

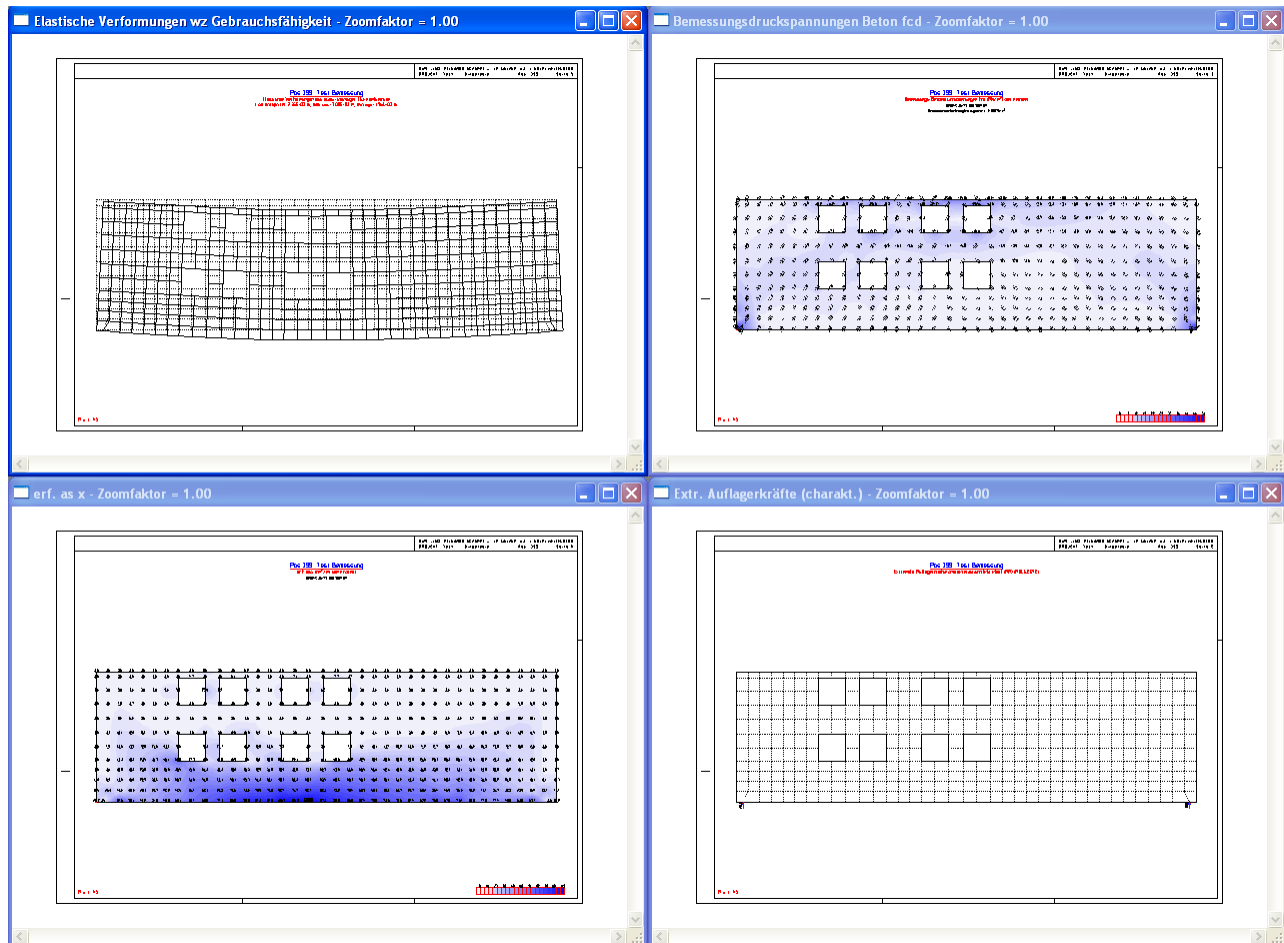
# FESS FINITE ELEMENTE SCHEIBENSYSTEME

Programm 102A

Version 6.0

## Kurzbeschreibung

Stand: 18.12. 2007 (V 6.00.023)



PBS GmbH

Lange Wender 1

34246 Vellmar

Tel. 0561 / 98205-0

Fax 0561 / 9820580

mail@pbs.de

www.pbs.de

Autoren:

Dipl.-Ing. Reinhard Schuppe, Im Weiher 63, 69121 Heidelberg

Tel. 06221 / 474820, Fax 06221 / 451520

mail@schuppe-hd.de

Dipl.-Ing. Georg Skrabanik, Blomberger Str. 343, 32760 Detmold

Tel. 05231 / 38797, Fax 05231 / 39945

info@skrabanik.de

Dipl.-Ing. Hans Zimmer, Berlin



## INHALT

1.	ALLGEMEINE ERLÄUTERUNGEN .....	4
1.1	COPYRIGHT .....	4
1.2	LEISTUNGSUMFANG DES PROGRAMMS .....	4
1.3	SYSTEMVORAUSSETZUNGEN .....	5
1.4	PROGRAMMGRENZEN .....	5
1.5	FESS IM BTS STATIK.....	6
1.6	PRINZIPIELLER ABLAUF DER FESS-BEARBEITUNG.....	6
1.7	HINWEISE ZUR DATENEINGABE .....	6
1.8	HILFE IN FESS.....	7
2.	KURZBESCHREIBUNG DER DATENEINGABE.....	8
2.1	HINWEISE ZUR METHODE UND ZUR ERSTELLUNG VON ELEMENTNETZEN .....	8
2.2	MATERIALWERTE SCHEIBEN- UND BALKENELEMENTE .....	9
2.3	ELEMENTGEOMETRIE .....	9
2.4	INAKTIVE ELEMENTE .....	9
2.5	GEDREHTE KNOTEN.....	10
2.6	BELASTUNG .....	10
2.7	FELDDEFINITIONEN (FELDER UND LASTFELDGRUPPEN) .....	11
2.8	RANDBEDINGUNGEN.....	11
3.	LÖSUNGSPHASE.....	11
4.	WEITERLEITUNG VON FESS-AUFLAGERKRÄFTEN .....	13
5.	STAHLBETONBEMESSUNG .....	13
6.	BEWEHRUNGSWAHL NACH RECHENLAUF .....	13
7.	NACHWEIS DER GEBRAUCHSFÄHIGKEIT (RISSNACHWEIS).....	14
7.1	ZULÄSSIGER DURCHMESSER / HÖCHSTABSTAND (11.2.3).....	14
7.2	MINDESTBEWEHRUNG AUS LASTBEANSPRUCHUNG (11.2.2) .....	15
7.3	MINDESTBEWEHRUNG AUS ZWANGSBEANSPRUCHUNG (11.2.2).....	15
8.	DRUCKAUSGABE .....	16
8.1	WIEDERGABE DER EINGABEDATEN .....	16
8.2	CHARAKTERISTISCHE SCHNITTGRÖSSEN .....	17
8.3	EXTREMALWERTE (CHARAKTERISTISCH) .....	19
8.4	BEMESSUNGSWERTE SCHEIBE .....	19
8.5	GEBRAUCHSFÄHIGKEIT SCHEIBE .....	20
9.	GRAFIK-AUSGABE .....	22
9.1	ELEMENTNETZE / BELASTUNG: WIEDERGABE DER EINGABEDATEN .....	22
9.2	CHARAKTERISTISCHE SCHNITTGRÖSSEN .....	23
9.3	EXTREMALGRÖSSEN CHARAKTERISTISCH.....	24
9.4	EXTREMALGRÖSSEN DESIGN .....	24
9.5	BEMESSUNG SCHEIBE.....	24
9.6	GEBRAUCHSFÄHIGKEIT .....	25
9.7	GRAFIK-EINSTELLUNGEN .....	25

## 1. ALLGEMEINE ERLÄUTERUNGEN

### 1.1 COPYRIGHT

Das Copyright für Programm und Handbuch liegt bei:

PBS GmbH  
Lange Wender 1  
34246 Vellmar

Telefon: 0561 - 982050  
Telefax: 0561 - 9820580

© PBS Vellmar, 2007. Alle Rechte vorbehalten.

In der Beschreibung verwendete geschützte Warenzeichen sind nicht einzeln gekennzeichnet. Die fehlende Kennzeichnung berechtigt nicht zu der Annahme, dass der betreffende Produktname frei von Rechten Dritter ist.

Insbesondere ist WINDOWS ein geschütztes Warenzeichen der MICROSOFT Corp.

### 1.2 LEISTUNGSUMFANG DES PROGRAMMS

FESS ist ein FINITE-ELEMENTE-PROGRAMM, das zur statischen Berechnung von ebenen Flächentragwerken entwickelt wurde, deren Tragverhalten der Theorie der dünnen, elastischen Scheibe entspricht. Das Programm erlaubt die Berechnung als ebener Spannungszustand oder ebener Verformungszustand. Es wird als Programm **102A** in der Bauteilliste geführt.

Das Programm ist lauffähig auf PCs mit dem Betriebssystem MS-Windows (Windows 98/ME/NT/2000/XP).

FESS erlaubt die Berechnung von Scheibensystemen mit bis zu 4000 Elementen bzw. 5000 Knoten.

Ziel dieser Entwicklung war es, basierend auf dem Stand der heutigen Finite-Element-Technik und Programmtechnik dem berechnenden Konstrukteur ein vielseitiges Werkzeug zur Verfügung zu stellen, das ihn nicht nur bei Standardaufgaben unterstützt.

Eine wirklichkeitsnahe und effektive Berechnung von Scheibentragwerken wird durch die folgenden Features ermöglicht:

- Hybrides Scheibenelement ermöglicht eine gute Annäherung des Tragverhaltens.
- Die Scheibengeometrie wird schnell durch vielseitige Generierungsmöglichkeiten bzw. die automatische Generierung in PBS-CAD erfasst.
- Variierende Konsol- bzw. Deckenlasten können durch Punkt- und Linienlasten erfasst werden.
- Temperaturbelastung kann erfasst werden.
- Ausbauszustände können durch inaktive Elemente dargestellt werden.
- Knotenfesseln und -federn ermöglichen die Beschreibung von starrer und elastischer Lagerung.
- Balkenelemente (auch mit elastischer Bettung) dienen z.B. zur Berechnung von Wandscheiben auf Streifenfundamenten.
- Randbedingungen an schiefe Scheibenrändern können durch ein zum globalen gedrehtes Koordinatensystem beschreiben werden.
- Übernahme von Lasten aus beliebigen BTS-Positionen (FESS- oder andere Positionen)
- Übergabe der Auflagerkräfte aus FESS ins BTS Statik oder andere FESS-Positionen

- Definition sich ausschließender Lastfälle
- Berechnung unter Berücksichtigung der Einwirkungskombinationen nach DIN 1055-100
- Stahlbetonbemessung: Ermittlung der Bewehrung in den Richtungen eines vorgegebenen Koordinatensystems und Nachweis der Beton-Druckstrebenkraft nach DIN 1045-1 (2003)
- Nachweis der Rissbreite nach DIN 1045, 11.2
- Überlagerung der erforderlichen und der gewählten Bewehrung in alphanumerischer und grafischer Ausgabe
- Übernahme von Bemessungswerten nach PBS-CAD
- Eine Vielfalt von Ausgabemöglichkeiten erlaubt es, die Ergebnisse kompakt darzustellen.

