



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-STUB

Stahlbetondurchlaufstütze

Mai 2020

4H-STUB

Stahlbetondurchlaufstütze

Copyright 2009-2020

3. durchgesehene Auflage, Mai 2020

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

##-STUB, Stahlbetondurchlaufstütze, ist ein Produkt der **pcae** GmbH, Hannover, und weist folgende Leistungsmerkmale auf:

- Berechnung und Bemessung von allgemeinen Stahlbetondurchlaufstützen unter räumlicher Belastung nach DIN 1045-1 und EC2
- Stabilitätsnachweis nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung von effektiven Steifigkeiten (Zustand 2) für allgemeine Querschnitte
- Brandbemessung für typisierte Querschnitte nach dem Zonenverfahren
- bzgl. des statischen Systems gelten für die Brandbemessung keine Einschränkungen
- **System**
 - Pendel-, Krag- und allgemeine Stützensysteme mit beliebigen Randbedingungen
 - bis zu 25 Abschnittunterteilungen, die sich in Materialeigenschaften, Länge, Querschnittsform und Ausrichtung unterscheiden können
 - Lager können exzentrisch und verdreht zur Stützenachse angeordnet werden
 - Punktfedern und linear veränderliche Bettung unabhängig von der Abschnittsteilung
 - Querschnittssprünge und Versatz der Stützenachse durch beliebige (auch linear veränderliche) Ausrichtung und Verdrehung der Abschnitte bezüglich der Stützenachse
- **Querschnitte**
 - als typisierte Querschnitte Rechteck, Kreis und Kreisring
 - polygonale Querschnitte können mit dem Programm ##-QUER konstruiert und von ##-STUB übernommen werden
 - freie Anordnung der Bewehrung im Querschnitt
 - sowohl Punktbewehrung als auch verteilte bzw. Linienbewehrung
 - für die typisierten Querschnitte stehen auch typisierte Bewehrungsbilder zur Verfügung
 - typisierte Querschnittsformen können gevoutet beschrieben werden
 - Vorgabe der Bewehrungsquerschnitte sowohl durch Anzahl und Durchmesser als auch der Fläche direkt möglich
 - innerhalb eines Bewehrungsbildes kann unterschieden werden zwischen konstanten und zu erhöhenden Positionen
 - optische Kontrolle des Querschnitts (Ausrichtung und Angriffspunkte von Punkt- und Linienfedern) durch grafische Darstellung beliebiger Schnitte im Abschnitt
- **Belastung**
 - als Lastbilder stehen Punktlasten, Linienlasten, Eigengewicht, Temperatur und Zwangsverformungen zur Verfügung. Die Richtung der Eigengewichtslasten kann geändert werden, so dass z.B. auch Träger oder diagonale Streben berechnet werden können
 - Linienlasten können konstant, trapezförmig oder linear veränderlich sein
 - alle Lastbilder können an beliebigen Stellen des Trägers platziert werden
 - alle Lastbilder können exzentrisch bzgl. der Stützenachse wirken und um die Stützenachse gedreht werden
- **Imperfektionen**
 - Berechnungshilfen für Schiefstellung und Vorkrümmung nach DIN 1045-1 und EC2
 - Imperfektionen werden als Vorverformungen quer zur Stützenachse und als Vorverdrehung um die Stützenachse beschrieben
 - der Wirkungsbereich einer Imperfektionsfigur kann zwischen zwei beliebigen Schnitten der Stütze liegen
 - der Wert der Imperfektion kann absolut oder bzgl. der Länge des Wirkungsbereichs vorgegeben werden
 - Vorverformungen können aus Vorverdrehung, Vorkrümmung und einer konstanten Vorverschiebung zusammengesetzt oder allgemein durch Vorgabe der Anfangs- und Endverschiebung und -verdrehung festgelegt werden
 - der Einfluss der Imperfektionen auf Lastangriffspunkte und Lagerbedingungen wird berücksichtigt

- **Einwirkungen**

- die Verwaltung der Einwirkungen und Lastfälle bzw. der Nachweise und Lastkombinationen erfolgt mit den auch aus anderen pcae-Programmen (##-ALFA, ##-NISI, ##-FRAP ...) bekannten Eingabeblättern

- **Nachweise**

- Vorschriften

- DIN 1045-1 (8.08) / DIN EN 1992-1-1 (Eurocode 2, 10.05)
- DIN EN 1992-1-2 (Eurocode 2, Brandfall, 10.06)

- Material

- Beton/Betonstahlgüten nach aktueller Norm (auch Leicht- und Hochleistungsbeton)
- freie Beschreibung der Spannungsdehnungsparameter für Beton und Betonstahl
- Beton-, Betonstahlgüten n. DIN 1045 (7.88)

- Nachweise/Bemessung n. Theorie I. Ordnung

Biegebemessung (GrenzZustand der Tragfähigkeit)

- automatische Berücksichtigung der Bemessungssituation (Materialsicherheitsbeiwerte) in Abhängigkeit der gewählten Einwirkungen
- wahlweise Ermittlung der Mindestbewehrung für Stützen
- Ermittlung des Ausnutzungsgrades unter vorgegebener Bewehrung

Schubbemessung (GZT)

- für Querkraft, Torsion oder Querkraft mit Torsion
- nicht für ##-QUER-Querschnitte

Brandbemessung (GZT) nach dem Zonenverfahren (EC2, Anhang B.2)

- für typisierte Querschnitte mit Umlauf- oder Eckbewehrung
- Ermittlung des Temperaturprofils unter Normbrandbedingungen für typisierte Querschnitte (semidiskrete Finite-Volumen-Methode). Annahme: Einfluss der Bewehrung auf die Temperaturerhöhung unbedeutend
- freie Eingabe der brandbeaufschlagten Querschnittsseiten
- genaue Ermittlung des reduzierten Querschnitts und seiner mittleren Betontemperatur sowie der Stahltemperaturen
- Berücksichtigung der Eigenspannungen (Längenänderung und Krümmung)
- bedarfsweise Anwendung der Vornorm DIN V ENV 1992-1-2 (5.97)

Rissnachweis (GrenzZustand der Gebrauchstauglichkeit)

- freie Eingabe der gewünschten Rissbreite
- Betonzugfestigkeit in Abhängigkeit vom Betonalter
- Ermittlung der Mindestbewehrung vor Lastaufbringung unter überwiegender Zwangsbeanspruchung
- Überprüfung des vorhandenen Stabdurchmessers der Bewehrung
- Verfahren auswählbar (Norm – Tabelle, Norm – Berechnung der Rissbreite, Schießl, Noakowski)
- Wahl der Spannungsdehnungsfunktion für Beton

Spannungsnachweis (GZG) für Betonstahl und/oder Beton

- freie Eingabe der zulässigen Spannungen
- Wahl der Spannungsdehnungsfunktion für Beton

Ermüdungsnachweis (GZT) für Betonstahl und/oder Beton

- eigene Einwirkungskombination
- Ermüdungsnachweis für Querkraftbewehrung
- freie Eingabe der zulässigen Spannungs Differenz (Längs- und Querbewehrung)
- Wahl der Spannungsdehnungsfunktion für Beton

- Nachweise/Bemessung n. Theorie II. Ordnung

Knicksicherheitsnachweis im Zustand 2 (Berücksichtigung der effektiven Steifigkeiten)

- Wahl der Spannungsdehnungsfunktion für Beton

Knicksicherheitsnachweis unter Brandbedingungen (Brandschutznachweis)

- s. Brandbemessung
- nicht für ##-QUER-Querschnitte

Verformungen im Zustand 2

- Wahl der Spannungsdehnungsfunktion für Beton

Ergebnisse auf charakteristischem Niveau

- n. Theorie I. Ordnung
- n. Theorie II. Ordnung

• **Berechnung**

- alle Nachweise werden zweiachsig berechnet
- die nichtlinearen Nachweise Knicksicherheit (kalt), Brandschutz-Knicksicherheit und Durchbiegung werden nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung effektiver Steifigkeiten im Zustand 2 ermittelt.
- die Genauigkeit der nichtlinearen (iterativen) Berechnung kann vom Anwender vorgegeben werden
- die interne Teilung des Systems zur hinreichend genauen Berechnung kann automatisch erfolgen oder vom Anwender beeinflusst werden
- der maximale Abstand der Ergebnispunkte kann vorgegeben werden

• **Steuerung der Bewehrungserhöhung**

- bei der Berechnung kann wahlweise die vorgegebene Bewehrung nur nachgewiesen werden oder ggf. iterativ erhöht werden bis alle Nachweise erfüllt sind

• **Fundamentbemessung**

- wenn das Programm ##-FUND, Einzel- und Streifenfundamente, in der Version 2009 installiert ist, kann für den Stützenfußpunkt die Berechnung und Bemessung eines Einzelfundamentes mit automatischer Lastweiterleitung durchgeführt werden

• **Programmoberfläche**

- Eingabeassistent zur Beschreibung des Grundsystems
- leichte Änderung des bestehenden Systems: Teilen und Zusammenlegen von Abschnitten, Löschen ausgewählter Objekte, gleichzeitige Änderung mehrerer Objekte
- Baumstruktur zur Übersicht und Auswahl aller angelegten Objekte (Abschnitte, Auflager, Einwirkungen, Imperfektionen und Nachweise mit Extremierungen und Lastkollektiven)
- grafische Darstellung von System und Lasten in Y-Z und X-Z-Ebene

• **Bildschirmausgabe**

- die Ergebnisse können für die einzelnen Ergebnisarten (Lastfall, Lastkollektiv, Extremierung, Zusammenfassung usw.) als Liniengrafiken am Bildschirm eingesehen werden
- Umfang und Art der Ergebnisse können individuell eingestellt

• **Druckerausgabe**

- die Tabellen und Liniengrafiken der Ergebnisdruklisten können nach persönlichen Wünschen gestaltet werden
- Umfang und Art der Ergebnisse können individuell eingestellt
- zur Kontrolle der Berechnung können Detailnachweispunkte definiert werden, für die alle Berechnungsschritte und Zwischenergebnisse protokolliert werden

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 ##-STUB von detailliertem Computerwissen unabhängig zu halten.

Nach der Installationsanweisung wird eine Übersicht der Funktionalitäten der Steuerbuttons der Eingabeoberfläche gegeben.



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

Zur *##-STUB* -Dokumentation gehören neben diesem Manual die Handbücher
das *pcae-Nachweiskonzept* und *DTE®-DeskTopEngineering*.
Wir wünschen Ihnen viel Erfolg mit *##-STUB*.
Hannover, im Mai 2020

Abkürzungen und Begriffe

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

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



signalisiert Anmerkungen

Buttons

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



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

Index

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

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

Doppelklick

zweimaliges schnelles Betätigen der LMT

blank

Leerzeichen

Cursor

Schreibmarke in Texten, Zeigesymbol bei Mausbedienung

icon

oder Ikon, Piktogramm, Bildsymbol

Fangerechteck

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

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

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



bricht Eigenschaftsblätter ohne Änderung der Eingabewerte ab.



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



ruft das Online-Hilfesystem.



bestätigt die Eingaben und schließt das Eigenschaftsblatt.



Löschen-Button vernichtet Eingaben mit Nachfrage.



Datenzustand
überprüfen

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

Inhaltsverzeichnis

1	Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten	7
2	Ordner und Bauteil erzeugen	9
3	Die Eingabeoberfläche	10
3.1	Arbeiten mit dem Eingabemodul	10
3.1.1	Das Hauptfenster	10
3.1.2	Das Baumansichtsfenster	10
3.1.3	Das Objektfenster	11
3.1.4	Das Ergebnisfenster	12
3.1.5	Die Elemente der Steuerbuttonzeile	12
3.1.6	Objektauswahl und Doppelklick	13
3.1.7	Bearbeitung beenden	13
3.2	Der Assistent	14
3.2.1	Abschnitte	14
3.2.2	Abschnittslängen und Lager	15
3.2.3	Querschnitt	15
3.2.4	Einwirkungsstruktur	16
3.2.5	Standardlastbilder erzeugen	16
3.2.6	Imperfektionen	17
3.2.7	Bemessungsoptionen	17
3.2.8	Nachweise anlegen	18
3.2.9	Nachweise Übersicht	18
3.3	Globale Einstellungen	19
3.3.1	Register 1 - Orientierung	19
3.3.2	Register 2 - Berechnung	19
3.3.3	Register 3 - Iteration	20
3.3.4	Register 4 - Teilung	20
3.4	Globales Koordinatensystem und Exzentrizitäten	21
3.5	Abschnitte und Lagerpunkte	21
3.6	Anker und Abstände	22
3.7	Detailnachweispunkte	22
3.8	Ausgabeumfangseinstellungen	22
3.9	Abschnitte	23
3.9.1	Abschnitte bearbeiten	23
3.9.2	Abschnittslänge	23
3.9.3	Querschnitt	24
3.9.4	Stabbezogene Bemessungsoptionen	25
3.9.4.1	Materialangaben	25
3.9.4.2	Kriechen	26
3.9.4.3	Schwinden	26
3.9.4.4	Expositionsklasse	27
3.9.4.5	Biegebemessung	27
3.9.4.6	Schubbemessung	27
3.9.4.7	Brandschutzbemessung	27
3.9.4.7.1	Brandschutzbemessung (DIN 4102)	28
3.9.4.7.2	Brandschutzbemessung (EC2)	28
3.9.4.8	Rissnachweis	29
3.9.4.9	Ermüdungsnachweis	30
3.9.4.10	Spannungsnachweis	31
3.9.5	Ausrichtung des Querschnitts	32
3.9.6	Punktfedern	32
3.9.7	Linienfedern	33
3.9.8	optische Kontrolle	34
3.10	Lagerpunkte	35
3.10.1	Eigenschaften eines Lagerpunktes	35
3.11	Einwirkungen und Nachweise	35

3.12	Belastung und Imperfektionen.....	36
3.12.1	Streckenlasten.....	36
3.12.2	Punktlasten.....	37
3.12.3	Imperfektionsbilder.....	38
3.12.4	Berechnungshilfe Imperfektionen.....	39
3.13	Nachweisführung.....	40
3.13.1	Stahlbeton Bemessung.....	40
3.13.2	Stahlbeton Spannungsnachweis.....	40
3.13.3	Stahlbeton Rissnachweis.....	41
3.13.4	Stahlbeton Ermüdungsnachweis.....	41
3.13.5	Stahlbeton Brandschutz.....	41
3.13.6	Schnittgrößenermittlung.....	41
3.13.7	Stahlbeton Knicksicherheit Zustand 2.....	41
3.13.8	Stahlbeton Durchbiegung Zustand 2.....	41
3.13.9	Stahlbeton Brandschutz-Knikksicherheit Zustand 2.....	41
3.14	Steuerung des Berechnungsablaufs.....	42
3.14.1	Berechnung.....	42
3.14.2	Einstellungen.....	43
3.14.3	Bewehrungswahl.....	44
3.14.4	erforderliche Bewehrung.....	44
3.14.5	Protokoll.....	45
3.14.6	Fehler und Warnungen.....	45
3.15	Ergebnispräsentation.....	45
3.15.1	Darstellung der Ergebnisse.....	45
3.15.2	Darstellungsoptionen im Ergebnisfenster.....	46
3.15.3	Skalierung der Grafiken.....	46
3.15.4	Ausgabeoptionen der Ergebnisdruckliste.....	47
3.16	Theorie und Beispiele.....	48
3.16.1	Theorie.....	48
3.16.2	Beispiel: Zentrisch gedrückte Stütze im Zustand 2.....	51
4	Literaturverzeichnis.....	53
5	Index.....	53

1 Programminstallation und DTE®-Schreibtisch einrichten

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

Sofern Sie bereits im Besitz anderer *##-Programme* sind und diese auf Ihrem Rechner installiert sind, können Sie dieses Kapitel überspringen.

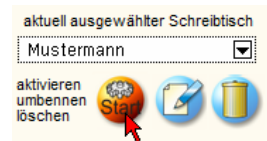


Nach erfolgreicher Installation befindet sich das DTE®-**Startsymbol** auf Ihrer Windowsoberfläche. Führen Sie bitte darauf den Doppelklick aus.

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



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

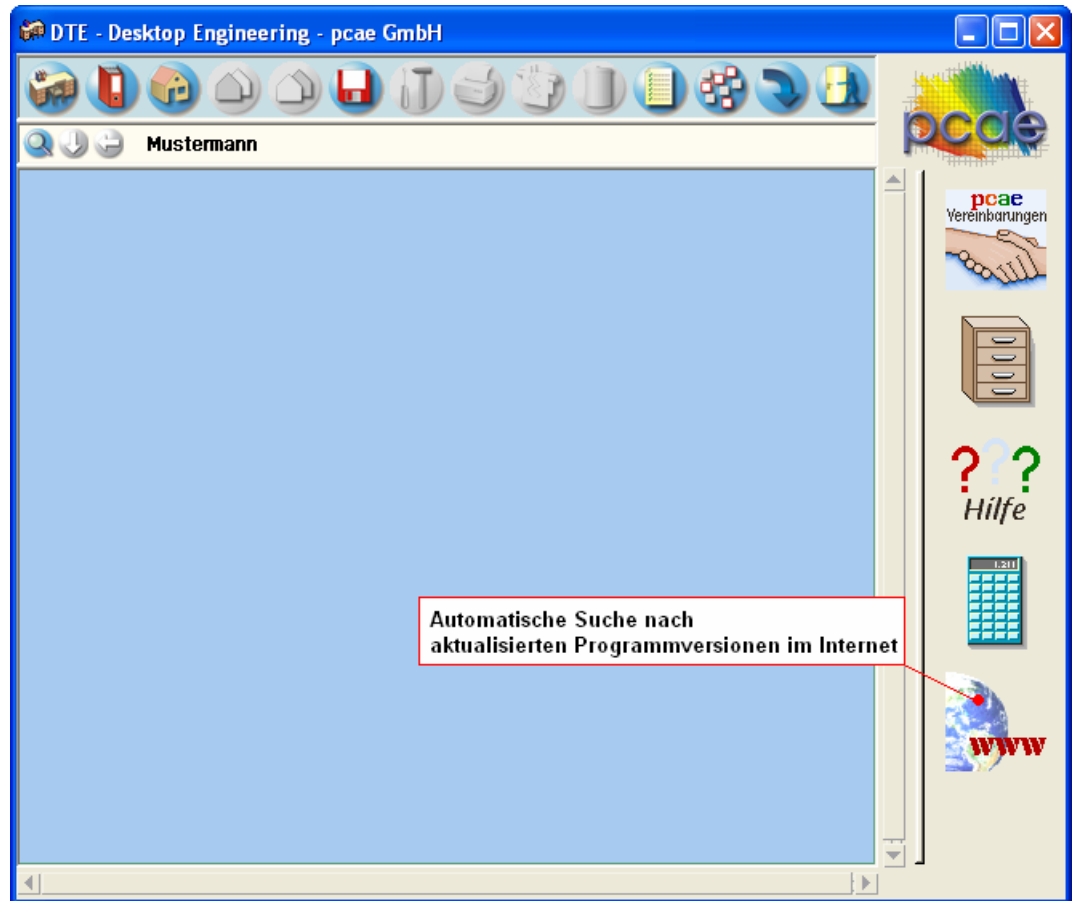


Nach Bestätigen über das **Hakensymbol** erscheint wieder die Schreibtischauswahl, in die der neue Name bereits eingetragen ist. Drücken Sie auf **Start** und die DTE®-Schreibtischoberfläche erscheint auf dem Bildschirm.

