



Downloads – INCA2



Das Programm INCA2 ist Freeware, das heißt, sowohl im Rahmen einer kommerziellen Nutzung in Ingenieurbüros als auch bei einer nichtkommerziellen Nutzung an Hochschulen, durch Studierende oder Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen 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 (siehe nächster Menüpunkt => Lizenzierung).

Ein Download der jeweils neuesten Version ist möglich. Für Hinweise zu Fehlern oder Problemen bin ich sehr dankbar. Zwecks Verbesserung bitte ich Sie, mir in so einem Fall den entsprechenden Querschnitt (INC-Datei) sowie eine kurze Beschreibung des Problems per e-mail zu zuschicken:

pfeiffer@tuhh.de

Download

Download INCA2	www.u-pfeiffer.de/prg/inca2.zip
Dokumentation	www.baustatik.ch/Downloads/inca2.pdf
Handbuch	www.baustatik.ch/Downloads/inca2-Handbuch.pdf
INCA2 Homepage	www.u-pfeiffer.de

Beschreibung / Features

Das Programm INCA2 dient der interaktiven Berechnung beliebig zusammengesetzter Massivbauquerschnitte unter zweiachsiger Biegung mit Längskraft.

Folgende Berechnungen sind möglich.

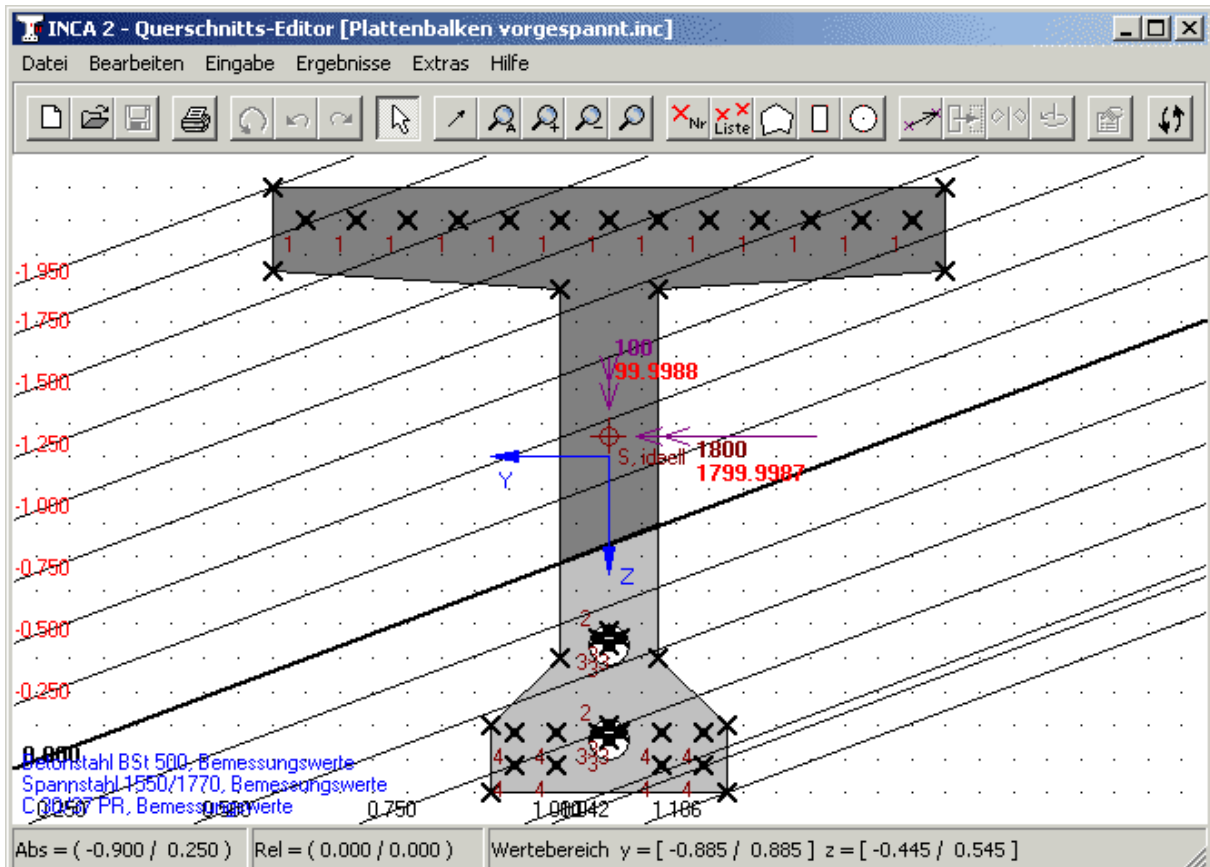
- Dehnungsverteilung zu vorgegebenen Schnittgrößen, graf. und numerische Ausgabe der Ergebnisse
- Spannungsermittelnde, zu einer vorgegebenen Dehnungsverteilung werden die zugehörigen Schnittgrößen ermittelt
- Sicherheitsnachweis, berechnet die maximal vom Querschnitt aufnehmbare Beanspruchung
- Bemessung, der Querschnitt frei wählbarer Bewehrungsgruppen wird so angepaßt, dass die Beanspruchung aufgenommen werden kann
- Interaktion $M_y/M_z/N$, berechnet das Interaktionsdiagramm (auch Kraftgrößenzweibel) für einen Querschnitt
- M_k -Linie, berechnet die Moment-Verkrümmungs-Beziehung des Querschnitts z.B. für eine anschließende nichtlineare Verformungsberechnung mit anderen Programmen, Ausgabe der tangentialen Biegesteifigkeiten
- N - ϵ -Linie, berechnet die Normalkraft-Dehnungslinie zu einer gegebenen Krümmungsrichtung und einem gegebenen Biegemoment, Ausgabe der tangentialen Dehnsteifigkeiten
- MN -Linie, berechnet die Moment-Normalkraft-Linie (ähnlich zu den m_u-n_u -Diagrammen, Bemessungstafeln)
- M_y/M_z -Linie, berechnet den waagerechten Schnitt durch die oben genannte Kraftgrößenzweibel
- Querschnittswerte, Berechnung der Querschnittsfläche, Schwerpunkt, Flächenträgheitsmomente und Hauptrichtung der Trägheitsmomente (reine Querschnittswerte oder ideelle Querschnittswerte bezogen auf den E-Modul eines frei wählbaren Materials)
- Mit der gezeigten Oberfläche ist eine leichte und schnelle Eingabe sowie Änderung eines Querschnitts möglich. Zahlreiche Funktionen wie Schieben, Spiegeln, Rotieren etc. stehen dabei zur Verfügung. Die Rechenergebnisse werden sowohl in numerischer Form als auch in vielfältiger grafischer Form ausgegeben.