**Hinweis:** Das Programm führt keinerlei Stabilitätsnachweise! Das Erkennen der Notwendigkeit und die Durchführung eines solchen Nachweises obliegt dem Benutzer. Auch ein evtl. notwendiger Spaltzugnachweis wird nicht geführt.

### 1.3 SYSTEMVORAUSSETZUNGEN

#### 1.3.1 HARDWARE

- Prozessor Intel oder AMD > 1.0 GHz
- 512 MB Arbeitsspeicher (RAM), besser  $\geq 1024$  MB
- mind. 50 MB freier Festplattenspeicher
- hochauflösender Bildschirm (1024x768 oder besser) mit entsprechender Grafikkarte
- handelsüblicher Windows-Drucker
- optional Standardplotter (mit WINDOWS-Unterstützung)

#### 1.3.2 BETRIEBSSYSTEM

- Microsoft WINDOWS 98/ME
- Microsoft WINDOWS NT 4.0 / SP 3 oder höher
- Microsoft WINDOWS 2000
- Microsoft WINDOWS XP Professional / XP Home
- 

#### 1.3.3 NETZWERKUMGEBUNG (OPTIONAL)

- NOVELL NetWare 3.11 oder höher
- Microsoft WINDOWS Server-Netzwerke
- Microsoft Peer-to-Peer-Netzwerk – keine Multiuserunterstützung / Druckernetzwerk

Für die verschiedenen Betriebssysteme / Umgebungen muss ein entsprechendes Niakwa RunTime Package Version 5.10 oder höher vorhanden sein.

### 1.4 PROGRAMMGRENZEN

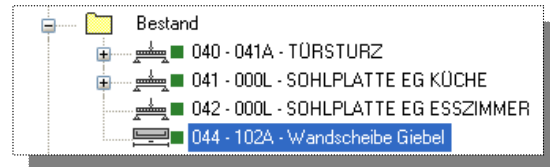
Anzahl Scheibenelemente .....	4000
Anzahl Balkenelemente .....	1000
Anzahl Netzknoten.....	5000
Anzahl Materialgruppen Scheibenelemente.....	30
Anzahl Materialgruppen Balkenelemente.....	30
Anzahl Knoten mit Randbedingungen .....	1000
Anzahl inaktive Scheibenelemente.....	1000
Anzahl Einwirkungen .....	10

Einwirkungskombinationen werden nach DIN 1055-100 automatisch ermittelt.

## 1.5 FESS IM BTS STATIK

FESS Version 6.0 ist voll in das Betriebssystem BTS 4 integriert. Dies bedeutet, dass keine Unterschiede mehr bestehen, ob eine FESS-Position oder eine sonstige BTS-Position in einem Projekt verwaltet wird.

Eine FESS-Position wird im Navigator als **Bauteil 102A** gewählt. Sie kann wie jede andere Position verwaltet werden, d.h. sie kann editiert, gelöscht, verschoben oder kopiert werden. Ausgaben für FESS werden ebenfalls über den Navigator getätigt, d.h. auf der Organisationsebene gibt es keine Unterschiede mehr zwischen FESS und einer sonstigen statischen Position.



## 1.6 PRINZIPIELLER ABLAUF DER FESS-BEARBEITUNG

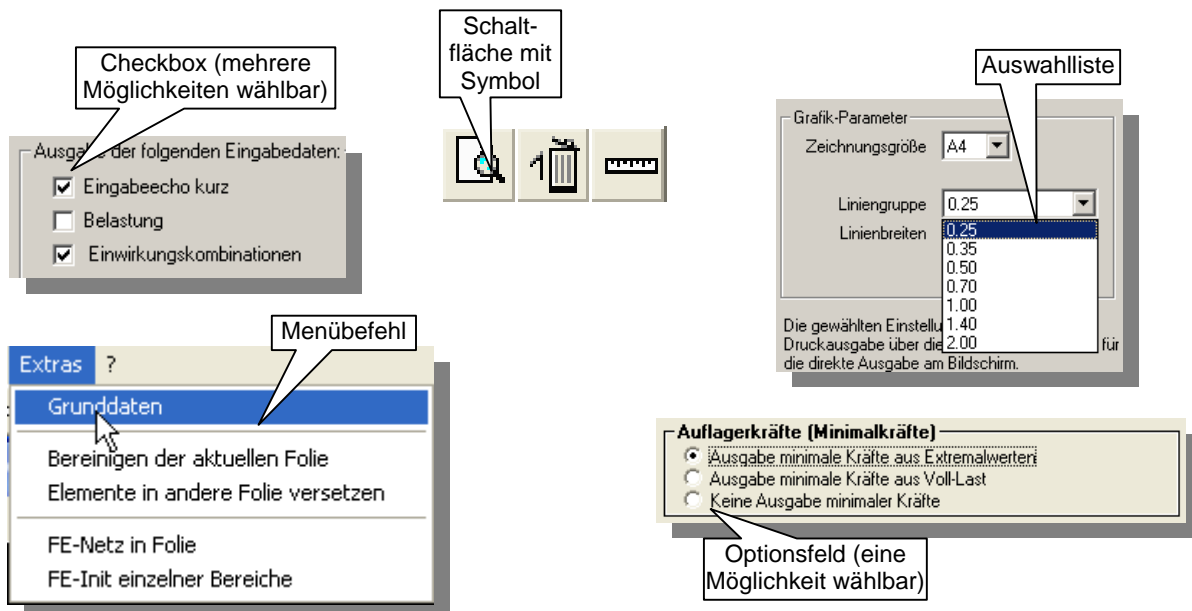
Eine FESS-Position wird nicht im üblichen BTS-Formular bearbeitet. Alle Eingaben werden im FESS-CAD und den folgenden Dialogfenstern getätigt. Alle Druck- und Grafikausgaben, die der Benutzer auswählt, werden im Formular abgelegt, so dass die Druck- und Grafikausgabe über den Navigator geschehen kann (während der Positionsbearbeitung ist die Ausgabe der aktuellen Position über den Navigator nicht möglich, alle Ausgaben stehen jedoch in der Vorschau zur Verfügung). Weitere Hinweise s. Beschreibung CAD.

Alle Daten (Eingabedaten, CAD-Daten, FESS-Ergebnisdaten) werden in der Position verwaltet.

## 1.7 HINWEISE ZUR DATENEINGABE

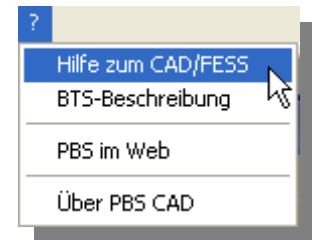
Die Eingabe in FESS V 6.0 wird über die grafische Windows-Oberfläche getätigt; Eingaben von Zahlenwerten können mit Dezimalpunkt oder –komma erfolgen. Der größte Teil der Eingaben kann durch Anklicken von Menüpunkten oder Symbolen, durch Auswahl über sog. Check-Boxen (Mehrfachauswahl möglich) oder Optionsfelder (nur eine von mehreren Möglichkeiten wählbar) vorgenommen werden.

Weiterhin werden Auswahllisten über sog. Combo-Boxen angeboten (Liste aufklappen: anklicken).



## 1.8 HILFE IN FESS

Die FESS-Hilfedatei kann entweder über die Sonderfunktionstaste **F1** oder über den Menüpunkt "?" aufgerufen werden (s. rechts).



## 2. KURZBESCHREIBUNG DER DATENEINGABE

Die Dateneingabe erfolgt vollständig über PBS-CAD. Eine detaillierte Beschreibung der Eingabe finden Sie im entsprechenden Kapitel der FESS-CAD-Beschreibung. An dieser Stelle wird nur Allgemeines zu den einzelnen Eingaben zusammengestellt.

### 2.1 HINWEISE ZUR METHODE UND ZUR ERSTELLUNG VON ELEMENTNETZEN

Die zu untersuchende Struktur wird in eine Anzahl Elemente endlicher (finiter) Größe zerlegt, daher der Name der Methode. Diese Elemente haben bei Scheiben Viereck- oder Dreieckform, deren Eigenschaften näherungsweise ermittelt und in der Systemberechnung durch Knotenbedingungen miteinander verknüpft werden.

Jedem Knoten sind abhängig von der Problemstellung verschiedene Freiheitsgrade, in diesem Fall Verschiebungen und Verdrehungen, zugeordnet. Die Steifigkeitsanteile der am Knoten verknüpften Elemente werden addiert. Unter der Voraussetzung, dass äußere Kräfte nur am Knoten angreifen, erhält man aus Gleichgewichtsbedingungen ein lineares Gleichungssystem mit den Weggrößen als Unbekannten. Dieses Gleichungssystem kann gelöst werden. Über die ermittelten Verschiebungen und Verdrehungen am Knoten wird dann mittels der Elementeneigenschaften der Verformungs- und Spannungszustand im Element ermittelt.

Das Scheibenelement ist als sog. hybrides Element entwickelt worden. Hybrid bedeutet, dass ein Ansatz für die Spannungen im Elementinnern mit einem Verschiebungsansatz auf den Elementrändern verknüpft wird. Von dem Spannungsansatz weiß man, dass er 'weicher' als das Realmodell ist, wohingegen der Verschiebungsansatz zu 'steife' Ergebnisse liefert. Die Verknüpfung beider bewirkt eine Kompensation beider Schwächen, so dass i. Allg. das hybride Element sehr brauchbare Finite-Element-Lösungen liefert. Das in FESS implementierte Balkenelement zur Simulation aussteifender Rippen ist an den Elementknoten steif mit dem Scheibenelement verbunden. Um den versteifenden Einfluss gegenüber dem wirklichen Tragverhalten nicht zu überschätzen, besteht zwischen Scheibe und Balken kein Schubverbund.

Der Ansatz des hybriden Elements gestattet auch die Berücksichtigung elastischer Bettung des Balkenelements.

Bei der Generierung eines FE-Netzes sollte der Benutzer die folgenden Hinweise beachten:

Die Methode der FEM ist eine Näherungsmethode, deren Ergebnisse umso besser sind, desto feiner das Netz erzeugt wird. Sind Felder im klassischen Sinn vorhanden, so sollten sie in mindestens 4-6 Elemente unterteilt werden (die absolute Größe eines Elements ist dabei nicht von Bedeutung). Wo Spannungsmaxima zu erwarten sind, sollten auch Knoten vorhanden sein, da ja nur an den Knoten Ergebnisse vorhanden sind (die Ermittlung der Schnittgrößen im Element ist eine weitere Näherung). Auch dort, wo große Einzellasten wirken, sollten Elementknoten vorhanden sein.

