

# INCA2

*Interactive Nonlinear Cross Section Analysis Biaxial*

*Berechnung beliebiger  
Massivbauquerschnitte*

=====

1. **Einleitung**
2. **Eingabe**  
System, Lastfall, Baustoffe etc.
3. **Bearbeiten**  
Schieben, Spiegeln, Rotieren
4. **Ergebnisse**  
numerisch, grafisch
5. **Menü Extras**
6. **Modellierung der Baustoffe**
7. **Rechenalgorithmen**
8. **Beispiele**
9. **Autoren**

© Dr.-Ing. Uwe Pfeiffer, Technische Universität Hamburg-Harburg

letzte Änderung: 04.02.2006

## *1. Einleitung*

Dieses Programm dient der **interaktiven Berechnung** beliebig zusammengesetzter Querschnitte unter zweiachsiger Biegung mit Längskraft; insbesondere Massivbauquerschnitte. Rechengrundlage sind lineare oder nichtlineare Spannungsdehnungsbeziehungen. Vorspannung, Schwinden und Kriechen, die versteifende

Mitwirkung des Betons in der gerissenen Zugzone oder nachträglich ergänzte Querschnitte können berücksichtigt werden.

Durch die allgemeine Formulierung der Berechnungsalgorithmen ist es möglich, nicht nur Querschnitte aus Beton und Betonstahl zu berechnen, sondern auch beliebige andere Baustoffe wie zum Beispiel Holz oder Kunststoffe zu benutzen, sofern sich die Baustoffeigenschaften mit den Spannungsdehnungslinien modellieren lassen. Mit welchen Materialgesetzen sich welche Baustoffeigenschaften modellieren lassen, lesen Sie bitte im Hilfe-Punkt [Spannungsdehnungslinien / Baustoffeigenschaften](#) nach.

Die Querschnitte können einerseits als Polygon aus geradlinig umrandeten Flächen (z.B. Beton) oder großen Aussparungen in solchen Flächen, andererseits aus punktförmigen Einzelflächen (z.B. Bewehrung) oder kleinen Aussparungen (z.B. Hüllrohren) gebildet werden.

Die Einwirkungen und Schnittgrößen werden wahlweise auf den Betonschwerpunkt, den ideellen Schwerpunkt oder auch jeden anderen beliebigen Punkt bezogen.

Ausführliche Erläuterungen zum grundlegenden Rechenverfahren (Spannungsintegration, Iterationsverfahren) geben Busjaeger, Quast (1990): Programmgesteuerte Berechnung beliebiger Massivbauquerschnitte unter zweiachsiger Biegung mit Längskraft (Programm MasQue), Heft 415 des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, Berlin-Köln.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

## ***2. Ein-/Ausgabe System und Lastfall***

### 2.1 Querschnitts-Datei (Laden, Speichern etc.)

#### 2.2 Dateneingabe

- 2.2.1 Punkte
- 2.2.2 Polygone
- 2.2.3 Rechteck
- 2.2.4 Kreis
- 2.2.5 Komplette Querschnitte
- 2.2.6 Baustoffe
- 2.2.7 Einwirkungen
- 2.2.8 Grenzdehnungen / Parameter
- 2.2.9 Titel / Beschreibung
- 2.2.10 Vordehnung / Vorkrümmung

### 2.3 Datenausgabe

[Zurück zum Hauptmenü](#)

## 2.1 Querschnitts-Datei

Alle Eingabewerte für eine Programmanwendung werden in einer Datei mit der Endung **\*.inc** gespeichert.

Werden die Daten der aktuellen Datei vom Benutzer geändert, erfolgt beim Öffnen einer neuen Datei oder beim Verlassen des Programms eine Sicherheitsabfrage zum Speichern.



von links nach rechts:

- |           |   |
|-----------|---|
| Neu       | es wird ein leerer Datensatz erstellt; die Baustoffe aus der Datei <i>Standard-Baustoffe.inc</i> werden geladen<br>(Shortcut: Strg + N) |
| Öffnen    | ein Dialog zum Öffnen einer INCA2-Datei erscheint<br>(Shortcut: Strg + O)   |
| Speichern | ein Dialog zum Speichern einer INCA2-Datei erscheint<br>(Shortcut: Strg + S)  |

Außerdem ist im Menü *Datei* der Unterpunkt *Speichern als* verfügbar.

Die Daten in der **\*.inc** - Datei sind im binären Format abgespeichert, welches ein schnelles und einfaches Öffnen und Speichern ermöglicht. Um die Daten (wie Koordinaten der Punkte, Polygone, Lastfälle) als Text lesen zu können, wählen Sie bitte den Menüpunkt *Datei* mit dem Unterpunkt *Eingabedaten (num.)*.

Insbesondere für Vorführungszwecke (Vorlesung etc.) ist es sinnvoll, eine Querschnitts-Datei nach getätigten Änderungen schnell wieder in ihrem ursprünglichen Zustand herstellen zu können. Dazu klicken Sie auf den Button *ReLoad*:

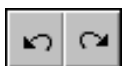


ReLoad möglich



ReLoad nicht möglich (noch keine Änderungen nach letztmaligem Speichern vorgenommen oder Datei wurde nicht gespeichert)

Für das Arbeiten mit INCA2 stehen außerdem eine Rückgängig- sowie eine Wiederherstellen-Funktion zur Verfügung (Undo und Redo, bis zu 64 mal):



Shortcut für Rückgängig: Strg + Z

[Ein-/Ausgabe Übersicht](#)

[Zurück zum Hauptmenü](#)

## 2.2 Dateneingabe

Fast alle Eingaben für einen Querschnitt (Punkte, Polygone) sowie die Funktionen fürs Bearbeiten (Schieben, Spiegeln usw.) können mit der Maus erfolgen. Damit Sie immer wissen, welche Funktion gerade aktiv ist, ändert sich der Mauszeiger je nach getroffener Auswahl.

Zur Generierung eines neuen Querschnitts stehen folgende Funktionen zur Verfügung:



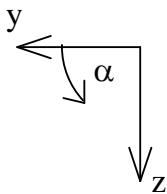
von links nach rechts:

- neuer **Punkt** d
- neue **Punkte** in einer Liste
- **Polygon** erzeugen
- **Rechteck** erzeugen
- **Kreis** erzeugen

Weiterhin müssen Sie **Baustoffeigenschaften** für den Beton und für die Bewehrung eingeben, Sie können jedoch auch auf vordefinierte Daten zurückgreifen. Im Unterpunkt **Systeminfo** können Sie einen Titel eingeben. Dort erhalten Sie auch Informationen über Ihren Querschnitt, wie Anzahl der Punkte oder benutzter Baustoffe.

Bei der Erstellung müssen Sie darauf achten, dass Ihr Querschnitt mindestens einen Bewehrungsstab (oder Polygon) mit zugfestem Baustoff enthält, andernfalls ist eine Berechnung nicht möglich. Im Abschnitt **Spannungsdehnungslinien** finden Sie weitere Erläuterungen.

### **Das Koordinatensystem**



Der Winkel bei der Rotation ist mathematisch positiv definiert (Gegenuhrzeigersinn).

[Ein-/Ausgabe Übersicht](#)

[Zurück zum Hauptmenü](#)

### 2.2.1 Eingabe von Punkten für Polygone oder als Bewehrung

- über das Menü [Eingabe](#), Unterpunkt [Punkt](#), oder



- *Variante 1: Einzelne Punkte*

- *Knotennummer* - wird automatisch vorgegeben,

- *Knotenkoordinaten y und z*

- Wahl des Materials, evtl. Durchmesser und Gruppe (falls Bewehrung)

- Vordehnung / Vorkrümmung eingeben (falls Bewehrung)

=> *OK* Knoten wird erzeugt und Eingabemaske geschlossen

=> *Anwenden* Knoten wird erzeugt, Fenster bleibt für Eingabe des nächsten Knotens geöffnet

=> *Punkte mit der Maus erzeugen*

Eingabemaske schließt sich, mit der linken Maustaste können

Sie jetzt Knoten erzeugen (evtl. vorher **Raster** einschalten)

mit der rechten Maustaste kehren Sie zur Eingabemaske zurück

- *Variante 2: Punkte als Liste*

Hier können Sie mehrere Punkte gleichzeitig durch Eingabe als freie Tabelle (wie im folgenden Bild gezeigt) oder in Feldern erzeugen. Außerdem haben Sie die Möglichkeit, diese Punkte sofort zu einem Polygon zusammenzufassen.

Bei der Eingabe der Bewehrung können Sie entweder den Durchmesser oder die Querschnittsfläche eingeben. Zur Erleichterung der Eingabe stehen jeweils kleine Scrollleisten zur Verfügung. Falls Sie hier jedoch negative Querschnittsflächen für eine Ausparung (z.B. Hüllrohr für Spannglieder) eingeben möchten, müssen Sie die Querschnittsfläche per Hand eingeben.

Mit der Wahl der Bewehrungsgruppe fassen Sie die einzelnen Stäbe zu einer Gruppe zusammen, der ein Material und gegebenenfalls eine Vordehnung/Vorkrümmung zugeordnet wird. Vorzugsweise wird, z.B. Zugbewehrung, Druckbewehrung und konstruktive Bewehrung in jeweils einer Gruppe zusammengefasst. Bei der Bemessung des Querschnitts für eine Belastung kann dann z.B. nur die Zugbewehrung angepasst werden, die konstruktive Bewehrung bleibt konstant.


Unterhalb eines definierten Bewehrungspunktes befindet sich im Normalfall noch der Beton. Im Menü unter **Extras** => Einstellungen => Ergebnisse kann gewählt werden, ob dieser Betonanteil berücksichtigt oder abgezogen werden soll. Um ein Rechenergebnis per Handrechnung zu überprüfen, kann es sinnvoll sein, mit der Brutto-Betonfläche zu rechnen (keine Ausparung). Insbesondere für höher bewehrte Querschnitte mit hochfestem Beton sollten die Ausparungen für die Bewehrung jedoch nicht mehr vernachlässigt und eine Rechnung mit der Nettobetonfläche durchgeführt werden. Bei hochbewehrten Stützen mit hochfesten Betonen kann die Tragfähigkeit ansonsten schnell um 10% und mehr überschätzt werden.

Bei der Ausgabe der detaillierten numerischen Ergebnisse werden die Bewehrungspunkte mit einem Sternchen (\*) markiert ausgegeben, bei denen eine Ausparung berücksichtigt wurde.

Werden gewollt oder versehentlich zwei Punkte mit den gleichen Koordinaten definiert, so

erfolgt eine Warnung mit der Option, den Punkt nicht oder trotzdem zu erzeugen (sinnvoll z.B. bei Hüllrohr mit innenliegenden Spanngliedern). In der grafischen Ausgabe auf dem Bildschirm ist es relativ schwer zu erkennen, ob zwei oder mehrere Punkte übereinander liegen. Erst in der numerischen Ausgabe sind solche Punkte zu erkennen.

### ***Vorhandenen Punkt ändern***

- Punkt markieren (wird dann rot)
- Menü [Bearbeiten](#), Thema [Eigenschaften](#), oder Tastenkombination [Alt+Enter](#), oder Doppelklick, oder 
- Eingabemaske öffnet sich (Koordinaten, Querschnittsfläche)
- Änderungen vornehmen und bestätigen

### ***Vorhandenen Punkt löschen***

- einen oder mehrere Punkte mit der Maus selektieren
- [Entf](#)-Taste drücken, oder Menü [Bearbeiten](#), Unterpunkt [Löschen](#)

### ***Mehrfachselektion - Hinweis***

Wollen Sie mehrere Punkte gleichzeitig ändern, können Sie diese durch das Ziehen eines Fensters gemeinsam selektieren oder durch einfaches Anklicken mit der linken Maustaste bei gleichzeitig gedrückter Strg-Taste markieren (wie in anderen Windows-Programmen auch). Wenn Sie jetzt nach einer Mehrfachselektion den Button für die Eigenschaften wählen, werden nur die Felder mit Werten belegt, bei denen die Punkte die gleiche Eigenschaft aufweisen.

Es können beliebig viele Punkte erzeugt werden.

[Ein-/Ausgabe Übersicht](#)

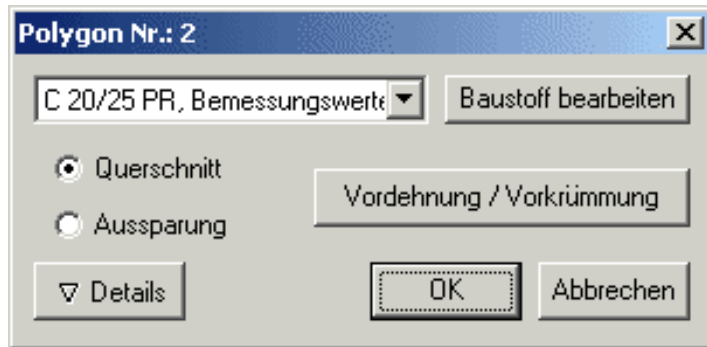
[Zurück zum Hauptmenü](#)

## ***2.2.2 Eingabe von Betonflächen (Polygonen)***

Im Menü *Eingabe* stehen Ihnen vier Möglichkeiten zur Erzeugung von Betonflächen zur Verfügung. Mit dem Unterpunkt *Polygon* erzeugen Sie durch Verbinden von vorher definierten Punkten einen beliebigen Querschnitt. Dieser muss aus mindestens 3 und darf maximal aus 100 Punkten bestehen.

- Menü [Eingabe](#), Thema [Polygon](#)
- eine Eingabemaske öffnet sich:
  - *Material* aus der Klapp-Box auswählen (falls noch kein Material definiert wurde, muss es erst erzeugt werden)
  - Querschnitt oder Aussparung wählen
  - Vordehnung / Vorkrümmung eingeben
- Button *Polygon Maus erzeugen* wählen

- Eingabemaske schließt sich
- Punkte per Mausklick verbinden
- zum Schließen des Polygons wieder den ersten Punkt anklicken
- rechte Maustaste, um die Eingabe abzubrechen und zur Eingabemaske zurückzukehren
- Achtung: Es können maximal 100 Punkte zu einem Polygon zusammengefasst werden!

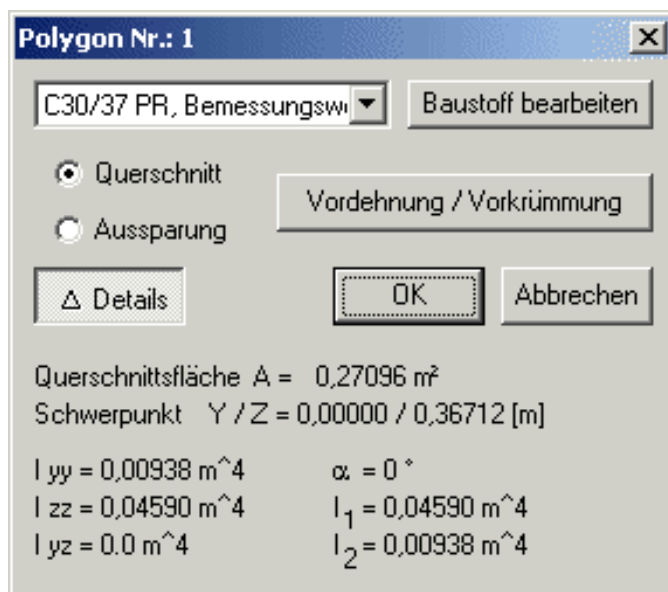


Als zweite und dritte Variante stehen die Unterpunkte *Rechteck* und *Kreis* zur Verfügung. Die vierte Möglichkeit ist das Erzeugen einer *Liste von Punkten* mit der Option, diese gleich zu einem Polygon zusammen zu fassen (*Eingabe Punkte als Liste*)

Polygone mit positivem Flächeninhalt werden hellgrau dargestellt, Ausschnitte in Betonflächen in weiß (ohne Schraffur).

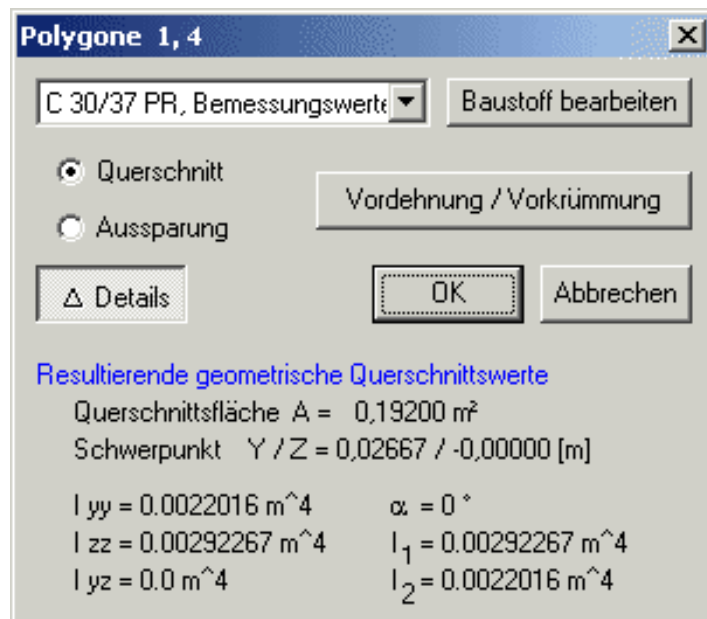
### ***Vorhandenes Polygon ändern***

Polygon markieren und den Button *Eigenschaften* wählen (bzw. im Menü *Bearbeiten* oder *Alt+Enter*). In diesem Fenster können Sie die Eigenschaften des Polygons ändern.



Nach Klick auf den Button *Details* erweitert sich das Fenster. Werden die Eigenschaften von mehreren Polygonen angezeigt, so werden unter *Details* die Querschnittswerte der markierten Polygonflächen ausgegeben.





Werden die Eigenschaften von nur einem Polygon angezeigt, so können zusätzlich die Polygonpunkte editiert, neue hinzugefügt oder Punkte aus dem Polygon entfernt werden.

**Polygon Nr.: 1** [X]

Beton C 30/37 [v] Baustoff bearbeiten

Querschnitt  Aussparung

Vordehnung / Vorkrümmung

△ Details

**Resultierende geometrische Querschnittswerte**

Querschnittsfläche A = 0,28187 m<sup>2</sup>  
 Schwerpunkt Y / Z = -0,00000 / -0,06839 [m]

$I_{yy} = 0.02654528 \text{ m}^4$      $\alpha = 0^\circ$   
 $I_{zz} = 0.01169212 \text{ m}^4$      $I_1 = 0.02654528 \text{ m}^4$   
 $I_{yz} = 0.0 \text{ m}^4$              $I_2 = 0.01169212 \text{ m}^4$

**Koordinaten der Polygonpunkte**

Nr.	Pkt.	y [m]	z [m]
1	0	0.5	-0.4
2	1	0.5	-0.275
3	2	0.075	-0.25
4	3	0.075	0.3
5	4	0.175	0.4
6	5	0.175	0.5
7	11	-0.175	0.5
8	10	-0.175	0.4

neu neu  
y z

y z  
neu neu

X

OK Abbrechen

Weiterhin haben Sie auch in der grafischen Oberfläche die Möglichkeit, Punkte zum Polygon hinzuzufügen. Markieren Sie dazu das gewünschte Polygon (ist dann rot umrandet). Gehen Sie jetzt mit der Maus an die gewünschte Stelle, wo ein weiterer Punkt im Polygon eingefügt werden soll. Nach Klick auf die rechte Maustaste öffnet sich ein Pull-Down-Menü, in dem Sie den zweiten Punkt *Punkt einfügen* wählen. Haben Sie bei den Einstellungen das Raster aktiviert, wird der neue Punkt bei den nächsten „runden“ Koordinaten erzeugt.

### ***Vorhandenes Polygon löschen***

Polygon markieren und Entf-Taste drücken (bzw. im Menü *Bearbeiten*, Unterpunkt *Löschen*).

Es können beliebig viele Polygone erzeugt werden. Ein Polygon kann jedoch nur aus maximal 100 Punkten bestehen.

[Ein-/Ausgabe Übersicht](#)

[Zurück zum Hauptmenü](#)



An:  
Herd Software Entwicklung  
Bernd Herd  
Kettelerstr. 35

Tel.: 06206-707775  
Fax: 06206-707776

68642 Bürstadt  
Germany

## Bestellung "Help to RTF"

Anzahl	Artikel	Einzelpreis EURO	Gesamtpreis EURO
_____	Einzelplatzlizenz(en) "Help to RTF" Konverter für Windows Hilfedateien	25,--	_____
_____	Netzwerklicenz(en) "Help to RTF" Konverter für Windows Hilfedateien	50,--	_____
	Zzgl. Porto, Verpackung und Bearbeitung		4,--
Die Preise verstehen sich incl. Mwst.		Summe	_____

## Absender

Name: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Straße: \_\_\_\_\_

Plz. Ort: \_\_\_\_\_

Tel. Fax: \_\_\_\_\_

E-Mail: \_\_\_\_\_

Umsatzsteuer Ident-Nr:  
(Bei nicht-privaten Bestellungen aus Österreich) \_\_\_\_\_

VISA-Kreditkartennummer und Ablaufdatum: \_\_\_\_\_

Bankleitzahl/Kontonummer für Bankeinzug:  
(nur in Deutschland) \_\_\_\_\_

**Unterschrift:**

Datum:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### 2.2.3 Eingabe Rechteck

- Menü **Eingabe**, Unterpunkt **Rechteck**  
folgendes Fenster öffnet sich

Rechteck erzeugen

erste Ecke ( y / z )  
0,2 0,3 [m]

zweite Ecke ( y / z ), schräg gegenüber  
-0,2 -0,3 [m]

C 30/37 PR, Bemess: Bearbeiten

Vordehnung / Vorkrümmung

Querschnitt  Aussparung  
 Bewehrung

Bewehrungsquerschnitt

Durchmesser 0 [mm] oder  
Fläche 0 [cm<sup>2</sup>]  
Bewehrungsgruppe 1

OK Abbrechen

Rechteck mit Maus

Das Rechteck definieren Sie durch die Eingabe der Koordinaten von zwei gegenüberliegenden Ecken. *Baustoff* und *Vordehnung / Vorkrümmung* können gewählt werden. Anschließend bestimmen Sie, ob es sich um einen Querschnitt, eine Aussparung oder um 4 Bewehrungspunkte handelt. Bei letzterem geben Sie bitte auch noch Durchmesser und Gruppe der Bewehrung an.

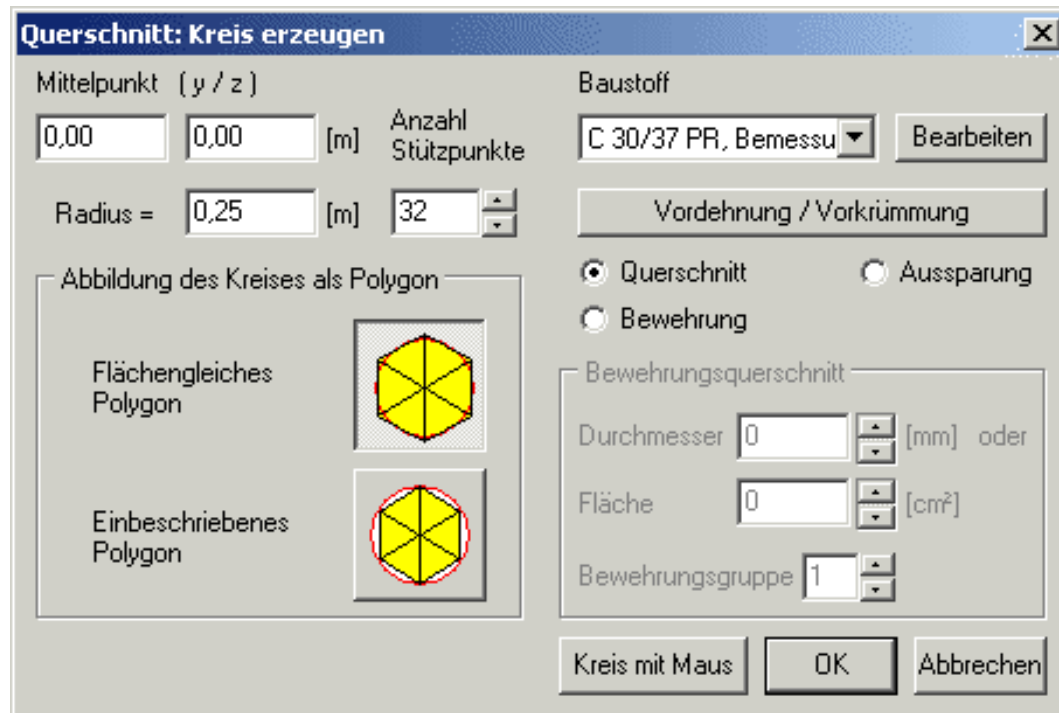
Falls Sie die Koordinaten nicht numerisch angeben wollen, haben Sie mit dem Button "Rechteck mit Maus" die Möglichkeit, das Rechteck direkt auf der Zeichenfläche zu erstellen.

[Ein-/Ausgabe Übersicht](#)

[Zurück zum Hauptmenü](#)

### 2.2.4 Eingabe Kreis

- Menü **Eingabe**, Unterpunkt **Kreis**  
folgendes Fenster öffnet sich



Einen Kreis definieren Sie durch Angabe des Mittelpunktes und des Radius. Da der Kreis als Polygon abgebildet wird, ergeben viele Stützpunkte auch eine hohe Genauigkeit, erhöhen aber auch die Rechenzeit. Um ein voll symmetrisches Polygon zu erhalten, sollte die Anzahl immer durch 4 teilbar sein.

Wollen Sie einen Querschnitt oder Aussparung erzeugen, so empfiehlt sich die Abbildung als "Flächengleiches Polygon". Der Flächeninhalt des Kreises mit dem gewählten Durchmesser und der Flächeninhalt des Polygons stimmen genau überein, die einzelnen Randpunkte liegen aus diesem Grund geringfügig außerhalb des Kreises.

Wollen Sie jedoch einzelne Bewehrungspunkte erzeugen, benutzen Sie bitte die Option "Einbeschriebenes Polygon", die Punkte werden in diesem Fall genau auf dem Kreis erzeugt.

Falls Sie die Koordinaten und den Radius nicht numerisch angeben wollen, haben Sie mit dem Button "Kreis mit Maus" die Möglichkeit, den Kreis direkt auf der Zeichenfläche zu erstellen.

[Ein-/Ausgabe Übersicht](#)

[Zurück zum Hauptmenü](#)

---

Erstellt mit 'Help to RTF' Dateikonverters von Herd Software Entwicklung.

## 2.2.5 Komplette Querschnitte

- Menü **Eingabe**, Unterpunkt **Komplette Querschnitte** folgendes Fenster öffnet sich

**Definition kompletter Querschnitte**

I-Profile | Rechteck R1-R2-R4 | Stütze | Kreis

Material Beton: C 30/37 PR, Bemessungswerte

Material Stahl: Betonstahl BSt 500, Bemessungswerte

Breite  $b = 0,4$  [m]      R2      R4

Höhe  $h = 0,5$  [m]

$d_{1,2} = 0,05$  [m]

Bewehrung verschmiert  
 $A_{s,tot} = 30$  [cm<sup>2</sup>]

Bewehrungsdurchmesser  
 $\varnothing 20$  [mm]      Anzahl 12

OK      Abbrechen

In diesem Fenster können Sie verschiedene Stahlbauprofile bis hin zu Rechteck- und Kreisquerschnitten schnell und einfach erstellen.

### I-Profile

Wählen Sie den gewünschten Profiltyp und Größe sowie die anderen Eingabewerte. Die Profildaten befinden sich in der Datei Profile.txt, die zwar geändert, jedoch nicht erweitert werden kann.

### Rechteck R1-R2-R4

Hier wird ein Rechteckquerschnitt mit jeweils verschmierter Bewehrung erstellt. Die Bewehrungsmengen und Randabstände für die einzelnen Lagen können getrennt angegeben werden (insofern bezieht sich die Bezeichnung R2 und R4 nur auf die Lage der Bewehrung und ist damit nicht ganz korrekt). Die hier erzeugte verschmierte Bewehrung besteht aus jeweils 10 einzelnen Punkten pro Lage, die genau so angeordnet sind, dass Querschnittsfläche und Trägheitsmoment gleich dem eines äquivalenten Rechteckquerschnitts sind.

### Stütze (R2-R4)

Handelt es sich um symmetrische Bewehrung (z.B. Stützen), ist dieser Punkt zu bevorzugen. Außerdem ist es hier möglich, die Anzahl sowie den Durchmesser der Bewehrungsstäbe festzulegen.

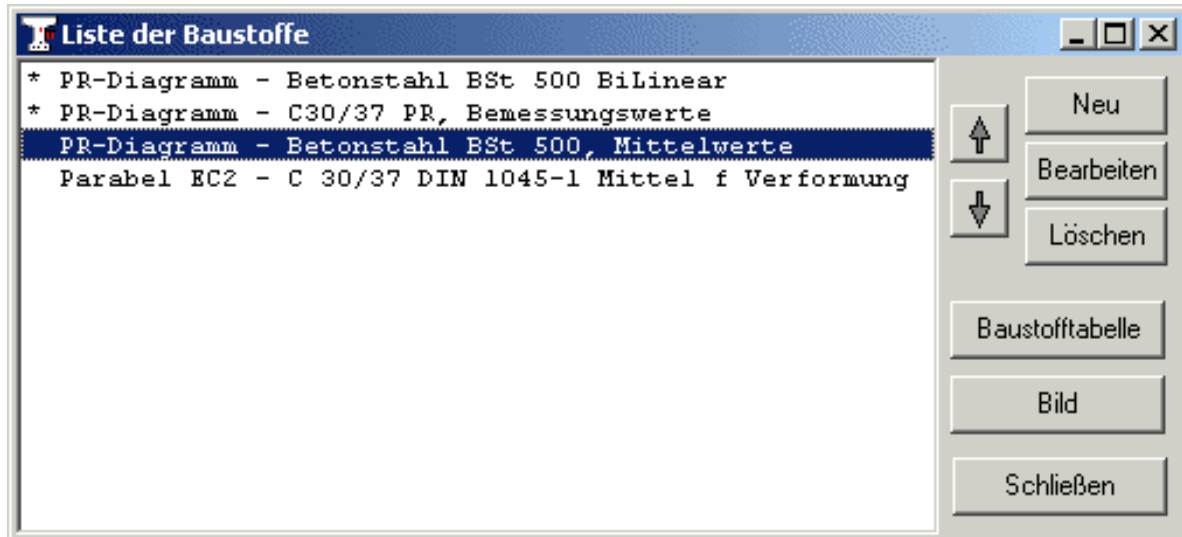
### Kreis (Kreisring)

Mit diesem Punkt erzeugen Sie einen Kreisquerschnitt, wahlweise einen Kreisringquerschnitt. Der Querschnitt wird als flächengleiches Polygon mit 32 Punkten definiert. Die Bewehrung kann als Gesamtfläche oder per Durchmesser gewählt werden.

[Ein-/Ausgabe Übersicht](#)[Zurück zum Hauptmenü](#)

## 2.2.6 Eingabe der Baustoffe

- Menü [Eingabe](#), Unterpunkt [Baustoffe](#), eine Liste mit den bisherigen Baustoffen öffnet sich



Von diesem Fenster aus können Baustoffe neu erzeugt, geändert oder gelöscht werden. In der Liste sind alle bisherigen Baustoffe aufgeführt. Ein Sternchen zu Beginn bedeutet, dass dieser Baustoff benutzt wird, dann folgt die Art des Materialgesetzes, dann der Name.

Die Buttons mit den Pfeilen dienen dem Sortieren der Materialien. Klicken Sie ein Material an, das jetzt in der Liste nach oben oder nach unten bewegt werden kann.

Zur schnelleren Übersicht kann nach dem Markieren eines oder mehrerer Baustoffe ein Bild des Sigma-Epsilon-Diagramms ausgegeben werden.

Weiterhin stehen vordefinierte Baustoffe zur Verfügung, die vom Programm aus der Datei "Baustoffe.inc" zu Beginn eingelesen werden. Ein Editieren dieser Datei zur Eingabe neuer Baustoffe ist mit INCA2 möglich, indem diese Datei einfach normal geöffnet und bearbeitet wird.

Nach Wahl des Buttons "Neu" oder "Bearbeiten" öffnet sich ein weiteres Fenster, in dem die Baustoffkennwerte eingetragen werden können. Näheres zu den einzelnen Materialgesetzen lesen Sie bitte unter Punkt [Spannungsdehnungslinien](#) nach.

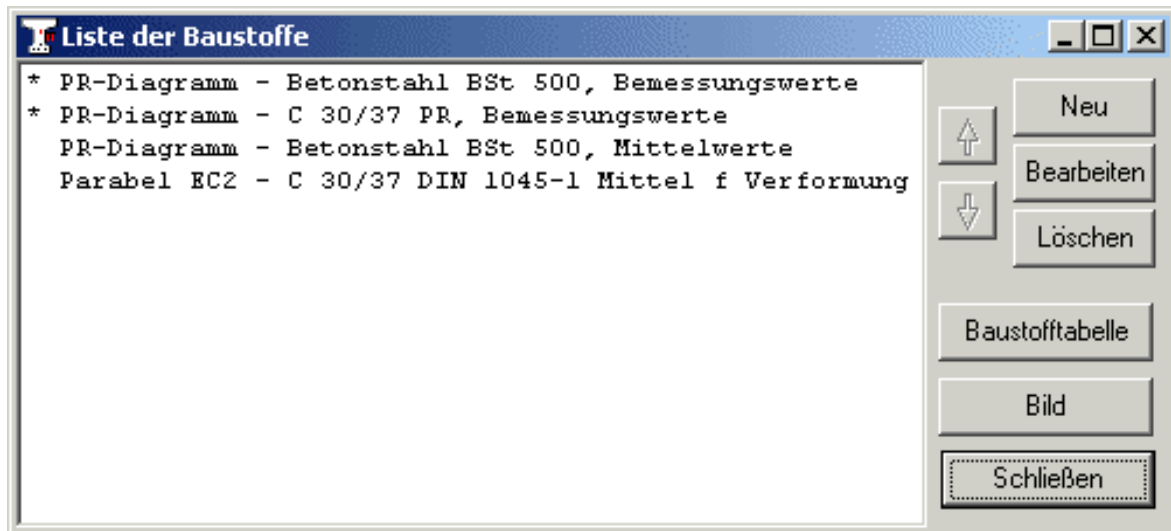
Besonders bei nichtlinearen Berechnungen zur Ermittlung der Verformung oder der Schnittgrößen ist es wichtig, zur Verformungsberechnung die Mittelwerte der Baustoffeigenschaften zu benutzen, bei der Ermittlung der Querschnittstragfähigkeit jedoch die Bemessungswerte. Je nach Berechnungswunsch müssen damit die Eigenschaften für den Beton und für die Bewehrung geändert werden.

In den meisten Fällen wird man deshalb zwei Baustoffe für den Beton und zwei Baustoffe für die Bewehrung in der INCA2-Datei benutzen. Um den angesprochenen Wechsel zwischen den Baustoffeigenschaften möglichst einfach durchzuführen, genügt ein Klick auf den Button





in der rechten, oberen Ecke des Hauptfensters von INCA2. Dazu müssen die Baustoffe in der Tabelle jedoch in Gruppen sortiert und wie in folgender Grafik zu sehen angeordnet sein.



Wie zu sehen ist, sind die Bemessungswerte der Baustoffeigenschaften in erster und zweiter Position, die Mittelwerte in dritter und vierter Position angeordnet. Das Sternchen vor dem Namen kennzeichnet, ob der Baustoff aktuell benutzt wird. Mit dem Klick auf den Wechselbutton im Hauptfenster von INCA2 wird die Eigenschaft des Betonquerschnitts von den Bemessungswerten auf die Mittelwerte gesetzt (aus Nr. 1 wird Nr. 3), das gleiche gilt auch für die Bewehrung (aus Nr. 2 wird Nr. 4).

### **Hinweise zu den Mittelwerten der Baustoffeigenschaften:**

Die Angaben zum E-Modul (Beton) für die Spannungs-Dehnungs-Beziehung zur nichtlinearen Schnittgrößenermittlung waren in der Ausgabe der DIN 1045-1 vom Juli 2002 druckfehlerbehaftet. Dies betrifft nur Verformungsberechnungen. Berechnungen mit den Bemessungswerten der Baustoffeigenschaften (Grenzzustand der Tragfähigkeit) sind davon nicht betroffen!

Statt des Sekantenmoduls wurde der Tangentenmodul im Ursprung angegeben. In späteren Ausgaben des Betonkalenders bzw. im Heft 525 des DAfStb wurde eine erste Druckfehlerberichtigung durchgeführt. Leider enthielt auch diese erste Berichtigung Fehler bzw. man kam zur Überzeugung dass eine andere Formulierung besser sei, so dass im Juni 2005 eine zweite Druckfehlerberichtigung veröffentlicht wurde. Diese zweite Druckfehlerberichtigung wurde in die dem Programm INCA2/Stab2D-NL beigelegte Baustofftabelle übernommen. Dadurch verringert sich der E-Modul für die Spannungs-Dehnungs-Linie für den Beton um 10% im Vergleich zur Originalausgabe der DIN 1045-1. Diese Verringerung wird sich nicht voll auf die berechneten Verformungen auswirken, so dass sich eine Decke aus C30/37 vielleicht um 5% mehr durchbiegen wird. Bei der Stützenrechnung könnten sich aber größere Änderungen ergeben, vor allem bei schlanken Stützen.

Zum besseren Verständnis ist dem Programm eine Excel-Tabelle beigelegt mit den

Baustoffkennwerten für die DIN 1045-1.

Der EC2 gibt in der aktuellen Fassung die Werte der Originalausgabe der DIN 1045-1 wieder und damit um 10% höhere Werte für den E-Modul als in der Druckfehler berichtigten Fassung der DIN 1045-1.

Bleibt abschließend nur zu hoffen, dass der Beton auch weiß, nach welcher Norm er gerechnet wurde!

[Ein-/Ausgabe Übersicht](#)

[Zurück zum Hauptmenü](#)

## 2.2.7 Lastfall-Eingabe

- Menü [Eingabe](#), Thema [Einwirkungen](#)  
folgende Eingabemaske öffnet sich:

Wählen Sie hier die Nummer des Lastfalls aus und tragen die Werte der Einwirkungen (Normalkraft N, Moment My und Mz) ein. Wählen Sie den Punkt, auf den die Schnittgrößen bezogen werden sollen (nur bei Normalkraft wichtig).

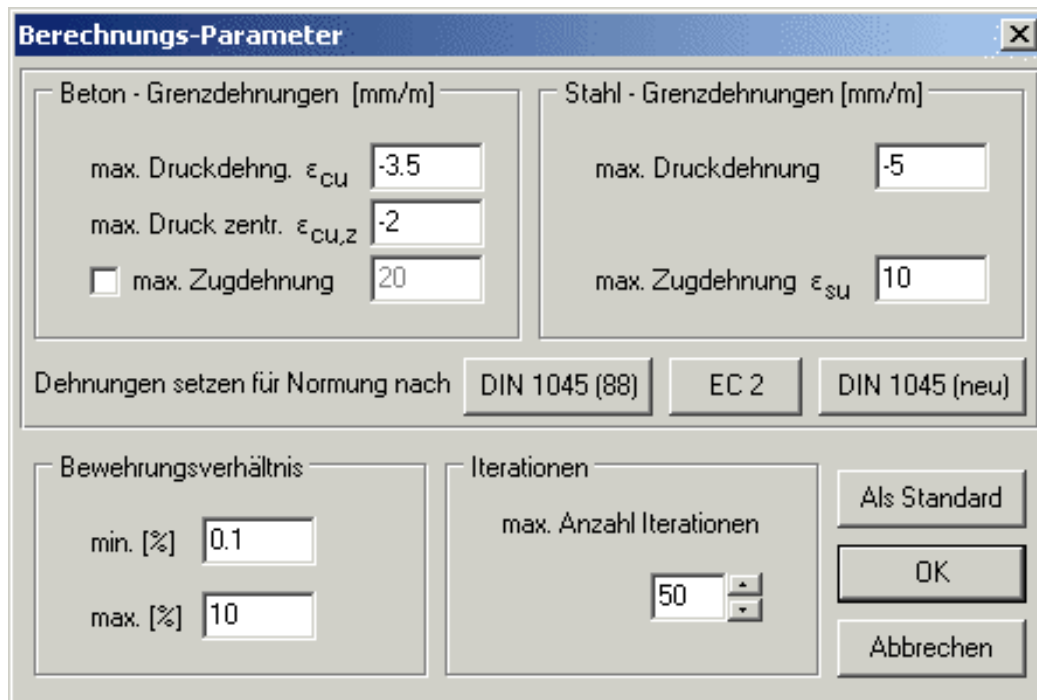
Haben Sie als Bezugspunkt einen beliebigen Punkt des Koordinatensystems ausgewählt, so ist es später möglich, diesen Bezugspunkt mit der Maus einfach zu verschieben. Dies ist insbesondere bei Vorführungen nützlich, um die Exzentrizität einer Normalkraft und die daraus folgenden Änderungen der inneren Schnittgrößen oder Verkrümmungen zu erläutern. Auf diese Weise lassen sich z.B. einzelne Punkte der Moment/Verkrümmungsbeziehung berechnen:  $M = e \cdot N$  und  $1 / r = d \cdot \epsilon_s / dz$  (aus den **numerischen Ergebnissen**). Den Bezugspunkt können Sie verschieben, indem Sie den Punkt *Schieben (Einzel)* wählen, es darf also nichts weiter markiert sein.

Bei Wahl des ideellen Schwerpunktes als Bezugspunkt erhalten Sie ein entsprechendes Ergebnis, je nachdem ob Sie im Menüpunkt **Extras => Einstellungen => Ergebnisse** den Punkt markiert haben, dass Aussparungen im Beton hinter der Bewehrung berücksichtigt werden sollen oder nicht.

[Ein-/Ausgabe Übersicht](#)[Zurück zum Hauptmenü](#)

## 2.2.8 Grenzdehnung / Parameter

- Menü [Eingabe](#), Unterpunkt [Grenzdehnungen / Parameter](#),



In diesem Fenster können Sie die **Grenzdehnungen** des Querschnitts festlegen, die für die Berechnung der maximalen Beanspruchbarkeit benötigt werden. Es müssen sowohl Dehnungen für den Beton als auch für den Stahl festgelegt werden. Die Zugdehnung beim Beton ist eher von untergeordneter Bedeutung und sollte möglichst so festgelegt werden, dass dieser Wert nie maßgebend wird. Nur im Fall eines Querschnitts, bei dem die Bewehrung genau auf dem Rand liegt, verhindert diese Eingabe einen unmöglichen Dehnungszustand (Verkrümmung unendlich). Für weitere Informationen lesen Sie bitte auch den [Hilfepunkt 6.7](#).

Bei normalen, einfachen Querschnitten genügen häufig 5 bis 7 Iterationen für ein konvergentes Ergebnis. Im Fall von nachträglich ergänzten Querschnitten sind aber auch schnell mehr Berechnungen nötig. Die Anzahl der Iterationen sollte deshalb größer als 30 sein. Wenn jedoch nach 50 bis 100 Iterationen immer noch kein Gleichgewicht erreicht ist, dann wird es wahrscheinlich auch kein stabiles Ergebnis mehr geben. 100 ist also eine sinnvolle Begrenzung nach oben, der Wert 50 hat sich für die meisten Fälle als ausreichend erwiesen.

Das Bewehrungsverhältnis ist für die Bemessung eines Querschnitts wichtig und verhindert eine Über- bzw. Unterbewehrung. Diese Werte werden bei der Bemessung als Startwerte für die Iteration benutzt. Es wird kontrolliert, ob die Sicherheit für das minimale Bewehrungsverhältnis bereits gegeben ist oder ob selbst mit dem maximalen

Bewehrungsverhältnis keine Sicherheit erreicht werden kann. Aus diesem Grund kann es passieren, dass bei der Bemessung einer vorgespannten Bewehrung die Meldung einer nicht ausreichenden Tragfähigkeit erscheint. Für den Fall des maximalen Bewehrungsverhältnisses war der Querschnitt damit nämlich so stark vorgespannt, dass die Vorspannung den Querschnitt „kaputt gemacht“ hat.

[Ein-/Ausgabe Übersicht](#)

[Zurück zum Hauptmenü](#)

### **2.2.9 Titel/Beschreibung für das System**

Im letzten Punkt des Menüs *Eingabe* können Sie einen kurzen Text (maximal 65 Zeichen) für das System eingeben, der z.B. beim Drucken mit ausgegeben wird.

Außerdem finden Sie hier Informationen zur Systemgröße, wie Anzahl Punkte, Querschnitte und Baustoffe.

[Ein-/Ausgabe Übersicht](#)

[Zurück zum Hauptmenü](#)

### **2.2.10 Eingabe Vordehnung/Vorkrümmung**

Bei der Eingabe von Polygonen oder Bewehrungsstäben ist es auch immer möglich, für das entsprechende Querschnittsteil eine Vordehnung bzw. Vorkrümmung zu definieren.

#### **Anwendungsgebiet:**

Vordehnung ergibt sich zum Beispiel bei Spannbeton. Die Spannung in den Spannstählen kann als äquivalente Vordehnung (hier Zug) auf die Spannlitzen aufgebracht werden. Beim Schwinden verkürzt sich der Beton gleichmäßig, wird jedoch durch die Bewehrung daran gehindert. Im Beton baut sich somit eine Zugspannung auf, in der Bewehrung eine Druckspannung. Die Modellierung kann damit entweder über eine Zugvordehnung des Betons erfolgen oder über eine Druckvordehnung der Bewehrung.

Eine Vorkrümmung (+ Vordehnung) ergibt sich z.B. bei nachträglich ergänzten Balkenquerschnitten, die ohne Zwischenunterstützung betoniert werden. Durch die Belastung aus Frischbeton biegt sich der Fertigteilbalken durch und erhält bereits eine Belastung, der Frischbeton ist somit nach dem Erhärten noch spannungsfrei. Erst durch eine weitere Belastung beteiligt sich auch dieser neue Beton an dem Abtragen der Lasten.