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



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



Steuerbuttons

Im oberen Bereich des Schreibtisches 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 Planerstellungsm modul 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 |

Ordner und Bauteil erzeugen



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



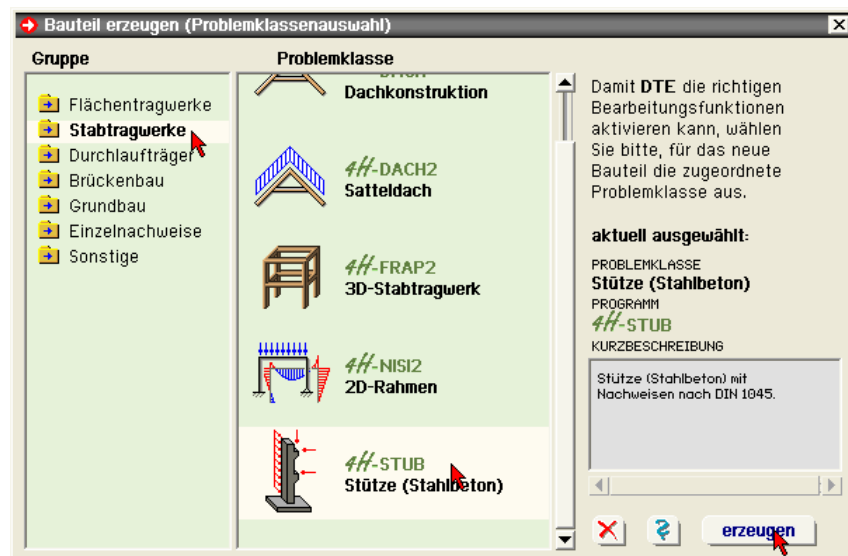
Aus dem Eintrag in der Schreibtischkopfzeile ist zu erkennen, in welchem Ordner sich die Aktion aktuell befindet.



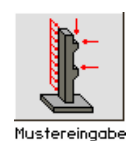
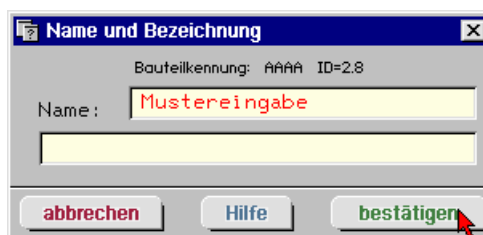
Der Ordner kann durch das **beenden**-Symbol wieder geschlossen werden.



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



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



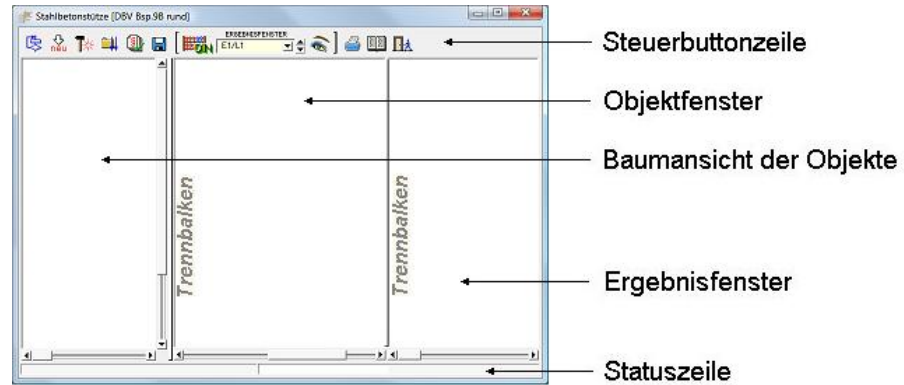
Nach Doppelklick auf dem neuen Bauteilicon, dem eine individuelle Bezeichnung gegeben werden kann, erscheint der *Assistent zur Einrichtung eines ##-STUB Bauteils* (s. Abs. 3.2, S. 14).

3 Die Eingabeoberfläche

3.1 Arbeiten mit dem Eingabemodul

3.1.1 Das Hauptfenster

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



Die Steuerbuttonzeile (s. Abs. 3.1.5, S. 12) enthält interaktive Steuerelemente, mit deren Hilfe die Aktionen des Programms eingeleitet bzw. gesteuert werden.

Im Objektfenster (s. Abs. 3.1.3, S. 7) werden die wesentlichen Objekte (hier: Abschnitte, Lagerpunkte, Lastbilder) auswählbar dargestellt.


Die Baumansicht der Objekte (s. Abs. 3.1.2, S. 10) bietet alle definierten Objekte in einer explorerähnlichen Darstellung zur Auswahl an.


Im Ergebnisfenster (s. Abs. 3.1.4, S. 12) werden die Rechenergebnisse zum aktuell definierten System dargestellt. Die Statuszeile weist Informationen zu laufenden Aktionen aus.

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

3.1.2 Das Baumansichtsfenster

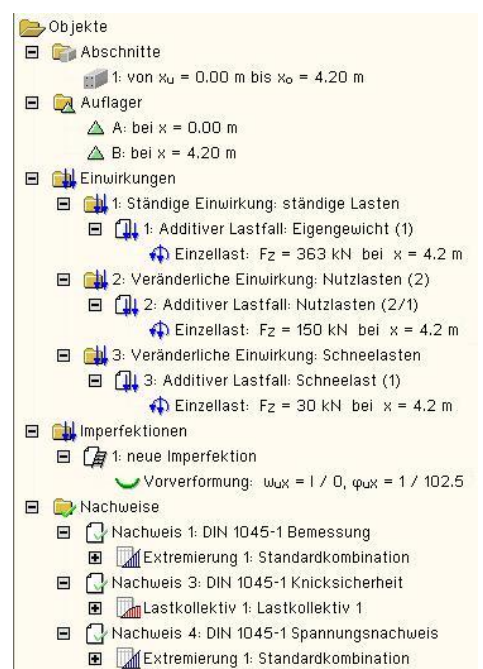
Nebenstehend ist beispielhaft der Inhalt des Bauman-sichtsfensters dargestellt. Es bietet alle definierten Objekte in Form eines Baumes ähnlich dem des Windows-Explorers zur Auswahl an.

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

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

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

Mit ausgewählten Objekten können bestimmte Aktionen durchgeführt werden.





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

Der Zustand der aktuellen Auswahl wird im Objektfenster synchronisiert. Erfährt ein Objekt im Objektbaum einen Doppelklick, so erscheint sein individuelles Eigenschaftsblatt auf dem Bildschirm. Zusätzlich können durch einen Doppelklick auf ein Objekt des Baums dessen Objekteigenschaften direkt geändert werden.

Die im Baumsichtsfenster befindlichen unterschiedlichen Objekttypen sind nachfolgend mit ihren grafischen Symbolen aufgelistet.

Ein *Abschnitt* ist eine Teilstrecke des gesamten Durchlaufträgers. Abschnitte werden von links nach rechts mit 1 beginnend durchnummeriert.

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

Eine *Einwirkung* bündelt die Belastung einer bestimmten Ursache (Verkehr, Wind, Schnee, ...). Ihr sind stets Lastfälle zugeordnet.

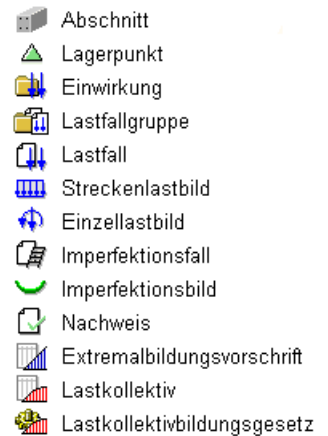
Mit einer *Lastfallgruppe* können die ihr zugeordneten Lastfälle additiv bzw. alternativ geschaltet werden.

Ein *Lastfall* enthält *Einzellasten* und/oder *Streckenlasten*, wobei die Lastbilder eines Lastfalles stets gemeinsam wirken.

Ein Imperfektionsfall enthält *Imperfektionsbilder*. Diese bestehen aus Vorverformungen und Schiefstellungen und werden nur bei der nichtlinearen Berechnung benötigt.

Einem linearen *Nachweis* sollte stets eine *Extremalbildungsvorschrift* zugeordnet sein. Diese legt fest, wie die Schnittgrößen und Verformungen der unterschiedlichen Einwirkungen zu überlagern sind, um die Nachweisschnittgrößen zu bilden.

Einem nichtlinearen Nachweis sollten stets mehrere *Lastkollektive* oder ein *Lastkollektivbildungsgesetz* zugeordnet sein.



3.1.3

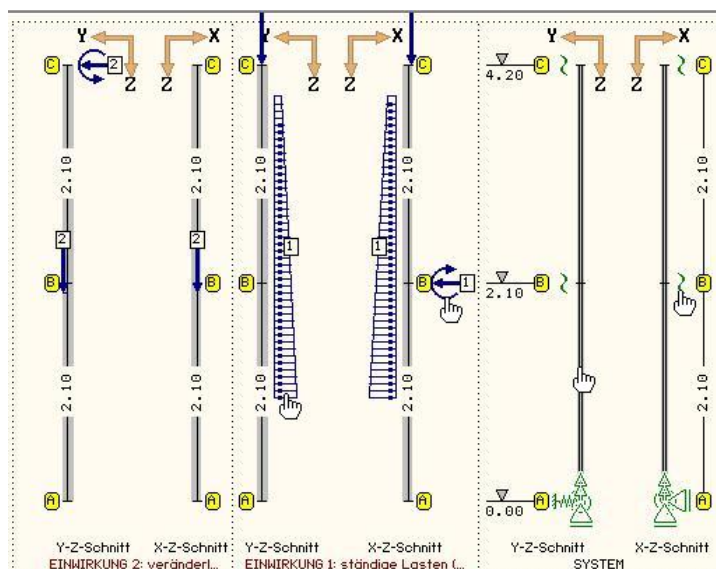
Das Objektfenster

Im Objektfenster können die definierten Objekte geometrisch visuell überprüft werden.

Darüber hinaus können die dargestellten Objekte im Objektfenster (wie auch im Baumsichtsfenster) durch einfaches Anklicken aus- bzw. abgewählt und durch einen Doppelklick aktiviert werden.

Ein ausgewähltes Objekt ändert sich in der Farbgebung, so dass jederzeit kontrolliert werden kann, welche Objekte ausgewählt sind.

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





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

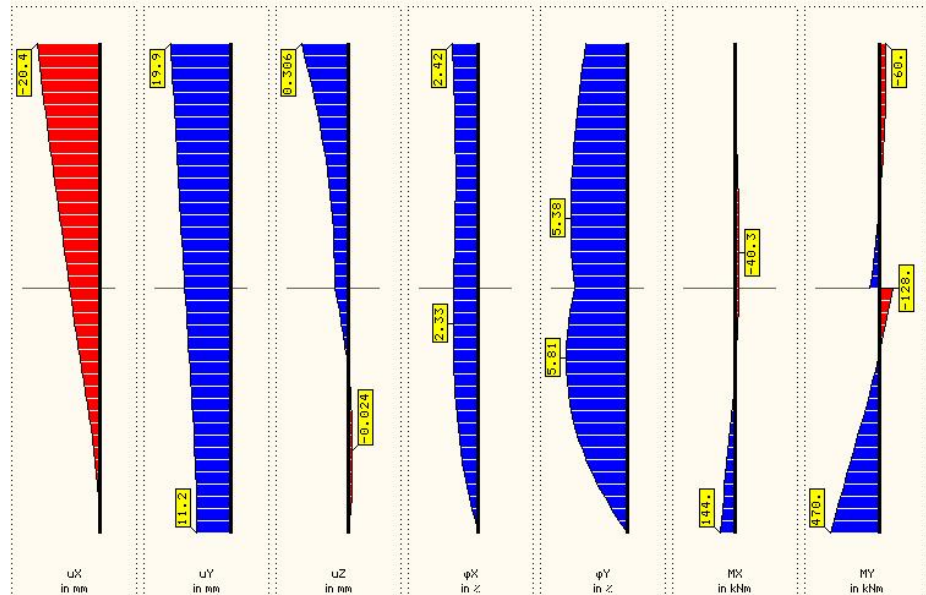
3.1.4

Das Ergebnisfenster

Im Ergebnisfenster werden die Ergebnisse des zuletzt durchgeführten Rechenlaufes dargestellt.



Der Inhalt des Ergebnisfensters hängt stark von den in der Kopfleiste angebotenen, in eckigen Klammern gesetzten Steuerelementen ab.



E1/L1

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



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

S. auch Abs. 3.15.2, S. 46.

3.1.5

Die Elemente der Steuerbuttonzeile



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



Mit dem Symbol **globale Einstellungen** werden optionale Einstellungen bezüglich des nachfolgenden Rechenlaufes festgelegt (s. Abs. 3.3, S. 19).




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





Das **bearbeiten-Symbol** kann nur aktiviert werden, wenn mindestens ein Objekt ausgewählt ist. Befindet sich der Mauszeiger über diesem Symbol, so erscheint ein Pulldown-Menü mit weiteren Symbolen, mit deren Hilfe die aktuell ausgewählten Objekte bearbeitet werden können. Sind mehrere Objekte desselben Typs aktiviert, so spricht man auch vom "Vereinheitlichen".





Von links nach rechts bedeuten: Bearbeitung der ausgewählten Abschnitte (s. Abs. 3.9.1, S. 23), der ausgewählten Lagerpunkte (s. Abs. 3.10.1, S. 35), der ausgewählten Linienlasten (s. Abs. 3.12.1, S. 36), der ausgewählten Einzellasten (s. Abs. 3.12.2, S. 37), der ausgewählten Imperfektionsbilder (s. Abs. 3.12.3, S. 38), Abwählen aller aktuell ausgewählten Objekte, Löschen aller aktuell ausgewählten Objekte.


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


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


 Das Symbol **Fundament** ist aktiv, wenn das Programm *##-FUND* in der Version 2009 installiert ist und die Fundamentbemessung im Register *Berechnung* des Eigenschaftsblattes für die *globalen Einstellungen* aktiviert wurde. Mit einem Mausklick auf das Symbol wird *##-FUND* zur Bearbeitung der Fundamentparameter aufgerufen.

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


 Mit dem Button **Berechnung starten** wird das Eigenschaftsblatt aufgerufen, von dem aus die Berechnung gestartet werden kann (s. Abs. 3.14.1, S. 42). Dort können vor und nach den Rechenläufen die gewählten Querschnittsflächen aller Bewehrungspositionen von allen Abschnitten angepasst werden. Zusätzlich können Parameter zur Bewehrungserhöhung festgelegt werden.

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

 Ein Mausklick auf das Symbol **Ergebnistypauswahl** (s. Abs. 3.15, S. 45) ruft ein Eigenschaftsblatt hervor, in dem die Ergebnistypen im Ergebnisfenster aus- bzw. abgewählt werden können.


 Befindet sich der Mauszeiger über dem **Drucker-Symbol**, so erscheint ein Pulldown-Menü mit drei weiteren Symbolen, mit deren Hilfe der Umfang der Ergebnisdrukliste eingestellt (s. Abs. 3.15.4, S. 47), die Drucklisten am Bildschirm eingesehen oder der Druckmanager zur Ausgabe des Druckdokumentes auf dem Drucker aufgerufen werden kann (von links nach rechts).

 Ein Mausklick auf das **Hilfe-Symbol** ruft das Hilfe-Dokument auf.

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

3.1.6 Objektauswahl und Doppelklick

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

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



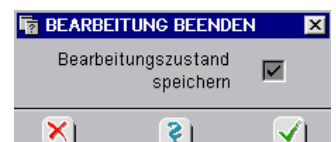
Sind mehrere Objekte des zu bearbeitenden Objekttyps ausgewählt, so werden alle Objekte nach Bestätigen des durch diese Aktion aufgerufenen Eigenschaftsblattes die hier festgelegten Eigenschaften erhalten. Man spricht in diesem Zusammenhang vom Vereinheitlichen.

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

3.1.7 Bearbeitung beenden

Hier können Sie entscheiden, ob die Bearbeitung mit oder ohne vorherige Sicherung des aktuellen Datenzustandes erfolgen soll.

Klicken Sie auf den symbolischen **abbrechen-Button**, um mit der Bearbeitung fortzufahren.



3.2

Der Assistent

Wird ein neu angelegtes Stahlbetonstützenbauteil aus DTE[®] heraus erstmalig gestartet, so erscheint ein Assistent, der mit Hilfe weniger Angaben ein dem vorliegenden Problem möglichst gut entsprechendes System generiert.

Hierbei werden dem Benutzer neun formularartige Seiten angeboten, die die wesentlichen Daten zum zu berechnenden System abfragen.

Durch Anklicken der **weiter**- bzw. **zurück**-Links kann durch die Formulare navigiert werden.

Sämtliche Festlegungen können natürlich im Nachhinein geändert werden.

3.2.1

Abschnitte

Hier ist die Anzahl der gewünschten Abschnitte anzugeben.

Zusätzlich können hier einige globale Optionen festgelegt werden, wie z.B., ob die Berechnung unter Berücksichtigung von Torsion oder nicht ausgeführt werden soll.

Mit der Bemessungsnorm wird die Darstellungsform der Nachweisoptionen beeinflusst und für welche Norm die durch diesen Assistenten ggf. automatisch angelegten Nachweise erzeugt werden. Wird hier DIN1045-1 eingestellt, ist es aber im Nachhinein immer noch möglich auch Nachweise für EC2 anzulegen.

Sollen Kriechen und Schwinden bei der Berechnung des zu erstellenden Bauteils keine Rolle spielen, kann dies durch Abwahl der hier angebotenen Option erreicht werden. Ist diese Option gesetzt, können in den Einstellungen der *Stabbezogenen Bemessungsoptionen* Parameter zur Berücksichtigung von Kriechen und Schwinden definiert werden.

3.2.2

Abschnittslängen und Lager

Hier sind die Abschnittslängen einzutragen und Lagerangaben an den Abschnittsübergängen bzw. den Punkten A, B, C usw. zu definieren.