Es ist sinnvoll, ein möglichst gleichmäßiges Netz zu erstellen (einzelne Knoten können nachträglich noch verzogen werden), mit Verfeinerungen dort, wo extreme Schnittgrößen zu erwarten sind, z.B. im Auflagerbereich. Auch die Elementform sollte möglichst kompakt sein, da u.U. Grenzen der Rechengenauigkeit erreicht werden. Das Verhältnis Breite/Länge eines Elements sollte nicht kleiner als 1/3 sein. Das Netz kann nur an den Knoten gefesselt werden, nur dort können Randbedingungen formuliert werden (außer der elastischen Bettung eines Elements). Auflager können i.d.R. ausreichend genau durch Knotenfedern oder starre Fesseln beschrieben werden. Fesseln und Federn können Druck und Zug aufnehmen.

Ein- oder ausspringende Ecken erzeugen in der Scheibentheorie und auch in der FEM Ergebnisse, die der Interpretierung bedürfen.



## 2.2 MATERIALWERTE SCHEIBEN- UND BALKENELEMENTE

### a) Materialwerte Scheibenelemente

Es wird isotropes Materialverhalten vorausgesetzt. Die Einheiten müssen übereinstimmend sein, d.h. dass z.B. bei Eingabe des E-Moduls in  $[\text{kN/m}^2]$  alle Längen in  $[\text{m}]$  angegeben werden müssen.

Die folgenden Eingaben sind zu tätigen:

- E-Modul  $[\text{kN/m}^2]$   
Wird der E-Modul  $E=0$  angegeben, wird der entsprechende Wert aus den Bemessungsvorgaben verwendet!
- Querdehnungszahl  $\nu$   
Im Stahlbetonbau wird i. Allg. mit einer Querdehnungszahl von  $\nu = 0.0$  bis  $0.2$  gerechnet.
- Scheibendicke  $b$   $[\text{m}]$
- Wichte  $\gamma$   
Wird ein Wert  $\gamma > 0$  eingegeben, wird in der Einwirkung 1 (G) automatisch die Belastung  $g = b \cdot \gamma$  berücksichtigt.
- Der Temperatur-Ausdehnungskoeffizient  $\alpha_t$  ist anzugeben, wenn eine Temperatureinwirkung gerechnet werden soll.

### b) Materialwerte Balkenelemente

Für Balkenelemente, die die Gründung der Scheibe darstellen sollen, sind folgende Eingaben nötig:

- E-Modul und Querdehnungszahl  $\nu$
- Balkenbreite  $b$  und Balkenhöhe  $h$ .  
Bei Eingabe der Balkenhöhe wird ein Rechteckquerschnitt angenommen. Das Programm errechnet dann die Fläche  $A$  und das Trägheitsmoment  $I_z$ .
- Balkenquerschnittsfläche  $A$  und Eigenträgheitsmoment  $I_z$  (wenn Balkenhöhe  $h=0$  angegeben) und Hebelarm (zum Knoten)  $e_y$  (ohne Vorzeichen!)
- Bettungsziffer  $k_s$  (i. Allg. aus Setzungsberechnung zu ermitteln)

## 2.3 ELEMENTGEOMETRIE

Die Elementgeometrie wird über die Generierungsmöglichkeiten in PBS-CAD definiert.

### 2.3.1 BALKENELEMENTE

Balkenelemente können in FESS zur Simulation von Scheibenrand-Verstärkungen oder von elastisch gebetteten Randträgern (z.B. Streifenfundament unter Wandscheiben) benutzt werden.

Balkenelemente (max. 1000) werden entlang Elementrändern definiert.

Balkenelemente sind immer aktiv => Knoten, an denen Balkenelemente definiert sind, sind ebenfalls immer aktiv.

## 2.4 INAKTIVE ELEMENTE

Falls Aussparungen vorhanden sind, können zur einfacheren Netzgenerierung diese Aussparungen zunächst mit elementiert werden. Für den Rechenlauf müssen die Elemente im Bereich der Aussparung inaktiv gesetzt werden. In einer neuen Bearbeitung können die Elemente reaktiviert werden (falls erforderlich).

Es können max. 1000 Elemente inaktiv gesetzt werden. Falls an einem Knoten nur inaktive Elemente angrenzen, dürfen für diesen Knoten keine Randbedingungen definiert werden.

Als Alternative dazu können Elemente (jedoch endgültig) gelöscht werden.

## 2.5 GEDREHTE KNOTEN

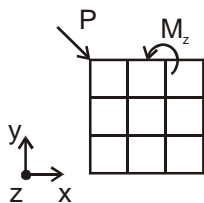
Zu berechnende Flächentragwerke haben oftmals Berandungen, die nicht parallel zu einem festen Koordinatensystem sind. Die an einem schiefen Rand auftretenden Randbedingungen lassen sich von Ausnahmefällen abgesehen, nur in einem dem Rand zugeordneten "lokalen"  $x'$ - $y'$ -Koordinatensystem beschreiben.

Zur Beschreibung eines schiefen Randes werden die Knoten mit dem Winkel zwischen globaler  $x$ - und der  $x'$ -Achse angegeben (max. 1000 Knoten). Der Drehwinkel muß positiv sein ( $0$ - $360^\circ$ ). Ist ein Knoten gedreht definiert, so wird auch die Ergebnisausgabe (nur Auflagerkräfte) auf das gedrehte System bezogen!

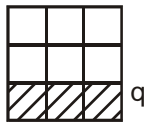
## 2.6 BELASTUNG

Nach der Anzahl der Einwirkungen ist für jede der Einwirkungen die Wirkungsrichtung der Flächenlasten bzgl. der  $x$ -Achse anzugeben (im Gegenuhrzeigersinn, immer positiv!). Wirken Flächenlasten vertikal nach unten gerichtet, so ist hier der Winkel  $270^\circ$  anzugeben.

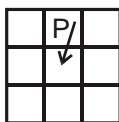
Die Wirkungsrichtung der Belastung ist nach dem globalen Koordinatensystem festzulegen.



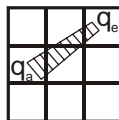
Knotenlasten:  
Lasten, die konzentriert auf den Netzknoten wirken



Flächenlasten:  
Konstante Lasten in der Scheibenebene und Eigengewichtslasten



Punktlasten:  
Lasten, die konzentriert in einem Element in der Scheibenebene wirken



Linienlasten:  
Konstante oder lineare Lasten, die in der Scheibenebene wirken

Punkt- und Linienlasten werden im Programm zu äquivalenten Knotenlasten umgerechnet, da die FEM nur Knotenlasten und gleichmäßig verteilte Flächenlasten zulässt.

### Temperaturbelastung:

Differenztemperatur ( $\Delta T$ ) zu Bezugstemperatur. Voraussetzung für die Verarbeitung ist die Definition einer Temperatur-Einwirkung  $Q, t$ .

### Einwirkungskombinationen

Die Einwirkungskombinationen für den Nachweis der Tragfähigkeit werden für ständige / vorübergehende wie auch für außergewöhnliche Bemessungssituationen ermittelt, die für den Nachweis der Gebrauchsfähigkeit für die quasi-ständige Bemessungssituation. Letztere ergibt sich durch die Kombination der vollen ständigen Lasten mit den  $\psi_2$ -fachen veränderlichen Lasten.

## 2.7 FELDDEFINITIONEN (FELDER UND LASTFELDGRUPPEN)

Um die Eingabe von Lasten, insbesondere von Flächenlasten, die feldweise wirken können, zu vereinfachen, kann der Benutzer Felder definieren. Eine Flächenlast beispielsweise wird über alle Elemente angegeben, intern wird sie in die definierten Felder aufgeteilt, wobei jedes Feld oder jede Lastfeldgruppe für sich als interner Lastfall angesetzt wird.

## 2.8 RANDBEDINGUNGEN

Die 3 Randbedingungen eines Knotens  $w_x$ ,  $w_y$ ,  $\varphi_z$  (bzw.  $w_{x'}$ ,  $w_{y'}$ ) beziehen sich entweder auf das globale Koordinatensystem x-y oder auf das lokale Koordinatensystem x'-y' eines gedrehten Knotens.

Knoten, die inaktiv sind, weil an sie nur inaktive Elemente angrenzen, dürfen keine Randbedingungen haben!

Knoten ohne Randbedingungen (z.B. freier Rand) brauchen nicht angegeben zu werden.

### KNOTENFEDERN:

Anstelle starrer Fesselung können an Knoten auch Federn ( $C_x$ ,  $C_y$ ,  $C_{\varphi_z}$ ) mit gegen unendlich gehender Steifigkeit angesetzt werden, (in Richtung der 3 Freiheitsgrade  $w_x$ ,  $w_y$ ,  $\varphi_z$ ). Nachgiebige Stützungen können durch die Angabe einer endlichen Steifigkeit dargestellt werden. Dadurch können Spannungsspitzen an Eckpunkten vermieden werden.

Es kann für jeden Freiheitsgrad ( $w_x$ ,  $w_y$  oder  $\varphi_z$ ) nur entweder eine starre Fesselung / Vorverformung oder eine elastische Lagerung definiert werden!

## 3. LÖSUNGSPHASE

Während der Lösungsphase werden verschiedene Teilprogramme durchlaufen:

### Input-Check

Alle Eingaben werden auf Zulässigkeit noch einmal überprüft.

### Elementnummernoptimierung

Es wird eine minimale Elementnummerndifferenz ermittelt, um die Rechenzeit des Löser zu reduzieren.

### Aufbau der Elementinformation

Alle Geometrie-Daten pro Element werden bestimmt.

### Typbestimmung

Alle Elemente gleicher Geometrie und Materialeigenschaften werden einem Typ zugeordnet.

### Bestimmung der Frontbreite

Die maximale Breite des Frontlösers bestimmt neben der Anzahl der Freiheitsgrade und der Anzahl der Lastfälle die Rechenzeit, die darin quadratisch eingeht. Durch geschicktes Nummerieren der Elemente oder durch Wahl der Optimierung kann eine erhebliche Reduzierung der Rechenzeit erreicht werden.

### Aufbau der Lastinformation

Bestimmung der Flächenlasten/Eigengewichtslasten für jedes Element sowie Umrechnung aller sonstigen Lasten auf die Knoten. Dabei werden die angegebenen äußeren und die auf die Knoten umgerechneten Lasten bilanziert. Bei einer Differenz von mehr als 3% erfolgt eine Meldung des Programms.

Punkt- und Linienlasten, die außerhalb des Systems liegen, werden ignoriert, ebenso Lasten an inaktiven Knoten oder Elementen.

