

4H-STUB Stahlbetondurchlaufstütze

Detailinformationen

Seite überarbeitet Oktober 2023

[Kontakt](#) 
[Programmübersicht](#) 
[Bestelltext](#) 
[Handbuch](#) 
[Infos auf dieser Seite](#)
[... als pdf](#) 

Arbeiten im Eingabemodul

- ♦ Hauptfenster 
- ♦ Objektfenster 
- ♦ Steuerbuttons 
- ♦ Baumansichtsfenster 
- ♦ Ergebnisfenster 
- ♦ Objektauswahl 

allgemeine Erläuterungen

- ♦ Assistent Bauteileinrichtung 
- ♦ Abschnitte / Lager 
- ♦ globale Einstellungen 
- ♦ Belastungsstruktur 
- ♦ Detailnachweispunkte 
- ♦ Koor.-System / Exzentrizität 
- ♦ Anker / Abstände 
- ♦ Ausgabeumfang 

Systembeschreibung

- ♦ Abschnittshöhe 
- ♦ Ausrichtung Querschnitt 
- ♦ Querschnitt 
- ♦ Punktfedern 
- ♦ optische Kontrolle 
- ♦ Bemessungsoptionen 
- ♦ Linienfedern 
- ♦ Lagerpunkteigenschaften 

Belastung

- ♦ Streckenlasten 
- ♦ Punktlasten 
- ♦ Imperfektionsbilder 
- ♦ Imperfektion berechnen 

Nachweisführung

Berechnungsablauf

- ♦ Einstellungen 
- ♦ erforderliche Bewehrung 
- ♦ Bewehrungswahl 
- ♦ Protokoll 
- ♦ Fehlermeldg. / Warnungen 

Ergebnisse

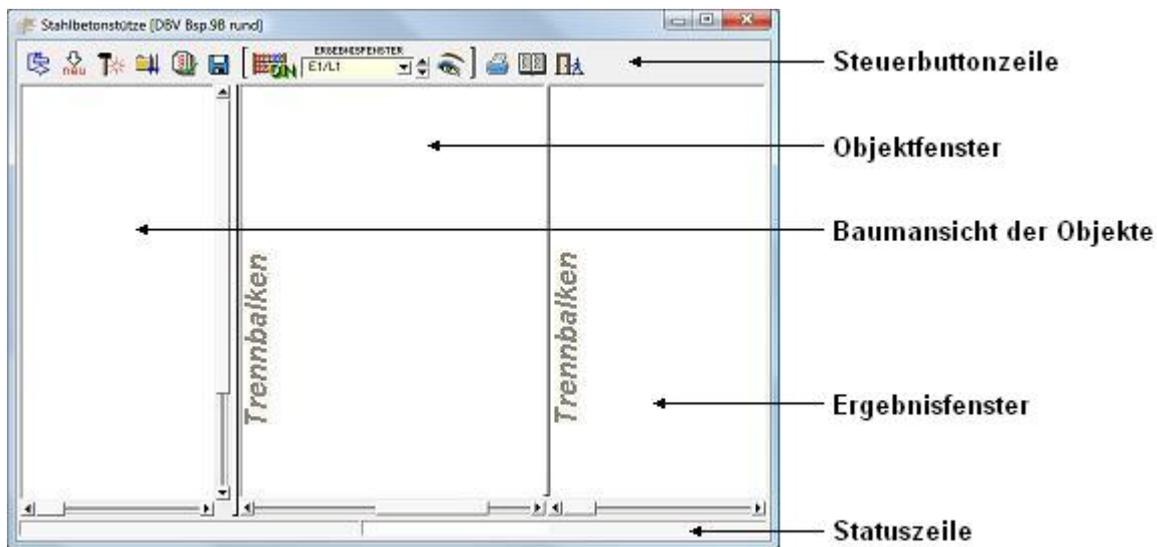
- ♦ Ergebnispräsentation 
- ♦ Darstellungsoptionen 
- ♦ Skalierung der Grafiken 
- ♦ Ausgabeoptionen 

Theorie

- ♦ Koordinatensysteme 
- ♦ Schnittgrößen 
- ♦ Knicken 
- ♦ Verschiebungsansatz 
- ♦ Prinzip der virtuellen Arbeit 
- ♦ Beispiel 

das Hauptfenster

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



Die **Steuerbuttonzeile** enthält interaktive Steuerelemente, mit deren Hilfe die Aktionen des Programms eingeleitet bzw. gesteuert werden.

Im **Objektfenster** werden die wesentlichen Objekte (Abschnitte, Lagerpunkte, Lastbilder) auswählbar dargestellt.

Die **Baumansicht** der Objekte bietet alle definierten Objekte in einer explorerähnlichen Darstellung zur Auswahl an.

Im **Ergebnisfenster** 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 gedrückter linker Maustaste kann nun der vertikale Trennbalken horizontal - bzw. der horizontale Trennbalken vertikal verschoben werden.

das Baumansichtsfenster

Nebenstehend ist beispielhaft der Inhalt des Baumansichtsfensters dargestellt, das alle definierten Objekte in Form eines Baumes ähnlich dem des Windows-Explorers zur Auswahl anbietet.

Befindet sich vor einem Element in der Baumansicht ein -Symbol, bewirkt das Anklicken dieses Symbols das Schließen des Elements; die diesem Element zugeordneten Unterelemente werden ausgeblendet.

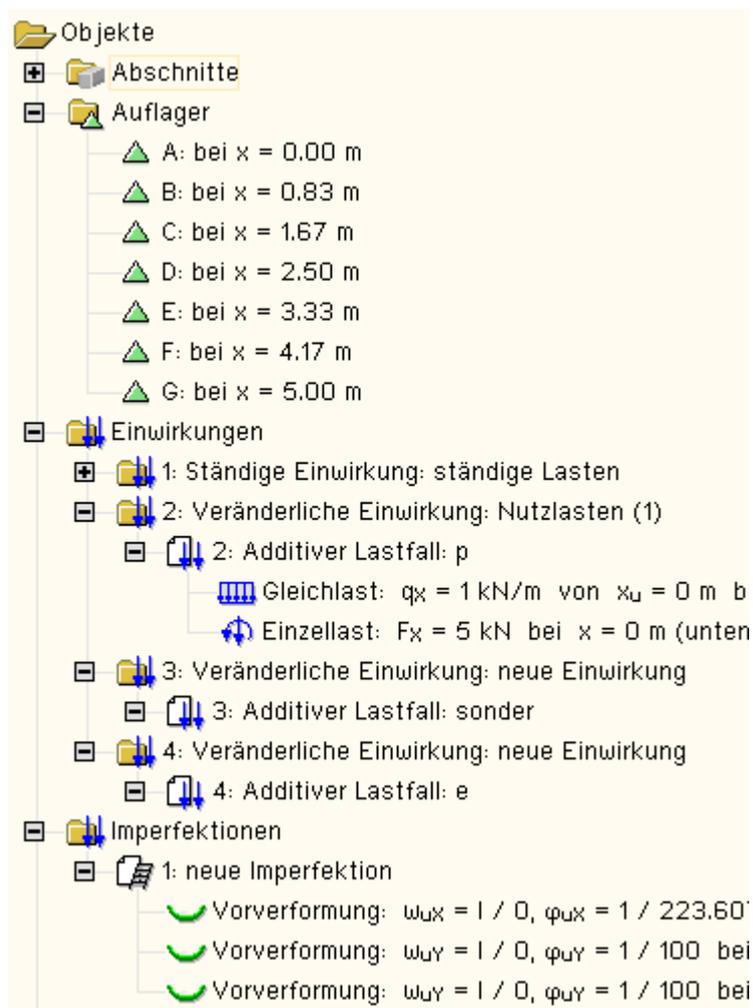
Befindet sich vor einem Element in der Baumansicht ein -Symbol, bewirkt das Anklicken dieses Symbols das Öffnen des Elements; die diesem Element zugeordneten Unterelemente werden wieder eingeblendet.

Durch einfaches Anklicken mit der linken Maustaste wird ein Objekt aus- bzw. abgewählt.

Es können gleichzeitig mehrere auch unterschiedliche Objekte ausgewählt sein.

Wird ein übergeordnetes Element (Ordner, auch Baumknoten genannt) ausgewählt, werden hierdurch alle Unterelemente dieses Objektes aus- bzw. abgewählt.

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 Baumansichtsfenster 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 Lastfalls stets gemeinsam wirken
- ein *Imperfektionsfall* enthält *Imperfektionsbilder*, die aus Vorverformungen und Schiefstellungen bestehen und nur bei der nichtlinearen Berechnung benötigt werden
- einem linearen *Nachweis* sollte stets eine *Extremalbildungsvorschrift* zugeordnet sein, die festlegt, wie die Schnittgrößen und Verformungen der unter-

- Abschnitt
- Lagerpunkt
- Einwirkung
- Lastfallgruppe
- Lastfall
- Streckenlastbild
- Einzellastbild
- Imperfektionsfall
- Imperfektionsbild
- Nachweis
- Extremalbildungsvorschrift
- Lastkollektiv
- Lastkollektivbildungsgesetz

schiedlichen Einwirkungen zu überlagern sind, um die Nachweisschnittgrößen zu bilden

- einem nichtlinearen Nachweis sollten stets mehrere *Lastkollektive* oder ein *Lastkollektivbildungsgesetz* zugeordnet sein

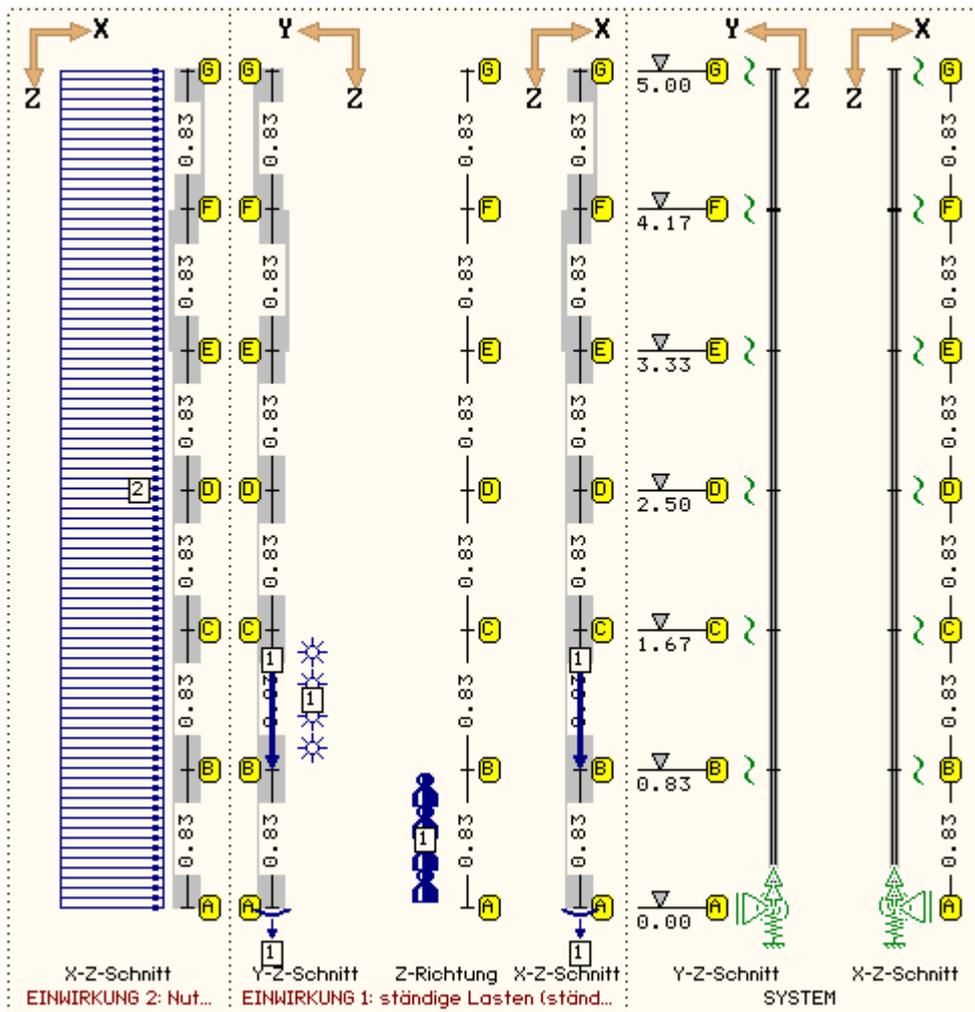
das Objektfenster

Im Objektfenster können die definierten Objekte geometrisch visuell überprüft werden.