Die Vordehnung + Vorkrümmung wird als Dehnungsebene in folgendem Fenster eingegeben:

**Vordehnung / Vorverkrümmung**

$\text{eps}(y,z) = \text{eps.0} + y \cdot k.y + z \cdot k.z$

$\text{eps}(y,z) = -0,51 + y \cdot 0 + z \cdot -3,25$

[mm/m] [mm/m/m] [mm/m/m]

Punkt zum Testen der Dehnungsebene

$y = 0,2$   $z = -0,5$  [ m ]

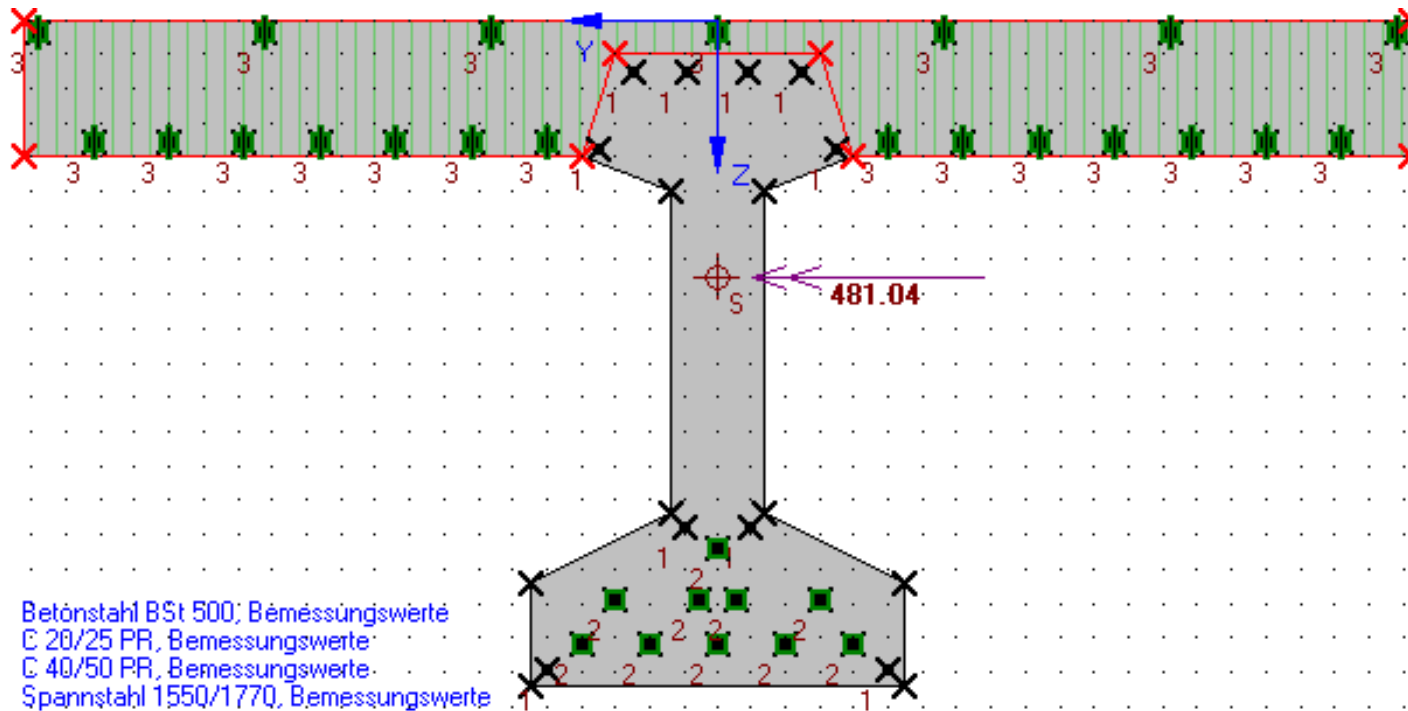
$\text{eps}(y,z) = 1.115 \text{ mm/m}$

OK Abbrechen

In den oberen drei Textfeldern geben Sie die Dehnungsebene ein, die Sie im Fall eines nachträglich ergänzten Querschnitts aus einer ersten Rechnung des Fertigteils unter Betonierlast erhalten haben. Wichtig dabei ist, dass Sie die Vorzeichen jeweils vertauschen, so dass *aktuelle Dehnungsebene + Dehnungsebene aus Vordehnung* in der Summe Null ergeben und der zusätzliche Beton für diese Belastung spannungsfrei bleibt. Zur besseren Kontrolle, ob alle Werte korrekt eingegeben wurden, kann ein Punkt testweise eingegeben werden. In dieser Faser wird dann sofort die Dehnung berechnet.

Weitere Informationen zur Vordehnung insbesondere bei der Mitwirkung des Betons auf Zug in der gerissenen Betonzugzone finden Sie unter [Punkt 8.3](#), Beispiel für einen nachträglich ergänzten Querschnitt.

Bei der grafischen Darstellung des Querschnitts werden vorgedehnte Bewehrungspunkte mit einem kleinen, grünen Quadrat gekennzeichnet, Vorkrümmungen mit kleinen Strichen in die entsprechende Richtung. Polygone mit Vordehnung / Vorkrümmung erhalten eine grüne Umrandung sowie eine ebenfalls grüne Schraffur in der jeweiligen Richtung der Verkrümmung.



[Ein-/Ausgabe Übersicht](#)

[Zurück zum Hauptmenü](#)

## 2.3 Ausgabe der Querschnittsdaten

Alle Ausgabemöglichkeiten finden Sie im Menü [Datei](#), Unterpunkt [Ausgabe](#).

### 2.1.1 Eingabedaten / Drucken

Mit diesem Unterpunkt werden alle Eingabedaten (Punkte, Polygone, Baustoffe etc.) als Text aufbereitet und in einem extra Fenster ausgegeben.

Bei Wahl von Drucken wird genau dieser Text auf dem Drucker ausgegeben.

(*Shortcut Strg+P*)

### 2.1.2 Grafik Drucken

Mit diesem Unterpunkt *Grafik Drucken* können Sie sich den Querschnitt auf einem Drucker ausgeben lassen. Sie haben die Möglichkeit, das Druckbild zu beeinflussen, indem Sie Papierformat, Größe und Positionierung einstellen können.

Der Querschnitt wird der von Ihnen gewählten Größe angepasst. Das Raster sowie die Kreuze an den Punkten werden nicht gedruckt.

### 2.1.3 Grafik als BMP exportieren

Mit diesem Unterpunkt *Grafik BMP* können Sie die aktuelle Grafik des Querschnittes als Bilddatei im BMP-Format exportieren. Benutzen Sie evtl. ein Bildverarbeitungsprogramm,

um die Farbtiefe auf z.B. 16 Farben zu reduzieren.

[Ein-/Ausgabe Übersicht](#)

[Zurück zum Hauptmenü](#)

## 3. Bearbeiten

3.1 [Selektieren](#)

3.2 [Zoom](#)

3.3 [Schieben, Spiegeln, Rotieren](#)

3.4 [Löschen](#)

3.5 [Eigenschaften](#)

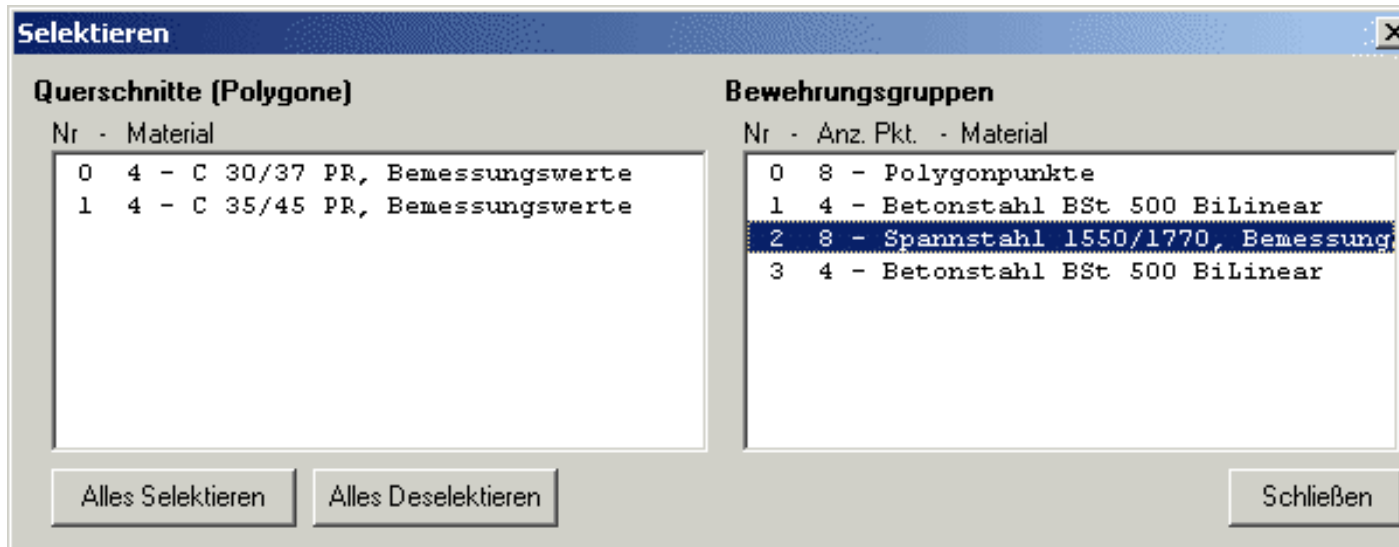
[Zurück zum Hauptmenü](#)

### 3.1 Selektieren

Die Auswahl erfolgt mit der Maus durch einfaches Anklicken des Punktes oder des Polygons. Das Ziehen eines Fensters ist ebenso möglich, wobei alle vollständig innerhalb des Fensters liegenden Elemente rot markiert werden. Durch Drücken der Strg-Taste ist, wie bei Windows-Programmen üblich, eine Mehrfachselektion möglich. Ein Demarkieren mit der Strg-Taste ist ebenso verfügbar.

Haben Sie Elemente markiert, so sind die Funktionen *Schieben*, *Spiegeln* und *Rotieren* sowie *Eigenschaften* verfügbar. Sind keine Elemente markiert, so ist nur die Funktion *Schieben einzelner Elemente* aktivierbar.

Im Menü Bearbeiten, Selektieren steht ein Hilfsmittel zum Selektieren ganzer Bewehrungsgruppen oder einzelner Polygone zur Verfügung. Dies ist hilfreich, um einen Überblick über die einzelnen Gruppen zu erhalten, andererseits lässt sich auf diese Weise z.B. recht schnell der Bewehrungs-Durchmesser einer gesamten Gruppe verändern.



[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Bearbeiten](#)

Erstellt mit 'Help to RTF' Dateikonverters von Herd Software Entwicklung.

### 3.2 Zoomfunktionen



Die Buttons haben folgende Bedeutung (von links nach rechts)

1. Ansicht verschieben  
Der aktuelle Ausschnitt der Zeichnung wird verschoben
2. Zoom Alles  
Die Zeichnung wird formatfüllend (fensterfüllend) und zentriert dargestellt.
3. Zoom in  
Der aktuelle Ausschnitt wird um den Faktor 1,25 vergrößert dargestellt.
4. Zoom out  
Der aktuelle Ausschnitt wird um den Faktor 0,8 verkleinert dargestellt.
5. Zoomfenster  
Mit der Maus kann ein beliebiges Fenster gezogen werden, dessen Inhalt formatfüllend ausgegeben wird.

Wurde die Funktion *Zoom Alles* gewählt, wird bei einer Änderung der Grenzen (z.B. durch Punkteingabe oder Verschiebung etc.) beim nächsten Bildaufbau die Grafik automatisch wieder formatfüllend dargestellt.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Bearbeiten](#)



### 3.3 Schieben, Spiegeln, Rotieren

Sind keine Elemente markiert, steht die Funktion ***Einzelne Elemente Verschieben*** zur Verfügung. Mit ihr ist es insbesondere im interaktiven Modus möglich, Bewehrungsstäbe oder Polygonpunkte schnell zu verschieben (Element anklicken, geklickt halten und verschieben, am Bestimmungsort Maustaste loslassen). Das Verschieben des Kraftangriffspunktes ist ebenso möglich, falls bei der Lastfalleingabe ein beliebiger Bezugspunkt gewählt wurde.



Einzelne Elemente Verschieben

Nach Selektion von Elementen stehen folgende Funktionen zur Verfügung:



Die Buttons haben folgende Bedeutung (von links nach rechts)

1. Selektion Verschieben
2. Selektion Spiegeln
3. Selektion Rotieren

Selektieren Sie in einem ersten Schritt Punkte und/oder Polygone und wählen Sie dann die gewünschte Aktion über den entsprechenden Button oder über das Menü *Bearbeiten*.

Bei Wahl über das Menü *Bearbeiten* oder bei Doppelklick auf den *zugehörigen Button* erscheint ein Fenster, in dem Sie per Tastatureingabe die Aktion durchführen können. Falls Sie neue Punkte / Polygone erzeugen möchten, kreuzen Sie die Option *Kopieren* an. Beim Schieben können Sie zusätzlich die Anzahl der Kopien eingeben. Der Drehwinkel wird im mathematisch positiven Sinn (Gegen-Uhrzeigersinn) benutzt.

Möchten Sie lieber die Maus benutzen, klicken Sie in der Eingabemaske den entsprechenden Button an (z.B. *Schieben mit der Maus*), das Fenster verschwindet und der Mauszeiger verändert sich entsprechend Ihrer Auswahl. Klicken Sie einen Startpunkt in der Grafik an, halten Sie die Maustaste gedrückt und lassen Sie sie am Zielpunkt los. In der unteren Statuszeile des Hauptfensters werden als Hilfe die absoluten und relativen Koordinaten angezeigt.

Ein Klick auf die rechte Maustaste läßt Sie zur Eingabemaske zurückkehren und die Funktion abbrechen.

Bei der Benutzung der Maus wird die neue Lage der Punkte ständig auf dem Bildschirm ausgegeben.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Bearbeiten](#)

### 3.4 Löschen

Markieren Sie die zu löschenden Punkte und Polygone. Dann drücken Sie die *Entf*-Taste oder wählen im Menü *Bearbeiten* den Punkt *Löschen*.

Im Menü *Extras*, Unterpunkt *Einstellungen*, *Bearbeiten* können Sie festlegen, ob vor dem Löschen eine Bestätigung eingeholt werden soll. Außerdem können Sie hier festlegen, ob beim Löschen eines Polygons auch die zugehörigen Punkte entfernt werden sollen.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Bearbeiten](#)

### 3.5 Eigenschaften



Mit diesem Punkt können Sie sich die Eigenschaften von Punkten und Polygonen anzeigen lassen und diese auch verändern. Markieren Sie dazu die gewünschten Elemente und wählen dann im Menü *Bearbeiten* den Unterpunkt *Eigenschaften* (oder Button *Eigenschaften* oder *Alt* + *Enter*).

Haben Sie mehrere Punkte bzw. Polygone markiert, so werden nur die gemeinsamen Eigenschaften angezeigt, die anderen Felder bleiben frei, können aber verändert werden. (z.B. wenn alle Punkte aus dem gleichen Baustoff bestehen oder wenn sie gleiche Koordinaten besitzen.)

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Bearbeiten](#)

## 4. Ergebnisse

- 4.1 [Dehnungszustand \(interaktiv\)](#)
- 4.2 [3D-Animation der Spannungsverteilung](#)
- 4.3 [Numerische Ergebnisse](#)
- 4.4 [Querschnittswerte](#)
- 4.5 [Spannungsergebnisse](#)
- 4.6 [Sicherheitsnachweis](#)
- 4.7 [Bemessung](#)
- 4.8 [3D-Interaktion N / My / Mz](#)

- 4.9 M/k-Linie
- 4.10 M/N-Linie
- 4.11 My/Mz-Linie
- 4.12 Ergebnisse löschen

[Zurück zum Hauptmenü](#)

## **4.1 Dehnungszustand (interaktiv)**

Nach Eingabe eines Querschnitts sowie einer Einwirkung können Sie sich die Dehnungsverteilung über den Querschnitt mit Wahl dieses Menüpunktes berechnen und anzeigen lassen (**Shortcut F9**).

Die Druckzone des Querschnittes wird dunkelgrau ausgefüllt, die Zugzone hellgrau. Im vorgewählten Abstand (Menü *Extras*, Unterpunkt *Einstellungen*, *Ergebnisse*) werden die Dehnungslinien ausgegeben. Die am stärksten beanspruchte Faser für Beton und Bewehrung werden zusätzlich mit einer Dehnungslinie gekennzeichnet.

Im Angriffspunkt der Kräfte wird die in diesem Lastfall wirkende Belastung ausgegeben. Falls diese Belastung zu groß ist, erscheinen hier die maximal aufnehmbaren Schnittgrößen. In diesem Fall wird der Sicherheitsnachweis durchgeführt, der entsprechende Sicherheitsfaktor steht oben links im roten Feld.

Der zweite Unterpunkt **Dehnung – Alle Lastfälle** (Shortcut Strg+F9) ist vor allem für die tägliche Arbeit im Ingenieurbüro gedacht. Zum Beispiel bei Ermüdungsnachweisen oder allgemein bei Nachweisen der Gebrauchstauglichkeit müssen häufig Spannungen für verschiedene Lastfälle ermittelt werden. Mit diesem Menüpunkt werden für alle Lastfälle die Dehnungszustände ermittelt und die detaillierten numerischen Ergebnisse in einem extra Fenster ausgegeben. Für den derzeitigen aktuellen Lastfall wird die Grafik mit Dehnungszustand ausgegeben.

Insbesondere der dritte Unterpunkt **Dehnung - Interaktiv** bietet sowohl für das Entwerfen und Konstruieren als auch zum Vorführen und Erläutern in einer Vorlesung große Vorteile. Haben Sie diesen Punkt gewählt, wird bei jeder Änderung des Querschnitts die Dehnungsverteilung neu berechnet. Sie können so z.B. die Lage der Bewehrung ändern und sehen sofort die Wirkung auf den Querschnitt und die aufnehmbare Belastung.

Durch nochmaliges Anwählen des Unterpunktes **Dehnung - Interaktiv** wird dieser Modus wieder ausgeschaltet.

Treten bei der Berechnung Fehler auf, wird die Ergebnisausgabe abgebrochen und falls möglich die Fehlerart erläutert. Ursache kann einerseits die Nichtkonvergenz der Iteration sein, die sich allerdings nur schwer durch den Nutzer beheben lässt. Häufigster Grund ist jedoch ein Fehler in der Definition der Baustoffeigenschaften, die in so einem Fall noch einmal überprüft werden sollten.

War der interaktive Modus der Dehnungsberechnung aktiviert, wird dieser bei Fehlern

meistens ausgeschaltet.

### Ausgabe der Ergebnisse:

Im Menü *Datei*, Unterpunkt *Ausgabe* können Sie die Grafik als BMP-Datei exportieren oder auf dem Drucker ausgeben lassen. Beim Drucken haben sie die Möglichkeit durch das Setzen des entsprechenden Häkchens die (kurzen) numerischen Ergebnisse zusammen mit der Grafik auf einer Seite zu drucken.

Die Numerischen Ergebnisse werden im Menü *Ergebnisse*, Unterpunkt *Numerische Ergebnisse* aufgerufen.

Ausführliche numerische Ergebnisse erhalten Sie im Menü *Ergebnisse*, Unterpunkt *Num. Erg. detailliert* (Numerische Ergebnisse detailliert).

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Ergebnisse](#)

## 4.2 Spannungsverteilung und Dehnungsebene als 3D-Animation

Nach erfolgreicher Berechnung des Dehnungszustandes ist eine Animation der Spannungsverteilung möglich. Mit Aufruf dieses Unterpunktes öffnen sich zwei weitere Fenster, ein Steuerungspanel sowie ein Ansichtsfenster zur Ausgabe der 3D-Grafik.



In diesem Fenster befinden sich Buttons zur Steuerung der Rotation um die z-Achse, außerdem kann das Objekt zum Betrachter hin gekippt sowie zur Seite geneigt werden. Mit dem Richtungskreuz auf der linken Seite kann das 3D-Objekt in 3°-Einzelschritten gedreht werden.

Weiterhin ist die *Höhe der Spannungsfläche* einstellbar, der *Zoomfaktor* des gesamten Objektes ist in bestimmten Grenzen ebenfalls wählbar. Mit *Position* kann das Objekt in vertikaler Richtung verschoben werden, um es optimal auf das Fenster einpassen zu können. Außerdem ist mit dem Punkt *Objektiv* das Aussehen der Grafik beeinflussbar. Mit *Tele* erhalten Sie eine Parallelprojektion, mit *Weitwinkel* wird des Objekt in Zentralperspektive (isometrisch) dargestellt.

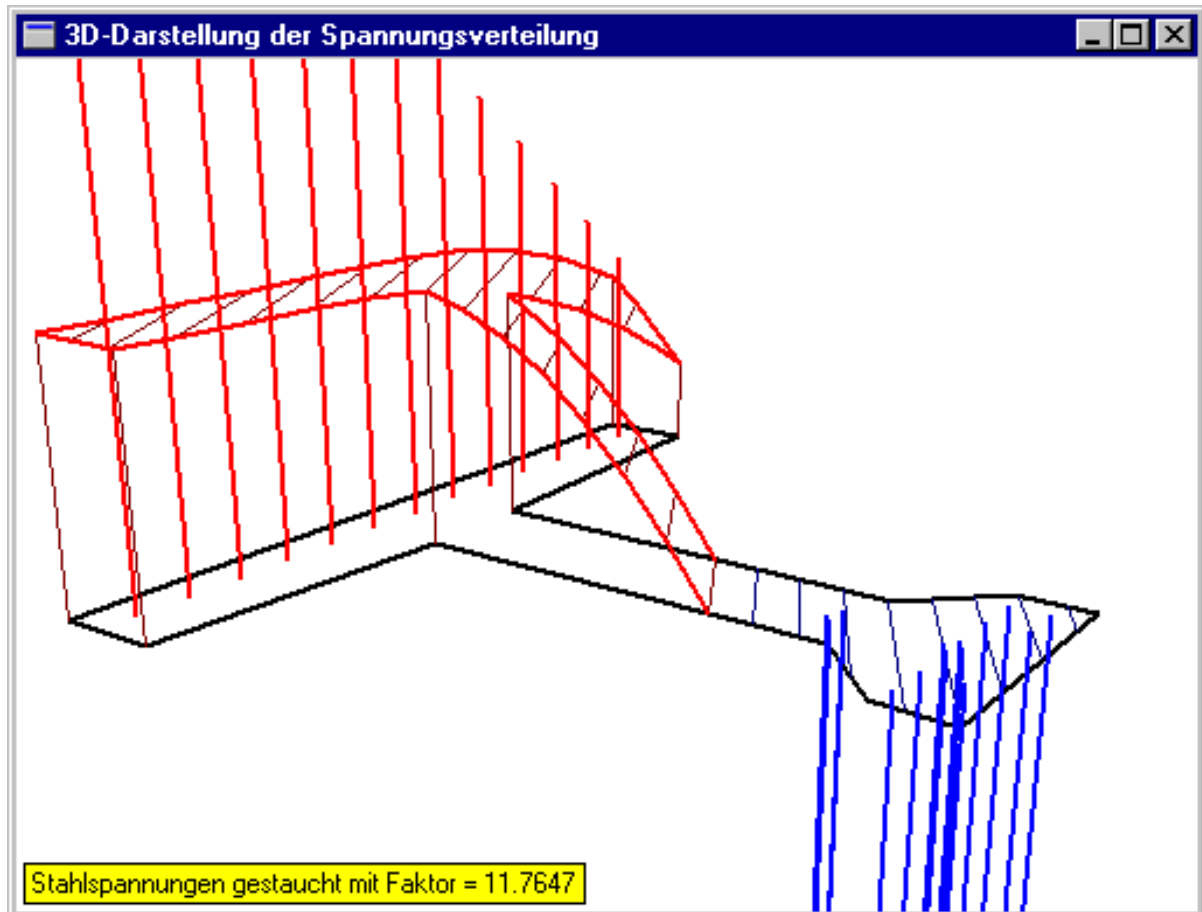
Für sehr schnelle Computer empfiehlt es sich, die Wartezeit zwischen zwei Bildern bei der Rotation zu erhöhen (*Geschwindigkeit*), die bessere Möglichkeit ist jedoch die Verringerung des Drehwinkels (*Schrittweite*) zwischen zwei Bildern.

Weiterhin können Sie über die Buttons "para" und "iso" zwei Ansichten wählen. Im ersten Fall erhalten Sie einen Blick genau von der Seite (90° zur Dehnungslinie), außerdem wird das Objektiv auf *Tele* gestellt, was mit einer **Parallelperspektive** vergleichbar ist. Mit dem Button "iso" wechseln sie in die **isometrische** Ausgangsposition.

Mit dem Button *BMP* haben Sie die Möglichkeit, die aktuelle Grafik der Spannungsverteilung

als Bilddatei im BMP-Format zu exportieren. Benutzen Sie evtl. ein Bildverarbeitungsprogramm, um die Farbtiefe auf z.B. 16 Farben zu reduzieren. Mit *Exit* verlassen Sie die Animation.

Zusätzlich zum Steuerungsfenster können Sie in der Grafik durch Klicken und Ziehen mit der Maus nach rechts/links sowie oben/unten die Grafik drehen und kippen.



Dieses Bild zeigt die Spannungsverteilung eines vorgespannten Plattenbalkens unter zweiachsiger Biegung. In rot wird der Druckbereich gezeichnet, in blau die Zugspannungen. Die Qualität der Darstellung der Spannungsfläche im Beton hängt insbesondere im Parabelbereich des Sigma-Epsilon-Diagramms von der Anzahl und vom Abstand der Dehnungslinien ab (Menü *Extras, Einstellungen, Ergebnisse*). Je feiner die Unterteilung durch Dehnungslinien ist, desto besser kann z.B. beim Beton der parabelförmige Teil dargestellt werden. Ein zuviel an Dehnungslinien ergibt jedoch einen hohen Rechenaufwand (langsamere Animation), außerdem wird die Spannungsverteilung dadurch leicht unübersichtlich. Die Stahlspannungen werden meistens mit einem Faktor  $E_s / E_c$  (Verhältnis der E-Moduln) gestaucht ausgegeben. Diese Maßnahme erlaubt eine bessere Darstellung der interessierenden Betondruckspannungen. Im Grafikfenster wird dieser Stauchungsfaktor am unteren linken Rand ausgegeben.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Ergebnisse](#)

### 4.3 Numerische Ergebnisse

Mit Wahl dieses Menüpunktes öffnet sich ein Fenster, in dem die numerischen Ergebnisse der Dehnungsberechnung ausgegeben werden (*Shortcut N*). Dieses könnte beispielsweise so aussehen:

```
Sicherheitsnachweis und zugehöriger Dehnungszustand
Sicherheitsfaktor bis zum Erreichen des Grenzzustandes der
Tragfähigkeit
gamma      =      0.8824

N          : -1600.0000    M.y          :   141.1000    M.z          :
141.1000
N          = -1411.8684    M.y          =   124.5091    M.z          =
124.5091

alf.0      =   135.0000    y.0          =    -0.0214    z.0          =
0.0214

eps.0      =    -0.1775    deps/dy      =    -8.3062    deps/dz      =
8.3062
eps.2b     =    -3.5000    eps.1b       =     3.1450    eps.1s       =
2.3144
```

#### **Erläuterung der Zeilen:**

1. Einwirkungen S
2. für diesen Dehnungszustand ermittelte Schnittgrößen R  
Im gezeigten Beispiel ergeben sich diese Werte aus den Einwirkungen, die mit dem Sicherheitsfaktor  $\gamma = 0,8824$  multipliziert sind.
3. alf.0 = Neigung der Dehnungslinie  
y.0 = Schnittpunkt der Dehnungsnulllinie mit der y-Achse  
z.0 = Schnittpunkt der Dehnungsnulllinie mit der z-Achse
4. eps.0 = Dehnung des Querschnittes im Koordinatenursprung  
deps/dy = Verkrümmung in y-Richtung (Gradient der Dehnung)  
deps/dz = Verkrümmung in z-Richtung
5. eps.2b = Dehnung in der am stärksten beanspruchten Betonfaser (Druckzone)  
eps.1b = Dehnung in der am stärksten beanspruchten Betonfaser (Zugzone)  
eps.1s = Dehnung in der am stärksten beanspruchten Bewehrungsfaser (Zugzone)

Weiterhin werden in diesem Fenster je nach Auswahl die maximalen und minimalen Spannungen am Querschnittsrand aller Polygone und Bewehrungsgruppen ausgegeben. Auch eine Kurzzusammenfassung der Baustoffkennwerte kann gewählt werden. Gehen Sie dazu im Menü des Fensters auf *Anzeige* und wählen dort die entsprechenden Punkte. Führen Sie anschließend die Dehnungsberechnung etc. noch mal durch, um die Ausgabe zu aktualisieren.

Sie können zum Hauptfenster zurückkehren, ohne das Ergebnisfenster zu schließen. Führen

Sie im Weiteren eine neue Rechnung durch, werden die numerischen Ergebnisse automatisch erneuert.

Die Ergebnisse können mit dem letzten Unterpunkt des Menüs *Ergebnisse* gelöscht werden, die Grafik wird wieder neu aufgebaut.

Für **ausführliche numerische Ergebnisse** wählen Sie im Menü *Ergebnisse* den Unterpunkt *Num. Erg. detailliert*. Hier werden die Ergebnisse z.B. für jeden Punkt mit Dehnung und Spannung in einem extra Fenster ausgegeben.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Ergebnisse](#)

## 4.4 Querschnittswerte

In diesem Fenster werden die aktuellen Querschnittswerte wie Fläche, Schwerpunkt und Flächenmoment 2. Grades ausgegeben. Letzteres wird zusätzlich ins Hauptachsensystem transformiert sowie der Winkel ausgegeben.

**Querschnittswerte / linear-elastische Steifigkeiten**

Art der Querschnittswerte

Geometrische Querschnittswerte:

Flächen der Polygone ohne Berücksichtigung des E-Moduls

Flächen der Polygone mit Berücksichtigung des E-Moduls

Ideelle Querschnittswerte:

mit der Bruttofläche der Polygone (Ausparungen für die Bewehrung werden nicht berücksichtigt)

mit der Nettofläche der Polygone (Ausparungen für die Bewehrung werden berücksichtigt)

Einheiten

[ m ]

[ dm ]

[ cm ]

[ mm ]

Querschnittswerte

Alle Querschnittswerte sollen bei der Berechnung auf den Tangenten-E-Modul folgenden Baustoffs bezogen werden:

Betonstahl BSt 500, Bemessungswerte

Werte bezogen auf den E-Modul  $E = 200000 \text{ N/mm}^2$

Querschnittsfläche  $A = 0,06084 \text{ m}^2$

Schwerpunkt  $Y / Z = -0,00000 / 0,00000 \text{ [m]}$

$I_{yy} = 0,00345 \text{ m}^4$        $I_{zz} = 0,00328 \text{ m}^4$

$I_{yz} = 0,0 \text{ m}^4$

Transformation ins Hauptachsensystem

$\alpha = 0^\circ$

$I_1 = 0,00345 \text{ m}^4$        $I_2 = 0,00328 \text{ m}^4$

Steifigkeitswerte

$EA = 12168467.172 \text{ kN}$

$EI_{yy} = 690309.414 \text{ kNm}^2$

$EI_{zz} = 656307.564 \text{ kNm}^2$

$EI_{yz} = 0 \text{ kNm}^2$

Werte im Hauptachsensystem

$EI.1 = 690309.414 \text{ kNm}^2$

$EI.2 = 656307.564 \text{ kNm}^2$

Copy      OK

Die Berechnungsart können Sie wie folgt wählen.

1. Querschnittswerte nur für die Polygone  
Bewehrung und E-Modul werden nicht berücksichtigt
2. Querschnittswerte nur für Polygone mit Berücksichtigung des E-Moduls  
Bewehrung wird nicht berücksichtigt
3. ideale Querschnittswerte (*Bruttofläche*), Berücksichtigung der Bewehrung und Polygone mit ihrem jeweiligen E-Modul, Aussparungen im Beton hinter der Bewehrung werden *nicht* berücksichtigt, die Querschnittswerte werden auf den E-Modul eines vom Nutzer zu wählenden Baustoffs bezogen.
4. ideale Querschnittswerte (*Nettofläche*), Berücksichtigung der Bewehrung und Polygone mit ihrem jeweiligen E-Modul, Aussparungen im Beton hinter der Bewehrung werden berücksichtigt, die Querschnittswerte werden auf den E-Modul eines vom Nutzer zu wählenden Baustoffs bezogen.

Zusätzlich werden die linear-elastischen Steifigkeitswerte (EA und EI) ausgegeben. Weiterhin befindet sich ein Button *Copy* in diesem Fenster, mit dem die geometrischen Querschnittswerte in die Zwischenablage kopiert werden. Anschließend können diese z.B. in Word eingefügt werden.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Ergebnisse](#)

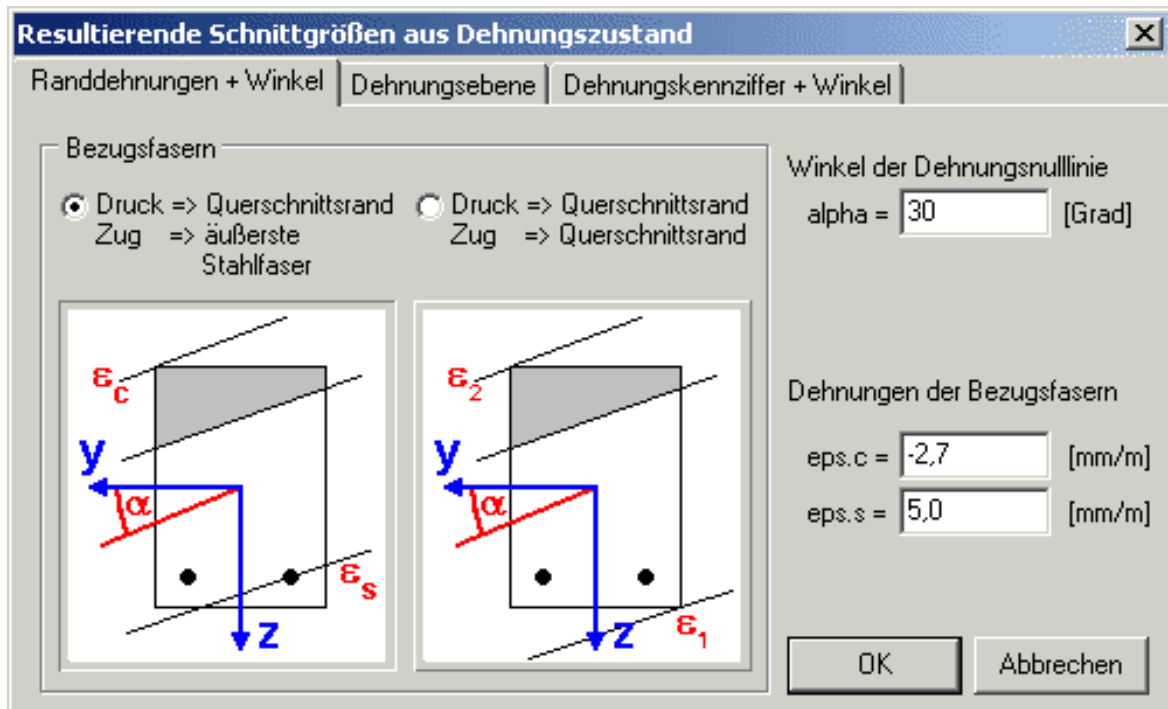
---

Erstellt mit 'Help to RTF' Dateikonverters von Herd Software Entwicklung.

## ***4.5 Spannungsergebnisse***

Mit diesem Punkt haben Sie die Möglichkeit, aus einem vorgegebenen Dehnungszustand die resultierenden Schnittgrößen zu berechnen (***Shortcut R***).





Der Dehnungszustand kann auf 3 verschiedene Arten vorgegeben werden

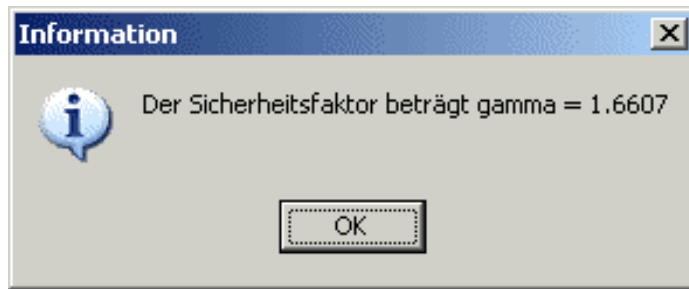
1. Eingabe der Dehnung auf der Druck- und auf der Zugseite. Auf der Zugseite wahlweise auf die äußerste Betonfaser oder die äußerste Stahlfaser bezogen. Zusätzlich muss der Winkel der Dehnungsnulllinie eingegeben werden.
2. Eingabe einer Dehnungsebene mit den drei Parametern  $\epsilon_0$  (Dehnung im Koordinatenursprung),  $k_y$  und  $k_z$  (Verkrümmung in y- und in z-Richtung)
3. Eingabe der DKZ (Dehnungskennziffer). Mit diesem Wert (0 bis 33) werden alle möglichen Grenzdehnungszustände eindeutig beschrieben. Der Querschnitt befindet sich demzufolge im Grenzzustand der Tragfähigkeit. Wie bei Punkt 1 muss auch hier noch der Winkel der Dehnungsnulllinie eingegeben werden.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Ergebnisse](#)

## 4.6 Sicherheitsnachweis

Beim Sicherheitsnachweis werden die Schnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit berechnet, die sich aus den gegebenen Schnittgrößen durch Multiplikation mit Sicherheitsfaktor  $\gamma$  ergeben (*Shortcut S*).



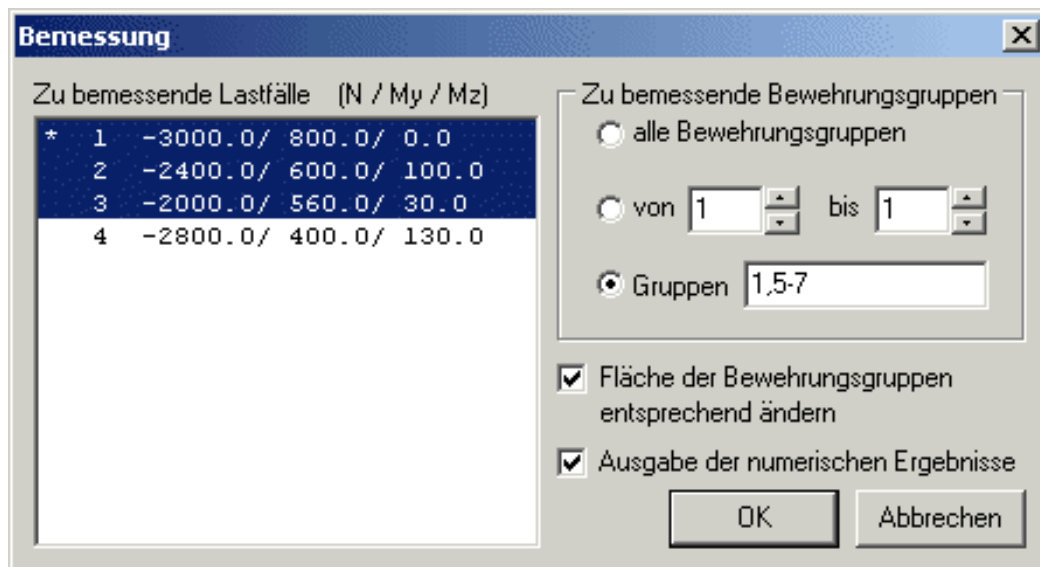
Der Sicherheitsfaktor wird in einem Hinweisfenster ausgegeben, alle weiteren Ergebnisse sind bei den numerischen Ergebnisse nachzulesen. Ist die Ausgabe der Zwischenergebnisse (Menü *Extras, Einstellungen, Ergebnisse, Iterationsverlauf*) aktiviert, kann dort die DKZ (Dehnungskennziffer) ausgelesen werden.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Ergebnisse](#)

## 4.7 Bemessung

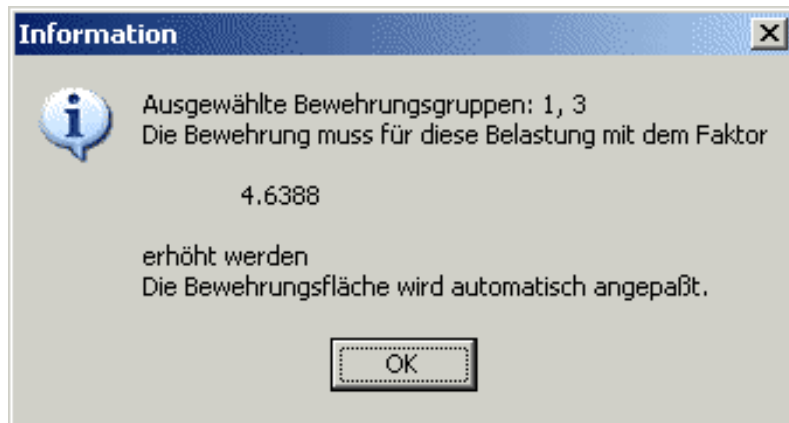
In diesem Punkt wird der Querschnitt für eine gegebene Schnittgrößenkombination bemessen (*Shortcut B*).



Die Bewehrungsmenge der angegebenen Bewehrungsgruppen wird dabei so lange variiert, bis ein Sicherheitsfaktor von  $\gamma = 1,0$  erreicht wird.

Dabei wird der Wertebereich allerdings von vornherein auf das minimale und das maximale Bewehrungsverhältnis beschränkt, dass im Menüpunkt *Eingabe, Unterpunkt Grenzdehnungen/Parameter* eingegeben wurde. Falls die Sicherheit von  $\gamma = 1,0$  selbst beim maximalen Bewehrungsverhältnis nicht gegeben ist, wird mit dieser maximalen Bewehrungsmenge der Sicherheitsnachweis durchgeführt. Ist andererseits selbst die minimale Bewehrungsmenge ausreichend, wird auch hier mit der minimalen Bewehrung der Sicherheitsnachweis geführt und  $\gamma$  ausgegeben.

Bei erfolgreicher Berechnung erhalten Sie folgende Ausgabe:



**Anmerkung:**

Bei vorgespannten Querschnitten kann es passieren, dass die automatische Bemessungsroutine für vorgespannte Bewehrungsgruppen nicht korrekt arbeitet. Zu Beginn wird überprüft, inwieweit die Tragfähigkeit mit dem minimalen und maximalen Bewehrungsverhältnis erfüllt ist. Im Fall einer sehr hohen Spannbewehrung kann diese dazu führen, dass der Querschnitt allein durch die hohe Vorspannung nicht tragfähig ist, so dass das Programm zu dem Schluss kommt, dass eine Bemessung nicht möglich ist. In einem derartigen Fall muss die Spannbewehrung „per Hand“ solange vergrößert werden, bis die Tragfähigkeit gegeben ist. Abgesehen davon wird in den meisten Fällen die Spannbewehrung entsprechend den Anforderungen im Gebrauchzustand gewählt (überdrückter Querschnitt) und gegebenenfalls zusätzlich schlaffe Bewehrung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit eingelegt.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Ergebnisse](#)

An:  
Herd Software Entwicklung  
Bernd Herd  
Kettelerstr. 35

Tel.: 06206-707775  
Fax: 06206-707776

68642 Bürstadt  
Germany

## Bestellung "Help to RTF"

Anzahl	Artikel	Einzelpreis EURO	Gesamtpreis EURO
_____	Einzelplatzlizenz(en) "Help to RTF" Konverter für Windows Hilfedateien	25,--	_____
_____	Netzwerklizenz(en) "Help to RTF" Konverter für Windows Hilfedateien	50,--	_____
	Zzgl. Porto, Verpackung und Bearbeitung		4,--
Die Preise verstehen sich incl. Mwst.		Summe	_____

## Absender

Name: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Straße: \_\_\_\_\_

Plz. Ort: \_\_\_\_\_

Tel. Fax: \_\_\_\_\_

E-Mail: \_\_\_\_\_

Umsatzsteuer Ident-Nr:  
(Bei nicht-privaten Bestellungen aus Österreich) \_\_\_\_\_

VISA-Kreditkartennummer und Ablaufdatum: \_\_\_\_\_

Bankleitzahl/Kontonummer für Bankeinzug:  
(nur in Deutschland) \_\_\_\_\_

**Unterschrift:**

Datum:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## 4.8 Interaktionsdiagramm $N / M_y / M_z$

Mit diesem Menüpunkt wird für alle Hauptverkrümmungsrichtungen im Winkelabstand von  $10^\circ$  die  $M/N$ -Linie berechnet. Zusammengenommen ergeben diese Linien einen 3dimensionalen Körper, der die aufnehmbaren Schnittgrößen des Querschnitts als Interaktion zwischen  $N$ ,  $M_y$  und  $M_z$  wiedergibt.

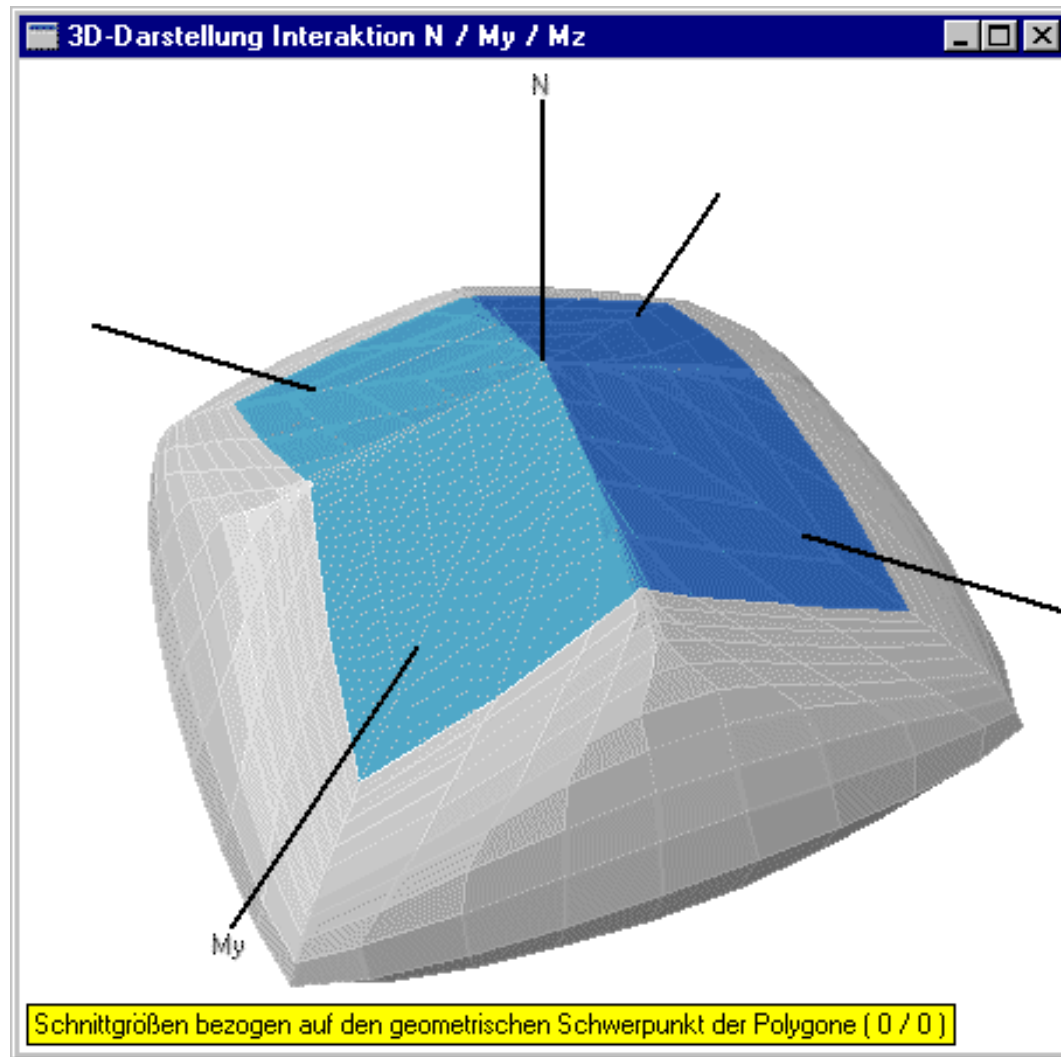
Ebenso wie bei der **3D-Spannungsverteilung** öffnet sich ein Fenster zur grafischen Ausgabe sowie ein Fenster zur Steuerung der Rotation, welches über nahezu identische Funktionen zur Ablaufsteuerung verfügt.