### Aufbau der Steifigkeits- und Spannungsmatrizen

Die Steifigkeitsmatrizen werden für jeden Elementtyp bestimmt. Das Scheibenelement ist als sog. hybrides Element entwickelt worden. Hybrid bedeutet, dass ein Ansatz für die Spannungen im Elementinnern mit einem Verschiebungsansatz auf den Elementrändern verknüpft wird. Von dem

Spannungsansatz weiß man, dass er 'weicher' als das Realmodell ist, wohingegen der Verschiebungsansatz zu 'steife' Ergebnisse liefert. Diese Tatsache bewirkt eine Kompensation beider 'Fehler', so dass i. Allg. das hybride Element sehr brauchbare Finite-Element-Lösungen liefert.

Das in FESS implementierte Balkenelement zur Simulation von Randverstärkungen mit oder ohne elastischer Bettung ist an den Elementknoten steif mit dem Scheibenelement verbunden.

### Gleichungslöser

Die Frontlösungsmethode beruht auf der Tatsache, dass bei einer Bandbreite  $m$  nur  $m+1$  Zeilen des Gleichungssystems zur Verfügung stehen müssen. Es wird also wenig Kernspeicherplatz benötigt. Die Rechenzeit hängt nicht nur von den o.g. Punkten ab, sondern auch von der Größe des vorhandenen Kernspeichers. Der Frontvektor muß u.U. bei sehr großen Systemen auf der Festplatte abgelegt werden.

### Schnittgrößenermittlung

Aus dem Gleichungssystem werden die Verschiebungen und die Auflagerkräfte ermittelt. Mit Hilfe der Spannungsmatrizen lassen sich aus den Verschiebungen folgende Schnittgrößen bestimmen:

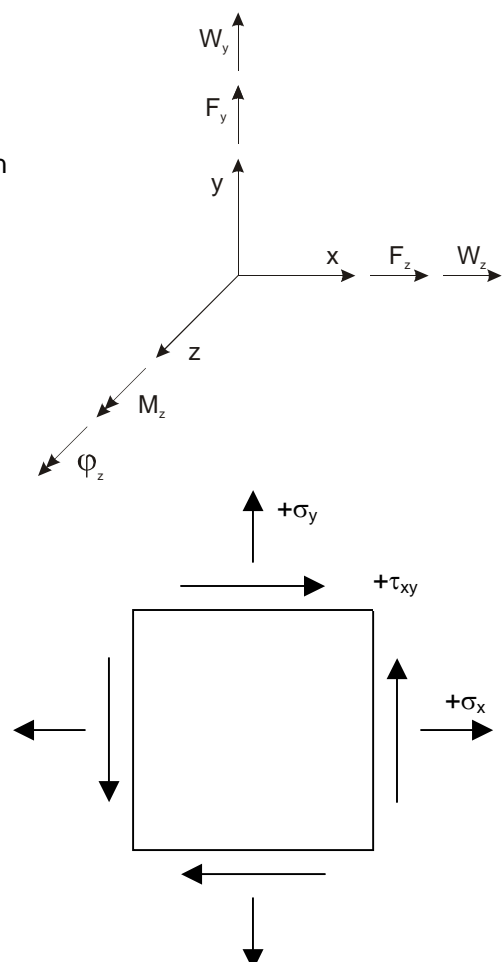
- Elementschnittgrößen im Elementschwerpunkt
- Knotenschnittgrößen als arithmetisches Mittel aller an einem Knoten angrenzenden Elementschnittgrößen
- Balkenschnittgrößen (wenn vorhanden)
- Sohlspannungen (wenn Bettung vorhanden)

Auflagerkräfte werden im globalen bzw. gedrehten Koordinatensystem ausgegeben, die Scheiben-Schnittgrößen immer im globalen.

Die Verformungen des Systems sind auf ideal elastischer Grundlage (Druck und Zug!) bestimmt.

### VORZEICHENDEFINITION DER SCHNITTGRÖSSEN

Auflagerreaktionen und globale Verschiebungen werden positiv, im Sinne des globalen X-Y-Koordinatensystems bzw. X'-Y'-Systems an gedrehten Knoten ausgegeben. Schnittgrößen im Elementschwerpunkt werden im *globalen* Koordinatensystem ausgegeben. Die Schnittgrößen am Knoten werden - aus dem Mittel der am Knoten angrenzenden Elemente gebildet - im *globalen* Koordinatensystem ausgegeben.



Die Vorzeichendefinition der Schnittgrößen ist dem nebenstehenden Bild zu entnehmen. Druckspannungen sind negativ, Zugspannungen positiv definiert.

## 4. WEITERLEITUNG VON FESS-AUFLAGERKRÄFTEN

Nach der Lösungsphase werden die Auflagerkräfte so aufbereitet, wie der FESS-Benutzer es bereits von der Grafik-Darstellung der Auflagerkräfte her kennt. Dabei können drei verschiedene Lasttypen vorkommen:

Die Auflagerkräfte sind nach Lastfällen (sich ausschließenden EW-Kombinationen) und Einwirkungen (Kategorien) sortiert. Sie sind vom Typ 'P' (Punktlast) und haben als Lager-Nummer die Knotennummer des Auflagers. Wurde die Einwirkung feldweise angesetzt, sind unterschiedliche Werte für Voll-Last, Maximal- und Minimalwerte vorhanden.

Beispiel für Weiterleitungsdaten:

Ausgabe der Kraftweiterleitungsdaten für Position 400										
Lager Art Nr	Winkel Alpha,z	x	Kraft Art	LF	Kategorie	Lastbeträge			Anteil	
						Voll.	Max.	Min.	m <sup>2</sup>	(m)
P 1	0.00	0.00	Fz	1	G	29.22	29.22	29.22	-	
					Q,A2	58.44	58.44	58.44	-	
P 10	0.00	0.00	Fz	1	G	108.86	108.86	108.86	-	
					Q,A2	217.72	217.72	217.72	-	
P 19	0.00	0.00	Fz	1	G	32.32	32.32	32.32	-	
					Q,A2	64.64	64.64	64.64	-	

## 5. STAHLBETONBEMESSUNG

In der Stahlbetonbemessung werden aus den Einwirkungskombinationen der Tragfähigkeit die Größtwerte der Zugkräfte in x- und y-Richtung  $f_{xd}$  und  $f_{yd}$  sowie der Größtwert der Beton-Druckstrebenkraft  $f_{cd}$  bestimmt. Für die Zugkräfte wird die erforderliche Bewehrung ermittelt. Die ermittelte Bewehrung ist die Gesamtbewehrung und ist symmetrisch auf die beiden Seiten zu verteilen!

Ein Nachweis der Aufnahme der Beton-Druckstrebenkraft  $f_{cd}$  wird nicht geführt, da i.Allg. ein Knicksicherheitsnachweis maßgebend ist!

Bei der Ermittlung der erforderlichen Bewehrung wird eine Mindestbewehrung von 1.5 cm<sup>2</sup>/m bzw. 0.075\*Scheibendicke (pro Seite) ebenso wie eine Querbewehrung von 20% der Längsbewehrung (=größerer Wert der beiden Richtungen) berücksichtigt.

## 6. BEWEHRUNGSWAHL NACH RECHENLAUF

Nach dem Rechenlauf kann zusätzlich zur erforderlichen auch eine vorhandene Bewehrung gewählt werden. Der größere Wert von erforderlicher und gewählter Bewehrung wird dann in PBS-CAD übernommen. In Druck- und Plotausgabe kann eine Überlagerung der Bewehrung erzeugt werden.

Zur Eingabe der Bewehrung s. Eingabe-Beschreibung PBS-CAD.

## 7. NACHWEIS DER GEBRAUCHSFÄHIGKEIT (RISSNACHWEIS)

Nach DIN 1045-1 ist i. Allg. ein Nachweis der Rissebeschränkung zu führen, wobei mehrere Möglichkeiten vorhanden sind.

- Begrenzung der Rissbreite über den zulässigen Stahldurchmesser oder den zulässigen Höchstabstand nach DIN 11.2.3, Tabellen 20 und 21
- Ermittlung der Mindestbewehrung für Lastbeanspruchung (später Biegezwang)
- Ermittlung der Mindestbewehrung für Zwangsbeanspruchung aus Hydratation (früher zentrischer Zwang)

Die erforderlichen Eingaben für die Nachweise sind in dem nebenstehenden Dialogfenster zu tätigen. Die Schaltfläche **Daten speichern** legt die Eingabewerte und die daraus resultierenden Ergebnisdaten für Druck- oder Plotausgabe ab. Über die Schaltfläche **Daten speichern + Nachweis-Vorschau** können die Ergebnisse direkt betrachtet werden (sie sind damit jedoch noch nicht im Formular abgelegt). Entsprechende Ausgabemöglichkeiten für das Formular oder als Systembild sind vorhanden.

### Hinweis:

Bevor in Druck- oder Plotauswahl die Rissnachweise angewählt werden können, müssen an dieser Stelle die Eingabedaten mit **Daten speichern** abgelegt werden. Nur diejenigen Nachweise, die hier aktiviert wurden, können auch ausgegeben werden. Eine Überlagerung der Bewehrung mit der Mindestbewehrung aus Rissnachweisen berücksichtigt nur die aktivierten Nachweise.

### 7.1 ZULÄSSIGER DURCHMESSER / HÖCHSTABSTAND (11.2.3)

Beim Nachweis der Rissbreitenbegrenzung wird für die Elemente bzw. Knoten der zulässige Stahldurchmesser und der zulässige Höchstabstand der Bewehrung ermittelt. Grundlage sind die Bemessungsmomente für die quasi-ständige Einwirkungskombination und die gewählte Bewehrung.

Folgende Eingaben werden benötigt:

- Zulässige Rissbreite
- Betonalter: 28 Tage oder 3-5 Tage
- Nachweis mit Element- oder Knotenschnittgrößen
- Nachweisausgabe für:  
Jedes Element (Knoten), jedes Feld oder nur für das ungünstigste Element (Knoten). Letzterer wird auch bei der element (knoten)- oder feldweisen Ausgabe mit ausgegeben. Für jeden Knoten/Element wird der ungünstigste Wert ausgegeben.