Darüber hinaus können die dargestellten Objekte im Objektfenster (wie auch im Baumansichtsfenster) 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.



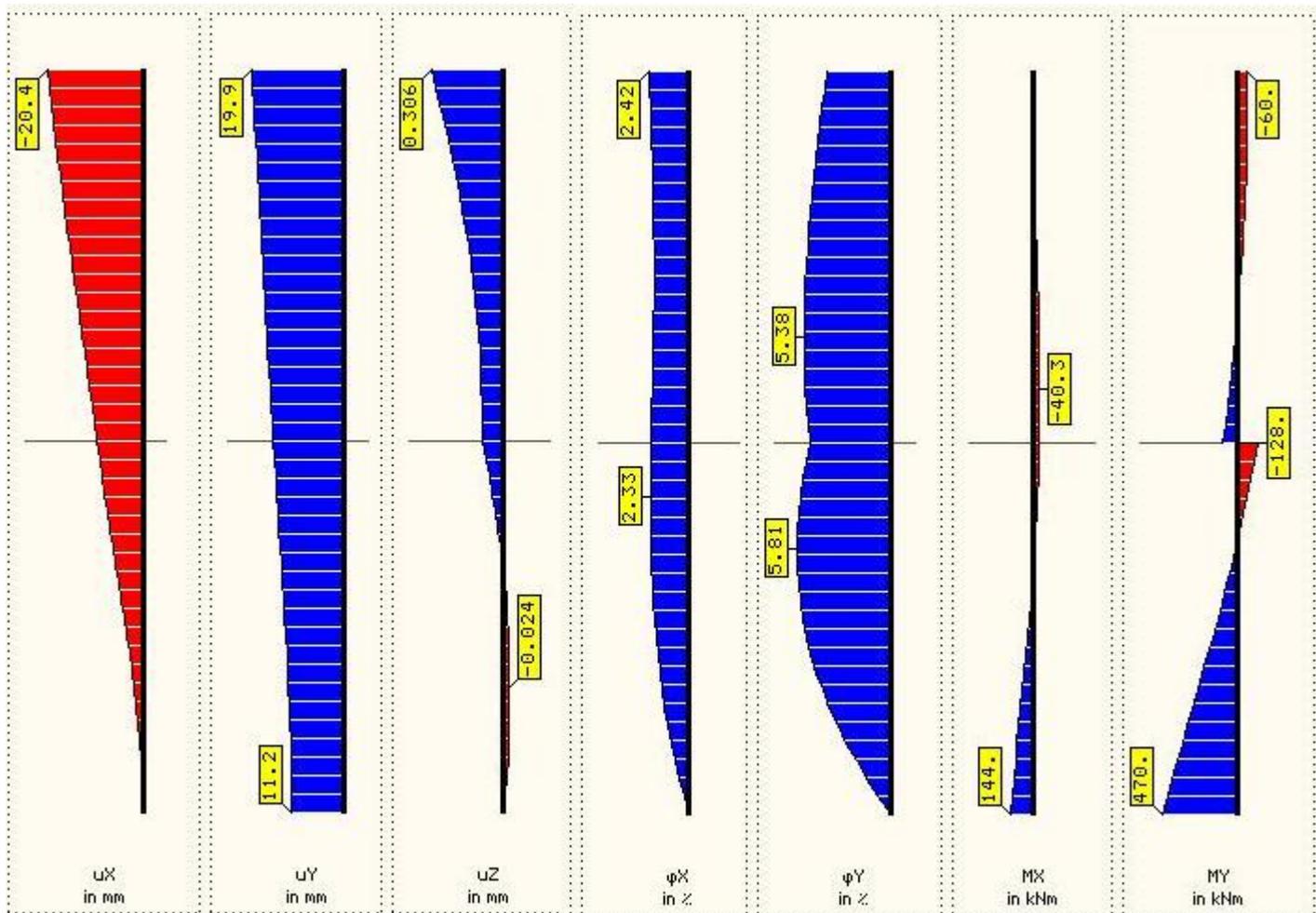
Achten Sie beim Arbeiten im Objektfenster auf den Mauszeiger! Immer wenn er die Form einer Hand annimmt, befindet sich die Maus über einem auswählbaren Objekt.

das Ergebnisfenster

Im Ergebnisfenster werden die Ergebnisse des zuletzt durchgeführten Rechenlaufes dargestellt.



Man beachte, dass der Inhalt dieses Fensters stark von den in der Kopfleiste angebotenen, in eckigen Klammern gesetzten Steuerelementen abhängt!



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. ausgewählt werden können.

s. auch **Ergebnistypauswahl** und verwendete Koordinatensysteme

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 Rechenlaufs festgelegt



befindet sich der Mauszeiger über dem **neu**-Symbol, erscheint ein Pulldown-Menü mit drei weiteren Symbolen, mit denen 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, erscheint ein Pulldown-Menü mit weiteren Symbolen, mit denen die aktuell ausgewählten Objekte bearbeitet werden können.

Sind mehrere Objekte desselben Typs aktiviert, spricht man auch vom *Vereinheitlichen*.

Von links nach rechts bedeuten

- Bearbeitung der ausgewählten Abschnitte
- ... der ausgew. **Lagerpunkte**
- ... der ausgew. **Linienlasten**
- ... der ausgew. **Einzellasten**
- ... der ausgew. **Imperfektionsbilder**
- Abwählen aller aktuell ausgewählten Objekte
- Löschen aller aktuell ausgewählten Objekte



ein Mausklick auf dem 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 dem 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 4H-FUND in der Version 2009 oder jünger installiert ist und die Fundamentbemessung im Register *Berechnung* des Eigenschaftsblatts für die *globalen Einstellungen* aktiviert wurde.

Mit Anklicken des Symbols wird das Modul 4H-FUND zur Bearbeitung der Fundamentparameter aufgerufen.



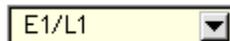
ein Mausklick auf dem **Diskettensymbol** sorgt dafür, dass der aktuelle Datenzustand in der zum Bauteil gehörenden Eingabedatei gespeichert wird



mit dem Button **Berechnung starten** wird das Eigenschaftsblatt aufgerufen, von dem aus die Berechnung **gestartet** werden kann.

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 Klick des Symbols **Ergebnistypauswahl** ruft ein Eigenschaftsblatt hervor, in dem die Ergebnistypen im Ergebnisfenster aus- bzw. abgewählt werden können



befindet sich der Mauszeiger über dem **Drucker-Symbol**, erscheint ein Pulldown-Menü mit drei weiteren Symbolen, mit denen (von links nach rechts)

- der **Umfang der Ergebnisdruckliste** eingestellt
- die Drucklisten am Bildschirm eingesehen
- der Druckmanager zur Ausgabe des Druckdokuments auf dem Drucker aufgerufen werden kann



ein Mausklick auf dem **Hilfe-Symbol** ruft die Onlinehilfe auf



ein Klick des **Ende-Symbols** beendet die Eingabesitzung nach absichernder Abfrage

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 über den nebenstehend dargestellten **bearbeiten-Buttons** bearbeitet werden.

In dem folgenden Pulldown-Menü muss entschieden werden, welcher Objekttyp bearbeitet werden soll.



Sind mehrere Objekte des zu bearbeitenden Objekttyps ausgewählt, werden alle Objekte nach Bestätigen des durch diese Aktion aufgerufenen Eigenschaftsblatts 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 Objekts unabhängig vom Status anderer möglicherweise ausgewählter Objekte individuell bearbeitet werden können.

Assistent zur Bauteileinrichtung

Wird ein neu angelegtes Stahlbetonstützenbauteil aus DTE[®] heraus erstmalig gestartet, 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.

• Seite 1 - Anzahl der Abschnitte

Auf dieser Seite 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 Nachweisooptionen 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.

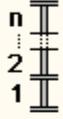
Sollen Kriechen und Schwinden bei der Berechnung des zu erstellenden Bauteils keine Rolle spielen, kann dies durch Abwahl der hier angebotenen Option erreicht werden.

Ist diese Option gesetzt, können in den Einstellungen der [stabbezogenen Bemessungsoptionen](#) Parameter zur Berücksichtigung von Kriechen und Schwinden definiert werden.

→ Bauteil einrichten

Assistent zur Einrichtung eines 4H-STUB Bauteils

Anzahl der Abschnitte Seite 1 von 9



Geben Sie bitte die Anzahl der Abschnitte ein.

n =

globale Optionen

Berechnung mit Torsion
 Darstellung der Verformungen enthalten die Imperfektion

Bemessungsnorm

DIN 1045-1
 DIN EN 1992-1-1 (EC 2, 10.05)

Kriechen und Schwinden

für Knicknachweise und Nachweise im GZG berücksichtigen

<< zurück Hilfe weiter >> fertig !

• Seite 2 - Abschnittslängen und Lagerbedingungen

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

S. hierzu [Abschnitte und Lagerpunkte](#) und Eigenschaften eines [Lagerpunkts](#).

X
Bauteil einrichten

Assistent zur Einrichtung eines 4H-STUB Bauteils

Abschnittslängen und Lagerbedingungen Seite 2 von 9

Abschnittslängen [m]

Festeinspannungen
in den globalen Richtungen

Kräfte			Momente		
X	Y	Z	X	Y	Z
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>					
<input checked="" type="checkbox"/>					

<< zurück
Hilfe
weiter >>
fertig !

• Seite 3 - Querschnitt

Hier ist der Querschnitt festzulegen. 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](#).

