicht-häufigen Einwirkungskombination und dem Mittelwert der Vorspannung auf $0.6 \cdot f_{ck}$ zu begrenzen.

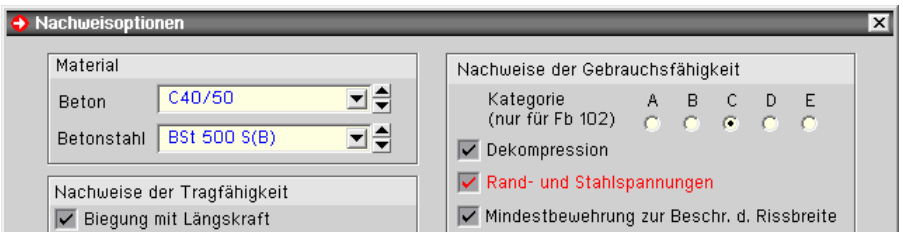
Betonstahl

Nach 4.4.1.2 (105) sind die maximalen Betonstahlzugspannungen unter der nicht-häufigen 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.



3.14.8 Betondruckspannungen im Bauzustand

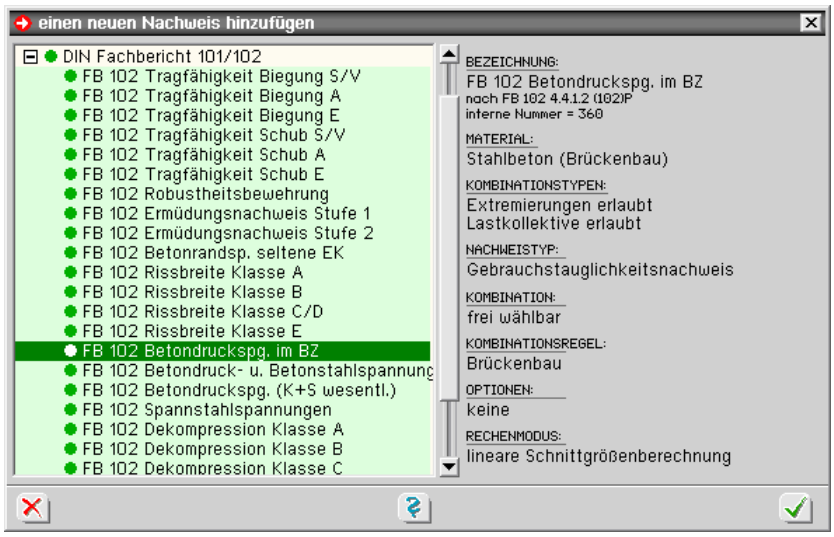
Nach DIN Fachbericht 102, 4.4.1.2 (102)P, sind die maximalen Betondruckspannungen beim Eintrag der Vorspannkräfte auf $0.6 \cdot f_c(t)$ zu begrenzen.

Der Zeitpunkt t zur Berechnung der Betondruckfestigkeit beim Aufbringen der Belastung wird bei den querschnittsabhängigen Kriechparametern (s. Abs. 3.9.12, S. 30) eingegeben.

Als Lasten werden neben den Vorspannkräften ausschließlich die Lastfälle des Typs G1 berücksichtigt. Sind andere Lastfallkombinationen maßgebend, ist die Extremierungsvorschrift bei der Nachweiseingabe entsprechend zu korrigieren.

Um festzustellen, ob sich der Querschnitt im gerissenen Zustand befindet, werden die Spannungen zunächst im Zustand I berechnet. Bei Überschreiten der Betonzugfestigkeit erfolgt automatisch eine weitere Berechnung im Zustand II.