El.	Feld	Dicke	sig <sub>xx</sub>	as <sub>x</sub>	zul.ds <sub>x</sub>	zul.sx	sig <sub>yy</sub>	as <sub>y</sub>	zul.ds <sub>y</sub>	zul.sy
-	-	[m]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> /m]	[mm]	[cm]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> /m]	[mm]	[cm]
2	1	0.25	54.4	3.7	56.3	30.0	12.8	3.7	56.3	30.0
3	1	0.25	44.2	3.7	56.3	30.0	7.6	3.7	56.3	30.0
4	1	0.25	38.1	3.7	56.3	30.0	6.1	3.7	56.3	30.0
5	1	0.25	31.2	3.7	56.3	30.0	5.8	3.7	56.3	30.0
6	1	0.25	23.6	3.7	56.3	30.0	5.8	3.7	56.3	30.0
7	1	0.25	13.2	3.7	56.3	30.0	6.0	3.7	56.3	30.0
8	1	0.25	0.0	0.0	56.3	30.0	12.5	3.7	56.3	30.0
11	1	0.25	2.6	3.7	56.3	30.0	14.6	3.7	56.3	30.0
12	1	0.25	18.1	3.7	56.3	30.0	6.3	3.7	56.3	30.0
13	1	0.25	28.2	3.7	56.3	30.0	5.4	3.7	56.3	30.0
14	1	0.25	34.8	3.7	56.3	30.0	5.2	3.7	56.3	30.0
15	1	0.25	41.2	3.7	56.3	30.0	6.0	3.7	56.3	30.0
16	1	0.25	48.1	3.7	56.3	30.0	8.2	3.7	56.3	30.0
17	1	0.25	60.0	3.7	56.3	30.0	14.2	3.7	56.3	30.0
19	1	0.25	5.5	3.7	56.3	30.0	0.0	0.0	56.3	30.0
20	1	0.25	6.6	3.7	56.3	30.0	6.2	3.7	56.3	30.0
21	1	0.25	6.8	3.7	56.3	30.0	8.2	3.7	56.3	30.0
22	1	0.25	15.1	3.7	56.3	30.0	12.2	3.7	56.3	30.0
23	1	0.25	16.1	3.7	56.3	30.0	15.5	3.7	56.3	30.0
24	1	0.25	12.2	3.7	56.3	30.0	17.4	3.7	56.3	30.0
25	1	0.25	9.3	3.7	56.3	30.0	18.3	3.7	56.3	30.0
26	1	0.25	22.5	3.7	56.3	30.0	10.4	3.7	56.3	30.0

Mit diesen Angaben können die Tabellen 20 und 21 der DIN 1045-1 ausgewertet werden. Über die Schaltfläche **Daten speichern + Nachweis-Vorschau** werden die Angaben dieses Dialogs gespeichert und die Ergebnisse am Bildschirm angezeigt (jedoch noch nicht im Formular abgelegt).

#### Hinweis:

Ist am Nachweispunkt die gewählte Bewehrung geringer als die erforderliche, wird vorh. as = erf. as gesetzt.

## 7.2 MINDESTBEWEHRUNG AUS LASTBEANSPRUCHUNG (11.2.2)

Erforderliche Eingaben für diesen Nachweis sind

- Zulässige Rissbreite
- Betonalter: 28 Tage oder 3-5 Tage

Es werden die Stabdurchmesser der Bemessungsgruppen verwendet. Ob die Ausgabe am Knoten oder im Element erfolgt, wird in den Vorgaben der Bemessung festgelegt

### MINDESTBEWEHRUNG AUS LASTBEANSPRUCHUNG (ZENTR. ZWANG) NACH DIN 1045-1, 11.2.2

Betongüte C 20/25 Stahlgüte BSt 500M(A)  
 Betonalter 28 Tage, zul. Rissbreite  $w_k = 0.40$  mm  
 Nachweis am Knoten, Ausgabe der Gesamtbewehrung (innen+außen)

Kn.	Dicke b	Zugkr. f <sub>xd</sub>	min. a <sub>sx</sub>	vorh. a <sub>sx</sub>	Zugkr. f <sub>yd</sub>	min. a <sub>sy</sub>	vorh. a <sub>sy</sub>
-	[m]	[kN/m]	[cm <sup>2</sup> /m]	[cm <sup>2</sup> /m]	[kN/m]	[cm <sup>2</sup> /m]	[cm <sup>2</sup> /m]
1	0.25	50.4	7.0 >	3.7	0.0	0.0 <	0.0
2	0.25	109.2	7.7 >	6.8	0.0	0.0 <	0.0
3	0.25	24.2	6.6 >	3.7	0.0	0.0 <	0.0
4	0.25	19.7	6.6 >	3.7	0.0	0.0 <	0.0
5	0.25	16.2	6.5 >	3.7	0.0	0.0 <	0.0
6	0.25	13.7	6.5 >	3.7	0.1	6.3 >	3.7
7	0.25	12.0	6.5 >	3.7	0.0	0.0 <	0.0
8	0.25	12.5	6.5 >	3.7	0.0	0.0 <	0.0
9	0.25	0.0	0.0 <	0.0	26.3	6.7 >	3.7
10	0.25	0.0	0.0 <	0.0	0.0	0.0 <	0.0
11	0.25	0.0	0.0 <	0.0	26.9	6.7 >	3.7

Die Berechnung weist eine späte Rissbildung unter Last nach und wird als zentrischer Zwang aus Normalkraft bestimmt. In der Ausgabe wird die erforderliche Mindestbewehrung in die 2 Richtungen mit der vorhandenen Bewehrung verglichen. Diese Ausgabe kann in der Plotausgabe sehr viel übersichtlicher dargestellt werden als in der Druckausgabe des Formulars.

Eine Mindestbewehrung wird nur dann ermittelt, wenn in der betrachteten Richtung Zugkräfte vorhanden sind.

## 7.3 MINDESTBEWEHRUNG AUS ZWANGSBEANSPRUCHUNG (11.2.2)

Erforderliche Eingaben für diesen Nachweis sind

- Zulässige Rissbreite
- Betonalter: 3-5 Tage oder 28 Tage

Es werden die Stabdurchmesser der Bemessungsgruppen verwendet. Ob die Ausgabe am Knoten oder im Element erfolgt, wird in den Vorgaben der Bemessung festgelegt

Die Berechnung weist eine frühe Rissbildung unter Zwang (Hydratation) nach und wird mit  $k_c = 1.0$  (zentrischer Zwang) bestimmt. In der Ausgabe wird die erforderliche Mindestbewehrung in die 2 Richtungen mit der vorhandenen Bewehrung verglichen. Diese Ausgabe kann in der Plotausgabe sehr viel übersichtlicher dargestellt werden als in der Druckausgabe des Formulars.



**MINDESTBEWEHRUNG AUS ZWANGSBEANSPRUCHUNG (ZENTR.ZWANG) N. DIN 1045-1, 11.2.2**

Betongüte C 20/25 Stahlgüte BSt 500M(A)  
 Betonalter 3-5 Tage, zul. Rissbreite  $w_k = 0.40$  mm  
 Nachweis am Knoten, Ausgabe der Gesamtbewehrung (innen+außen)

Kn.	Dicke b	Zugkr. f <sub>xd</sub>	min. as <sub>x</sub>	vorh. as <sub>x</sub>	Zugkr. f <sub>yd</sub>	min. as <sub>y</sub>	vorh. as <sub>y</sub>
-	[m]	[kN/m]	[cm <sup>2</sup> /m]	[cm <sup>2</sup> /m]	[kN/m]	[cm <sup>2</sup> /m]	[cm <sup>2</sup> /m]
1	0.25	50.4	9.6 >	3.7	0.0	9.6 >	0.0
2	0.25	109.2	9.6 >	6.8	0.0	9.6 >	0.0
3	0.25	24.2	9.6 >	3.7	0.0	9.6 >	0.0
4	0.25	19.7	9.6 >	3.7	0.0	9.6 >	0.0
5	0.25	16.2	9.6 >	3.7	0.0	9.6 >	0.0
6	0.25	13.7	9.6 >	3.7	0.1	9.6 >	3.7
7	0.25	12.0	9.6 >	3.7	0.0	9.6 >	0.0
8	0.25	12.5	9.6 >	3.7	0.0	9.6 >	0.0
9	0.25	0.0	9.6 >	0.0	26.3	9.6 >	3.7
10	0.25	0.0	9.6 >	0.0	0.0	9.6 >	0.0
11	0.25	0.0	9.6 >	0.0	26.9	9.6 >	3.7

## 8. DRUCKAUSGABE

Da die Druckausgabe bei größeren Systemen sehr viele Seiten bedeutet, wird empfohlen, sie auf das Nötigste zu begrenzen. Das Eingabeecho dokumentiert die Eingabe (zur Sicherung der gesamten Eingabe können auch die Generierungsblöcke ausgedruckt werden), die Bemessung muss evtl. später ausgewertet werden (oder ist im Plot evtl. nicht zu erkennen, da die Blattgröße zu klein ist). Alle übrigen Ergebnisse können grafisch sehr viel kompakter und deutlicher dokumentiert werden.

Falls Schnittgrößen ausgedruckt werden sollen, muss entschieden werden, für welche Einwirkung die Ausgabe sinnvoll ist.

### 8.1 WIEDERGABE DER EINGABEDATEN

Nach oder während der Eingabe können die bisherigen Eingabedaten über den Drucker ausgegeben werden, nach dem Rechenlauf auch die Ergebnisse. Die Auswahl wird in drei Registerkarten dargestellt.

Um eine komprimierte Ausgabe zu ermöglichen, sind die meisten Eingabedaten wie z.B. Belastung, Randbedingungen, Generierungsdaten, Element-Knoten-Zuordnung und Knotenkoordinaten einzeln auszuwählen.

#### Eingabeecho kurz:

Globalwerte, Wiedergabe der Materialdaten, Bettungsgruppen, Zuweisung geänderter Material- und Bettungsgruppen, gedrehte Knoten, inaktive Elemente.

Die restlichen Daten können zusätzlich einzeln ausgewählt werden.

Bei der Belastung wird für jede Einwirkung die Lastsumme der eingegebenen und der vom Programm umgesetzten vertikalen Lasten ausgegeben. Hiermit kann überprüft werden, ob z.B. eine Last außerhalb des Systems definiert wurde. In der Lastsumme sind die Flächenlasten inaktiver Elemente nicht enthalten.



## 8.2 CHARAKTERISTISCHE SCHNITTGRÖSSEN

### Die Ausgabe von Ergebnissen

(Registerkarte Charakteristische Schnittgrößen) kann für jede Einwirkung gewählt werden. Bei feldweisem Lastansatz werden die Ergebnisse pro Einwirkung als maximale und minimale Schnittgrößen, sonst als Voll-Last ausgegeben. Die Ausgabe von Minimalwerten kann entweder aus Voll-Last oder aus minimalen Lasten gewählt werden (falls feldweiser Ansatz vorhanden).

Bemessungswerte Scheibe | Gebrauchsfähigkeit Scheibe

Eingabedaten | **Charakteristische Schnittgrößen** | Extremalwerte (charakteristisch)

**Wahl Schnittgröße**

- ☒ Auflagerkräfte
- ☒ Sohlkräfte/-spannungen Balken
- ☒ Elementschnittgrößen
- ☒ Knotenschnittgrößen
- ☒ Balkenschnittgrößen an den Knoten
- ☒ Verformungen (Voll-Last)

**Ausgabe für Einwirkung:**  
Anz. EW = 2  
  
Einwirkungs-Nummern durch KOMMA trennen oder mit Bindestrich Bereich angeben (z.B. 1,3,5-8).