Bauteil einrichten
x

Assistent zur Einrichtung eines 4H-STUB Bauteils

Querschnitt Seite 3 von 9

Querschnitt

Rechteck

Kreis

Kreisring

4H-Quer

gevoutet

Stahlrandabstand

d_s cm

Bewehrungsbild

Eckbewehrung

Umlaufbewehrung

parallel y-Achse

parallel z-Achse

frei

mit verstärkten Ecken

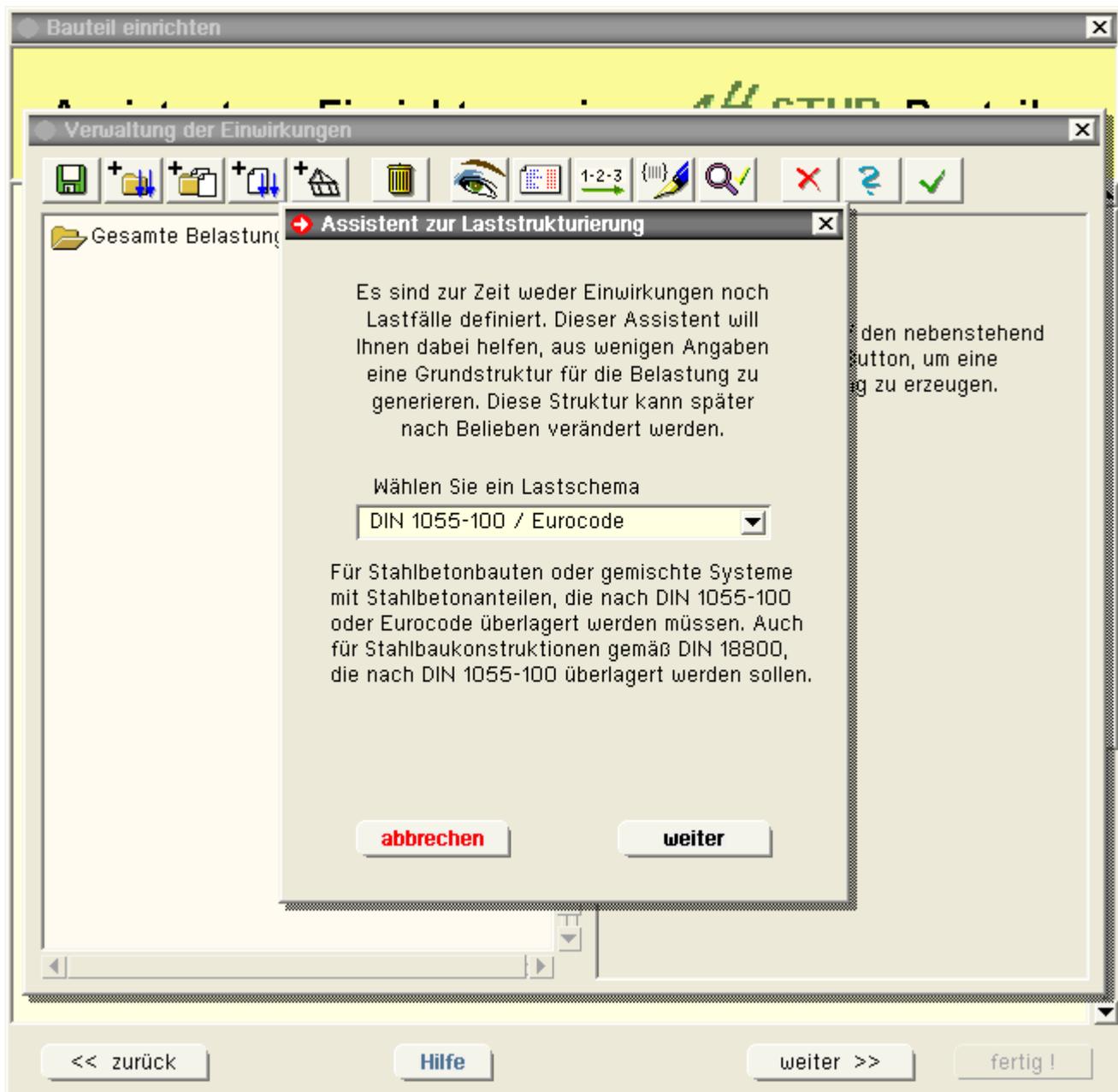
Bezeichnung	Typ	Anz.	Konst.	Anz. \emptyset	\emptyset mm	Bündel	$A_{s, \text{gew}}$ cm ²
1: Ecken	P	4	<input type="checkbox"/>	4	25	1	19.63

<< zurück
Hilfe
weiter >>
fertig !

• Seite 4 - Einwirkungsstruktur

Hier geht es um die Struktur von Einwirkungen und Lastfällen.

Die Verwaltung dieser Laststruktur verfügt über einen eigenen Assistenten, der beim ersten Aufruf dieser Seite automatisch aktiviert wird.



• Seite 5 - Standardlastbilder erzeugen

Legen Sie hier die Ordinaten einiger Standardlastbilder fest.

Bauteil einrichten

Assistent zur Einrichtung eines 4H-STUB Bauteils

Standardlastbilder erzeugen Seite 5 von 9

ständige Lasten in Lastfall

veränderliche Lasten in Lastfall

Tipp:
 Sie können später die hier getroffenen Festlegungen ändern, indem Sie einen **Double-Click** über dem Lastbildsymbol ausführen.

Weitere Lastbilder (Streckenlasten, Temperaturlasten, Einzellasten, Stützenverschiebungen u.s.w.) können Sie später erzeugen. Klicken Sie hierzu in der symbolischen Kopfzeile des Programms auf den **neu** -Button.

Einwirkung
 Lastfall
 Eigengewicht
 Gleichlast

<< zurück Hilfe weiter >> fertig !

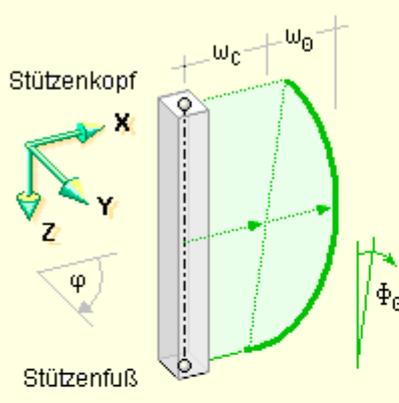
• Seite 6 - Imperfektionen

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

Bauteil einrichten
X

Assistent zur Einrichtung eines 4H-STUB Bauteils

Imperfektionen Seite 6 von 9



Imperfektion in X-Richtung

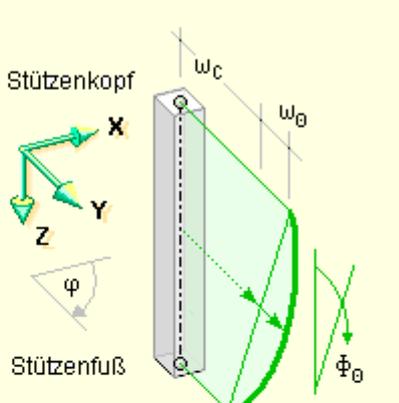
in Imperfektion neue Imperfektion

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 !

• Seite 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 Abschnitts angepasst werden.

S. hierzu [stabbezogene Bemessungsoptionen](#)

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

$\varphi_{eff} = \varphi(\infty, t_{0k}) M_{1perm}/M_{1Ed} = 1.500$

$\varepsilon_{cs, \infty}$ -0.460 ‰ $\varepsilon_{cs, \infty}$ automatisch ermitteln

Längsbewehrung BSt 500

Biegebemessung

Mindestbewehrung für Stützen gemäß DIN 1045-1, 13.5.2

Querschnittsausnutzung (Sicherheitsnachweis)

Schubbemessung durchführen

Schubbewehrung BSt 500

innerer Hebelarm z aus Biegebemessung s. Nachweisooptionen

$z = 0.9 d \leq d - 2 c_{v,D}$

z aus Biegebemessung $\leq d - 2 c_{v,D}$

mit $c_{v,n}$ 3.0 cm Betondeckung zur Längsbewehrung ($c_{v,n} > 0$)

<< zurück
Hilfe
weiter >>
fertig !

• Seite 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.

➔ Bauteil einrichten
✕

Assistent zur Einrichtung eines 4H-STUB Bauteils

Nachweise anlegen Seite 8 von 9

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

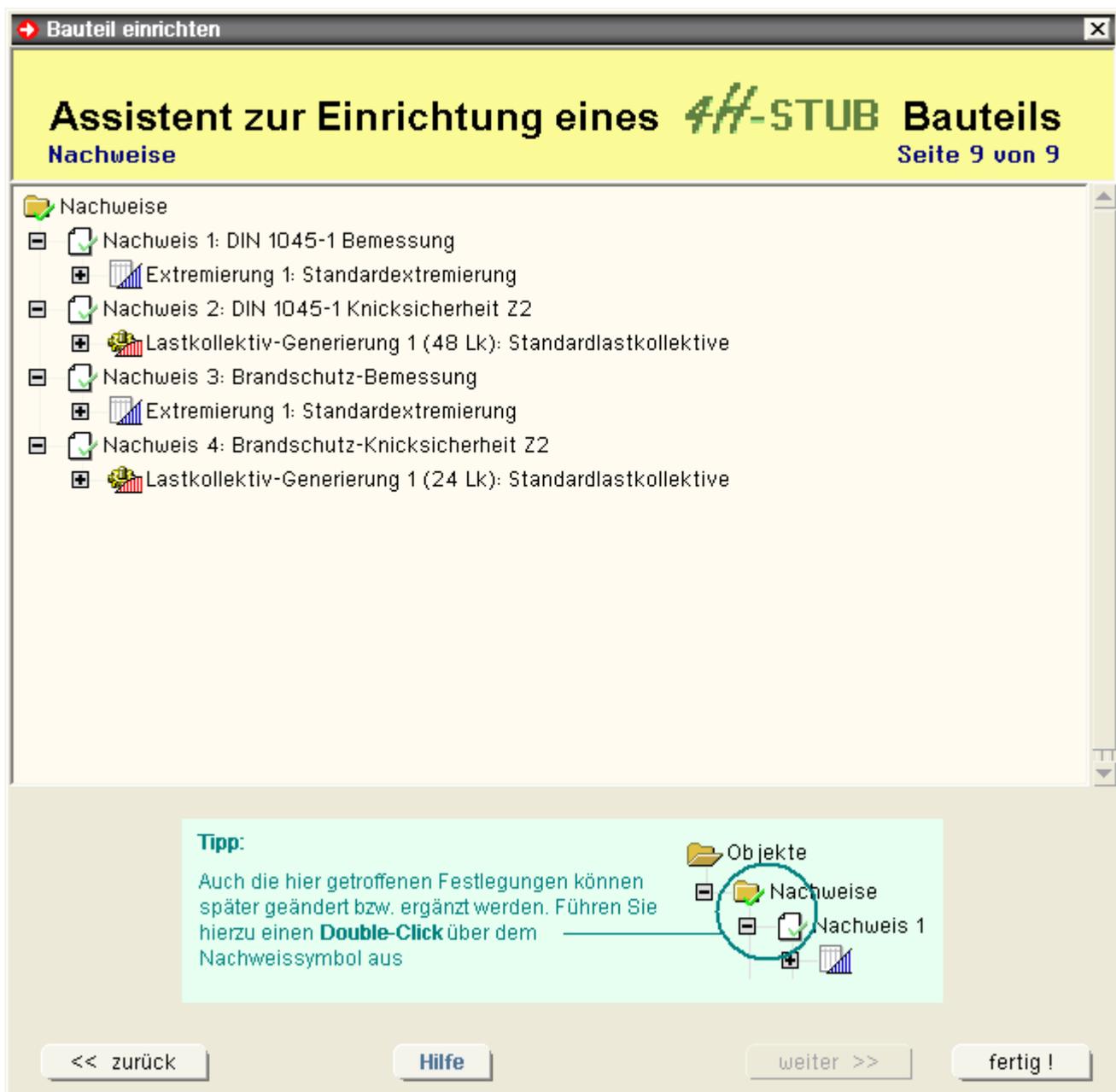
Tipp: Auch die hier getroffenen Festlegungen können später geändert bzw. ergänzt werden. Führen Sie hierzu einen **Double-Click** über dem Nachweissymbol aus



<< zurück
Hilfe
weiter >>
fertig !

• Seite 9 - Nachweise

Hier sind die auf der vorhergehenden Seite angelegten Nachweise nochmals als Baumstruktur aufgeführt. Durch Anklicken eines Eintrages gelangen Sie in die Verwaltung der Nachweise.



Nach Anklicken des **fertig!**-Buttons auf Seite 9 generiert der Assistent den gewünschten Eingabedatensatz und startet den eigentlichen Dialog, in dem die definierten Objekte in der Baumansicht wie auch im Objektfenster zur interaktiven Bearbeitung dargestellt werden.

globale Einstellungen

Durch Anklicken des oben 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.



• 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.

• 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 **4H-FUND** in der Version 2009 installiert ist, kann hier die Berechnung und Bemessung eines Einzelfundamentes unter dem Stützenfußpunkt eingeschaltet werden.

• 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.

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.

• 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.

Im vierten Register des Eigenschaftsblatts *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.