S. hierzu: Abschnitte und Lagerpunkte, Abs. 3.5, S. 21, und Eigenschaften eines Lagerpunktes, Abs. 3.10.1, S. 35.

3.2.3

Querschnitt

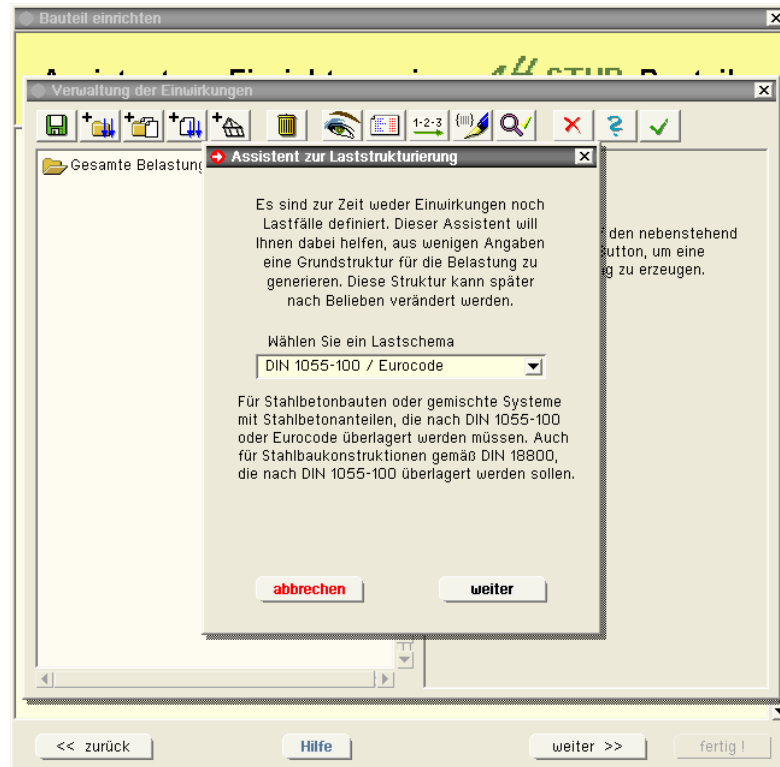
Wählen Sie einen Querschnittstyp und ein Bewehrungsbild. Im Gegensatz zur regulären Querschnittsdefinition im Programm ist hier kein gevouteter Querschnitt definierbar.

Der Assistent wird jedem Abschnitt den so charakterisierten Querschnitt zuordnen.

Besitzt das Bauteil abschnittsweise unterschiedliche Querschnitte, so kann dies im Nachhinein geändert werden. S. hierzu auch: Querschnitt, Abs. 3.9.3, S. 24.

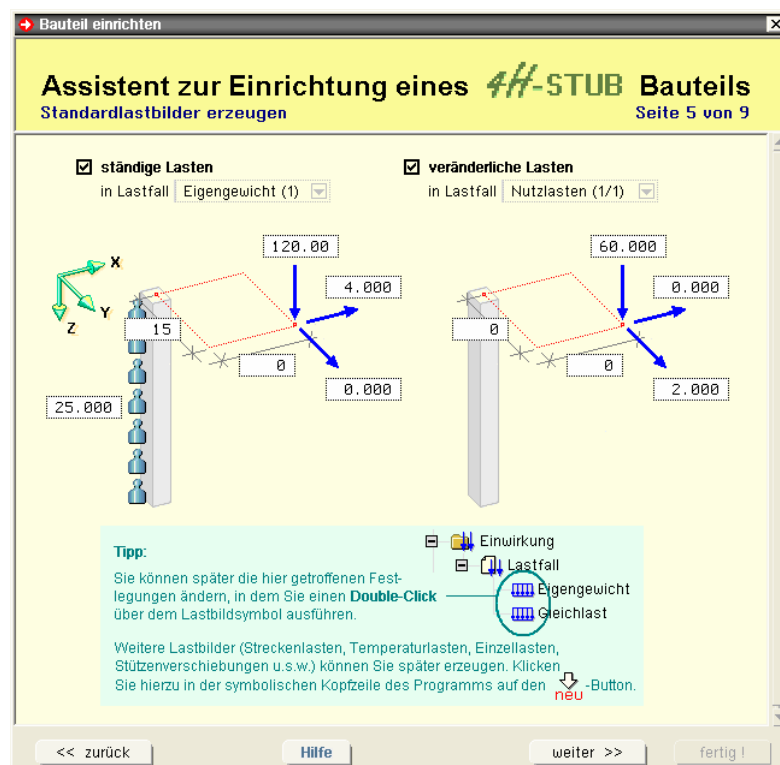
3.2.4 Einwirkungsstruktur

Die Verwaltung der Struktur von Einwirkungen und Lastfällen verfügt über einen eigenen Assistenten, der beim ersten Aufruf dieser Seite automatisch aktiviert wird. Näheres s. Handbuch des [pcae-Nachweiskonzept](#).



3.2.5 Standardlastbilder erzeugen

Legen Sie hier die Ordinaten einiger Standardlastbilder fest.



3.2.6

Imperfektionen

Legen Sie hier die Stützwerte für je eine Imperfektion in Richtung der beiden Hauptachsen X und Y fest.

Bauteil einrichten

Assistent zur Einrichtung eines 4H-STUB Bauteils
Imperfektionen Seite 6 von 9

Imperfektion in X-Richtung
in Imperfektion: neue Imperfektion

Konst. Verschiebung $w_c = 1 /$ 500
Vorkrümmung $w_0 = 1 /$ 0
Schiefstellung $\phi_0 = 1 /$ 326

Stützwerte berechnen

Imperfektion in Y-Richtung
in Imperfektion: neue Imperfektion

Konst. Verschiebung $w_c = 1 /$ 500
Vorkrümmung $w_0 = 1 /$ 0
Schiefstellung $\phi_0 = 1 /$ 326

Stützwerte berechnen

<< zurück Hilfe weiter >> fertig!

3.2.7

Bemessungsoptionen

Hier können die Bemessungsoptionen für alle vom Programm angebotenen Stahlbetonnachweise gesetzt werden. Der Assistent wird diese jedem der angelegten Abschnitte zuordnen.

Sollen die Optionen abschnittsweise unterschiedlich sein, kann dies im Nachhinein durch individuelle Bearbeitung eines Abschnittes angepasst werden. S. hierzu: Stabbezogene Bemessungsoptionen, Abs. 3.9.4, S. 25.

Bauteil einrichten

Assistent zur Einrichtung eines 4H-STUB Bauteils
Bemessungsoptionen Seite 7 von 9

Darstellung für: DIN 1045-1

Nachweise nach DIN 1045-1

Betongüte: C20/25
 α_c : 0.850

☒ Kriechen und Schwinden (nur für Knicknachweise und Nachweise im GZG)
 $\varphi(\infty, t_{0k})$: 2.500 ☐ $\varphi(\infty, t_{0k})$ automatisch ermitteln
für Knicknachweise:
 M_{1perm}/M_{1Ed} : 0.60
 $\varphi_{eff} = \varphi(\infty, t_{0k}) \cdot M_{1perm}/M_{1Ed} = 1.500$
 $\epsilon_{cs, \varphi}$: -0.460 ‰ ☐ $\epsilon_{cs, \varphi}$ automatisch ermitteln

Längsbewehrung: BSt 500

Biegebemessung
Mindestbewehrung: ☒ für Stützen gemäß DIN 1045-1, 13.5.2
☐ Querschnittsausnutzung (Sicherheitsnachweis)

☒ Schubbemessung durchführen
Schubbewehrung: BSt 500
z aus Biegebemessung
innerer Hebelarm: $z = 0.9 \cdot d \leq d - 2 \cdot c_{v,p}$ s. Nachweisoptionen
z aus Biegebemessung $\leq d - 2 \cdot c_{v,p}$
mit $c_{v,n}$: 3.0 cm Betondeckung zur Längsbewehrung ($c_{v,n} > 0$)

<< zurück Hilfe weiter >> fertig!

3.2.8 Nachweise anlegen

Legen Sie hier fest, welche Nachweistypen angelegt werden sollen.

Entsprechend welcher Norm die Nachweise angelegt werden, richtet sich nach der Einstellung zur Bemessungsnorm auf Seite 1.

Bezeichnung	Nachweistyp	Rechenmode
<input checked="" type="checkbox"/> Bemessung	Tragfähigkeit	linear
<input type="checkbox"/> Rissnachweis	Gebrauchstauglichkeit	linear
<input type="checkbox"/> Ermüdungsnachweis	Gebrauchstauglichkeit	linear
<input type="checkbox"/> Spannungsnachweis	Gebrauchstauglichkeit	linear
<input checked="" type="checkbox"/> Knicksicherheit Z2	Tragfähigkeit	nichtlinear
<input type="checkbox"/> Durchbiegung Z2	Gebrauchstauglichkeit	nichtlinear
<input checked="" type="checkbox"/> Brandschutz-Bemessung	Tragfähigkeit	linear
<input checked="" type="checkbox"/> Brandschutz-Knicksicherheit Z2	Tragfähigkeit	nichtlinear
<input type="checkbox"/> Schnittgrößenermittlung (Th.I.Ord.)	-	linear
<input type="checkbox"/> Schnittgrößenermittlung (Th.II.Ord.)	-	nichtlinear

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

Objekte
Nachweise
Nachweis 1

<< zurück Hilfe weiter >> fertig !

3.2.9 Nachweise Übersicht

Hier sind die auf der vorhergehenden Seite angelegten Nachweise nochmals als Baumstruktur aufgeführt.

Durch Anklicken eines Eintrages gelangen Sie in die Verwaltung der Nachweise.

Nachweise

- Nachweis 1: DIN 1045-1 Bemessung
 - Extremierung 1: Standardextremierung
- Nachweis 2: DIN 1045-1 Knicksicherheit Z2
 - Lastkollektiv-Generierung 1 (48 Lk): Standardlastkollektive
- Nachweis 3: Brandschutz-Bemessung
 - Extremierung 1: Standardextremierung
- Nachweis 4: Brandschutz-Knicksicherheit Z2
 - Lastkollektiv-Generierung 1 (24 Lk): Standardlastkollektive

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

Objekte
Nachweise
Nachweis 1

<< zurück Hilfe weiter >> fertig !

3.3

Globale Einstellungen



Durch Anklicken des dargestellten Symbols, das sich ganz links in der Kopfzeile des Hauptfensters befindet, wird das Eigenschaftsblatt zu den globalen Eigenschaften aktiviert. Es verfügt über vier Register.



3.3.1

Register 1 - Orientierung

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



Von Natur aus handelt es sich bei dem zu bearbeitenden Bauteil um eine vertikal stehende Stütze, deren Längsachse sich an der globalen Z-Achse orientiert und deren Gewichtslasten nach unten (in globaler Z-Richtung) wirken.

Um mit dem Programm aber auch Träger und schief liegende Balken berechnen zu können, kann die Richtung der Eigengewichtslasten vom Standard abweichend verändert werden.

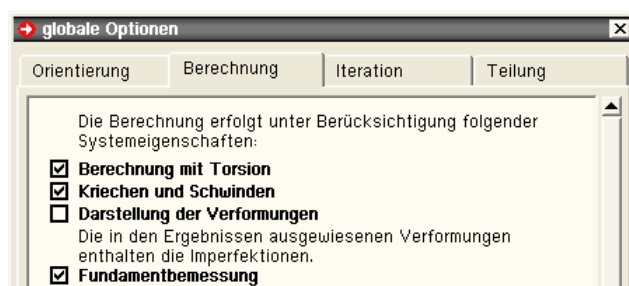
3.3.2

Register 2 - Berechnung

Hier kann für Berechnung festgelegt werden, ob innere und äußere **Torsionseffekte** bei der Berechnung berücksichtigt werden sollen. Ist diese Option nicht gesetzt, werden z.B. auch alle Lasten, die exzentrisch zur Stabachse angreifen, wie zentrisch angreifende Lasten behandelt.

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

Falls das Programm *##FUND*, Einzel- und Streifenfundamente, in der Version 2009 installiert ist, kann hier die Berechnung und Bemessung eines Einzelfundamentes unter dem Stützenfußpunkt eingeschaltet werden.



3.3.3

Register 3 - Iteration

Die nichtlineare Berechnung erfolgt iterativ. Um die Gefahr auszuschließen, eine Endlosschleife "abzuarbeiten" (dies kann passieren, wenn bei einem gegebenen System keine Konvergenz hergestellt werden kann) ist die maximale Anzahl der zu berechnenden Iterationsschritte pro Lastkollektiv begrenzt.

The screenshot shows the 'globale Optionen' dialog box with the 'Iteration' tab selected. The 'max. Anzahl der Iterationsschritte' is set to 50. Below this, a text box explains that the iteration is automatically ended when the differences in the results of two consecutive iterations exceed the tolerances. The tolerances are set as follows: Toleranz der Verschiebungen (0.00010 mm), Toleranz der Verdrehungen (0.00010 %), Toleranz der Schnittkräfte (0.00010 kN), and Toleranz der Momente (0.00010 kNm). The dialog box has a standard Windows interface with a title bar, tabs, and a footer with a close button, a help icon, and a checkmark icon.

Auf Konvergenz wird erkannt, wenn die sich ergebenden Differenzen in den Verformungen und Schnittgrößen zweier aufeinander folgender Iterationsschritte in allen Punkten des Systems kleiner sind als die im Eigenschaftsblatt ausgewiesenen Toleranzen. In diesem Fall wird die Iteration vorzeitig beendet. Konvergiert die Berechnung auch nach Durchführung der maximalen Anzahl von Iterationen nicht, so ist dies ein Kriterium dafür, dass die (mit einem Sicherheitsfaktor erhöhten) Lasten des zur Berechnung anstehenden Lastkollektivs vom System nicht aufgenommen werden können. Es erfolgt eine entsprechende Warnung durch das Rechenprogramm.

3.3.4

Register 4 - Teilung

Das Programm arbeitet mit Polynomen dritten Grades als Ansatzfunktionen für die Verformungen einzelner Teilabschnitte (Elemente). Da die tatsächlichen Lösungen der zugrundeliegenden Differentialgleichungen aber zum Teil aus trigonometrischen bzw. hyperbolischen (bei Berechnungen nach Theorie II. Ordnung) und Exponentialfunktionen (bei Wölbkrafttorsion) sowie Kombinationen aus beiden (bei elastischer Bettung) bestehen, liefert diese Vorgehensweise nur eine Näherung der exakten Lösung. Der Fehler der Näherung kann (ähnlich wie bei der Finiten Element Methode) durch hinreichende Teilung verkleinert werden, sodass sein Effekt keinen Einfluss mehr auf die Zuverlässigkeit der berechneten Ergebnisse hat.

The screenshot shows the 'globale Optionen' dialog box with the 'Teilung' tab selected. The 'automatisch' checkbox is checked. The 'maximale Elementlänge' is set to 1.0000 m. The 'Faktor für Knicklänge ($\epsilon=1\%$)' is set to 0.5000. The 'Faktor für elastische Länge' is set to 1.0000. The 'Teilung gevouteter Abschnitte' is set to 3. A note states: 'Merke: Faktoren < 1 verkleinern die vom Programm gewählte Elementlänge!'. The 'maximaler Abstand der Ergebnispunkte' is set to 0.1000 m. The dialog box has a standard Windows interface with a title bar, tabs, and a footer with a close button, a help icon, and a checkmark icon.

Im vierten Register des Eigenschaftsblattes *globale Optionen* können die programminternen Festlegungen zur Teilung der Abschnitte modifiziert werden. I.d.R. wird empfohlen, die Schaltfläche **automatisch** zu aktivieren (Voreinstellung), so dass die von **pcae** überprüften Einstellungen bei der Abschnittsteilung zu Grunde gelegt werden.



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

3.4

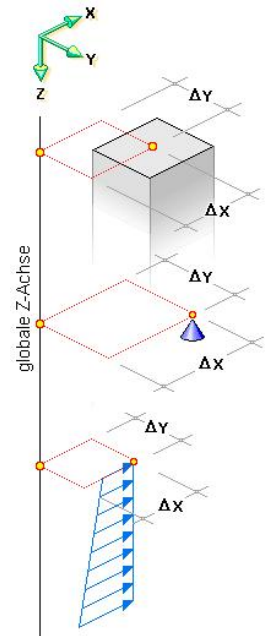
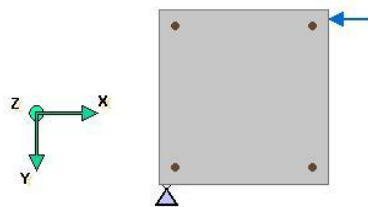
Globales Koordinatensystem und Exzentrizitäten

Das globale, rechtshändige X-Y-Z-Koordinatensystem dient zur Ausrichtung und Vermessung der Abschnitte, Lager und Lastbilder.

Die Z-Achse weist nach unten in Längsrichtung der Stütze wie in der nebenstehenden Skizze gezeigt.

Mit Hilfe der Exzentrizitäten ΔX und ΔY können ein Abschnitt, ein Lager sowie der Angriffspunkt eines Lastbildes in der Ebene senkrecht zur Z-Achse verschoben werden.

Somit können Gegebenheiten, wie sie nachfolgend dargestellt sind, einfach beschrieben und vom Rechenprogramm berücksichtigt werden.



Die Lage der globalen Achse wird i. A. so gewählt werden, dass eine möglichst einfache Beschreibung der Lagerbedingungen und Lasten erfolgen kann. Die Ausrichtung der Querschnitte (s. Abs. 3.9.5, S. 32) kann dann bequem unter den Abschnittseigenschaften vorgenommen werden.

3.5

Abschnitte und Lagerpunkte

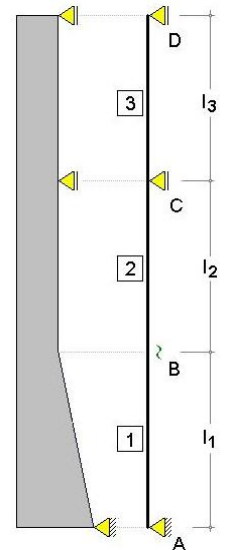
Die zu berechnende Stütze wird in n Abschnitte unterteilt. Da ein Abschnitt immer von einem bestimmten Querschnittstyp ist und konstante bzw. linear veränderliche Querschnittswerte aufweist, muss die Stütze an den Stellen, an denen sie einen Querschnittsknick oder -sprung aufweist, unterteilt werden.

Darüber hinaus können einer Stütze nur an den Abschnittsenden Einzelager zugeordnet werden. Aus diesen Randbedingungen ergibt sich die erforderliche Abschnittsteilung.

Abschnitte werden von unten nach oben mit 1 beginnend durchnummeriert.

Lagerpunkte befinden sich an den Stützenenden sowie zwischen den Abschnitten. Dementsprechend gibt es immer einen Lagerpunkt mehr als Abschnitte.

Lagerpunkte werden mit A, B, C ... von unten nach oben aufsteigend gekennzeichnet.