Bei feldweisem Ansatz der Einwirkung werden für Element- und Knotenschnittgrößen die Werte für Voll-Last sowie die maximalen Zug- und Druckkräfte ausgegeben. Bei Balkenelementen werden die Größtwerte angezeigt.

### - Auflagerkräfte

Ausgabe für Knotenfesseln und -federn ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $M_z$ ), Druckkräfte sind dabei positiv definiert. Hier wird zusätzlich die Summe der Reaktionskräfte für Voll-Last ausgegeben.

CHARAKTERISTISCHE AUFLAGERKRÄFTE EINWIRKUNG 2/Q,A2									
Knoten	max.Fx	min.Fx	Fxvoll	max.Fy	min.Fy	Fyvoll	max.Mz	min.Mz	Mzvoll
-----	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
1	0	0	0	62	25	62	0	0	0
10	0	0	0	208	104	208	0	0	0
19	0	0	0	68	28	68	0	0	0
Voll-Last: Summe der Kräfte Fx =				0,	Fy =		337	kN	

### - Sohlkräfte Balken:

Ausgabe der Auflagerkräfte gebetteter Balkenelemente (Maximalwerte).

CHAR. AUFLAGERKRÄFTE GEBETTETER BALKEN EW 1/G								
Balken	Kn.i	Kn.j	max. sig	min.sig	sig voll	max.F	min.F	F voll
			[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN]	[kN]	[kN]
1	1	2	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
2	2	3	7.0	7.0	7.0	5.0	5.0	5.0
3	3	4	8.0	8.0	8.0	6.0	6.0	6.0
4	4	5	8.0	8.0	8.0	6.0	6.0	6.0
5	5	6	8.0	8.0	8.0	6.0	6.0	6.0
6	6	7	8.0	8.0	8.0	6.0	6.0	6.0

### - Elementschnittgrößen:

Ausgabe der Spannungen  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  und  $\tau_{xy}$  aus Voll-Last sowie der maximalen Zugkräfte  $f_x$  und  $f_y$  und minimalen der Betondruckkraft  $f_c$  in [kN/m²].

CHARAKTERISTISCHE ELEMENTSCHNITTLASTEN EINWIRKUNG 1/G							
Element-Nr	d [m]	sigma xv	sigma yv	tauv	max. fx	max. fy	min fc
				kN/m²			
1	0.25	-37.7	-90.9	34.9	0.0	0.0	-108.2
2	0.25	-7.8	9.0	6.4	0.0	14.2	-10.0
3	0.25	6.0	6.0	-3.8	9.8	9.8	2.1
4	0.25	9.2	2.7	-4.8	14.0	7.5	0.1
5	0.25	8.1	2.0	-6.0	14.1	8.0	-1.7
6	0.25	4.3	2.1	-8.2	12.5	10.3	-5.0
7	0.25	-3.1	1.9	-14.4	11.3	16.3	-15.3

#### - Knotenschnittgrößen:

Ausgabe der Spannungen  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  und  $\tau_{xy}$  aus Voll-Last sowie der maximalen Zugkräfte  $f_x$  und  $f_y$  und der minimalen Betondruckkraft  $f_c$  in  $[\text{kN/m}^2]$ . Die Werte werden als Mittel aus denen der angrenzenden Elemente berechnet.

CHARAKTERISTISCHE KNOTENSCHNITTLASTEN EINWIRKUNG 1/G							
Knoten- Nr	d [m]	sigma xv	sigma yv	tauv	max. fx	max. fy	min fc
		----- kN/m <sup>2</sup> -----					
1	0.25	-53.3	-172.3	30.9	0.0	0.0	-179.8
2	0.25	29.3	-33.1	12.1	33.7	0.0	-35.3
3	0.25	33.9	-9.4	-9.5	43.5	0.1	-11.4
4	0.25	25.6	-5.7	-6.6	32.3	1.0	-7.0
5	0.25	21.6	-4.6	-4.7	26.3	0.2	-5.4
6	0.25	18.4	-4.5	-4.1	22.2	0.0	-5.3

#### - Balkenschnittgrößen:

Ausgabe von  $M_b$  (Biegemoment in Balkenrichtung),  $M_t$  (Torsionsmoment) und  $Q$  (Querkraft) für den Anfangsknoten  $i$  und Endknoten  $j$ . Da alle Lasten (außer Flächenlasten der Scheibenelemente) in äquivalente Knotenlasten umgerechnet werden, ist der Verlauf von  $M_t$  und  $Q$  konstant, der von  $M_b$  linear.

CHARAKTERISTISCHE BALKENSCHNITTLASTEN VOLL-LAST EW 1/G								
Balken- Nr.	Knoten i	Knoten j	Mi [kNm]	Ni [kNm]	Qi [kN]	Mj [kNm]	Nj [kNm]	Qj [kN]
1	1	2	-2.0	9.0	-5.0	-8.0	9.0	-5.0
2	2	3	-4.0	12.0	2.0	-1.0	12.0	2.0
3	3	4	-1.0	11.0	0.0	-1.0	11.0	0.0
4	4	5	0.0	10.0	0.0	0.0	10.0	0.0
5	5	6	0.0	8.0	0.0	0.0	8.0	0.0
6	6	7	-1.0	7.0	0.0	0.0	7.0	0.0

#### - Verformungen:

Ausgabe der horizontalen Verformung  $w_x$  [m], der vertikalen Verformung  $w_y$  [m] und der Knotenverdrehung  $\varphi_z$  [rad] aus Voll-Last.

CHARAKTERISTISCHE VERFORMUNGEN VOLL-LAST EINWIRKUNG 1/G			
Knoten- Nr	fx [m]	fy [m]	phi z [1/rad]
1	0.0000E+00	0.0000E+00	1.3439E-05
2	-7.4539E-07	-1.2685E-05	5.7513E-06
3	-1.8010E-06	-1.6750E-05	1.6312E-06
4	-2.7516E-06	-1.8041E-05	5.3380E-07
5	-3.5805E-06	-1.8289E-05	-1.3805E-07
6	-4.2912E-06	-1.7719E-05	-7.5975E-07

### 8.3 EXTREMALWERTE (CHARAKTERISTISCH)

Falls die maximalen und minimalen charakteristischen Auflagerkräfte benötigt werden (z.B. für eine Position nach dem Globalsicherheitskonzept), können hier die Auflagerkräfte/Sohlkräfte ausgewählt werden. Alle Einwirkungen werden mit einfacher Größe berücksichtigt. Die Ausgabe erfolgt analog zum vorigen Kapitel.

Bemessungswerte Scheibe | Gebrauchsfähigkeit Scheibe |  
Eingabedaten | Charakteristische Schnittgrößen | Extremalwerte (charakteristisch)

**Extremalgrößen (charakteristisch)**

☐ Extremale Auflagerkräfte  
☐ Extremale Sohlkräfte/-spannungen Balken

### 8.4 BEMESSUNGSWERTE SCHEIBE

Alle Extremal- und Bemessungswerte werden aus Einwirkungskombinationen bestimmt, bei denen die entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerte und Kombinationsbeiwerte berücksichtigt wurden.

Alle Werte werden aus den Kombinationen der Tragfähigkeit bestimmt.

Die Überlagerung der Bewehrung kann vom Benutzer bestimmt werden: Zusätzlich zum Größtwert aus erforderlicher und gewählter Bewehrung kann die Mindestbewehrung aus Last oder Zwang berücksichtigt werden, solange der Nachweis zuvor auch geführt wurde.

Eingabedaten | Charakteristische Schnittgrößen | Extremalwerte (charakteristisch) |  
Bemessungswerte Scheibe | Gebrauchsfähigkeit Scheibe |

**Bemessungsgrößen Scheibe (Design)**

☒ Extremale Auflagerkräfte  
☒ erf. as Scheibe am Knoten  
☒ Überlagerung der Bewehrung  
aus erf.as, gew.as + ☒ min.as (Last) + ☐ min.as (Zwang)

#### - Extremale Auflagerkräfte:

Die Bemessungsaullagerkräfte für Knotenfesseln und –federn ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $M_z$ ) werden hier ausgegeben.

EXTREMALE AUFLAGERKRÄFTE BEMESSUNG (DESIGN, $v = \text{voll-Last}$ )									
Knoten	max.Fxd [kN]	min.Fxd [kN]	Fxvd [kN]	max.Fyd [kN]	min.Fyd [kN]	Fyvd [kN]	max.Mzd [kNm]	min.Mzd [kNm]	Mzvd [kNm]
1	0	0	0	67	15	21	0	0	0
10	0	0	0	235	54	73	0	0	0
19	0	0	0	73	17	23	0	0	0

#### - Erforderliche Bewehrung Scheibenelemente:

Ausgabe der Bemessungsgrößen und der erforderlichen Bewehrung. Ein Nachweis der Aufnahme der Betondruckspannungen wird nicht geführt, da i.Allg. ein Knicksicherheitsnachweis maßgebend ist. Überschreitet an einem Knoten/Element der Bemessungswert der Betondruckspannung den zul. Widerstandwert, so erhält der Wert die Kennzeichnung '\*!'.

#### Hinweis:

Die angegebene Bewehrung ist die Gesamtbewehrung und ist symmetrisch auf die beiden Seiten zu verteilen!

SCHEIBENBEMESSUNG ERF. GES. AS AM KNOTEN (Beton C 20/25 BSt 500M(A))							
Knoten	d [m]	max. fxd [kN/m]	erf. asx [cm <sup>2</sup> /m]	max. fyd [kN/m]	erf. asy [cm <sup>2</sup> /m]	Betondrucksp. min.fcd [kN/m <sup>2</sup> ]	Ri.fc [°]
1	0.25	0.0	0.00	0.0	0.00	-98.6	-78.0
2	0.25	17.6	3.75	0.0	0.00	-112.9	-82.5
3	0.25	19.4	3.75	0.0	0.00	-21.2	73.2
4	0.25	8.2	3.75	0.0	0.00	-77.6	79.5
5	0.25	6.4	3.75	0.0	0.00	-18.5	84.4
6	0.25	5.6	3.75	0.0	0.00	-18.3	87.5

- **Überlagerung der Bewehrung:**

Für die Bewehrung können die Maximalwerte ausgegeben werden, wobei die Größtwerte aus erf. as und gew. as noch ergänzt werden können durch diejenigen der Mindestbewehrung aus Last- bzw. Zwangsbeanspruchung (nur diejenigen Nachweise, die auch aktiviert wurden, werden dabei angeboten).