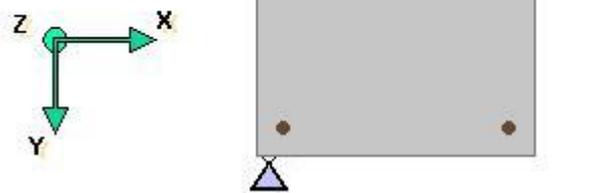
globales Koordinatensystem und Exzentrizitäten

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.

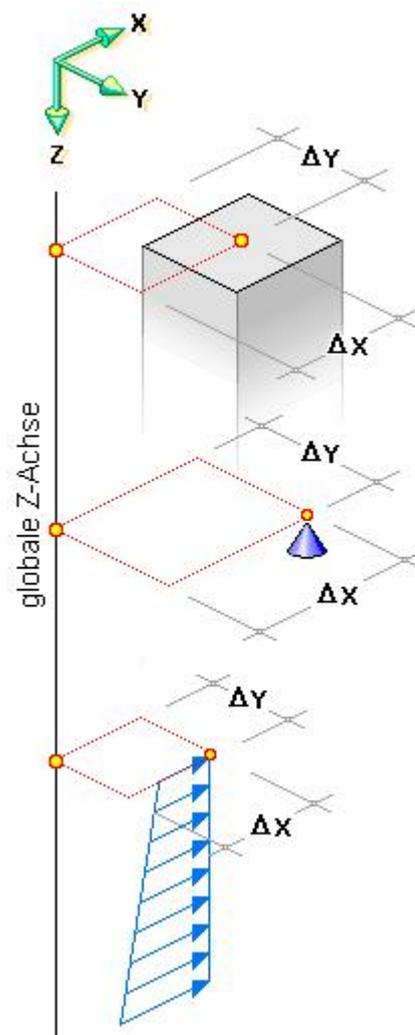
Mit Hilfe der Exzentrizitäten ΔX und ΔY können ein Abschnitt, ein Lager sowie der Angriffspunkt eines Lastbildes in der Ebene senkrecht zur Z-Achse verschoben werden.

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** kann dann bequem unter den Abschnittseigenschaften vorgenommen werden.



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 Einzellager zugeordnet werden.

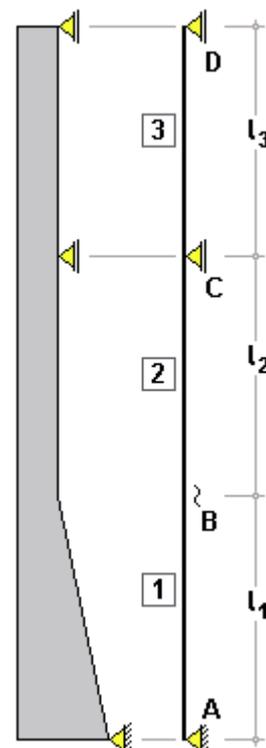
Aus diesen Randbedingungen ergibt sich die erforderliche Abschnittsteilung.

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



Belastungsstruktur

zur Belastungsstruktur s. das [pcae-Nachweiskonzept](#)

Anker und Abstände

Die geometrische Beschreibung der Lastbilder bezieht sich stets auf die gesamte Stütze und ist unabhängig von der Abschnittsteilung.

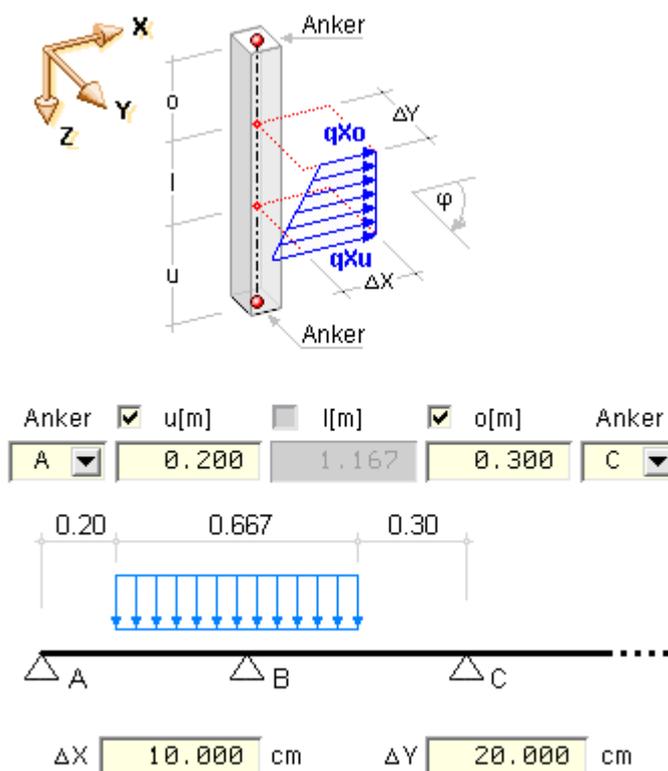
Um Teilstreckenlasten festlegen zu können, bedient man sich der Anker ggf. unter Berücksichtigung von Abständen.

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.



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.

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.



Abschnittshöhe

Im ersten Register des Eigenschaftsblatts zur Festlegung der Abschnittseigenschaften wird die Abschnittslänge bestimmt.



Abschnittslänge und Unterteilungen

Neben der Änderung der Abschnittslänge im hierfür angebotenen Eingabefeld besteht die Möglichkeit, den Trägerabschnitt zu unterteilen.

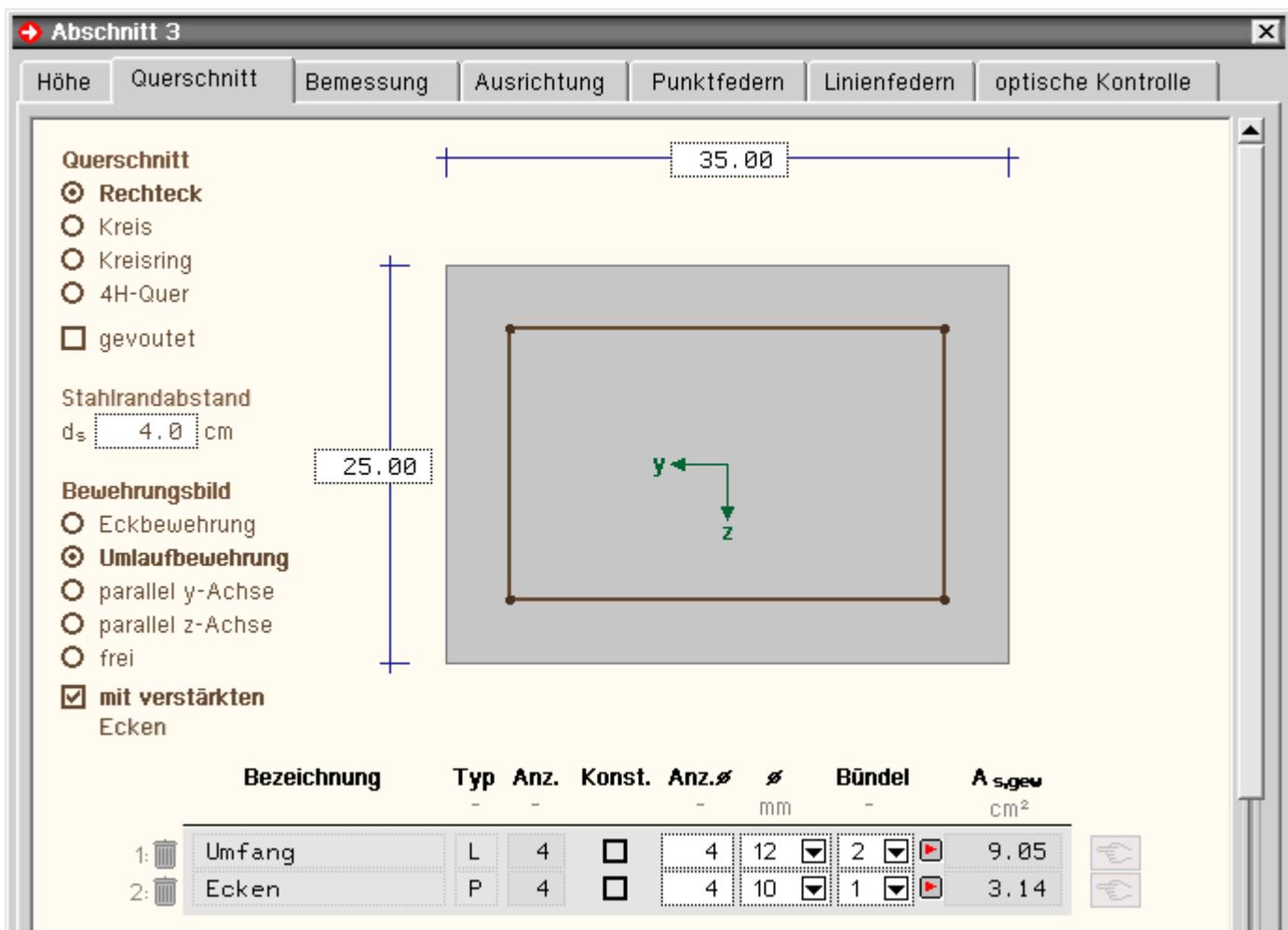
Nach Anklicken des **Scherensymbols** kann die Unterteilung regelmäßig (in äquidistanten Abständen) oder unregelmäßig erfolgen.



Eine Unterteilung ist nur erforderlich, wenn feste Lager im Bereich des Abschnitts wirken sollen oder wenn Unstetigkeiten des Querschnitts vorliegen (s. auch **Abschnitte und Lagerpunkte**)!

Querschnitt

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



Betonquerschnitt

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

Wenn das Querschnittswerteprogramm **4H-QUER** verfügbar ist, können dort weitere Querschnitte (vom Typ *dickwandig*) konstruiert und in das Stützenprogramm importiert werden.

Der Ursprung des Querschnittskoordinatensystems der typisierten Querschnitte liegt immer im Schwerpunkt.

Bei der Konstruktion von Querschnitten in 4H-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 durch die 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** ... 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 Bewehrungserhöhungen bzw. eines Bewehrungsvorschlags nicht einbezogen.

Für jede Bewehrungsgruppe ist eine Bewehrungsfläche $A_{s,gew}$ vorzugeben. Dies kann wahlweise über Vorgabe von Anzahl, Durchmesser und Bündelung geschehen oder die Bewehrungsfläche wird direkt vorgegeben. Zwischen den 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.

Hinweis

Mit diesem Querschnitt können an diesem Abschnitt folgende Nachweise geführt werden:

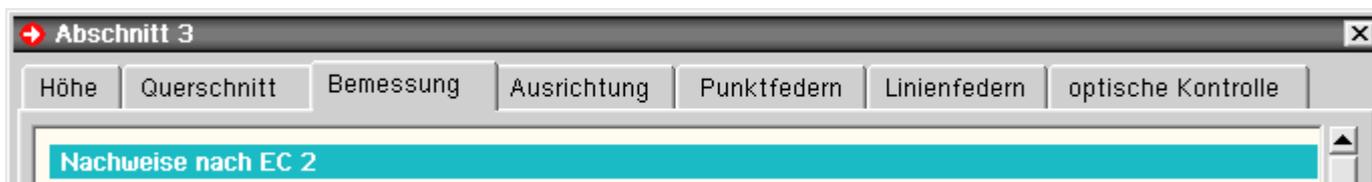
- ✓ **Biegebemessung**
Rissnachweis
- ✓ **Ermüdungsnachweis**
- ✓ **Spannungsnachweis**
- ✓ **Knicksicherheit**
- ✓ **Durchbiegung im Zustand 2**
Brandschutz Biegebemessung
- ✓ **Brandschutz Knicksicherheit**

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), übersteuern diese die an dieser Stelle definierten Werte.



Materialangaben

Zunächst sind die für sämtliche Nachweise geltenden Materialien festzulegen.

Das Registerblatt enthält weiterhin 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. Link in der Kapitelüberschrift).