Zusätzlich befindet sich hier ein „Lichtschalter“, mit dem die Schattierung der Oberfläche an und ausgeschaltet werden kann. Diese Schattierung verstärkt den 3dimensionalen Effekt, ist jedoch aufwändiger in der Berechnung bei der Rotation (und damit etwas langsamer).

Zusätzlich zum Steuerungsfenster können Sie in der Grafik durch Klicken und Ziehen mit der Maus nach rechts/links sowie oben/unten die Grafik drehen und kippen

$N / M_y / M_z$  - Diagramm für einen doppelsymmetrischen Stützenquerschnitt:



Der blaue Bereich stellt die Resultanten zu den Dehnungskennziffern 33 bis 16 dar (Zugbruchbereich), der rote Bereich die Resultanten zu den Dehnungskennzahlen 6 bis 0 (näherungsweise überdrückter Querschnitt).

In früheren Versionen von INCA2 bzw. MasQueW wurde die Unterteilung der DKZ 0 bis 6 für den Bereich *Zentrisch gedrückt* bis *Dekompression* (Randdehnung auf der einen Seite  $\varepsilon = 0$ ) benutzt. In der vorliegenden Version von INCA2 musste die Definition der DKZ zur Anpassung an Verbundquerschnitte mit außen liegender Stahlfaser jedoch überarbeitet werden, so dass eine eindeutige Zuordnung in diesem Bereich nicht mehr möglich ist, weshalb der Abschnitt DKZ von 0 bis 6 nur noch näherungsweise den Bereich des vollständig überdrückten Querschnitts darstellt.

Für genauere Informationen zu der alten Definition der Dehnungskennziffer zur Beschreibung des Grenzzustands der Tragfähigkeit lesen Sie bitte Heft 415 DAfStb "Programmgesteuerte Berechnung beliebiger Massivbauquerschnitte unter zweiachsiger Biegung mit Längskraft (Programm MasQue)" von Busjaeger, Quast (1990). Im [Institut für Massivbau](#) (3-07) der TUHH ist ein Heft gleichen Inhalts gegen Erstattung der Selbstkosten erhältlich.

**Abstände optimiert:** Wegen der hohen Grenzdehnungen in der neuen Normungsgeneration insbesondere beim Stahl ändern sich die Ergebnisse teilweise bereits bei DKZ = 20 bis 33 nicht mehr. Gleiches gilt evtl. auch für den Bereich DKZ = 0 bis 1. Diese Bereiche werden daher aus der Berechnung rausgenommen, um dafür mehr Zwischenpunkte im interessierenden Mittel-Bereich zu berechnen. Vorteil ist, dass der 3D-Körper mit mehr

gerechneten Oberflächenpunkten und damit exakter in der Form dargestellt wird (allerdings auch langsamer in der Animation). Von Nachteil ist jedoch, dass die farbliche Zuordnung (Zugbruch- und Druckbruchbereich) nicht mehr stimmt.

**Abstände wie DKZ:** Hiermit erfolgt die Berechnung entsprechend der Dehnungskennziffern, mit dem Nachteil, dass bei hohen Grenzdehnungen für Stahl der 3D-Körper mit nur wenigen Punkten und damit weniger exakt in der Form dargestellt wird. Andererseits grenzen die farblich markierten Flächen (rot und blau) in etwa den Zugbruch- und den Druckbruchbereich ein.

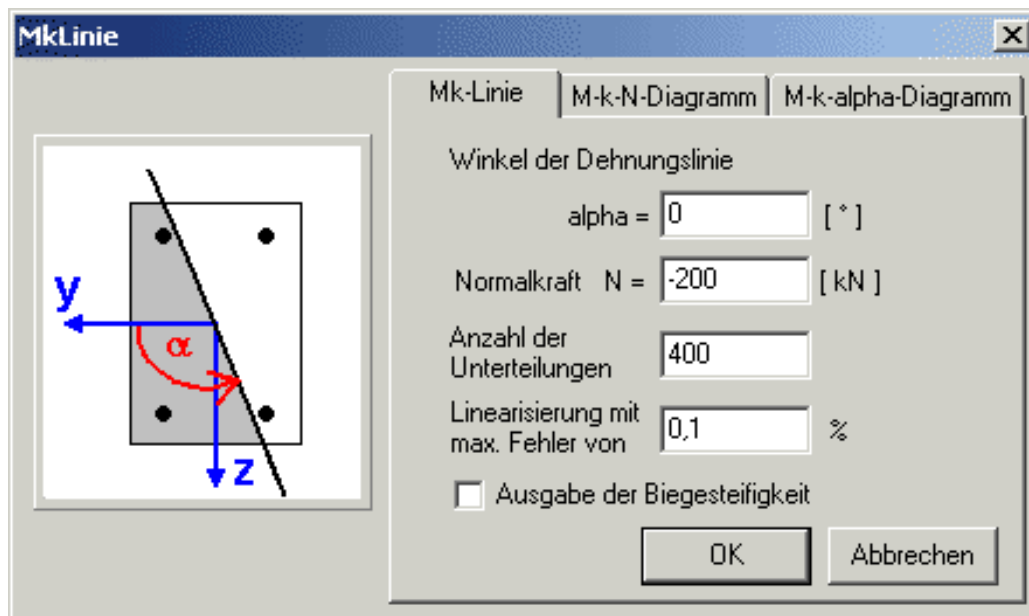
[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Ergebnisse](#)

## 4.9 M/k-Linie

Mit diesem Menüpunkt wird die Moment-Verkrümmungslinie des Querschnitts berechnet (**Shortcut M**). Als Eingangswerte dienen der Winkel der Dehnungsnulllinie sowie die konstant einwirkende Normalkraft. Weiterhin muss die Anzahl der Unterteilungen eingegeben werden.

Um den Aufwand für weitere Berechnungen mit der M/k-Linie zu minimieren, wird versucht, die M/k-Linie in Teilbereichen zu linearisieren. Dazu werden unwichtige Punkte der Linie einfach entfernt. Geben Sie deshalb in der letzten Textbox den maximalen Fehler in Prozent an. Eine Genauigkeit von 0,1 % bis 2 % ist im Normalfall eine gute Wahl.



Die Ergebnisse werden einmal in grafischer Form in einem extra Fenster ausgegeben (Metafile, Vektorgrafik), ebenso wie die numerischen Ergebnisse, die in einem extra Fenster mit allen wichtigen zugehörigen Größen tabellarisch dargestellt werden. In dieser Tabelle werden folgende Größen ausgegeben

- $\epsilon_{s0}$  Dehnung des Querschnitts im Koordinatenursprung
- $k_{ges}$  Gesamtverkrümmung =  $(k_y^2 + k_z^2)^{1/2}$
- $N, M_y, M_z$  Schnittgrößen
- $M_{ges}$  Gesamtmoment =  $(M_y^2 + M_z^2)^{1/2}$  wobei das Vorzeichen

- entsprechend der Orientierung des Gesamt-Momentenvektors bestimmt wird
- $\alpha_M$  Winkel des Gesamt-Momentenvektors
  - Anz.Sp. Anzahl der Spannungsintegrationen zur Bestimmung des Punktes auf der M/k-Linie. Das Vorzeichen gibt an, ob der Startwert der Iteration größer oder kleiner als der Endwert ist.

Bei der Ermittlung der M/k-Linie wird zuerst der Grenzzustand (maximale positive und maximale negative Verkrümmung) ermittelt. Im weiteren wird der Bereich zwischen den Grenzkrümmungen in gleiche Abschnitte eingeteilt und zu jedem Verkrümmungswert das zugehörige Biegemoment bestimmt. Mit dieser vorerst einfachen Vorgehensweise werden leider nicht die charakteristischen Punkte der M/k-Linie erfasst, die z.B. durch das Aufreißen oder durch das Fließen der Bewehrung entstehen. Bisher können diese Knicke in der M/k-Linie nur durch eine möglichst feine Unterteilung sichtbar gemacht werden.

Am Ende der numerischen Ausgabe der Mk-Linie wird die linearisierte Linie für das Programm ABaS (Anschauliche Balkenstatik, nichtlineare Berechnungen von 1D-Stabtragwerken, Download unter [www.tu-harburg.de/mb](http://www.tu-harburg.de/mb)) sowie für Excel ausgegeben. Je nach Genauigkeitsanforderung werden unwichtige Werte der Linien nicht angezeigt. Ein wichtiger Grund dafür ist, dass ABaS maximal 50 Wertepaare der Mk-Linie für eine nichtlineare Verformungsberechnung verarbeiten kann. Achten Sie bei der Berechnung mit ABaS bitte auch darauf, dass die Mk-Linie keine fallenden Bereiche aufweist (negative tangentielle Biegesteifigkeit). Mit der herkömmlichen Balkenstatik lassen sich derartige Probleme nicht lösen, da plötzlich zu einem Biegemoment zwei verschiedene Verkrümmungen auftreten, die Zuordnung ist damit nicht mehr eindeutig.

Mit den Karteikartenreitern 2 und 3 stehen weitere Möglichkeiten der Berechnung von Mk-Linien zur Verfügung. Das M-k-N-Diagramm mit 2D- oder 3D-Ausgabe ist wichtig, um den Einfluss der Normalkraft auf das maximale Biegemoment oder die erreichbaren Verkrümmungen genauer studieren zu können. Das M-k-alpha-Diagramm zeigt den Zusammenhang bei schiefer Biegung, wenn sich die Hauptkrümmungsrichtung im gewählten Intervall verändert.

An dieser Stelle sei auch noch mal darauf hingewiesen, dass bei der Berechnung der Mk-Linie mit den beiden ersten Optionen die Hauptkrümmungsrichtung  $\alpha$  konstant bleibt. Damit wird die Richtung des resultierenden Momentenvektors nur in Ausnahmefällen konstant sein und den gleichen Winkel wie die Hauptkrümmung haben (z.B.  $\alpha = 0^\circ$  bei einachs-symmetrischen Querschnitten,  $\alpha = 0^\circ / 45^\circ / 90^\circ$  bei doppelsymmetrischen Querschnitten).

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Ergebnisse](#)

PS: Viele fragen sich, warum heißt es **Ver**krümmung und nicht einfach nur Krümmung . . . Ganz einfach, es heißt ja schließlich auch Verschiebung und nicht Schiebung ;-)

## **4.10 M/N-Linie**

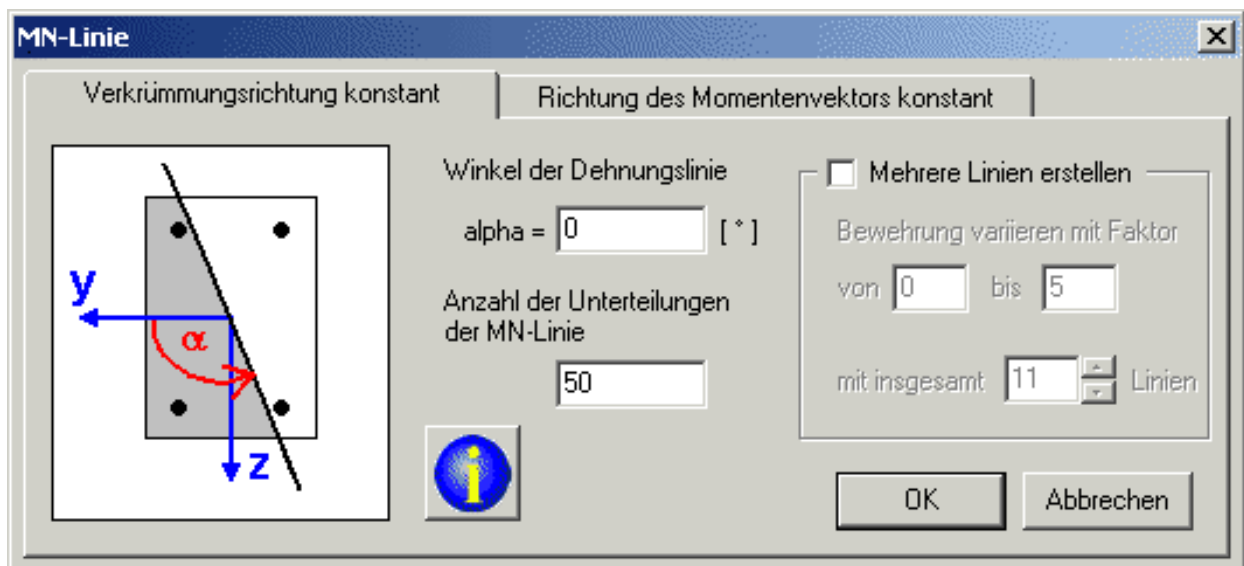
Mit diesem Menüpunkt wird die Moment-Normalkraft-Linie berechnet. Der Querschnitt



befindet sich jeweils im Grenzzustand der Tragfähigkeit. Einziger Eingangswert ist der Winkel der Dehnungsnulllinie bzw. des Momentenvektors, zusätzlich ist die Anzahl der Unterteilungen zu wählen.

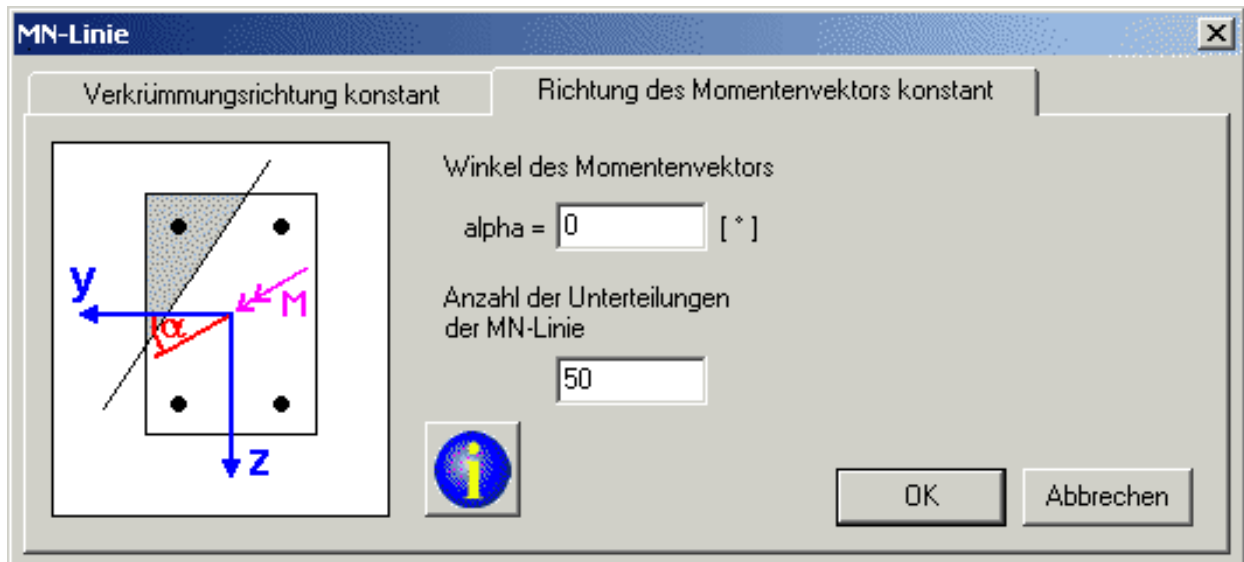
Bei der ersten Möglichkeit wird die MN-Linie für eine konstante Verkrümmungsrichtung berechnet. Bei unsymmetrischen Querschnitten bzw. einem gewählten Winkel der Verkrümmungsrichtung ungleich Null wird damit der Momentenvektor je nach Dehnungszustand einen sich verändernden Winkel besitzen. Diese M/N-Linie stellt deshalb im allgemeinen keinen senkrechten Schnitt durch die Kraftgrößenwiebel (**N/My/Mz-Interaktionsdiagramm**) dar. Nur in Sonderfällen (bei einachsiger Biegung und symmetrischen Querschnitten) sind die Winkel der Dehnungslinien und der Winkel des Momentenvektors gleich (nämlich gleich Null).

Zur Ermittlung dieser MN-Linie wird der Bereich der Dehnungskennziffer ( $DKZ = 0$  bis 33) in die gewählte Anzahl unterteilt und die jeweils zugehörigen Grenzzustände des Querschnitts berechnet. Charakteristische Punkte wie das Aufreißen des Querschnitts, Fließen der Zug- oder Druckbewehrung werden nicht gesondert erfasst.



Weiterhin besteht in diesem Punkt die Möglichkeit, in einem Rechengang Scharen von MN-Linien zu erzeugen. Wählen Sie dazu den Punkt *Mehrere Linien erstellen* und setzen die weiteren Werte ein. Sinnvoll ist dieses Feature, um z.B. M/N-Bemessungsdiagramme für Sonderquerschnitte zu erstellen, die von der Literatur nicht abgedeckt werden. Es ist damit aber auch möglich, für andere Bewehrungsstäbe (z.B. andere Festigkeiten) allgemeine Interaktionsdiagramme zu erstellen (Siehe **Beispiel 8.7 Interaktionsdiagramme**).

Als zweite Möglichkeit wird die MN-Linie für einen konstanten Winkel des Momentenvektors berechnet. Analog zur ersten Möglichkeit weist damit jetzt der Winkel der Hauptkrümmung bzw. der Dehnungsnulllinie einen sich verändernden Winkel auf.



Da in diesem Fall der Momentenvektor einen konstanten Winkel aufweist, stellt diese Linie einen senkrechten Schnitt durch die Kraftgrößenzwiebel (**N/My/Mz-Interaktionsdiagramm**) dar.

Bei beiden Möglichkeiten erhält man über den Info-Button eine kurze Hilfestellung zur Art der Berechnung.

Die Ergebnisse werden einmal in grafischer Form in einem extra Fenster ausgegeben (Metafile, Vektorgrafik), ebenso wie die numerischen Ergebnisse, die in einem extra Fenster mit allen wichtigen zugehörigen Größen tabellarisch dargestellt werden. In dieser Tabelle werden folgende Größen ausgegeben:

- Dehnungsebene mit  $\epsilon_0$ ,  $k_y$  und  $k_z$
- Schnittgrößen  $N$ ,  $M_y$ ,  $M_z$
- Gesamtmoment  $M_{ges}$
- Winkel des Gesamtmoments  $\alpha_M$
- Dehnungskennziffer  $DKZ$

### Anmerkungen:

Durch die in der neuen Normung hochgesetzte Grenzdehnung für Stahl (nach DIN 1045-1 neu:  $\epsilon_{su} = 25 \text{ mm/m}$ ) ergeben sich teilweise bereits für die Dehnungskennziffern 20 bis 33 keine Unterschiede mehr in den Ergebnissen, da der Beton gerissen und die Bewehrung bereits vollständig im plastischen Bereich ist. Aus diesem Grund wird vor der Berechnung geprüft, in welchem Bereich der  $DKZ$  sich die resultierenden Schnittgrößen nicht mehr ändern. In der anschließenden Rechnung kann dann der relevante Bereich mit mehr gerechneten Punkten dargestellt werden.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Ergebnisse](#)

## 4.11 My/Mz-Linie

Mit diesem Menüpunkt wird die My-Mz-Linie berechnet, die praktisch einen horizontalen Schnitt durch das **N/My/Mz-Interaktionsdiagramm** darstellt. Der Querschnitt befindet sich jeweils im Grenzzustand der Tragfähigkeit. Einziger Eingangswert ist die Normalkraft, zusätzlich ist die Anzahl der Unterteilungen zu wählen.

Die Ergebnisse werden einmal in grafischer Form in einem extra Fenster ausgegeben (Metafile, Vektorgrafik), ebenso wie die numerischen Ergebnisse, die in einem extra Fenster mit allen wichtigen zugehörigen Größen tabellarisch dargestellt werden. In dieser Tabelle werden folgende Größen ausgegeben:

- Dehnungsebene mit  $\epsilon_0$ ,  $k_y$  und  $k_z$
- Schnittgrößen N, My, Mz
- Dehnungskennziffer DKZ
- Winkel der Gesamtverkrümmung
- Anzahl der Spannungsintegrationen bei der Iteration

Liegt die vorgegebene Normalkraft über der Tragfähigkeit des Querschnitts, wird ein entsprechender Hinweis mit der Angabe der maximalen Zug- und Druck-Normalkraft ausgegeben.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Ergebnisse](#)

## 4.12 Ergebnisse löschen

Mit diesem Menüpunkt werden die Ergebnisse der Dehnungsberechnung gelöscht sowie das Fenster für die Numerischen Ergebnisse geschlossen (**Shortcut Strg+L**). Die Extra-Fenster für die Ausgabe der M/k-Linien etc. werden davon nicht betroffen.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Ergebnisse](#)

# 5. Menü Extras

## 5.1 Einstellungen

Bei Wahl dieses Menüpunktes erscheint ein Fenster mit mehreren Karteikarten, in denen Sie folgende Punkte einstellen können:

### 5.1.1 Darstellung

Hier wählen Sie, ob **Koordinatenkreuz** und **Schwerpunkt** ausgegeben werden. Die

Beschriftung der Punkte (Nummer und Bewehrungsgruppe) ist ebenfalls einstellbar. Weiterhin kann hier die Wahl des *aktuellen Lastfalls* erfolgen sowie die dargestellte Größe des Kraft- oder der Momentenpfeile auf dem Bildschirm (in Pixeln) eingestellt werden.

Das **Raster** dient als Hilfestellung bei der Eingabe von Punkten oder z.B. beim Verschieben. Punkte, die Sie mit der Maus zeichnen, werden dann mit den Koordinaten der Rasterpunkte erzeugt.

#### *Raster benutzen ein*

Beim Zeichnen mit der Maus werden die Rasterpunkte als Koordinaten benutzt

#### *Raster benutzen aus*

Die Pixel-Koordinaten der Maus werden ohne Rundung in Real-Koordinaten des Systems umgerechnet. In der Anzeige unten links werden zwar nur drei Nachkommastellen angezeigt, die so erzeugten Koordinaten werden jedoch nicht auf 3 Stellen gerundet.

#### *Raster sichtbar*

Das Raster wird mit Einzelpunkten angezeigt / nicht angezeigt.

#### *Rastergröße in [cm]*

Wollen Sie ein System erstellen, das in jeweils gleichem Abstand einen Querschnittspunkt aufweist, benutzen Sie diese Einstellung. Allerdings wird als kleinster Pixel-Abstand des Rasters immer 5 Pixel gesetzt, da ansonsten die Erkennbarkeit stark leidet.

#### *mindestens in Pixeln*

Das Programm versucht zuerst, die von Ihnen gewählten Rastergröße (in cm) darzustellen. Ist dies wegen des aktuellen Vergrößerungsfaktors nicht möglich, werden die Koordinaten bei Zehner-Vielfachen von 1, 2 oder 5 erzeugt. Bei gewähltem Mindestabstand von 10 Pixeln kann der wirkliche Abstand der Rasterpunkte deshalb zwischen 10 und ca. 24 Pixel schwanken.

Das engste Raster ist mit mindestens 5 Pixeln vorgegeben, da bei einem kleineren Abstand ein gutes und schnelles Zeichnen mit der Maus nicht mehr möglich ist.

### **5.1.2 Bearbeiten**

**Fangradius:** legt fest, in welchem Abstand (in Pixeln) ein Punkt noch markiert werden soll.

**Löschen:** Hier können Sie einstellen, ob vor dem Löschen vom Benutzer eine Bestätigung eingeholt werden soll. Außerdem können Sie hier festlegen, ob beim Löschen eines Polygons auch die zugehörigen Punkte entfernt werden sollen.

**Hinweise:** Hinweise zu wichtigen Schort-Cuts

Strg	mehrere Punkte gleichzeitig markieren
Entf	markierte Punkte / Polygone löschen
Alt + Enter	markierte Punkte / Polygone bearbeiten
F9	Dehnungszustand berechnen
Strg + F9	Dehnungszustand für alle Lastfälle berechnen
Strg + N	Datei Neu

Strg + O	Datei Öffnen
Strg + S	Datei Speichern
Strg + P	Datei Drucken (Print)
Strg + L	Ergebnisse Löschen
B	Start der Bemessung
N	Ausgabe der numerischen Ergebnisse
M	Berechnung der Mk-Linien
S	Sicherheitsnachweis

### 5.1.3 Bild Materialgesetz

Hier können Farben, Linienstärke und Fenstergröße (Auflösung) für die Darstellung der Materialgesetze eingestellt werden. Diese Werte werden auch für die Darstellung der M/k-Linie, M/N-Linie und My/Mz-Linie benutzt.

### 5.1.4 Ergebnisse

Hier wählen Sie, ob und in welchem Abstand bei der Ergebnisausgabe die **Dehnungslinien** angezeigt werden. Unabhängig davon werden immer die Dehnungsnulldlinie sowie die am stärksten beanspruchte Beton- und Bewehrungsfaser mit einer Dehnungslinie gekennzeichnet. Für die Qualität der animierten 3D-Darstellung der Spannungsverteilung über den Querschnitt ist diese Einstellung wichtig, da von ihr die Qualität der 3D-Spannungsfläche abhängt. Je feiner die Unterteilung durch Dehnungslinien ist, desto besser kann z.B. beim Beton der parabelförmige Teil dargestellt werden. Ein zuviel an Dehnungslinien ergibt jedoch einen hohen Rechenaufwand (langsamere Animation), außerdem wird die Spannungsverteilung dadurch leicht unübersichtlich.

Bei Problemen mit der Dehnungsberechnung (Nichtkonvergenz beim Dehnungszustand, Sicherheitsnachweis) kann hier eingestellt werden, ob die **Zwischenergebnisse** während der **Iteration** ausgegeben werden sollen. So erhält man einen groben Überblick, wo das Problem der Nichtkonvergenz evtl. liegen könnte.

#### **Brutto/Nettofläche des Betons**

Unterhalb eines definierten Bewehrungspunktes befindet sich im Normalfall noch der Beton. An dieser Stelle kann gewählt werden, ob dieser Betonanteil berücksichtigt oder abgezogen werden soll. Um ein Rechenergebnis per Handrechnung zu überprüfen, kann es sinnvoll sein, mit der Brutto-Betonfläche zu rechnen (keine Aussparung). Insbesondere für höher bewehrte Querschnitte mit hochfestem Beton sollten die Aussparungen für die Bewehrung jedoch nicht mehr vernachlässigt und eine Rechnung mit der Nettobetonfläche durchgeführt werden. Bei hochbewehrten Stützen kann die Tragfähigkeit ansonsten schnell um 10% und mehr überschätzt werden.

In der detaillierten Ausgabe der numerischen Ergebnisse werden die Bewehrungspunkte markiert, für die eine Aussparung definiert wurde.

Weiterhin kann hier die **Darstellung des 3D-Interaktionsdiagramms** eingestellt werden. Im ersten Fall werden eigene Routinen des Programms genutzt. Bei Wahl von OpenGL werden entweder die Betriebssystemroutinen oder die Routinen der Grafikkarte zur Darstellung genutzt.

## 5.2 Messen

Wählen Sie diesen Menüpunkt, um den Abstand zwischen zwei Punkten oder den Winkel mit drei Punkten zu bestimmen. Nach Wahl einer dieser Funktionen ändert sich der Mauscursor. Mit der rechten Maustaste kann abgebrochen werden.

## 5.3 Beton-Nettofläche

Wie zuvor bereits erklärt, befindet sich im Normalfall unterhalb eines definierten Bewehrungspunktes noch der Beton. Im Menü *Extras => Einstellungen => Ergebnisse* kann gewählt werden, ob dieser Betonanteil berücksichtigt oder abgezogen werden soll. Diese Berücksichtigung erfolgt jedoch erst intern während der Rechnung und ist damit für den Benutzer nur in der Ausgabe der detaillierten Ergebnisse sichtbar (dort werden die Bewehrungsstäbe, bei denen eine Aussparung im Beton berücksichtigt wurde, mit einem Sternchen \* markiert).

Mit dem hier vorgestellten Menüpunkt *Extras => Beton-Nettofläche* können die Aussparungen in der INCA2-Datei direkt erzeugt werden, indem an der Stelle der Bewehrungspunkte weitere Punkte mit einer negativen Fläche und der Materialeigenschaft des darunter liegenden Betonpolygons erzeugt werden. Dieser Menüpunkt sollte aber nur zur Überprüfung der genauen Ergebnisse dienen, da sich die Bewehrung des INCA2-Querschnitts anschließend etwas schwieriger händeln lässt. Schließlich liegen jeweils zwei Punkte übereinander, so dass das Selektieren relativ schwierig fällt. Auch bei der Bemessung können sich leichter Fehler durch den Benutzer ergeben, da sowohl die Bewehrungsgruppe als auch die Gruppe mit den zugehörigen Aussparungen angegeben werden muss.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

---

Erstellt mit 'Help to RTF' Dateikonverters von Herd Software Entwicklung.

# 6. Modellierung der Baustoffe

## **Spannungsdehnungslinien**

- 6.1 [Linear Elastisch](#)
- 6.2 [Parabel-Rechteck](#)
- 6.3 [Parabel \(EC2\)](#)
- 6.4 [Polygon / Spline](#)

## **Besonderheiten bei der Modellierung**

- 6.5 [Baustoff Beton - Materialkennwerte](#)

6.6 Mitwirkung des Betons auf Zug

6.7 Grenzdehnungen, Hinweise zu verschiedenen Normungen

6.8 Stahlbeton nach DIN 1045 (88),  
alte Normung, Hinweise zur Modellierung

6.9 Umrechnung DIN 1045 (88) und DIN 1045-1 (neu)

6.10 Schwinden und Kriechen

[Zurück zum Hauptmenü](#)

## ***6.1 Linear-Elastisch***

### **Beschreibung:**

- linear-elastisch, Hooke'sches Gesetz voll gültig

### **Anwendung:**

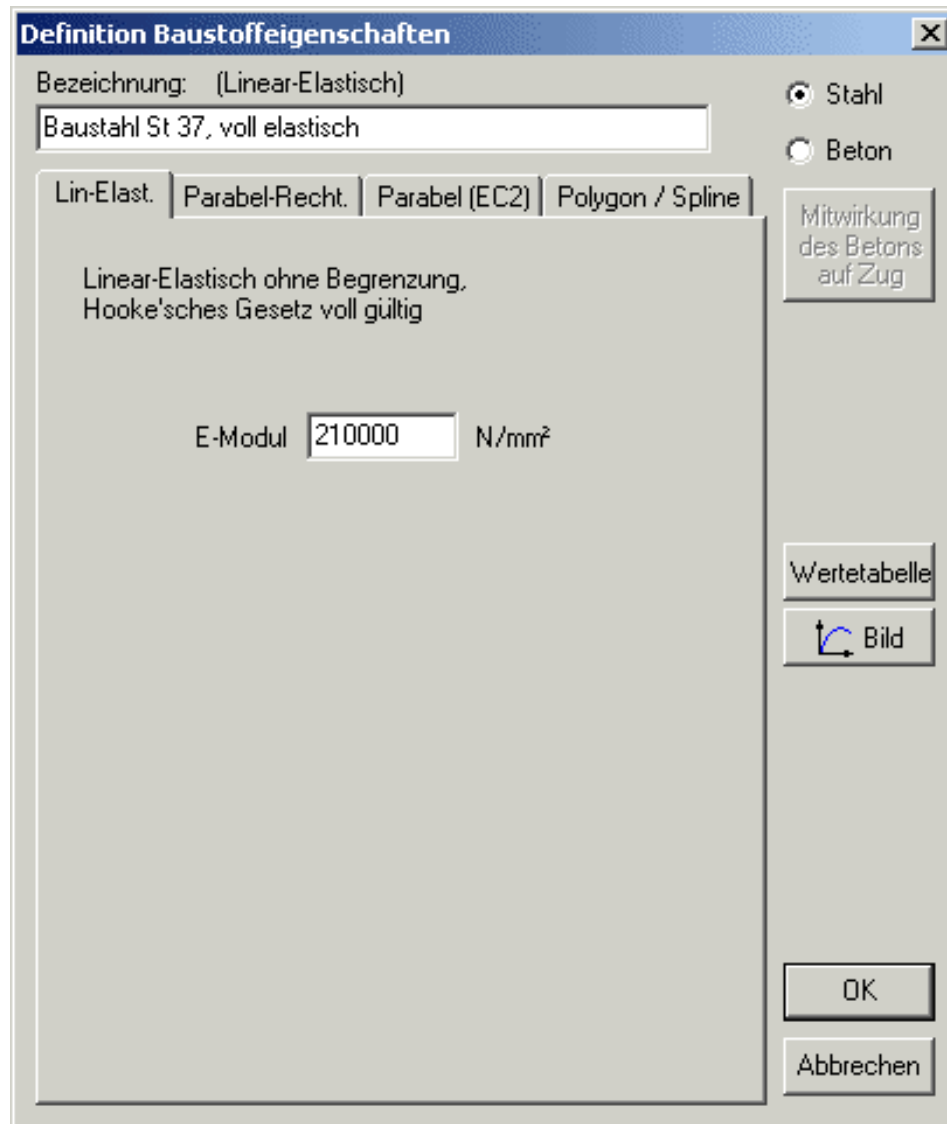
- linear-elastische Rechnungen, z.B. Stahl im elastischen Zustand

### **Vorteil:**

- schnelle Berechnung des Dehnungszustandes ohne Iteration

### **Nachteil:**

- nur für einfache Rechnungen

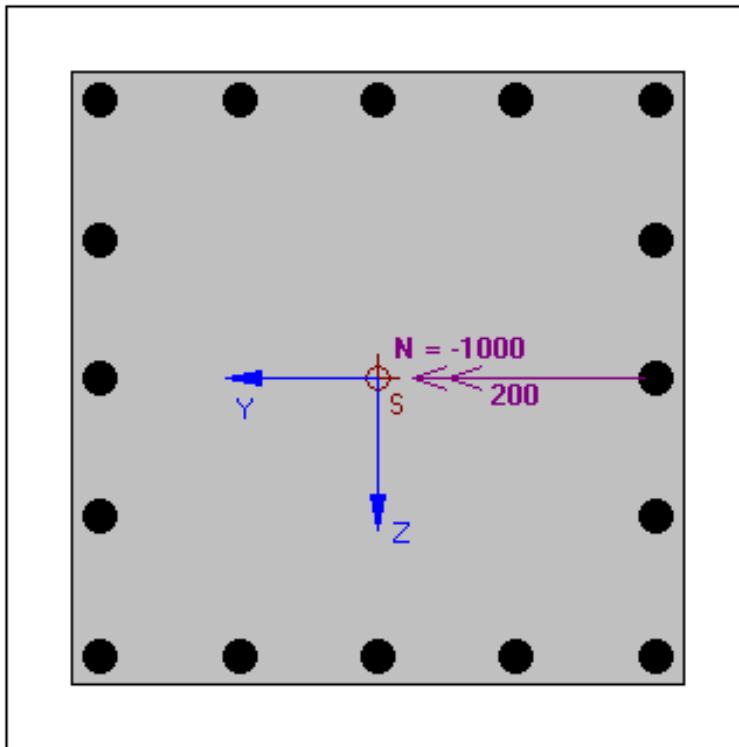


Einziger Eingabewert für dieses Materialgesetz ist der E-Modul.

### **Pseudobaustoff:**

Für einige Zwecke kann es sinnvoll sein, ein Pseudo-Material für z.B. Umrandungen o. ä. zu erstellen, welches die Rechnung nicht beeinflusst. Im folgenden Bild ist ein Stützenquerschnitt abgebildet, dessen Betondeckung bis zur Bügelbewehrung beim Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit nicht berücksichtigt wird. Die österreichische Normung sieht einen derartigen Sicherheitsaspekt bei hochbewehrten Stützen vor, da sich in Versuchen gezeigt hat, dass die Betondeckung bei einigen Stützen kurz vor Erreichen der maximalen Belastung abgeplatzt ist. Um in diesem Fall die Umrandung zwecks besserem Verständnis darzustellen, kann ein Pseudomaterial mit dem E-Modul  $E = 0$  definiert werden. Damit diese Eingabe vom Programm nicht zurückgewiesen wird, muss der Name des Materials den Begriff „PSEUDO“ enthalten.





C 40/50 - B 50  
BSt 550  
Pseudobaustoff für Umrandung

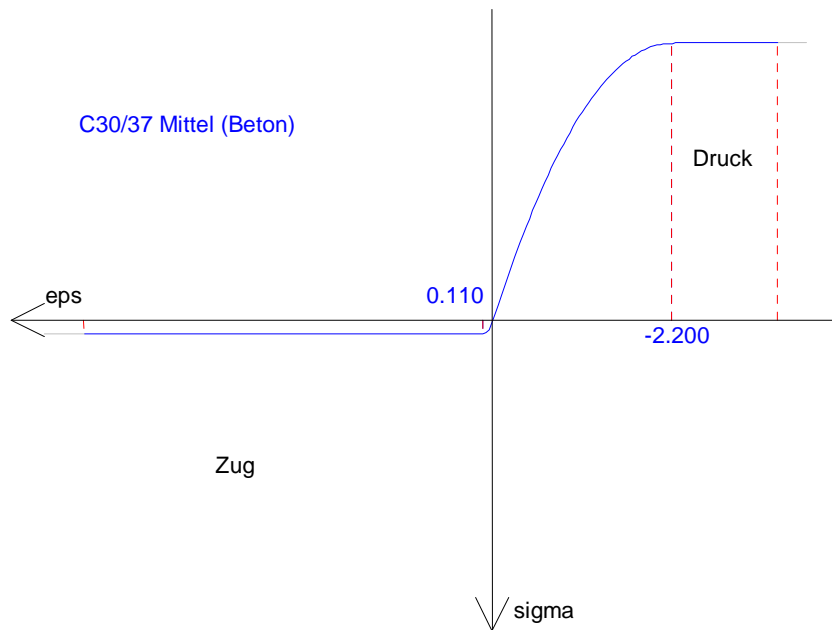
[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Modellierung der Baustoffe](#)

## 6.2 Parabel-Rechteck

### Beschreibung:

- besteht aus einer Parabel im ersten Teil und einem linearen zweiten Abschnitt unterschiedliches Verhalten im Druck- und im Zugbereich
- **Mitwirkung des Betons auf Zug** in der gerissenen Betonzugzone nach *Quast* und *Espion*

**Anwendung:**

- nichtlineare Berechnungen vor allem für Querschnittsnachweise (Tragfähigkeit im ULS) mit den vereinfachten Spannungsdehnungslinien nach EC2 und DIN 1045 (neu)
- Verformungsberechnungen (Momenten-Verkrümmungs-Linie)

**Vorteil:**

- einfache Definition der üblichen rechnerischen Spannungs-Dehnungslinien
- Anpassung der Völligkeit der Parabel über den Exponenten
- Anpassung der Steigung im zweiten linearen Abschnitt (z.B. für den Verfestigungsbereich von Betonstahl)

**Nachteil:**

- Anpassung der Spannungsdehnungslinie an Messwerte aus Experiment nicht immer exakt möglich

**Definition Baustoffeigenschaften**

Bezeichnung: (Parabel-Rechteck)  
 C 30/37 PR, Bemessungswerte

Stahl  
 Beton

Vereinfachte Parabel nach DIN 1045 (neu), zweiter Abschnitt waagrecht oder linear veränderlich

Mitwirkung der gerissenen Betonzugzone nach QUAST

Vereinfachte Definition

Mitwirkung des Betons auf Zug

Wertetabelle

Bild

OK

Abbrechen

Parameter	Druck	Zug
Spannung bei Erreichen der Fließgrenze in N/mm <sup>2</sup>	-17	0
Dehnung bei Erreichen der Fließgrenze in mm/m	-2	0
Exponent k (bestimmt die Völligkeit der Parabel)	2	2
E-Modul im KS-Ursprung in [N/mm <sup>2</sup> ]	17000	nicht def.
Spannung Sigma.2	-17	0
Dehnung eps.2	-7	5
E-Modul im 2. Abschnitt in [N/mm <sup>2</sup> ]	-0	0

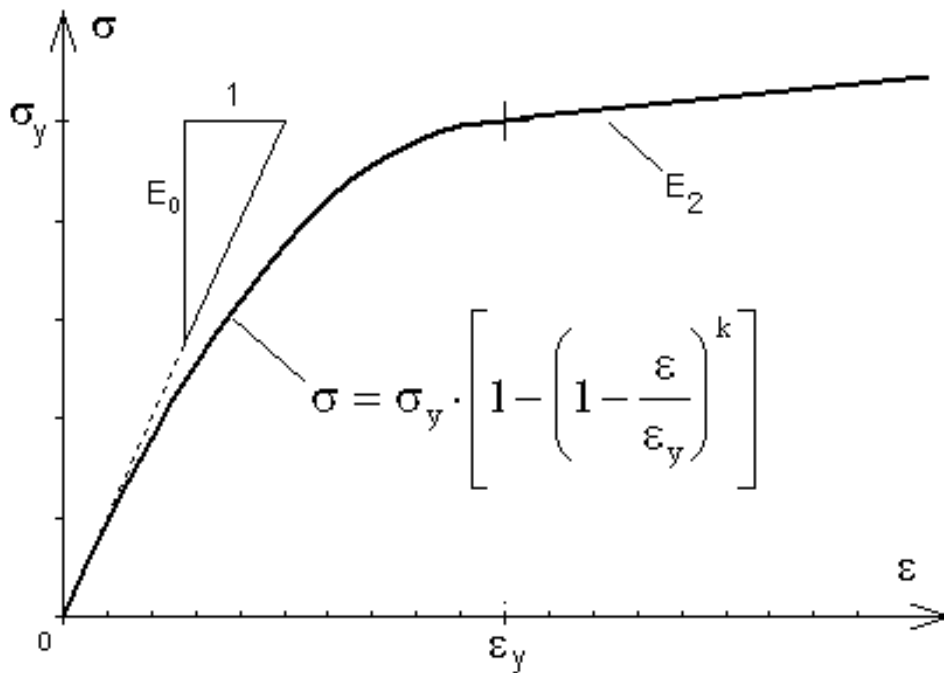
Mit diesem Materialgesetz haben Sie die Möglichkeit, für die Druck- und für die Zugseite einen eigenen Verlauf anzugeben. Der E-Modul, der bei Änderung der Eingabewerte jeweils neu berechnet wird, sollte allerdings im Zug- und im Druckbereich gleich sein. Der Check-Button "Vereinfachte Definition" erleichtert die Eingabe, wenn der zweite Abschnitt des Materialgesetzes genau waagrecht verläuft und der E-Modul im Koordinaten-Ursprung auf Zug- und Druckseite den gleichen Wert besitzt.. Wie im obigen Screenshot zu sehen, entfallen damit die Eingabewerte für den zweiten Abschnitt. Außerdem muss für die Zugseite nur die Zugdehnung  $\varepsilon_y$  eingegeben werden, die zugehörige Spannung wird vom Programm berechnet.

Oben rechts wählen Sie die Baustoffart (Beton oder Stahl). Beim Beton mit Zugfestigkeit geben Sie bitte weitere Parameter für die **Mitwirkung des Betons** in der gerissenen Betonzugzone ein (Button *Mitwirkung des Betons auf Zug*).

### Weitergehende Beschreibung:

Der Vorteil dieser Linien liegt in der einfachen Anpassungsfähigkeit der Parabel, die durch den Parameter k (Exponent) in weiten Bereichen variiert werden kann. Das übliche Parabel-Rechteckdiagramm wurde im Programm INCA2 erweitert, indem der

zweite Teil nicht wie üblich konstant, sondern linear verläuft. Damit ist zum Beispiel eine einfache Anpassung an die im plastischen Bereich leicht ansteigende Kennlinie des Betonstahls möglich.



Der Zusammenhang zwischen Dehnung und Spannung im Parabel-Teil wird durch folgende Gleichung beschrieben:

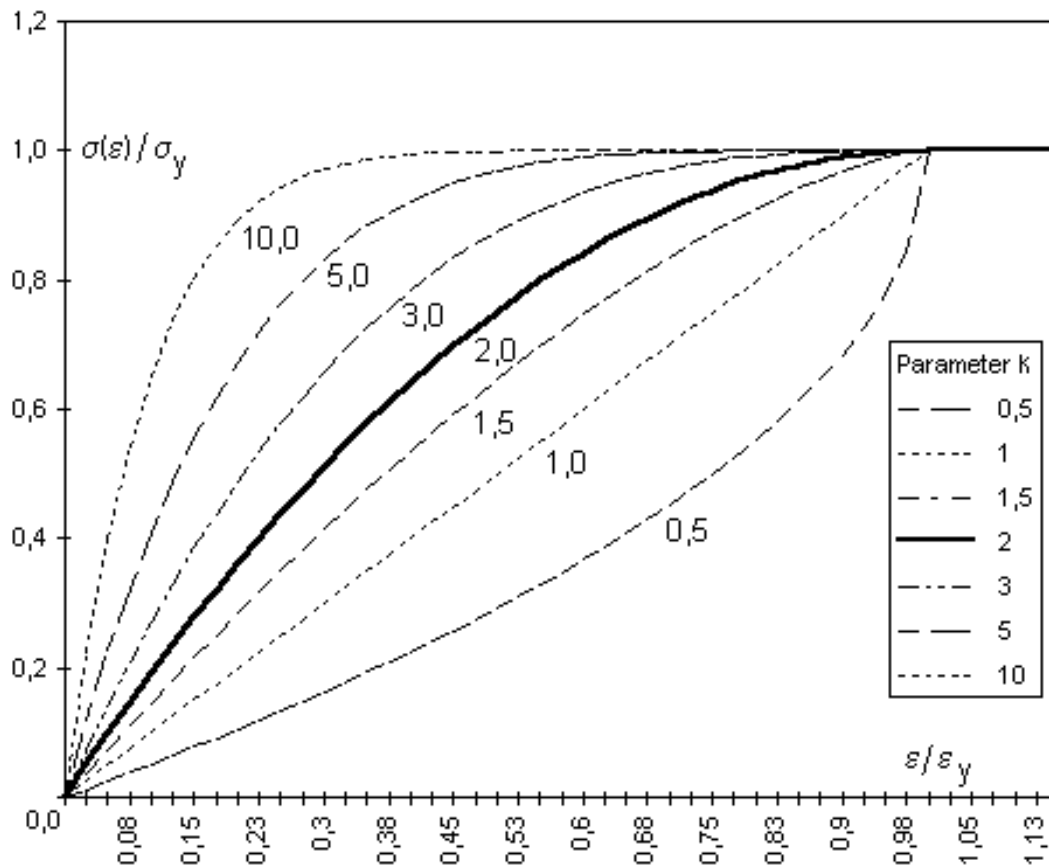
$$\sigma = \sigma_y \cdot \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} \right)^k \right]$$

mit  $\sigma_y$  = Fließspannung

mit  $\varepsilon_y$  = Fließdehnung

Verlauf des Parabel-Rechteck-Diagramms für verschiedene Parameter k

mit k = 0,5 1,0 1,5 2,0 3,0 5,0 10,0



(Spannung bzw. Dehnung jeweils normiert)

Durch Ableiten der oben genannten Formel nach Epsilon erhält man als Steigung der Funktion den E-Modul:

$$(E \cdot \varepsilon)' = (\sigma)'$$

$$E = \sigma_y \cdot k \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}\right)^{k-1} \cdot \frac{1}{\varepsilon_y}$$

Die Anfangssteigung bei  $\varepsilon = 0$  ergibt sich damit zu

$$E_0 = \frac{\sigma_y}{\varepsilon_y} \cdot k$$

Umgestellt erhält man damit auch den Parameter k zu vorgegebenem E.0.