**BEMESSUNG SCHEIBENELEMENTE: ÜBERLAGERUNG DER BEWEHRUNG**

Größtwert aus erf.as/gew.as, min.as (Last)  
 Betongüte C 20/25 Stahlgüte Bst 500M(A)  
 Betonalter Last 28 Tage, Zwang = 3-5 Tage, zul. Rissbreite wk = 0.40 mm  
 Nachweis am Knoten, Ausgabe der Gesamtbewehrung (innen+außen)

Kn.	Dicke b [m]	max. asx [cm <sup>2</sup> /m]	max. asy [cm <sup>2</sup> /m]
1	0.250	0.0	0.0
2	0.250	6.4	0.0
3	0.250	6.4	0.0
4	0.250	6.4	0.0
5	0.250	6.4	0.0
6	0.250	6.4	0.0
7	0.250	6.4	0.0
8	0.250	6.4	0.0

## 8.5 GEBRAUCHSFÄHIGKEIT SCHEIBE

In dieser Registerkarte können Ausgaben zum Nachweis der Gebrauchsfähigkeit gewählt werden.

Für die Ausgaben der Rissnachweise sind nur diejenigen Nachweise aktiv, die im Dialog 'Gebrauchsfähigkeit' auch gewählt wurden.

Eingabedaten | Charakteristische Schnittgrößen | Extremalwerte (charakteristisch) | Bemessungswerte Scheibe | **Gebrauchsfähigkeit Scheibe**

**Ausgaben für quasi-ständige Einwirkungskombination**

Nachweis der Verformungen:  
☒ Verformungen elastisch      Ausgabe Verformungen für: ungünstigsten Knoten  
ungünstigsten Knoten  
jedes Feld  
jeden Knoten

Rissebeschränkung nach DIN 1045-1, 11.2  
☒ Nachweis zul.ds / zul.s      Ausgabe Nachweis für: jedes Element/Knoten

☒ Mindestbewehrung aus Lastbeanspruchung (zentr. Zwang)  
☐ Mindestbewehrung aus Zwangsbeanspruchung (zentr. Zwang)

**Elastische Verformungen:**

Für die Verformungen kann gewählt werden, ob die Ausgabe für jeden Knoten, jedes Feld oder nur für den Knoten mit der größten Verformung erfolgen soll. Letztere Option wird dabei immer ausgegeben. Es werden die Verformungen in x- und y-Richtung  $w_{xd}$ ,  $w_{yd}$ , die resultierende Verformung  $w_{resd}$  und die Knotenverdrehung  $\varphi_{zd}$  ausgegeben.

**MAXIMALE VERFORMUNGEN PRO FELD AUS QUASI-STÄNDIGER EINWIRKUNGSKOMBINATION**

Feld-Nr.	Knoten-Nr.	wresd [m]	wxd [m]	wyd [m]	phi zd [1/rad]
1	119	1.8074E-05	-3.5641E-06	-1.7719E-05	-9.3672E-08
2	149	1.8314E-05	-3.0747E-06	-1.8054E-05	-1.4307E-07

**MAXIMALE VERFORMUNG GESAMTSYSTEM AUS QUASI-STÄNDIGER EINWIRKUNGSKOMBINATION**

Knoten-Nr.	wresd [m]	wxd [m]	wyd [m]	phi zd [1/rad]
149	1.8314E-05	-3.0747E-06	-1.8054E-05	-1.4307E-07

**Hinweis:**

Ein Nachweis der Verformungen im Zustand II ist i.Allg. nicht erforderlich.

- **Nachweis der zulässigen Stabdurchmesser und der Abstände:**

Auch hier kann gewählt werden, ob die Ausgabe für jeden Knoten, jedes Feld oder nur für den Knoten/das Element mit der größten Verformung erfolgen soll. Letztere Option wird dabei immer ausgegeben.

NACHWEIS DER RISSBREITE NACH DIN 1045-1, 11.2.3										
Betongüte C 20/25    Stahlgüte BSt 500M(A)										
Betonalter 28 Tage, zulässige Rissbreite $w_k = 0.4 \text{ mm}$										
Nachweis im Elementschwerpunkt										
Schnittgrößen aus quasi-ständiger EW-Kombination										
UNGÜNSTIGSTE WERTE FELDER										
Feld	El.	sigxd	asx	zul.dsx	zul.sx	Kn.	sigyd	asy	zul.dsy	zul.sy
-	-	[kN/m]	[cm <sup>2</sup> /m]	[mm]	[cm]	-	[kN/m]	[cm <sup>2</sup> /m]	[mm]	[cm]
1	9	10.7	3.7	56.3	30.0	63	0.0	0.0	56.3	30.0
2	65	3.9	3.7	56.3	30.0	113	0.1	3.7	56.3	30.0
UNGÜNSTIGSTER WERT DER GESAMTEN SCHEIBE										
El.	sigxd	asx	zul.dsx	zul.sx	Kn.	sigyd	asy	zul.dsy	zul.sy	
-	[kN/m]	[cm <sup>2</sup> /m]	[mm]	[cm]	-	[kN/m]	[cm <sup>2</sup> /m]	[mm]	[cm]	
9	10.7	3.7	56.3	30.0	113	0.1	3.7	56.3	30.0	

**Hinweis:**

Ob die Ausgabe am Knoten oder im Element erfolgt, wird im Rissnachweis selbst festgelegt.

- **Mindestbewehrung aus Lastbeanspruchung oder innerem Zwang:**

s. Kapitel '[Nachweis der Gebrauchsfähigkeit](#)'.

## 9. GRAFIK-AUSGABE

Hier kann die Auswahl der zu zeichnenden Ausgabedaten getroffen werden. In 7 Registerkarten ist die Auswahl übersichtlich geordnet. Die Auswahl erfolgt entweder für den Drucker/Plotter (die endgültige Auswahl) oder für die Grafik-Vorschau während der Bearbeitung. Diese Aufteilung hat den Vorteil, dass die vom Benutzer eingestellte, übliche Auswahl für die Statik nicht von einer Auswahl überschrieben wird, die beispielsweise nur zum Testen benötigt wird. Eine Schaltfläche (s.u.) erleichtert die Übernahme der Auswahl aus der Vorschau oder aus Zeichnen/Drucken.

**Hinweis:** Bei allen 2D-Plots ist es möglich, den CAD-Grundriss zu unterlegen!

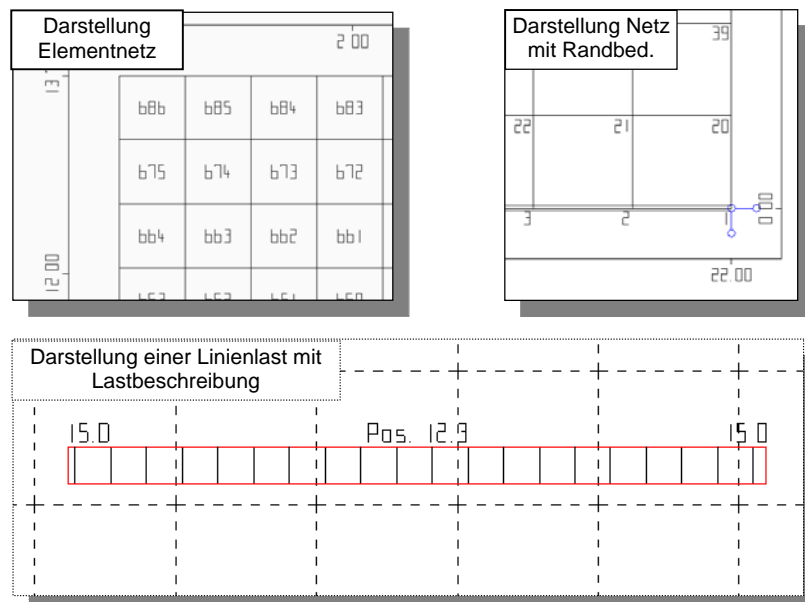
### 9.1 ELEMENTNETZE / BELASTUNG: WIEDERGABE DER EINGABEDATEN

Die meisten der Eingabedaten können übersichtlich und platzsparend auch als Plot über Drucker oder Bildschirm ausgegeben werden: Netzdarstellungen mit Materialzuordnung, Randbedingungen, den definierten Feldern sowie der Belastung sind möglich.

Die Zeichnungen der Elementnetze können jeweils mit Knoten- und/oder Elementnummern ausgeführt werden. Bei großen Systemen ist es schwierig, in einer Zeichnung Knoten- und Elementnummern zu unterscheiden. Deshalb wird empfohlen, beim Netzplot die Elementnummern und beim Plot der Randbedingungen die Knotennummern auszugeben. Sind nur gleichmäßig verteilte Lasten vorhanden, kann auf eine Darstellung der Belastung verzichtet werden, bei Punkt- und Linienlasten ist die Plotausgabe u.U. sinnvoll.

Bei der Lastausgabe können zusätzlich die Randbedingungen dargestellt werden.

Für die Darstellung der Flächenlasten kann zur Verdeutlichung eine Flächenfüllung gewählt werden. Einzel- und Linienlasten können entweder mit der Lastgröße oder/und der Lastbeschreibung ausgegeben werden. Mit der Lastbeschreibung kann auch in der Grafik die Herkunft der Belastung dokumentiert werden.



## 9.2 CHARAKTERISTISCHE SCHNITTGRÖSSEN

Neben der Wahl der Darstellung eines gestrichelten Elementnetzes zusätzlich zur Zeichnung der Randlinien des Netzes werden diejenigen Einwirkungen angegeben, für die die Ausgabe gewünscht ist. Alle Ausgaben werden zweidimensional dargestellt.

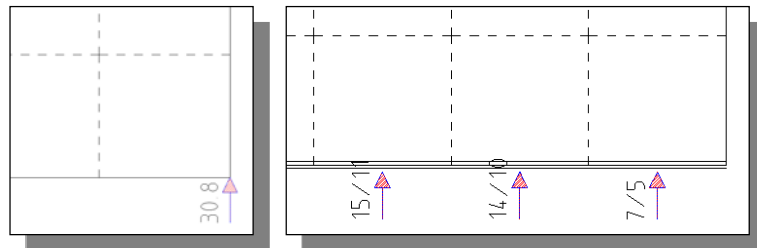
Bei Zeichnungen mit Höhenliniendarstellung (Einzelspannungen) werden negative Höhenlinien gestrichelt dargestellt. Darüber hinaus kann eine farbige Flächenfüllung gewählt werden.

Bei der Spannungsausgabe können zusätzlich die Randbedingungen mit dargestellt werden.