Betongüte	C30/37	
α_c	0,850	
<input checked="" type="checkbox"/> Kriechen und Schwinden (nur für Knicknachweise und Nachweise im GZG)		<input type="checkbox"/> $\varphi(\infty, t_{0k})$ automatisch ermitteln
$\varphi(\infty, t_{0k})$	3,795	
für Knicknachweise:		
M_{1perm}/M_{1Ed}	0,60	
$\varphi_{eff} = \varphi(\infty, t_{0k}) M_{1perm}/M_{1Ed} =$	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 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.

Werden die Beiwerte mit dem Wert Null vorgegeben, wird Kriechen und/oder Schwinden nicht angesetzt.

Die Beiwerte können über ein Hilfswerkzeug vom Programm automatisch ermittelt werden.

Kriechen

$\varphi(\infty, t_{0k})$	3,795		<input checked="" type="checkbox"/> $\varphi(\infty, t_{0k})$ automatisch ermitteln
Zementfestigkeitsklasse	42,5 N		
relative Luftfeuchte $40\% \leq$	50	% $\leq 100\%$	
wirksame Bauteildicke h_0	15,0	cm	$h_0 = 2 A_c / u$
Belastungsbeginn t_{0k}	28	d	
für Knicknachweise:			
M_{1perm}/M_{1Ed}	0,60		
$\varphi_{eff} = \varphi(\infty, t_{0k}) M_{1perm}/M_{1Ed} =$	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.

Schwinden

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

Erläuterung der Parameter s.o.

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.

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.

Im vorliegenden 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).

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

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 $\leq d - 2 c_{v,D}$	s. Nachweisoptionen
	mit $c_{v,D}$	Betondeckung zur Längsbewehrung ($c_{v,D} > 0$)
	3.0 cm	
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) 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 (s. Nachweise verwalten,

optionale Einstellungen zur Biegebemessung).

- 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.

Brandschutzbemessung

Brandschutzbemessung

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

Brandschutzbemessung (DIN 4102)

Der tabellarische Brandschutznachweis erfolgt für DIN-Nachweise n. DIN 4102, Teil 22.

tabellarisch (DIN 4102):

Stützenlänge im Brandfall $l_{col,fi}$	4,20	m
geforderter Feuerwiderstand	R 90	<input checked="" type="checkbox"/>

Dazu sind die Stützenlänge und die geforderte Feuerwiderstandsklasse einzugeben.

Die Tabellenwerte gelten für unbedeckte Stahlbetonstützen (ein- oder mehrseitig beflammt), die in ausgesteiften 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' Tabelle 31 (s. Hosser & Richter, Betonkalender 2009, Teil 1).



Es erfolgt keine Überprüfung der Anwendungsbedingungen.

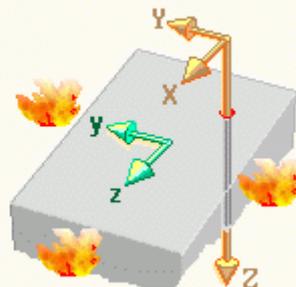
Brandschutzbemessung (EC 2)

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 im Programm erfolgen kann

- über die Auswertung der instationären Wärmetransportgleichung

instationärer 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 Anzahl dieser Zellen beeinflusst die Rechengeschwindigkeit und -genauigkeit.

Der Stahl wird nicht berücksichtigt.

Es können beliebige Brandszenarien eingestellt werden.

Die Beflammungsdauer entspricht den Bezeichnungen der Feuerwiderstandsklasse und 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

instationärer Wärmetransport Profil ermitteln

Beflammung von allen Seiten

mittlere Betontemperatur θ_c °C

mittlere Stahltemperatur θ_s °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 Seiten 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). Die materialspezifischen Kenndaten werden bei beiden Verfahren eingesetzt

Zuschlagstoff (Beton)

Quarz

Kalkstein

Herstellart (Stahl)

warmgewalzt

kaltverformt



Die Annahme von quarzhaltigen Betonzuschlagstoffen liegt auf der sicheren Seite.

Stabstahl wird i.A. warmgewalzt hergestellt.

- Zonenverfahren nach EC 2, Anh. B.2

Anzahl Zonen

geschädigte Randzone a_z 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 °C

geschädigte Randzone a_z 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.

Rissnachweis

Rissnachweis führen

Grenz- \varnothing der Längsbewehrung:

	links	rechts	
oben	16	16	mm
unten	16	16	mm

Rissbreite w_k mm

Verbund

Beiwert k_{zt}

zur Berücksichtigung des Betonalters
(=0.5: Beton 3 bis 5 Tage alt)

Der Nachweis 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 gesetzt, wird die entsprechende Bewehrungsrichtung nicht nachgewiesen.

Der Rissnachweis kann erfolgen nach

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

Die Verfahrensauswahl erfolgt nachweisglobal (s. [optionale Einstellungen](#) zum Rissnachweis).

Wesentliche 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)

Mindestbewehrung (Erstrissbildung aus unbeabsichtigtem Zwang)

Erstriss-
bildung unter zentr. Zwang
 unter Biegezwang

Indu-
zierung innerhalb
 außerhalb

Erm. des Beiwerts k zur Berücksichtigung von
nichtlinear verteilten Betonzugspannungen
(außerhalb induz., z.B. Stützensenkung: $k=1.0$)

Zur Ermittlung der Mindestbewehrung sind festzulegen

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

Begrenzung der Rissbreite (aus Lastbeanspruchung)

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

Ermüdungsnachweis

Ermüdungsnachweis führen

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

Der Nachweis 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 Biegerollendurchmessers 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 gesetzt, wird der entsprechende Nachweisteil nicht durchgeführt.

Ist der Parameter für die Längsbewehrung = 0, wird auch die Querkraftbewehrung nicht nachgewiesen.

Spannungsnachweis

Spannungsnachweis führen

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

Der Nachweis ist in zwei Teile gegliedert

- Nachweis für die Bewehrung
- Nachweis für den Beton

Der Nachweis erfordert die Eingabe der beiden, je nach Einwirkungskombination variierenden Grenzwerte

- zul σ_c für den Beton und
- zul σ_s für die Bewehrung

Ist einer der beiden Grenzwerte = 0 gesetzt, 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 Materialgütern, eingegeben werden.

Ausrichtung des Querschnitts

Im vierten Register des Eigenschaftsblatts zur Festlegung der Abschnittseigenschaften wird die Ausrichtung des Querschnitts festgelegt

Abschnitt 1

Höhe | Querschnitt | Bemessung | Ausrichtung | Punktfedern | Linienfedern

Lage des Querschnittes bezüglich der globalen Z-Achse

linear veränderlich über die Abschnittslänge

	Abschnittsanfang	Abschnittsende
Δy-Richtung	<input type="text" value="Schwerpkt."/> <input type="text" value="5.00"/> cm	<input type="text" value="Schwerpkt."/> <input type="text" value="5.00"/> cm
Δz-Richtung	<input type="text" value="Schwerpkt."/> <input type="text" value="10.00"/> cm	<input type="text" value="Schwerpkt."/> <input type="text" value="25.00"/> cm

Verdrehung φ °

Hier ist der Punkt in der Querschnittsebene festzulegen, durch den die globale Z-Achse verläuft.

S. hierzu auch *Das globale Koordinatensystem und die Exzentrizitäten*. [→](#)

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 Querschnitts.

Bei **4H-QUER**-importierten Querschnitten ist der Nullpunkt der Ursprung des Beschreibungskordinatensystems.

Bei allen anderen Querschnitten ist dies der Mittelpunkt des umgebenden Rechtecks.

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



Punktfedern

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

Abschnitt 1

Höhe | Querschnitt | Bemessung | Ausrichtung | **Punktfedern** | Linienfedern | optische Kontrolle

Punktfedern

	Ort Δx	horizontale Position (y)	vertikale Position (z)	Federtyp und Federkonstante	Verdrehung φ
	m	cm	cm	kN, m	°
1:	1.00	Nullpunkt	Nullpunkt	x-Feder	0.00
		+ 0.00 cm	+ 0.00 cm	23250.00	
2:	2.00	Nullpunkt	Nullpunkt	y-Feder	0.00
		+ 0.00 cm	+ 0.00 cm	4500.00	

neu →

Buttonfunktionen

neu → zur aktuellen Tabelle eine (weitere) Feder hinzuzufügen

die aktuell ausgewählte Feder duplizieren

... 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 Querschnitts beschrieben wurden.

S. hierzu auch Das globale Koordinatensystem und die **Exzentrizitäten**.

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 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.

Linienfedern

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

➔ Abschnitt 1
✕

Höhe

Querschnitt

Bemessung

Ausrichtung

Punktfedern

Linienfedern

optische Kontrolle

Linienfedern

Abschnitt
Strecke
A — xu — [Spring] — xo — E

an der Stelle x_u

horizontale
Position (y)
cm

vertikale
Position (z)
cm

an der Stelle x_o

horizontale
Position (y)
cm

vertikale
Position (z)
cm

veränderlich

1:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	x_u <input type="text" value="0.00"/> x_o <input type="text" value="4.00"/>	<input checked="" type="checkbox"/> + <input type="text" value="3.00"/> cm + <input type="text" value="-5.00"/> cm	<input checked="" type="checkbox"/> + <input type="text" value="0.00"/> cm + <input type="text" value="0.00"/> cm	<input type="checkbox"/>			
		Federtyp <input type="text" value="x-Feder"/>	Federkonstante <input type="text" value="0.00"/> kN, m	φ <input type="text" value="0.00"/> °				
2:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	x_u <input type="text" value="0.00"/> x_o <input type="text" value="4.00"/>	<input checked="" type="checkbox"/> + <input type="text" value="3.00"/> cm + <input type="text" value="-5.00"/> cm	<input checked="" type="checkbox"/> + <input type="text" value="0.00"/> cm + <input type="text" value="0.00"/> cm	<input type="checkbox"/>			
		Federtyp <input type="text" value="y-Feder"/>	Federkonstante <input type="text" value="5500.00"/> kN, m	φ <input type="text" value="0.00"/> °				

neu ➔

Buttonfunktionen

neu ➔ zur aktuellen Tabelle eine (weitere) Feder hinzuzufügen

die aktuell ausgewählte Feder duplizieren

... löschen

x_u und x_o beschreiben den Wirkungsbereich der Linienfeder in Längsrichtung, der sich auf den Bereich des Abschnitts beschränken muss. 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**.

Ist die Position der Feder in der Querschnittsebene über die Lauflänge linear veränderlich, muss sie am Anfangspunkt (an der Stelle x_u) und am Endpunkt (an der Stelle $l-x_o$) beschrieben werden. Hierzu ist das Kontrollkästchen in der Spalte *veränderlich* zu aktivieren.

Als Federtyp kann eine Verschiebungsfeder in x-, y- bzw. z-Richtung in kN/m^2 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.

optische Kontrolle

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

Abschnitt 1

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

ABSCHNITT 1
 $x_u = 0 \text{ m}$, $x_o = 5.5 \text{ m}$, $l = 5.5 \text{ m}$
VERSCHIEBUNG IN DER XY-EBENE
 y-Richtung: Schwerpunkt + 5 cm $\Rightarrow \Delta y = 5 \text{ cm}$
 z-Richtung: Schwerpunkt + 10 cm $\Rightarrow \Delta z = 10 \text{ cm}$
 XY-Richtung: $\varphi = 10^\circ \Rightarrow \Delta X = 10.72 \text{ cm}$, $\Delta Y = 3.19 \text{ cm}$
QUERSCHNITT
 Rechteck
QUERSCHNITTSWERTE
 Abmessungen
 $y_{\min} = -17.5 \text{ cm}$, $y_{\max} = 17.5 \text{ cm}$, $z_{\min} = -15 \text{ cm}$, $z_{\max} = 15 \text{ cm}$
 $A = 1050 \text{ cm}^2$, $b_y = 35 \text{ cm}$, $b_z = 30 \text{ cm}$
 Schwerpunkt und Trägheitsmomente
 $y_s = 0 \text{ cm}$, $z_s = 0 \text{ cm}$, $\alpha = 0^\circ$
 $I_y = 78750 \text{ cm}^4$, $I_z = 107188 \text{ cm}^4$
BEWEHRUNG
 Umfang, 4 Linien, $A_{s,\text{gew}} = 12.57 \text{ cm}^2$
 Ecken, 4 Punkte, $A_{s,\text{gew}} = 12.57 \text{ cm}^2$

Δx 0.000

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 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

Lagerpunkteigenschaften

Im Eigenschaftsblatt der Lagerpunkte werden die Lagerangaben festgelegt.