Neue Features in Version 2.6 und 2.7

- Schnelle Definition von Standard-Querschnitten. Neben I-Profilen können so Rechteck- und Kreisquerschnitte mit verschiedenen Bewehrungsanordnungen erzeugt werden.
- Brutto / Nettfläche des Betons: Der Beton unter der Bewehrung kann optional abgezogen werden, wichtig für hochbewehrte Querschnitte aus hochfestem Beton. Korrekte Berücksichtigung des ideellen Schwerpunkts je nach Wahl des Nutzers.
- Für normale Querschnitte ist der gemachte Fehler bei Nichtberücksichtigung dieser Aussparungen vernachlässigbar klein.
- Berechnung Interaktionsdiagramm N-M jetzt auch für einen konstanten Momentenvektor verfügbar.
- Undo-Funktion: bis zu 64 mal können die letzten Arbeitsschritte rückgängig, aber auch wieder hergestellt werden
- Schnell-Wechsel der Baustoffeigenschaften: insbesondere bei der nichtlinearen Schnittgrößenermittlung trat das Problem auf, das für die Berechnung der Mk-Linie mit den Mittelwerten der Baustoffeigenschaften gerechnet wurde, für die anschließende Bemessung jedoch die Bemessungswerte gebraucht wurden. Aus diesem Grund ist es jetzt möglich, per einfachem Klick die Baustoffe für alle Querschnittsteile jeweils zu wechseln (die sogenannte "doppelte Buchführung" ist damit ein Kinderspiel!)
- Ausgabe der benutzten Baustoffe links unten (damit man genau weiß, wie der Querschnitt gerade modelliert ist)
- N-eps-Linie, inklusive Ausgabe der Dehnsteifigkeiten
- M-k-Linie: Ausgabe der Biegesteifigkeiten
Ausgabe einer Mk-Linien-Schar
- Überarbeitung der Baustoffeigenschaften (Datei: Baustoffe.inc)
- Überarbeitung der Hilfedatei, ausführliche Erläuterungen zur Modellierung des Baustoffs Beton vor allem bei nichtlinearen Berechnungen mit Schwinden und Kriechen, Beispiele zur Verformungsberechnung mit INCA2 und ABaS
- Eingabe von Punkten oder Polygonen über eine Liste. Damit können z.B. Excel-Tabellen mit Punktkoordinaten schnell und einfach in INCA2 eingegeben werden
- Verbesserung der Iterationsalgorithmen für bisher nicht konvergente Beispiele
- Benutzerfreundliche Festlegung der Grenzdehnungen
- Bemessung beliebiger Bewehrungsgruppen
- Überarbeitung und Vervollständigung der mitgelieferten Beispiele
- Shortcuts zum schnellen Arbeiten mit dem Programm:
F9 – Dehnungsberechnung
S – Sicherheitsnachweis
N - numerische Ergebnisse
B – Bemessung
M - MK-Linie
R – Spannungsergebnisse
für Zoom: "+" "-" "*" auf der Zahlentastatur

Oberfläche

Die CAD-ähnliche graphische Benutzeroberfläche erlaubt die schnelle Eingabe von Querschnitten. Rechtecke, Kreise oder beliebige Polygone können definiert werden. Die gängigen Stahlbauprofile (Doppel-T-Querschnitte) stehen ebenso zur Verfügung. Weiterhin sind die Funktionen Schieben, Spiegeln und Rotieren implementiert. Das Messen von Abständen und ein zuschaltbares Raster mit Fang-Funktion sind ebenfalls möglich.



Beispiel: Schiefe Biegung für vorgespannten T-Querschnitt mit jeweils 4 Spannlitzen in zwei Hüllrohren sowie zusätzlicher Bewehrung aus Betonstahl.

Die Eingabe von einfachen Stahlbetonquerschnitten erfolgt z.B. über die Definition eines Rechtecks oder eines Kreises. Bei komplizierteren Querschnitten, wie bei dem oben gezeigten Plattenbalken, erfolgt zuerst die Definition der Polygonpunkte. Diese werden anschließend zu einem Polygon verbunden. Bewehrungsstäbe werden ebenfalls als Punkte definiert, in dem ihnen eine Querschnittsfläche sowie ein Materialverhalten zugewiesen wird. Im gezeigten Beispiel besitzen die Spannglieder außerdem noch eine Vordehnung, wodurch die Vorspannung modelliert wird.