Lesen Sie dazu bitte auch Heft 415 DAfStb, Seite 11 - 21

Wichtig für Verformungsberechnungen von Stahlbetonquerschnitten ist die **Mitwirkung des Betons** in der gerissenen Betonzugzone. Lesen Sie diesen Punkt bitte ebenfalls sorgfältig.

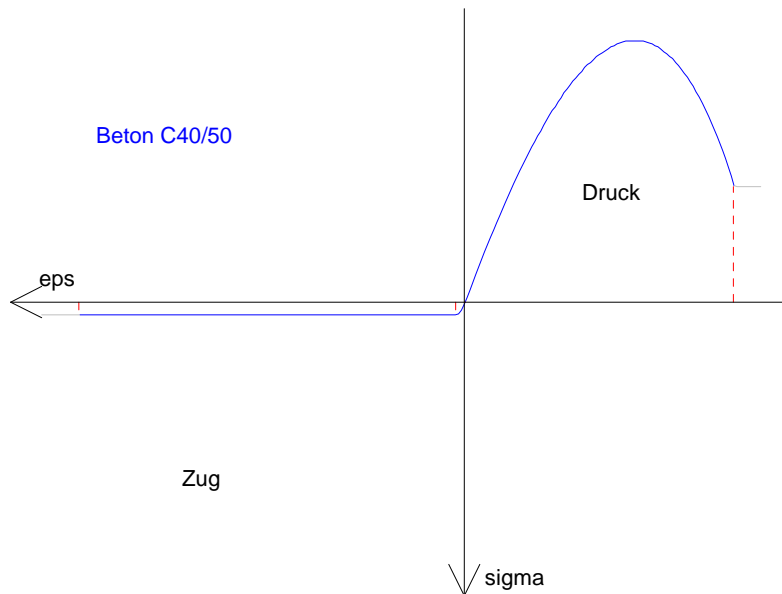
[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Modellierung der Baustoffe](#)

### **6.3 Parabel (EC2)**

**Beschreibung:**

- Parabel-ähnliche, gebrochen-rationale Funktion im Druckbereich
- Zugbereich: Parabel-Rechteck-Diagramm (mit waagrechtem zweiten Abschnitt)
- **Mitwirkung des Betons auf Zug** in der gerissenen Betonzugzone nach *Quast* und *Espion*

**Anwendung:**

- nichtlineare Verformungsberechnungen
- nichtlineare / plastische Schnittgrößen-ermittlung
- Berechnung nach Theorie II. Ordnung für kurzzeitig wirkende Lasten

**Vorteil:**

- einfache Definition der Spannungs-Dehnungs-Linie für Verformungsberechnungen

**Nachteil:**

- Definitionsbereich beachten (Grenzdehnungen !), da die Funktion eine weitere Nullstelle sowie eine Unendlichkeitsstelle (Asymptote) besitzt. Wird die Grenzdehnung für Beton auf der Druckseite zu hoch definiert, so kann es passieren, dass trotz negativer Dehnung eine positive Spannung ermittelt wird. Dieser Umstand wird jedoch in INCA2 vor jeder Berechnung abgeprüft und gegebenenfalls darauf hingewiesen.
- Anpassung der Spannungsdehnungslinie (Messwerte aus Experiment) nicht immer exakt möglich

**Definition Baustoffeigenschaften**

Bezeichnung: (Parabel nach EC2)

Stahl  
 Beton

Parabel nach EC2 bzw. DIN 1045 (neu) zur nicht-linearen Schnittgrößen-ermittlung

Mitwirkung der gerissenen Betonzugzone nach QUAST

Druck

E-Modul $E_c$	<input type="text" value="29000"/>	N/mm <sup>2</sup>	<input type="button" value="Info"/>
Tangentenmodul im Ursprung $E_{cm} = 1,1 * E_c =$	<input type="text" value="31900"/>	N/mm <sup>2</sup>	
Spannung $f_c$	<input type="text" value="-38"/>	N/mm <sup>2</sup>	
Dehnung $\epsilon_{c1}$	<input type="text" value="-2.3"/>	mm/m	

Zug (Parabel-Rechteck-Diagramm)

Spannung bei Erreichen der Fließgrenze in N/mm <sup>2</sup>	<input type="text" value="1.9"/>	N/mm <sup>2</sup>	<input type="button" value="Info"/>
Dehnung bei Erreichen der Fließgrenze in mm/m	<input type="text" value="0.115"/>	mm/m	
Exponent $k$ (bestimmt die Völligkeit der Parabel)	<input type="text" value="1.9308"/>		

**für Verformungsrechnung (M-k-Linie),  $f_{ct} > 0$**

Die drei Parameter für die Druckseite können dem EC2 bzw. der DIN 1045-1 (neu, inklusive Druckfehlerberichtigung) entnommen werden. Die Zugseite wird als Parabel-Rechteck-Diagramm mit einem waagerechten zweiten Ast definiert.

Oben rechts wählen Sie die Baustoffart (Beton oder Stahl). Beim Beton mit Zugfestigkeit geben Sie bitte weitere Parameter für die **Mitwirkung des Betons** in der gerissenen Betonzugzone ein (Button *Mitwirkung des Betons auf Zug*). Beachten Sie bitte dringend die dortigen Erläuterungen!

Im Fensterbereich für die Eingabewerte der Druckseite finden Sie einen Info-Button, über den Sie weitere Informationen zum Materialgesetz erhalten. Hier wird auch die zweite Druckfehlerberichtigung der DIN 1045-1 kurz erläutert.

Mit dem zweiten Infobutton erhalten sie eine Kurz-Information zur versteifenden Mitwirkung des Betons auf Zug und Anhaltspunkte für sinnvolle Eingabewerte. In blau wird weiter unten im Fenster eine Hilfestellung ausgegeben. Ist eine Zugfestigkeit definiert ( $f_{ct} > 0$ ) dann sollte dieser Baustoff vorzugsweise für Verformungsrechnungen benutzt werden (z.B. über Mk-Linien oder mittels Stab2D-NL). Ist keine Zugfestigkeit definiert ( $f_{ct} = 0$ ), dann wird die Rechnung direkt im Riss durchgeführt, so dass hiermit exakt die maximale Spannung und Dehnung ermittelt werden kann, z.B. für Nachweise

der Ermüdungsfestigkeit oder der Rissbreite.

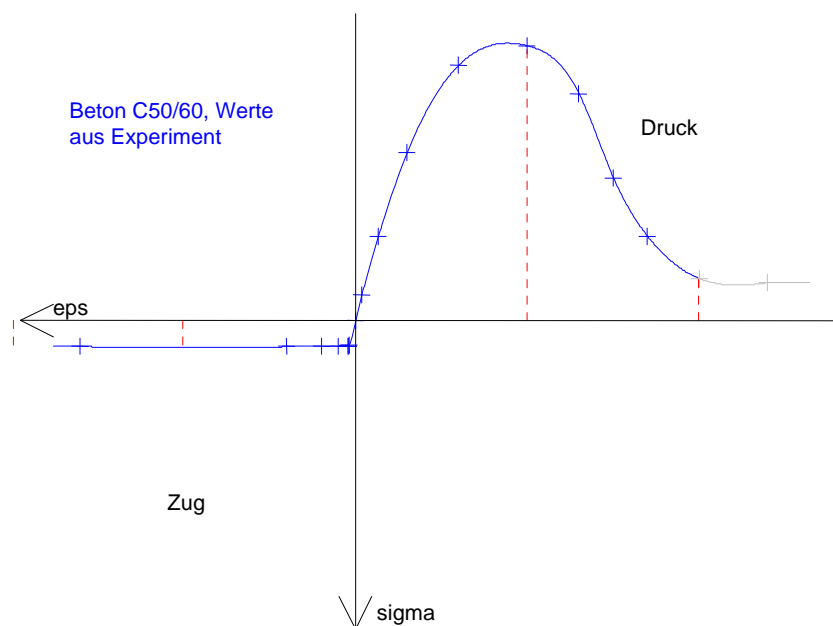
[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Modellierung der Baustoffe](#)

## 6.4 Polygon / Spline

### Beschreibung:

- Polygon / Spline mit beliebigen Messwerten aus einem Experiment
- **Mitwirkung des Betons auf Zug** in der gerissenen Betonzugzone nach *Quast* und *Espion*



### Anwendung:

- Nachrechnung von Experimenten (Verformung, Traglast)

### Vorteile:

- exakte Anpassung der Spannungsdehnungslinie an experimentelle Daten

### Nachteile:

- aufwändig in der Eingabe durch viele Messwerte (max. 100)
- bei sehr vielen Messwerten geringfügig langsamer in der Berechnung



**Definition Baustoffeigenschaften**

Bezeichnung: (Polygon/Spline)  
 Bewehrung D = 10 mm

Stahl  
 Beton

Lin-Elast.  
  Parabel-Recht.  
  Parabel (EC2)  
  Polygon / Spline

Spline-Interpolation durch die Punkte

	Epsilon	Sigma
1	-60	-577
2	-37,5	-575
3	-27	-570
4	-20,7	-565
5	-12,4	-555
6	-8,5	-545
7	-6,7	-535
8	-5,6	-525
9	-4,05	-500
10	-3,2	-475
11	-2,69	-450
12	-2,35	-425
13	-2,125	-400
14	-1,95	-375
15	-1,79	-350
16	-1,52	-300
17	-1,25	-250

Dehnungen in [mm/m]  
 Spannungen in [N/mm<sup>2</sup>]

Mitwirkung des Betons auf Zug

In diesem Fenster haben Sie die Möglichkeit, maximal 100 Wertepaare ( $\varepsilon / \sigma$ ) einzugeben. Die Reihenfolge der Wertepaare bei der Eingabe ist egal, da diese im Anschluss der Größe nach geordnet werden.

Die Wertepaare beschreiben einen Polygonzug, durch den zum Ausgleich ein Spline gelegt werden kann. Die Spline-Interpolation erfolgt wie üblich mit den Randbedingungen, dass die Verkrümmung (2. Ableitung) an den Enden rechts und links gleich Null ist.

Über die Buttons „Einfügen“ und „Kopieren“ können Werte von Excel eingefügt werden oder in die Windows-Zwischenablage kopiert werden. So ist es sehr einfach möglich, z.B. für die heiße Bemessung im Stahlbau oder auch Stahlbetonbau in Excel je nach Temperatur die Spannungs-Dehnungs-Linie zu ermitteln und diese mit ein paar Mausklicks nach INCA2 zu kopieren.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Modellierung der Baustoffe](#)

## 6.5 Baustoff Beton - Materialkennwerte

Da immer wieder Fehler bei der Modellierung der Betoneigenschaften gemacht werden, hier ein paar erläuternde Worte, wie die Definition nach Eurocode 2 (EC2) und nach der DIN 1045-1 (neue Ausgabe!) verläuft.

### **Bemessungswerte:**

Diese Baustoffkennwerte werden für die Bemessung eines Stahlbetonquerschnitts benutzt. Damit wird die untere Grenze der Festigkeit des Betons abgedeckt, die man auch unter den schlechtesten Bedingungen (Kiesnester, schlecht verdichtet etc.) mindestens noch erwarten kann.

Zur Ermittlung dieser Rechenfestigkeit nach DIN 1045-1 wird die charakteristische Festigkeit  $f_{ck}$  (5%-Fraktile) durch den Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_c = 1,5$  (ab C 55/67 etwas größer) dividiert und mit dem Dauerfestigkeitsbeiwert (z.B.)  $\alpha = 0,85$  multipliziert.

Die Zugfestigkeit des Betons wird nicht berücksichtigt, da der Nachweis im schwächsten Querschnittsteil, d.h. im Riss durchgeführt wird, wo nur die Betondruckzone und die Bewehrung zur Aufnahme der Kräfte wirkt.

Beispiel: Der Rechenwert der Betonfestigkeit ergibt sich für einen C 30/37 damit zu:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot \alpha = \frac{30 \frac{N}{mm^2}}{1,5} \cdot 0,85 = 17,0 \frac{N}{mm^2}$$

definiert. (Anmerkung: In älteren Ausgaben des EC2 ist  $f_{cd}$  noch als  $f_{cd} = f_{ck} / 1,5$  definiert. Dies wurde inzwischen jedoch korrigiert.)

Da beim Beton nur die maximale Spannung / Festigkeit mit einem Teilsicherheitsbeiwert abgemindert wird, die zugehörige Dehnung jedoch gleich bleibt, muss sich konsequenterweise auch der rechnerische E-Modul des Betons verkleinern. Bei dem genannten C30/37 besitzt der E-Modul für die Bemessungswert deshalb den Wert  $E_c = 17000 \text{ N/mm}^2$ .

### **Änderungen des Teilsicherheitsbeiwertes für Beton:**

#### **1. Veränderung von $\gamma_c$ bei steigender Betonfestigkeit (DIN1045-1)**

Mit den Betonfestigkeiten bis C50/60 wurden in der Vergangenheit schon viele Erfahrungen gesammelt, so dass der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_c$  konstant zu  $\gamma_c = 1,5$  gesetzt wurde. Die höherfesten Betone ab C55/67 bis C100/115 wurden erst mit der DIN 1045-1 neu eingeführt, baupraktische Erfahrungen liegen bisher wenig vor. Auch um die evtl. höheren Streuungen der Festigkeiten zu berücksichtigen, erhöht sich der Teilsicherheitsbeiwert mit steigender Festigkeit leicht nach folgender Formel:

$$\gamma_c = \frac{1,5}{1,1 - \frac{f_{ck}}{500}} \geq 1,5$$

Beispiel:      C55/67             $\gamma_c = 1,515$   
                   C100/115           $\gamma_c = 1,667$

Diese Teilsicherheitsbeiwerte wurden bei der Definition der Standardbaustoffe in INCA2 berücksichtigt.

#### **2. Unbewehrte Bauteile (DIN 1045-1)**

$\gamma_c = 1,8$             Für ständige/veränderliche Lasten  
 $\gamma_c = 1,55$           Für außergewöhnliche Lasten

### 3. Fertigteile

Für Fertigteile mit werksmäßiger ständiger Überwachung (Teile mit zu geringer Festigkeit müssen aussortiert werden!).

$$\gamma_c = 1,35$$

### 4. Außergewöhnliche Belastung

Bei einer außergewöhnlichen Belastungssituation darf für den normalen Stahlbeton mit einem kleineren Teilsicherheitsbeiwert gerechnet werden:

$$\gamma_c = 1,3$$

Wie bereits oben erwähnt wurde der mit steigender Betonfestigkeit zunehmende Teilsicherheitswert  $\gamma_c$  bei der Definition der Baustoffeigenschaften berücksichtigt. Alle anderen Änderungen (z.B.  $\gamma_c$  für Fertigteile) müssen vom Nutzer selber vorgenommen werden (Eingabe einer anderen Betonfestigkeit!). Auch bei Rechnungen nach anderen Normen oder Änderungen der aufgeführten Normen EC2 und DIN 1045-1 müssen Änderungen vom Benutzer durchgeführt werden. Die standardmäßig in der Datei Baustoffe.inc aufgeführten Baustoffe sollten deshalb immer überprüft werden.

#### **Mittelwerte:**

Diese Baustoffkennwerte werden ausschließlich für Verformungsberechnungen benutzt. Aus einer großen Anzahl von (Labor-) Versuchen wurde das mittlere Verformungsverhalten des Probekörpers und damit die Sigma-Epsilon-Beziehung bestimmt. Auch wenn das Bauteil (z.B. Balken) an einer Stelle eine Schwachstelle besitzt (z.B. Kiesnester), wird sich das nicht auf die Gesamtverformung auswirken. Dem Beton wird in der Zugzone eine gewisse versteifende Mitwirkung zugewiesen, da der Beton zwischen zwei Rissen immer noch ungerissen ist, sich im Zustand I befindet und damit eine sehr viel höhere Steifigkeit (EI) besitzt als im gerissenen Zustand II. Bei der Berechnung mit Betonzugfestigkeit wird die Methode nach *Quast* und *Espion* (verschmierte Risse) benutzt, bei der eine mittlere Betonzugspannung angesetzt wird. Als guter Erfahrungswert hat sich jeweils 1/20 bis 1/30 der Druckspannung sowie 1/20 bis 1/30 der Dehnung im Scheitel der Parabel herausgestellt. Nähere Erläuterungen zum Mitwirkungsgesetz finden Sie in der Hilfe unter Punkt [6.6 Mitwirkung des Betons auf Zug](#).

Die mit INCA2 ausgelieferte Baustoff-Datei enthält die Mittelwerte aller gängigen Betonsorten. Die Zugspannung  $f_{ct,cal}$  bzw. die Zugdehnung  $\epsilon_{ct,cal}$  sind brauchbare Erfahrungswerte der Autoren, die aber im Einzelfall recht stark schwanken können. Auch das Mitwirkungsgesetz des Betons (Abnahme bei größeren Dehnungen) sollte vom Benutzer im Bedarfsfall angepasst werden.

#### **Stützenbemessung:**

Wenn für eine Stütze die Schnittgrößen bestimmt werden, hängt das Ergebnis bei großer Schlankheit sehr stark von der Verformung der Stütze ab. Es handelt sich damit um ein verformungsbeeinflusstes Problem. Ein schlechter Beton mit geringem E-Modul bedingt eine große Verformung und damit eine Steigerung der Beanspruchung. Da Stützen relativ kleine Bauteile sind, kann es ohne weiteres vorkommen, dass das gesamte Bauteil aus einer Marge schlechten Betons hergestellt wird. Da in diesem Fall die Festigkeit und die Steifigkeit an der unteren Grenze des Schwankungsbereiches sind, darf die Rechenfestigkeit des Betons wie folgt angesetzt werden:

Festigkeit  $f_c = f_{cm} / \gamma_c$   
 E-Modul  $E = E_{cm} / \gamma_c$

mit  $\gamma_c = 1,5$  bzw. ab C 55/67 etwas größer

Beispiel: Der Rechenwert der Betonfestigkeit ergibt sich für einen C 30/37 damit zu:

$$\frac{f_{cm}}{\gamma_c} = \frac{38 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,5} = 25,33 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Eine Zugfestigkeit wird berücksichtigt, da die versteifende Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen auch beim schlechten Beton immer noch gegeben ist. Auch hier kann der Erfahrungswert von jeweils 1/20 bis 1/30 der Werte auf der Druckseite angenommen werden.

Wichtig bei einer derartigen Berechnung ist es allerdings, dass der Bemessungswiderstand des Querschnitts nicht überschritten wird. Da Die Mk-Linie z.B. mit einer Rechenfestigkeit  $f_{ck}/1,5$  (ohne Dauerfestigkeitsbeiwert  $\alpha = 0,85$ ) ermittelt wurde, wird das maximale Biegemoment über dem Biegemoment  $M_{Rd}$  liegen. Aus diesem Grund muss nach der Verformungs- und Schnittgrößenberechnung ein Sicherheitsnachweis erfolgen (mit  $f_{ck} / 1,5 \cdot \alpha$ ), dass der Querschnitt die ermittelten Beanspruchungen auch aufnehmen kann.

Wie man sieht, hat man es hier mit 2 unterschiedlichen Baustoffeigenschaften zu tun, zwischen denen man je nach Berechnungsgang hin und her wechseln muss. Ein entsprechendes **Beispiel** mit möglichen Vereinfachungen ist in der Hilfedatei ebenfalls enthalten.

### ***E-Modul:***

Nach DIN 1045-1 ist der E-Modul nur von der Festigkeitsklasse des Betons abhängig. Durch je nach Region unterschiedlichen Zuschlag können jedoch erhebliche Schwankungen auftreten. Allgemein waren die Werte in der deutschen Normung eher an der oberen Grenze des Schwankungsbereichs angegeben. Verwiesen sei an dieser Stelle auf einen Artikel der Zeitschrift *Beton* [6/2003, S. 294 - 298], „Ringversuch zur Ermittlung des statischen Elastizitätsmodul von Beton“ von Brameshuber und Brockmann, Aachen.

Vorbildlich in dieser Hinsicht sind die Regelungen in der Schweiz, wo je nach Region andere Werte festgelegt wurden. Die Werte für den E-Modul können damit im Extremfall um 50 % schwanken !!!

Mit der zweiten Druckfehlerberichtigung der DIN 1045-1 vom Juni 2005 wurde der E-Modul vom Beton bei einer nichtlinearen Rechnung jedoch effektiv um 10% abgemindert, so dass diese Werte inzwischen brauchbare Ergebnisse liefern. Bei Forderung einer hohen Rechengenauigkeit sollten jedoch die Werte für den E-Modul experimentell bestimmt werden bzw. sind vom Beton-Lieferanten einzufordern. Insbesondere bei der Schnittgrößenbestimmung bei verformungsbeeinflussten Problemen (schlanke Talstützen bei Brücken) ist die korrekte Annahme der Baustoffparameter wichtig.

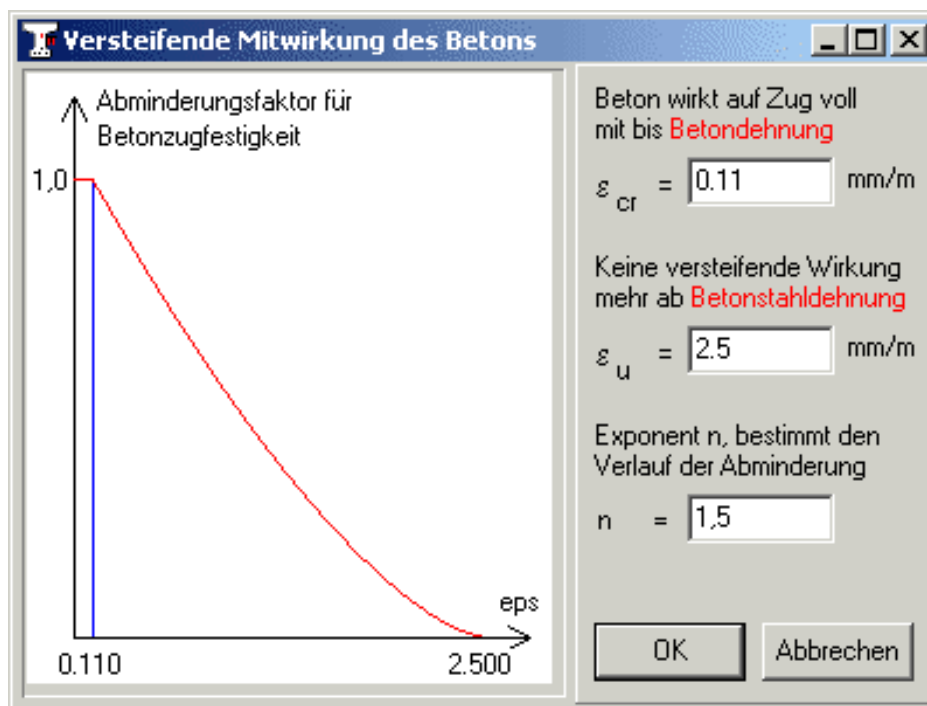
## 6.6 Mitwirkung des Betons auf Zug in der gerissenen Betonzugzone

Da die Berechnung einzelner, diskrete Risse in Balken nur den Rechenaufwand, nicht aber merklich die Genauigkeit erhöht, wird im Programm INCA2 die Methode der verschmierten Risse angewandt. Dabei wird in der Betonzugzone eine Spannung angesetzt, die je nach Dehnung der Zugbewehrung abgemindert wird. Damit ist es möglich, Verformungen von Stahlbetonbalken bzw. -platten relativ gut zu ermitteln.

Diese Methode wurde unter anderem von /Quast/ (1977/80/81) vorgeschlagen sowie von /Espion/ (1985) um einen nichtlinearen Verlauf erweitert. Nachrechnungen von 39 Balkenversuchen ergaben für baupraktische Belange eine ausreichend gute Übereinstimmung. Näheres zu diesem und anderen Verfahren können Sie in einer [Veröffentlichung](#) von Quast/Busjaeger nachlesen. Ein Ausschnitt aus Heft 415 des DAFStb ist am Ende dieses Abschnittes enthalten. Dort finden Sie ebenfalls einige Aussagen zu Anwendungsgrenzen des Verfahrens.

### Vorgehensweise bei der Berechnung

Die Zugspannung im Beton wird mit einem Faktor abgemindert, der sich aus dem Verlauf des folgenden Graphen ergibt:



Auf der x-Achse ist die Betondehnung aufgetragen. Diese Betondehnung wird in der Rechnung an der Stelle der am stärksten gezogenen Stahlfaser ermittelt.

Zustand I: Bis zur Dehnung  $\epsilon_{cr}$  (Crack = Rissbildung, Überschreiten der Zugfestigkeit) wirkt der Beton voll mit (komplett ungerissen).

Zustand II: Wird diese Dehnung  $\epsilon_{cr}$  überschritten, wird die Zugspannung in der gesamten Zugzone mit dem ermittelten Faktor abgemindert, d.h. das Parabel-Rechteck-Diagramm wird in Richtung der  $\sigma$ -Achse gestaucht. Auch der Bereich nahe der Dehnungsnulllinie mit Dehnungen kleiner als  $\epsilon_{cr}$  wird daher mit diesem Faktor verkleinert.

Zustand III: Wird die Fließdehnung des Stahls überschritten wirkt der Beton im allgemeinen nicht mehr oder nur noch sehr geringfügig mit. Ein guter Wert für  $\epsilon_u$  ist deshalb

$\epsilon_u = 2,5 \text{ mm/m}$ . Ist die Betondehnung an der betreffenden Stelle deshalb größer als der Wert von  $\epsilon_u$ , wird die Zugspannung im Beton vollständig zu Null gesetzt.

### **Erfahrungswerte für die versteifende Mitwirkung**

*Definition Zugverhalten Beton (Materialgesetz)*

$f_{ct} = 1/20 \cdot f_{cm}$ bis $1/30 \cdot f_{cm}$	Zugfestigkeit, Erfahrungswert
$\epsilon_{cr} = 1/20 \cdot \epsilon_{cu}$ bis $1/30 \cdot \epsilon_{cu}$	Dehnung bei Erreichen der Zugfestigkeit, Erfahrungswert.
$n = 1,5 \dots 2,0$	Exponent für die Völligkeit der Parabel, sollte so gewählt werden, dass sich auf der Zug- und auf der Druckseite in etwa der gleiche E-Modul im Koordinatenursprung ergibt.

*Definition Mitwirkungsgesetz*

$\epsilon_{cr} = 1/20 \cdot \epsilon_{cu}$ bis $1/30 \cdot \epsilon_{cu}$	Dehnung bei Erreichen der Zugfestigkeit (wie zuvor beim Materialgesetz)
$\epsilon_u = \epsilon_{s,y}$	Die Wahl von $\epsilon_u$ als Fließgrenze mit z.B. $\epsilon_{s,y} = 2,5 \text{ mm/m}$ für einen BSt 500 ist eine rechentechnische Vereinfachung. Die reale Mitwirkung wird bei einer Dehnung zwischen 2,0 und 3,0 mm/m in etwa auf Null gefallen sein. Vereinfachend wird deshalb $\epsilon_u = \epsilon_{s,y}$ gesetzt. Bei höher fester Bewehrung sollte dieser Wert jedoch 3 mm/m nicht überschreiten bzw. nur bei entsprechend starker Reduzierung des Exponenten $n$ .
$n = 1,0 \dots 3,0$	Exponent für die Völligkeit der Abminderungskurve, standardmäßig ist $n = 1,0$ vorgegeben. Es reicht jedoch schon eine geringe Vorschädigung aus (Temperaturbeanspruchung, Vorbelastung), um mit $n = 2,0$ bessere Ergebnisse zu erzielen.

### **Anwendungsgrenzen**

Das Verfahren wurde für die Berechnung von üblich bewehrten Stahlbetonquerschnitten unter Biegung mit und ohne Normalkraft entwickelt. Reine Zugstäbe lassen sich mit der Standard-Variante etwas schlechter modellieren und erfordern eine gewisse Anpassung in Bezug auf die Baustoffparameter.

Unterbewehrte Querschnitte oder Querschnitte ohne Zugbewehrung können ebenfalls nicht in der Standardmodellierung berechnet werden. Hier sollte eine Anpassung am Querschnitt selber erfolgen, indem die wirksame Betonzugzone um die Bewehrungsstäbe herum entsprechend reduziert wird.

Weiterhin wird durch die Verwendung von  $f_{ct} = 1/20 \cdot f_c$  bis  $1/30 \cdot f_c$  das Rissmoment  $M_{crack}$  leicht unterschätzt, der Balken reißt rechnerisch etwas zu früh auf. Damit wird die Verformung von Balken, die bis in etwa  $M_{crack}$  beansprucht werden, zu groß ermittelt. Da jedoch bei einer weiteren Laststeigerung die rechnerischen Zugspannungen im Querschnitt nur langsam abgemindert werden, kann das Verhalten des Balkens kurz nach dem Reißen trotzdem recht gut bestimmt werden.

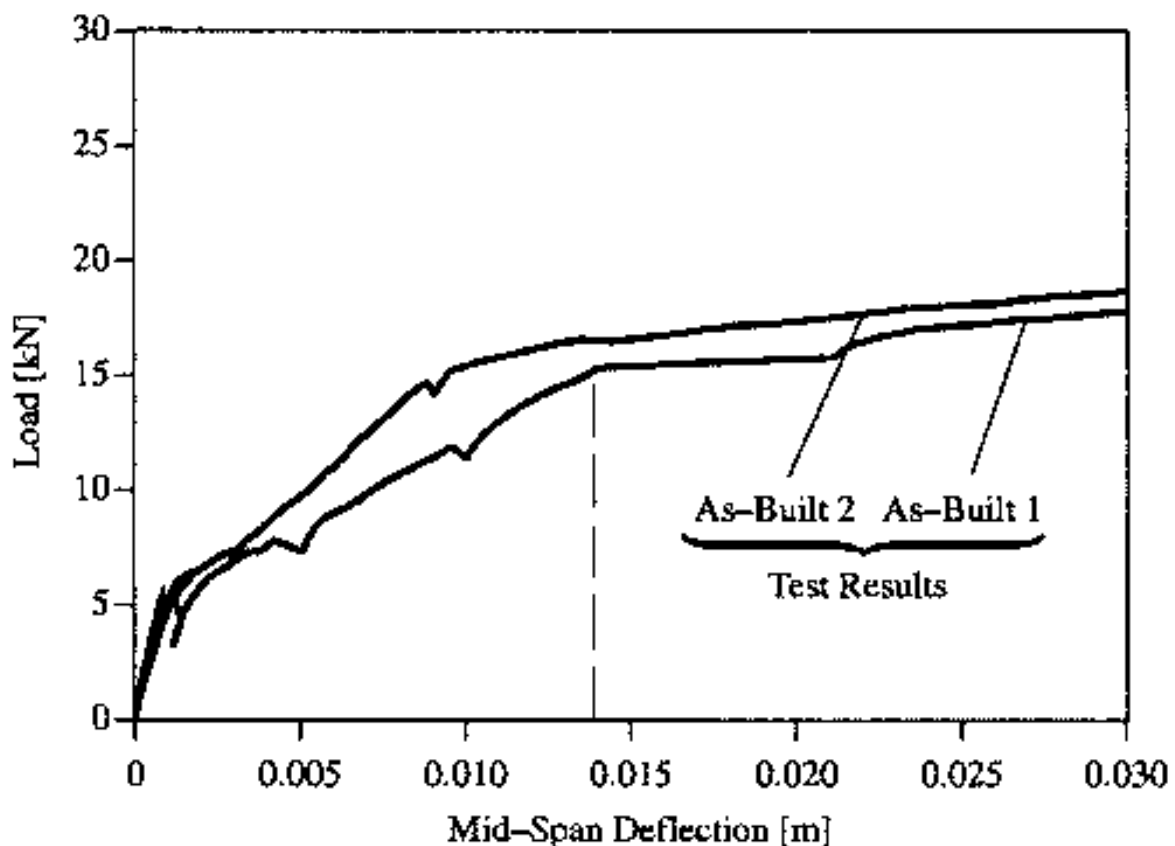
**Fehlerhaft wäre es auf jeden Fall, für  $f_{ct}$  den aus der DIN oder dem EC2 entnommenen Mittelwert der Zugfestigkeit  $f_{ctm}$  anzusetzen!!! Durch die spezielle Formulierung des**

## Mitwirkungsgesetzes nach Quast / Espion würde man damit die Steifigkeit des Betonquerschnitts deutlich überschätzen!!!

### Weitere Anpassungen und Tendenzen

Werden zwei identische Balken getestet, so ergeben sich bereits hier Unterschiede in den Last-Verformungsdiagrammen, obwohl die Balken nominell identisch sind. Die Erfassung der wirklich vorhandenen Baustoffeigenschaften (Bedingungen auf der Baustelle!) ist damit eher ein Glücksfall. Sinnvoller ist es deshalb in jedem Fall, einmal mit möglichst „guten“ und einmal mit möglichst „schlechten“ Baustoffeigenschaften zu rechnen. Damit erhält man den Bereich, in dem die Verformungen zu erwarten sind.

Last-Verformungs-Kurven für 2 „identische“ Platten



Vor allem E-Modul und Zugfestigkeit können stark streuen und ergeben auch die größten Schwankungen bei den resultierenden Verformungen im Gebrauchszustand. Bereits Temperaturbeanspruchungen (z.B. geringe Temperaturen kurz nach dem Ausschalen) oder auch eine starke Austrocknung der Oberfläche durch unzureichende Nachbehandlung führen zu einer Vorschädigung und damit zu einer Abnahme der Zugfestigkeit.

Weiterhin sollte beachtet werden, dass bei Zunahme der Betondruckfestigkeit die Zugfestigkeit nicht in dem gleichen Maße, sondern eher unterproportional ansteigt. Bei höherfesten Betonen liefert eine Abschätzung mit z.B.  $f_{ct} = 1/25 f_{cm}$  oder  $f_{ct} = 1/30 f_{cm}$  evtl. bessere Ergebnisse. Anzumerken sei hier, dass die meisten von Quast gerechneten Balkenversuche normale Betonfestigkeiten aufwiesen.

Die häufig zitierten Dehnkörperversuche, die zur Bestimmung der Mitwirkung der gerissenen Betonzugzone benutzt werden, liefern im plastischen Bereich eine gewisse versteifende



Mitwirkung. Rechnungen an Biegebalken zeigen jedoch, dass die Modellierung ohne Zugversteifung nach dem Fließen der Bewehrung eine sehr gute Näherung darstellt.

In der Summe sollte beachtet werden, dass mit dem in INCA2 benutzten Mitwirkungsgesetz nur Berechnungen von Balken und Stützen sinnvoll sind. Zugstäbe aus Beton können damit weniger gut erfasst werden, kommen in der Praxis aber auch eher selten vor.

Allgemein kann gesagt werden, dass die in INCA2 implementierte Methode der versteifenden Mitwirkung eine für baupraktische Berechnungen sinnvolle Vorgehensweise darstellt, da diese einerseits leicht zu benutzen ist, akzeptable Werte im Vergleich mit Experimenten liefert und für eine weitergehende Verformungsrechnung „schöne“ Moment-Verkrümmungs-Linien ohne Zacken und Sprünge liefert.

### ***Verhalten bei Vordehnung des Betons oder der Bewehrung (z.B. Schwinden)***

***Beton vorgedehnt:*** Aus der aktuellen Querschnittsdehnung und der Vordehnung des Betons wird die Materialdehnung des Betons zur Spannungsberechnung ermittelt. Überschreitet diese Beton-Material-Dehnung die Dehnung  $\epsilon_{cr}$ , wird die Zugspannung mit dem entsprechenden Faktor abgemindert. Die Abminderung wird zu Null, wenn der Stahl an dieser Stelle die Dehnung  $\epsilon_u$  erreicht bzw. überschreitet.

***Bewehrung vorgedehnt:*** Auch hier wird wie zuvor zuerst die Betondehnung an der Stelle der am stärksten gezogenen Bewehrungsfaser ermittelt. Bis  $\epsilon_{cr}$  erfolgt keine Abminderung der Betonzugspannungen. Dann folgt der Bereich der Abminderung entsprechend der Kurve. Überschreitet dann die Stahl-Material-Dehnung (= Querschnittsdehnung + Vordehnung der Bewehrung) den Wert  $\epsilon_u$ , wird die Abminderung zu Null.

Am Beispiel eines Rechteckquerschnitts mit unten liegender Bewehrung und Schwinden des Betons mit  $\epsilon = 0,4$  mm/m lässt sich dieses Verhalten anschaulich demonstrieren. Die Schwinddehnung kann einerseits als Zugvordehnung auf den Beton, andererseits aber auch als Druckvordehnung auf die Bewehrung aufgebracht werden. Beide Modellierungen liefern im Endeffekt das gleiche Ergebnis bei der Abminderung der Zugspannungen der Betonzugzone und damit gleiche  $M_k$ -Linien für eine Verformungsberechnung.

Die erste Möglichkeit (Zugvordehnung auf den Beton) hat den Vorteil, dass es einfach in der Handhabung in INCA2 ist und außerdem genau dort berücksichtigt wird, wo das Schwinden auch auftritt - nämlich beim Beton. Nachteilig ist jedoch die Darstellung der Dehnungsebene in der anschließenden grafischen Ausgabe. Die Größe der "Druckzone" mag ein wenig verwirren. Man muss jedoch bedenken, dass die Dehnungsebene jetzt nicht mehr in Bezug zum Beton, sondern in Bezug zu den nicht vorgedehnten Querschnittsteilen (hier Bewehrung) dargestellt wird.

Die zweite Möglichkeit ist das Aufbringen der Vordehnung auf alle Bewehrungsstäbe, jetzt jedoch als Druckvordehnung mit  $\epsilon = -0,4$  mm/m. Das ist meistens etwas aufwändiger, die grafische Darstellung schaut jedoch etwas gewohnter aus, da man jetzt wirklich sieht, wie groß die Druck- und wie groß die Zugzone des Betons ist.

In den Beispieldateien

Schwinden\_auf\_Beton.inc

Schwinden\_auf\_Stahl.inc

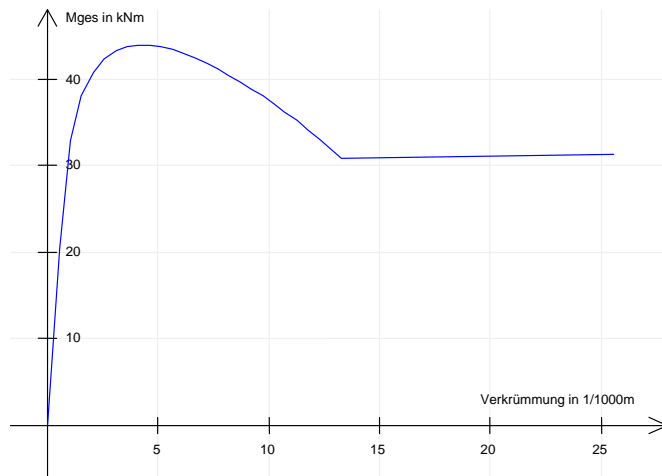


sind diese unterschiedlichen Modellierungen durchgeführt. Genauere Informationen finden Sie im [Hilfethema 6.10](#).

**Auftretende Probleme, wenn der Gültigkeitsbereich mit der Standardmodellierung verlassen wird:**

**Unterbewehrte Querschnitte bei der Berechnung von M/k-Linien:**

Wirkt der Beton auf Zug in der gerissenen Betonzugzone mit, so kann sich im Verlauf der M/k-Linie ein Buckel ergeben:



Der Grund dafür ist, dass die Zugkraft in der ungerissenen Betonzugzone größer ist als die Zugkraft, die von der Bewehrung aufgenommen werden kann. Um so ein Verhalten (Versagen ohne Vorankündigung) zu vermeiden, ist die Mindestbewehrung zu überprüfen.

Ein ähnliches Verhalten kann auftreten, wenn man als Beton eine Definition mit den *Mittelwerten der Baustoffeigenschaften* benutzt, für die Bewehrung jedoch einen *BSt 500, Bemessungswerte*. Dadurch wird die Mitwirkung des Betons auf Zug erst bei 2,5 mm/m auf Null reduziert, die Bewehrung ist jedoch bereits bei 2,174 mm/m ins Fließen gekommen. Damit kann es passieren, dass die Querschnittstragfähigkeit bei einer Dehnung der Stahlfaser von z.B. 2,3 mm/m größer ist, als bei einer Dehnung von 2,5 mm/m. Eine Warnung seitens des Programms erfolgt nicht.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Modellierung der Baustoffe](#)

**Auszug aus Heft 415 des DAfStb, Beuth Verlag, Berlin, 1990**

„2.2.1.2 Betonzugzone

*Berechnungen im ungerissenen Zustand I werden näherungsweise auf der Grundlage der linearen Elastizitätstheorie geführt. Die auftretenden Betonzugspannungen können im Rahmen einer programmgesteuerten Berechnung durch Vorgabe einer linearen Spannungsdehnungslinie bis zum Erreichen der Biegezugfestigkeit des Betons auf einfache Weise berücksichtigt werden. Die Form der Spannungsdehnungsbeziehung für die Betonzugzone entspricht dann sinngemäß der Darstellung im Bild 2.3 für den Exponenten  $n = 1$ . Auf diese Weise kann beispielsweise ein Spannungsnachweis eines Querschnitts unter*

*beschränkter Vorspannung im Gebrauchszustand geführt werden (vergleiche auch Beispiel 4 im Anhang 1, Kapitel 1.4.4).*

*Die versteifende Mitwirkung des Betons auf Zug zwischen den Rissen im Zustand II zu erfassen, wird mit unterschiedlichen Verfahren versucht. Hinsichtlich der Zweckmäßigkeit dieser Verfahren, sind zwei grundsätzlich verschiedene Einsatzgebiete zu unterscheiden:*

- *theoretische Studien in der Forschung und*
- *baupraktische Berechnungen.*

*Für Forschungszwecke kommen im allgemeinen die auf der Grundlage der Finiten-Element-Methode basierenden aufwändigen Verfahren zum Einsatz. Sie ermöglichen Einblicke in die grundlegenden mechanischen Zusammenhänge, sind jedoch wegen des hohen Aufwandes bei Systemabbildung und Berechnung für baupraktische Belange von untergeordneter Bedeutung. So kann beispielsweise das Verbundverhalten im Rahmen einer Finiten-Element-Berechnung durch eine Kopplung von Stahl- und Betonelementen mittels geeigneter Verbundelemente mehr oder weniger gut erfasst werden. Durch eine Mikroelementierung kann auch das Verhalten an diskreten Querschnittsteilen untersucht werden, wobei die einschränkenden Voraussetzungen der technischen Balkenbiegelehre (Ebenbleiben der Querschnitte) aufgehoben werden. Einen Überblick über Finite-Element-Methoden zur Berechnung von Stahlbetonkonstruktionen geben Eibl und Ivanyi (1976).*

...

*Im Rahmen einiger Durchbiegungsberechnungen einfacher Stahlbetonplatten mit Hilfe der Finiten-Element-Methode untersuchen Gilbert und Warner (1978) die Verwendbarkeit von drei unterschiedlichen Spannungsdehnungsbeziehungen für den Beton in der Zugzone. Darüber hinaus werden diese Berechnungen auch mit einer modifizierten Spannungsdehnungslinie des Bewehrungsstahls durchgeführt, wobei ein in Abhängigkeit von der Rissdehnung abschnittsweise veränderlicher E-Modul berücksichtigt wird. Die Autoren äußern die Vermutung, dass sich in Fällen, in denen sich die Bewehrungsmenge unterscheiden, mit dem letztgenannten Näherungsverfahren voraussichtlich bessere Übereinstimmungen mit den tatsächlichen Verhältnissen ergeben würden.*

*Quast (1977/80/81) erweitert das übliche Parabel-Rechteckdiagramm nach DIN 1045 (1988) zu der in Bild 2.4 dargestellten allgemeinen Spannungsdehnungslinie für Beton und rechnet mit dieser im Zug- und Druckbereich definierten Linie die Moment-Krümmungs-Beziehungen von insgesamt 39 Balkenversuchen nach, wobei sich eine für praktische Belange ausreichende Übereinstimmung mit den Versuchen ergibt. Espion (1985) übernimmt diese Definition der Spannungsdehnungslinie für den Beton, berücksichtigt jedoch eine nichtlineare Abnahme des nach Gleichung (2.3) veränderlichen Mittelwertes der Betonzugspannungen in einem auf der Grundlage der Finiten-Element-Methode entwickelten Rechenprogramm. Der Ansatz einer quadratischen Abminderung des Mittelwertes der Betonzugspannungen ergibt für die von ihm nachgerechneten Versuche (reine Zugversuche sowie Balken-, Stützen- und Rahmenversuche) häufig eine bessere Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen.*

*Eine andere Möglichkeit, die versteifende Mitwirkung des Betons in der Zugzone durch Definition einer geeigneten Spannungsdehnungslinie des Betons zu erfassen, beschreibt Schwennicke (1983). Grzeschkowitz (1988) übernimmt diesen Ansatz zur Nachrechnung von Versuchen an Druckstützen mit Rechteckquerschnitt. Die verwendete --Beziehung der Betonzugzone zeigt einen linearen Anstieg bis zum Erreichen der Betonbiegezugfestigkeit und*

einen anschließend abfallenden, nichtlinearen Verlauf bis zu einer Dehnung, an der die Mitwirkung des Betons auf Zug endet. Zur Bestimmung des Exponenten der Parabelfunktion für den abfallenden Ast werden die mittlere Betonbiegezugfestigkeit, die Verbundspannung, der Ursprungsmodul des Betons, der E-Modul des Betonstahls, der Bewehrungsgrad der Betonzugzone, der Stabdurchmesser der Bewehrung sowie die Grenzdehnung für die Mitwirkung des Betons auf Zug benötigt. Die von Grzeschkowitz durchgeführten Versuchsnachrechnungen zeigen gute Übereinstimmungen hinsichtlich des Verformungsverhaltens, aber weniger gute Übereinstimmung in Bezug auf die Traglast. Eine Anwendung des beschriebenen Algorithmus erscheint aufgrund des Umfangs nur sinnvoll für Versuchsnachrechnungen oder für Studien zum Trag- und Verformungsverhalten.