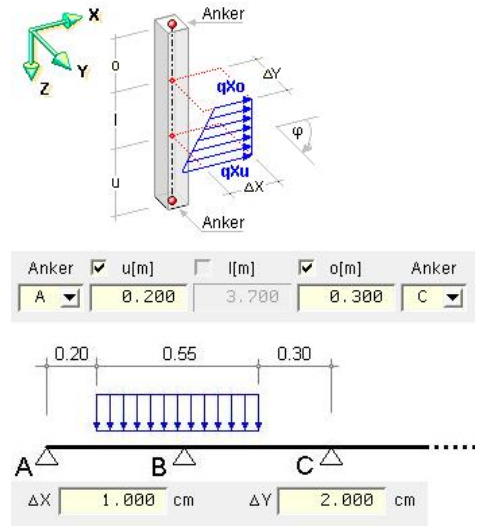
3.6

Anker und Abstände

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

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

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



3.7

Detailnachweispunkte

Detailnachweispunkte sind Punkte, an denen zusätzlich zum normalen Ausgabeumfang Zwischenergebnisse ausgegeben werden, um die Berechnung der Bemessungsergebnisse nachvollziehbar zu machen. Hierzu wird eine eigenständige Druckliste vom Rechenmodul mit der Bezeichnung *Detailnachweispunkte* erzeugt.



Um Detailnachweispunkte zu definieren oder die Liste der definierten Detailnachweispunkte zu bearbeiten, klicken Sie zunächst auf [Nachweise bearbeiten](#) und in dem hierdurch hervorgerufenen Eigenschaftsblatt auf die Schaltfläche [Detailnachweispunkte bearbeiten](#).

Die Eingabe der Detailnachweispunkte erfolgt in den Registern *Knoten* (dies entspricht den Lagerpunkten an den Abschnittsenden) und *Stabpunkten* (Ergebnispunkte innerhalb von Abschnitten).

Bei den Knoten ist zu beachten, dass die Knotennummern 1, 2, 3, ... den Lagerpunkten A, B, C, ... entsprechen. Der Ergebnisumfang kann für alle Detailnachweispunkte desselben Typs (über die [standard](#)-Umfangseinstellungen) oder individuell eingestellt werden.

3.8

Ausgabeumfangseinstellungen

Hier können Sie den Umfang der Ausgabe für einen Detailnachweispunkt steuern. Die Einstellungen können für jeden Detailnachweispunkt unterschiedlich vorgenommen werden. Zusätzlich lassen sich die Einstellungen für den Standardfall ändern.



3.9

Abschnitte

3.9.1

Abschnitte bearbeiten

Die Beschreibung des Eigenschaftsblattes der Abschnitte erfolgt registerweise:

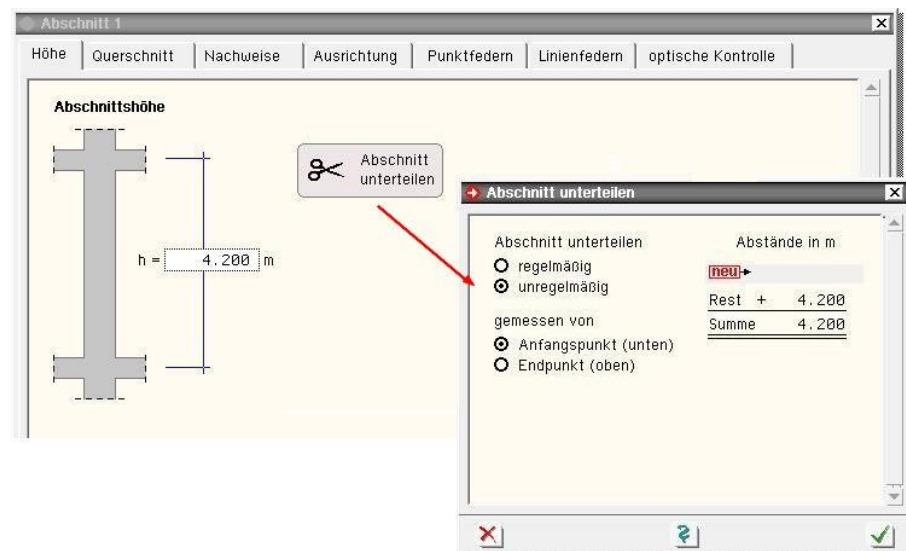


- Abschnittslänge, Abs. 3.9.2, S. 23
- Querschnitt, Abs. 3.9.3, S. 24
- Nachweise, Abs. 3.9.4, S. 25
- Ausrichtung des Querschnitts, Abs. 3.9.5, S. 32
- Punktfedern, Abs. 3.9.6, S. 32
- Linienfedern, Abs. 3.9.7, S. 33
- optische Kontrolle, Abs. 3.9.8, S. 34

3.9.2

Abschnittslänge

Im ersten Register des Eigenschaftsblattes zur Festlegung der Abschnittseigenschaften wird die Abschnittslänge = Stützenbereichshöhe bestimmt.



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

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



Beachten Sie, dass die Unterteilung nur erforderlich ist, wenn feste Lager im Bereich des Abschnittes wirken sollen oder wenn Unstetigkeiten des Querschnitts vorliegen (s. auch Abs. 3.5, S. 21)!

Im zweiten Register des Eigenschaftsblattes zur Festlegung der Abschnittseigenschaften sind der Betonquerschnitt und das Bewehrungsbild zu beschreiben.

Abschnitt 1

Höhe | Querschnitt | Nachweise | Ausrichtung | Punktfedern | Linienfedern | optische Kontrolle

Querschnitt

- ☒ Rechteck
- ☐ Kreis
- ☐ Kreisring
- ☐ 4H-Quer
- ☐ gevoutet

Stahlrandabstand

d_s 4.0 cm

Bewehrungsbild

- ☐ Eckbewehrung
- ☒ Umlaufbewehrung
- ☐ parallel y-Achse
- ☐ parallel z-Achse
- ☐ frei
- ☒ mit verstärkten Ecken

35.00

30.00

y

z

Bezeichnung	Typ	Anz.	Konst.	Anz. ϕ	ϕ	Bündel	$A_{s, \text{gew}}$
					mm		cm ²
1. Umfang	L	4	<input type="checkbox"/>	16	10	1	12.57
2. Ecken	P	4	<input type="checkbox"/>	4	20	1	12.57

• Betonquerschnitt

Der Betonquerschnitt kann typisiert als Rechteck, Kreis oder Kreisring festgelegt werden.

Wenn Sie über das Querschnittswerteprogramm *##-QUER* verfügen, können Sie dort weitere Querschnitte (vom Typ "dickwandig") konstruieren und in das Stützenprogramm importieren.

Der Ursprung des Querschnittskoordinatensystems der typisierten Querschnitte liegt immer im Schwerpunkt. Bei der Konstruktion von Querschnitten in *##-QUER* kann der Ursprung frei gewählt werden.

• Bewehrungsbild

Für den Rechteckquerschnitt stehen die typisierten Bewehrungsbilder *Eckbewehrung*, *Umlaufbewehrung* und *y- oder z-achsenparallele Linienbewehrung* zur Verfügung.

Das Bewehrungsbild *Umlaufbewehrung* kann mit der Option *Eckbewehrung* ergänzt werden.

Für den Kreis und den Kreisring kann eine Umlaufbewehrung typisiert festgelegt werden.

Unabhängig vom Betonquerschnitt kann immer ein freies Bewehrungsbild erstellt werden.

• Bewehrungsgruppe

Die typisierten Bewehrungsbilder bestehen immer nur aus einer oder im Fall von Umlaufbewehrung mit verstärkten Ecken aus maximal zwei Bewehrungsgruppen. Ist unter Bewehrungsbild die Option *frei* aktiv, können beliebig viele Bewehrungsgruppen angelegt werden. In diesem Fall stehen folgende Steuerelemente zur Verfügung:

neu • Linienbewehrung

Anlegen einer neuen Bewehrungsgruppe vom Typ *Linienbewehrung*

neu • Punktbewehrung

Anlegen einer neuen Bewehrungsgruppe vom Typ *Punktbewehrung*



Aufruf zur Bearbeitung der Koordinatentabelle der Bewehrungsgruppe





Löschen der Bewehrungsgruppe

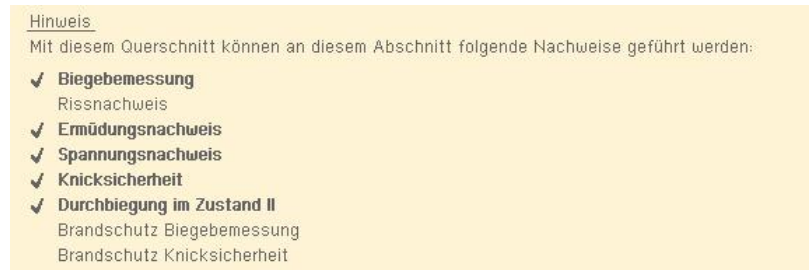
Bei *Linienbewehrung* wird die Bewehrung über alle Linien der Gruppe gleichmäßig verteilt; bei *Punktbewehrung* entsprechend auf alle Punkte. Der Typ einer Bewehrungsgruppe ist nachträglich nicht mehr modifizierbar.

Neue Linien bzw. Punktkoordinaten können bei Bearbeitung der zugehörigen Koordinatentabelle angelegt werden. Sind mehrere Bewehrungsgruppen angelegt, kann die Option *Konstant* eingeschaltet werden. Eine Bewehrungsgruppe, für die diese Option gesetzt ist, wird zwar bei Berechnung der Nachweise berücksichtigt, aber bei der Ermittlung notwendiger Bewehrungs-

höhungen bzw. eines Bewehrungsvorschlages nicht einbezogen.

Für jede Bewehrungsgruppe ist eine Bewehrungsfläche $A_{s, \text{gew}}$ vorzugeben. Dies kann wahlweise über Vorgabe von Anzahl, Durchmesser und Bündelung geschehen oder die Bewehrungsfläche kann direkt vorgeben werden. Zwischen den beiden Eingabemodi kann mit dem Button  bzw.  gewechselt werden.

Durch die hier beschriebenen Eingabemöglichkeiten können auch ungewöhnliche Querschnittsformen und Bewehrungsbilder eingestellt werden. Es können aber nicht alle vom Programm angebotenen Nachweise mit beliebigen Querschnitten geführt werden. Ein Hinweis am unteren Ende der Registerseite gibt Auskunft darüber mit welchen Nachweistypen die aktuellen Querschnittseinstellungen kompatibel sind.



Alle Nachweistypen, die mit einem ✓ versehen sind, können mit den aktuellen Querschnittseinstellungen geführt werden.

3.9.4 Stabbezogene Bemessungsoptionen

Im dritten Registerblatt werden die abschnittsbezogenen Bemessungs- bzw. Nachweisparameter verwaltet. Diese Parameter gelten in dem Fall, dass ein Nachweis eingerichtet und aktiviert ist, für den aktuellen Abschnitt. Sind ggf. widersprüchliche Nachweisoptionen gesetzt (s. Nachweise verwalten, optionale Einstellungen zur Biegebemessung, Abs. 3.9.4.5, S. 27), übersteuern diese die an dieser Stelle definierten Werte.



Die Darstellung des Registerblatts kann entweder den Formulierungen der DIN 1045-1 oder des Eurocodes 2 entsprechen. Sie ist unabhängig von der Norm des eingerichteten Nachweises und dient lediglich dem Verständnis.

3.9.4.1 Materialangaben

Zunächst sind die für sämtliche Nachweise geltenden Materialien festzulegen. Weiterhin enthält das Registerblatt die Steuerungsdaten für folgende Nachweise:

- Biege- und Schubbemessung
- Brandschutzbemessung
- Rissnachweis
- Spannungsnachweis
- Ermüdungsnachweis

Die Beschreibung der Spannungsdehnungslinien und der Ablauf der Bemessungen bzw. Nachweise können den 'Basics' entnommen werden (s. Handbuch #BETON, Stahlbetondetailnachweise, Link in der Onlinehilfe oder im Internet unter www.pcae.de und dort *Stahlbetontheorie*).

Betongüte	C30/37
α_c	0.850
<input checked="" type="checkbox"/> Kriechen und Schwinden (nur für Knicknachweise und Nachweise im GZG)	
$\varphi(\infty, t_{0k})$	3.795 <input type="checkbox"/> $\varphi(\infty, t_{0k})$ automatisch ermitteln
für Knicknachweise:	
M_{1perm}/M_{1Ed}	0.60
$\varphi_{eff} = \varphi(\infty, t_{0k}) \cdot M_{1perm}/M_{1Ed} = 2.277$	
$\varepsilon_{cs,\infty}$	-0.633 ‰ <input type="checkbox"/> $\varepsilon_{cs,\infty}$ automatisch ermitteln
Längsbewehrung	BSt 500
<input checked="" type="checkbox"/> Expositionsklasse ohne Einfluss auf die Bemessung	
für Bewehrungskorrosion	XC3
für Betonangriff	XF1
für Betonkorrosion	WF

In Auswahlboxen werden die möglichen Beton- und Betonstahlsorten angeboten. Die Bezeichnung (z.B. C30/37 oder BSt 500) steht für eine Reihe von Parametern zur Beschreibung der Spannungsdehnungsbeziehung. Wird anstelle dessen die Einstellung **frei** angewählt, sind diese Parameter vom Anwender vorzugeben.

Nachweise im GZT (Biegebemessung, Knicknachweise) müssen über den Abminderungsbeiwert α_c u.A. Langzeitwirkungen auf die Druckfestigkeit berücksichtigen. Dieser Wert gilt nur für Nachweise nach DIN 1045-1.

Nachweise, die vornehmlich auf Verformungsberechnungen beruhen (z.B. Nachweise nach Theorie II. Ordnung oder Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit), müssen ggf. auch Kriech- und Schwindeinflüsse des Betons berücksichtigen. In **pcae**-Programmen erfolgt dies über eine Modifikation der Spannungsdehnungslinie und des E-Moduls. Die entsprechenden Beiwerte (Kriech- φ_{eff} und Schwindbeiwert $\varepsilon_{cs,\infty}$) können direkt vorgegeben werden. Sind die Beiwerte =0, wird Kriechen und/oder Schwinden nicht angesetzt. Die Beiwerte können über ein Hilfswerkzeug vom Programm automatisch ermittelt werden:

3.9.4.2

Kriechen

$\varphi(\infty, t_{0k})$	3.795	<input checked="" type="checkbox"/> $\varphi(\infty, t_{0k})$ automatisch ermitteln
Zementfestigkeitsklasse	42.5 N	
relative Luftfeuchte 40% ≤	50 % ≤ 100%	
wirksame Bauteildicke h_0	15.0 cm	$h_0 = 2 \cdot A_c / u$
Belastungsbeginn t_{0k}	28 d	
für Knicknachweise:		
M_{1perm}/M_{1Ed}	0.60	
$\varphi_{eff} = \varphi(\infty, t_{0k}) \cdot M_{1perm}/M_{1Ed} = 2.277$		

Mit

- Zementfestigkeitsklassen: 32.5 N (langsam erhärtend), 32.5 R; 42.5 N (normal oder schnell erhärtend), 42.5 R; 52.5 N; 52.5 R (schnell erhärtend und hochfest)
- relative Luftfeuchte: z.B. trockene Innenräume RH = 50 %, Außenluft RH = 80 %
- wirksame Bauteildicke $h_0 = 2 \cdot A_c / u$ mit A_c = Querschnittsfläche und u = Umfang des Querschnitts, der der Trocknung ausgesetzt ist (z.B. Rechteck $h_0 = (b \cdot h) / (b + h)$, Vollkreis $h_0 = r$, Kreisring $h_0 = (r_a^2 - r_i^2) / (r_a + r_i)$)
- Belastungsbeginn: wirkliches Betonalter t_{0k} bei Belastungsbeginn

ergibt sich die Kriechzahl $\varphi(\infty, t_{0k})$. Bei Verfahren nach Theorie II. Ordnung (Knicknachweise) darf sie mit dem Verhältnis von kriecherzeugender (quasiständiger Einwirkungskombination im GZG) zu vorhandener Last (im GZT) M_{1perm}/M_{1Ed} (M_1 = Momente nach Theorie I. Ordnung) abgemindert werden.

3.9.4.3

Schwinden

$\varepsilon_{cs,\infty}$	-0.633 ‰	<input checked="" type="checkbox"/> $\varepsilon_{cs,\infty}$ automatisch ermitteln
Zementfestigkeitsklasse	42.5 N	
relative Luftfeuchte 40% ≤	50 % ≤ 100%	
wirksame Bauteildicke h_0	15.0 cm	$h_0 = 2 \cdot A_c / u$

Erläuterung der Parameter s. Abs. 3.9.4.2, S. 26.

3.9.4.4

Expositionsklasse

Die Sicherstellung der Dauerhaftigkeit eines Bauteils ist gewährleistet, wenn Betongüte und Betondeckung den Umgebungsbedingungen angepasst sind. Daher ist die Angabe der zugrunde liegenden Expositionsklassen in das Statikdokument aufzunehmen.



Mindestbetongüte sowie Betondeckung werden nicht überprüft.

3.9.4.5

Biegebemessung

Biegebemessung		
Mindestbewehrung	<input checked="" type="checkbox"/> für Stützen	gemäß DIN 1045-1, 13.5.2
<input checked="" type="checkbox"/> Querschnittsausnutzung (Sicherheitsnachweis)		

Die Biegebemessung erfolgt nach Theorie I. Ordnung im GZT. Dieser Nachweis kann nicht abschnittsweise an-/abgeschaltet werden.

In diesem Programm wird - auch bei hochgradig biegebeanspruchten Bauteilen - nur die Mindestbewehrung für Stützen ausgewiesen. Die Ermittlung der Mindestbewehrung kann nachweisglobal an-/abgeschaltet werden (s. *Nachweise verwalten, optionale Einstellungen zur Biegebemessung* im Handbuch das **pcae-Nachweiskonzept**).

Für die vorhandene Bewehrung kann eine Querschnittsausnutzung über den Sicherheitsnachweis zur Erkennung der Tragreserven nach Theorie I. Ordnung ermittelt werden.

3.9.4.6

Schubbemessung

<input checked="" type="checkbox"/> Schubbemessung durchführen		
Schubbewehrung	BSt 500	
innerer Hebelarm	z aus Biegebemessung $z = 0.9 d \leq d - 2 c_{v,D}$ z aus Biegebemessung $\leq d - 2 c_{v,D}$ mit $c_{v,D}$	s. Nachweisoptionen
	3.0 cm	Betondeckung zur Längsbewehrung ($c_{v,D} > 0$)
Druckstrebenwinkel	<input checked="" type="checkbox"/> minimiert 0.00 °	
Torsion: effektive Wanddicke	0.00 cm	(= 0: gemäß DIN 1045-1, 10.4.2(2))

Dieser Nachweis kann abschnittsweise und nachweisglobal (s. *Nachweise verwalten, optionale Einstellungen zur Biegebemessung* im Handbuch das **pcae-Nachweiskonzept**) an-/abgeschaltet werden.