Auflager A

VERSCHIEBUNGS-BEHINDERUNG				VERDREHUNGS-BEHINDERUNG			
X			0.00	X			0.00
Y			0.00	Y			0.00
Z			120.00	Z			0.00
			Federkonstanten in kN/m				Federkonstanten in kNm/rad

Exzentrizität bzgl. Systemachse

ΔX 0.00 cm ΔY 0.00 cm XY-Verdrehung φ 0.00 °

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

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

werden jeweils drei Schalter angeboten, mit denen die zugeordnete Verformung gänzlich unterbunden (starres Lager, linker Schalter), von einer Feder gedämpft (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 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](#).

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 [Baumansichtsfenster](#) oder im [Objektfenster](#) einen Doppelklick über dem Objekt aus



um **mehrere bestehende** Streckenlasten 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 [Streckenlastsymbol](#).

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

➔ Neue Linienlast erzeugen
✕

Lastart

Streckenlasten in X-Richtung

Ort und Ausmitten

Anker	<input checked="" type="checkbox"/>	u[m]	<input type="checkbox"/>	l[m]	<input type="checkbox"/>	o[m]	<input checked="" type="checkbox"/>	Anker
A	▼	0.000		0.833		0.000		B
ΔX		0.000	cm	ΔY		0.000	cm	

Lastordinaten

qXo	10.000	kN/m	φ	0.00	°
qXu	10.000	kN/m			

Lastfallzuordnung

1: ständige Lasten	1: g
--------------------	------

✖
🗑️
?
✔️

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**.

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 Eigenschaftsblatts werden die so editierten Eigenschaften der Streckenlast (im Falle der Vereinheitlichung: von allen ausgewählten Streckenlasten) übernommen.

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 **Baumansichtsfenster** oder im **Objektfenster** einen Doppelklick über dem Punktlast-Objekt aus



um **mehrere bestehende** Punktlasten 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 **Punktlastsymbol**.

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

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 $\Delta \varphi_x$,
- ... Δu_y in Kombination mit einer Zwangsverdrehung $\Delta \varphi_z$,
- ... Δu_z in Kombination mit einer Zwangsverdrehung $\Delta \varphi_y$,
- Verschiebungssprung Δu_x in Kombination mit einem Verdrehungssprung $\Delta \varphi_x$,
- ... Δu_y in Kombination mit einem Verdrehungssprung $\Delta \varphi_z$ und
- ... Δu_z in Kombination mit einem Verdrehungssprung $\Delta \varphi_y$

unterschieden. Das 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 Eigenschaftsblatts 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](#).

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 Eigenschaftsblatts werden die so editierten Eigenschaften der Punktlast (im Falle der Vereinheitlichung: von allen ausgewählten Punktlasten) übernommen.

Imperfektionsbilder



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

um ein **bestehendes** Imperfektionsbild zu bearbeiten, führen Sie im **Baumansichtsfenster** oder im **Objektfenster** 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 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](#).

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.

Für die Erzeugung typischer, baupraktisch auftretender Imperfektionen kann mit dem **berechnen**-Button eine **Berechnungshilfe** für die Stützwerte aufgerufen

The image shows a rectangular button with a light gray background and a thin black border. The text 'Stützwerte' is on the left and 'berechnen' is on the right, separated by a small gap. The button is positioned to the right of the main text block.

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 Eigenschaftsblatts werden die so editierten Eigenschaften von dem Imperfektionsbild (im Falle der Vereinheitlichung: von allen ausgewählten Imperfektionsbildern) übernommen.

Imperfektion berechnen

Zur Erzeugung von typischen, baupraktisch auftretenden Imperfektionen kann vom Eigenschaftsblatt zur Bearbeitung der **Imperfektionsbildeigenschaften** diese Berechnungshilfe für die Stützwerte aufgerufen werden.

➔ 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: $l_0 = 10.00$ m

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

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

Schiefstellung gegen die Sollachse: $\alpha_{a1} = 0.447$ %

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

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

Reduktionsfaktor aus n: $\alpha_n = 1.000$

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

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

Ungewollte Lastausmitte: $e_a = 22.361$ mm

Vorkrümmung nach DIN 1045-1, Kapitel 8.6.4

Schiefstellung nach EC2, Kapitel 5.2

Vorkrümmung nach EC2, Kapitel 5.2

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



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

Nachweisführung

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 4H-STUB verfügt über folgende vordefinierte Nachweistypen (Basisnachweise).

Nachweise Th. I. Ord.

♦ EC 2	Bemessung	Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) <ul style="list-style-type: none"> ♦ Nachweis für Biegung mit/ohne Längskraft ♦ ... Querkraft mit/ohne Torsion ♦ Einstufung in eine Feuerwiderstandsklasse nach DIN 4102 (nicht bei dem Eurocode-Nachweis) ♦ Ermittlung der Querschnittsausnutzung
	Spannungsnachweis	Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) <ul style="list-style-type: none"> ♦ Nachweis für die maximale Stahlzugspannung ♦ Nachweis für die minimale Betondruckspannung
	Rissnachweis	Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) <ul style="list-style-type: none"> ♦ Ermittlung der Mindestbewehrung unter unbeabsichtigter Zwangsbeanspruchung (Erstrissbildung) ♦ Endrissbildung unter Lastbeanspruchung
	Ermüdungsnachweis	Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG, Quasi-Tragfähigkeit) <ul style="list-style-type: none"> ♦ Nachweis für die Längs- und Querkraftbewehrung ♦ Nachweis für den Beton
	Brandschutz-Bem.	Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit <ul style="list-style-type: none"> ♦ Zonenverfahren nach Eurocode 2 (Brandfall) ♦ vereinfachtes allgemeines Rechenverfahren
	Schnittgrößenermittlg. (Th. I. Ord.)	Der Nachweistyp <i>Schnittgrößenermittlung</i> ist ein Pseudo-Nachweis in dem keine materialspezifischen Nachweise geführt werden. Der Nachweistyp ermöglicht jedoch, die Schnittgrößen und Verformungen aller Stäbe mit einer Extremierung oder einem Lastkollektiv zu berechnen und darzustellen. Der Nachweistyp kann darüber hinaus dazu verwendet werden, extreme Auflagergrößen zur Weiterleitung zu berechnen.
♦ DIN 1045-1	Bemessung	Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) <ul style="list-style-type: none"> ♦ Nachweis für Biegung mit/ohne Längskraft ♦ ... Querkraft mit/ohne Torsion ♦ Einstufung in eine Feuerwiderstandsklasse nach DIN 4102 (nicht bei dem Eurocode-Nachweis) ♦ Ermittlung der Querschnittsausnutzung
	Spannungsnachweis	Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) <ul style="list-style-type: none"> ♦ Nachweis für die maximale Stahlzugspannung ♦ Nachweis für die minimale Betondruckspannung
	Rissnachweis	Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) <ul style="list-style-type: none"> ♦ Ermittlung der Mindestbewehrung unter unbeabsichtigter Zwangsbeanspruchung (Erstrissbildung) ♦ Endrissbildung unter Lastbeanspruchung
	Ermüdungsnachweis	Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG, Quasi-Tragfähigkeit) <ul style="list-style-type: none"> ♦ Nachweis für die Längs- und Querkraftbewehrung ♦ Nachweis für den Beton

Nachweise Th. II. Ord. - u.U. im Zustand 2 (Kennung Z 2)

♦ EC 2	Knicksicherheit Z2	Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) <ul style="list-style-type: none"> ♦ Knickuntersuchung im Zustand 2 unter Berücksichtigung der Systemverformungen (Th. II. Ord.)
	Durchbiegung Z2	Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit <ul style="list-style-type: none"> ♦ Ermittlung der Systemverformungen im Zustand 2 (Th. II. Ord.)

**Brandschutz-
Knicksicherheit Z2**

Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

- Knickuntersuchung im Zustand 2 unter Berücksichtigung der Systemverformungen (Th. II. Ord.)
- Zonenverfahren
- vereinfachtes allgemeines Rechenverfahren

Schnittgrößenermittlg.
(Th. II. Ord.)Der Nachweistyp *Schnittgrößenermittlung* ist ein Pseudo-Nachweis in dem keine materialspezifischen Nachweise geführt werden.

Der Nachweistyp ermöglicht jedoch, die Schnittgrößen und Verformungen aller Stäbe mit einer Extremierung oder einem Lastkollektiv zu berechnen und darzustellen.

Der Nachweistyp kann darüber hinaus dazu verwendet werden, extreme Auflagergrößen zur Weiterleitung zu berechnen.

• **DIN 1045-1 Knicksicherheit Z2**

Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

- Knickuntersuchung im Zustand 2 unter Berücksichtigung der Systemverformungen (Th. II. Ord.)

Durchbiegung Z2

Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

- Ermittlung der Systemverformungen im Zustand 2 (Th. II. Ord.)

Literatur: das [pcae-Nachweiskonzept](#)Unter den optionalen Einstellungen der einzelnen Nachweise können ausgewählte Bemessungsparameter nachweisglobal gesetzt werden. Die entsprechenden [stabbezogenen](#) Nachweisparameter werden dann ignoriert.Theoretische Hintergrundinformationen zu den einzelnen Nachweisen s. unter [Stahlbetontheorie](#).**Steuerung des Berechnungsablaufs**

Dieses Eigenschaftsblatt dient der 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

Bewehrungswahl

Register zur Verwaltung aller Bewehrungsgruppen von allen Abschnitten

erf. Bewehrung

dieses Register dokumentiert die Ermittlung des Bewehrungsvorschlags aus dem letzten Rechengang

Protokoll

dieses Register protokolliert den Fortschritt der Berechnung

**Fehler und
Warnungen**

im letzten Register werden die Fehlermeldungen und Warnungen des letzten Rechengangs protokolliert

Oberhalb des Registers sind die Steuerbuttons angeordnet.



mit Anklicken dieses Symbols wird die Berechnung gestartet



... können die aktuellen Einstellungen im ersten Register und die aktuell gewählte Bewehrung im zweiten Register übernommen werden, ohne dass das Eigenschaftsblatt verlassen werden muss



... wird der Zustand von Einstellungen und Bewehrung im ersten und zweiten Register wieder hergestellt, der zuletzt übernommen wurde. 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 dies Onlinehilfe auf



über dieses Symbol mit der Funktion *bestätigen* wird das Eigenschaftsblatt verlassen und der aktuelle Datenzustand im ersten und zweiten Register übernommen

Berechnung - Einstellungen

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

+ Berechnung
x

→
↶
✗
?
✓

Einstellungen
Bewehrungswahl
Berechnung erf. Bewehrung
Berechnung Protokoll
Berechnung Fehler und Warnungen

Berechnungsmodus

Nachweis der gewählten Bewehrung

Iterative Ermittlung eines Bewehrungsvorschlages

Maximale Anzahl an Erhöhungsschritten

gewählte Bewehrung automatisch anpassen

Einschränkung des Erhöhung je Erhöhungsschritt durch Unter- und Obergrenzen

mit absoluten Werten [in cm²]

mit prozentualen Werten [in %]

	minimal	maximal
absolut	<input style="width: 50px;" type="text" value="2.00"/> cm ²	<input style="width: 50px;" type="text" value="8.00"/> cm ²
prozentual	<input style="width: 50px;" type="text" value="5.00"/> %	<input style="width: 50px;" type="text" value="10.00"/> %

Maximaler Bewehrungsgrad

max ρ_l %

Vorgaben für die Bewehrungswahl

Bewehrungsbündel zugelassen

Minimaler Stabdurchmesser ▼

Maximaler Stabdurchmesser ▼

Berechnungsmodus

Wird der Rechenlauf gestartet, werden alle Nachweise auf Basis der aktuell gewählten Bewehrung geführt.