Baustoffe

Rechengrundlage sind lineare oder nichtlineare Spannungsdehnungsbeziehungen. Im Programm INCA2 ist es damit möglich, vier verschiedene Typen von Spannungs-Dehnungs-Linien zu definieren:

- Linear-Elastisch
- Parabel-Rechteck
- Parabel-ähnliche, gebrochen-rationale Funktion nach EC2 bzw. DIN 1045-1 zur Verformungsberechnung, rechts zu sehen
- Polygonzug / Spline für experimentell ermittelte Beziehungen

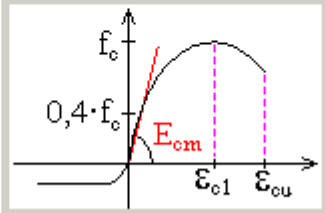
Definition Baustoffeigenschaften

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

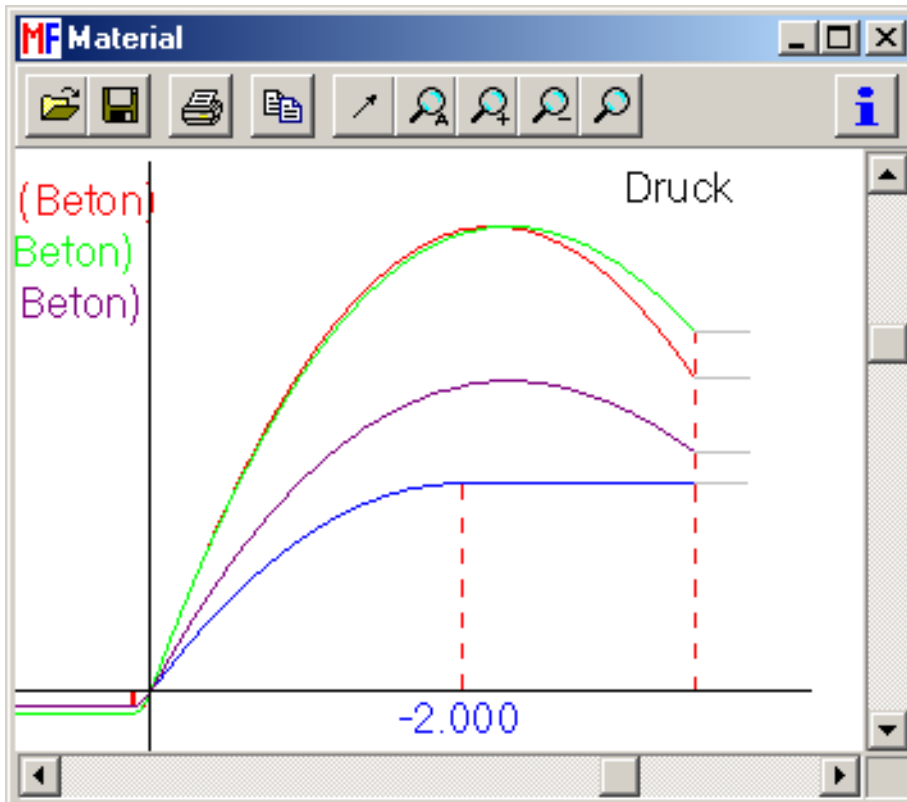
E-Modul E.c	<input type="text" value="29000"/>	N/mm ²	<input type="button" value="?"/>	<input type="button" value="Wertetabelle"/>
Tangentenmodul im Ursprung $E_{c0m} = 1.1 * E.c =$	<input type="text" value="31900"/>	N/mm ²		<input type="button" value="Bild"/>
Spannung f.c	<input type="text" value="-38"/>	N/mm ²		
Dehnung eps.c1	<input type="text" value="-2.3"/>	mm/m		

Zug (Parabel-Rechteck-Diagramm)

Spannung bei Erreichen der Fließgrenze in N/mm ²	<input type="text" value="1.9"/>	N/mm ²	<input type="button" value="?"/>
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

Weiterhin muss noch gewählt werden, ob es sich um einen Stahl- oder Beton-ähnlichen Baustoff handelt, da beim Beton die Zugspannung je nach Dehnungszustand abgemindert wird. In obenstehender Grafik ist beispielhaft die Eingabemaske für die verschiedenen Spannungs-Dehnungs-Linien dargestellt.



In der hier gezeigten grafischen Ausgabe sind vier verschiedene Spannungs-Dehnungs-Linien für den Beton C30/37 dargestellt. Die blaue Kurve (kleinste Spannung) stellt die Linie mit den Bemessungswerten ($f_{cm} / 1,5 * 0,85$) der Baustoffeigenschaften dar. In der Farbe Lila ist die Linie für die Stützenverformungsrechnung abgebildet. Der grüne und der rote Graph sind die Linien für die mittleren Betoneigenschaften für eine Verformungsrechnung, einmal nach EC2 und, leicht geändert, nach DIN 1045-1.

Vorspannung, Schwinden und Kriechen sowie die versteifende Mitwirkung des Betons in der gerissenen Zugzone können wie folgt berücksichtigt werden.

Schwinden: Vordehnung des Betonquerschnitts (Zugdehnung) oder Vordehnung der Bewehrung (Druckdehnung)

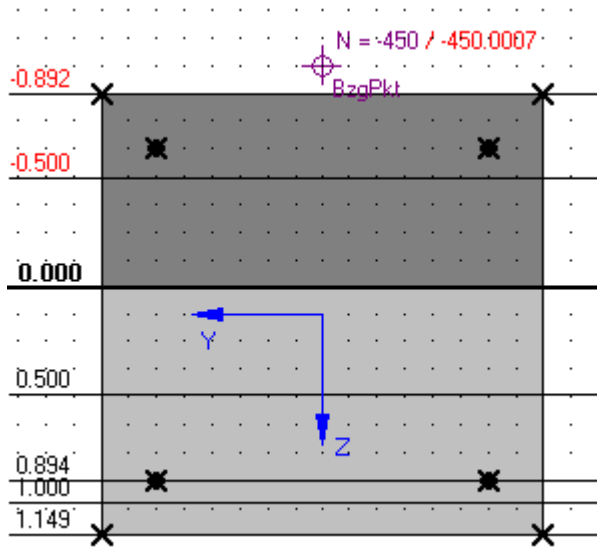
Kriechen: Die Spannungsdehnungslinie des Betons wird um den Faktor $(1 + \phi)$ gestreckt. Die Dehnungen erhöhen sich damit um diesen Faktor, der E-Modul verringert sich entsprechend. Die definierten Spannungen bleiben gleich.