Folgende Parameter sind optional:

- innerer Hebelarm - $c_{v,D}$: Betonüberdeckung zur Längsbewehrung auf der Druckseite. Das Verfahren zur Berechnung des inneren Hebelarms wird nachweisglobal bestimmt.
- Druckstrebenwinkel Θ : Neigungswinkel der Druckstrebe
- Minimiert ($\Theta = 0$): ein minimaler Druckstrebenwinkel führt zu einer minimalen Querkraftbewehrung. Aber: der Druckstrebenwinkel geht auch in die Berechnung der Verankerungslängen ein. I.A. ist es nicht sinnvoll, diesen Schalter zu aktivieren (z.T. lokal stark variierende Neigungswinkel)
- effektive Wanddicke: Die Torsionsbemessung basiert auf einer (fiktiven) effektiven Wanddicke eines Hohlquerschnitts. Diese Dicke kann entweder vorgegeben oder nach Norm ermittelt werden.



Hinweis: Bei Stützen ist keine Mindestquerkraftbewehrung erforderlich.

3.9.4.7

Brandschutzbemessung

<input checked="" type="checkbox"/> Brandschutzbemessung
--

Die Brandschutzbemessung kann entweder für typisierte Bauteile über Tabellenwerke oder rechnerisch nach den Verfahren des EC 2 erfolgen.

3.9.4.7.1

Brandschutzbemessung (DIN 4102)

Der tabellarische Brandschutznachweis erfolgt derzeit nur für Nachweise n. DIN 4102, T. 22.

tabellarisch (DIN 4102):

Stützenlänge im Brandfall $l_{col,fi}$	4,20 m
geforderter Feuerwiderstand	R 90

Dazu sind die Stützenlänge und die geforderte Feuerwiderstandsklasse einzugeben. Die Tabellenwerte gelten für unbedeckte Stahlbetonstützen (ein- oder mehrseitig beflammt), die in aussteiften Gebäuden stehen. Die Stützenenden müssen im Brandfall rotationsbehindert gelagert sein. Der Beton muss einer Festigkeitsklasse bis maximal C 45/55 angehören, die Länge der Stütze muss bei Rechteckquerschnitten zwischen 2 m und 6 m (bei Kreisquerschnitten zwischen 1,70 m und 5 m) liegen.

Die Klassifizierung erfolgt nach der 'neuen' Tab. 31 (s. Hosser & Richter, Betonkalender 2009, Teil 1).



Es erfolgt keine Überprüfung der Anwendungsbedingungen.

3.9.4.7.2

Brandschutzbemessung (EC2)

Die rechnerische (EC 2) Brandschutzbemessung erfolgt grundsätzlich - auch bei Einrichtung eines DIN-Nachweises - nach Eurocode 2 (Bemessung für den Brandfall). Dazu muss die Brandlast, d.h. die mittlere Beton- und Stahltemperatur, vorliegen. Deren Bestimmung kann im Programm erfolgen.

- über die Auswertung der stationären Wärmetransportgleichung:

stationärer Wärmetransport	<input checked="" type="checkbox"/> Profil ermitteln
Rechengenauigkeit	<input type="radio"/> gering <input checked="" type="radio"/> mittel <input type="radio"/> hoch
Brandseiten	<input type="checkbox"/> oben <input checked="" type="checkbox"/> unten <input checked="" type="checkbox"/> links <input checked="" type="checkbox"/> rechts
Beflammungsdauer	90 min
Anfangsfeuchte (Beton)	1,5 %
therm. Leitfähigkeit (Beton)	<input checked="" type="radio"/> untere Grenze <input type="radio"/> obere Grenze

Das Temperaturprofil wird mittels eines semidiskreten Finite-Volumen-Verfahrens ermittelt. Dazu muss der Querschnitt in gleichmäßige Zellen (analog den Elementen der Finite-Elemente-Methode) eingeteilt werden. Die Rechengenauigkeit beeinflusst die Anzahl dieser Zellen und damit auch die Rechengeschwindigkeit und -genauigkeit. Der Stahl wird nicht berücksichtigt.

Es können beliebige Brandszenarien eingestellt werden.

Die Beflammungsdauer entspricht den Bezeichnungen der Feuerwiderstandsklasse. Sie ist im Programm frei einstellbar.

Die Anfangsfeuchte des Betons beeinflusst die Temperatureindringgeschwindigkeit. Je feuchter der Beton zu Anfang, desto günstiger ist der Temperaturverlauf.

Die thermische Leitfähigkeit des Betons wird im EC 2 durch zwei Kurven begrenzt. Der Anwender kann die gewünschte Grenze angeben.

- oder über die direkte Eingabe der Temperaturen:

stationärer Wärmetransport	<input type="checkbox"/> Profil ermitteln
Beflammung von allen Seiten	<input checked="" type="checkbox"/>
mittlere Betontemperatur	θ_c 262 °C
mittlere Stahltemperatur	θ_s 435 °C

Die mittlere Stahltemperatur gilt für alle Bewehrungsstähle. Daher ist hier grundsätzlich eine Beflammung von allen Seiten vorausgesetzt.

Die Brandbemessung basiert auf den Annahmen, dass der Querschnitt an den beflamten Sei-

ten innerhalb einer geschädigten Randzone bei der Ermittlung der Tragfähigkeit nicht mitwirkt und im Querschnittsinneren eine näherungsweise konstante mittlere Temperatur herrscht. Die Ermittlung dieser Randzone sowie der mittleren Betontemperatur kann auf zwei verschiedene Arten erfolgen (s. *Nachweise verwalten, optionale Einstellungen zur Biegebemessung* im Handbuch des **pcae-Nachweiskonzept**). Die materialspezifischen Kenndaten werden bei beiden Verfahren eingesetzt:

Zuschlagstoff (Beton)	<input checked="" type="radio"/> Quarz	<input type="radio"/> Kalkstein
Herstellart (Stahl)	<input checked="" type="radio"/> warmgewalzt	<input type="radio"/> kaltverformt



Die Annahme von quarzhaltigen Betonzuschlagstoffen liegt auf der sicheren Seite. Stabstahl wird i.A. warmgewalzt hergestellt.

- Zonenverfahren nach EC 2, Anhang B.2

Anzahl Zonen	<input type="text" value="10"/>
<input checked="" type="checkbox"/> geschädigte Randzone	a_z <input type="text" value="3.80"/> cm (Vorgabe)

Die Zonenmethode teilt den Querschnitt in eine vorgegebene Anzahl gleich breiter Abschnitte ein. Je Abschnitt wird eine mittlere Betontemperatur und daraus ein Reduktionskoeffizient ermittelt. Mit diesen Angaben erhält man die Brandfestigkeit des Betons sowie eine brandgeschädigte Querschnittszone, die nicht mehr bemessungsrelevant ist. Die geschädigte Randzone kann entweder vom Programm ermittelt oder vom Anwender vorgegeben werden. Werden die Temperaturen direkt eingegeben, muss die geschädigte Randzone vorgegeben werden. Der reduzierte Querschnitt wird jetzt mit den geänderten Spannungsdehnungslinien für Beton und Stahl bemessen. Die Form der Spannungsdehnungslinien entspricht derjenigen der Kaltbemessung.

- vereinfachtes allgemeines Rechenverfahren

allgemeines Rechenverfahren:	
kritische Temperatur	<input type="text" value="500"/> °C
<input checked="" type="checkbox"/> geschädigte Randzone	a_z <input type="text" value="3.80"/> cm (Vorgabe)

Das vereinfachte allgemeine Rechenverfahren bietet die Möglichkeit, auch allgemeine Querschnittsformen brandschutztechnisch zu beurteilen. Bei dem Verfahren wird angenommen, dass der Querschnitt nur bei Betontemperaturen unterhalb einer kritischen Temperatur Θ_{crit} wirksam ist. Die geschädigte Randzone kann entweder vom Programm ermittelt oder vom Anwender vorgegeben werden. Der reduzierte Querschnitt wird mit den geänderten Spannungsdehnungslinien für Beton und Stahl bemessen. Bei diesem Verfahren kommt die 'heiße' Spannungsdehnungsbeziehung zum Tragen.

3.9.4.8

Rissnachweis

<input checked="" type="checkbox"/> Rissnachweis führen	
Grenz- σ der Längsbewehrung:	
	links rechts
oben	<input type="text" value="16"/> <input type="text" value="16"/> mm
unten	<input type="text" value="16"/> <input type="text" value="16"/> mm
Rissbreite w_k	<input type="text" value="0.30"/> mm
Verbund	<input type="text" value="gut"/>
Beiwert k_{zt}	<input type="text" value="1.00"/>
zur Berücksichtigung des Betonalters (=0.5: Beton 3 bis 5 Tage alt)	

Der Rissnachweis ist in zwei Teile gegliedert:

- Ermittlung der Mindestbewehrung, um unbeabsichtigte Zwangsbeanspruchungen zum Zeitpunkt der Erstrissbildung (vor Verkehrslastaufbringung) abzufangen,
- Begrenzung der Rissbreite nach Endrissbildung

Der Nachweis erfolgt auf der Basis zur Einhaltung der Grenzdurchmesser der Längsbewehrung, deshalb ist bei allen Verfahren

- der Stabdurchmesser d_s der rissverteilenden Bewehrung in mm festzulegen.

Ist ein Durchmesser = 0, wird die entsprechende Bewehrungsrichtung nicht nachgewiesen.

Der Rissnachweis kann nach

- Norm (ohne direkte Berechnung der Rissbreite)
- Norm (direkte Berechnung der Rissbreite)
- Schießl
- Noakowski

erfolgen. Die Verfahrensauswahl erfolgt nachweisglobal (s. *Nachweise verwalten, optionale Einstellungen zum Rissnachweis* im Handbuch *das pcae-Nachweiskonzept*).

Wesentlich Eingangsgröße ist die Rissbreite w_k . Weiterhin gehen ein:

- Faktor $k_{z,t}$ zur Berücksichtigung des Betonalters zum Zeitpunkt der Ermittlung der Mindestbewehrung. Die Beanspruchung aus dem Abfließen der Hydratationswärme ist mit **Zugzwang** und $k_{z,t} = 0.5$ zu führen.
- das Verbundverhalten (nur für die Nachweisverfahren von Schießl und Noakowski)

<input checked="" type="checkbox"/> Mindestbewehrung (Erstrissbildung aus unbeabsichtigtem Zwang)		
Erstriss-	<input type="radio"/> unter zentr. Zwang	Erm. des Beiwerts k zur Berücksichtigung von nichtlinear verteilten Betonzugspannungen (außerhalb induz., z.B. Stützensenkung: $k=1.0$)
bildung	<input checked="" type="radio"/> unter Biegezwang	
Indu-	<input checked="" type="radio"/> innerhalb	
zierung	<input type="radio"/> außerhalb	

Zur Ermittlung der Mindestbewehrung sind festzulegen:

- Art der Zwangsbeanspruchung (Zugzwang, Biegezwang)
- Grund für die Zwangsbeanspruchung (selbst oder außerhalb induziert)

Der Nachweisteil **Begrenzung der Rissbreite** überprüft, ob die erforderlichen Grenzdurchmesser oben und unten für die maßgebende Risslast eingehalten werden.

<input checked="" type="checkbox"/> Begrenzung der Rissbreite (aus Lastbeanspruchung)

3.9.4.9

Ermüdungsnachweis

<input checked="" type="checkbox"/> Ermüdungsnachweis führen			
$\Delta\sigma_{Rsk}$	<input type="text" value="175.0"/>	N/mm ²	Spannungsschwingbreite der Längsbewehrung Spannungsschwingbreite der Querkraftbewehrung Zeitpunkt der Erstbelastung des Betons
$\Delta\sigma_{Rsk,V}$	<input type="text" value="107.0"/>	N/mm ²	
t_0	<input type="text" value="28"/>	d	

Der Ermüdungsnachweis ist in zwei Teile gegliedert:

- Nachweis für die Bewehrung (Längs- und Querkraftbewehrung)
- Nachweis für den Beton

Wesentliche Eingangsgrößen sind

- die zulässige Spannungsschwingbreite für die Längsbewehrung zu $\Delta\sigma_{Rsk}$ in N/mm², die i.A. für gerade und gebogene Stäbe (Stabstahl) 175 N/mm² und für geschweißte Stäbe (Betonstahlmatten) 85 N/mm² betragen darf,
- die zulässige Spannungsschwingbreite für die Querkraftbewehrung zu $\Delta\sigma_{Rsk,V}$ in N/mm², die unter Annahme eines Biegerolldurchmessers von $d_{br} = 10 \cdot d_s$ 119 N/mm² betragen darf,
- der Zeitpunkt der Erstbelastung des Betons t_0 in d.

Die Parameter sind vom Anwender frei eingebbar. Ist einer der Parameter = 0, wird der entsprechende Nachweisteil nicht durchgeführt. Ist der Parameter für die Längsbewehrung = 0, wird auch die Querkraftbewehrung nicht nachgewiesen.

<input checked="" type="checkbox"/> Spannungsnachweis führen			
Vorgabe:	<input checked="" type="radio"/> Faktor	<input type="radio"/> zul σ	
zul σ_c =	<input type="text" value="0.60"/>	x f_{ck} =	<input type="text" value="-18.0"/> N/mm ²
zul σ_s =	<input type="text" value="0.80"/>	x f_{yk} =	<input type="text" value="400.0"/> N/mm ²

Der Spannungsnachweis ist in zwei Teile gegliedert:

- Nachweis für die Bewehrung,
- Nachweis für den Beton

Er erfordert die Eingabe der beiden Grenzwerte zul σ_c für den Beton und zul σ_s für die Bewehrung, die je nach Einwirkungskombination variieren.

Ist einer der beiden Grenzwerte = 0, wird der entsprechende Nachweis ignoriert.

Als Hilfestellung für den Anwender kann der Grenzwert auch als Vielfaches von f_{ck} bzw. f_{yk} , d.h. in Abhängigkeit der definierten Materialgüten, eingegeben werden.

3.9.5

Ausrichtung des Querschnitts

Im vierten Register des Eigenschaftsblattes zur Festlegung der Abschnittseigenschaften wird die Ausrichtung des Querschnittes festgelegt.



Hier ist der Punkt in der Querschnittsebene festzulegen, durch den die globale Z-Achse verläuft. S. auch *Das globale Koordinatensystem und die Exzentrizitäten*, Abs. 3.4, S. 21.

Dieser Punkt wird mit einem Abstand von einem wählbaren (dem Querschnitt zugeordneten) Ausrichtungspunkt beschrieben. Die möglichen Ausrichtungspunkte sind neben dem Schwerpunkt die horizontalen bzw. vertikalen Ränder (oben, unten, rechts, links) und der Nullpunkt des Querschnittes.

Bei *4H-QUER*-importierten Querschnitten ist der Nullpunkt der Ursprung des Beschreibungskordinatensystems. Bei allen anderen Querschnitten ist dies der Mittelpunkt des umgebenden Rechteckes.

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

3.9.6

Punktfedern

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

Klicken Sie auf,

- um zur aktuellen Tabelle eine (weitere) Feder hinzuzufügen,
- um die aktuell ausgewählte Feder zu duplizieren,
- um die aktuell ausgewählte Feder zu löschen.

Mit Δx ist der Ort der Feder in Längsrichtung, gemessen vom Abschnittsanfang, anzugeben.

Die Beschreibung der Position der Feder innerhalb der Querschnittsebene bezieht sich wieder auf die Ausrichtungspunkte, wie sie bereits unter Register 4 *Ausrichtung des Querschnittes* beschrieben wurden. S. hierzu auch *Das globale Koordinatensystem und die Exzentrizitäten*, Abs. 3.4, S. 21.

Als Federtyp kann eine Verschiebungsfeder in x-, y- bzw. z-Richtung in kN/m, eine Verdrehungsfeder zur Behinderung der Stabverdrehung um die Abschnittslängsachse in kNm/- gewählt werden. Die Federn wirken in Richtung der lokalen Querschnittsachsen.

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


Eine Verschiebungsfeder kann zusätzlich in der Querschnittsebene mit dem Winkel φ um die Längsachse verdreht werden.

3.9.7

Linienfedern

Im sechsten Register des Eigenschaftsblattes zur Festlegung der Abschnittseigenschaften können dem Abschnitt beliebig viele Linienlagerfedern zugeordnet werden.

Klicken Sie auf,

 um zur aktuellen Tabelle eine (weitere) Feder hinzuzufügen,

 um die aktuell ausgewählte Feder zu duplizieren,

 um die aktuell ausgewählte Feder zu löschen.

x_u und x_o beschreiben den Wirkungsbereich der Linienfeder in Längsrichtung. Dieser muss sich auf den Bereich des Abschnittes beschränken. Der Wert x_o ist der Abstand des Federendpunkts vom Abschnittsende.

Die Beschreibung der Position der Feder innerhalb der Querschnittsebene bezieht sich wieder auf die Ausrichtungspunkte, wie sie bereits unter Register 4 *Ausrichtung des Querschnitts* beschrieben wurden. S. hierzu auch *Das globale Koordinatensystem und die Exzentrizitäten*, Abs. 3.4, S. 21.

Ist die Position der Feder in der Querschnittsebene über die Lauflänge linear veränderlich, so muss sie am Anfangspunkt (an der Stelle x_u) und am Endpunkt (an der Stelle $1 - x_o$) beschrieben werden. Aktivieren Sie hierzu das Kontrollkästchen in der Spalte *veränderlich*.

Als Federtyp kann eine Verschiebungsfeder in x-, y- bzw. z-Richtung in kN/m² oder eine Drehfeder zur Behinderung der Stabverdrehung um die Abschnittslängsachse in kNm/m gewählt werden. Die Federn wirken in Richtung der lokalen Querschnittsachsen.

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

Eine Verschiebungsfeder kann zusätzlich in der Querschnittsebene mit dem Winkel φ um die Längsachse verdreht werden.

Im siebten Register des Eigenschaftsblattes zur Festlegung der Abschnittseigenschaften können die eingegebenen Eigenschaften des Abschnittes optisch kontrolliert werden.



Während auf der rechten Seite die Querschnittsangaben und die hieraus resultierenden Querschnittswerte protokolliert werden, kann im linken Bereich an einer visuellen Fahrt vom Abschnittsanfang zum Abschnittsende teilgenommen werden.

In dem abgedunkelten "Player"-Fenster sind das globale Koordinatensystem, der Querschnitt inkl. Schwerpunkt sowie ggf. Einzel- und Linienlager symbolisch dargestellt.

Klicken Sie auf ...

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

3.10 Lagerpunkte

3.10.1 Eigenschaften eines Lagerpunktes

Im Eigenschaftsblatt der Lagerpunkte werden die Lagerangaben festgelegt.

Für die Verformungsfreiheitsgrade bzgl. des globalen X-Y-Z-Koordinatensystems

- Verschiebung in X-Richtung,
- Verschiebung in Y-Richtung,
- Verschiebung in Z-Richtung,
- Verdrehung um die X-Achse,
- Verdrehung um die Y-Achse, und
- Verdrehung um die Z-Achse

werden jeweils drei Schalter angeboten, mit denen die zugeordnete Verformung gänzlich unterbunden (starres Lager, linker Schalter), von einer Feder abgedämpft (mittlerer Schalter) oder als uneingeschränkt verformbar (rechter Schalter) festgelegt werden kann.