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 für den Bewehrungsvorschlag sinnvoll, 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, wird dies im Register *Protokoll* bzw. im Register *Fehler und Warnungen* angezeigt, und 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.

Berechnung - Bewehrungswahl

In diesem Register können die Bewehrungsquerschnitte aller Bewehrungsgruppen aus allen Abschnitten verwaltet werden.

Die Eingabemöglichkeiten sind analog zur Querschnittseingabe. 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, ist dies rot markiert.

Abschnitt 1						
Bewehrungsgruppe	Konst.	Anz.	Ø	Bündel	A _{s,gew} [cm ²]	A _{s,not} [cm ²]
Umfang	<input type="checkbox"/>	30	10	1	12.57	< 19.80
Σ					12.57	19.80

Liegt ein Bewehrungsvorschlag vor, kann er durch Betätigen des Buttons 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.

Bewehrung automatisch wählen

Liegt ein Bewehrungsvorschlag vor, kann er durch Betätigen des nebenstehenden Buttons 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.

Berechnung - erforderliche Bewehrung

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

Abschnitt 1									
Bewehrungsgruppe	$A_{s,cal}$	$A_{s,b}^I$	ΔA_s	$A_{s,b}^{II}$	$A_{s,k}$	$\Delta A_{s,erf}$	$\Delta A_{s,Min}$	$\Delta A_{s,Max}$	$A_{s,next}$
Umfang	18.00	0.58	32.81	0.52	-	32.81	0.90	1.80	19.80

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 nach Theorie I. Ordnung
ΔA_s	erf. Erhöhung aus linearen Gebrauchstauglichkeitsnachweisen
$A_{s,b}^{II}$	erf. Bewehrung aus Biegebemessung n. Th. II. Ord. im Nachgang eines Stabilitätsnachweises
$A_{s,k}$	erf. Bewehrung zur Stabilisierung bei Systemversagen
$\Delta A_{s,erf}$	resultierende erf. Bewehrungserhöhung aus allen Ergebnissen
$\Delta A_{s,Min}$ $\Delta A_{s,Max}$	Einschränkung der erf. Bewehrungserhöhung zur Ermittlung des Bewehrungsvorschlags
$A_{s,next}$	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.

Berechnung - 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.

Berechnung erf. Bewehrung					Berechnung Protokoll		Berechnung Fehler und Warnungen		
ESC-Taste >>> Abbruch der Berechnung									
Nachweis 1: EC 2 Bemessung Nachweis 2: EC 2 Rissnachweis Nachweis 3: EC 2 Ermüdungsnachweis Nachweis 4: EC 2 Spannungsnachweis Nachweis 7: EC 2 Brandschutz-Bemessung									

Berechnung - Fehlermeldungen und Warnungen

Dieses Register enthält das Protokoll aller Fehlermeldungen und Warnungen des letzten Rechengangs.
Ist hier nichts vermerkt, wurden alle Nachweise erfolgreich durchgeführt.



Ergebnispräsentation



Der Inhalt des Ergebnisfensters dient dazu, die Ergebnisse des gegebenen Systems jederzeit zu kontrollieren.

Man beachte, dass der Inhalt des Fenster stark von den in eckigen Klammern gesetzten Steuerelementen in der Kopfzeile abhängt!

Näheres hierzu s.: Das [Ergebnisfenster](#) und [Ergebnistypauswahl](#) und verwendete Koordinatensysteme

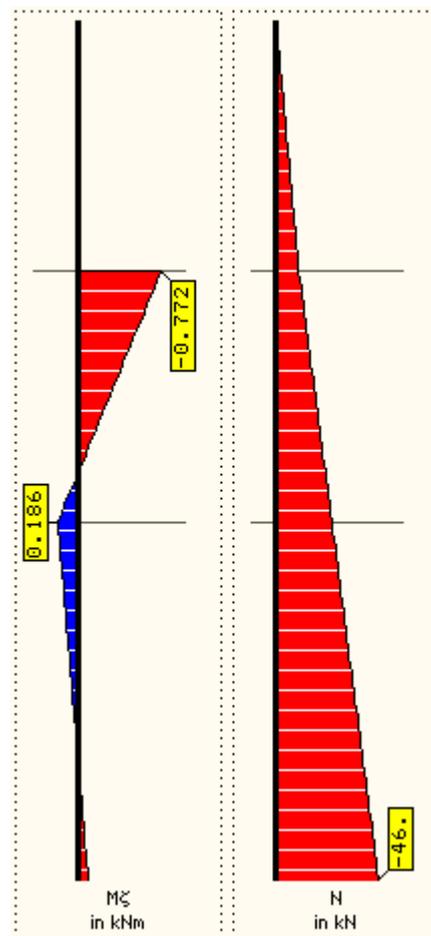


Um die Ergebnisse numerisch zu studieren, bietet sich die Einsichtnahme der Druckliste an.



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



Darstellungsoptionen im Ergebnisfenster

Um den Inhalt des Ergebnisfensters bzgl. Auswahl und Form zu verändern, klicken Sie auf das oben dargestellte Symbol [Ergebnistypauswahl](#).

In dem hierdurch hervorgerufenen Eigenschaftsblatt finden Sie eine große Anzahl darstellbarer Ergebnistypen, die im Ergebnisfenster ein- oder ausgeblendet werden können.



um die Grafiken im Ergebnisfenster zu skalieren, klicken Sie auf den im Eigenschaftsblatt unten angebotenen [Bearbeitungsbutton](#)

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

Die im Ergebnisfenster verwendeten Koordinatensysteme sind rechtshändig und orthogonal.

grün (in nebenstehender Skizze)

Das in Großbuchstaben geschriebene **X-Y-Z**-Koordinatensystem ist das

globale, ortsfeste Koordinatensystem.

Von diesem Koordinatensystem gehen sämtliche geometrischen Beschreibungen aus.

Die globale Z-Achse zeigt in der Systemdarstellung nach unten.

blau

Das in Kleinbuchstaben geschriebene **x-y-z**-Koordinatensystem ist das Querschnittsbeschreibungskordinatensystem, dessen **x**-Achse in die entgegengesetzte Richtung der globalen **Z**-Achse zeigt; 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.

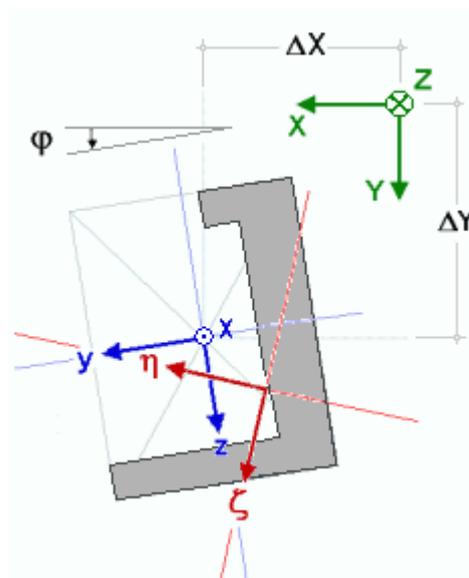
Entsprechende Festlegungen trifft der Benutzer abschnittsweise im Register **Ausrichtung** des Eigenschaftsblatts zur Beschreibung der Abschnitte.

Man beachte, dass der Nullpunkt des **x-y-z**-Systems bei Standardprofilen und parametrisiert beschriebenen Querschnitten immer dem Mittelpunkt des umgebenden Rechtecks entspricht!

Allein bei aus **4H-QUER** importieren Querschnitten wird das vom Benutzer bei der Konstruktion gewählte Koordinatensystem verwendet.

rot

Das **I- η - ζ** -Koordinatensystem ist das in die Hauptträgheitsachsen gedrehte Querschnittskordinatensystem, dessen Nullpunkt im Schwerpunkt des Querschnitts liegt.



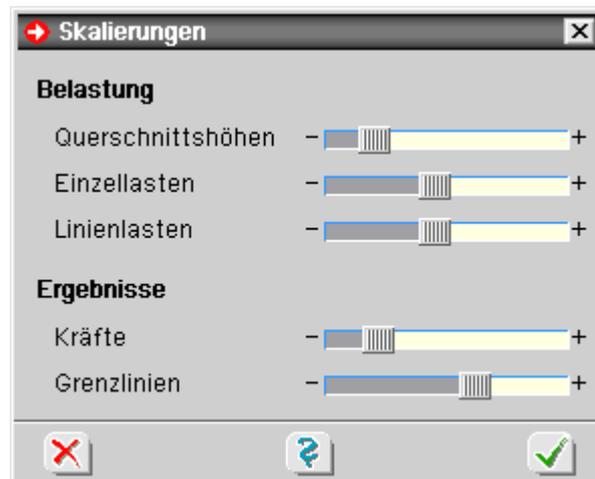
Skalierung der Grafiken

Im Eigenschaftsblatt *Skalierungen* kann die Größe der System- und Ergebnisgrafiken mittels Schiebeschalter angepasst werden.

Der Schalter **Querschnittshöhen** wirkt sich auf die Systemdarstellung der Stütze und in den Lastgrafiken aus.

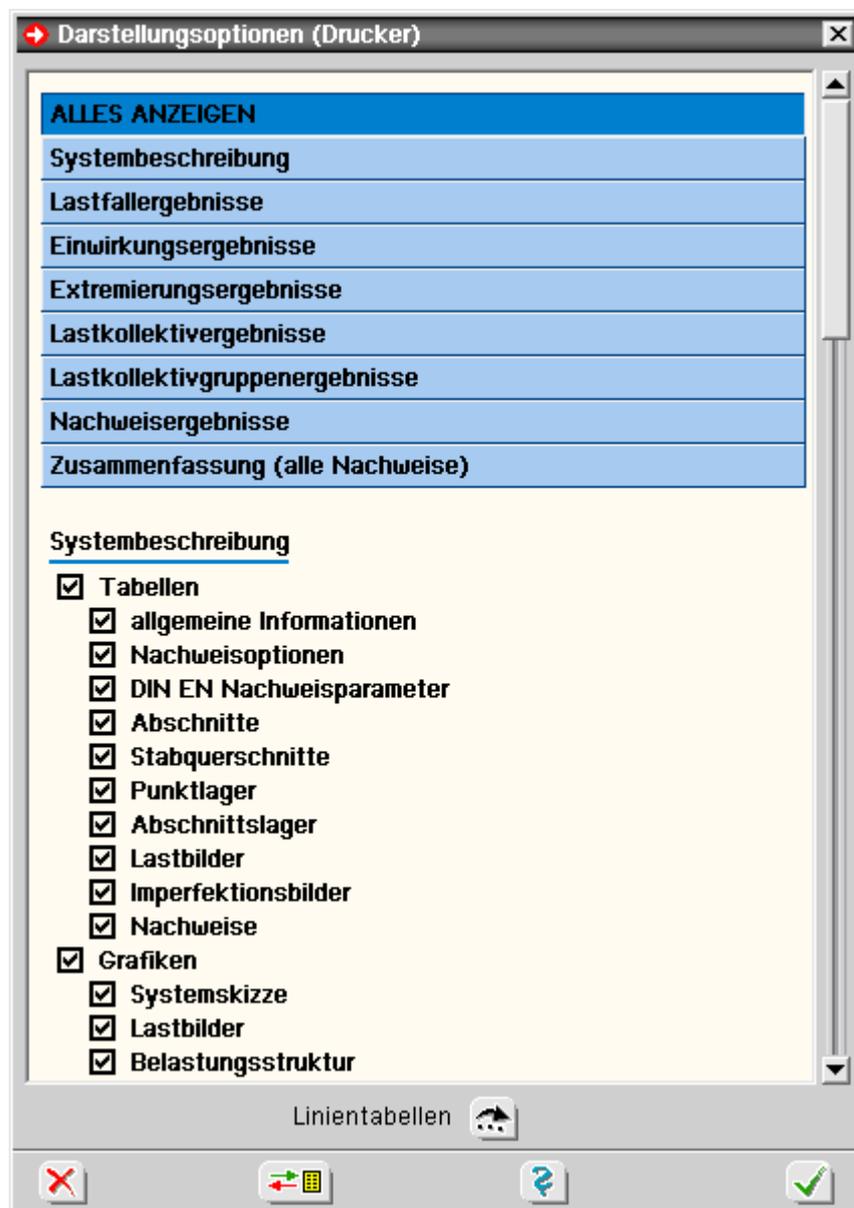
Die Schalter **Einzellasten** und **Linienlasten** verkleinern oder vergrößern die Darstellung der Lastbilder in den Lastgrafiken.