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



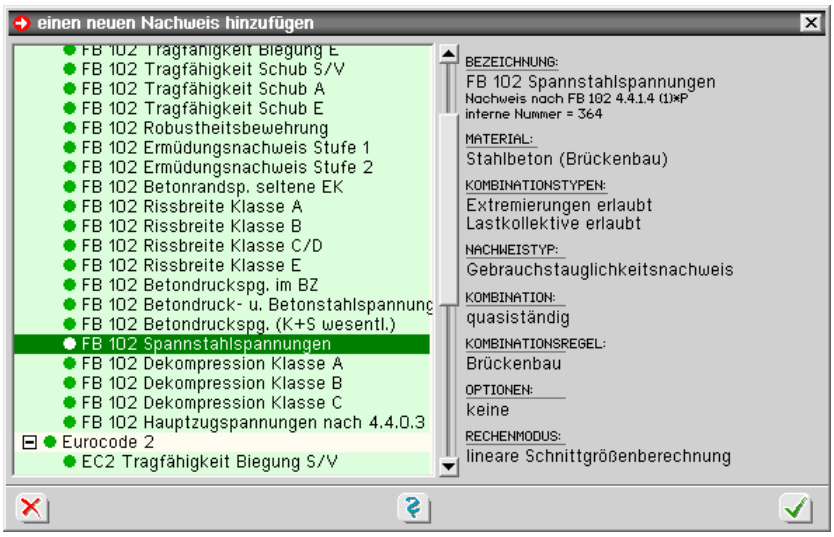
Die Spannungsnachweise können über die Nachweisoptionen fein eingestellt und deaktiviert werden.

3.14.9 Spannstahlspannungen DIN Fb

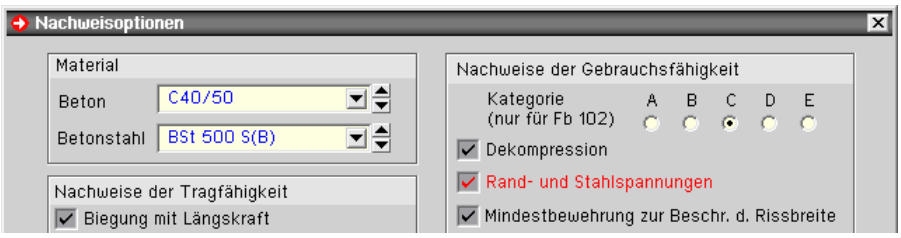
Nach DIN Fachbericht 102, 4.4.1.4 (1)*P, sind die maximalen Spannstahlspannungen im Gebrauchszustand auf $0.65 \cdot f_{pk}$ zu begrenzen.

Um den Nachweis durchführen zu können, muss der Nachweis *Betonrandspannungen unter seltener Einwirkungskombination* (s. Abs. 3.13.9, S. 42) 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.



3.14.10 Betonrandspannungen unter seltener Einwirkungskombination

s. hierzu Abs. 3.13.9, S. 42

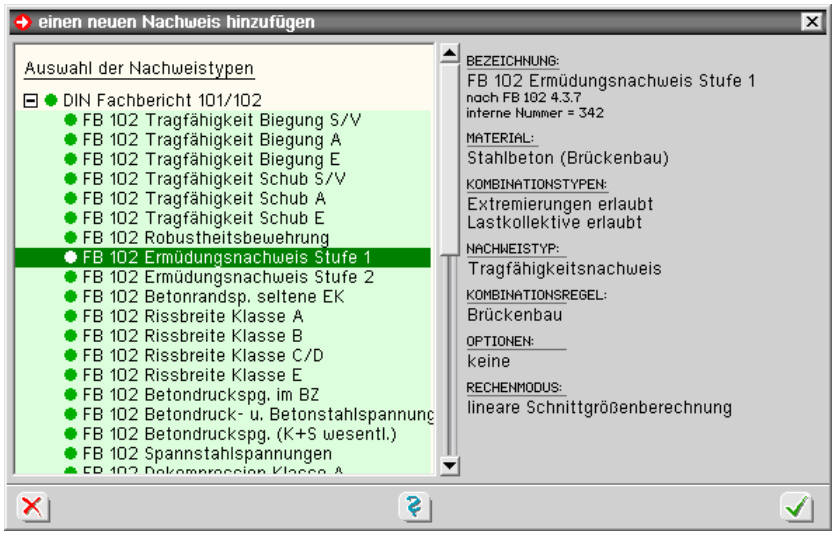
3.14.11 Ermüdung Stufe 1 n. DIN Fb

Dieser Nachweis entspricht dem vereinfachten Nachweis der Ermüdung für Beton, Betonstahl und Spannstahl gem. Fachbericht 102, II-4.3.7.4 (101)P, (102)P, und 4.3.7.5 (101).