Bemessung Scheibe	Gebrauchsfähigkeit	Grafik-Einstellungen
Elementnetze/Belastung	Charakt. Schnittgrößen	Extremalgrößen (charakt.)
<b>Wahl Schnittgrößen</b>		
<input checked="" type="checkbox"/> Auflagerkräfte (auch Sohlkräfte Balken) <input type="checkbox"/> Sohlspannungen Balken <input type="checkbox"/> Hauptspannungen <input checked="" type="checkbox"/> Spannungen sigma x <input type="checkbox"/> Spannungen sigma y <input type="checkbox"/> Schubspannungen tau <input checked="" type="checkbox"/> Grafik Einzelspannungen mit Füllflächen <input checked="" type="checkbox"/> Plot Spannungen mit Darstellung der Auflager	Ausgabe gestr. Netz <input checked="" type="checkbox"/>	Ausgabe Knoten-Nm <input type="checkbox"/>
<b>Ausgabe für Einwirkungen:</b> Anz. EW = 2 1-2 Einwirkungs-Nummern durch KOMMA trennen oder mit Bindestrich Bereich angeben (z.B. 1,3,5-8). Bei feldweisem Ansatz der EW: Für die Auflagerkräfte werden maximale Werte sowie entweder minimale oder die aus Voll-Last ausgegeben. Schnittgrößen werden für Voll-Last ausgegeben.		
<b>Auflagerkräfte (Minimalkräfte)</b> <input checked="" type="radio"/> Ausgabe minimale Kräfte aus Extremalwerten <input type="radio"/> Ausgabe minimale Kräfte aus Voll-Last <input type="radio"/> Keine Ausgabe minimaler Kräfte		
<input type="checkbox"/> Plots mit CAD-Grundriss		

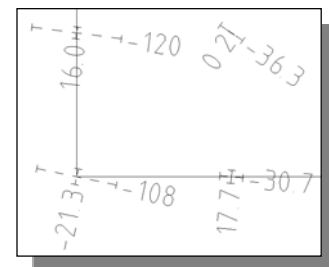
### - Auflagerkräfte / Sohlspannungen:

Auflagerkräfte werden in Pfeilform dargestellt. Bei gebetteten Balkenelementen wird die Sohlspannung und die Sohlkraft angegeben. Für die Ausgabe der Auflagerkräfte kann gewählt werden, ob als minimale Kräfte die tatsächlichen Minimalwerte, ob die Werte aus Voll-Last oder keine minimalen Auflagerkräfte ausgegeben werden sollen.



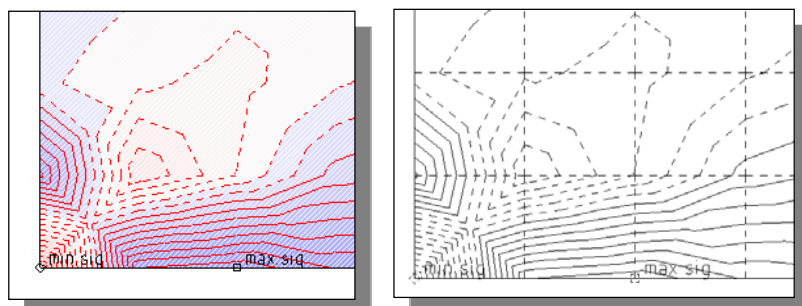
### - Hauptspannungen:

Die Hauptspannungen  $\sigma_1/\sigma_2$  werden in Kreuzdarstellung gezeichnet, wobei negative Werte gestrichelt werden.



### - Einzelspannungen:

Die Ausgabe der Spannungen  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  und  $\tau_{xy}$  wird in Höhenliniendarstellung ausgeführt. Dabei werden Maximal- und Minimalwerte gekennzeichnet.





### 9.3 EXTREMALGRÖSSEN CHARAKTERISTISCH

Auflagerkräfte und Sohlspannungen von Balkenelementen können wie die Ergebnisse für die einzelnen Einwirkungen als Maximalwerte ausgegeben werden. Die Anteile aus den Einwirkungen gehen 1-fach ein.

Für die Ausgabe der Auflagerkräfte kann gewählt werden, ob als minimale Kräfte die tatsächlichen Minimalwerte, ob die Werte aus Voll-Last oder keine minimalen Auflagerkräfte ausgegeben werden sollen.

### 9.4 EXTREMALGRÖSSEN DESIGN

Auflagerkräfte und Sohlspannungen von Balkenelementen können wie die Ergebnisse für die einzelnen Einwirkungen als Maximalwerte ausgegeben werden. Die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte sind hierbei berücksichtigt.

Für die Ausgabe der Auflagerkräfte kann gewählt werden, ob als minimale Kräfte die tatsächlichen Minimalwerte, ob die Werte aus Voll-Last oder keine minimale Auflagerkräfte ausgegeben werden sollen.

### 9.5 BEMESSUNG SCHEIBE

Alle Ausgaben werden durch Zahlenangaben dargestellt. Bei der erforderlichen Bewehrung und der Überlagerung kann eine Grundbewehrung angegeben werden, wobei dann die Differenz in der Grafik dargestellt wird, was einen schnellen Überblick ermöglicht, wo noch Zulagen erforderlich sind.

Die Überlagerung der Bewehrung kann vom Benutzer bestimmt werden:

Mindestbewehrung aus Last oder Zwang kann berücksichtigt werden, solange der Nachweis zuvor auch geführt wurde.

Zur Verdeutlichung kann zusätzlich eine farbige Flächenfüllung gewählt werden. Bei der Ausgabe können zusätzlich die Randbedingungen mit dargestellt werden.

#### Hinweis:

Überschreitet an einem Knoten/Element der Bemessungswert der Betondruckspannung den zul. Widerstandswert, so erhält der Wert die Kennzeichnung '\*'.



## 9.6 GEBRAUCHSFÄHIGKEIT

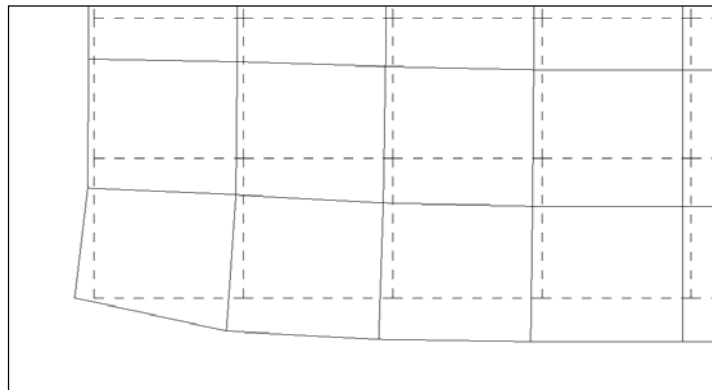
Hier kann die elastische Verformung des Systems dargestellt werden. Die Größe der Verformung ergibt sich aus der quasi-ständigen Einwirkungskombination.

**Verformungen**

- ☒ Verformungen (elastisch)
  - ☒ mit gestricheltem Netz
  - ☐ Plots mit CAD-Grundriss
  - ☒ mit Darstellung der Auflager

Zur Verdeutlichung wird das unverformte Netz immer dargestellt.

Bei der Ausgabe können zusätzlich die Randbedingungen mit dargestellt werden.



## 9.7 GRAFIK-EINSTELLUNGEN

Diese Registerkarte dient dazu, Einstellungen für die Grafik-Ausgabe zu treffen, wie die gewählten Zeichnungen auf welchem Ausgabegerät dargestellt werden sollen.

Hierbei sind drei verschiedene Einstellungen zu treffen:

- Einstellungen für die Druckausgabe. Diese Ausgabe ist auf DIN A4 beschränkt, da sie mit der alphanumerischen Ausgabe gekoppelt werden kann (Zeichnungen werden an die Druckausgabe angehängt). Diese Ausgabe wird im Navigator in der Druckausgabe unter der Option 'Drucken' gewählt.
- Einstellungen für die Ausgabe über Plotter. Bei dieser Ausgabe kann die Blattgröße gewählt werden (DIN-Format). Diese Ausgabe wird im Navigator in der Druckausgabe unter der Option 'Zeichnen' gewählt.
- Einstellungen für die Vorschau-Ausgabe am Bildschirm. Bei dieser Ausgabe kann ebenfalls die Blattgröße gewählt werden (DIN-Format).

☐ Zeichnen  
☒ Drucken  
☐ Drucken Kurzstatik

☒ Positionen  
☒ Text  
☒ Systembilder  
☐ Detailbilder  
☐ Anlagen

☒ Zeichnen  
☐ Drucken  
☐ Drucken Kurzstatik

☒ Positionen  
☒ Text

Für alle Arten der Grafik-Ausgabe sind die dargestellten Eingaben erforderlich:

Das Programm rechnet für das angegebene Blattformat den maximal möglichen Maßstab für die Zeichnungen aus.

Neben dem Maßstab können Blattgröße (nur für Einstellungen Zeichnen/Vorschau, s.o.) und Liniengruppe gewählt werden (bei der Zeichnungsausgabe von FESS-Daten wird die im Navigator gewählte Liniengruppe ignoriert!).

Elementnetze/Belastung	Charakt. Schnittgrößen	Extremalgrößen (charakt.)	Extremalgrößen (Design)																								
Bemessung Scheibe   Gebrauchsfähigkeit   Grafik-Einstellungen																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Art der Ausgabe</th> <th>Drucken</th> <th>Zeichnen</th> <th>Vorschau</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Blattgröße</td> <td>A4</td> <td>A3</td> <td>A2</td> </tr> <tr> <td>Liniengruppe</td> <td>0.25</td> <td>0.35</td> <td>0.50</td> </tr> <tr> <td>Liniengruppen</td> <td>0.13/0.18/0.25</td> <td>0.18/0.25/0.35</td> <td>0.25/0.35/0.50</td> </tr> <tr> <td>max. möglicher Maßstab M = 1:</td> <td>96</td> <td>61</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>gewählter Maßstab M = 1:</td> <td>108</td> <td>62</td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table>				Art der Ausgabe	Drucken	Zeichnen	Vorschau	Blattgröße	A4	A3	A2	Liniengruppe	0.25	0.35	0.50	Liniengruppen	0.13/0.18/0.25	0.18/0.25/0.35	0.25/0.35/0.50	max. möglicher Maßstab M = 1:	96	61	42	gewählter Maßstab M = 1:	108	62	50
Art der Ausgabe	Drucken	Zeichnen	Vorschau																								
Blattgröße	A4	A3	A2																								
Liniengruppe	0.25	0.35	0.50																								
Liniengruppen	0.13/0.18/0.25	0.18/0.25/0.35	0.25/0.35/0.50																								
max. möglicher Maßstab M = 1:	96	61	42																								
gewählter Maßstab M = 1:	108	62	50																								
<p>Drucken: Im Navigator Ausgabe über 'Drucken'. Einstellungen für Grafikausgabe mit Formulartext (A4).</p> <p>Zeichnen: Im Navigator Ausgabe über 'Zeichnen'. Einstellungen für gesonderte Grafikausgabe in gewählter Blattgröße.</p> <p>Vorschau: Einstellungen für Grafikausgabe als direkte Vorschau in gewählter Blattgröße.</p>																											