Die Formänderung eines Stahlbetonbauteils hängt von einer Vielzahl von Einflussparametern ab, die vielen Zufälligkeiten unterworfen sind. Für praktische Tragwerksberechnung im Massivbau reicht es jedoch in der Regel aus, das mittlere Krümmungsverhalten eines Bauteils zu kennen, um die Verformung berechnen zu können. Die in Bild 2.4 dargestellte Spannungsdehnungslinie für Beton, die das übliche Parabel-Rechteckdiagramm als Sonderfall enthält, kann als Grundlage allgemeiner Rechenverfahren verwendet werden, mit denen Formänderungen nicht nur im Grenzzustand der Tragfähigkeit, sondern auch unter Gebrauchslast sowie für alle Zwischenzustände ermittelt werden können.

/Bild 2.4 Spannungsdehnungsbeziehung/

Entsprechend der Darstellung in Bild 2.4 wird für den Zugbereich ein dem Druckbereich affiner Verlauf der --Linie vorausgesetzt. Die Linie im Zugbereich wird hierbei allein durch den Parameter  $bZ$  festgelegt, so dass durch entsprechende Wahl dieses Dehnungswertes jeder beliebige Rechenwert der Betonbiegezugfestigkeit  $bZ$  vorgegeben werden kann. Ein brauchbarer Wert ist  $bZ = 0,1 \text{ mm/m}$ . Betonzugspannungen werden nicht berücksichtigt, wenn  $bZ = 0 \text{ mm/m}$  gesetzt wird. Mit hinreichend großem  $bZ$  kann unbegrenzt ungerissener Zustand I zugrundegelegt werden. Bei gleichzeitiger Wahl des Exponenten  $n = 1$  wird dann wie nach der linearen Elastizitätstheorie gerechnet. Dies wird im Anhang 1, Kapitel 1.4.4 im Beispiel 4 verdeutlicht.

Die Betonzugspannungen sind in der Zugzone zwischen den Rissen nicht konstant, sondern wachsen infolge der Verbundwirkung und der Ausmittigkeit der Druckzonenkraft vom Wert Null im Riss auf einen Größtwert in der Mitte zwischen zwei Rissen, der durch die Biegezugfestigkeit  $bZ$  begrenzt wird, an. Unmittelbar nach Eintreten des Risszustandes kann der Mittelwert der Betonzugspannungen vereinfacht gleich der Hälfte der Biegezugfestigkeit angenommen werden, wobei der rechnerische Größtwert der Biegezugkraft nicht größer als die im Riss durch die Bewehrung aufnehmbare Zugkraft werden sollte. Mit zunehmender Dehnung in der Zugzone wird der Verbund zwischen Bewehrung und Beton gestört, so dass der Mittelwert der Betonzugspannungen abnimmt. Dies ist ebenfalls bei anwachsender Zugzonenhöhe der Fall, insbesondere bei unregelmäßiger Durchsetzung der Zugzone mit Bewehrung. Unter der Annahme, dass der Mittelwert der Zugspannungen vom rechnerischen Größtwert  $\beta bZ$  entsprechend Gleichung (2.2) linear auf Null abfällt, wenn die Festigkeit in der Bewehrung bei Erreichen der Streckgrenze  $\epsilon_{sS}$  in der maßgebenden Bewehrungsfaser ausgenutzt wird, ergibt sich der veränderliche Mittelwert der Zugspannungen  $\beta bZ$  nach Gleichung (2.3). Diese Gleichung gilt für Dehnungen der charakteristischen Faser (2) in der Zugzone, die durch die Dehnungswerte  $\epsilon_{bZ}$  und  $\epsilon_{sS}$  begrenzt werden.“

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Modellierung der Baustoffe](#)

## 6.7 Grenzdehnungen, Hinweise zu verschiedenen Normungen

Über die Grenzdehnungen wird der Grenzzustand des Querschnittes vorgegeben:

Folgende Arten der Dehnungen werden benutzt. Die Werte sind nur als Beispiel zu verstehen und können vom Nutzer jederzeit entsprechend der benutzten Norm (DIN 1045, EC 2 etc.) verändert werden.

eps.Druck.B	=	-3.5000 mm/m	(max. Druckstauchung bei Biegung)
eps.Druck.zentr.B	=	-2.0000 mm/m	(max. Druckstauchung bei zentrischem Druck)
eps.Zug.B	=	100.0000 mm/m	(max. Zugdehnung für Beton)
eps.Druck.S	=	-5.0000 mm/m	(max. Druckstauchung für Stahl)
eps.Zug.S	=	20.0000 mm/m	(max. Zugdehnung für Stahl)

Wirklich wichtig für den Grenzzustand sind eigentlich nur *eps.Druck.B*, *eps.Druck.zentr.B* und *eps.Zug.S*. Daraus lässt sich im Normalfall ohne Probleme jeder Grenzzustand eines Querschnitts bestimmen. In Ausnahmefällen werden jedoch die zusätzlichen Dehnungen *eps.Druck.S* und *eps.Zug.B* benötigt. *Eps.Druck.S* ist zum Beispiel dann maßgebend, wenn ein Querschnitt nur aus Stahl berechnet werden soll oder bei einem Verbundträger das maximale Stützmoment (Stahlprofil liegt auf der Unterseite) ermittelt wird. *Eps.Zug.B* wiederum ist wichtig, falls es nur einen Bewehrungspunkt gibt, der genau auf der Polygonkante liegt.

### **Druckdehnung Beton, Zugdehnung Bewehrung, jeweils für die Bemessungswerte DIN 1045 (88) - alte Ausgabe**

Es wird einheitlich für alle Betone (B 10 bis B 55) mit folgenden Werten gerechnet:

eps.Druck.B	=	-3,5 mm/m
eps.Druck.zentr.B	=	-2,0 mm/m
eps.Zug.S	=	5,0 mm/m

### **EC2**

Es wird einheitlich für alle Betone (C 12/15 bis C 50/60) mit folgenden Werten gerechnet:

eps.Druck.B	=	-3,5 mm/m
eps.Druck.zentr.B	=	-2,0 mm/m
eps.Zug.S	=	20,0 mm/m

### **DIN 1045-1 - neue Ausgabe**

Es wird für die Betone (C 12/15 bis C 50/60) mit folgenden Werten gerechnet:

eps.Druck.B	=	-3,5 mm/m
eps.Druck.zentr.B	=	-2,0 mm/m
eps.Zug.S	=	25,0 mm/m

Für die Betone ab C 55/67 sind folgende Grenzdehnungen zu benutzen, jeweils in [mm/m]:

C 55/67	eps.u =	-3,10	eps.zentr =	-2,03
---------	---------	-------	-------------	-------

C 60/75	eps.u = -2,70	eps.zentr = -2,06
C 70/85	eps.u = -2,50	eps.zentr = -2,10
C 80/95	eps.u = -2,40	eps.zentr = -2,14
C 90/105	eps.u = -2,30	eps.zentr = -2,17
C 100/115	eps.u = -2,20	eps.zentr = -2,20

Bei Verformungsrechnungen mit den Mittelwerten oder den charakteristischen Werten (bei Stützen) der Baustoffeigenschaften muss die Grenzdehnung der jeweiligen Betone korrekt eingetragen werden. Die Baustoffkennwerte sind in der in INCA2 implementierten Baustofftabelle bereits enthalten, die zugehörigen Dehnungen finden Sie in der dem Programm beigelegten Excel-Tabelle `Baustofftabelle.xls`.

Beachten Sie bitte auch weiterhin, dass der Sicherheitsbeiwert nach der alten Normung DIN 1045 (88) vom Dehnungszustand abhängt. Weitere Erläuterungen finden Sie im [Hilfepunkt 6.8](#).

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Modellierung der Baustoffe](#)

## 6.8 Stahlbeton nach DIN 1045 (88) - alte Normung

Um dem unterschiedlichen Verhalten des Stahlbetons im Druckbruch- und im Zugbruchbereich zu entsprechen, wurde in der DIN 1045 (88) ein veränderlicher Teilsicherheitsbeiwert eingeführt. Führt die äußere Beanspruchung zu einem spröden Versagen der Betondruckzone, so wird eine höhere Sicherheit gefordert, als bei einem duktilen Versagen der Bewehrung (mit Vorankündigung).

Der Sicherheitsbeiwert berücksichtigt damit auch die unterschiedlichen Streuungen der Parameter der Baustoffe Beton und Bewehrung.

### 6.8.1 Baustoffe

#### **Beton**

In der folgenden Tabelle sind zu den Beton-Festigkeitsklassen die Rechenwerte für die Betonfestigkeit angegeben. Diese sind mit den Dehnungen  $\epsilon_c = -2,0$  mm/m und  $\epsilon_u = -3,5$  mm/m sowie einem Exponenten von  $n = 2$  zu benutzen. Diese Werte sind in der Baustofftabelle von INCA2 bereits implementiert.

<b>Betonklasse</b>	<b>Rechenfestigkeit <math>\beta R</math></b>
B 5	3,5 N/mm <sup>2</sup>
B 10	7,0 N/mm <sup>2</sup>
B 15	10,5 N/mm <sup>2</sup>
B25	17,5 N/mm <sup>2</sup>
B 35	23,0 N/mm <sup>2</sup>
B 45	27,0 N/mm <sup>2</sup>
B 55	30,0 N/mm <sup>2</sup>

#### **Betonstahl BSt 500**

Die Rechenfestigkeit beträgt  $f_{yd} = 500$  N/mm<sup>2</sup>. Die zugehörige Dehnung beträgt  $\epsilon_y = 2,38095$  mm/m, der E-Modul beträgt demzufolge  $E = 210.000$  N/mm<sup>2</sup>. Nach dem Fließen

wird mit einem ideal plastischen Verhalten gerechnet, die Grenzdehnung beträgt  $\epsilon_u = 5,0$  mm/m.

### 6.8.2 Sicherheitskonzept

Es gibt einen globalen, veränderlichen Sicherheitsbeiwert. Ergibt die Beanspruchung ein duktils Bauteilversagen (Bewehrung fließt) beträgt  $\gamma = 1,75$ , bei einem spröden Versagen (Betondruckbruch) wird  $\gamma = 2,1$  gesetzt. Zwischen diesen Zuständen wird linear interpoliert. Damit wird erreicht, dass den größeren Streuungen des Betons und dem Versagensmechanismus Sprödbbruch (keine Vorankündigung) eine ausreichend große Sicherheit gegenüber steht.

Das Problem für die Berechnung in INCA2 ist damit der sich verändernde Sicherheitsbeiwert. Die Berücksichtigung müsste programmintern entsprechend des Dehnungszustandes erfolgen. Da INCA2 jedoch nicht für eine spezielle Norm und ihre Besonderheiten entwickelt worden ist, wurde auf diese automatische Berücksichtigung verzichtet. Vielmehr war es Ziel des Autors, nach jeder beliebigen Normung jedes Materialverhalten abbilden zu können.

### 6.8.3 Berechnung nach DIN 1045 (88)

#### Methode 1 - Sicherheitsnachweis

Der Querschnitt wird mit den gezeigten Baustoffeigenschaften modelliert, die Schnittgrößen als charakteristische Lasten aufgebracht. Der normale Sicherheitsnachweis wird durchgeführt. Der sich ergebende Sicherheitsindex  $\gamma$  muss je nach Dehnungszustand größer gleich 1,75 bzw. 2,1 sein. Man kontrolliere daher im berechneten Grenzzustand der Tragfähigkeit die Dehnung der am meisten gezogenen Stahlfaser  $\epsilon_{s2}$ . Folgende Zustände werden unterschieden:

Dehnung $\epsilon_{s2}$	benötigter Sicherheitsfaktor
$\epsilon_{s2} > 3,0$ mm/m	$\gamma = 1,75$
$3,0$ mm/m $< \epsilon_{s2} < 0,0$ mm/m	$\gamma = 1,75 + \frac{(3,0 - \epsilon_{s2}) \cdot 0,35}{3,0}$
$\epsilon_{s2} < 0,0$ mm/m (komplett überdrückt)	$\gamma = 2,10$

Ist die Sicherheit nicht ausreichend, muss am Querschnitt nachgebessert werden (Bewehrung, Abmessungen).

#### Methode 2 - Bemessung

Im Unterschied zu Methode 1 werden hier die Schnittgrößen gleich mit einem Sicherheitsfaktor von z.B.  $\gamma = 1,75$  aufgebracht. Die Bemessung wird durchgeführt und die Dehnung  $\epsilon_{s2}$  kontrolliert. Bei einem größeren benötigten Sicherheitsfaktor müssen die Schnittgrößen entsprechend erhöht und die Bemessung wiederholt werden.

### 6.8.4 Vergleichsrechnungen mit Interaktions-Diagrammen (z.B. aus Schneider-Bautabellen)

In diesen Tabellen ist der Sicherheitsfaktor bereits mit eingearbeitet und wird nicht extern berücksichtigt. Man geht also mit den charakteristischen Belastungen (N und My bzw. n und my) in die Diagramme und kann gleich die benötigte Bewehrung auslesen.

#### Vergleichsrechnung Beispiel:



*Querschnittswerte:*

$$\begin{aligned} \text{Kreisquerschnitt} &= 1,10 \text{ m} \\ d_1 &= 0,11 \text{ m} \quad d_1 / d = 0,10 \\ A_c &= \pi \cdot r^2 = 0,95 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

*Baustoffe:*

$$\begin{aligned} \text{Beton B 25, } \beta_R &= 17,5 \text{ N/mm}^2 \\ \text{BSt 500} & \end{aligned}$$

*Beanspruchung:*

$$\begin{aligned} M &= 1828,75 \text{ kNm} \\ N &= -2493,75 \text{ kN} \end{aligned}$$

Bezogene Werte für die Beanspruchung:

$$\begin{aligned} m &= \frac{M}{A_b \cdot d \cdot \beta_R} = \frac{1,82875}{0,95 \cdot 1,10 \cdot 17,5} = 0,1 \\ n &= \frac{N}{A_b \cdot \beta_R} = \frac{-2,49375}{0,95 \cdot 17,5} = -0,15 \end{aligned}$$

Mit diesen Werten kann man aus dem Bemessungsdiagramm für Kreisquerschnitte (Schneider Bautabellen, Seite 6.81, Ausgabe 12) folgende Werte auslesen:

Geometrisches Bewehrungsverhältnis:  $\omega = 0,39$

Dehnungszustand  $\varepsilon_{\text{Beton}} = -3,5 \text{ mm/m}$  und  $\varepsilon_{\text{Stahl}} = 4,0 \text{ mm/m}$

$$A_{s,\text{tot}} = \text{tot } \omega_0 \cdot \frac{A_c}{\beta_s / \beta_R} = 0,39 \cdot \frac{0,95}{28,6} = 0,01296 \text{ m}^2 = 129,6 \text{ cm}^2$$

Bewehrungsmenge

Aus dem Dehnungszustand folgt, dass es sich um ein duktilen Bauteilversagen handelt, infolgedessen der Sicherheitsbeiwert  $\gamma = 1,75$  beträgt.

Eine Bemessung mit dem Programm INCA2 liefert bei einem Sicherheitsbeiwert von  $\gamma = 1,75$  eine Bewehrungsmenge von  $A_{s,\text{tot}} = 126,22 \text{ cm}^2$ . Auch die Dehnungen in den genannten charakteristischen Fasern stimmen sehr gut überein ( $\varepsilon_{\text{Beton}} = -3,5 \text{ mm/m}$  und  $\varepsilon_{\text{Stahl}} = 3,822 \text{ mm/m}$ ). Die Differenzen sind auf Ableseungenauigkeiten zurückzuführen.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Modellierung der Baustoffe](#)

---

Erstellt mit 'Help to RTF' Dateikonverters von Herd Software Entwicklung.

## 6.9 Umrechnung DIN 1045 (88) und DIN 1045-1 (neu)

Grundsätzlich werden in beiden Normen die Würfel- bzw. Zylinderdruckfestigkeiten zu Grunde gelegt. Auf Grund der unterschiedlichen Lagerungsbedingungen und Prüfkörperabmessungen erreichen die Druckfestigkeiten nach neuer Norm jedoch geringere Werte als in der alten Normung. Außerdem gibt es weitere kleinere Unterschiede in der statistischen Auswertung der Prüfreihen.

In Deutschland werden derzeit vor allem 150 mm-Würfel als Prüfkörper benutzt, deren gemessene Festigkeit dem zweiten Wert YY in der Bezeichnung C XX/YY nach neuer Normung entspricht. Ausführliche Informationen finden Sie im Betonkalender, Ausgabe 96, Teil 1.

**alte Normung, am Beispiel eines B 25:**

$\beta_{WN} = 25 \text{ N/mm}^2$     Nennfestigkeit (Mindestfestigkeit nach 28 Tagen, 5%-Fraktile)  
 $\beta_{WS} = 30 \text{ N/mm}^2$     Serienfestigkeit (minimaler Mittelwert, darf nicht unterschritten werden)

Die Prüfung der Druckfestigkeit wird am Würfel mit 20 cm Kantenlänge durchgeführt. Die Lagerung erfolgt 7 Tage unter Wasser, dann an der Luft bei 15 - 22°C (siehe DIN 1045 und 1048). Für verschiedene Prüfkörperabmessungen existieren Umrechnungsfaktoren (aus Betonkalender 1996, S.45):

$\beta_{W,200} = 0,95$      $\beta_{W,150}$   
 $\beta_{W,200} = 1,25$      $\beta_{Zyl,150/300}$                     für Beton B 5 / 15  
 $\beta_{W,200} = 1,18$      $\beta_{Zyl,150/300}$                     für Beton B 25 / 35 / 34 / 55

**neue Normung (EC2 und DIN 1045-1), am Beispiel eines C 20/25**

$f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$     charakteristische Festigkeit des Zylinders ( 15 cm, h = 30 cm)  
 $f_{ckW} = 25 \text{ N/mm}^2$     Festigkeit des Würfels (15 x 15 cm)  
 $f_{cm} = 28 \text{ N/mm}^2$     Mittelwert der Festigkeit

Die Prüfung der Druckfestigkeit wird unter anderem am Würfel mit 15 cm Kantenlänge durchgeführt. Die Lagerung erfolgt 28 Tage unter Wasser (siehe ENV 206 nach ISO 4012-1978). Damit ergeben sich kleinere Druckfestigkeiten als nach alter DIN 1045:

$\beta_{c(ISO)} = 0,92$      $\beta_{WN} (150 \text{ mm})$                     (nur für Würfel 150 x 150 !)

**Umrechnung zwischen den Normen**

$$f_{\text{cube},200\text{mm}} = \frac{0,92}{0,95} \cdot \beta_{WN,200\text{mm}} = 0,97 \cdot \beta_{WN,200\text{mm}}$$

Beispiel

$$f_{\text{cube}} = 0,97 \cdot 25 = 24,25 \text{ N/mm}^2$$

Ein B 25 nach alter Normung entspricht damit in etwa einem C 20/25 nach neuer Normung

Damit lässt sich in etwa folgende Tabelle angeben:

Beton nach alter Normung	Umrechnung 0,97 $\beta_{WN}$	entspricht in etwa einem Beton nach neuer Normung
B 10	9,7	nicht vorhanden
B 15	14,55	C12/15
B 25	24,25	C 20/25
B 35	33,94	~ C 30/37
B 45	43,65	C 35/45
B 55	53,35	C 45/55



Beim Bauen im Bestand kann es vorkommen, auch mit Baustoffen aus dieser Zeit zu rechnen. Durch die bekannten Unzulänglichkeiten der damaligen Norm, die schließlich zu den verbesserten Ausgaben in neuerer Zeit führten, wird jedoch empfohlen, äquivalente Baustoffkennwerte nach neuer Norm anzunehmen. Die Nachrechnung bestehender Bauwerke sollte deshalb komplett entsprechend der neuen Norm durchgeführt werden.

Baustoffbezeichnungen nach der Norm von vor 1972 und ihre Zuordnung in der neuen Norm

DIN 1045 vor 1972		DIN 1045 – 1 (neu)
Bn 50	$f_{cm} = 50 \text{ kp/cm}^2$	nicht vorhanden
Bn 80	$f_{cm} = 80 \text{ kp/cm}^2$	nicht vorhanden
Bn 120	$f_{cm} = 120 \text{ kp/cm}^2$	nicht vorhanden
Bn 160	$f_{cm} = 160 \text{ kp/cm}^2$	nicht vorhanden
Bn 225	$f_{cm} = 225 \text{ kp/cm}^2$	C 12/15
Bn 300	$f_{cm} = 300 \text{ kp/cm}^2$	C 20/25
Bn 450	$f_{cm} = 450 \text{ kp/cm}^2$	C 30/37

In der Ausgabe der DIN 1045 vor 1972 war die Betongüte durch die **mittlere** 28-Tage-Druckfestigkeit von 3 20-cm-Würfeln gekennzeichnet, die 7 Tage feucht und 21 Tage an Raumluft bei 15 bis 22°C gelagert wurden. Einzelwerte durften die Nennfestigkeit der Betongüte um höchstens 15% unterschreiten. Auf Grund der neueren Erkenntnis der Statistik wurde jedoch ein Bezug der Betongüte auf die Mittelwerte der Baustoffeigenschaften für die Bausicherheit nicht mehr als ausreichend angesehen. Da ein eventueller Bruch eines Bauteils stets von der schwächsten Stelle im Bereich hoher Beanspruchungen ausgeht, wurde gefordert, der Bemessung eine Mindestdruckfestigkeit zu Grunde zu legen, die an fast allen Stellen des Bauteils erreicht oder überschritten wird.

Damit lässt sich eine Umrechnung zwischen dieser alten Norm und der heutigen Norm näherungsweise wie folgt angeben:

alte Bezeichnung Bn 300 => Mittelwert  $f_{cm} = 300 \text{ kp/cm}^2 = 30 \text{ N/mm}^2$   
 charakt. Würfeldruckfestigkeit nach neuer Norm  
 $f_{ck} = f_{cm} - 8 \text{ N/mm}^2 = 30 - 8 = 22 \text{ N/mm}^2$  (Würfeldruckfestigkeit)  
 neuer Beton in etwa C 20/25 mit  $f_{ck,cube} = 25 \text{ N/mm}^2$

Zu bedenken ist bei solch alten Bauwerken jedoch, dass sowohl Nacherhärtungen, aber auch Betonschädigungen im Laufe der Zeit eingetreten sein können. Die Entnahme und der Test von Kernbohrungen wären also wünschenswert, um eine genaue Einstufung entsprechend der neuen Norm zu erreichen. Von der Verwendung eines Schmidt-Hammers wird eher abgeraten, da die Betonoberflächen alter Bauwerke häufig eine sehr viel höhere Festigkeit aufweisen als der Kernbeton, der für die Tragfähigkeit maßgebend ist.

Weiterhin zu bedenken ist, dass der Beton vor 40 oder 50 Jahren noch nicht mit der Gleichmäßigkeit hergestellt werden konnte wie heute und dass die Güteüberwachung auf der Baustelle ebenfalls noch nicht so streng geregelt war. Überraschungen sowohl in positiver als auch in negativer Hinsicht sind also möglich.

## 6.10 Schwinden und Kriechen

**Schwinden** und **Kriechen** werden in INCA2 genau an der Stelle berücksichtigt, an der diese Effekte auch stattfinden. Beide Effekte werden im Normalfall immer gleichzeitig auftreten. Für ein besseres Verständnis werden Schwinden und Kriechen im folgenden getrennt behandelt.

### 6.10.1 Schwinden

Das Schwinden äußert sich in der Realität in einer relativen Verkürzung des Betons in Bezug auf die Bewehrung. Daher besteht die Möglichkeit, entweder auf den Beton eine Zugvordehnung (positiv) oder aber auf den Stahl eine Druckvordehnung aufzubringen. Im folgenden Beispiel schwindet der Beton um  $\epsilon_{sc} = 0,3 \text{ mm/m}$ , ansonsten ist keine weitere äußere Belastung vorhanden, so dass der Einfluss des Schwindens sehr gut zu erkennen ist.

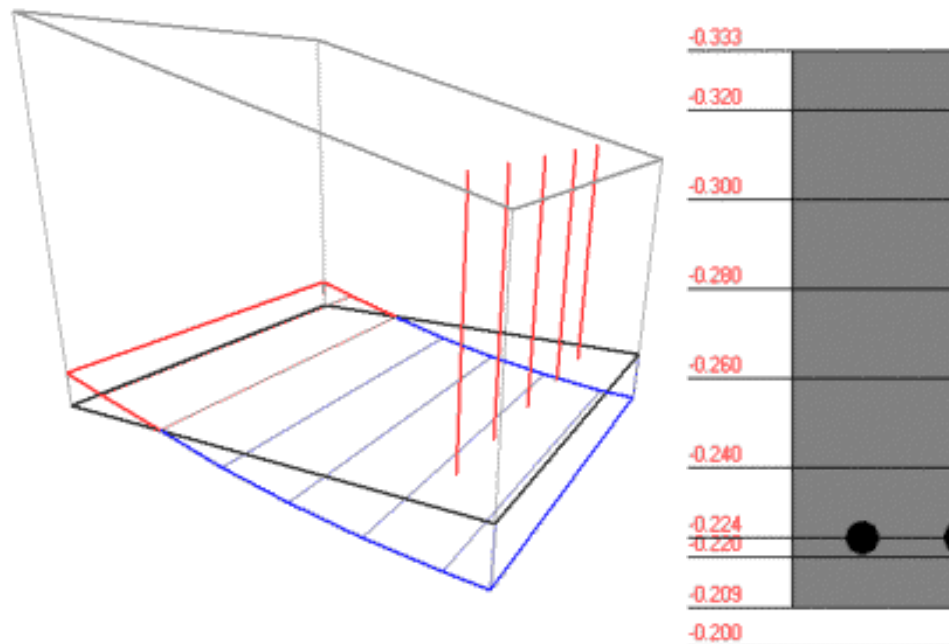
#### Querschnittskennwerte:

Beton C30/37 Mittelwerte  
 BSt 500, Mittelwerte  
 $b / h / d1 = 40 / 40 / 5 \text{ cm}$   
 $5 \cdot 25 \text{ mm}, A_{s,tot} = 24,54 \text{ cm}^2$

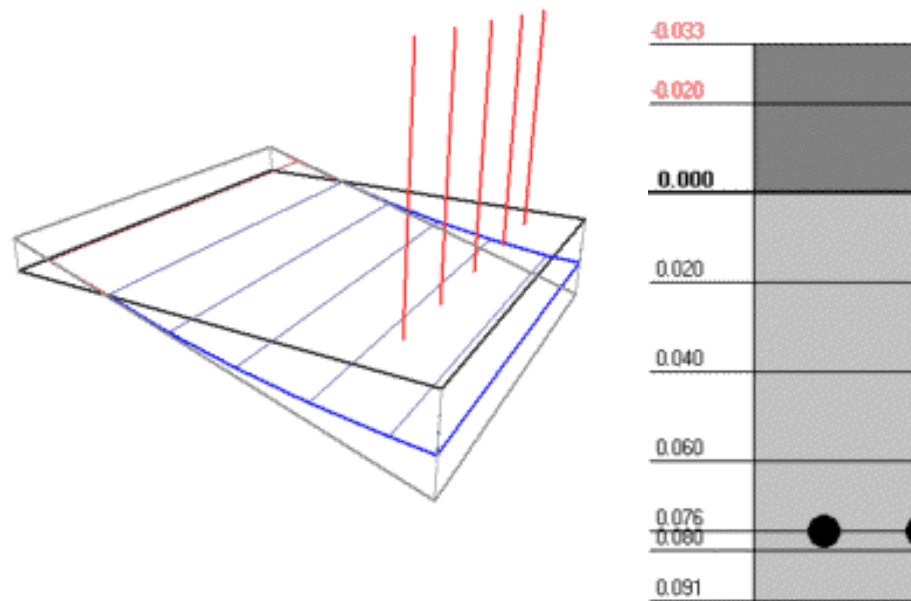
#### INCA2-Datei:

Schwinden\_auf\_Beton.inc  
 Schwinden\_auf\_Stahl.inc

Erfährt der Beton eine Zugvordehnung, wird der Beton mit  $\epsilon_v$  gedanklich gezogen und dann mit der Bewehrung fest verbunden. Im Beton ist jetzt eine Zugkraft, so dass sich der Beton gerne zurückverformen möchte, durch die Bewehrung jedoch daran gehindert wird. Die Bewehrung wird dadurch gedrückt, bis sich ein Gleichgewichtszustand zwischen Betonzugkraft und Stahldruckkraft einstellt.



Die zweite Möglichkeit, auf den Stahl eine Druckvordehnung aufzubringen, funktioniert nach dem gleichen Schema. Der Stahl wird um  $\epsilon_v$  zusammengestaucht und dann mit dem Beton verbunden. Jetzt herrscht im Stahl eine Druckkraft. Die Bewehrung möchte sich gerne zurück verformen, wird allerdings vom Beton daran gehindert. Auch hier stellt sich anschließend wieder ein Gleichgewicht der inneren Kräfte ein.



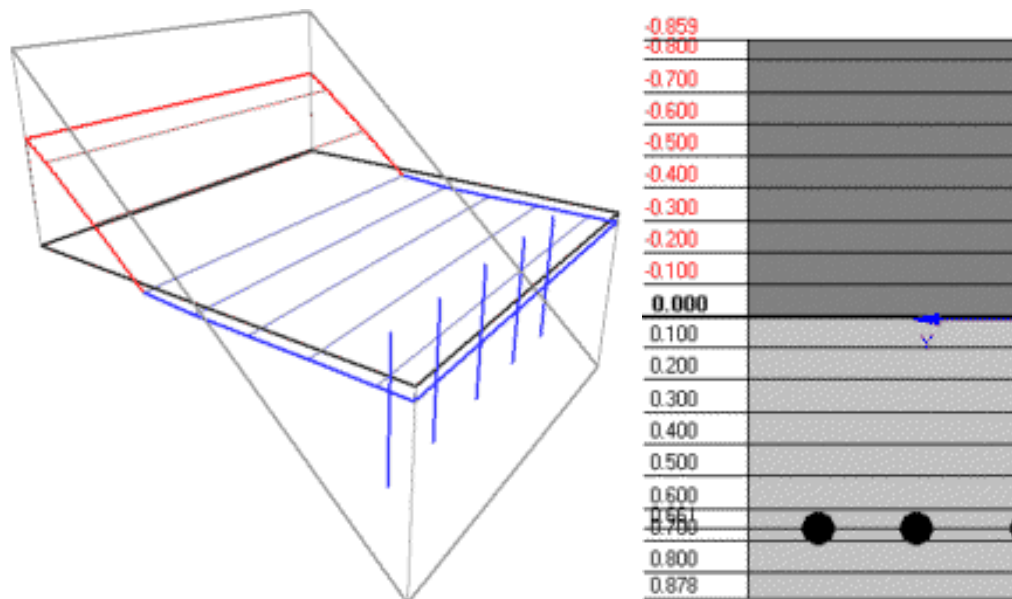
blau = Zugspannungen, rot = Druckspannungen  
 grau = Dehnungsebene, schwarz = Polygon

Die sich ergebenden Spannungsverteilungen sind für beide Vorgehensweisen gleich. Die Dehnungsebene bzw. der Bezugspunkt der Dehnungsebene ist jedoch unterschiedlich, da die Dehnungsebene grundsätzlich auf nicht vorgedehnte oder vorgekrümmte Querschnittsteile bezogen wird. In Modellierungsvariante 1 ist dies also der Stahl. Dieser wird vom Beton zusammengedrückt, so dass die Dehnungsverteilung auf den ersten Blick aussieht, als ob der Querschnitt komplett überdrückt wird. Man sieht damit allerdings folgerichtig, dass das Bauteil im Schwerpunkt  $0,2710 \text{ mm/m}$  kürzer wird. In Variante 2 wird die Dehnungsebene auf den Beton bezogen, womit man sofort sieht, wo sich im Beton Druck- und Zugspannungen befinden.

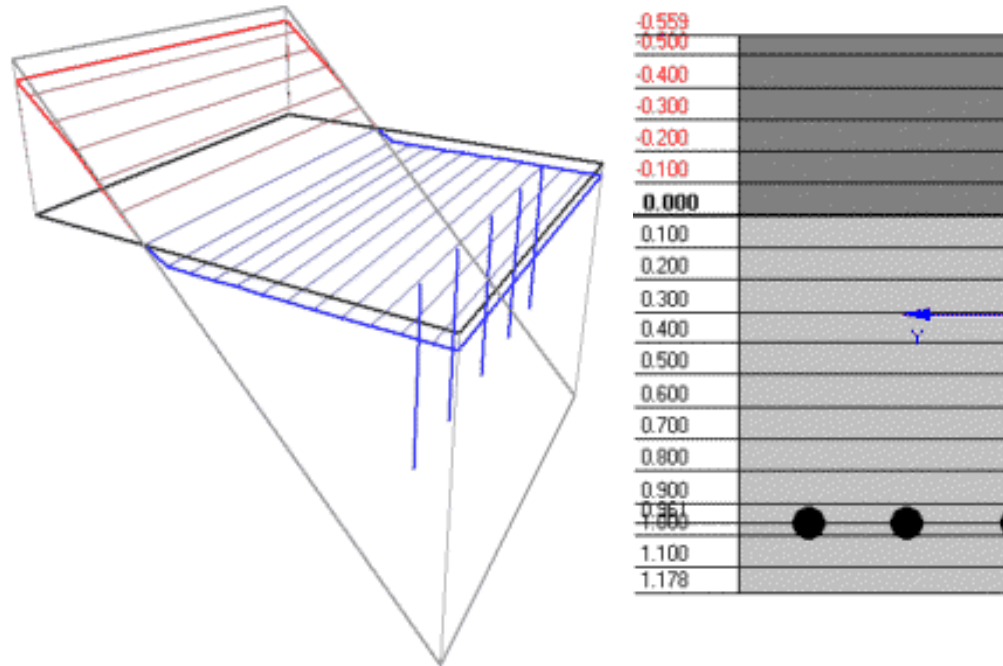
Die Umrechnung zwischen den beiden Varianten erfolgt einfach durch die Addition der Schwindvordehnung von  $\epsilon_{cs} = 0,3 \text{ mm/m}$ .

Im weiteren wird der Querschnitt mit einem Biegemoment von  $M_y = 130 \text{ kNm}$  belastet. Auch hier sind wieder beide Varianten der Modellierung aufgeführt.

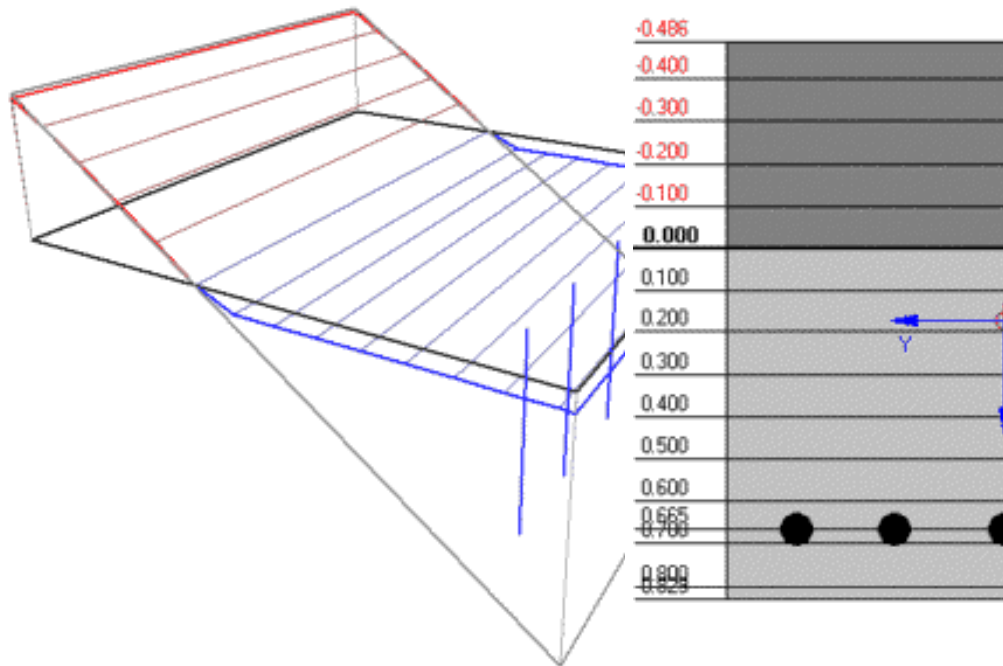
Schwindvordehnung auf den Beton aufgebracht, Bezugspunkt der Dehnungsebene ist die Bewehrung.



Schwindvordehnung auf die Bewehrung aufgebracht, Bezugspunkt der Dehnungsebene ist der Beton.



Vergleich: ohne Schwinden  
Wie man sieht sind die Randdehnungen und damit die Verkrümmungen kleiner als bei den Querschnitten mit Berücksichtigung des Schwindens. Bei genauen Verformungsberechnungen sollten derartige Effekte also berücksichtigt werden!



Da in diesem Beispiel mit den Mittelwerten der Baustoffeigenschaften gerechnet wurde, wird die versteifende Mitwirkung des Betons auf Zug mit einer fiktiven Spannungsdehnungslinie auf der Zugseite berücksichtigt. Je nach Stahldehnung wird die Betonspannung auf der Zugseite abgemindert. Trotz der unterschiedlichen Dehnungsebenen wird der Abminderungsfaktor jeweils gleich zu 0,6836 bestimmt.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

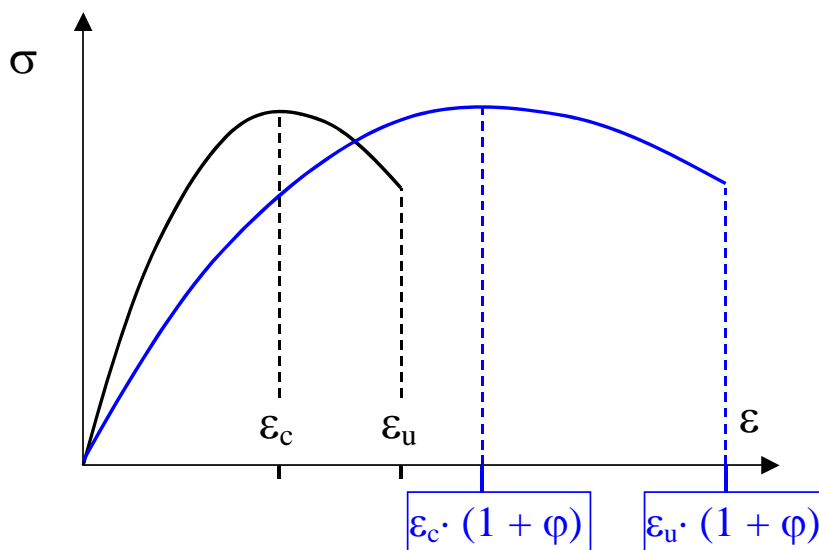
[Übersicht Modellierung der Baustoffe](#)

## 6.10.2 Kriechen

*„Das Kriechen des Betons entspricht einer Zunahme der Verformungen im Laufe der Zeit, hervorgerufen durch ständig einwirkende Beanspruchungen bei gleichbleibenden Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen. Im Rahmen baupraktischer Berechnungen*

*können Kriechverformungen für Beanspruchungen unter Gebrauchslasten durch einen abgeminderten Elastizitätsmodul hinreichend genau erfasst werden. Diese Abminderung des E-Moduls ist rechentechnisch mit geringem Aufwand durch Strecken der Spannungs-Dehnungs-Linie mit dem Faktor  $(1 + \varphi)$  möglich. Entsprechende Vorschläge für ein derartiges Verfahren, das für den Bereich niedriger Spannungen im Gebrauchszustand eine lineare Beziehung zwischen Kriechverformungen und Spannungen annimmt, enthält beispielsweise die CEB/FIB-Mustervorschrift (1987). Die Annahme einer linearen Beziehung erlaubt es, Kriechverformungen aus verschiedenen Spannungsanteilen zu überlagern.“*  
[aus dem Heft 415 des DAfStB, Quast, Busjaeger, 1990.]

Sollen die Auswirkungen des Kriechens auf einen Querschnitt untersucht werden, so sind die Spannungs-Dehnungs-Linien für den benutzten Beton abzuändern. Alle Dehnungen sind mit dem Faktor  $(1 + \varphi)$  zu multiplizieren. Auch die Grenzdehnungen (Betondruckseite) müssen entsprechend geändert werden.

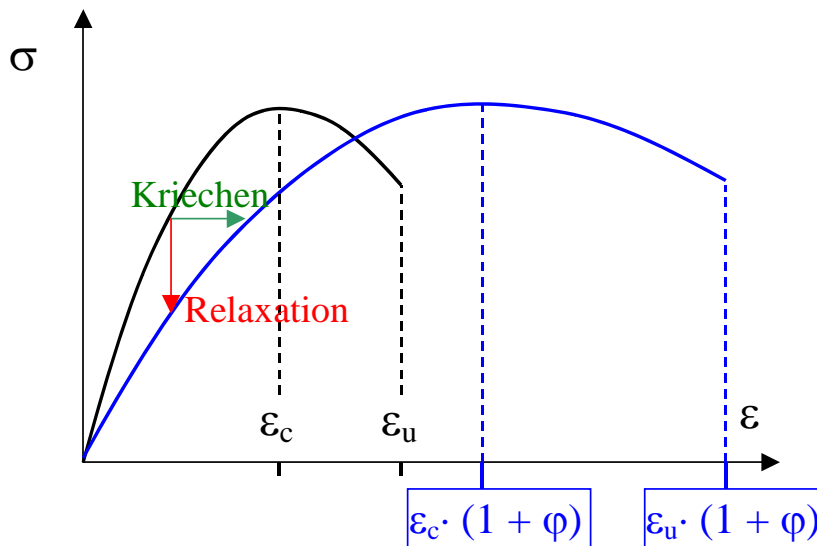


Die Werte für den Kriechbeiwert  $j$  lassen sich den Normen (z.B. EC2, DIN 1045-1) entnehmen bzw. mit dort abgedruckten Algorithmen genauer berechnen.

#### **Anmerkungen:**

Die gezeigte Formulierung setzt voraus, dass die kriecherzeugende Spannung während des gesamten Zeitraums konstant bleibt (grüner Pfeil im nachfolgenden Bild). Durch die Umlagerung von Betondruckkräften auf die Druckbewehrung wird die Betonspannung bei gleichbleibendem Biegemoment jedoch abnehmen, so dass der gezeigte Zusammenhang die Kriechverformungen geringfügig überschätzen wird.

Schwieriger zu modellieren ist die Relaxation (roter Pfeil im nachfolgenden Bild), das heißt, der Abbau von Betonspannungen bei gleichbleibenden Verformungen bzw. Dehnungen. Dazu zählt zum Beispiel der Abbau von Zwangskräften bei der Stützensenkung eines Durchlaufträgers. Da die Streckung der Spannungsdehnungslinie nur in horizontaler Richtung um den Faktor  $(1 + \varphi)$  erfolgt, ist das Verhältnis senkrecht dazu nur bei einer linear-elastisch definierten Spannungs-Dehnungs-Linie ebenfalls  $(1 + \varphi)$ . Würde man eine Rechnung in Zeitschritten durchführen (entsprechend mit Inkrementen  $\Delta\varphi$ ), ergäbe sich für die Relaxation der Zusammenhang  $\sigma_{\text{Relax}} = \sigma \cdot e^{(-\varphi)}$ . Mit der hier gezeigten Methode (Streckung mit  $(1 + \varphi)$ ) werden die Spannungen und damit auch die Schnittgrößen überschätzt.



Die größte Unsicherheit besteht jedoch im allgemeinen darin, einen korrekten Kriechbeiwert  $\varphi$  zu ermitteln. Da der wirkliche Wert ohne weiteres um 50% und mehr nach oben oder unten vom rechnerisch ermittelten Wert abweichen kann, ist eine genauere Rechnung meist nicht erforderlich und sinnvoll.

Weiterhin ist zu beachten, dass das angenommene lineare Kriechen nur bis ca. 45% der Betonfestigkeit vorhanden ist, bei höheren Spannungen vergrößert sich der Kriecheinfluss erheblich um einen nichtlinearen Anteil.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Modellierung der Baustoffe](#)

## 7 Rechenalgorithmen

### 7.1 Spannungsintegration

### 7.2 Iterationsverfahren

### 7.3 Grenzdehnungen, Dehnungskennziffern (DKZ)

[Zurück zum Hauptmenü](#)

### 7.1 Spannungsintegration

Eingangswerte bei der Spannungsintegration sind die Werte für die Dehnungsebene  $e_0$ ,  $k_y$ , und  $k_z$ . Damit kann während der Rechnung an jeder beliebigen Stelle des Querschnittes die aktuelle Dehnung und damit die zugehörige Spannung bestimmt werden.

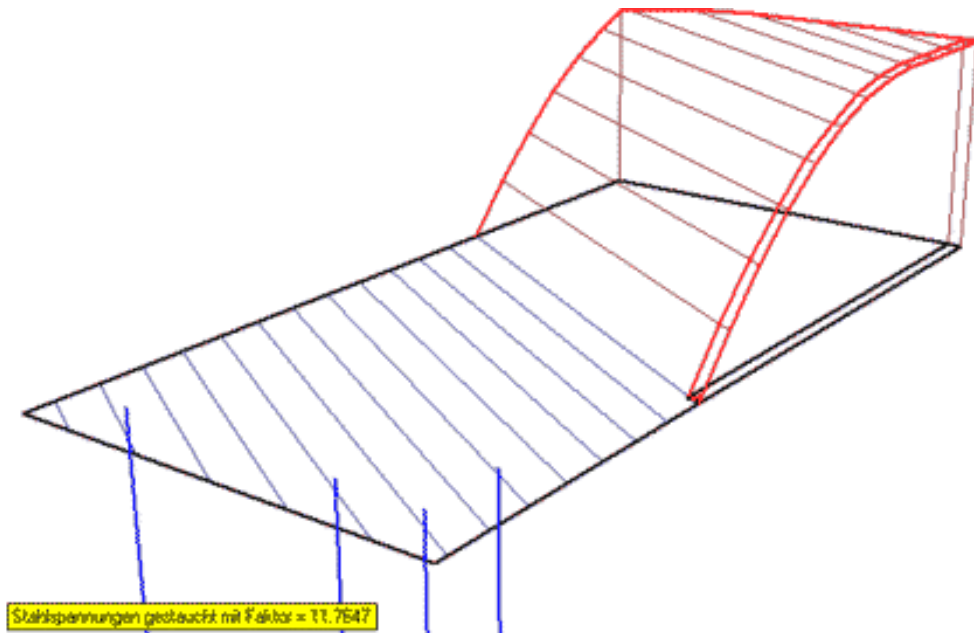


**Bewehrungsflächen / einzelne Punkte:**

An der Koordinate (y / z) wird die aktuelle Dehnung (inklusive Vordehnung) bestimmt. Mit diesem Wert kann die zugehörige Spannung aus dem Materialgesetz sowie anschließend die Kraft berechnet werden.

**Polygone**

Um die Resultierende Normalkraft sowie deren Angriffspunkt zu bestimmen, muss anschaulich das Volumen des Spannungskörpers bestimmt werden. Im folgenden Bild ist dieser rot markiert (Druckbereich Beton).