Mitwirkung der gerissenen Betonzugzone: Bei den in der Datei Baustoffe.inc mitgelieferten Kennlinien für die Verformungsberechnung (Mittelwerte sowie Stützenberechnung) ist die versteifende Mitwirkung des Betons in der Zugzone bereits über eine fiktive Spannungs-Dehnungs-Beziehung im Zugbereich definiert. Die Zugfestigkeit beträgt ca. $1/20$ der Druckfestigkeit bei einer Dehnung von ca. $0,11 \text{ mm/m}$. Bei größeren Dehnungen wird die Zugfestigkeit abgemindert, bis sie beim Erreichen der Fließgrenze des Stahls den Wert Null erreicht. Damit sind für baupraktische Belange Zustand I (volle Zugfestigkeit), Zustand II (Aufreißen des Betons, aber Mitwirkung), Zustand III (Fließen der Bewehrung, kaum oder keine Mitwirkung des Betons) hinreichend genau formuliert.

Nachträglich ergänzter Querschnitt: Dem nachträglich ergänzten Querschnittsteil wird eine Vordehnung und Vorkrümmung zugewiesen, so dass in diesem Teil bei der Rechnung des Gesamtquerschnitts unter Betonierlast keine Spannungen auftreten.

Dehnungsberechnung Interaktiv

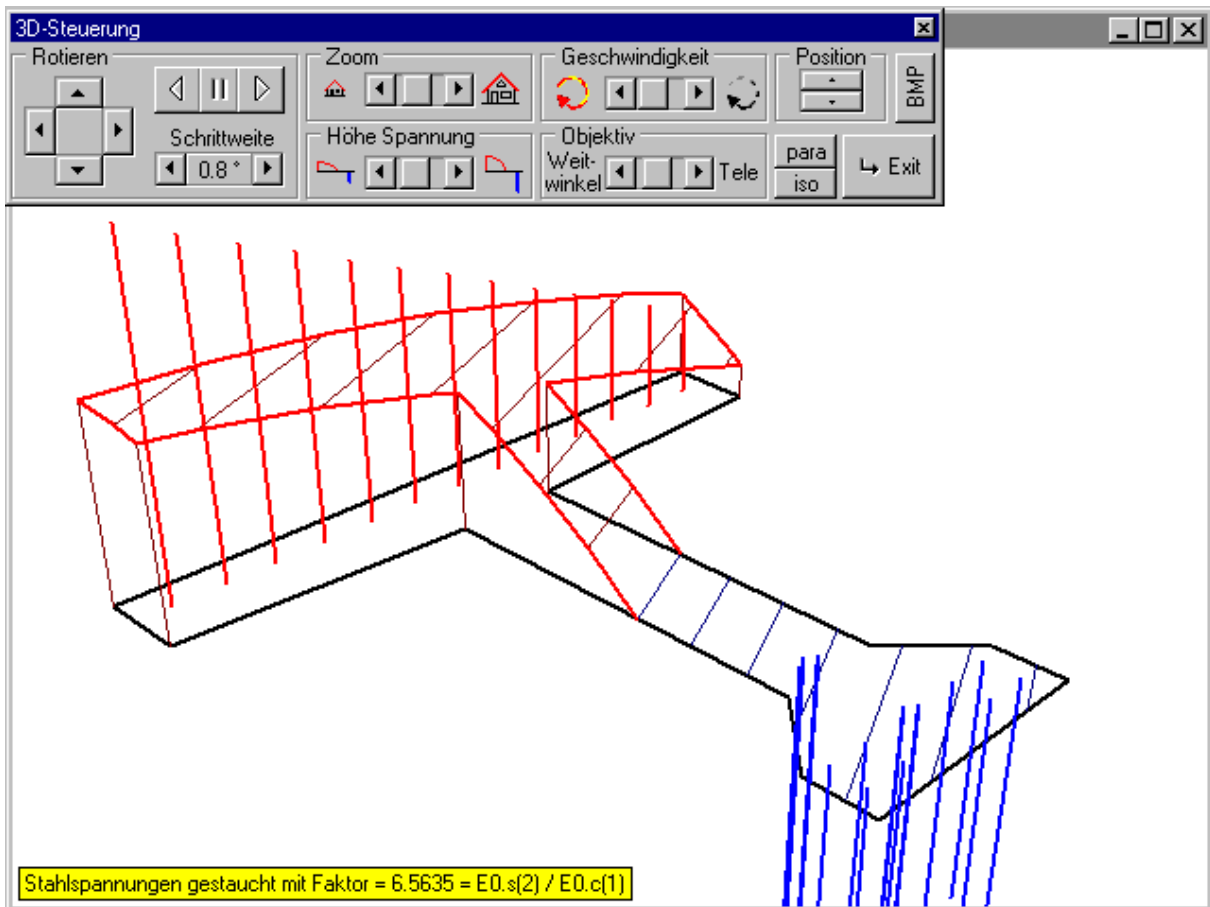
Besonders interessant für Studierende bzw. beim Entwerfen eines Querschnitts ist der Interaktive Modus. In diesem Modus wird nach jeder Änderung des Querschnitts sofort eine Neuberechnung durchgeführt. Außerdem bietet diese Möglichkeit einerseits Studierenden die Möglichkeit, die Auswirkungen auf das Tragverhalten sofort zu erkennen, andererseits ist damit aber auch ein "Konstruieren" möglich, da man schnell und einfach z.B. Lage und Größe der Bewehrung ändern kann.



Für einen doppelt symmetrischen Stützenquerschnitt wird der Bezugspunkt der angreifenden Normalkraft verändert. Nach Wahl des Menüpunktes Schieben kann der Bezugspunkt einfach angeklickt und verschoben werden. Aus einachsiger Biegung mit Normalkraft wird so zweiachsige Biegung mit Normalkraft.