Die Betonstahlspannung wird gemäß 4.3.7.5 (101) auf $\Delta\sigma_s$ = 70 N/mm^2 begrenzt.

Für die zulässigen Spannungen des Spannstahls macht die Norm keine Angaben. Daher wird im Programm entspr. BK 2004, Teil 1, 8.2.3, aus den Wöhlerlinien für Spannstahl für eine Lastspielzahl N = 10^8 unter Berücksichtigung eines Sicherheitsbeiwerts $\gamma_{s,fat}$ = 1.15 ein Grenzwert $\Delta\sigma_p$ = 62 N/mm^2 abgeleitet.

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



Entspr. DIN Fachbericht 102, 4.3.7.5, ist der vereinfachte Nachweis (Stufe 1) in der häufigen Kombination zu führen, wobei die Beanspruchungen infolge Temperatur und Stützensenkung lediglich in das Grundmoment einfließen und demzufolge auch keine ermüdungswirksame Schwingung erzeugen.

3.14.12 Ermüdung Stufe 2 n. DIN Fb

Dieser Nachweis entspricht dem vereinfachten Ermüdungsnachweis für Betonstahl und Spannstahl mit schädigungsäquivalenten Schwingbreiten.

Formal wird der Nachweis wie im Sinne des vereinfachten Nachweises (Stufe 1) geführt. D.h., die schädigungsäquivalenten Spannungen $\Delta\sigma_{s,equ}$ werden auf $\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$ begrenzt.

Der Nachweis gilt als erfüllt, wenn die Bedingung nach Fachbericht 102, II-4.3.7.5 (102), (Gl 4.191), eingehalten ist.

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

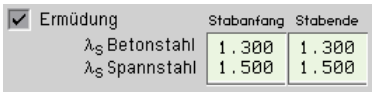
Die schädigungsäquivalente Schwingbreite wird nach Fachbericht 102, II-A.106.2 (103)P, (Gl. A.106.1) und (Gl. A.106.2), berechnet.

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

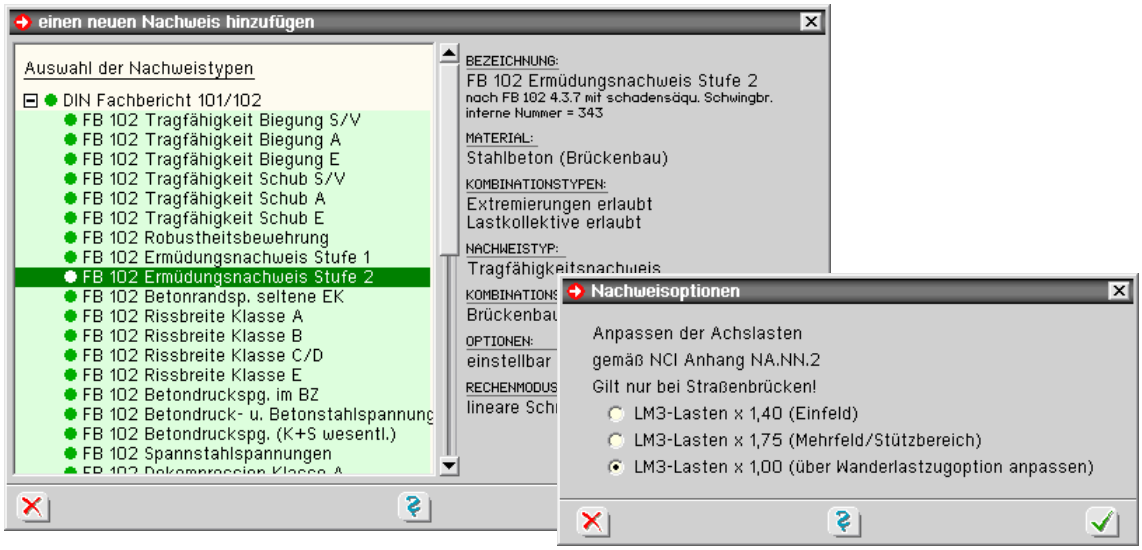
Der Faktor λ_s muss vom Anwender entspr. Fachbericht 102, II-A.106.2, ermittelt werden.

Da der Wert von λ_s stützenweitenabhängig ist, kann er stabweise unterschiedlich sein.