Wie das Bild auf der rechten Seite zeigt, kann der Körper in Scheiben der Dicke  $dx$  geteilt werden. Ist der Verlauf der Spannungen sowie die Länge dieses Körpers bekannt, kann damit sein Volumen bestimmt werden:

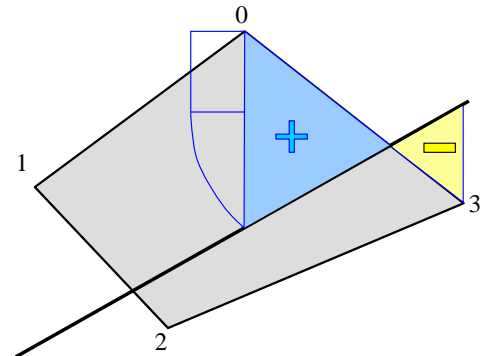
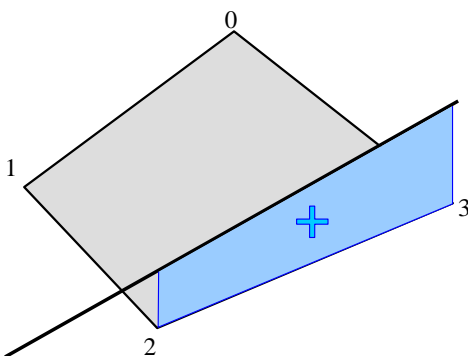
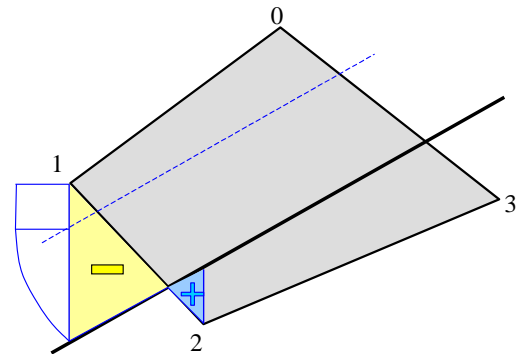
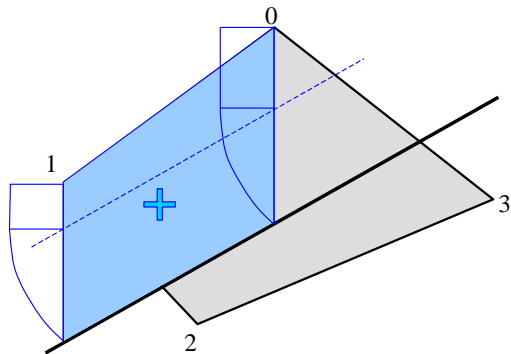
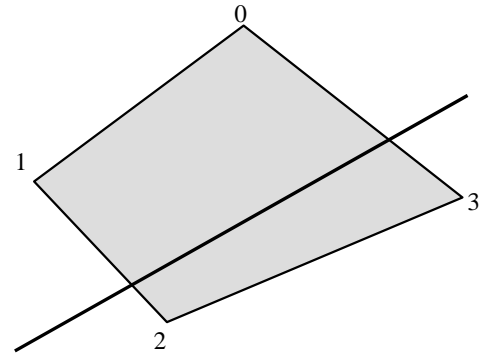
$$V = \text{Fläche} \cdot dx$$

Da die Funktionen, die den Verlauf der Spannungen beschreiben, bekannt sind und einfachen mathematischen Funktionen folgen, kann die Fläche  $A$  im Normalfall auf analytischem Wege (analytische Integration) bestimmt werden.

Anschließend müssen diese Volumina der Dicke  $dx$  alle aufsummiert werden, was analytisch nicht mehr ganz so einfach möglich ist. Aus diesem Grund kommt hier die numerische Integration zum Zuge, die je nach Grad der Grundfunktion mehr oder minder genau ist.

Grundsätzlich wird mit der Gauss-Legendre-Integration gearbeitet, die den Vorteil der geringeren Anzahl von Stützstellen im Vergleich zur Newton-Cotes-Integration hat. Beim linear-elastischen Materialgesetz werden in Querrichtung nur zwei Stützpunkte benötigt, beim Parabel-Rechteck-Diagramm bereits 3 oder mehr (ja nach Exponent).

Bei einem Polygon wird nun jeder Randabschnitt betrachtet (im nebenstehenden Beispiel 0-1, 1-2, 2-3, 3-0) und das Volumen bis zu einer Bezugsgeraden aufintegriert. Diese Bezugsgerade kann die y- oder die z-Achse oder auch die Dehnungsnulllinie sein. Eine Rotation in eine spezielle Richtung (z.B. immer orthogonal zur DNL) ist nicht erforderlich.



Falls nötig erfolgt eine Unterteilung des Randes in mehrere Segmente. Vor allem an Unstetigkeitsstellen wie die Dehnungsnulllinie oder an Stellen mit einem Wechsel vom Parabel zum Rechteckteil ist dies sinnvoll. Das Vorzeichen der einzelnen Flächen ergibt sich mathematisch „von selbst“ durch die Lage der Punkte in Relation zur Bezugslinie. Bei Umfahrungsrichtung links herum ergibt sich ein positives Volumen, falls das Polygon rechts herum umfahren wird, ergibt sich ein negatives Volumen (z.B. für Aussparungen).

Während der Volumenintegration muss ebenfalls der Schwerpunkt der einzelnen Teile bestimmt werden. Auch hier ergibt die anschließende Integration in Querrichtung den resultierenden Schwerpunkt des Spannungsvolumens.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Rechenalgorithmen](#)



## 7.2 Iterationsverfahren

Auf Grund der nichtlinearen Spannungsdehnungslinien lässt sich im Normalfall der Dehnungszustand zu einer gegebenen Schnittgrößenkombination nur mittels Iteration bestimmen. Da die Spannungsintegration sehr zeitaufwändig ist, werden hohe Ansprüche an das Iterationsverfahren gestellt, das auch bei schlechten Startwerten schnell und sicher konvergieren sollte.

Eine gute Wahl im Falle einer stetig differenzierbaren und streng monoton steigenden Funktion ist das Newton-Verfahren, welches beim Sicherheitsnachweis und zur Bestimmung des Dehnungszustands zum Einsatz kommt.

### **Vorgehensweise Dehnungszustand:**

Zur Berechnung des Dehnungszustandes muss die Dehnungsebene

$$\varepsilon(y,z) = \varepsilon_0 + k_y y + k_z z$$

so variiert werden, dass sich bei der Spannungsintegration über den gesamten Querschnitt die gewünschten Schnittgrößen  $N / M_y / M_z$  ergeben. Es handelt sich damit um ein dreiparametrisches Iterations-Problem  $(N/M_y/M_z) = \text{Funktion}(\varepsilon_0, k_y, k_z)$ . Für die Berechnung des Dehnungszustands wird als Startwert meistens das Ergebnis einer linearen Rechnung benutzt. Ergibt diese Iteration keinen konvergenten Zustand, so wird mit einem gedämpften Newtonverfahren mit gleichen Startwerten weiter gerechnet, bei dem die Schrittweite anfangs sehr stark, später weniger stark reduziert wird. Führt auch diese Vorgehensweise zu keinem Ergebnis, wird der Sicherheitsnachweis durchgeführt. Ergibt sich eine Sicherheit von  $\gamma > 1,0$  wird das Ergebnis des Sicherheitsnachweises als neuer Startwert für die Dehnungsiteration benutzt, wieder einmal ungedämpft, anschließend gedämpft.

Die Iteration selber erfolgt mit dem Newtonverfahren. Dazu werden die Ableitungen bzw. Gradienten der Funktion  $(N/M_y/M_z) = \text{Fkt}(\varepsilon_0, k_y, k_z)$  in die einzelnen Richtungen benötigt. Dazu wird der aktuelle Dehnungszustand  $\varepsilon_0, k_y, k_z$  mit jeweils  $\Delta\varepsilon_0, \Delta k_y, \Delta k_z$  geändert und die resultierenden Werte für  $(N/M_y/M_z)$  bestimmt. Damit lässt sich die Jakobi-Matrix aufstellen und die Verbesserung des Iterationswertes bestimmen.

### **Iterationsverfahren für Bemessung, M/k-Linie und My/Mz-Linie:**

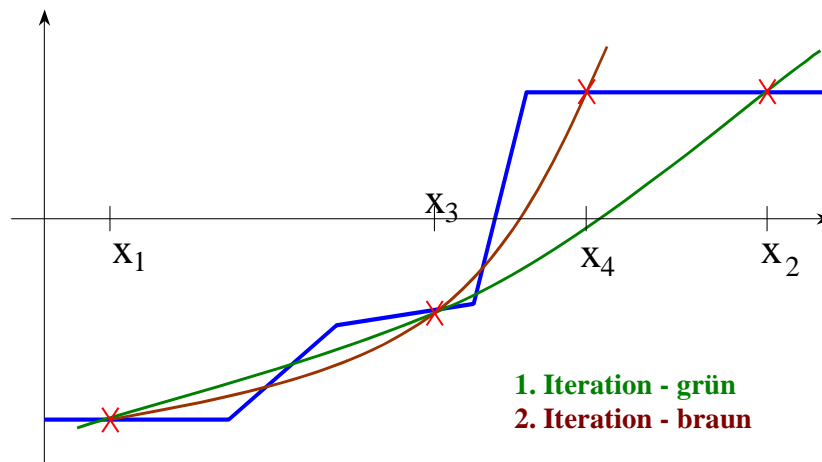
Bei diesen Berechnung muss nur ein Wert variiert werden, um von der Zielfunktion die Nullstelle zu finden. Im Falle der Bemessung ist der Eingangswert der Faktor für die Bewehrung, im Ergebnis muss der Sicherheitsnachweis einen Sicherheitsfaktor von  $\gamma = 1,0$  liefern. Im Falle der M/k-Linie oder der My/Mz-Linie ist der Eingangswert die Dehnung  $\varepsilon_0$  im Koordinatenursprung, als Ergebnis muss die Normalkraft  $N$  einem vorgegebenen Wert entsprechen.

Bei dieser einparametrischen Nullstellensuche kommt ein Verfahren mit 3 Stützstellen zum Einsatz, durch die eine Ausgleichsparabel gelegt und deren Nullstelle als neuer Näherungswert bestimmt wird. Dieses Verfahren hat den Vorteil der sehr schnellen und vor allem sicheren Konvergenz auch bei extrem schlechten Startwerten.

Waagerechte Verläufe im Funktionsverlauf des Parameters  $\varepsilon_0$ , wie sie bei der Berechnung der M/k-Linie oder My/Mz-Linie auftreten können, sind unproblematisch. Das Newtonverfahren würde in so einem Fall versagen. Nachteilig ist jedoch, dass ein Startwert auf der positiven, ein Startwert auf der negativen Seite bekannt sein muss.

### **Schema der Iteration:**

1. Startwert  $x_1$  und  $x_2$  wählen und Funktionswerte berechnen  
Bedingung:  $fkt(x_1) = -fkt(x_2)$
2. bei  $x_3 = \frac{1}{2} (x_1 + x_2)$  den nächsten Wert wählen und  $fkt(x_3)$  berechnen
3. Parabel durch diese drei Punkte legen und Nullstelle berechnen  $\Rightarrow x_4$
4.  $fkt(x_4)$  berechnen, ergibt neuen Punkt für die Parabel



Der hier gezeigte Verlauf der Kurve ist zwar ein Extrembeispiel, zeigt jedoch sehr anschaulich die Stabilität und Schnelligkeit des Algorithmus. Insbesondere das Newton-Verfahren würde hier auf Grund der waagerechten Abschnitte versagen. Diese horizontalen Bereiche ergeben sich z.B. auf Grund der elastisch-plastischen Definition der Materialgesetze. Wird die Bewehrung im plastischen Zustand noch weiter gedehnt, ergeben sich keine Unterschiede in der Spannung, so dass die Normalkraft konstant bleibt.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Rechenalgorithmen](#)

## 7.3 Grenzdehnungen / Dehnungskennziffern (DKZ)

### Grenzdehnungen

Über die Grenzdehnungen wird der Grenzzustand des Querschnittes vorgegeben:

Folgende Arten der Dehnungen werden benutzt. Die Werte sind nur als Beispiel zu verstehen und können vom Nutzer jederzeit entsprechend der benutzten Norm (DIN 1045, EC 2 etc.) verändert werden.

eps.Druck.B	=	-3.5000 mm/m	(max. Druckstauchung bei Biegung)
eps.Druck.zentr.B	=	-2.0000 mm/m	(max. Druckstauchung bei zentrischem Druck)
eps.Zug.B	=	100.0000 mm/m	(max. Zugdehnung für Beton)
eps.Druck.S	=	-5.0000 mm/m	(max. Druckstauchung für Stahl)
eps.Zug.S	=	20.0000 mm/m	(max. Zugdehnung für Stahl)

Wirklich wichtig für den Grenzzustand sind eigentlich nur *eps.Druck.B*, *eps.Druck.zentr.B* und *eps.Zug.S*. Daraus lässt sich im Normalfall ohne Probleme jeder Grenzzustand eines Querschnitts bestimmen. In Ausnahmefällen werden jedoch die zusätzlichen Dehnungen *eps.Druck.S* und *eps.Zug.B* benötigt. *Eps.Druck.S* ist zum Beispiel dann maßgebend, wenn ein Querschnitt nur aus Stahl berechnet werden soll oder bei einem Verbundträger das maximale Stützenmoment (Stahlprofil liegt auf der Unterseite) ermittelt wird. *Eps.Zug.B* wiederum ist wichtig, falls es nur einen Bewehrungspunkt gibt, der genau auf der Polygonkante liegt (z.B. angeklebte Bewehrung).

Durch die Wahl einer bestimmten Grenzdehnung können aber auch Untersuchungen im Gebrauchszustand durchgeführt werden. So ist es beispielsweise interessant, für welches Biegemoment die Spannung im Stahl einen bestimmten Wert besitzt, um z.B. einen vereinfachten Rissbreitennachweis zu führen.

Für die Bemessung eines Stahlbetonquerschnitts werden die Bemessungswerte der Baustoffeigenschaften genutzt. Nach der aktuellen Normung (EC2 bzw. DIN 1045-1) liegt die Grenzdehnung für die Betone C12/15 bis C 50/60 bei  $\epsilon_{ps.Druck.B} = -3,5$  mm/m. Die höherfesten Betone C55/67 bis C 100/115 besitzen für die Bemessung eine kleinere Grenzdehnung, die bei Verwendung eines derartigen Betons in das entsprechende Feld eingetragen werden muss! Auch bei Verformungsrechnungen mit den Mittelwerten oder den charakteristischen Werten (bei Stützen) der Baustoffeigenschaften muss die Grenzdehnung der jeweiligen Betone korrekt eingetragen werden. Die Baustoffkennwerte mit den zugehörigen Dehnungen finden Sie in der dem Programm beigelegten Excel-Tabelle *Baustofftabelle.xls*.

### **DKZ - Dehnungskennziffer**

Die Dehnungskennziffer ist ein künstlich eingeführter Wert, um einige Berechnungen (z.B. Sicherheitsnachweis) etwas einfacher durchführen zu können. Der Bereich der DKZ läuft von 0 bis 33, wobei DKZ = 0 zentrischen Druck und DKZ = 33 zentrischen Zug mit jeweils der maximal zugelassenen Dehnung abbildet. Jede DKZ ist genau einem Grenzdehnungszustand zugeordnet, wobei auch Werte wie DKZ = 2,7854 möglich sind.

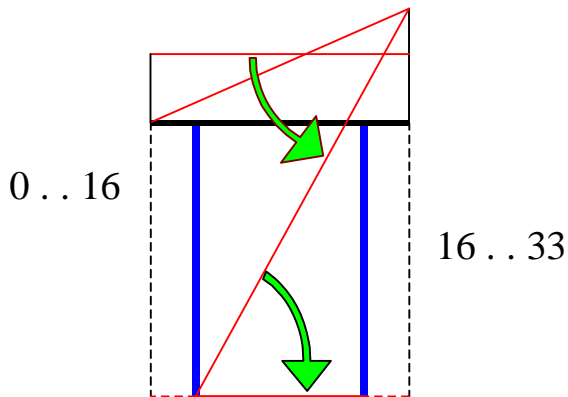
Wie gesagt, ist DKZ = 0 dem genau zentrisch gedrückten Querschnitt zugeordnet. Für DKZ < 16 wird die Verkrümmung vergrößert. Dabei wird der Zustand der Dekompression durchlaufen, bei dem erstmals die Dehnung am Druckrand (*eps.Druck.B*) den Maximalwert erreicht. Bei DKZ = 16 ist die größte Verkrümmung erreicht, die Bewehrung befindet sich im Normalfall im Fließen. Für DKZ > 16 wird die Verkrümmung wieder verkleinert, wobei diesmal um den Punkt unten links im Dehnungsdiagramm gedreht wird. Der Beton beginnt vollständig aufzureißen, auch die Bewehrung auf der Zugseite kommt im Normalfall ins Fließen.

### **Anwendung Sicherheitsnachweis:**

Beim Sicherheitsnachweis für die Schnittgrößenkombination  $N / M_y / M_z$  wird ein Faktor gesucht, mit dem alle drei Werte zu multiplizieren sind, um den Grenzzustand zu erreichen. Die Winkel zwischen  $M_y$  und  $M_z$  sowie  $N$  mit der Ebene  $M_y/M_z$  bleiben gleich und sind damit die zu bestimmenden Zielwerte bei der Iteration. Eingangswerte (bzw. veränderliche Größen) sind die Hauptkrümmungsrichtung und die DKZ, die immer einen Grenzdehnungszustand ergibt.

In der Summe ist dieser Wert damit für den durchschnittlichen Anwender eher uninteressant. Für die Programmierung bzw. um einen etwas tieferen Einblick in die Rechnung oder evtl. Konvergenzschwierigkeiten zu erhalten, ist es ein wichtiger Programmpunkt in INCA2.

Weitere **Informationen** stehen auch im Heft von Busjaeger und Quast (1990), die die Rechenroutinen für das Programm MasQue (ein Vorläufer von INCA2) detailliert beschreiben.



[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Rechenalgorithmen](#)

## 8. Beispiele

In den folgenden Beispielen werden sowohl die Bedienung des Programms INCA2 erläutert als auch Methoden und Möglichkeiten zur Modellierung von INCA2-Querschnitten vorgestellt.

Die Option **Aussparungen für die Bewehrungsstäbe** wurde erst in der INCA2-Version vom Juni 2003 aufgenommen. Die im folgenden gezeigten Beispiele wurden noch ohne diese Option gerechnet, so dass sich geringfügige Unterschiede in den Ergebnissen ergeben werden. Deaktivieren Sie gegebenenfalls diesen Punkt im Menü *Extras => Einstellungen => Ergebnisse*, so dass die gerechneten Ergebnisse mit den hier vorgestellten Beispielen übereinstimmen.

### 8.1 Einfacher Rechteckquerschnitt

### 8.2 Spannbetonträger

### 8.3 Nachträglich ergänzter Querschnitt

### 8.4 Verbundträger

Berechnungen mit den Programmen INCA2 und ABaS

### 8.5 Verformungsrechnung Einfeldträger

### 8.6 Berechnung einer Stütze

Weitere Anwendungsmöglichkeiten

## 8.7 Interaktionsdiagramme

[Zurück zum Hauptmenü](#)

### 8.1 Einfacher Rechteckquerschnitt

Starten Sie INCA2 bzw. wählen Sie im Menü *Datei* den Unterpunkt *Neu*, um einen leeren Datensatz zu erhalten. Standardmäßig sind bereits die Baustoffkennwerte für C20/25, C30/37, C40/50 sowie Betonstahl BSt 500 jeweils als Bemessungswerte vorhanden.

Um den **rechteckigen Betonquerschnitt** zu erstellen, wählen Sie im Menü *Eingabe* den Unterpunkt *Rechteck*. In dem erscheinenden Fenster geben Sie bitte die Eckkoordinaten des Rechtecks ein (diagonal gegenüber liegend). Die Angaben erfolgen in Metern, als Trennzeichen für die Nachkommastellen wird sowohl ein Punkt als auch ein Komma akzeptiert.

Ecke 1:    y = -0,20        z = -0,30  
Ecke 2:    y = +0,20        z = +0,30

Wählen Sie weiterhin als Material den Beton *C30/37 PR, Bemessungswerte*. Wenn die Option *Querschnitt* angeklickt ist, können Sie mit *OK* bestätigen.

Zum **Erzeugen der Bewehrungsstäbe** wählen Sie im Menü *Eingabe* den Unterpunkt *Punkt*. In dem erscheinenden Fenster wählen Sie die Option *Bewehrungspunkt* und in der dann aktivierten Auswahlbox *Baustoff* den *Betonstahl BSt 500*. Der Durchmesser wird vorerst zu 10 mm festgelegt.

Erzeugen Sie anschließend vier Bewehrungspunkte, indem Sie die y/z-Koordinaten eintragen und mit dem Button *Anwenden* bestätigen. Achten Sie bitte darauf, den Button *Anwenden* jeweils nur einmal zu drücken, da ansonsten zwei übereinander liegende Bewehrungsstäbe erzeugt werden können.

Punkt 1    y = +0,15        z = +0,25  
Punkt 2    y = +0,05        z = +0,25  
Punkt 3    y = - 0,05        z = +0,25  
Punkt 4    y = - 0,15        z = +0,25

Anschließend wählen Sie den Button *Abbrechen*, um das Fenster zu schließen.

Im weiteren wird eine **Belastung** auf den Querschnitt aufgebracht. Wählen Sie dazu im Menü *Eingabe* den Unterpunkt *Einwirkungen* und geben den Wert für das Biegemoment  $M_y$  ein:

$M_y = 450 \text{ kNm}$

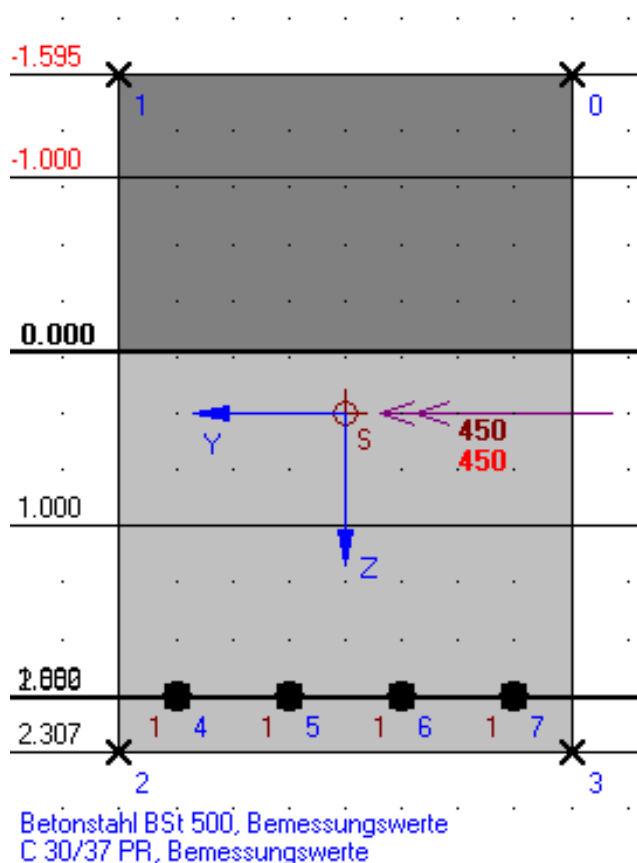
Kontrollieren Sie jetzt bitte noch, ob die **Grenzdehnungen** korrekt eingestellt sind. Wählen Sie dazu im Menü *Eingabe* den Unterpunkt *Grenzdehnungen* und klicken dort auf den Button *EC2*, anschließend auf *OK*. Wichtig ist, dass die *max. Druckdehnung* für den Beton bei -3,5 mm/m und die *max. Zugdehnung* der Bewehrung (Stahl) bei 20,0 mm/m liegen.

Durch Wahl des Menüpunktes *Ergebnisse Dehnungszustand* können Sie die Dehnungsberechnung für diesen Querschnitt durchführen. Wegen der sehr klein gewählten Bewehrung kann das Biegemoment von  $M_y = 450 \text{ kNm}$  nicht aufgenommen werden. Das derzeit aufnehmbare Biegemoment beträgt  $M = 73,3 \text{ kNm}$ .

Um dem Querschnitt eine ausreichende Tragfähigkeit zu verleihen, wird die Bewehrung erhöht. Wählen Sie dazu im Menü *Ergebnisse* den Unterpunkt **Bemessung** und dann im sich öffnenden Fenster die erste Option *Alle Bewehrungsgruppen*. Nach dem Klick auf den *OK-Button* erscheint eine Message-Box, dass die Bewehrung um den Faktor 6,8778 erhöht werden muss, um die Beanspruchung aufnehmen zu können.

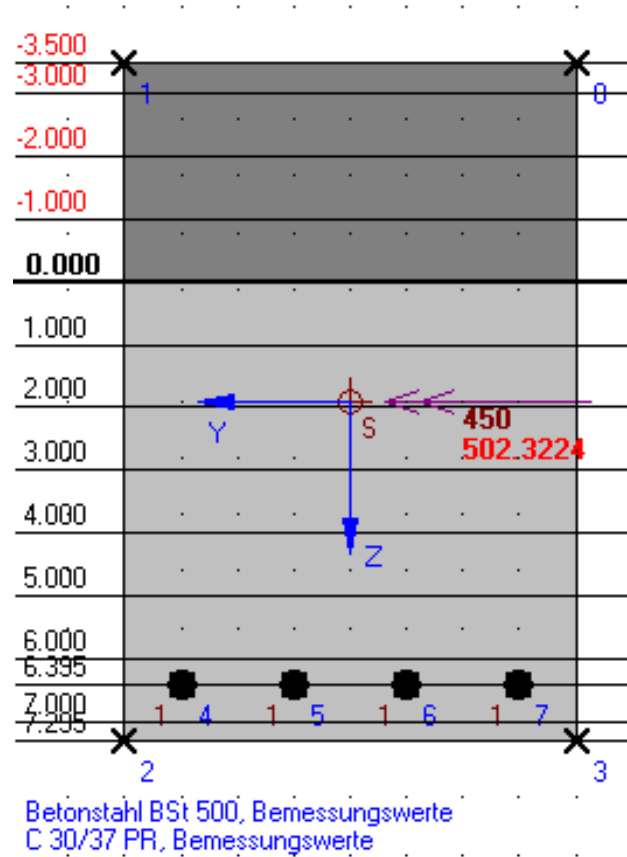
Die Bewehrung wird automatisch angepasst und die Dehnungsberechnung durchgeführt. Die Obere Kante des Querschnittes besitzt eine Dehnung von  $-3,5 \text{ mm/m}$  und ist damit maximal gestaucht.

Markieren Sie im weiteren alle vier Bewehrungsstäbe auf der Unterseite des Querschnitts. Klicken Sie diese dazu der Reihe nach mit der Maus an und halten dabei die Strg-Taste gedrückt. Wählen Sie anschließend im Menü *Bearbeiten* den Unterpunkt *Eigenschaften*. Die Bewehrungsstäbe haben aktuell einen Durchmesser von  $26,2 \text{ mm}$ . Erhöhen Sie diesen auf  $28 \text{ mm}$  und bestätigen mit *OK*. Bei einer erneuten Dehnungsberechnung ist zu erkennen, dass der Querschnitt nicht mehr so stark beansprucht wird, die max. Druckdehnung beträgt  $-1,595 \text{ mm/m}$ . Im folgenden Bild ist dieser Dehnungszustand dargestellt. Der obere, dunkel schraffierte Bereich stellt die Druckzone dar, die roten Zahlenwerte am linken Rand sind die zugehörigen Druckdehnungen. Die blauen Zahlen rechts unten neben den Punkten sind die Knotennummern, die braun dargestellten Zahlen links unten neben den Bewehrungsstäben kennzeichnen die Bewehrungsgruppe. Weiterhin werden in der linken unteren Ecke die benutzten Baustoffe ausgegeben.



Überprüfen Sie jetzt, wie weit die Beanspruchung gesteigert werden kann, indem Sie im Menü *Ergebnisse* den Punkt *Sicherheitsnachweis* wählen. In der folgenden Message-Box erscheint die Meldung, dass die Belastung (hier My) um den Faktor 1,163 bis zum Erreichen der Tragfähigkeit gesteigert werden kann. Dies entspricht einem Biegemoment von  $M_y = 502,3 \text{ kNm}$ .

Der Biegemomentenvektor ist mit zwei Zahlenwerten beschriftet. Der obere Wert (braun dargestellt) ist die vom Nutzer eingegebene Beanspruchung. Der untere Wert (rot) ist das Ergebnis der aktuellen Rechnung, hier also die maximale Beanspruchung.



weiter mit [Beispiel 2](#), Spannbetonträger

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Beispiele](#)

An:  
 Herd Software Entwicklung  
 Bernd Herd  
 Kettelerstr. 35

Tel.: 06206-707775  
 Fax: 06206-707776

68642 Bürstadt  
 Germany

## Bestellung "Help to RTF"

Anzahl	Artikel	Einzelpreis EURO	Gesamtpreis EURO
_____	Einzelplatzlizenz(en) "Help to RTF" Konverter für Windows Hilfedateien	25,--	_____
_____	Netzwerklicenz(en) "Help to RTF" Konverter für Windows Hilfedateien	50,--	_____
	Zzgl. Porto, Verpackung und Bearbeitung		4,--
Die Preise verstehen sich incl. Mwst.		Summe	_____

## Absender

Name: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Straße: \_\_\_\_\_

Plz. Ort: \_\_\_\_\_

Tel. Fax: \_\_\_\_\_

E-Mail: \_\_\_\_\_

Umsatzsteuer Ident-Nr:  
 (Bei nicht-privaten Bestellungen aus Österreich) \_\_\_\_\_

VISA-Kreditkartennummer und Ablaufdatum: \_\_\_\_\_

Bankleitzahl/Kontonummer für Bankeinzug:  
 (nur in Deutschland) \_\_\_\_\_

**Unterschrift:**

Datum:

\_\_\_\_\_

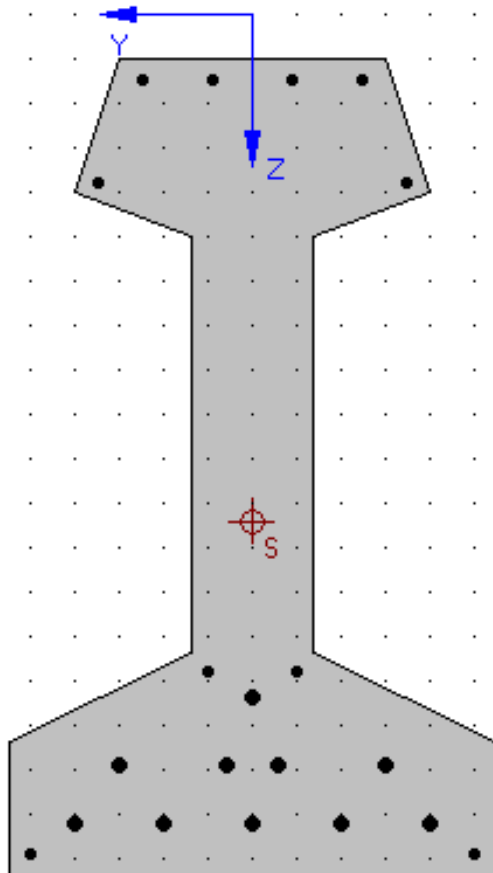
\_\_\_\_\_



## 8.2 Spannbetonträger

Starten Sie INCA2 bzw. wählen Sie im Menü *Datei* den Unterpunkt *Neu*, um einen leeren Datensatz zu erhalten. Standardmäßig sind bereits die Baustoffkennwerte für C20/25, C30/37, C40/50 sowie Betonstahl BSt 500 jeweils als Bemessungswerte vorhanden. Der in diesem Beispiel benötigte Spannstahl kann aus einer vordefinierten Baustofftabelle importiert werden. Wählen Sie dazu im Menü *Eingabe* den Unterpunkt *Baustoffe* und im sich öffnenden Fenster den Button *Baustofftabelle*. In einem ersten Teil der folgenden Tabelle sind die Baustoffe für die Zugsbewehrung zusammengefasst. Markieren Sie den Spannstahl 1550/1770, Bemessungswerte und übernehmen diesen. Die Liste der Baustoffe kann anschließend geschlossen werden.

Der in diesem Beispiel benutzte Querschnitt stammt von einer Brücke nördlich von Hamburg und wurde bereits in den 60er Jahren gefertigt. Im Jahre 2002 musste wegen Unsicherheiten bei den Spanngliedern der Querschnitt genauer untersucht werden. Die im folgenden Beispiel benutzten Baustoffeigenschaften (sowie einige Abmessungen) sind jedoch vereinfacht worden.



Wählen Sie im Menü *Eingabe* den Unterpunkt *Punkte als Liste*, um den Betonquerschnitt zu erstellen. Benutzen Sie den Karteikartenreiter *Freie Tabelle* und kopieren folgende Wertepaare ( $y / z$ ) in die Box:

0.1500	0.0500
0.2000	0.2000
0.0700	0.2500
0.0700	0.7200

0.2750	0.8200
0.2750	0.9700
-0.2750	0.9700
-0.2750	0.8200
-0.0700	0.7200
-0.0700	0.2500
-0.2000	0.2000
-0.1500	0.0500

Anschließend wählen Sie als *Art der Punkte* die Option *Neues Polygon*, als Baustoff den Beton *C40/50 PR*, *Bemessungswerte* und bestätigen mit *OK*.

Als zweites wird die schlaffe Bewehrung definiert. Wählen Sie dazu wie bereits zuvor im Menü *Eingabe* den Unterpunkt *Punkte als Liste*. Markieren Sie jetzt allerdings die Option *Bewehrungspunkt* und als Material den *Betonstahl BSt 500*, *Bemessungswerte*. Die Bewehrungsgruppe ist 1, den Durchmesser legen Sie auf 10 mm fest. Die Koordinaten (y / z) entnehmen Sie bitte folgender Liste:

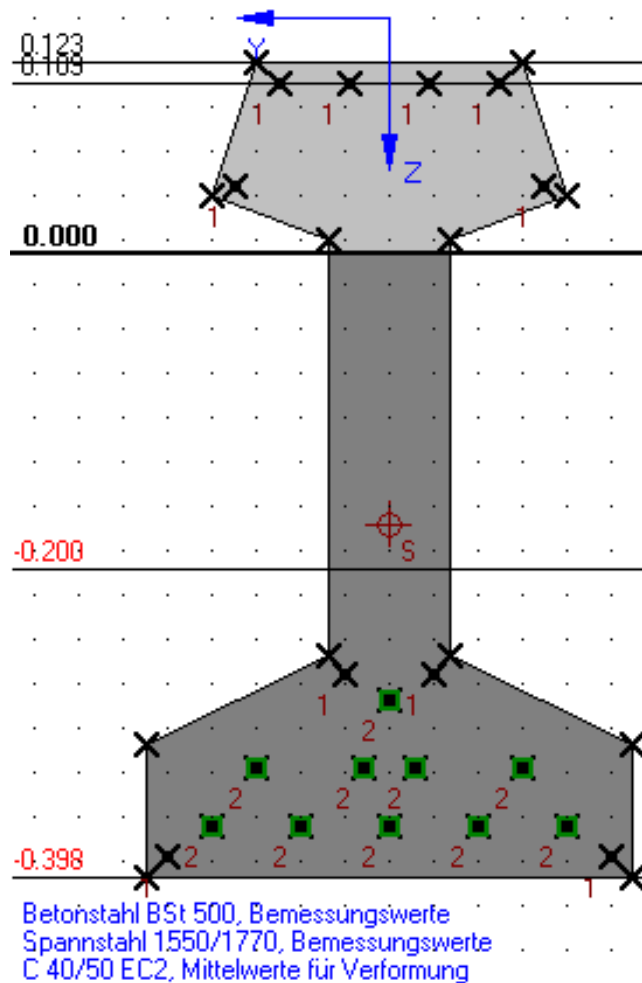
0.0500	0.7400
-0.0500	0.7400
0.2500	0.9450
-0.2500	0.9450
0.1250	0.0750
-0.1250	0.0750
0.0450	0.0750
-0.0450	0.0750
0.1750	0.1900
-0.1750	0.1900

Als drittes wird die vorgespannte Bewehrung definiert, die im Fertigteilwerk im Spannbett eingebaut wurde. Achten Sie jetzt bitte darauf, dass Sie eine neue Bewehrungsgruppe 2 und als Baustoff den *Spannstahl 1550/1770* wählen. Der Durchmesser beträgt jetzt 16 mm. Weiterhin muss eine Vordehnung definiert werden durch Klick auf den Button *Vordehnung/Vorkrümmung*. Eine neues Fenster öffnet sich, in dem Sie die Vordehnung  $\text{eps.0} = 4,5 \text{ mm/m}$  eintragen und mit *OK* bestätigen. Die Koordinaten (y / z) entnehmen Sie bitte folgender Liste:

0.2000	0.9100
0.1000	0.9100
0.0000	0.9100
-0.1000	0.9100
-0.2000	0.9100
0.1500	0.8450
0.0300	0.8450
-0.0300	0.8450
-0.1500	0.8450
0.0000	0.7700

Wählen Sie jetzt im Menü *Ergebnisse* den Unterpunkt *Dehnungszustand*, um die Beanspruchungen im Fertigteilwerk nach dem Kappen der Spanngliedverankerung zu sehen. Die Druckzone befindet sich unten, auf der Oberseite ist der Querschnitt weit aufgerissen. Zu beachten ist jedoch, dass derzeit mit dem Bemessungswerten gerechnet wurde!

Wird der Querschnitt mit den Mittelwerten der Baustoffeigenschaften gerechnet (also der vorhandene Zustand im Fertigteilwerk), dann wird der Querschnitt zwar auf der Oberseite auf Zug beansprucht, könnte jedoch noch knapp im ungerissenen Zustand verbleiben. Importieren Sie dazu im Menüpunkt *Eingabe Baustoffe Baustofftabelle* den Beton *C40/50 EC2, Mittelwerte für Verformung*. Ändern Sie anschließend den Baustoff des Querschnitts (Polygon), indem Sie es (am Rand) markieren und im Menü *Bearbeiten Eigenschaften* den soeben importierten C40/50 Mittelwerte als aktuellen Baustoff setzen. Eine erneute Berechnung des Dehnungszustandes ergibt folgendes Bild:



Um mit **Beispiel 3** (nachträglich ergänzter Querschnitt) fortzufahren, setzen Sie die Baustoffeigenschaft des Polygons wieder auf den Beton *C40/50 PR, Bemessungswerte* zurück.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Beispiele](#)

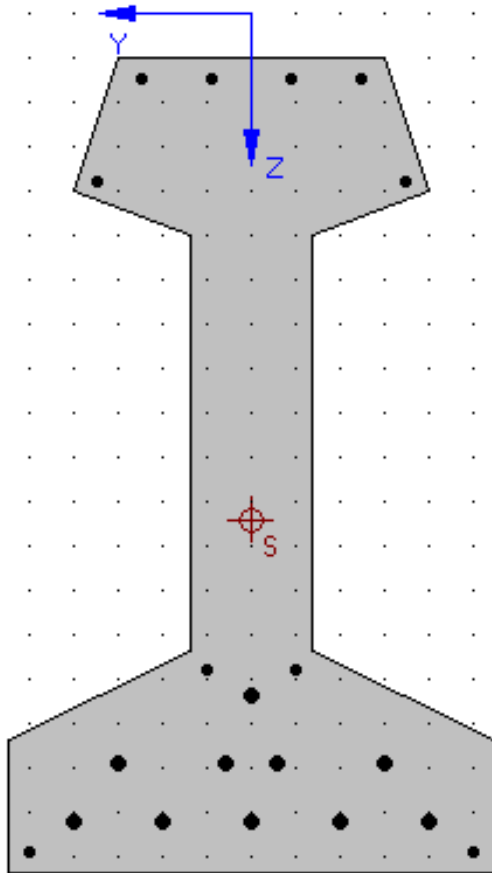
---

Erstellt mit 'Help to RTF' Dateikonverters von Herd Software Entwicklung.

### ***8.3 Nachträglich ergänzter Querschnitt***

Dieses Beispiel baut auf den in **Beispiel 2** generierten Querschnitt auf. Erstellen Sie den dort

erläuterten vorgespannten Fertigteilträger und fahren dann an dieser Stelle fort.



Querschnitt aus Beispiel 2

Der Träger wird zur Baustelle transportiert und mit einer Spannweite von 16 m als Einfeldträger eingebaut. Die Belastung infolge 1,0fachem Eigengewicht beträgt

$$g = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,2488 \text{ m}^2 = 6,22 \text{ kN/m}$$

Die zusätzliche Betonierlast beträgt (Fläche des ergänzten Querschnitts  $0,3525 \text{ m}^2$ )

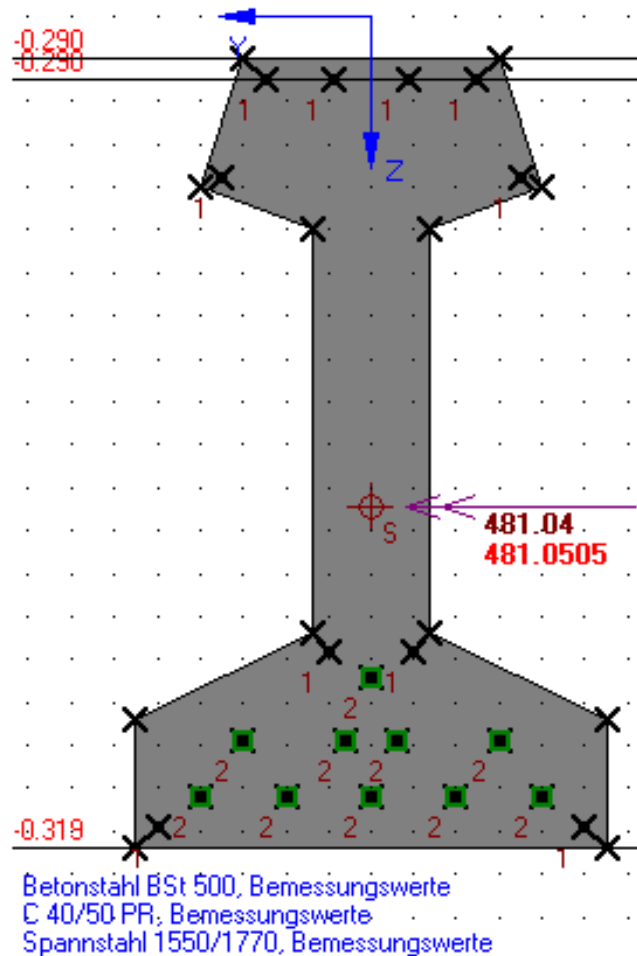
$$g = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,3525 \text{ m}^2 = 8,8125 \text{ kN/m}$$

Das resultierende Biegemoment ergibt sich damit zu

$$M = \frac{(g_1 + g_2) \cdot \ell^2}{8} = 481,04 \text{ kNm}$$

Mit diesem Biegemoment wird der Fertigteilträger beim Betonieren ohne zusätzliche Unterstützung belastet. Der Frischbeton nimmt noch keine Spannungen auf.

Für den Fertigteilträger ergibt sich folgender, komplett überdrückter Zustand.



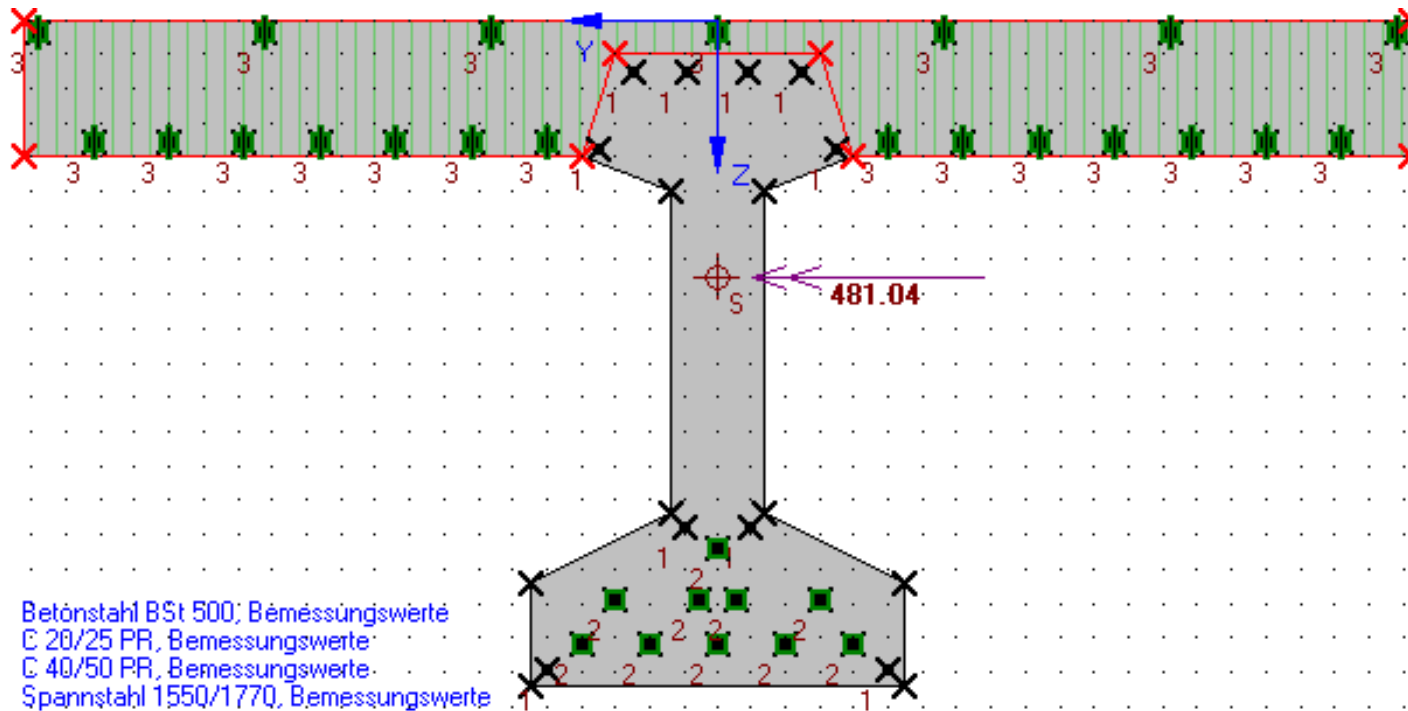
Schauen Sie sich dazu auch den *3D-Spannungszustand* im Menü *Ergebnisse* an. Lassen Sie sich weiterhin im Menüpunkt *Ergebnisse* die *Numerischen Ergebnisse* anzeigen. Die Berechnung ergab einen Dehnungszustand mit folgender Dehnungsebene:

$$\text{eps}.0 = -0.2879 \text{ mm/m} \quad \text{deps/dy} = 0 \quad \text{deps/dz} = -0.0315 \text{ mm/m}$$

Jetzt wird die nachträglich ergänzte Platte modelliert. Als Baustoff wurde auf der Baustelle ein C20/25 benutzt. Zum Erstellen der Platte erzeugen Sie in einem ersten Schritt die vier zusätzlichen Eckpunkte, ohne jedoch gleich das Polygon mit zu erzeugen. Wählen Sie dazu wiederum *Punkte als Liste* und dort die Option *Polygonpunkte*.