Grafische Ergebnisse

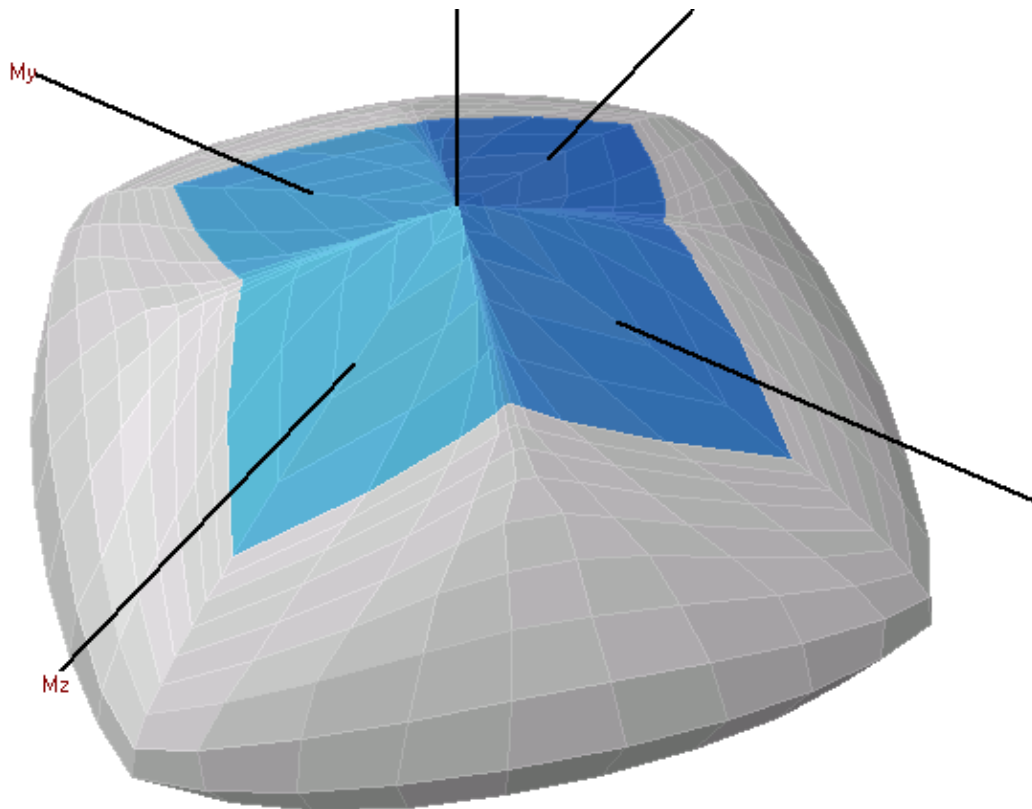
Neben den numerischen Ausgaben, bietet das Programm auch eine Vielzahl von anschaulichen grafischen Ausgaben. Neben der normalen zweidimensionalen Darstellung des Dehnungszustandes mit Linien gleicher Dehnung und schraffierter Druckzone, bietet das Programm weiterhin die Möglichkeit, sich die Spannungsverteilung in einer 3D-Grafik auf dem Bildschirm ausgeben zu lassen, die frei rotiert werden kann. Mit vielfältigen Parametern kann die Darstellung den Erfordernissen angepasst werden.



3D-Ansicht der Spannungsverteilung, Beispiel: Schiefe Biegung für vorgespannter Plattenbalken

N/My/Mz-Interaktionsdiagramm

Weiterhin kann das N/My/Mz-Interaktionsdiagramm für einen Querschnitt berechnet und grafisch dargestellt werden. Auch hier ist eine freie Rotation möglich. Für die Berechnung dieser Kraftgrößenwiebel werden für alle Hauptkrümmungsrichtungen (von 0 bis 360°, in 10° Schritten) die M/N-Linien ermittelt. Zusammengefaßt ergeben diese Linien dann die Oberfläche der Kraftgrößenwiebel. Die Farbgebung der Teilbereiche orientiert sich an charakteristischen Dehnungszuständen. Das folgende Bild des Interaktionsdiagramms wurde für einen quadratischen Stützenquerschnitt berechnet, der in allen vier Ecken gleichmäßig Bewehrung besitzt. Im blauen Bereich hat die Bewehrung jeweils auf der am stärksten gezogenen Seite bereits die Fließgrenze überschritten und die Grenzdehnung erreicht. Im roten Bereich (hier nicht zu sehen) ist der Querschnitt näherungsweise voll überdrückt (nur näherungsweise, da in INCA2 eine neue Definition der Grenzzustände erfolgte, die allgemeingültiger ist, jedoch keine eindeutige Zuordnung des Zustands der Dekompression erlaubt).



Querschnittswerte

Für Nachrechnungen vorhandener Querschnitte oder um überschlägige Verformungsberechnungen durchzuführen, werden die Querschnittswerte benötigt.

Dabei können einerseits nur die reinen Flächenwerte berechnet werden. Besteht ein Querschnitt jedoch aus unterschiedlichen Materialien sollten die ideellen Querschnittswerte benutzt werden. Dabei werden die jeweiligen Werte auf den Tangenten-E-Modul eines von Ihnen gewählten Materials bezogen. Bei unsymmetrischen Querschnitten erfolgt die Ermittlung der Richtung des Hauptachsensystems.