Die Eingabe erfolgt daher im Fenster ***Nachweisoptionen***, jeweils getrennt für Beton- und Spannstahl.



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



Das maßgebende ***Lastmodell*** ist entspr. DIN Fachbericht 101, 4.6.1, das Lastmodell 3.

Jedoch sind gemäß Fb 102, II-A.106.2 (101)P, 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 Ergebnisse 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 Fachberichts angepasst.

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.

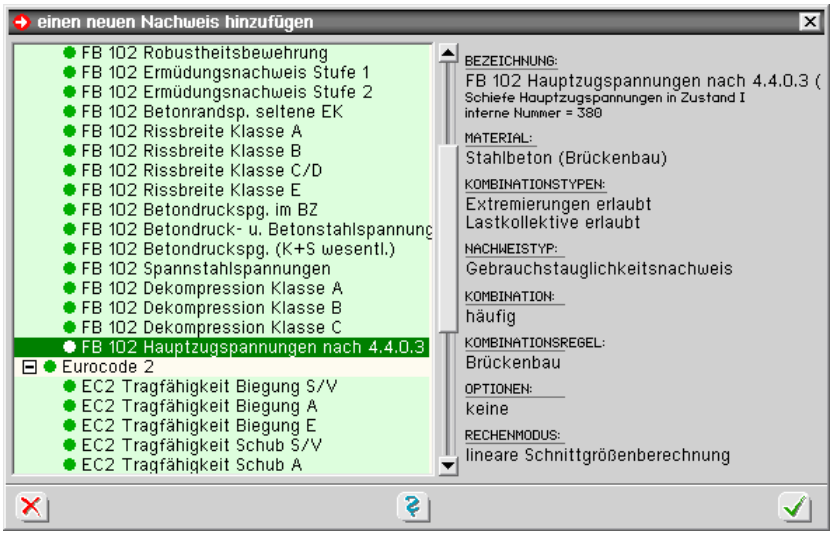
3.14.13 Hauptzugspannungen n. ARS 11/2003

Nach dem Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau Nr. 11/2003 vom 7. März 2003 sind die schiefen Hauptzugspannungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit unter Wirkung von Querkraft und Torsion auf die Betonzugfestigkeit $f_{ctk,0.05}$ zu begrenzen.

Maßgebend ist die *häufige* Einwirkungskombination.

Das Programm ermittelt das Maximum der Hauptzugkraft in der senkrechten Querschnittsmittellinie. Der Verlauf kann bei Bedarf geplottet werden.

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



3.15 Berechnung

Durch einen Klick auf den ***Abakus***-Button wird die Berechnung der Spannbetonnachweise vom Programm ausgeführt.

Die Bemessungsergebnisse werden anschließend am Bildschirm dargestellt.

3.16 Ausdruck des Nachweises

Durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Symbols wird der Ausdruck des Nachweises der aktuellen Position eingeleitet.

Der hier aktivierte Ausdruck versteht sich als Schnellabzug der aktuellen Position.

Der Ausdruck sämtlicher Nachweise aller zum DTE®-Bauteil gehörenden Positionen kann aus dem DTE®-System heraus per Menü aktiviert werden.

Hierbei werden dann automatische Seitennummerierungen sowie benutzerseitige Einstellungen (Schrifttypen, Seitenkopfeinstellungen etc.) berücksichtigt.

Berechnungsbeispiele s. im Internet unter www.pcae.de.

3.17 Bearbeitung beenden

Durch Anklicken des nebenstehend dargestellten Symbols wird die Bearbeitung der aktuellen Position beendet.

In einem nachfolgend auf dem Sichtgerät erscheinenden Eigenschaftsblatt kann entschieden werden, ob die aktuell bearbeiteten Daten der Position in die Datenbank von ##-BETON übernommen (gespeichert) oder ignoriert werden sollen.