Im Falle einer elastischen Lagerung muss die der Feder zugeordnete Federkonstante mit einem Wert > 0.0 angegeben werden.

Das so definierte Lager kann in der Ebene senkrecht zur Z-Achse um die Werte ΔX und ΔY verschoben und um den Wert φ um die Z-Achse gedreht werden. S. hierzu auch: *Das globale Koordinatensystem und die Exzentrizitäten*, Abs. 3.4, S. 21.

3.11 Einwirkungen und Nachweise

Die Verwaltungen der Einwirkungen und der Nachweise sind im zugehörigen Handbuch *das pcae-Nachweiskonzept* beschrieben.

3.12

Belastung und Imperfektionen

3.12.1

Streckenlasten



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

Um eine bestehende Streckenlast zu bearbeiten, führen Sie im Baumannsichtsfenster (s. Abs. 3.1.2, S. 10) oder im Objektfenster (s. Abs. 3.1.3, S. 11) einen Doppelklick über dem Objekt aus.



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

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

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

- Streckenlasten in X-, Y- und Z-Richtung,
- einem Streckendrillmoment um die Längsachse,
- Eigengewichtslasten und
- Temperaturlasten

(ggf. veränderlich in Y- und Z-Richtung) unterschieden. Einige dieser Lasttypen erlauben eine weitere Unterscheidung wie

- konstante Rechtecklast,
- Dreieckslast,
- Trapezlast etc.

Diese Einstellungen können in der zusätzlich angebotenen Symbolleiste ausgewählt werden. Das darunter befindliche größere Fenster zeigt die aktuelle Auswahl mit allen hierzu gehörenden Eingabewerten skizzenhaft an.

Auf der rechten Seite des Eigenschaftsblattes werden die Parameter des links ausgewählten Streckenlastbildes zur Bearbeitung angeboten. Hier sind zunächst die geometrischen Eigenschaften (Anfang der Streckenlast, Ende der Streckenlast, Exzentrizität des Lastangriffspunktes sowie Verdrehung der Lastrichtung) einzugeben. S. hierzu auch *Anker und Abstände*, Abs. 3.6, S. 22. Des Weiteren sind die Lastordinaten und die Zuordnung zu einem Lastfall zu bestimmen. Dazu sind die Einwirkung und der gewünschte Lastfall auszuwählen.

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

3.12.2

Punktlasten



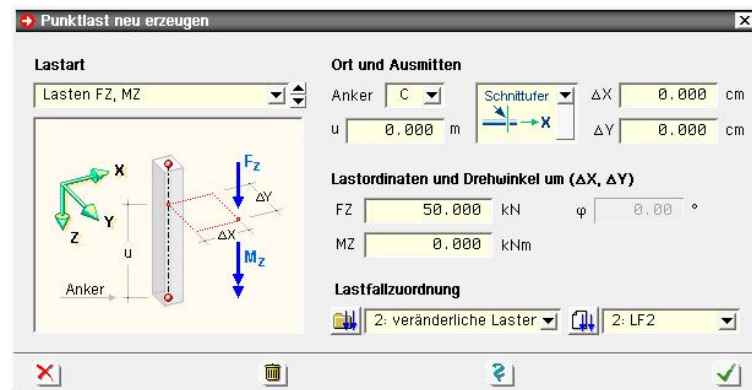
Um eine neue Punktlast zu erzeugen, führen Sie die Maus über das **erzeugen**-Symbol und klicken auf das abgebildete Punktlastsymbol.

Um eine bestehende Punktlast zu bearbeiten, führen Sie im Baumanichtsfenster (s. Abs. 3.1.2, S. 10) oder im Objektfenster (s. Abs. 3.1.3, S. 11) einen Doppelklick über dem Punktlast-Objekt aus.



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

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



Zunächst ist (in der Auswahlliste oben links) der Punktlasttyp festzulegen. Hier wird zwischen den Typen

- Kraft in X-Richtung in Kombination mit einem Moment um die X-Achse,
- ... Y-Richtung in Kombination mit einem Moment um die Z-Achse,
- ... Z-Richtung in Kombination mit einem Moment um die Y-Achse,
- Zwangsverschiebung Δu_x in Kombination mit einer Zwangsverdrehung $\Delta \phi_x$,
- ... Δu_y in Kombination mit einer Zwangsverdrehung $\Delta \phi_z$,
- ... Δu_z in Kombination mit einer Zwangsverdrehung $\Delta \phi_y$,
- Verschiebungssprung Δu_x in Kombination mit einem Verdrehungssprung $\Delta \phi_x$,
- ... Δu_y in Kombination mit einem Verdrehungssprung $\Delta \phi_z$ und
- ... Δu_z in Kombination mit einem Verdrehungssprung $\Delta \phi_y$

unterschieden. Das sich darunter befindliche größere Fenster zeigt die aktuelle Auswahl mit allen hierzu gehörenden Eingabewerten skizzenhaft an.

Zwangsverformungen können in Verbindung mit einem Lager die Lastart *Stützensenkung* simulieren.

Mit Hilfe von Verformungssprüngen lässt sich die Figur einer Einflusslinie ermitteln.

Auf der rechten Seite des Eigenschaftsblattes werden die Parameter des links ausgewählten Punktlastbildes zur Bearbeitung angeboten. Hier sind zunächst die geometrischen Eigenschaften (Abstand der Punktlast von einem vorgebbaren Ankerpunkt, Exzentrizität des Lastangriffspunktes sowie Verdrehung der Lastrichtung) einzugeben. S. hierzu auch *Anker und Abstände*, Abs. 3.6, S. 22. Des Weiteren sind die Lastordinaten und die Zuordnung zu einem Lastfall zu bestimmen. Dazu sind die Einwirkung und der gewünschte Lastfall auszuwählen.

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

3.12.3

Imperfektionsbilder



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

Um ein bestehendes Imperfektionsbild zu bearbeiten, führen Sie im Baumansichtsfenster (s. Abs. 3.1.2, S. 10) oder im Objektfenster (s. Abs. 3.1.3, S. 11) einen Doppelklick über dem Objekt aus.



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

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

Auf oberster Ebene wird zunächst zwischen den Verschiebungsimperfektionen in der XZ-Ebene und in der YZ-Ebene und der Verdrehungsimperfektion um die Z-Achse unterschieden. Während die Verdrehungsimperfektion über ihre Stützwerte Verdrehung unten (Θ_u) und Verdrehung oben (Θ_o) beschrieben wird, können die Verschiebungsimperfektionen auf unterschiedliche Arten beschrieben werden:

Beschreibungsart	Stützwerte
normenkonform (Parabel 2. Grades)	entweder w_c , w_0 , Φ_0 oder w_u , w_m , w_o
allgemein (Parabel 3. Grades)	entweder Φ_u , w_u , Φ_o , w_o oder x_i , $w(x_i)$; $i=1..4$

Hierin bedeuten

- w_c konstante (Festkörper)-Verschiebung
- w_0 Vorverformung (Durchbiegung) in der Mitte
- Φ_0 Schiefstellung (Verdrehung um die Mitte)
- w_u Verschiebungsordinate der Imperfektion unten
- w_m Verschiebungsordinate in der Mitte der Imperfektion ($w_m = w_c + w_0$)
- w_o Verschiebungsordinate der Imperfektion oben
- Φ_u Verdrehung am der Imperfektion unten
- Φ_o Verdrehung am der Imperfektion oben
- x_i Abstand i vom Anfang der Imperfektion
- $w(x_i)$ für die Stelle x_i festgelegte Verschiebungsordinate

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

Auf der rechten Seite des Eigenschaftsblattes werden die Parameter des links ausgewählten Imperfektionsbildes zur Bearbeitung angeboten. Hier sind zunächst die geometrischen Eigenschaften (Anfang des Imperfektionsbildes, Ende des Imperfektionsbildes) einzugeben. S. hierzu auch *Anker und Abstände*, Abs. 3.6, S. 22.

Unterhalb der Skizze links befindet sich das Eingabefeld zur Drehung der Stützwerte um die Z-Achse. Im Fenster *Stützwerte* sind die Zahlenwerte in Abhängigkeit des gewünschten Beschreibungstyps einzugeben.

Im Fenster *Ergebnisse* (qualitativ) wird das Ergebnis passend zur aktuellen Eingabesituation dargestellt. Letztlich muss die Zuordnung zu einer Imperfektion gewählt werden.

Mit den hier beschriebenen Möglichkeiten lassen sich auch außergewöhnliche Imperfektionsbilder erzeugen.

Stützwerte berechnen

Für die Erzeugung von typischen, baupraktisch auftretenden Imperfektionen kann mit dem nebenstehenden Button eine Berechnungshilfe für die Stützwerte (s. Abs. 3.12.4, S. 39) aufgerufen werden. Für die vom Programm unterstützten Normen können dann durch Eingabe von wenigen Parametern die Stützwerte zur Abbildung von normtypischen Imperfektionen automatisch berechnet werden.

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

3.12.4

Berechnungshilfe Imperfektionen

Zur Erzeugung von typischen, baupraktisch auftretenden Imperfektionen kann vom Eigenschaftsblatt zur Bearbeitung der Imperfektionsbildeigenschaften (s. Abs. 3.12.3, S. 38) diese Berechnungshilfe für die Stützwerte aufgerufen werden.

Für die vom Programm unterstützten Normen, kann hier zwischen den normkonformen Beschreibungen von Schiefstellung oder Vorkrümmung gewählt werden.

Wird dieses Eigenschaftsblattes mit Bestätigen verlassen, werden automatisch die Stützwerte, die die hier beschriebene Imperfektion repräsentieren, ermittelt und in das aufrufende Eigenschaftsblatt eingetragen.

Imperfektion berechnen

Schiefstellung nach DIN 1045-1, Kapitel 8.6.4

Lagerung des imperfekten Abschnitts

☒ unten
☐ oben

Richtung der Schiefstellung

☒ positiv
☐ negativ

Ersatzlängenbeiwert beidseitig gelenkig gelagerter Abschnitte

$\beta =$

Gesamthöhe des Tragwerks

$h_{ges} =$
 m

Anzahl der nebeneinander liegenden lastabtragenden Bauteile

$n =$

DIN 1045-1, Kapitel 8.6.2, Gl. (4)

$l_0 = \beta \cdot l_{col}$

Ersatzlänge: $l_0 = 8.40$ m

DIN 1045-1, Kapitel 7.2, Gl. (4)

$\alpha_{a1} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{l_0}} \leq \frac{1}{200}$

Schiefstellung gegen die Sollachse: $\alpha_{a1} = 0.488$ %

DIN 1045-1, Kapitel 7.2, Gl. (5)

$\alpha_x = \sqrt{\frac{1 + 1/n}{2}}$

Reduktionsfaktor aus n: $\alpha_n = 1.000$

DIN 1045-1, Kapitel 8.6.4, Gl. (33)

$e_a = \pm \alpha_x \cdot \alpha_{a1} \cdot \frac{l_0}{2}$

Ungewollte Lastausmitte: $e_a = 20.494$ mm

Vorkrümmung nach DIN 1045-1, Kapitel 8.6.4

Schiefstellung nach EC2, Kapitel 5.2

Vorkrümmung nach EC2, Kapitel 5.2

In **pcae**-Programmen wird nicht unterschieden zwischen Nachweisen, die auf einem festen Querschnittszustand beruhen und als Ergebnis ein *hält* oder *hält nicht* haben, und Bemessungen, die nach erfolgreicher Durchführung eine Bewehrungserhöhung zur Folge haben.

Der Oberbegriff *Nachweis* bezeichnet in **pcae**-Programmen eine Querschnittsuntersuchung im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) oder Gebrauchstauglichkeit (GZG) unabhängig von der Art des Ergebnisses.

Das Programm **##-STUB** verfügt über folgende vordefinierte Nachweistypen (Basisnachweise):

- **Nachweise nach Theorie I. Ordnung:**
 - DIN 1045-1 Bemessung (s. Abs. 3.13.1, S. 40)
 - DIN 1045-1 Spannungsnachweis (s. Abs. 3.13.2, S. 40)
 - DIN 1045-1 Rissnachweis (s. Abs. 3.13.3, S. 41)
 - DIN 1045-1 Ermüdungsnachweis (s. Abs. 3.13.4, S. 41)
 - EC 2 Bemessung (s. Abs. 3.13.1, S. 40)
 - EC 2 Spannungsnachweis (s. Abs. 3.13.2, S. 40)
 - EC 2 Rissnachweis (s. Abs. 3.13.3, S. 41)
 - EC 2 Ermüdungsnachweis (s. Abs. 3.13.4, S. 41)
 - Brandschutz-Bemessung (s. Abs. 3.13.5, S. 41)
 - Schnittgrößenermittlung (Th. I. Ord.) (s. Abs. 3.13.6, S. 41)
- **Nachweise nach Theorie II. Ordnung, u.U. im Zustand 2 (Kennung Z2):**
 - DIN 1045-1 Knicksicherheit Z2 (s. Abs. 3.13.7, S. 41)
 - DIN 1045-1 Durchbiegung Z2 (s. Abs. 3.13.8, S. 41)
 - EC 2 Knicksicherheit Z2 (s. Abs. 3.13.7, S. 41)
 - EC 2 Durchbiegung Z2 (s. Abs. 3.13.8, S. 41)
 - Brandschutz-Knicksicherheit Z2 (s. Abs. 3.13.9, S. 41)
 - Schnittgrößenermittlung (Th. II. O.) (s. Abs. 3.13.6, S. 41)



Informationen zu den Nachweisen sind dem Handbuch *das pcae-Nachweiskonzept* bzw. den 'Basics' zu entnehmen (s. Handbuch **##-BETON**, Stahlbetondetailnachweise, Link in der Onlinehilfe oder im Internet unter www.pcae.de und dort *Stahlbetontheorie*).

3.13.1

Stahlbeton Bemessung

Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit.

- Nachweis für Biegung mit/ohne Längskraft
- Nachweis für Querkraft mit/ohne Torsion
- Einstufung in eine Feuerwiderstandsklasse nach DIN 4102 (nicht bei dem Eurocode-Nachweis)
- Ermittlung der Querschnittsausnutzung

An dieser Stelle können ausgewählte Bemessungsparameter nachweisglobal gesetzt werden. Die entsprechenden stabbezogenen Nachweisparameter (s. Abs. 3.9.4, S. 25) werden dann ignoriert.

3.13.2

Stahlbeton Spannungsnachweis

Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

- Nachweis für die maximale Stahlzugspannung
- Nachweis für die minimale Betondruckspannung

An dieser Stelle können ausgewählte Bemessungsparameter nachweisglobal gesetzt werden. Die entsprechenden stabbezogenen Nachweisparameter (s. Abs. 3.9.4, S. 25) werden dann ignoriert.

3.13.3 Stahlbeton Rissnachweis

Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

- Ermittlung der Mindestbewehrung unter unbeabsichtigter Zwangsbeanspruchung (Erst-rissbildung)
- Endrissbildung unter Lastbeanspruchung

An dieser Stelle können ausgewählte Bemessungsparameter nachweisglobal gesetzt werden. Die entsprechenden stabbezogenen Nachweisparameter (s. Abs. 3.9.4, S. 25) werden dann ignoriert.

3.13.4 Stahlbeton Ermüdungsnachweis

Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (Quasi-Tragfähigkeit).

- Nachweis für die Längs- und Querkraftbewehrung
- Nachweis für den Beton

An dieser Stelle können ausgewählte Bemessungsparameter nachweisglobal gesetzt werden. Die entsprechenden stabbezogenen Nachweisparameter (s. Abs. 3.9.4, S. 25) werden dann ignoriert.

3.13.5 Stahlbeton Brandschutz

Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit.

- Zonenverfahren nach Eurocode 2 (Brandfall)
- vereinfachtes allgemeines Rechenverfahren

An dieser Stelle können ausgewählte Bemessungsparameter nachweisglobal gesetzt werden. Die entsprechenden stabbezogenen Nachweisparameter (s. Abs. 3.9.4, S. 25) werden dann ignoriert.

3.13.6 Schnittgrößenermittlung

Der Nachweistyp *Schnittgrößenermittlung* ist ein Pseudo-Nachweis. Es werden keine material-spezifischen Nachweise geführt.

Der Nachweis ermöglicht jedoch, die Schnittgrößen und Verformungen aller Stäbe mit einer Extremierung oder einem Lastkollektiv zu berechnen und darzustellen. Er kann darüber hinaus dazu verwendet werden, extremale Auflagergrößen zur Weiterleitung zu berechnen.

3.13.7 Stahlbeton Knicksicherheit Zustand 2

Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit.

- Knickuntersuchung im Zustand 2 unter Berücksichtigung der Systemverformungen (Theorie II. Ordnung).

An dieser Stelle können ausgewählte Bemessungsparameter nachweisglobal gesetzt werden. Die entsprechenden stabbezogenen Nachweisparameter (s. Abs. 3.9.4, S. 25) werden dann ignoriert.

3.13.8 Stahlbeton Durchbiegung Zustand 2

Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

- Ermittlung der Systemverformungen im Zustand 2 (Theorie II. Ordnung).

An dieser Stelle können ausgewählte Bemessungsparameter nachweisglobal gesetzt werden. Die entsprechenden stabbezogenen Nachweisparameter (s. Abs. 3.9.4, S. 25) werden dann ignoriert.

3.13.9 Stahlbeton Brandschutz-Knicksicherheit Zustand 2

Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit.

- Knickuntersuchung im Zustand 2 unter Berücksichtigung der Systemverformungen (The-

orie II. Ordnung).

- Zonenverfahren
- vereinfachtes allgemeines Rechenverfahren

An dieser Stelle können ausgewählte Bemessungsparameter nachweisglobal gesetzt werden. Die entsprechenden stabbezogenen Nachweisparameter (s. Abs. 3.9.4, S. 25) werden dann ignoriert.

3.14 Steuerung des Berechnungsablaufs







3.14.1 Berechnung

Dieses Eigenschaftsblatt dient zur Steuerung und Überwachung des eigentlichen Berechnungsprozesses. Es verfügt über fünf Register, wobei die letzten drei nur informativer Natur sind.