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 (Aussparungen für die Bewehrung werden nicht berücksichtigt)

mit der Nettofläche der Polygone (Aussparungen 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 N/mm²

Querschnittsfläche A = 0,06084 m²

Schwerpunkt Y / Z = -0,00000 / 0,00000 [m]

I_{yy} = 0,00345 m⁴ I_{zz} = 0,00328 m⁴

I_{yz} = 0,0 m⁴

Transformation ins Hauptachsensystem

α = 0 °

I₁ = 0,00345 m⁴ I₂ = 0,00328 m⁴

Steifigkeitswerte

EA = 12168467.172 kN

EI_{yy} = 690309.414 kNm²

EI_{zz} = 656307.564 kNm²

EI_{yz} = 0 kNm²

Werte im Hauptachsensystem

EI₁ = 690309.414 kNm²

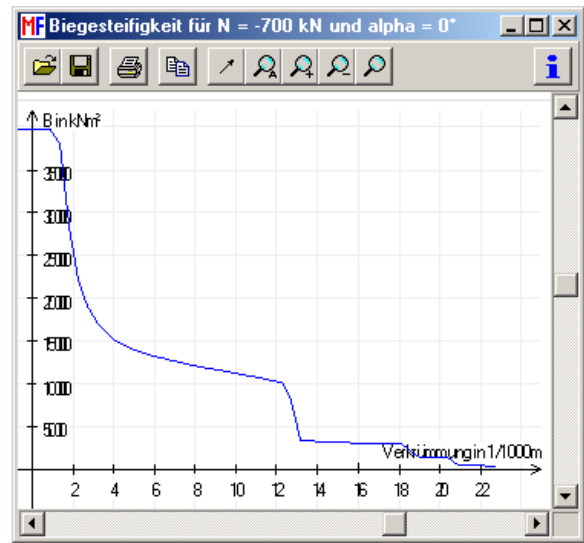
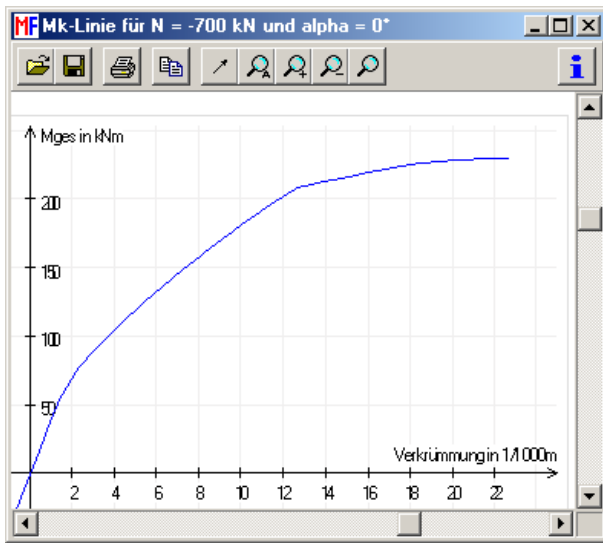
EI₂ = 656307.564 kNm²

Copy

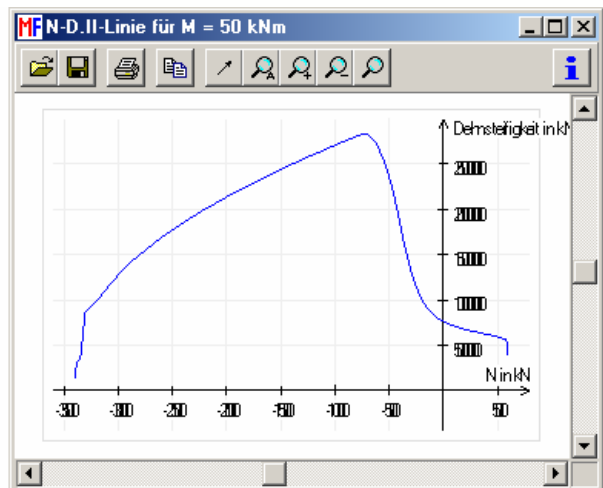
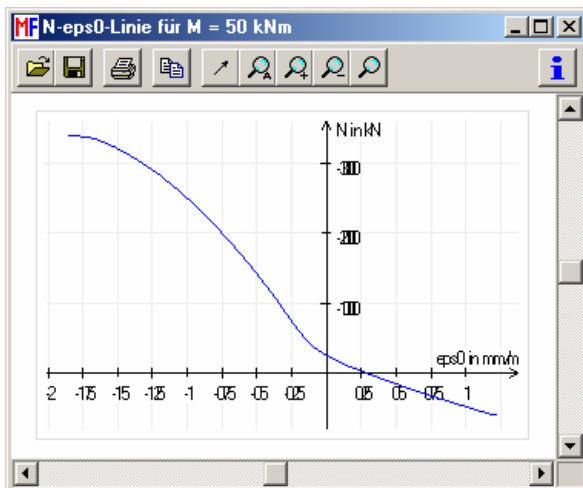
OK

Charakteristische Linien

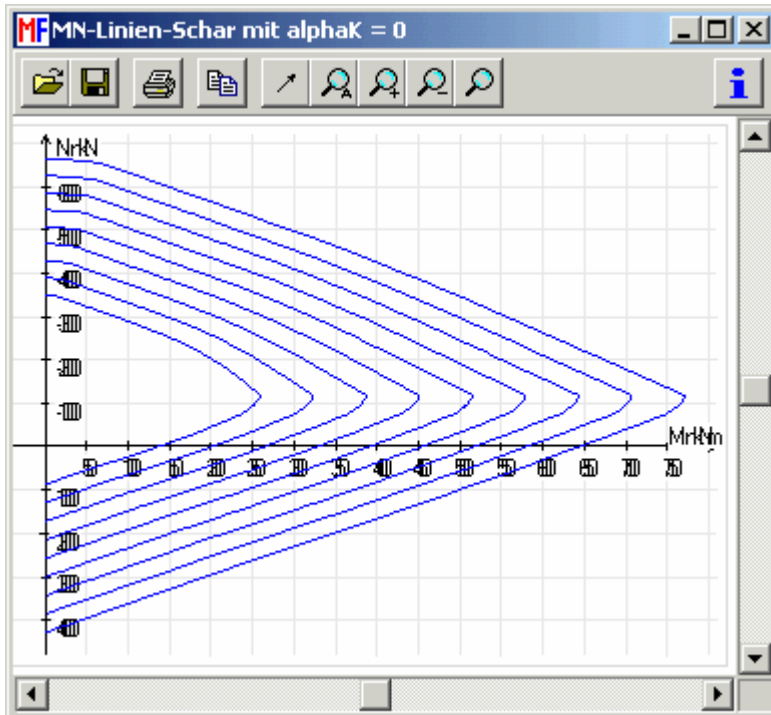
Mk-Linie, berechnet die Moment-Verkrümmungs-Beziehung des Querschnitts z.B. für eine anschließende nichtlineare Verformungsberechnung mit anderen Programmen. Die folgende Mk-Linie wurde für einen Stützenquerschnitt R4 mit $N = -700 \text{ kN}$ berechnet. Die zugehörigen tangentialen Biegesteifigkeiten können ebenfalls ausgegeben werden. Die Ausgabe erfolgt jeweils in ein extra Fenster. Das Ausgabeformat ist ein Metafile, welches problemlos in Word-Dokumente tec. kopiert und weiter bearbeitet werden kann.