4 Literaturverzeichnis

/1/ DIN EN 1992-2:2010-12: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 2: Betonbrücken - Bemessungs- und Konstruktionsregeln

/2/ DIN EN 1992-2/NA:2013-04: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 2: Betonbrücken - Bemessungs- und Konstruktionsregeln

/3/ DIN EN 1991-2:2010-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken

/4/ DIN EN 1991-2/NA:2012-08: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken

/5/ DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Handbuch Eurocode 2 Betonbau, Band 2: Brücken, 1. Auflage 2013

/6/ Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Brücken- und Ingenieurbau Heft B 77: "Anpassung von DIN-Fachberichten "Brücken" an Eurocodes"

/7/ DIN-Fachbericht 101:2009-03: Einwirkungen auf Brücken (2009)

/8/ DIN-Fachbericht 102: Betonbrücken

/9/ DIN 1076:1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen

/10/ DIN 4227 Teil 1: Spannbeton; Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter oder voller Vorspannung

/11/ DIN 4227 Teil 2: Spannbeton; Bauteile mit teilweiser Vorspannung

/12/ DIN 4227 Teil 3: Spannbeton; Bauteile in Segmentbauart, Bemessung und Ausführung der Fugen

/13/ DIN 4227 Teil 4: Spannbeton; Bauteile aus Spannleichtbeton

/14/ DIN 4227 Teil 5: Spannbeton; Einpressen von Zementmörtel in Spannkanäle

/15/ DIN 4227 Teil 6: Spannbeton; Bauteile mit Vorspannung ohne Verbund

/16/ DIN 4227-1/A1:1995-12: Spannbeton - Teil 1: Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter oder voller Vorspannung; Änderung A1

/17/ DAfStb-Heft 400: Erläuterungen zu DIN 1045 "Beton- und Stahlbeton", Ausgabe 07.1988

/18/ DAfStb-Heft 525: Erläuterungen zu DIN 1045-1

/19/ Schneider - Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen Ausgabe 21, März 2014, Werner Verlag AG

/20/ Martin Thomsing: Spannbeton: Grundlagen - Berechnungsverfahren - Beispiele, Teubner Verlag, 3. Auflage

/21/ Holst, Karl Heinz: Brücken aus Stahlbeton und Spannbeton, 3. Auflage, Ernst und Sohn

/22/ Vortrag Univ.-Prof. Dr.-Ing. Reinhard Maurer: "Neue Norm für Betonbrücken DIN EN 1992-2 Grundlagen und Hintergründe"

5 Index

Abkürzungen 2
Bauteil erzeugen 7
Bauzustand 50, 53
Berechnungsbeispiel 57
Berechnungsparameter 10
Betondruckspannung 40, 41, 51, 52, 53
Betonfestigkeitsklasse 19
Betonrandspannung 42
Betonstahlgüte 19
Betonstahlspannung 41, 52
blank 2
Buttons 2, 9
Cursor 2
Datenimport 1
Dekompression 39, 50
Doppel-T 23
Einwirkung 2
e-Mail 6
Ermüdung 33
Ermüdungsnachweis 43, 44, 55
Extremalbildungsvorschrift 2
Fangerechteck 2
Hauptachsen 18
Hauptzugspannung 57
Hohlkasten 24
Imperfektion 2
Installation 5
Kombinationsbeiwert 1
Kontextsensitivität 6
Koordinatensystem 19
Kreis 25
Kreisring 25
Kriechen 1, 29
Lastbild 2
Lastfall 2
Lastkollektiv 2
Lastmodell 44, 56
Materialgüte 33
Mindestbewehrung 38
mitwirkende Breiten 26
Nachweisparameter 32
Normen 9
Ordner 7
Querschnitte 9
Querschnittswerte 31
Rechteckquerschnitt 22
Relaxation 34
Rissnachweis 38, 49
Robustheitsbewehrung 37, 48
Schlaffstahl 28
Schnittgrößen 18
Schreibtisch 6
Schreibtischauswahl 5
Schwinden 1, 29
Sicherheitsbeiwerte 12
Spanngliedtyp 22
Spannkraftverlust 29
Spannstahl 21
Spannstahlrelaxation 34
Spannstahlspannung 42, 54
Spannverfahrenbibliothek 22
Stahlspannung 21
Startsymbol 5
Steuerbutton 6, 9
Teilsicherheitsbeiwert 1
Torsion 37, 48
Torsionswiderstandsmoment 31
Tragfähigkeitsnachweis 35, 36, 46, 47
Überlagerung 1
Vordehnung 21
Vorspannkraft 21
Vorspannung 18