1.0125	0.0000
1.0125	0.2000
-1.0125	0.2000
-1.0125	0.0000

Anschließend müssen die Punkte zu einem Polygon verbunden werden. Wählen Sie dazu im Menü *Eingabe* den Unterpunkt *Polygon*. Nach Wahl des Baustoffs *C20/25 PR*, *Bemessungswerte* und Bestätigung des Buttons *Polygon mit Maus erzeugen*, klicken Sie der Reihe nach die Eckpunkte der nachträglich zu ergänzenden Fläche an. Mit dem Schließen des Polygons schaut der Querschnitt wie folgt aus (Punkte und Polygon hier rot markiert).



Bei der derzeitigen Modellierung wurde jedoch noch nicht berücksichtigt, dass die Platte erst später betoniert wurde, nämlich nachdem der Fertigteilträger bereits beansprucht wurde und eine Druckstauchung auf der Oberseite erfahren hat. Um diesen Effekt zu berücksichtigen, muss auf den ergänzten Querschnittsteil noch eine Vordehnung / Vorkrümmung aufgebracht werden. Markieren Sie dazu das Polygon am Rand und lassen sich die *Eigenschaften* anzeigen. Wählen Sie Button *Vordehnung / Vorkrümmung* und geben dort die zuvor für die Betonierlast berechnete Dehnungsebene mit jeweils anderem Vorzeichen ein:

$$\text{eps}.0 = +0.2879 \text{ mm/m} \quad \text{deps/dy} = 0 \quad \text{deps/dz} = +0.0315 \text{ mm/m}$$

Wenn Sie jetzt die Berechnung des ergänzten Querschnitts mit  $M = 481,04 \text{ kNm}$  erneut durchführen, so ergibt sich das gleiche Ergebnis wie in der vorherigen Rechnung des Fertigteilträgers (kleine Abweichungen in der 4. Nachkommastelle liegen an der Eingabe mit nur 4 signifikanten Ziffern). Insbesondere im 3D-Spannungszustand erkennt man, dass die nachträglich ergänzte Platte noch keine Spannungen hat.

Zusätzlich muss jetzt noch die Bewehrung der Platte modelliert werden. Wählen Sie dazu wieder den Menüpunkt *Punkte als Liste*, die Option *Bewehrungspunkte*, Bewehrungsgruppe 3, Durchmesser 14 mm und als Baustoff den *Betonstahl BSt 500, Bemessungswerte*. Als *Vordehnung / Vorkrümmung* geben Sie auch hier die zuvor genannte Dehnungsebene ein.

0.0000	0.0200
0.3300	0.0200
-0.3300	0.0200
0.6600	0.0200
-0.6600	0.0200
0.9900	0.0200
-0.9900	0.0200
0.2500	0.1800
-0.2500	0.1800
0.3600	0.1800

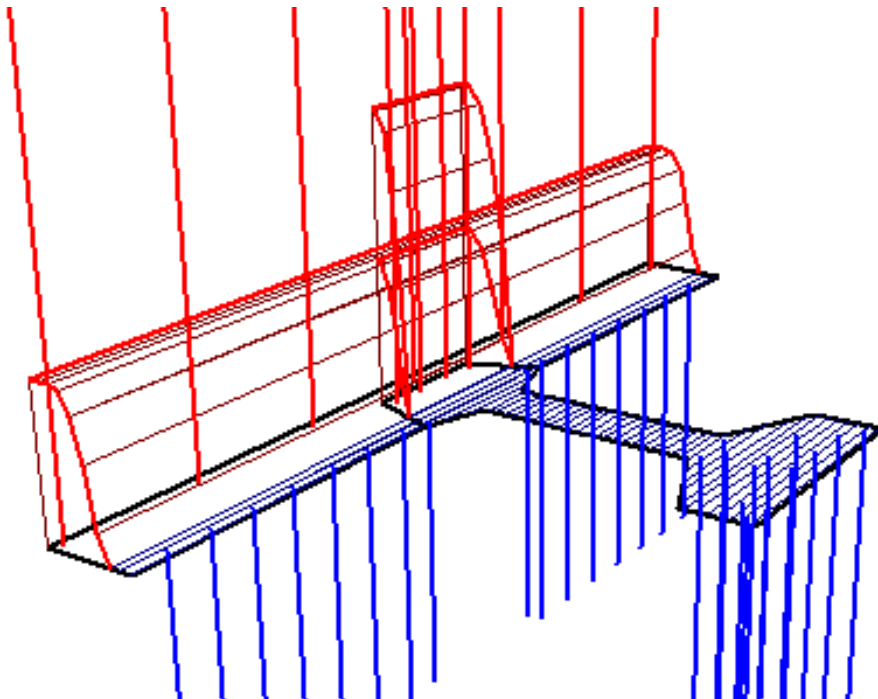
-0.3600	0.1800
0.4700	0.1800
-0.4700	0.1800
0.5800	0.1800
-0.5800	0.1800
0.6900	0.1800
-0.6900	0.1800
0.8000	0.1800
-0.8000	0.1800
0.9100	0.1800
-0.9100	0.1800

Nach kompletter Modellierung des nachträglich ergänzten Querschnitts überprüfen Sie dessen Richtigkeit, indem Sie den Dehnungszustand für  $M_y = 481,04 \text{ kNm}$  berechnen lassen. Es dürfen sich immer noch keine Unterschiede zu den vorherigen Rechnungen ergeben.

Um jetzt das maximal vom Querschnitt aufnehmbare Biegemoment zu bestimmen, wählen Sie im Menü *Ergebnisse* den Unterpunkt *Sicherheitsnachweis*.

$$\max M_y = 2434,7 \text{ kNm}$$

Mit einem Blick auf den 3D-Spannungszustand lässt sich das Tragverhalten und die unterschiedlichen Spannungen im Querschnitt gut erfassen.



Beachten Sie, dass trotz der im Querschnittsbild angezeigten max. Druckstauchung von  $-3,5 \text{ mm/m}$  der Betonrand nur mit  $-3,212 \text{ mm/m}$  gestaucht wird. Schauen Sie sich dazu auch die detaillierten numerischen Ergebnisse an, die Sie ebenfalls im Menü *Ergebnisse* finden. Ein Auszug daraus ist im folgenden dargestellt.

Polygon Nr. 2

---

Material : C 20/25 PR, Bemessungswerte (Beton)

Vordehnung:  $\epsilon_s = 0.2879 + y * 0.0000 + z * 0.0315$   
 Abminderungsfaktor für Betonzugzone = 0.0000

Punkte (8 Stk.)	Koordinaten (Y / Z)	$\epsilon_s$ [mm/m]	Sigma[N/mm <sup>2</sup> ]
1 (32)	1.0125 / 0.0000	-3.2121	-11.3333
2 (33)	1.0125 / 0.2000	1.4716	0.0000
3 (1)	0.2000 / 0.2000	1.4716	0.0000
4 (0)	0.1500 / 0.0500	-2.0412	-11.3333
5 (11)	-0.1500 / 0.0500	-2.0412	-11.3333
6 (10)	-0.2000 / 0.2000	1.4716	0.0000
7 (34)	-1.0125 / 0.2000	1.4716	0.0000
8 (35)	-1.0125 / 0.0000	-3.2121	-11.3333

Der Beton könnte damit noch geringfügig starker gedrückt werden, was jedoch zu keiner merklichen Tragfähigkeitserhöhung führen wird.

Die hier gezeigten Berechnungen wurden ausschließlich mit den Bemessungswerten der Baustoffeigenschaften durchgeführt. Damit wird also nicht der wirkliche Zustand ermittelt, sondern ein im Normalfall nie auftretender Grenzzustand.

Um einen Einblick zu erhalten, wie groß die wirklichen, vorhandenen Spannungen sind, muss die Berechnung mit den Mittelwerten der Baustoffeigenschaften (insbesondere für den Beton) durchgeführt werden. Damit lässt sich ermitteln, wie hoch die Beanspruchung der vorgedrückten Zugzone ist, ob und wie weit der Querschnitt aufreißt und natürlich auch, wie groß die späteren Druckbeanspruchungen in der Platte und Fertigteil sind. Weiterhin lässt sich abschätzen, von welcher Größenordnung die auftretenden Risse sind.

Durch Kriechen und unterschiedliches Schwindverhalten der Querschnittsteile werden sich im Laufe der Zeit Spannungen umlagern. In der Summe wird dadurch die Vorspannung abnehmen. Wie sich jedoch die Druckzone des Fertigteils oder die Platte in Bezug auf Verteilung und Größe der Druckspannungen verhalten, mag erst eine detaillierte Rechnung mit Schwinden und Kriechen zeigen.

weiter mit [Beispiel 4](#), Verbundträger

[Zurück zum Hauptmenü](#)

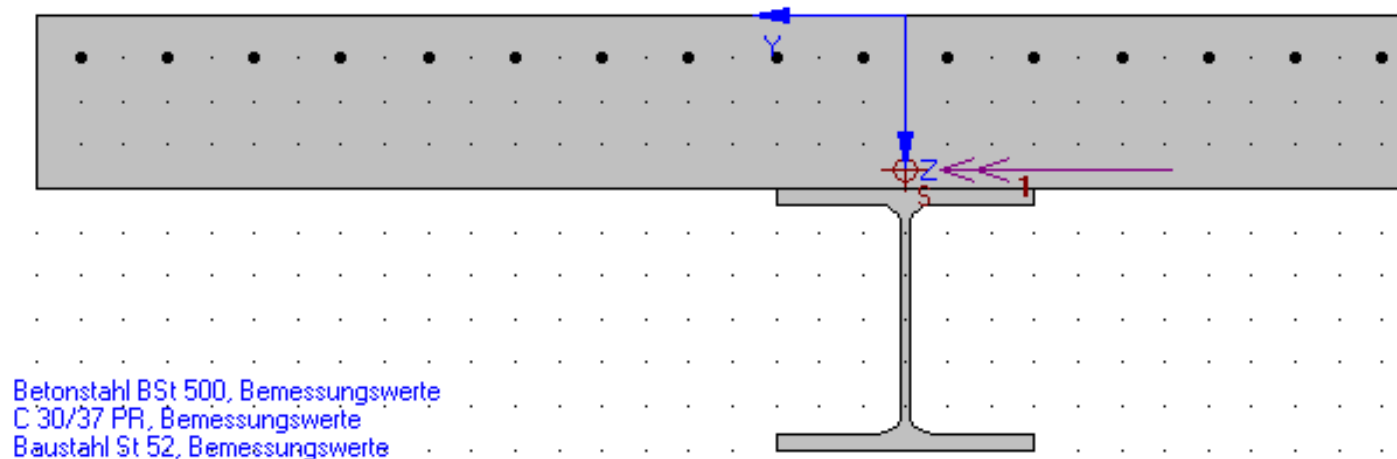
[Übersicht Beispiele](#)

## 8.4 Verbundträger

Starten Sie INCA2 bzw. wählen Sie im Menü *Datei* den Unterpunkt *Neu*, um einen leeren Datensatz zu erhalten. Standardmäßig sind bereits die Baustoffkennwerte für C20/25, C30/37, C40/50 sowie Betonstahl BSt 500 jeweils als Bemessungswerte vorhanden. Der in diesem Beispiel benötigte Baustahl St 52 kann aus einer vordefinierten Baustofftabelle importiert werden. Wählen Sie dazu im Menü *Eingabe* den Unterpunkt *Baustoffe* und im sich öffnenden Fenster den Button *Baustofftabelle*. In einem ersten Teil der folgenden Tabelle sind die Baustoffe für den Stahl zusammengefasst. Markieren Sie den *Baustahl St 52*, *Bemessungswerte* und übernehmen diesen. Die Liste der Baustoffe kann anschließend geschlossen werden.

Folgender Verbundquerschnitt soll erzeugt werden:





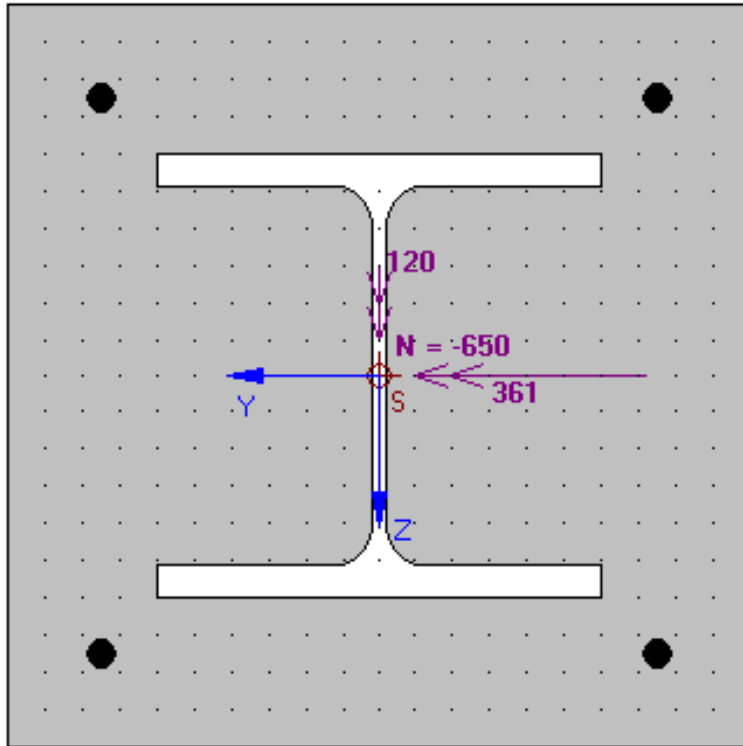
Erstellen Sie dazu als erstes die Betonplatte ( $b / h = 2,0 / 0,2$  [m]) mit einem C30/37 Bemessungswerte. Achten Sie darauf, dass sich die Oberkante der Platte bei  $z = 0$  befindet und die Eckpunkte bei  $+ / - 1,0$  m.

Erzeugen Sie anschließend genau einen Bewehrungspunkt (BSt 500) bei  $y = 0,95$  m /  $z = 0,05$  m, Durchmesser 16 mm. Markieren Sie diesen anschließend und wählen im Menü *Bearbeiten* den Punkt *Schieben*. Als *relative* Verschiebung geben Sie  $dy = -0,10$  m /  $dz = 0,00$  m ein, markieren die Option *Kopieren* und wählen anschließend 19 Kopien.

Als drittes wird ein HEB 300 an der Unterseite der Platte erzeugt. Wählen Sie dazu im Menü *Eingabe* den Unterpunkt *Komplette-Querschnitte => I-Profile*. In dem sich öffnenden Fenster müssen *Profiltyp* und Abmessungen (HEB 300) definiert werden. Wählen Sie außerdem als Material den *Baustahl St 52, Bemessungswerte* und als Position des Schwerpunktes  $y = 0,0$  m /  $z = 0,35$  m.

Nach Eingabe der *Belastung*  $M_y = 1,0$  kNm kann die maximale Tragfähigkeit mit dem *Sicherheitsnachweis* zu  $M_y = 1466,3$  kNm bestimmt werden.

Als zweites Beispiel soll folgende Verbundstütze erstellt werden. Die äußeren Abmessungen betragen  $b / h = 40 / 40$  cm, im Inneren wurde ein HEB 240 einbetoniert. Die Baustoffe sind wie zuvor C 30/37, BSt 500 und St 52.



Betonstahl BSt 500, Bemessungswerte  
 C 30/37 PR, Bemessungswerte  
 Baustahl St 52, Bemessungswerte

Erstellen Sie in einem ersten Schritt das Polygon (40 x 40 [cm]) für den Betonquerschnitt mit Schwerpunkt im Koordinatenursprung. Erzeugen Sie anschließend die 4 Bewehrungsstäbe in den Ecken mit jeweils 5 cm Randabstand und Durchmesser 16 mm.

Erzeugen Sie als nächstes das HEB 240-Profil (Baustahl St 52). Der Schwerpunkt des Profils soll diesmal bei  $y = 0 / z = 0$  positioniert werden. Das Profil kommt damit genau in der Mitte der Stütze zum Liegen.

Problematisch bei der bisherigen Modellierung und einer anschließenden Berechnung ist jedoch, dass an der Stelle des Profils vom Programm jetzt sowohl Beton als auch Stahl angenommen werden. Die Fläche des Betonpolygons wird bei der Berechnungen der Spannungen damit zu groß angenommen.

Aus diesem Grund muss an der Stelle des HEB 240-Profiles eine Aussparung im Beton von der gleichen Größe definiert werden. Öffnen Sie dazu noch ein zweites Mal das Fenster zum Erzeugen eines I-Profiles. Wählen Sie die gleiche Größe (HEB 240), diesmal als Baustoff jedoch den Beton des umgebendes Polygons (C 30/37) und außerdem die Option *Aussparung*. Damit wird erreicht, dass später während der Rechnung die Spannungen des Betons in diesem Bereich wieder subtrahiert werden und somit nicht zuviel Fläche berücksichtigt wird.

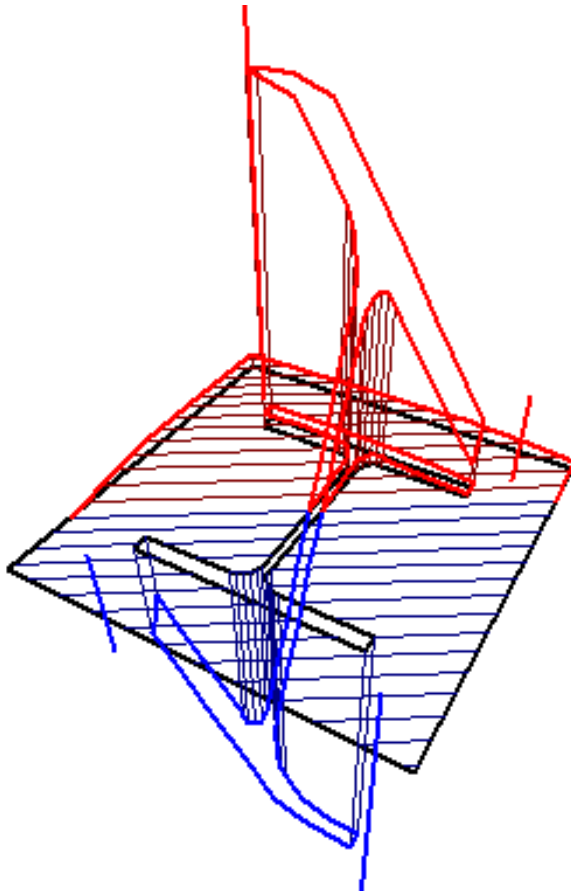
Geben Sie anschließend folgende Belastung ein

$$N = -650 \text{ kN}$$

$$M_y = 361 \text{ kNm}$$

$$M_z = 120 \text{ kNm}$$

und lassen sich den *Dehnungszustand* berechnen. Ein Blick auf den *3D-Spannungszustand* lässt das Tragverhalten mit den unterschiedlichen Spannungen gut erkennen:



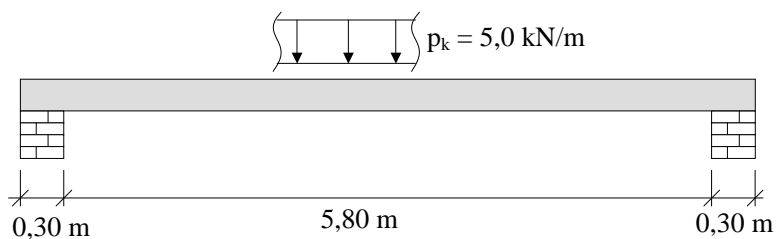
[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Beispiele](#)

## 8.5 Verformungsberechnung eines Einfeldträgers

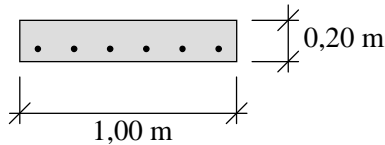
Im folgenden soll, ausgehend von den Mittelwerten der Baustoffeigenschaften, eine Verformungsberechnung an einem Einfeldträger durchgeführt werden.

### 8.5.1 System



Spannweite  $L_{\text{eff}} = 0,1 + 5,80 + 0,1 = 6,00 \text{ m}$

Querschnitt



Betonstahl BSt 500  
 Beton C 30/37,  $E = 32000 \text{ N/mm}^2$

Randabstand Bewehrung  $d_1 = 4 \text{ cm}$

Biegesteifigkeit  $B = EI = 21333,3 \text{ kNm}^2$

### 8.5.2 Belastung

	Grenzzustand der Tragfähigkeit				Gebrauchstauglichkeit			
Eigengewicht	1,35	0,2	1,0	25 = 6,75 kN/m	0,2	1,0	25 = 5,0 kN/m	
Verkehrslast kN/m	1,5	5,0		= 7,50	30%	5,0 = 1,5 kN/m (quasi ständig)		
					50%	5,0 = 2,5 kN/m (häufig)		
					70%	5,0 = 3,5 kN/m (selten)		

### 8.5.3 Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Biegemoment  $M = \frac{q \cdot \ell^2}{8} = 64,125 \text{ kNm}$

Zur Ermittlung der Bewehrung werden die Bemessungswerte der Baustoffeigenschaften benötigt. Modellieren Sie den Querschnitt mit den oben gegebenen Abmessungen. Bei der Wahl der Bewehrung geben Sie vorerst eine beliebige Fläche vor. Führen Sie anschließend die *Bemessung* durch (Menü *Ergebnisse*).

Bewehrung  $\text{req } A_s = 10,05 \text{ cm}^2 / \text{m}$

Durchbiegung  $w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot \ell^4}{EI} = 0,0113 \text{ m}$  (linear-elastisch)

### 8.5.4 Verformung im Gebrauchszustand

Zur Berechnung der Verformungen im Gebrauchszustand müssen die Mittelwerte der Baustoffeigenschaften benutzt werden. In diesem Beispiel wurden die Werte noch nach EC 2 angenommen, die Baustoffkennwerte nach DIN 1045-1 liefern etwas größere Verformungen. Diese können aus der Baustofftabelle importiert werden. Ändern Sie anschließend die Eigenschaften des Betonpolygons und der Bewehrung auf diese Mittelwerte. Setzen Sie außerdem die Grenzdehnungen auf folgende Werte:

Beton eps.Druck = -3,2 mm/m

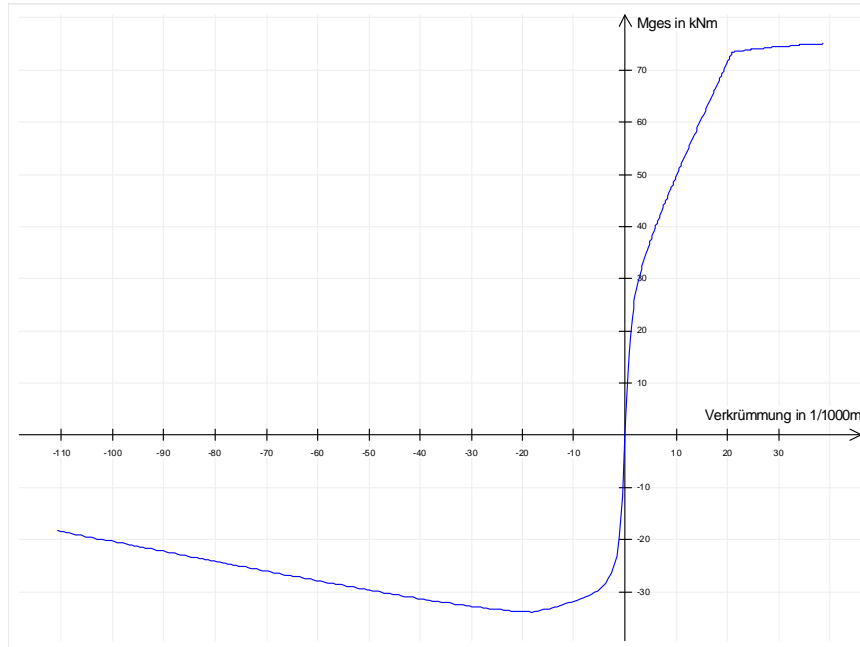
eps.Druck.zentr = -2,2 mm/m

Bewehrung eps.Zug = 5,0 mm/m

Die ersten beiden Werte sind wichtig, um der Normung des EC2 zu entsprechen. Die beschränkte Dehnung der Bewehrung sorgt dafür, dass nur der wirklich wichtige Teil der Mk-Linie berechnet wird. Bei einer höheren Grenzdehnung wird dagegen der plastische

Bereich sehr detailliert berechnet, der im Rahmen einer Gebrauchstauglichkeitsuntersuchung jedoch nicht von Relevanz ist.

Mit den genannten Einstellungen ergibt die Berechnung der Mk-Linie ( $\alpha = 0$ ,  $N = 0$ ) folgendes Ergebnis:

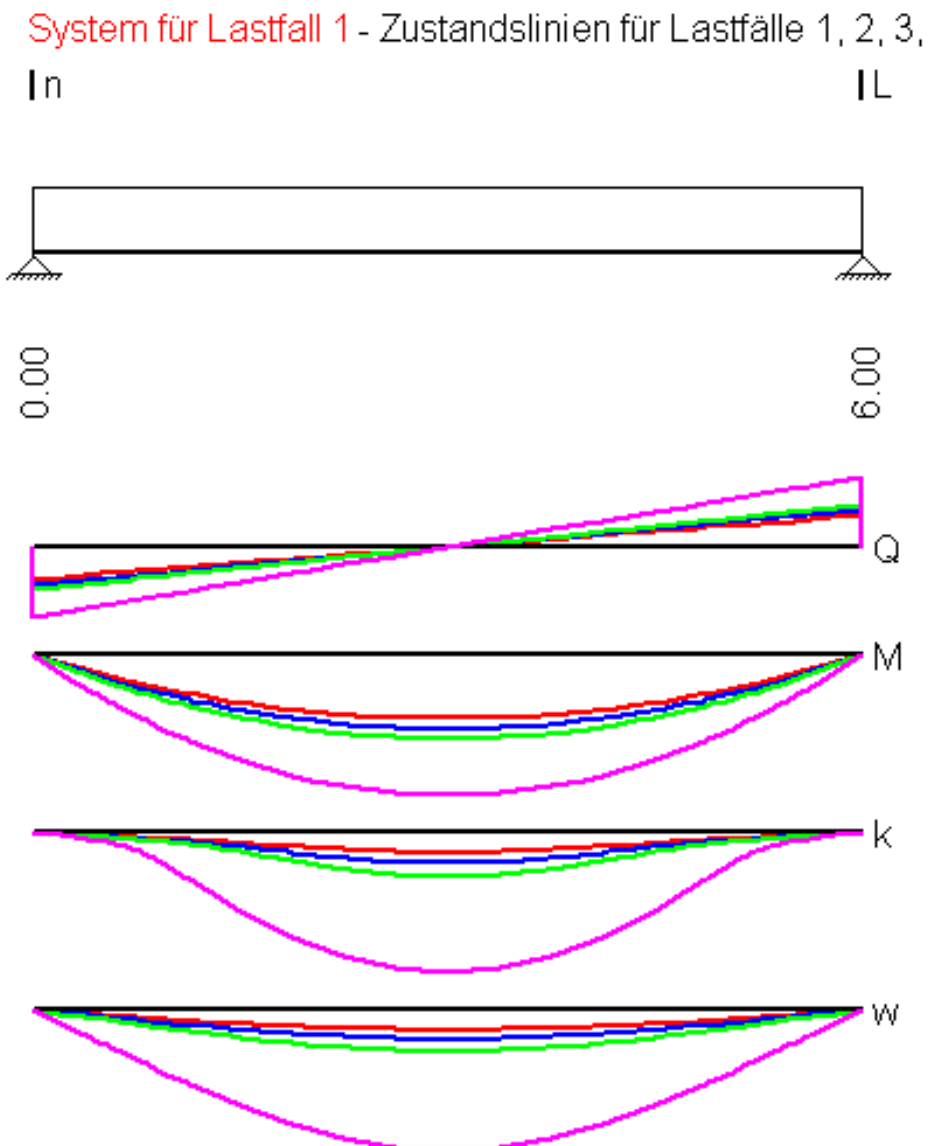


Nur der rechte obere Teil im Bereich der positiven Biegemomente ist für die Verformungsberechnung wichtig. Der linke untere Teil, vor allem der Abschnitt mit dem fallenden Ast (negative Steigung = negative tangentielle Biegesteifigkeit !!!) darf für die anschließende Verformungsrechnung mit dem Programm ABaS nicht benutzt werden. Die Ausgabe der Mk-Linie erfolgte in zwei Fenstern. Die grafische Ausgabe kann geschlossen werden. In der Ausgabe der numerischen Ergebnisse befinden sich am Ende des Textes linearisierte Mk-Linien für ABaS und Excel. Kopieren Sie den positiven Ast der Mk-Linie und erstellen Sie damit folgenden ABaS-Eingabedatensatz:

0		x-Koordinate
A		Auflager
L nl		Verweis auf die Mk-Linie
f 6.5 7.5 8.5 14.25		Linienlast mit 4 Lastfällen
6		x-Koordinate
A		Auflager
Q QMKW		Ende Ausgabeoptionen
:nl		Definition der Mk-Linie
-11.8005	-0.5538e-3	Wertepaar der Mk-Linie
0.0000	0.0000e-3	
4.4955	0.1925e-3	
8.6550	0.3850e-3	
12.4393	0.5775e-3	
15.7980	0.7700e-3	
18.6649	0.9625e-3	
20.9759	1.1550e-3	
22.8506	1.3474e-3	

24.4167	1.5399e-3
25.6939	1.7324e-3
26.8172	1.9249e-3
27.8253	2.1174e-3
28.7446	2.3099e-3
30.3869	2.6949e-3
31.8428	3.0799e-3
33.7965	3.6574e-3
36.1281	4.4273e-3
38.7795	5.3898e-3
42.6845	6.9297e-3
48.1496	9.2396e-3
57.2259	13.2820e-3
73.4714	20.7892e-3
74.4797	30.0288e-3
75.0526	38.4985e-3

Die nichtlineare Berechnung liefert folgende Ergebnisse in grafischer Form:



Rot, Blau und Grün sind die Belastungen für den Gebrauchszustand mit 30, 50 und 70% Verkehrslast. Die Magenta-farbene Linie stellt den Grenzzustand der Tragfähigkeit dar, wie er sich in einem Belastungsversuch einstellen würde.

Gebrauchszustand

$$30\% \text{ Verkehrslast } w = 7,8 \text{ mm}$$

$$50\% \text{ Verkehrslast } w = 11,3 \text{ mm}$$

$$70\% \text{ Verkehrslast } w = 16,0 \text{ mm}$$

rechnerischer Grenzzustand  $w = 54,1 \text{ mm}$

Zu beachten ist, dass sich diese Werte bei  $t = 0$  ergeben. Unter Berücksichtigung von Schwinden und Kriechen werden die Verformungen weiter ansteigen. Weiterhin ist zu beachten, dass die Bedingungen auf der Baustelle und die daraus resultierenden Baustoffeigenschaften nur schwer erfasst werden können. Die in diesem Beispiel berechneten Verformungen stellen damit nicht ein absolutes Maß dar, sondern zeigen nur den Bereich auf, in dem die Verformungen zu erwarten sind.

### ***8.5.5 Verformung im Gebrauchszustand mit Schwinden und Kriechen***

Gemäß den Formeln aus dem EC2 wurden folgende Kriech- und Schwindwerte ermittelt. Als Luftfeuchte wurden 60% angenommen.

$$\text{Schwinden } \epsilon_{s,s} = -0,51 \text{ mm/m}$$

$$\text{Kriechen } \varphi = 2,27$$

Das Schwinden des Betons wird in INCA2 als Vordehnung des Betons modelliert. Lassen Sie sich die Eigenschaften des Beton-Polygons anzeigen und wählen Sie den Button Vordehnung / Vorkrümmung. Tragen Sie dort für die Dehnungsebene den Wert  $\epsilon_{ps} = 0,51 \text{ mm/m}$  (positiv!) ein.

Das Kriechen wird berücksichtigt, indem die Spannungsdehnungslinien mit dem Faktor  $(1 + \varphi)$  gestreckt werden. Die Werte für das Betonmaterialgesetz verändern sich damit wie folgt:

$$\text{E-Modul } E = 32.000 / (1+2,27) = 9786 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Dehnung } \epsilon_{ps,c1} = -2,2 / (1+2,27) = -7,194 \text{ mm/m}$$

$$\text{Dehnung } \epsilon_{ps,cr} = 0,11 / (1+2,27) = 0,3597 \text{ mm/m}$$

Mitwirkungsgesetz

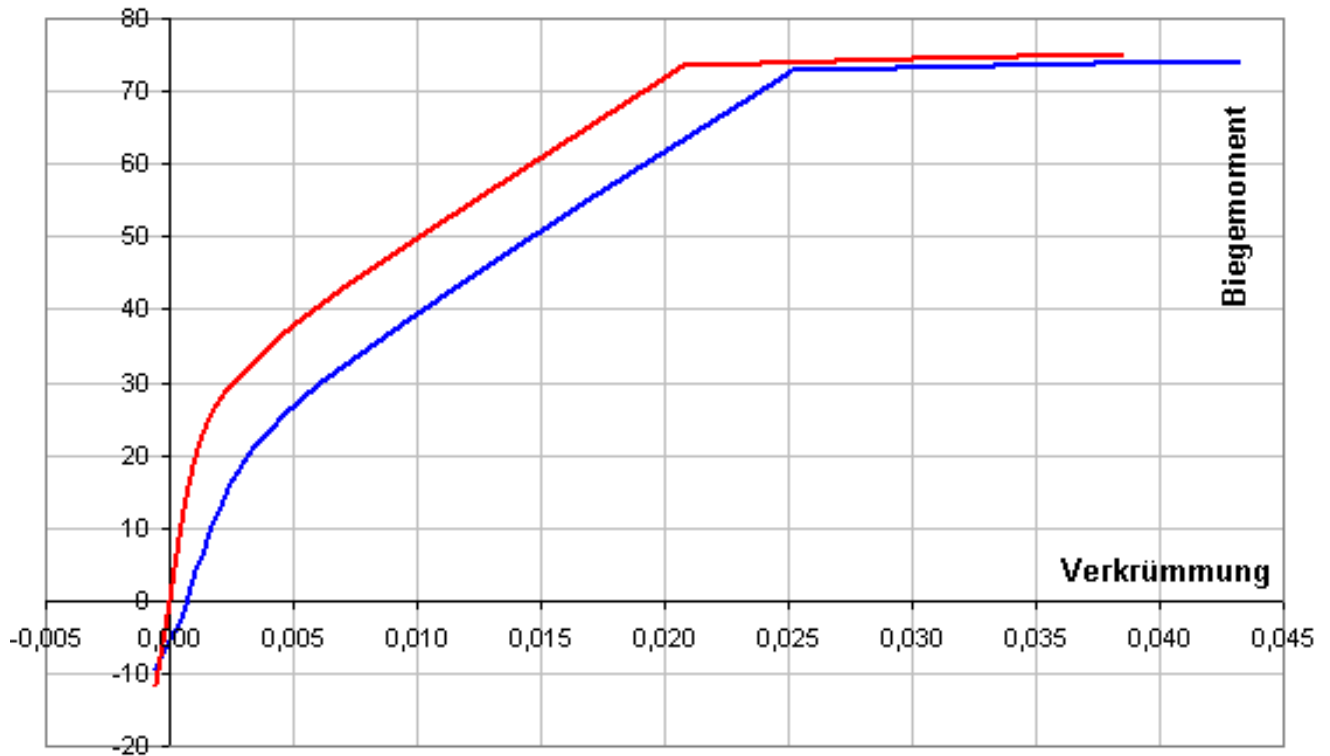
$$\text{Dehnung } \epsilon_{ps,cr} = 0,11 / (1+2,27) = 0,3597 \text{ mm/m}$$

Grenzdehnungen vom Beton

$$\text{eps.Druck} = -3,2 / (1+2,27) = 10,464 \text{ mm/m}$$

$$\text{eps.Druck.z} = -2,2 / (1+2,27) = 7,194 \text{ mm/m}$$

Mit diesen Änderungen wird eine neue Mk-Linie berechnet. In der folgenden Grafik sind Mk-Linien für  $t = 0$  (rote Linie) und für  $t = \infty$  (mit Schwinden, jedoch versehentlich ohne Kriechen, blaue Linie) abgebildet.



Man erkennt, dass im Zustand I (ungerissen) die Steifigkeit abgenommen hat. Im Zustand II (gerissen) ist die Steifigkeit vergleichbar, die Verkrümmungen sind jedoch größer geworden. Weiterhin auffällig ist, dass die blaue Linie nicht mehr durch den Ursprung verläuft, sondern, durch die unsymmetrische Bewehrungsanordnung bedingt, bei  $M = 0$  bereits eine Vorkrümmung hat. Das ist darauf zurückzuführen, dass sich die Oberseite der Platte infolge Schwindens stärker zusammenziehen kann als die Unterseite, wo das Schwinden durch die Bewehrung behindert wird.

Die Verformungen bei der Berechnung der Platte bei Berücksichtigung des Schwindens sind angestiegen:

Gebrauchszustand, bei Berücksichtigung von Schwinden

30% Verkehrslast  $w = 20,5$  mm

50 % Verkehrslast  $w = 26,1$  mm

70% Verkehrslast  $w = 32,4$  mm

Die Berücksichtigung von Kriechen liefert nochmals größere Verformungen, so dass dieser Träger ohne zusätzliche Druckbewehrung nicht ausgeführt werden sollte.

Gebrauchszustand, bei Berücksichtigung von Schwinden und Kriechen

30% Verkehrslast  $w = 31,8$  mm

50 % Verkehrslast  $w = 39,2$  mm

70% Verkehrslast  $w = 46,9$  mm

Genau genommen gilt der Kriechbeiwert nur für die ständigen und damit kriecherzeugenden Belastungen. Das wäre in diesem Beispiel der Lastfall aus Eigengewicht + ca. 30% der Verkehrslast. Die Verformungen für 50% Verkehr und 70% Verkehr sind damit eigentlich zu hoch abgeschätzt.

Weitere Information zur Modellierung von Kriechen und Schwinden finden Sie beim



## Hilfethema 6.10.

weiter mit **Beispiel 6**, Berechnung einer Stütze mit INCA2 und ABaS

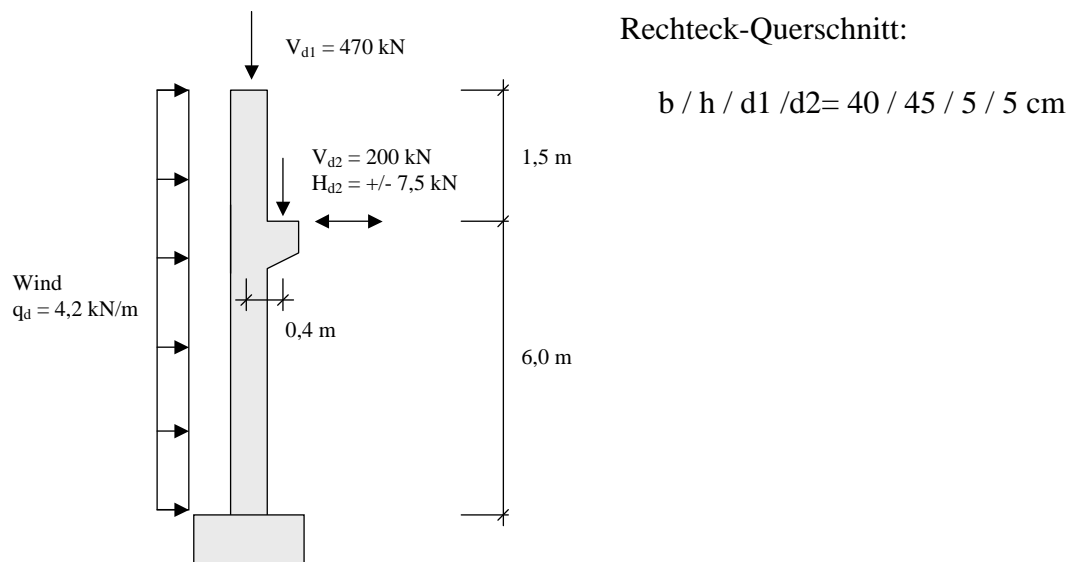
[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Beispiele](#)

## 8.6 Nichtlineare Stützenrechnung mit INCA2 und ABaS

Am Beispiel einer Kragstütze (Fertigteilbau, Industriehalle) sollen verschiedene Rechengänge demonstriert werden.

ABaS (Anschauliche Balken-Statik) wurde ebenfalls im Arbeitsbereich Massivbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg entwickelt und kann kostenlos von der Homepage des Instituts ([www.mb.tu-harburg.de](http://www.mb.tu-harburg.de)) herunter geladen werden.



Grundsätzlich ist die Bemessung einer schlanken Stütze mittels einer nichtlinearen Rechnung immer iterativ, d.h., zu gewählter Bewehrung kann der Tragsicherheitsnachweis erbracht werden oder nicht. Um diese Iteration in diesem Beispiel zu vereinfachen, wird vorab eine Rechnung mit dem vereinfachten Modellstützenverfahren durchgeführt. Damit kann eine Bewehrung ermittelt werden, die wiederum Ausgangswert für eine nichtlineare Rechnung mit INCA2 und ABaS ist.

### Vereinfachungen:

Kombinationsbeiwerte werden nicht berücksichtigt.

### 8.6.1 Handrechnung mit dem vereinfachten Modellstützenverfahren

Biegemoment nach Theorie I. Ordnung, inklusive ungewollter Ausmitte (Schiefstellung)

$$\begin{aligned}
 M_{d,1} &= 4,2 \text{ kN/m} \cdot \frac{7,5^2}{2} + 7,5 \text{ kN} \cdot 6,0 \text{ m} + 200 \text{ kN} \cdot 0,4 \text{ m} + \frac{1}{200} \cdot (6,0 \text{ m} \cdot 200 \text{ kN} + 7,5 \text{ m} \cdot 470 \text{ kN}) \\
 &= 266,75 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Ausmitte und Biegemoment nach Theorie II. Ordnung

$$L_0 = 2 \cdot L$$

$$\text{bei } x = 7,5 \text{ m} \quad e_2 = \frac{L_0^2}{2070 \cdot d} = \frac{(2 \cdot 7,5 \text{ m})^2}{2070 \cdot 0,40 \text{ m}} = 0,2717 \text{ m}$$

$$\text{bei } x = 6,0 \text{ m} \quad e_2 = \frac{(2 \cdot 6,0 \text{ m})^2}{2070 \cdot 0,40 \text{ m}} = 0,1739 \text{ m}$$

$$M_{d,2} = 0,2717 \text{ m} \cdot 470 \text{ kN} + 0,1739 \text{ m} \cdot 200 \text{ kN} = 127,70 + 34,78 = 162,48 \text{ kNm}$$

Berücksichtigung der Form des Momentenverlaufes:

Windbeanspruchung und Horizontalkraft (Bremskraft Kran) ergeben in etwa einen dreieckförmigen Biegemomentenverlauf. Das Biegemoment kann daher wie folgt abgemindert werden:

$$M_{d,2} = M \cdot \frac{10}{12} = 135,40 \text{ kNm}$$

Die Bemessungsschnittgrößen lauten damit

$$M_{Sd} = 266,75 + 135,40 = 402,15 \text{ kNm}$$

$$N_{Sd} = 470 \text{ kN} + 200 \text{ kN} = -670 \text{ kN}$$

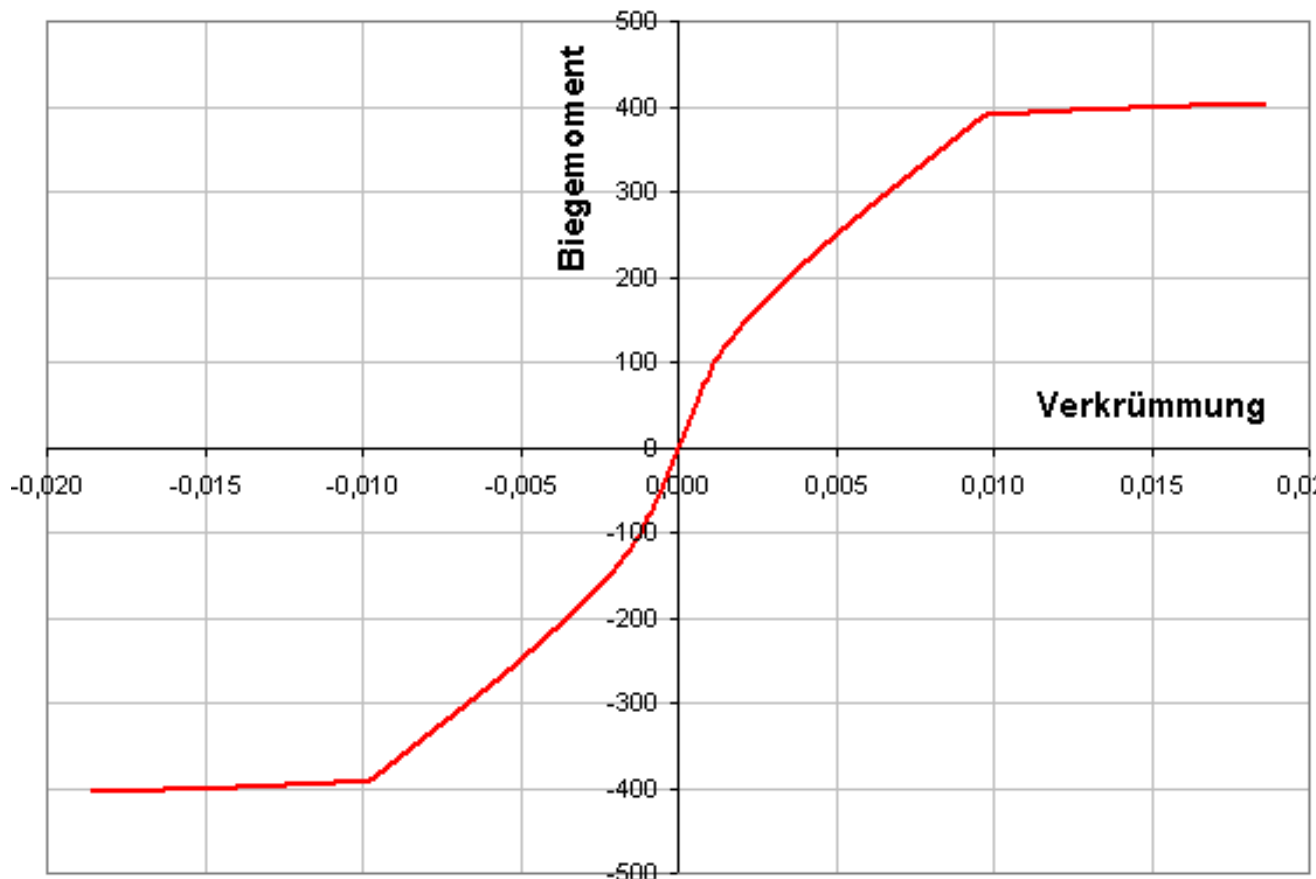
Eine Bemessung mit INCA2 liefert eine erforderliche Bewehrung von  $A_{s,tot} = 37,66 \text{ cm}^2$

### **8.6.2 Nichtlineare Berechnung mit INCA2 und ABaS**

Grundsätzlich werden auch hier die Verformungen ausgehend von den Mittelwerten der Baustoffeigenschaften berechnet, um ein wirklichkeitsnahes Verhalten der Stütze zu erhalten. Da die sich daraus ergebenden Schnittgrößen jedoch in sehr starkem Maße von den Baustoffeigenschaften abhängen (schlechter Beton mehr Verformung größere Beanspruchung), werden für derartige Tragwerke bereits die Baustoffeigenschaften für die Schnittgrößenermittlung mit den Teilsicherheitsbeiwerten beaufschlagt. Die Betonfestigkeit beträgt damit  $f_c = f_{cm} / 1,5$ , die Stahlfestigkeit  $f_y = 500 / 1,15 = 435 \text{ N/mm}^2$ .