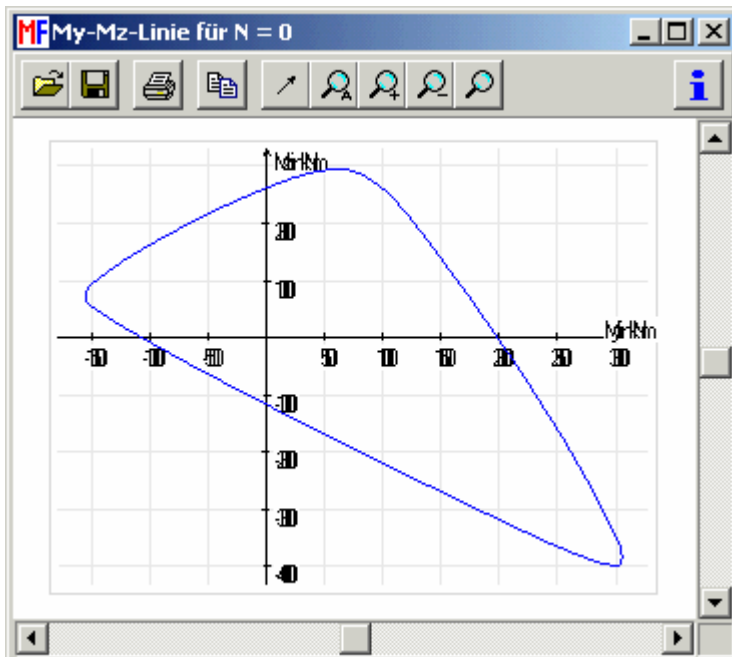
N-eps-Linie, berechnet die Normalkraft-Eps-Beziehung für ein gegebenes Biegemoment und eine gegebene Verkrümmungsrichtung



MN-Linie, berechnet die Moment-Normalkraft-Linie (ähnlich zu den m_u-n_u -Diagrammen, Bemessungstafeln) Linie für einen Stützen-R2-Querschnitt:



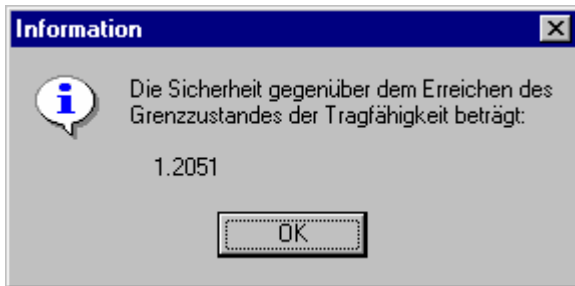
My/Mz-Linie, berechnet den waagerechten Schnitt durch die zuvor genannte Kraftgrößenzweibel ($N/M_y/M_z$ -Interaktionsdiagramm)



Weitere Berechnungen

Sicherheitsnachweis

Für den Sicherheitsnachweis wird die maximal vom Querschnitt aufnehmbare Beanspruchung berechnet. Dabei wird der Querschnitt entweder auf der Druck- oder auf der Zugseite bis zur jeweiligen Grenzdehnung belastet. Die Ermittlung der maximalen Beanspruchbarkeit für eine Kombination aus M und N erfolgt mit konstanter Exzentrizität, d.h., wird das Biegemoment um den Faktor gamma erhöht, so wird auch die Normalkraft mit dem gleichen Faktor gamma erhöht.

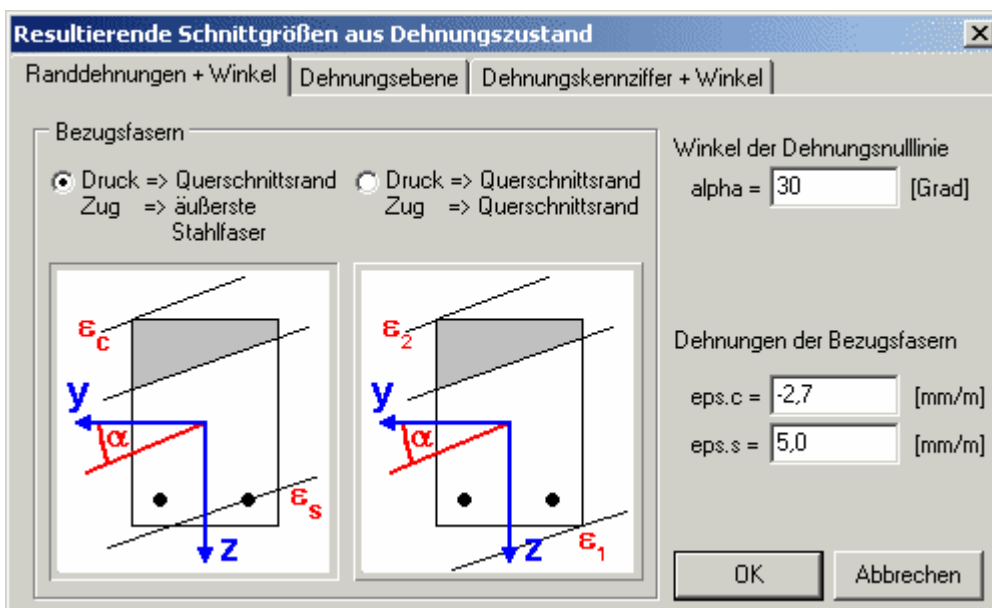


Spannungsergebnisse

Ein Dehnungszustand kann unter anderem mit folgenden Methoden beschrieben werden:

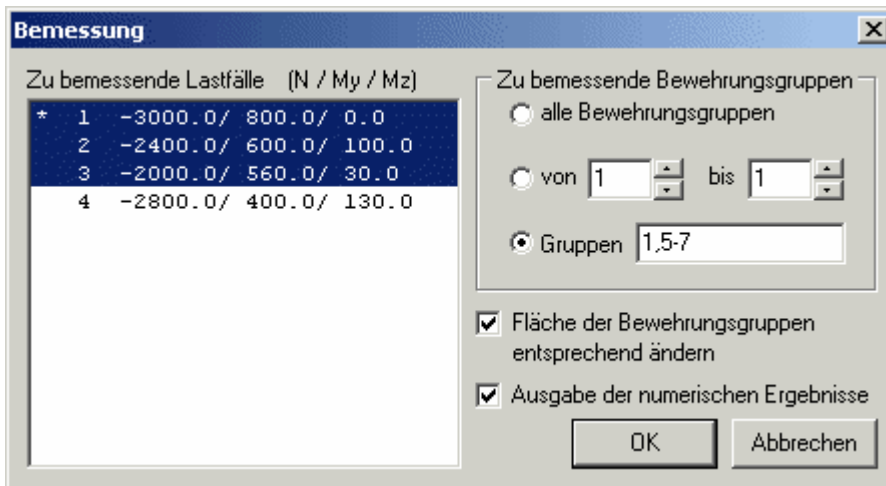
- zwei Randdehnungen und dem Winkel der Dehnungsnulldlinie
- Dehnungsebene ($\epsilon_{s,0} + k_y \cdot y + k_z \cdot z$)
- Dehnungskennziffer und Winkel der Dehnungsnulldlinie, hierbei handelt es sich dann um einen Grenzzustand, da mindestens an einer Stelle des Querschnitts die definierten Grenzdehnungen erreicht werden.

Aus diesen Eingangsgrößen berechnet das Programm die zugehörigen Schnittgrößen N / My / Mz.



Bemessung

Für einen definierten Querschnitt wird die erforderliche Bewehrung für die markierten Lastfälle bestimmt (hier 1 - 3). Weiterhin werden nur markierte Bewehrungsgruppen verändert, im unten aufgeführten Beispiel sind dies die Gruppen 1, 5, 6 und 7. Minimale und maximale Bewehrung (siehe Definition min/max Bewehrungsverhältnis) werden beachtet. Für jeden Lastfall wird die Bemessung durchgeführt und ausführlich numerisch ausgegeben.



Zu bemessende Lastfälle (N / My / Mz)		
*	1	-3000.0 / 800.0 / 0.0
	2	-2400.0 / 600.0 / 100.0
	3	-2000.0 / 560.0 / 30.0
	4	-2800.0 / 400.0 / 130.0

Zu bemessende Bewehrungsgruppen

alle Bewehrungsgruppen

von 1 bis 1

Gruppen 1,5-7

Fläche der Bewehrungsgruppen entsprechend ändern

Ausgabe der numerischen Ergebnisse

OK Abbrechen

Entdeckte / Behobene Fehler und Probleme

Zur Zeit sind keine Fehler / Probleme bei INCA2 bekannt.

Einarbeitung der Druckfehlerberichtigung aus der DIN 1045-1, Ausgabe 07/2002 und der Druckfehlerberichtigung 06/2005

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 in der Originalversion der DIN 1045-1 angegeben. In späteren Ausgaben des Betonkalenders bzw. im Heft 525 des DAfStb erfolgte eine erste Korrektur, die inzwischen jedoch von der zweiten Korrektur vom Juni 2005 korrigiert wurde. In der letzten Ausgabe wurde der E-Modul des Betons ein zweites Mal geändert bzw. die Art, wie der E-Modul in die Berechnung der nichtlinearen Spannungs-Dehnungs-Linie des Betons eingeht.

Im Vergleich zur Originalausgabe der DIN 1045-1 verringert sich der E-Modul des Betons um genau 10% für die Spannungs-Dehnungs-Linie. Diese Verringerung wird sich jedoch nicht voll auf die berechneten Verformungen auswirken.

Bei kleinen Beanspruchungen mit vielen ungerissenen Bereichen vergrößert sich die Verformung für einen Stahlbetonbalken beispielhaft für einen C30/37 um ca. 5%. Bei Steigerung der Belastung wird der Unterschied auf 3% und noch weniger verringert. Größere Änderungen können sich jedoch bei sehr schlanken Stützen ergeben, die infolge Aufreißen des Querschnitts versagen (Stabilitätsversagen).

Übrigens sind im Gegensatz zur DIN 1045-1 (mit 2. Druckfehlerberichtigung) im EC2 die Werte des E-Moduls aus der Originalversion der DIN 1045-1 abgedruckt. Mit anderen Worten: Man muss dem Beton sagen, nach welcher Norm dieser gerechnet wurde, damit sich dieser auch so verhält ;-)

In der Summe muss jedoch auch gesagt werden, dass der E-Modul des Betons eine stark streuende Größe ist, so dass eigentlich keine genauen Werte angegeben werden können. Die vielfältigen Änderungen in letzter Zeit kann man daher auch als sinnvolle Entscheidung zur sicheren Seite interpretieren.