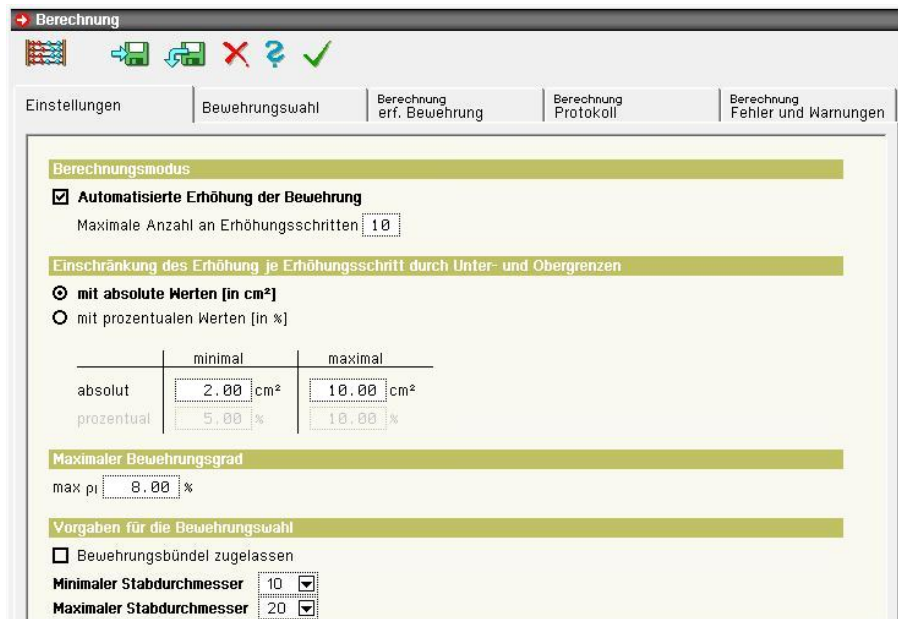


Einstellungen	hier können der Rechenmodus gewählt und Angaben zur Erhöhungsweise der Bewehrung vorgenommen werden (s. Abs. 3.14.2, S. 43)
Bewehrungswahl	Register zur Verwaltung aller Bewehrungsgruppen von allen Abschnitten (s. Abs. 3.14.3, S. 44)
erf. Bewehrung	dieses Register dokumentiert die Ermittlung des Bewehrungsvorschlages aus dem letzten Rechengang (s. Abs. 3.14.4, S. 44)
Protokoll	dieses Register protokolliert den Fortschritt der Berechnung (s. Abs. 3.14.5, S. 45)
Fehler und Warnungen	im letzten Register werden die Fehlermeldungen und Warnungen des letzten Rechenganges protokolliert (s. Abs. 3.14.6, S. 45)

Oberhalb des Registers sind die Steuerbuttons angeordnet:

-  mit einem Klick auf dieses Symbol wird die Berechnung gestartet
-  mit einem Klick auf dieses Symbol können die aktuellen Einstellungen im ersten Register und die aktuell gewählte Bewehrung im zweiten Register übernommen werden, ohne dass das Eigenschaftsblatt verlassen werden muss
-  mit einem Klick auf dieses Symbol wird der Zustand von Einstellungen und Bewehrung im ersten und zweiten Register, der zuletzt übernommen wurde, wieder hergestellt. Der aktuelle Datenzustand geht dabei verloren!
-  über dieses Symbol mit der Funktion *abbrechen* kann das Eigenschaftsblatt verlassen werden. Der Datenzustand von Einstellungen und Bewehrungswahl wird zurückgesetzt auf den Zustand, der zuletzt übernommen wurde.
-  ein Mausklick auf das Symbol *Hilfe* ruft die Online-Hilfe auf
-  über dieses Symbol mit der Funktion *bestätigen* wird das Eigenschaftsblatt verlassen und der aktuelle Datenzustand im ersten und zweiten Register übernommen

Die Einstellungen in diesem Register beeinflussen die Berechnung und die **Bewehrungswahl**.



Berechnungsmodus

☒ **Automatisierte Erhöhung der Bewehrung**
 Maximale Anzahl an Erhöhungsschritten: 10

Einschränkung des Erhöhung je Erhöhungsschritt durch Unter- und Obergrenzen

☒ mit absolute Werten [in cm²]
☐ mit prozentualen Werten [in %]

	minimal	maximal
absolut	2.00 cm ²	10.00 cm ²
prozentual	5.00 %	10.00 %

Maximaler Bewehrungsgrad

max p_i: 8.00 %

Vorgaben für die Bewehrungswahl

☐ Bewehrungsbündel zugelassen

Minimaler Stabdurchmesser: 10
 Maximaler Stabdurchmesser: 20

• Berechnungsmodus

Wird der Rechenlauf gestartet, werden alle Nachweise auf Basis der aktuell gewählten Bewehrung durchgeführt. An Hand der Nachweisergebnisse aller geführten Nachweise wird ein Bewehrungsvorschlag für alle Bewehrungsgruppen ermittelt. Durch Einschalten der Option **Automatisierte Erhöhung der Bewehrung** wird dieser Bewehrungsvorschlag für einen neuen Rechengang eingesetzt. Die maximale Anzahl der Rechengänge bzw. Erhöhungsschritte kann hier ebenfalls festgelegt werden.

Mit der zusätzlichen Option **gewählte Bewehrung automatisch anpassen** wird die vom Anwender gewählte Bewehrung entsprechend dem Bewehrungsvorschlag angepasst und damit das System ein weiteres Mal berechnet.



Achtung: Die ursprüngliche Eingabe zur gewählten Bewehrung geht dabei verloren und kann nicht wieder zurückgeholt werden!

• Einschränkung der Erhöhung

Der ermittelte Bewehrungsvorschlag resultiert aus einer erforderlichen Bewehrungserhöhung, die auf Basis der Bewehrung des vorangegangenen Rechenganges im Wesentlichen aus Nachweisen am Querschnitt ermittelt wurden. Dies kann aber auf Grund des nichtlinearen Einflusses der Bewehrung bei den Stabilitätsnachweisen auch deutlich über der Bewehrungserhöhung liegen, die ausreichen würde, um alle Nachweise zu erfüllen und das System zu stabilisieren. Daher ist es sinnvoll für den Bewehrungsvorschlag die rechnerisch erforderliche Bewehrungserhöhung zu begrenzen. Dies kann hier entweder über absolute oder prozentuale Angaben erfolgen.

• Maximaler Bewehrungsgrad

Sollte der hier festgelegte maximale Bewehrungsgrad durch Bewehrungswahl vom Anwender oder infolge einer automatisierten Erhöhung überschritten werden, wird der Rechengang mit Fehlermeldung abgebrochen. Überschreiten die Ergebnisse der Nachweise für eine erforderliche Bewehrung diesen Wert, so wird dies im Register *Protokoll* bzw. im Register *Fehler und Warnungen* angezeigt. Die betreffenden Ergebnisse werden in der Ausgabe markiert, z.B. durch **rote Blitze** in den Liniengrafiken.

• Vorgaben für die Bewehrungswahl

Hier kann festgelegt werden, welche Stabdurchmesser bei der Bewehrungswahl im zweiten Register zur Verfügung stehen, und ob ggf. gebündelt werden darf.

3.14.3

Bewehrungswahl

In diesem Register können die Bewehrungsquerschnitte aller Bewehrungsgruppen aus allen Abschnitten verwaltet werden. Die Eingabemöglichkeiten sind analog zur Querschnittseingabe (s. Abs. 3.9.3, S. 24). Nur Typ und Ort der Bewehrung im Querschnitt können hier nicht verändert werden. Sofern mindestens ein Rechengang durchgeführt wurde, ist rechts neben der gewählten Bewehrung der Bewehrungsvorschlag, der im letzten Rechengang ermittelt wurde, ausgewiesen. Ist die gewählte Bewehrung kleiner als der Vorschlag, so ist dies rot markiert.



Liegt ein Bewehrungsvorschlag vor, kann durch Betätigen des Buttons **Bewehrung automatisch wählen** dieser als gewählte Bewehrung übernommen werden bzw. die Einstellung von Anzahl und Durchmesser automatisch so angepasst werden, dass die gewählte Bewehrung größer oder gleich dem Bewehrungsvorschlag ist.

3.14.4

erforderliche Bewehrung

Dieses Register ist rein informativer Natur und soll dokumentieren, wie der Bewehrungsvorschlag aus den Ergebnissen des letzten Rechenganges ermittelt wurde.

Für die Bewehrungsgruppen aller Abschnitte werden hier die folgenden Angaben protokolliert:

$A_{s,cal}$	Rechenwert der Bewehrungsgruppe im letzten Rechengang
$A_{s,b}^I$	erforderliche Bewehrung aus Biegebemessung n. Theorie I. Ordnung
ΔA_s	erforderliche Erhöhung aus linearen Gebrauchstauglichkeitsnachweisen
$A_{s,b}^{II}$	erforderliche Bewehrung aus Biegebemessung n. Theorie II. Ordnung im Nachgang eines Stabilitätsnachweises
$A_{s,k}$	erforderliche Bewehrung zur Stabilisierung bei Systemversagen
$\Delta A_{s,erf}$	resultierende erforderliche Bewehrungserhöhung aus allen Ergebnissen
$\Delta A_{s,Min}$ $\Delta A_{s,Max}$	Einschränkung der erforderlichen Bewehrungserhöhung zur Ermittlung des Bewehrungsvorschlages
$A_{s,nxt}$	resultierender Bewehrungsvorschlag

Während die Werte für $A_{s,cal}$, $A_{s,b}^I$ und ΔA_s aus Nachweisen bzw. Bemessungsergebnissen am Querschnitt ermittelt werden, wird der Wert $A_{s,k}$ nur bei Systemversagen ermittelt. Je nachdem welche Nachweise geführt wurden bzw. ob ein Systemversagen aufgetreten ist, werden nicht alle diese Werte ermittelt. Nicht ermittelte Werte sind mit '-' gekennzeichnet.

3.14.5

Protokoll

Dieses Register ist während des Rechengangs aktiv und protokolliert den Rechenfortschritt und ggf. auch Hinweise und Warnungen zu den durchgeführten Nachweisen. Die laufende Berechnung kann durch Betätigen der Escape-Taste abgebrochen werden.



3.14.6

Fehler und Warnungen

In diesem Register wird das Protokoll aller Fehlermeldungen und Warnungen des letzten Rechenganges festgehalten. Ist hier nichts vermerkt, wurden alle Nachweise erfolgreich durchgeführt.



3.15

Ergebnispräsentation

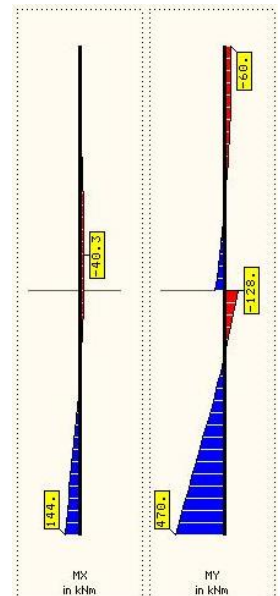
3.15.1

Darstellung der Ergebnisse



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

Näheres hierzu siehe: Das Ergebnisfenster (Abs. 3.1.4, S. 12) und Ergebnistypauswahl und verwendete Koordinatensysteme (Abs. 3.15.2, S. 46).



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



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

- Auswahl der Elemente (Tabellen und Grafiken) der Druckliste
- Druckliste am Bildschirm einsehen
- Druckmanager zum Ausdruck der Druckdokumente aufrufen

Zum Druckmanager und DTE®-Viewer s. Handbuch *DTE®-DeskTopEngineering*.

3.15.2

Darstellungsoptionen im Ergebnisfenster



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



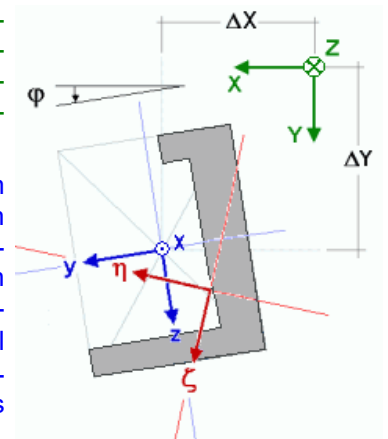
In dem hierdurch hervorgerufenen Eigenschaftsblatt finden Sie eine große Anzahl darstellbarer Ergebnistypen. Diese können im Ergebnisfenster ein- oder ausgeblendet werden. Um die Grafiken im Ergebnisfenster zu skalieren, klicken Sie auf den im Eigenschaftsblatt unten dargebotenen Bearbeitungsbutton (Abs. 3.15.3, S. 46).

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

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

Das in Großbuchstaben geschriebene X-Y-Z- Koordinatensystem ist das globale und ortsfeste Koordinatensystem. Von diesem Koordinatensystem gehen alle geometrischen Beschreibungen aus. Die globale Z-Achse zeigt in der Systemdarstellung nach unten.

Das in Kleinbuchstaben geschriebene x-y-z-Koordinatensystem ist das Querschnittsbeschreibungs Koordinatensystem. Dessen x-Achse zeigt in die entgegengesetzte Richtung der globalen Z-Achse, d.h. die x-Achse zeigt in der Systemdarstellung nach oben. Das x-y-z-Koordinatensystem ist gegenüber dem globalen System i. A. um ΔX und ΔY verschoben und um den Winkel φ verdreht. Entsprechende Festlegungen trifft der Benutzer abschnittsweise im Register *Ausrichtung* (Abs. 3.9.3, S. 24) des Eigenschaftsblattes zur Beschreibung der Abschnitte.



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

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

3.15.3

Skalierung der Grafiken

In dem Eigenschaftsblatt *Skalierungen* kann die Größe der System- und Ergebnisgrafiken mit Hilfe der Schiebescalter angepasst werden. Der Schalter **Querschnittshöhen** wirkt sich auf die Systemdarstellung der Stütze und in den Lastgrafiken aus. Die Schalter **Einzellasten** und **Linienlasten** verkleinern oder vergrößern die Darstellung der Lastbilder in den Lastgrafiken. Für die Ergebnisdarstellung gibt es unterschiedliche Einstellungsmöglichkeiten für Kräfte (z.B. Auflagerreaktionen) und Grenzlinien.



Hier kann der Umfang der Ergebnisdruckliste festgelegt werden.



Zum Druckmanager und DTE®-Viewer und den dortigen Interaktionsmöglichkeiten sowie zu der zum Lieferumfang gehörenden **englischsprachigen** Druckdokumentenausgabe s. DTE®-Handbuch.

3.16

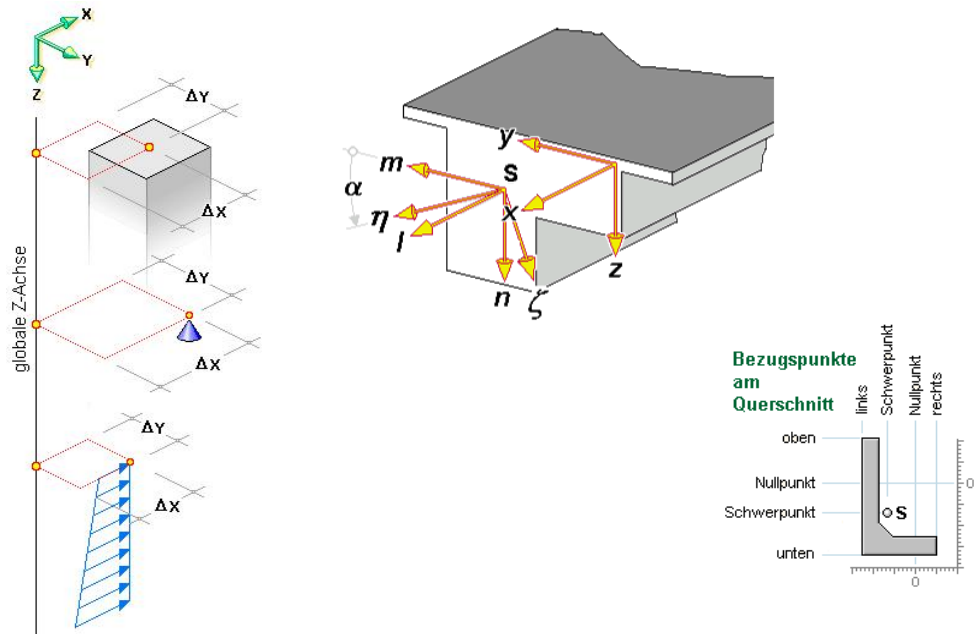
Theorie und Beispiele

3.16.1

Theorie

Das Programm *##-STUB* berechnet Stahlbetondurchlaufstützen nach der Theorie II. Ordnung. Für die räumlich belastete Stütze werden unter Berücksichtigung von Imperfektionen Verformungen und Schnittgrößen ermittelt.

Die Stütze wird im globalen X-Y-Z-Koordinatensystem beschrieben. Es dient der Ausrichtung und Vermessung der Abschnitte, Lager und Lastbilder. Die Z-Achse zeigt in Längsrichtung der Stütze von oben nach unten. Vertikale Lasten sind demnach mit positiver Z-Komponente einzugeben. Die Querschnitte werden in der zur Z-Achse senkrecht stehenden XY-Ebene beschrieben. Die einzelnen Querschnittsformen (typisierte Querschnitte, mit *##-QUER* konstruierte Querschnitte) verfügen zur bequemen Eingabe über ein lokales yz-Beschreibungskoordinatensystem. In der globalen XY-Ebene kann der Querschnitt beliebig ausgerichtet und gedreht werden.



Die klassische Stabtheorie geht von der Formerhaltung des Querschnitts aus. Die Querschnittslage lässt sich im lokalen xyz-Querschnittskoordinatensystem über drei Verschiebungen u_x , u_y , u_z und drei Verdrehungen φ_x , φ_y , φ_z beschreiben. Der Querschnitt steht auch nach der Deformation orthogonal auf der verformten Stabachse (Normalenhypothese). Daraus resultieren Beziehungen zwischen den Querschnittsverdrehungen φ_x , φ_y , φ_z und der Richtung der verformten Stabachse u'_x , u'_y , u'_z (Ableitung der Verformungen nach der lokalen x-Koordinate).

Neben dem globalen XYZ-Koordinatensystem und dem xyz-Beschreibungskoordinatensystem gibt es noch das durch den Schwerpunkt S verlaufende lmn-System, dessen Achsen parallel zu den xyz-Achsen verlaufen (Entkopplung der Fläche und der statischen Momente), und das durch S verlaufende $\xi\eta\zeta$ -Hauptachsensystem (Entkopplung der Trägheitsmomente). Zur Beschreibung der Torsion wird der Schwerpunkt S als Drehpunkt verwendet.