Für die Ergebnisdarstellung gibt es unterschiedliche Einstellungsmöglichkeiten für Kräfte (z.B. Auflagerreaktionen) und Grenzlinien.



Ausgabeoptionen für Ergebnisdruckliste

In diesem Eigenschaftsblatt wird der Umfang der Ergebnisdruckliste festgelegt.



Theorie

Das Programm 4H-STUB berechnet Stahlbetondurchlaufstützen nach der Elastizitätstheorie II. Ordnung.

Für die räumlich belastete Stütze werden Verformungen und Schnittgrößen unter Berücksichtigung von Imperfektionen ermittelt.

Die Stütze wird im globalen X-Y-Z-Koordinatensystem beschrieben, das zur Ausrichtung und Vermessung der Abschnitte, Lager und Lastbilder dient.

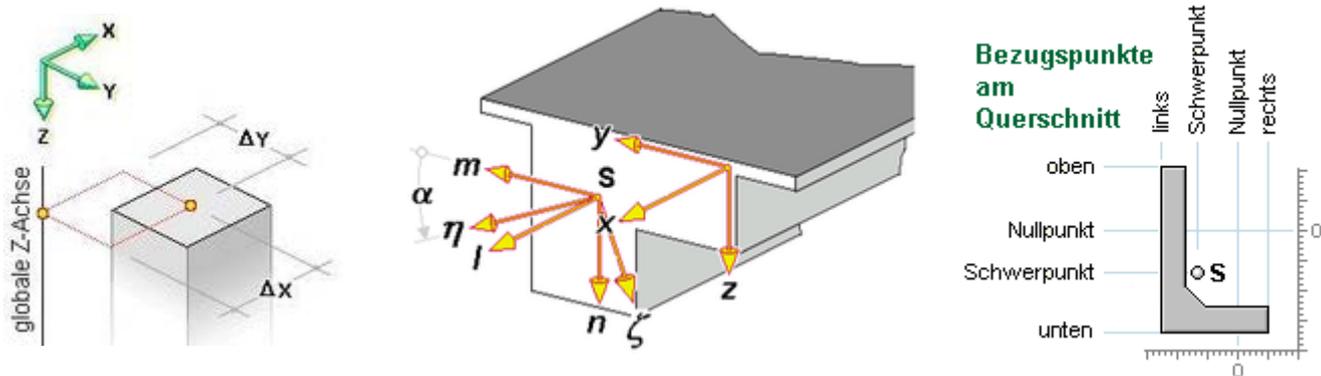
Die Z-Achse zeigt in Längsrichtung der Stütze von oben nach unten.

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 **4H-QUER** konstruierte Querschnitte) verfügen zur bequemen Eingabe über ein lokales yz-Beschreibungskordinatensystem.

In der globalen XY-Ebene kann der Querschnitt beliebig ausgerichtet und gedreht werden.



Koordinatensysteme

Die klassische Stabtheorie geht von der Formhaltung des Querschnitts aus.

Die Querschnittslage lässt sich im lokalen xyz-Querschnittskordinatensystem 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-Beschreibungskordinatensystem gibt es 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

$$\begin{pmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_{xS} \\ u_{yS} \\ u_{zS} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -\varphi_z + 0.5 \cdot \varphi_x \cdot \varphi_y & \varphi_y + 0.5 \cdot \varphi_x \cdot \varphi_z \\ -0.5 \cdot (\varphi_x^2 + \varphi_z^2) & -\varphi_x + 0.5 \cdot \varphi_y \cdot \varphi_z \\ \varphi_x + 0.5 \cdot \varphi_y \cdot \varphi_z & -0.5 \cdot (\varphi_x^2 + \varphi_y^2) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} y - y_S \\ z - z_S \end{pmatrix}$$

Wegen der Normalenhypothese folgt aus

$$\varphi_y = -u_z' \cdot (1 - u_x') + 0.5 \cdot u_y' \cdot \varphi_x \quad \dots \quad \text{und} \quad \dots \quad \varphi_z = u_y' \cdot (1 - u_x') + 0.5 \cdot u_z' \cdot \varphi_x$$

unter Vernachlässigung von u_x' die Beziehung

$$\begin{pmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_{xS} \\ u_{yS} \\ u_{zS} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -u_y' - u_z' \cdot \varphi_x & -u_z' + u_y' \cdot \varphi_x \\ -0.5 \cdot (\varphi_x^2 + u_y'^2) & -\varphi_x - 0.5 \cdot u_y' \cdot u_z' \\ \varphi_x + 0.5 \cdot u_y' \cdot u_z' & -0.5 \cdot (\varphi_x^2 + u_z'^2) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} y - y_S \\ z - z_S \end{pmatrix}$$

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).

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

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

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

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

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

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

Bei 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-Dehnungsbez.	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	$\left(2 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right) \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} \cdot f_y$	$\left(2 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right) \cdot \frac{f_y}{\varepsilon_y}$	$2 \cdot \frac{f_y}{\varepsilon_y}$
wirklichkeitsnah	$\frac{\left(k - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right) \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} \cdot f_y}{1 + (k-2) \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}}$	$\frac{\left(k - \left(2 + (k-2) \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right) \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right) \cdot \frac{f_y}{\varepsilon_y}}{\left(1 + (k-2) \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right)^2}$	$k \cdot \frac{f_y}{\varepsilon_y}$
heiße Bemessung	$\frac{3 \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}}{2 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right)^3} \cdot f_y$	$\frac{6 \cdot \left(1 - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right)^3\right)}{\left(2 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right)^3\right)^2} \cdot \frac{f_y}{\varepsilon_y}$	$\frac{3 \cdot f_y}{2 \cdot \varepsilon_y}$

Bei Berechnungen im Zustand 2 (gerissene Zugzone) ändern sich die inkrementellen Steifigkeiten in Abhängigkeit des Dehnungszustands.

Ebenso variiert die Lagen des Schwerpunkts und der Hauptachsen des inkrementellen Stoffgesetzes.

Die Ergebnisse in 4H-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

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

Für die Schnittgrößen des Hauptachsensystems im Schwerpunkt entkoppeln sich die Gleichungen

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

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 ($u = u_{xM}$, $v = u_{yM}$, $w = u_{zM}$, $\varphi = \varphi_x$)

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

Die externe virtuelle Arbeit lässt sich folgendermaßen angeben

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

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

$$\begin{pmatrix} \Delta m_x \\ \Delta m_y \\ \Delta m_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & e_z & -e_y \\ -e_z & 0 & e_x \\ e_y & -e_x & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -p_y \cdot e_y - p_z \cdot e_z & p_x \cdot e_y & p_x \cdot e_z \\ p_x \cdot e_y & -p_x \cdot e_x - p_z \cdot e_z & 0.5 \cdot (p_z \cdot e_y + p_y \cdot e_z) \\ p_x \cdot e_z & 0.5 \cdot (p_z \cdot e_y + p_y \cdot e_z) & -p_x \cdot e_y - p_z \cdot e_y \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varphi \\ -w' \\ v' \end{pmatrix}$$

Knicken

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

$$\Delta m_z = -N \cdot v' \quad \dots \quad \text{und} \quad \dots \quad \Delta m_y = -N \cdot w'$$

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

$$\Delta q_y = N \cdot v'' \quad \dots \quad \Delta q_z = N \cdot w'' \quad \dots \quad \Delta F_{ya} = N \cdot v'_a \quad \dots \quad \Delta F_{ye} = -N \cdot v'_e \quad \dots \quad \Delta F_{za} = N \cdot w'_a \quad \dots \quad \Delta F_{ze} = -N \cdot w'_e$$

Setzt man in diese Beziehungen die Verformungen der Imperfektionen *Schiefstellung* oder *Vorkrümmung* ein, erhält man die Ersatzlasten nach Norm.

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-Dehnungsbeziehung für den Beton erhält man für die Normalkraft

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

Daraus lässt sich die Dehnung berechnen

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

Als effektive Fläche erhält man dann

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

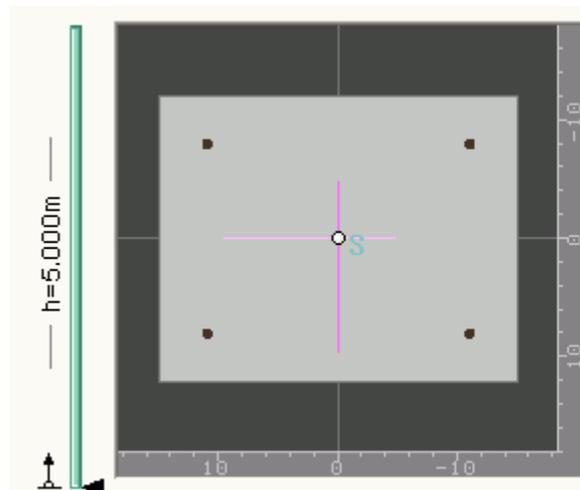
Für die effektive Steifigkeit um die y-Achse ergibt sich dann (Rechteckquerschnitt mit der Höhe h und der Breite b , Eckbewehrung mit dem Randabstand d_s)

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

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 C30/37 und Längsbewehrung aus BSt 500 mit der Normalkraft $N_{Ed} = -2500$ kN mit 4H-STUB berechnet.

**ABSCHNITT 1**

$x_u = 0$ m, $x_o = 5$ m, $l = 5$ m

VERSCHIEBUNG IN DER XY-EBENE

y-Richtung: Nullpunkt $\Rightarrow \Delta y = 0$ cm

z-Richtung: Nullpunkt $\Rightarrow \Delta z = 0$ cm

QUERSCHNITT

Rechteck

QUERSCHNITTSWERTE

Abmessungen

$y_{min} = -15$ cm, $y_{max} = 15$ cm, $z_{min} = -12$ cm, $z_{max} = 12$ cm

$A = 720$ cm², $b_y = 30$ cm, $b_z = 24$ cm

Schwerpunkt und Trägheitsmomente

$y_s = 0$ cm, $z_s = 0$ cm, $\alpha = 0^\circ$

$I_\eta = 34560$ cm⁴, $I_\zeta = 54000$ cm⁴

BEWEHRUNG

Ecken, 4 Punkte, $A_{s,gew} = 37.00$ cm²

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_η kN	Q_ζ kN	T kNm	M_η kNm	M_ζ 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, $M_{\eta Ed} = 0.00$ kNm, $M_{\zeta Ed} = 0.00$ 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): $A_{sb1p} = 31.90$ cm², $a_{sb11} = 0.00$ cm²/m, $A_{sb1} = 31.90$ 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!

zur Hauptseite *4H-STUB* [.....](#)



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