Hintergrund dieser Vorgehensweise ist, dass beim neuen Sicherheitskonzept nach EC2 bzw. DIN 1045-1 immer die relevanten streuenden Größen mit  $\gamma$  beaufschlagt werden sollen.

Als Baustoff für die Bewehrung wird ein "BSt 500, Bemessungswerte" gewählt ( $f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$ ), für den Beton wird "C30/37, Stützenbemessung" gewählt ( $f_c = 38 / 1,5 = 25,333 \text{ N/mm}^2$ ). Von diesem Querschnitt wird die  $M_k$ -Linie für eine Normalkraft von  $N = -670 \text{ kN}$  berechnet. Die Änderung der Normalkraft im Bereich von 6,0 m bis 7,5 m mit  $N = -470 \text{ kN}$  wird vernachlässigt, da der Einfluss der Stützenspitze auf das Gesamtergebnis nur sehr gering ist.



Mk-Linie für  $N = -670 \text{ kN}$  und  $A_s = 37,66 \text{ cm}^2$

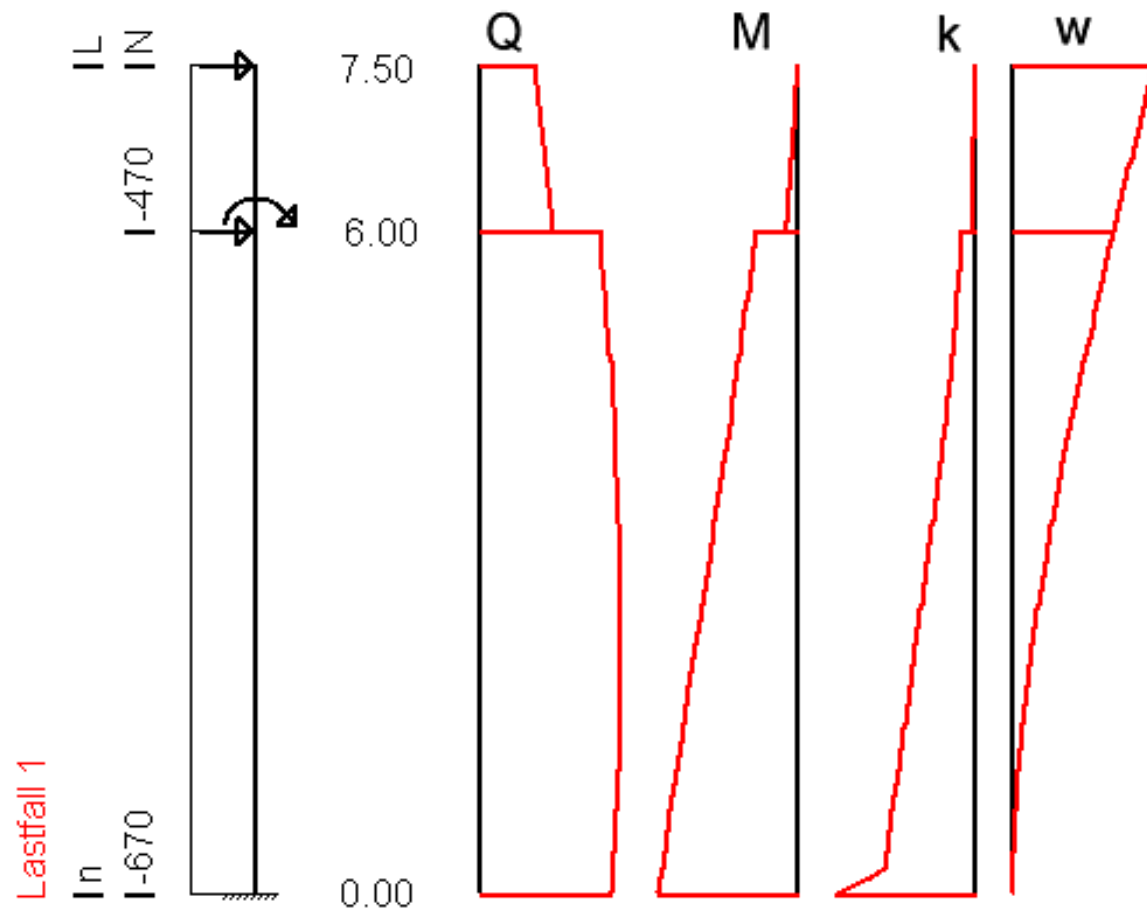
Mit dieser Mk-Linie wird im folgenden eine nichtlineare Berechnung durchgeführt (hier mit dem Programm ABaS, [Eingabedatensatz](#)), was folgende Ergebnisse liefert.

$$MSd = -354,73 \text{ kNm}$$

$$NSd = -670 \text{ kN}$$

$$e_{\text{Kopf}} = 0,1434 \text{ m}$$

Wie zu sehen ist, liegt das erreichte Biegemoment mit  $MSd = 354,73 \text{ kNm}$  unter dem maximal aufnehmbaren von  $MRd = 402,15 \text{ kNm}$ . Man kann in einer iterativen Berechnung die Bewehrung von  $A_{s,\text{tot}} = 37,66 \text{ cm}^2/\text{Seite}$  auf  $A_s = 34,0 \text{ cm}^2$  reduzieren, das aufnehmbare Moment verringert sich dann auf  $MRd = 374,3446 \text{ kNm}$ . Eine ABaS-Rechnung mit einer Mk-Linie für den geänderten Querschnitt ergibt ein einwirkendes Biegemoment von  $MSd = 372,58 \text{ kNm}$  an der Einspannung bei einer Kopfverformung von  $w = 17,24 \text{ cm}$ . Eine weitere Reduzierung der Bewehrung ist allerdings nicht mehr möglich, da der Querschnitt zu weit aufreißt (an der Einspannstelle bereits plastiziert, siehe Grafik), die Steifigkeit stark abnimmt und die Verformungen und damit die Einwirkungen schneller zunehmen als der Widerstand des Querschnitts bei größer werdenden Verkrümmungen.



Die gezeigte Computer-Berechnung ist durch den iterativen Charakter sehr aufwändig, liefert jedoch im Rahmen der angenommenen Baustoffkennwerte die exakten Ergebnisse. Außerdem erkennt man erst durch die nichtlineare Berechnung den vorhandenen Momenten- und Verkrümmungsverlauf und kann entsprechend einen anderen Faktor für das Modellstützenverfahren wählen.

[Zurück zum Hauptmenü](#)

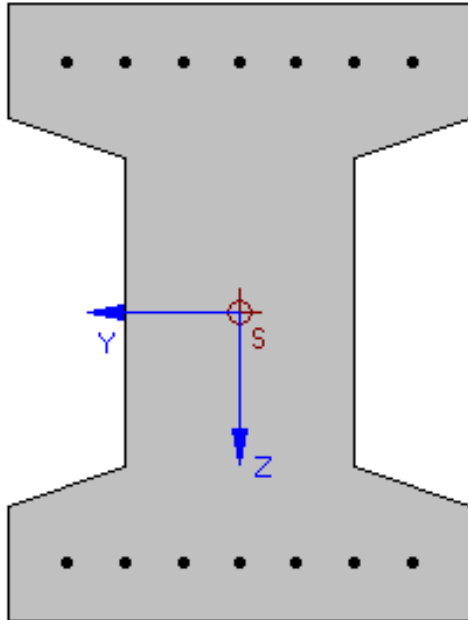
[Übersicht Beispiele](#)

## 8.7 Interaktionsdiagramme $N / My$

Bei immer wiederkehrenden Berechnungen der Bewehrung für identische oder skalierte Querschnitte kann es sinnvoll sein, sich zur Vereinfachung der Arbeit ein M/N-Interaktionsdiagramm zu erstellen. Insbesondere kann ein derartiges Diagramm nötig sein, wenn es sich um einen nicht in der Literatur tabellierten Querschnittstyp handelt oder eine andere Bewehrung mit vom BSt 500 verschiedener Fließgrenze benutzt wird. Mit INCA2 haben Sie die Möglichkeit, sowohl ein dimensionsbehaftetes als auch ein dimensionsloses Interaktionsdiagramm zu erstellen.

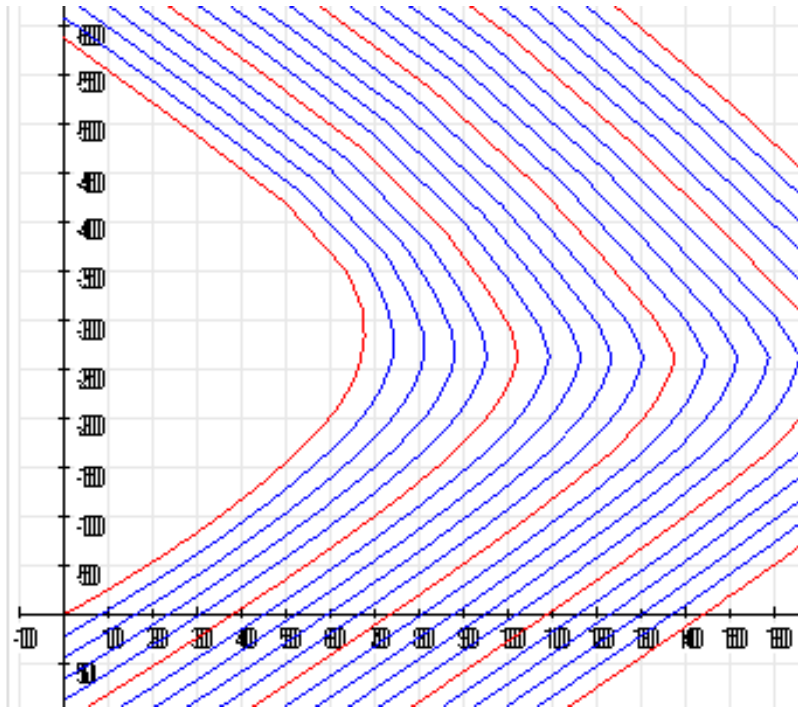
### 8.7.1 Dimensionsbehaftetes Interaktionsdiagramm

Für den im folgenden gezeigten Querschnitt soll ein Interaktionsdiagramm erstellt werden. In den mitgelieferten Beispieldatensätzen finden Sie die INCA2-Datei *Stütze-Doppel-T.inc*. Die Bewehrungsfläche aller Bewehrungsstäbe wurde in der Summe zu  $A_{s,tot} = 5,0 \text{ cm}^2$  gewählt.



Wählen Sie jetzt die Berechnung der *M/N-Linie* im Menü *Ergebnisse*. Markieren Sie im sich öffnenden Fenster den Punkt *Mehrere Linien erstellen*. Geben Sie weiterhin in die Textboxen ein, dass die Bewehrung mit dem Faktor 0 bis 20 variiert sowie insgesamt 21 Linien berechnet werden sollen.

Nach Klick auf den Button OK kann es je nach Rechenleistung des Computers einen kleinen Moment dauern, bis die numerischen und grafischen Ergebnisse ausgegeben werden. Mit den gezeigten Einstellungen erhalten Sie ein M/N-Diagramm, in dem sich die einzelnen Linien um die Bewehrungsmenge von  $5 \text{ cm}^2$  unterscheiden. Die Linie ganz links wurde mit  $A_s = 0 \text{ cm}^2$  gerechnet, die Linie auf der rechten Seite mit  $A_s = 100 \text{ cm}^2$ .



Zur besseren Erkennbarkeit wird jede fünfte Linie mit einer anderen Strichstärke und Farbe dargestellt. Linienfarben und Liniendicken können im Menü *Extras => Einstellungen => Bild Materialgesetz* mit den Linien 1 und 2 gewählt werden.

### 8.7.2 Dimensionsloses Interaktionsdiagramm

Dimensionslose Diagramme werden zur Bemessung ähnlicher Querschnitte eingesetzt. Betrachtet man die bezogenen Eingangswerte  $\mu$  und  $\nu$  genauer, so erkennt man, dass sich damit ein Querschnitt mit den Abmessungen  $b = h = 1,0$  m ergibt, der die Betonfestigkeit  $f_c = 1,0$  MN/m<sup>2</sup> hat. Der auszulesende Wert  $\omega$  stellt das mechanische Bewehrungsverhältnis dar, also das Verhältnis zwischen der max. aufnehmbaren Druckkraft der Bewehrung und des Betons.

Im folgenden wird die Berechnung auf Grundlage der DIN 1045-1 durchgeführt (Datei `Einheitsquerschnitt.inc`).

Für den Bereich großer Normalkräfte ist zu berücksichtigen, dass abweichend von Tabelle 9 (DIN 1045-1) für mittig oder leicht außermittig gedrückte Querschnitte ohne Knickgefahr die max. Druckdehnung von  $\varepsilon = -2,0$  mm/m auf  $\varepsilon = -2,2$  mm/m hochgesetzt werden darf. Damit kann die Bewehrung auch in diesem Bereich vollständig ausgenutzt werden (nach Betonkalender 1/2002, S. 314, Punkt 4.1.5).

Als Bewehrung ist auf Grund der Definition des mechanischen Bewehrungsverhältnisses folgender Wert anzusetzen:

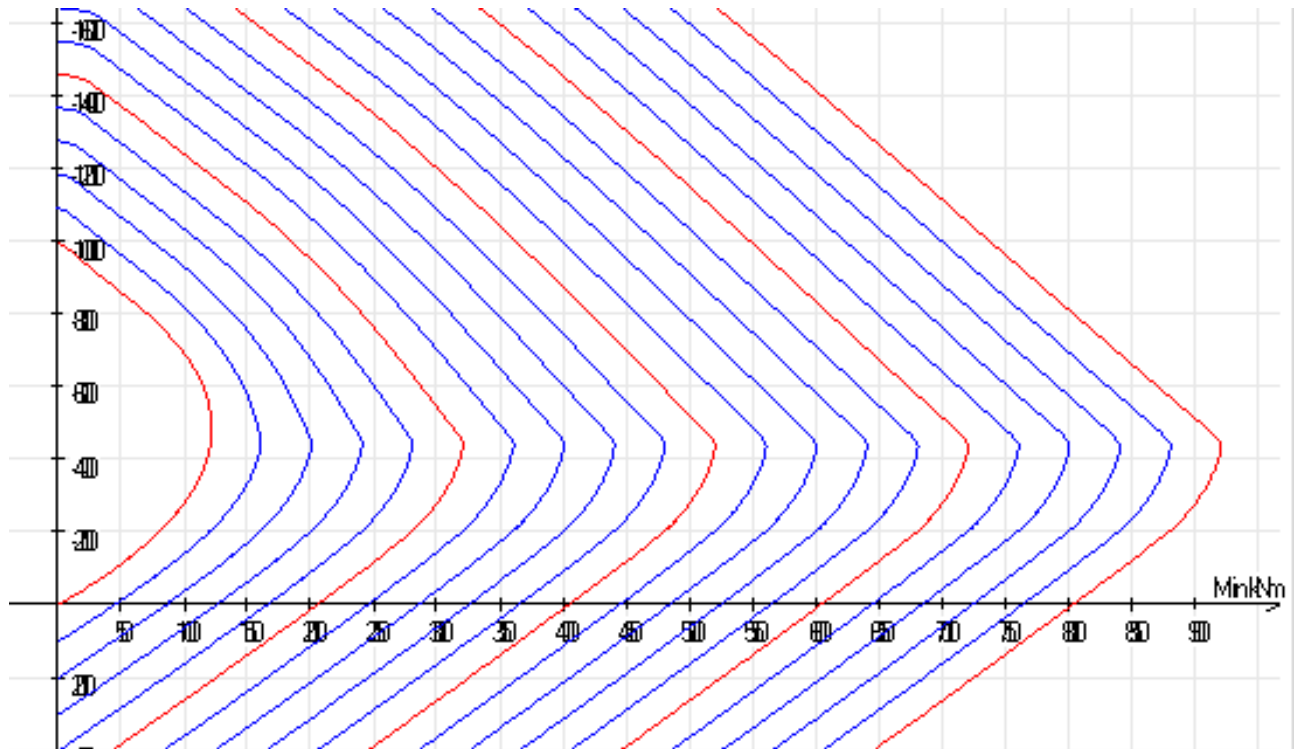
für  $\omega = 1,0$  gilt:

$$\begin{aligned} F_c &= F_s \\ 1,0 \text{ MN/m}^2 &= A_s \cdot 434,78 \text{ MN/m}^2 \\ A_s &= 23,000138 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Bei der Berechnung der MN-Linien sind mit dieser gewählten Bewehrung folgende Einstellungen vorzunehmen:

Bewehrung variieren mit Faktor von 0,0 bis 2,0  
Anzahl der Linien: 21

Damit ergibt sich folgendes Diagramm:



Die Achsenbeschriftung wurde im gezeigten Diagramm in der Einheit [ kN ] angegeben, im dimensionslosen Diagramm wäre es jedoch [ MN ].

[Zurück zum Hauptmenü](#)

[Übersicht Beispiele](#)

### ***Eingabedatensatz ABaS, Beispiel Stütze***

0	x-Koordinate
A	Auflager
E	Einspannung
N -670	Normalkraft N = -670 kN (Zustandsgröße)
L n1	Verweis auf die Mk-Linie
f 4.2	Linienlast f = 4,2 kN/m
6	x-Koordinate
M -80	Lastmoment aus Kranbahn
F 7.5	Horizontalkraft aus Kranbahn
F 1.0	Last aus Schiefstellung der Stütze
N -470	Normalkraft N = -470 kN
7.5	x- Koordinate
F 2.35	Last aus Schiefstellung
Q QMKW	Ende, Ausgabeoptionen

:nl

Definition der Mk-Linie für  $A_{s,tot} = 34,0 \text{ cm}^2$ 

-380.3675	-33.6704e-3
-379.7061	-25.0844e-3
-376.7084	-18.6871e-3
-372.1109	-14.1416e-3
-366.3828	-10.9429e-3
-362.5870	-9.5961e-3
-304.3064	-7.4075e-3
-257.6010	-5.7240e-3
-223.5137	-4.5455e-3
-198.0035	-3.7037e-3
-176.3930	-3.0303e-3
-158.9853	-2.5253e-3
-146.4466	-2.1886e-3
-139.7674	-2.0202e-3
-132.7229	-1.8519e-3
-125.2121	-1.6835e-3
-117.0920	-1.5152e-3
-108.1021	-1.3468e-3
-97.9174	-1.1785e-3
-86.2391	-1.0101e-3
-73.0408	-0.8418e-3
-58.7509	-0.6734e-3
-0.0000	0.0000e-3
58.7509	0.6734e-3
73.0408	0.8418e-3
86.2391	1.0101e-3
97.9174	1.1785e-3
108.1021	1.3468e-3
117.0920	1.5152e-3
125.2121	1.6835e-3
132.7229	1.8519e-3
139.7674	2.0202e-3
152.8342	2.3569e-3
164.9417	2.6936e-3
181.9335	3.1987e-3
203.2132	3.8721e-3
233.4089	4.8822e-3
276.5136	6.3974e-3
331.5130	8.4176e-3
362.5870	9.5961e-3
367.4984	11.4479e-3
372.9943	14.8150e-3
377.3889	19.6972e-3
380.0513	26.5996e-3
380.3675	33.6704e-3



## 9. Autoren

### 9.1 Entwicklung

Das Programm *MasQue* als Vorläufer von INCA2 für die Berechnung beliebiger Massivbauquerschnitte unter zweiachsiger Biegung mit Längskraft wurde ab 1987 an der Technischen Universität Hamburg-Harburg im Arbeitsbereich Massivbau (3-07) entwickelt. Die grundlegenden Berechnungsalgorithmen sind bereits Anfang der 70er Jahre von Herrn **Prof. Dr.-Ing. Ulrich Quast** entwickelt worden. Erweiterungen wurden von **Dipl.-Ing. Dirk Busjaeger** vorgenommen. **Dr.-Ing. Marek Los** passte das Programm MasQueW im Rahmen seiner Tätigkeit an der TUHH an die Windows-Oberfläche an.

Die Programmierung der interaktiven grafischen Benutzeroberfläche als Programm INCA2 erfolgte 1998/99 von **Dr.-Ing. Uwe Pfeiffer** mit Delphi 4.0™. Anfangs wurden noch der Rechenkern von MasQueW genutzt. Da jedoch eine ständige Weiterentwicklung bis zum heutigen Programmumfang erfolgte, war auch die Neuprogrammierung der Rechenalgorithmen nötig. Das betraf vor allem die neuen Materialgesetze, um das Verformungsverhalten besser abbilden zu können.

### 9.2 Vertriebsform des Programms / Lizenzierung

Das Programm INCA 2 ist **Freeware**, das heißt, sowohl im Rahmen einer nichtkommerziellen Nutzung an Hochschulen, durch Studierende oder Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, aber auch in kommerziell arbeitenden Ingenieurbüros etc. darf es kopiert und weitergegeben werden. Eine Lizenzgebühr an den Autor ist nicht zu entrichten.

Insbesondere kommerzielle Nutzer sowie Hochschulen etc. werden jedoch gebeten, sich registrieren zu lassen. Das gibt mir einen Überblick wo und zu welchen Zwecken das Programm INCA2 eingesetzt wird.

Für die Registrierung gehen Sie bitte auf folgende Homepage:

[www.u-pfeiffer.de](http://www.u-pfeiffer.de) oder  
[www.tu-harburg.de/mb](http://www.tu-harburg.de/mb)

und wählen dort den Unterpunkt *Software*, *INCA2* und dann *Lizenzierung*. Das dortige Formular füllen Sie bitte aus und übermitteln es per Knopfdruck. Nach kurzer Bearbeitungszeit wird Ihnen eine Lizenzierungsdatei per E-Mail zugeschickt, die Sie in das Programm-Verzeichnis von INCA2 kopieren (bzw. alte Datei ersetzen). In dieser Datei sind zwei Kopfzeilen gespeichert, die beim Ausdruck von INCA2 aus immer mit ausgegeben werden. Vergessen Sie deshalb nicht, im Formular im Internet in diesen Zeilen z.B. Name und Anschrift des Instituts oder Ing.-Büros einzutragen.

In eher unregelmäßigen Abständen werden Aktualisierungen des Programms INCA2 vorgenommen. Dabei werden Fehler beseitigt oder Anregungen der Benutzer eingearbeitet. Vor allem bei kleinen Änderungen wird die neue Version zum Download ins Internet gestellt. Nur bei größeren Änderungen, erfolgt ein Info-Letter per E-Mail an die registrierten Nutzer. Schauen Sie deshalb ab und zu auf oben genannter Homepage vorbei, um jeweils die aktuellste Version von INCA2 benutzen zu können.

### **9.3 Haftungsausschluss, Informationen**

Obwohl das Programm nach bestem Wissen entwickelt und getestet wurde, kann eine völlige Fehlerfreiheit nicht garantiert werden. Es wird deshalb an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass für etwaige Schäden, die durch Benutzung des Programms entstehen, keine Haftung übernommen werden kann.

In diesem Rahmen sei darauf hingewiesen, dass jede Computerrechnung vom verantwortungsbewussten Ingenieur überschlägig bzw. auf logische Art und Weise kontrolliert werden sollte!

Hinweise und Verbesserungsvorschläge sind jederzeit willkommen. Insbesondere interessiert, ob dieses Programm für Lehrzwecke geeignet ist und wie es zweckmäßigerweise eingesetzt werden kann.

Bei Fragen und Anregungen schreiben Sie bitte an:

Dr.-Ing. Uwe Pfeiffer

e-mail: [pfeiffer@tuhh.de](mailto:pfeiffer@tuhh.de)

<http://www.tu-harburg.de/mb>

oder <http://www.u-pfeiffer.de>

Weitergehende Literatur zu den Berechnungsalgorithmen für das Programm MasQue können Sie zum Selbstkostenpreis vom Institut für Massivbau der TUHH beziehen (Heft 415 DAfStb, Beuth Verlag, Berlin, 1990) – zumindest solange der Vorrat noch reicht.

Titel : Programmgesteuerte Berechnung beliebiger Massivbauquerschnitte unter zweiachsiger Biegung mit Längskraft (Programm MasQue)

Autoren : Dipl.-Ing. Dirk Busjaeger, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrich Quast

Jahr: 1990

Hamburg, den 4. Februar 2006

[Zurück zum Hauptmenü](#)

## **10. Modellstützenverfahren**

Dieser Menüpunkt dient der schnellen und einfachen Berechnung von Stützen mit dem Modellstützenverfahren. Das Fenster ist in mehrere Abschnitte zur Ein- und Ausgabe von Werten unterteilt. Bei jeder Änderung wird die Berechnung für das Modellstützenverfahrens durchgeführt. Die Bemessung des Querschnitts und gegebenenfalls eine Iteration des Beiwertes  $K_2$  erfolgt jedoch erst nach Klick auf den Button „Bemessung“.

Im folgenden sind die einzelnen Abschnitte erläutert.

10.1 [Wahl der Normung / Eingabe der Baustoffe](#)

10.2 [Querschnittsdefinition](#)

10.3 [Resultierende Beanspruchungen](#)

## 10.4 Biegemoment $M_y / M_z$

## 10.5 Modellstützenverfahren mit Knicken um die y-Achse (um die z-Achse)

## 10.6 Bemessung und Wahl der Bewehrung

[Zurück zum Hauptmenü](#)

### 10.1 Wahl der Normung / Eingabe der Baustoffe

Je nach Wahl der Normung (ÖNorm oder EC2) ändern sich beim Modellstützenverfahren, beim Mindestmoment sowie bei der Mindestbewehrung die benutzten Formeln.

Die jeweils angezeigten Baustoffe sind in der Datei `Baustoffe-MSV.txt` gespeichert und können dort editiert und erweitert werden. Die Anleitung zum Editieren befindet sich ebenfalls dort.

Wichtig ist, dass bei der Definition der Baustoffe in dieser Datei auch die Grenzdehnungen für den Beton und für die Bewehrung festgelegt werden. Sicherheitsbeiwerte sind bei der Angabe der Spannungen ebenfalls zu beachten. Nur der Dauerfestigkeitsbeiwert kann für den EC2 wahlweise reduziert werden (z.B.  $\alpha = 0,85$ ).

[Zurück zum Menü Modellstützenverfahren](#)

---

Erstellt mit 'Help to RTF' Dateikonverters von Herd Software Entwicklung.

### *Datei Baustoffe-MSV.TXT*

Im folgenden ist der Originalinhalt der Datei Baustoffe-MSV.txt abgedruckt:

```
// Diese Datei enthält die Baustoffe für die Berechnung mit dem Modellstützenverfahren
// nach ÖNorm B 4700 und EC2. Die Definition erfolgt mit dem Parabel-Rechteck-Gesetz,
// wobei die Dehnung e.2 des Rechtecks gleichzeitig die Grenzdehnung markiert. Die
// Spannungen sind als Designwerte anzugeben.
//
//      f.y - Spannung bei Erreichen des Fließens in N/mm²
//      e.y - Dehnung bei Erreichen des Fließens
//      exp - Exponent für den Parabelteil (1 = linear, 2 = quadr. Parabel)
//      f.2 - Spannung am Ende des Rechteckteils (damit eigentlich Trapezteil)
//      e.2 - Dehnung am Ende des Rechteckteils und auch Grenzdehnung
//
```

```

// Die Betone für ÖNorm wurden ab C55/67 dem EC2 entnommen und zu f.yd = f.ck / 1.5 * 0.9 bestimmt.
// Die Betone für EC2 wurden zu f.yd = f.ck / 1.5 * 1.0 bestimmt (alpha = 1.0 ! )
// Die Baustoffe mit einem * zu Beginn der Linie werden als Voreinstellung benutzt.
//
// Normung|Name des Baustoffs|Typ|1. Zeile Zugbereich, 2. Zeile Druckbereich|
//|B/S|f.y|e.y|exp|f.2|e.2|
//-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
ÖNorm C 16/20 - B 20 B 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
ÖNorm C 20/25 - B 25 B -10.00 -2.00 2.00 -10.00 -3.50
ÖNorm C 25/30 - B 30 B 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
ÖNorm C 30/37 B -15.00 -2.00 2.00 -15.00 -3.50
ÖNorm B 40 B 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
ÖNorm C 35/45 B -20.00 -2.00 2.00 -20.00 -3.50
* ÖNorm C 40/50 - B 50 B 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
ÖNorm C 45/55 B -25.00 -2.00 2.00 -25.00 -3.50
ÖNorm C 50/60 - B 60 B 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
ÖNorm C 55/67 B -30.00 -2.00 2.00 -30.00 -3.50
ÖNorm C 60/75 B 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
ÖNorm C 70/85 B -36.00 -2.30 1.60 -36.00 -2.90
ÖNorm C 70/85 - hb B 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
ÖNorm C 80/95 B -42.00 -2.40 1.45 -42.00 -2.70
ÖNorm C 90/105 B 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
//
EC2 C 16/20 B -48.00 -2.50 1.40 -48.00 -2.60
EC2 C 20/25 B 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
EC2 C 25/30 B -54.00 -2.60 1.40 -54.00 -2.60
EC2 C 30/37 B -10.6667 -2.00 2.00 -10.6667 -3.50
EC2 C 35/45 B -13.3333 -2.00 2.00 -13.3333 -3.50
EC2 C 40/50 B 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
EC2 C 45/55 B -16.6667 -2.00 2.00 -16.6667 -3.50
* EC2 C 50/60 B -20.00 -2.00 2.00 -20.00 -3.50
EC2 C 55/67 B 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
EC2 C 60/75 B -23.3333 -2.00 2.00 -23.3333 -3.50
EC2 C 70/85 B -26.6667 -2.00 2.00 -26.6667 -3.50
EC2 C 80/95 B -30.00 -2.00 2.00 -30.00 -3.50
EC2 C 90/105 B -33.3333 -2.00 2.00 -33.3333 -3.50
//
ÖNORM BSt 220 S 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
ÖNORM BSt 420 S -191.304 -0.95652 1.00 -191.304 -5.00
ÖNORM BSt 500 S 365.217 1.82609 1.00 365.217 10.00
* ÖNORM BSt 550 S -365.217 -1.82609 1.00 -365.217 -10.00
ÖNORM BSt 600 S 434.783 2.17391 1.00 434.783 20.00
//
EC2 BSt 220 S -434.783 -2.17391 1.00 -434.783 -20.00
EC2 BSt 550 S 478.261 2.39130 1.00 478.261 20.00
EC2 BSt 600 S -478.261 -2.39130 1.00 -478.261 -20.00
//
EC2 BSt 220 S 521.739 2.60870 1.00 521.739 20.00
EC2 BSt 420 S -521.739 -2.60870 1.00 -521.739 -20.00
EC2 BSt 500 S 191.304 0.95652 1.00 191.304 5.00
EC2 BSt 550 S -191.304 -0.95652 1.00 -191.304 -5.00
EC2 BSt 600 S 365.217 1.82609 1.00 365.217 10.00
* EC2 BSt 600 S -365.217 -1.82609 1.00 -365.217 -10.00
EC2 BSt 600 S 434.783 2.17391 1.00 434.783 20.00
EC2 BSt 600 S -434.783 -2.17391 1.00 -434.783 -20.00
EC2 BSt 600 S 478.261 2.39130 1.00 478.261 20.00
EC2 BSt 600 S -478.261 -2.39130 1.00 -478.261 -20.00
EC2 BSt 600 S 521.739 2.60870 1.00 521.739 20.00
EC2 BSt 600 S -521.739 -2.60870 1.00 -521.739 -20.00

```

Zurück zum Menü [Modellstützenverfahren](#)

## 10.2 Querschnittsdefinition

### 10.2.1 Rechteck

Rechteck | Kreis | INCA2-Querschnitt

Breite  $b = 0,4$  [ m ]    R2    R4

Höhe  $h = 0,4$  [ m ]

$d_{1,2} = 0,05$  [ m ]

$d_{Bü} = 0,03$  [ m ]

Innendurchm.  $d.i = 0,133$  [ m ]

Bew. verschmiert     Anzahl Bew.stäbe    8

$A.c = 0.1461 \text{ m}^2$      $i.y = 0.121 \text{ m}$      $i.z = 0.121 \text{ m}$

- Angabe von Breite und Höhe sowie der Schwerpunktslage der Längsbewehrung ( $d_{1,2}$ )
- Angabe der Lage der Bügelbewehrung (Hinweis weiter unten)
- Angabe des Innendurchmessers optional für Schleuderbetonstützen mit einem Hohlraum
- Wahl der Bewehrungsanordnung:  
R2 - gleiche Bewehrung auf der Druck- und Zugseite  
R4 - gleiche Bewehrung auf allen vier Seiten  
bei Wahl von „Bewehrung verschmiert“ werden pro Seite 10 Bewehrungsstäbe genau so angeordnet, dass deren Trägheitsmoment den gleichen Wert wie das Trägheitsmoment eines Rechtecks aus Betonstahl an dieser Stelle hat

### 10.2.2 Kreis

Rechteck | Kreis | INCA2-Querschnitt

Außendurchm.  $d.a = 0,3$  [ m ]

Innendurchm.  $d.i = 0,13$  [ m ]

$d_{1,2} = 0,05$  [ m ]

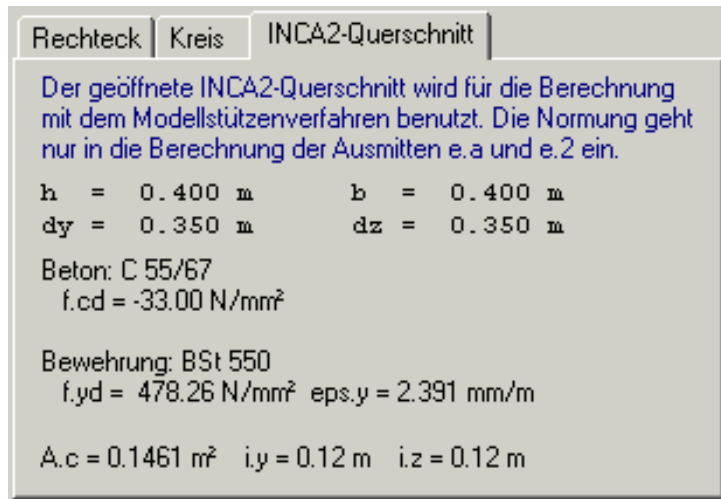
$d_{Bü} = 0,03$  [ m ]

Bew. verschmiert     Anzahl Bew.stäbe    12

$A.c = 0.0574 \text{ m}^2$      $i.y = 0.082 \text{ m}$      $i.z = 0.082 \text{ m}$

- Angabe des Außendurchmessers
- Angabe des Innendurchmessers optional für Schleuderbetonstützen mit einem Hohlraum
- Angabe für Lage der Längs- und Bügelbewehrung wie beim Rechteckquerschnitt
- bei Wahl von „Bewehrung verschmiert“ werden insgesamt 32 Längsbewehrungsstäbe angeordnet

### 10.2.3 INCA2-Querschnitt



Der bereits erstellte INCA2-Querschnitt wird vom Programm analysiert und die maximale Breite und Höhe (für ÖNorm) bzw. die maximale statische Höhe (für EC2) in y- und in z-Richtung berechnet. Die statische Höhe wird so bestimmt, dass die Druckzone oben bzw. auf der linken Seite des Querschnitts ist.

Beim Vergleich mit den Querschnittswerten für Kreisquerschnitte werden sich kleine Unterschiede ergeben, da in diesem Fall nur ein angenähertes Polygon mit 32 Ecken berechnet wird. In den Punkten „Rechteck“ und „Kreis“ wurden jedoch die richtigen und keine genäherten Werte benutzt.

Zur Information werden im Fenster der Querschnittsdefinition bereits die Querschnittswerte für das Modellstützenverfahren eingeblendet (Fläche, Trägheitsradien).

#### Hinweise zur Lage der Bügelbewehrung

Die Angabe der Lage der Bügelbewehrung ist optional und nur bei der Bemessung nach ÖNorm zu beachten, kann jedoch auch bei Rechnung nach EC2 berücksichtigt werden. Da sich bei Versuchen an Stahlbetonstützen herausgestellt hat, dass der Beton bis zur Bügelbewehrung abplatzen kann, noch bevor die eigentliche Stützentragslast erreicht ist, wurde dieser Punkt als zusätzliches Sicherheitselement in die Normung mit aufgenommen. Wird die Lage der Bügelbewehrung angegeben, dann wird der zu bemessende Querschnitt um genau dieses Maß verkleinert. In der Grafik in INCA2 ist die Umrandung des Originalquerschnitts dargestellt, wobei diesem Polygon ein Material mit dem E-Modul  $E = 0$  zugewiesen wird. Damit geht dieser Teil des Querschnitts nicht in die Rechnung mit ein.

Auch bei der eigenständigen Definition eines INCA2-Querschnitts und der anschließenden

Rechnung mit dem Modellstützenverfahren kann dieses Sicherheitselement berücksichtigt werden, indem die Umrandung entsprechend modelliert wird (Materialname: Pseudo,  $E = 0$ , linear-elastisch). Das Programm erkennt automatisch die Querschnittsabmessungen für die Formeln des Modellstützenverfahrens (gesamte Breite / Höhe) und verwendet bei der anschließenden Bemessung den reduzierten Querschnitt.

Die Grenzdehnungen des Betons werden bei Angabe eines Bügelabstandes für den reduzierten Querschnitt benutzt.

Zurück zum Menü [Modellstützenverfahren](#)

### 10.3 Resultierende Beanspruchungen

In diesem Abschnitt wird nur die Normalkraft eingetragen sowie die Wahl zwischen einachsiger und zweiachsiger Beanspruchung getroffen. Alle weiteren Felder, wie bezogene Normalkraft und die resultierenden Biegemomente  $M_y$  und  $M_z$  werden vom Programm berechnet.

Resultierende Beanspruchungen

$N_x = -3000$  [kN]     $\nu = -0.6222$  [-]

zweiachsige Beanspruchung ( $M_y + M_z$ )

$M_y = 551.389$  kNm     $M_z = 0$  kNm

Bei der Wahl von zweiachsiger Beanspruchung vergrößert sich das Fenster nach rechts und weitere Eingabemasken kommen zum Vorschein. Das Modellstützenverfahren wird in diesem Fall getrennt für beide Richtungen durchgeführt. Eine unterschiedliche Wahl der Knicklänge ist möglich. Die Bemessung erfolgt anschließend für die Kombination ( $N_x / M_y / M_z$ ).

Zurück zum Menü [Modellstützenverfahren](#)

### 10.4 Biegemoment $M_y$ ( $M_z$ )

Biegemoment  $M_y$

$M.O = 200$  kNm     $e.0 = 0.066667$  m

$e.01 = [ ]$  m     $e.02 = [ ]$  m

$M.O = 0$  kNm     $\text{min.}M = 0$  kNm

In diesem Abschnitt kann wahlweise ein Biegemoment  $M_y$  oder eine äquivalente Ausmitte  $e.0$  eingetragen werden. Dieser Wert ergibt sich bei Rechnung nach Theorie 1. Ordnung in Stützenmitte bei einer Pendelstütze bzw. an der Einspannung bei einer Kragstütze.

Handelt es sich um eine Stütze, die oben und unten verschiedene, vor allem entgegengesetzt gerichtete Biegemomente aufweist, dann sollte der zweite Punkt mit den Exzentrizitäten  $e.01$  und  $e.02$  benutzt werden. Entsprechend den Formeln des EC2 oder der ÖNorm wird damit eine äquivalente Ausmitte  $e.0$  berechnet und zudem das Randmoment als Mindestmoment beachtet.

Die aktiven Felder werden mit weiß gekennzeichnet. Die Felder, die vom Programm automatisch berechnet werden, sind in grau dargestellt.

Zurück zum Menü [Modellstützenverfahren](#)

### 10.5 MSV mit Knicken um y-Achse (bzw. um z-Achse)

MSV mit Knicken um y-Achse

L.0 =  [ m ] Knicklänge (Eulerfall 2)

Lamda =  [ - ] Schlankheit

L.col =  [ m ] e.a =  [ m ]

Einfluss aus Kriechen (nur EC2)

$\varphi$  =  M.g.d / M.g+q.d =

Iteration für Beiwert K2 durchführen max.

**Kriterium für Schlankheit**

$$\lambda = 66.21 > \max \begin{cases} 25 \\ 15/\sqrt{e.01/e.02} = 19.02 \\ 50 \cdot (1 - e.01/e.02) = 50 \end{cases}$$

**Modellstützenverfahren erforderlich**

$$e2.y = k \cdot h \cdot (\text{Lamda}/100)^2$$

$$e2.y = 0.55 \cdot 0.40 \cdot (66.21/100)^2 = 0.096 \text{ m}$$

M.ges = M.0 + M.a + M.2

$$M.ges = 0 + 60 + 289.29 = 349.29 \text{ kNm}$$

**Bemessung für M.y.ges = 349.29 kNm**

M.min ist nicht maßgebend

Wichtigster Eingangswert in diesem Abschnitt ist die Knicklänge der Stütze nach Eulerfall 2 (Pendelstütze). Nach ÖNorm wird die ungewollte Ausmitte  $e.a$  nur aus dieser Knicklänge ermittelt. Bei Wahl des EC2 als Normung ist die Eingabe der wirklichen Stützenlänge möglich, wobei damit die ungewollte Ausmitte  $e.a$  abgemindert wird.

Weiterhin ist bei Wahl des EC2 eine Berücksichtigung des Kriechens möglich, wobei ein Kriechbeiwert  $\varphi$  sowie das Verhältnis zwischen ständiger Last (wirkt kriecherzeugend) und maximaler Last eingegeben werden muss. Die Formeln der ÖNorm beinhalten laut Normungstext bereits einen gewissen Einfluss des Kriechens.

Wird die Knicklänge zu Null angegeben, so wird das Modellstützenverfahren nicht berücksichtigt und nur eine reine Querschnittsbemessung durchgeführt.



Im weiß unterlegten Bereich werden einige Zwischenwerte des Modellstützenverfahrens angezeigt. In einem ersten Teil wird überprüft, ob das Modellstützenverfahren angewandt werden muss. Anschließend wird die Ausmitte e.2 im verformten Zustand der Stütze berechnet. Je nach Normung werden dazu etwas andere Formeln verwendet.

Nach Klick auf den Button Bemessung weiter unten im Fenster ändert sich ein Teil der Ausgabe in dem weiß unterlegten Bereich. Bei hoher Normalkraft wird gegebenenfalls eine Iteration des Beiwertes K.2 durchgeführt, so dass das maßgebende Biegemoment verkleinert wird.

Zurück zum Menü [Modellstützenverfahren](#)

## ***10.6 Bemessung und Wahl der Bewehrung***

Sind alle erforderlichen Daten eingegeben, dann kann der Button „Bemessung“ angeklickt werden. Fehlen wichtige Daten, dann ist dieser Knopf deaktiviert.

Bei Wahl eines Rechteck- oder Kreisquerschnitts wird dieser in INCA2 neu erzeugt (Baustoffe, Grenzdehnungen, Querschnitt), wobei der alte Inhalt der Datei ohne zu fragen überschrieben wird. Bei Wahl eines bereits definierten INCA2-Querschnitts werden alle Bewehrungsgruppen in die Bemessung mit einbezogen und gleichmäßig verändert.

Bei großer einwirkender Normalkraft findet bei Rechnung mit dem Modellstützenverfahren eine Iteration des Beiwertes K2 entsprechend Normung statt. Dieser Beiwert berücksichtigt den Verkrümmungszustand im Grenzzustand der Querschnittstragfähigkeit. Bei hohen Normalkräften sind die Dehnungen auf der Zugseite kleiner als die Fließdehnung der Bewehrung, evtl. ist der Querschnitt vollständig überdrückt. Durch die damit ebenfalls kleinere Verkrümmung wird auch die Verformung der Stütze entsprechend kleiner ausfallen. Die Iteration wird abgebrochen, wenn sich der Wert für K2 von der einen auf die folgende Rechnung um weniger als 0,01 ändert.

### **Hinweise zur Bemessung**

Bei der Bemessung wird in einem ersten Schritt überprüft, wie groß die Sicherheit für das minimale und das maximale **Bewehrungsverhältnis** ist. Für den Fall, das bereits beim minimalen Bewehrungsverhältnis die Sicherheit größer als 1,0 ist, wird die Berechnung abgebrochen und ein entsprechender Hinweis ausgegeben. Gleiches gilt, wenn selbst für das maximale Bewehrungsverhältnis die Tragfähigkeit des Querschnitts nicht ausreicht. Im weiteren Ablauf werden die sich ergebenden Sicherheiten für das minimale und das maximale Bewehrungsverhältnis als Startwerte für eine Iteration benutzt, bei der die Bewehrung genau so ermittelt wird, dass die Sicherheit genau 1,000 beträgt. Durch den iterativen Charakter dieser Rechnung kann es vorkommen, dass die Iteration zu keinem konvergenten Ergebnis führt. Eine entsprechende Meldung wird ausgegeben. In solch einem Fall kann es nützlich sein, die Werte für das minimale und das maximale Bewehrungsverhältnis zu ändern, um andere Startwerte für die Iteration zu erhalten und damit evtl. die Konvergenz sicherzustellen.

### **Wahl der Bewehrung**

Bei Nutzung eines Rechteck- oder Kreisquerschnitts kann zwischen verschmierter Bewehrung

und der genauen Angabe der Anzahl der Bewehrungsstäbe gewählt werden. Entsprechend der Wahl wird die erforderliche Bewehrung im ersten Fall nur in  $X \text{ cm}^2$  angegeben. Bei der Wahl von Bewehrungsstäben wird der nächstgrößere Durchmesser vorgeschlagen. Die Liste der möglichen Durchmesser ist an das in Österreich verfügbare Sortiment angelehnt:

6 / 8 / 10 / 12 / 14 / 16 / 20 / 26 / 30 / 36 / 40 / 50

Zusätzlich wird die Mindestbewehrung berechnet.

### **Numerische Ergebnisse**

Sobald genügend Eingabewerte für die Rechnung vorhanden sind, kann der Button *num.Erg.* angeklickt werden. Es öffnet sich ein kleines Textfenster mit der ausführlichen Ausgabe der numerischen Ergebnisse.

Zurück zum Menü [Modellstützenverfahren](#)