• Verschiebungsansatz

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

$$\begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{xs} \\ u_{ys} \\ u_{zs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\varphi_z + \frac{1}{2}\varphi_x\varphi_y & \varphi_y + \frac{1}{2}\varphi_x\varphi_z \\ -\frac{1}{2}(\varphi_x^2 + \varphi_z^2) & -\varphi_x + \frac{1}{2}\varphi_y\varphi_z \\ \varphi_x + \frac{1}{2}\varphi_y\varphi_z & -\frac{1}{2}(\varphi_x^2 + \varphi_y^2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y - y_s \\ z - z_s \end{bmatrix}$$

Wegen der Normalenhypothese folgt aus $\varphi_y = -u_z' \cdot (1 - u_x') + \frac{1}{2} u_y' \cdot \varphi_x$ und

$\varphi_z = u_y' \cdot (1 - u_x') + \frac{1}{2} u_z' \cdot \varphi_x$ unter Vernachlässigung von u_x' die Beziehung

$$\begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{xS} \\ u_{yS} \\ u_{zS} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -u_y' - u_z' \varphi_x & -u_z' + u_y' \varphi_x \\ -\frac{1}{2}(\varphi_x^2 + u_y'^2) & -\varphi_x - \frac{1}{2} u_y' u_z' \\ \varphi_x - \frac{1}{2} u_y' u_z' & -\frac{1}{2}(\varphi_x^2 + u_z'^2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y - y_S \\ z - z_S \end{bmatrix}$$

• Schnittgrößen

Die Schnittgrößen ergeben sich durch Integration der Normal- bzw. Schubspannungen über den Querschnitt. Die Schnittkräfte wirken in Richtung der verformten Querschnittsachsen, die Momente drehen um die entsprechenden Achsen in positiver Richtung (Rechte-Hand-Regel)

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

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

Die Längsdehnungen der Querschnittspunkte lassen sich wegen des Ebenbleibens des Querschnitts mit der Dehnung des Nullpunkts und den Krümmungen um die Querschnittsachsen berechnen

$$\varepsilon(y, z) = \varepsilon_0 + z \cdot \kappa_y - y \cdot \kappa_z \quad \text{mit} \quad \kappa_z = -v'', \quad \kappa_y = w''$$

Man erhält dann aus der Spannungsableitung das inkrementelle Stoffgesetz für die Normalkraft und die Biegemomente

$$\begin{bmatrix} \Delta N \\ \Delta M_y \\ \Delta M_z \end{bmatrix} = \int_A \frac{\partial \sigma_x}{\partial \varepsilon} \cdot \begin{bmatrix} 1 & z & -y \\ z & z^2 & -yz \\ -y & -yz & y^2 \end{bmatrix} \cdot dA \begin{bmatrix} \Delta \varepsilon_0 \\ \Delta \kappa_y \\ \Delta \kappa_z \end{bmatrix}$$

Bei den Stahlbetonquerschnitten erfolgt die Integration über die Fläche des Betons und der Bewehrungsstäbe. Die Spannungsableitungen für einige gebräuchliche Spannungs- Dehnungsbeziehungen des Betons sind in der folgenden Tabelle aufgelistet:

Spannungs- Dehnungsbeziehung	Spannung	Spannungsableitung	Tangentenmodul für $\varepsilon=0$
linear	$E \cdot \varepsilon$	E	E
allgemeine Potenz	$\left(1 - \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right)^n\right) \cdot f_y$	$n \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right)^{n-1} \cdot \frac{f_y}{\varepsilon_y}$	$n \cdot \frac{f_y}{\varepsilon_y}$
Parabel	$\left(2 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right) \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} \cdot f_y$	$2 \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right) \cdot \frac{f_y}{\varepsilon_y}$	$2 \cdot \frac{f_y}{\varepsilon_y}$
wirklichkeitsnah	$\frac{\left(k - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right) \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}}{1 + (k-2) \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}} \cdot f_y$	$\frac{k - \left(2 + (k-2) \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right) \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}}{\left(1 + (k-2) \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right)^2} \cdot \frac{f_y}{\varepsilon_y}$	$k \cdot \frac{f_y}{\varepsilon_y}$
heiße Bemessung	$\frac{3 \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}}{2 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right)^3} \cdot f_y$	$\frac{6 \cdot \left(1 - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right)^3\right)}{\left(2 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right)^3\right)^2} \cdot \frac{f_y}{\varepsilon_y}$	$\frac{3}{2} \cdot \frac{f_y}{\varepsilon_y}$

Bei Berechnungen im Zustand 2 ändern sich die inkrementellen Steifigkeiten in Abhängigkeit des Dehnungszustandes. Ebenso variiert die Lage des Schwerpunkts und der Hauptachsen des inkrementellen Stoffgesetzes. Die Ergebnisse in *##-STUB* bzgl. der Hauptachsen beziehen sich deshalb auf die Achsen des ungerissenen Betonquerschnitts (Zustand 1).

Die effektiven Steifigkeiten werden als Verhältnis der inkrementellen Steifigkeiten in Richtung der Hauptachsen des Zustands 1 zu den Steifigkeiten des Betons im Zustand 1 ermittelt und sind ein Maß für die Abminderung der Steifigkeiten.

Die iterative Berechnung der Schnittgrößen erfolgt immer mit dem inkrementellen Stoffgesetz und nicht mit den effektiven Steifigkeiten.

Das lineare Stoffgesetz des Betonquerschnitts im Zustand 1 lautet

$$\begin{bmatrix} N \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = E_{cm} \cdot \int_{A_b} \begin{bmatrix} 1 & z & -y \\ z & z^2 & -yz \\ -y & -yz & y^2 \end{bmatrix} \cdot dA \begin{bmatrix} \varepsilon_0 \\ \kappa_y \\ \kappa_z \end{bmatrix} = E_{cm} \cdot \begin{bmatrix} A_b & S_{bz} & -S_{by} \\ S_{bz} & I_{byy} & -I_{byz} \\ -S_{by} & -I_{byz} & I_{bzz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_0 \\ \kappa_y \\ \kappa_z \end{bmatrix}$$

Für die Schnittgrößen des Hauptachsensystems im Schwerpunkt entkoppeln sich die Gleichungen

$$N = E_{cm} \cdot A_c \cdot \varepsilon_0, \quad M_\eta = E_{cm} \cdot I_{\eta c} \cdot \kappa_\eta, \quad M_\eta = E_{cm} \cdot I_{\zeta c} \cdot \kappa_\zeta$$

• Prinzip der virtuellen Arbeit

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

$$\begin{aligned} \delta W_{int} &= \delta W_{int,lin} + \delta W_{int,ThII} = - \int_l \left\{ N \delta u' + M_z \delta v'' - M_y \delta w'' + T \delta \varphi' \right\} \cdot dx \\ &\quad - \int_l \left\{ N v' \delta v' + M_y \varphi \delta v'' + N w' \delta w' + M_z \varphi \delta w'' + (M_y v'' + M_z w'') \delta \varphi \right\} \cdot dx \end{aligned}$$

Die externe virtuelle Arbeit lässt sich folgendermaßen angeben

$$W_{\text{ext}} = \int \{p_x \delta u + p_y \delta v + p_z \delta w + m_x \delta \varphi_x - m_y \delta w' + m_z \delta v'\} \cdot dx + \text{Einzellasten} + \text{Randterme}$$

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

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

• Knicken

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

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

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

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

Setzt man in diese Beziehungen die Verformungen der Imperfektion "Schiefstellung" oder "Vorkrümmung" ein, erhält man die Ersatzlasten nach DIN 1045.

3.16.2

Beispiel: Zentrisch gedrückte Stütze im Zustand 2

Bei der zentrisch gedrückten Stütze ist nur die Normalkraft von Null verschieden. Der Dehnungszustand weist keine Krümmungen auf. Mit der Parabel-Rechteck Spannungs-Dehnungsbeziehungen für den Beton erhält man für die Normalkraft

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= A_c \cdot \sigma_c(\varepsilon) + A_s \cdot \sigma_s(\varepsilon) = A_c \cdot \left\{ \sigma_c(\varepsilon) + \mu_s \cdot \sigma_s(\varepsilon) \right\} \\ &= A_c \cdot \left\{ \left(2 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} \right) \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} \cdot f_c + \mu_s \cdot E_s \cdot \varepsilon \right\} = A_c \cdot f_c \cdot \left\{ \left(2 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} \right) \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} + \mu_s \cdot E_s \cdot \frac{\varepsilon_c}{f_c} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} \right\} \\ &= N_{cd} \cdot \left\{ \left(2 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} \right) \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} + 2 \cdot \mu_s \cdot \frac{E_s}{E_{c0}} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} \right\} = N_{cd} \cdot \left\{ 2 \cdot \left(1 + \mu_s \cdot \frac{E_s}{E_{c0}} \right) \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} \right)^2 \right\} \end{aligned}$$

Daraus lässt sich die Dehnung berechnen

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} = \left(1 + \mu_s \cdot \frac{E_s}{E_{c0}} \right) - \sqrt{\left(1 + \mu_s \cdot \frac{E_s}{E_{c0}} \right)^2 - \frac{N_{Ed}}{N_{cd}}} = \frac{\frac{N_{Ed}}{N_{cd}}}{\left(1 + \mu_s \cdot \frac{E_s}{E_{c0}} \right) + \sqrt{\left(1 + \mu_s \cdot \frac{E_s}{E_{c0}} \right)^2 - \frac{N_{Ed}}{N_{cd}}}}$$

Als effektive Fläche erhält man dann

$$\frac{A_{\text{eff}}}{A_c} = \frac{1}{E_{cm} \cdot A_c} \cdot \left\{ \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} \right) \cdot E_{c0} \cdot A_c + E_s \cdot A_s \right\} = \left\{ 1 + \mu_s \cdot \frac{E_s}{E_{c0}} - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} \right\} \cdot \frac{E_{c0}}{E_{cm}}$$

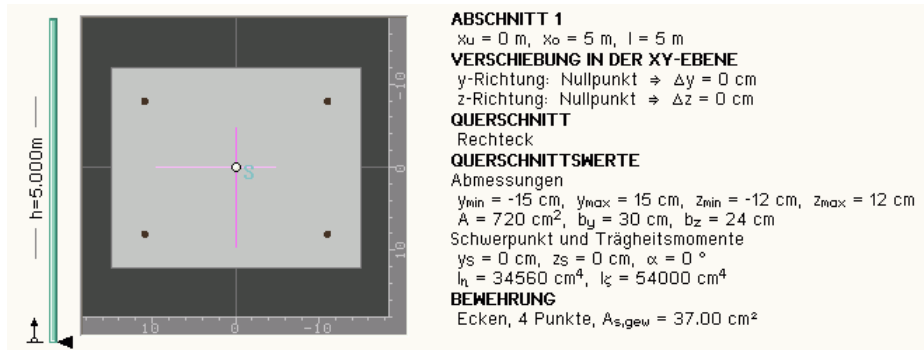
Für die effektive Steifigkeit um die y-Achse ergibt sich dann (Rechteckquerschnitt mit der Höhe h und der Breite b, Eckbewehrung mit dem Randabstand d_s)

$$\frac{I_{y,\text{eff}}}{I_{y,c}} = \frac{1}{E_{cm} \cdot I_{y,c}} \cdot \left\{ \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} \right) \cdot E_{c0} \cdot I_{y,c} + E_s \cdot A_s \cdot \left(\frac{h}{2} - d_s \right)^2 \right\} = \left\{ 1 + 3 \cdot \mu_s \cdot \frac{E_s}{E_{c0}} \cdot \frac{(h - 2 \cdot d_s)^2}{h^2} - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} \right\} \cdot \frac{E_{c0}}{E_{cm}}$$

Ist die y-Achse die schwache Achse der Pendelstütze mit der Länge l_{col} ($h < b$), kommt es zu einem Knickversagen bei der kritischen effektiven Steifigkeit

$$\left(\frac{l_{y,eff}}{l_{y,c}} \right)_{krit} = - \frac{N_{Ed} \cdot l_{col}^2}{E_{cm} \cdot I_{y,c} \cdot \pi^2} = - \frac{12 \cdot N_{Ed} \cdot l_{col}^2}{E_{cm} \cdot b \cdot h^3 \cdot \pi^2}$$

Als Beispiel wird eine Stütze mit der Betongüte C 30/37 und Längsbewehrung aus BSt 500 mit der Normalkraft $N_{Ed} = -2.500$ kN mit #STUB berechnet.



Für das obere Ende der Stütze ergeben sich die folgenden Ergebnisse

Nachweis 1: DIN 1045-1 Knicksicherheit

DIN 1045-1 (7.01) mit Ber.2 (6.05)

Material: C30/37, BSt 500 (A)

Berechnung nach Zustand 2 mit Grundbewehrung: $A_{s01} = 37.00$ cm²

Die Spannungsdehnungslinie des Betons zur Schnittgrößenermittlung wird nach 9.1.6 angenommen.

Spannungsdehnungslinienparameter für die ständige/vorübergehende Bemessungssituation:

Materialsicherheitsbeiwerte: $\gamma_c = 1.50$, $\gamma_s = 1.15$

Schnittgrößenermittlung:

für den Beton nach DIN 1045-1, 9.1.6 mit $n = 2.00$:

$f_c = 20.00$ MN/m² $\epsilon_c = -2.00$ ‰ $\epsilon_{cu} = -3.50$ ‰ $E_c = 14899.7$ MN/m²

für die Bewehrung nach DIN 1045-1, 9.2.3:

$f_y = 434.78$ MN/m² $\epsilon_s = 2.17$ ‰ $f_t = 456.52$ MN/m² $\epsilon_{su} = 25.00$ ‰ $E_s = 200000.0$ MN/m²

Querschnittssicherheit:

für den Beton nach DIN 1045-1, 9.1.6 mit $n = 2.00$:

$f_c = 17.00$ MN/m² $\epsilon_c = -2.00$ ‰ $\epsilon_{cu} = -3.50$ ‰ $E_c = 12664.7$ MN/m²

für die Bewehrung nach DIN 1045-1, 9.2.3:

$f_y = 434.78$ MN/m² $\epsilon_s = 2.17$ ‰ $f_t = 456.52$ MN/m² $\epsilon_{su} = 25.00$ ‰ $E_s = 200000.0$ MN/m²

Ergebnisse der Lastkombinationen

Typ	u_x mm	u_y mm	u_z mm	φ_x ‰	φ_y ‰	φ_z ‰	N kN	Q_y kN	Q_z kN	T kNm	M_y kNm	M_z kNm	Faktorisierung
Lastkollektiv 1: zentrischer Druck	-7.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2500.0	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	Lf1

Nachweis der Lastkombinationen

Lastkollektiv 1: zentrischer Druck

Bemessungsschnittgrößen: $N_{Ed} = -2500.00$ kN, $M_{yEd} = 0.00$ kNm, $M_{zEd} = 0.00$ kNm

Materialsicherheitsbeiwerte: $\gamma_c = 1.50$, $\gamma_s = 1.15$ (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

Ausnutzung (Querschnittstragfähigkeit): $U = 0.925$ (Sicherheit $t = 1/U = 1.082$)

Dehnung im Schwerpunkt: $\epsilon_0 = -1.537$ ‰, Krümmung um die η/ζ -Achse: $\kappa_\eta = 0.000$ ‰/m, $\kappa_\zeta = 0.000$ ‰/m

eff. Fläche, Trägheitsmomente: $A_{eff}/A_c = 0.527$, $I_{\eta,eff}/I_{\eta,c} = 0.648$, $I_{\zeta,eff}/I_{\zeta,c} = 0.749$

erf. Bewehrung (Querschnittssicherheit): $A_{s,b1p} = 31.90$ cm², $a_{s,b11} = 0.00$ cm²/m, $A_{s,b1} = 31.90$ cm²

incl. Grundbewehrung: $A_{s1p} = 37.00$ cm², $a_{s11} = 0.00$ cm²/m, $A_{s1} = 37.00$ cm², $\mu = 5.14\%$

Die errechneten Dehnungen und effektiven Steifigkeiten stimmen mit den Werten aus den obigen Formeln überein. Das Programm erkennt bei Berechnung mit einem kleineren Bewehrungsgehalt die Instabilität des Systems bzgl. der Biegung um die Y-Achse.

Lastkollektiv: Nw1:Lk1:Lf1
Gleichungssystem instabil bei $x = 5.00$ [φY]: Diagonalelement = -5.89E-02
Die gewählte Bewehrung ist NICHT ausreichend!

4

Literaturverzeichnis

- /1/ DIN 1055-100 Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe März 2001
- /2/ DIN EN 1990, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Oktober 2002
- /3/ DIN 1045-1 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgaben Juli 2001 und August 2008
- /4/ DIN EN 1992-1-1, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Oktober 2005
- /5/ DIN EN 1992-1-2, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung EN 1992-1-2:2004, Ausgabe Oktober 2006
- /6/ DIN 4102 Teile 4 und 22: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Ausgabe März 1994 und November 2004
- /7/ Erläuterungen zu DIN 1045-1, Heft 525, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 2003
- /8/ F. Fingerloos: DIN 1045 Ausgabe 2008 Tragwerke aus Beton und Stahlbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Kommentierte Kurzfassung, 3. Auflage, Fraunhofer IRB und Beuth Verlag, 2008
- /9/ P. Mark: Ein Bemessungsansatz für zweiachsig durch Querkräfte beanspruchte Stahlbetonbalken mit Rechteckquerschnitt, Heft 5, Beton- und Stahlbetonbau 100 (2005)
- /10/ P. Schießl: Grundlagen der Neuregelung zur Beschränkung der Rissbreite, Heft 400, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, 1989
- /11/ P. Noakowski: Verbundorientierte, kontinuierliche Theorie zur Ermittlung der Rissbreite, Beton- und Stahlbetonbau 80, 1985

5

Index

- | | |
|--------------------------------|------------------------------|
| ##-QUER 24 | Cursor 4 |
| Abkürzungen 4 | Darstellungsoptionen 46 |
| Abschnitt 21 | Detailnachweispunkt 22 |
| Abschnittslänge 23 | Doppelklick 13 |
| Anker 22 | Durchbiegung Zustand 2 41 |
| Assistent 14 | Eigengewichtslast 19 |
| Ausgabeumfang 22 | Einwirkung 4 |
| Ausrichtung 32 | e-Mail 8 |
| Baumansichtsfenster 10 | Englisch 47 |
| Bauteil erzeugen 9 | Ergebnisdarstellung 45 |
| Bemessungsoptionen 25 | Ergebnisdruckliste 47 |
| Berechnungsablauf Steuerung 42 | Ergebnisfenster 12 |
| Bewehrungsbild 24 | Ermüdungsnachweis 30, 41 |
| Bewehrungserhöhung 43 | Extremalbildungsvorschrift 4 |
| Bewehrungsgrad 43 | Exzentrizität 21 |
| Bewehrungsgruppe 24 | Fangerechteck 4 |
| Bewehrungsvorschlag 43 | Fehlermeldung 45 |
| Bewehrungswahl 43, 44 | Fremdsprache 47 |
| Biegebemessung 27, 40 | Fundament 19 |
| blank 4 | Imperfektion 38 |
| Blitz roter 43 | Installation 7 |
| Brandschutzbemessung 28 | Iteration 20 |
| Brandschutznachweis 41 | Knicksicherheit 41 |
| Buttons 4 | Kontextsensitivität 8 |

Kontrolle optische 34
Koordinatensystem 21
Kriechen 26
Lagerpunkt 21, 35
Lastbild 4
Lastfall 4
Lastkollektiv 4
Linienbewehrung 24
Linienfeder 33
Material 25
Nachweisführung 40
Nachweisparameter 25
Objektauswahl 13
Objektfenster 11
Ordner 9
Protokoll 45
Punktbewehrung 24
Punktfeder 32

Punktlast 37
Querschnitt 24
Querschnittsausrichtung 32
Rissnachweis 29, 41
Schnittgrößenermittlung 41
Schreibtisch 8
Schreibtischauswahl 7
Schubbemessung 27
Schwinden 26
Skalierung 46
Spannungsnachweis 31, 40
Startsymbol 7
Steuerbutton 8, 12
Streckenlast 36
Theorie 48
Torsion 19
Warnung 45