



Seite erweitert November 2025

• Kontakt

• Programmübersicht

• Bestelltext

**Infos auf dieser Seite**[... als pdf](#) 

- |                                 |  |                                       |  |  |  |
|---------------------------------|--|---------------------------------------|--|--|--|
| • Nachweistypen .....           |  | • allg. Bem.-Opt. Flächenträger ..... |  | • Bem.-Opt. EC 2 Stabträger .....            |  |
| • Verwaltung Einwirkungen ..... |  | • Bem.-Opt. EC 2 Flächenträger .....  |  | • Bem.-Opt. allg. Spannungsnw. .....         |  |
| • Verwaltung Nachweise .....    |  | • allg. Bem.-Opt. Stabträger .....    |  | • <b>Platten-/Faltwerkber. Zust. 2</b> ..... |  |
|                                 |  |                                       |  | • glob. Einstellg. Brückenbau .....          |  |

Die grafische Eingabe eines Platten-/Scheibentragwerks gliedert sich in die fünf logischen Eingabekapitel

- **Modellierung**
- Bildung des statischen **Systems**
- Festlegung der **Belastung**
- **und der zu führenden Nachweise**,
- sowie die Kontroll- und **Steuerungsfunktionen**

**Nachweistypen**

Das Programm 4H-ALFA, Platte / Scheibe / Faltwerk, verfügt über folgende vordefinierte Stahlbeton nachweistypen

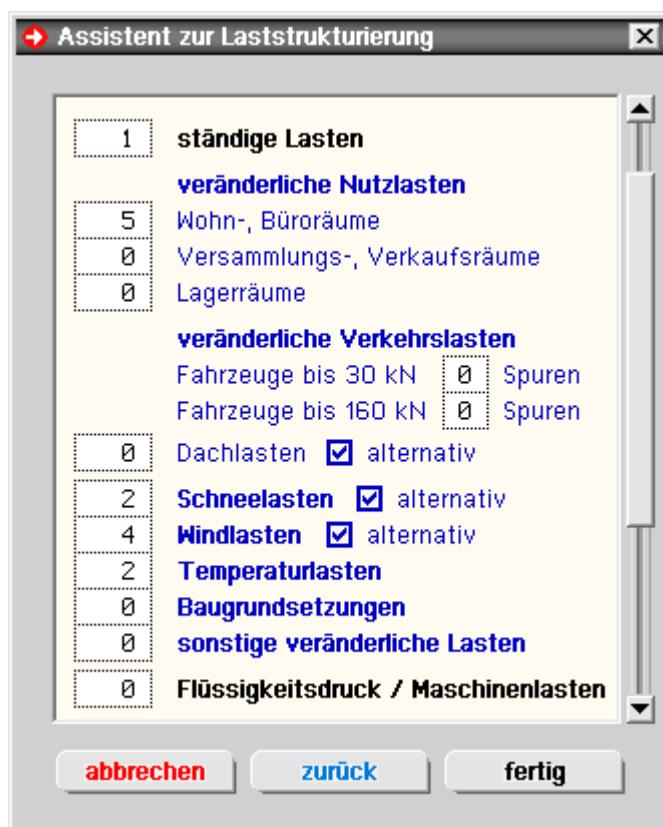
- **Bemessung** Eurocode 2 ... für **Flächenträger** und **Stabträger**
- **Spannungsnachweis** Eurocode 2 ... für **Flächenträger** und **Stabträger**
- **Rissnachweis** Eurocode 2 ... für **Flächenträger** und **Stabträger**
- **Ermüdungsnachweis** Eurocode 2 ... für **Flächenträger** und **Stabträger**
- **Dichtigkeitsnachweis** Eurocode 2 ... für **Flächenträger**

Zum Zwecke der Nachberechnung stehen weiterhin auch die nationalen Vorgängernormen zur Verfügung, die hier nicht näher beschrieben werden; s. hierzu Online-Hilfe in der grafischen Eingabe.

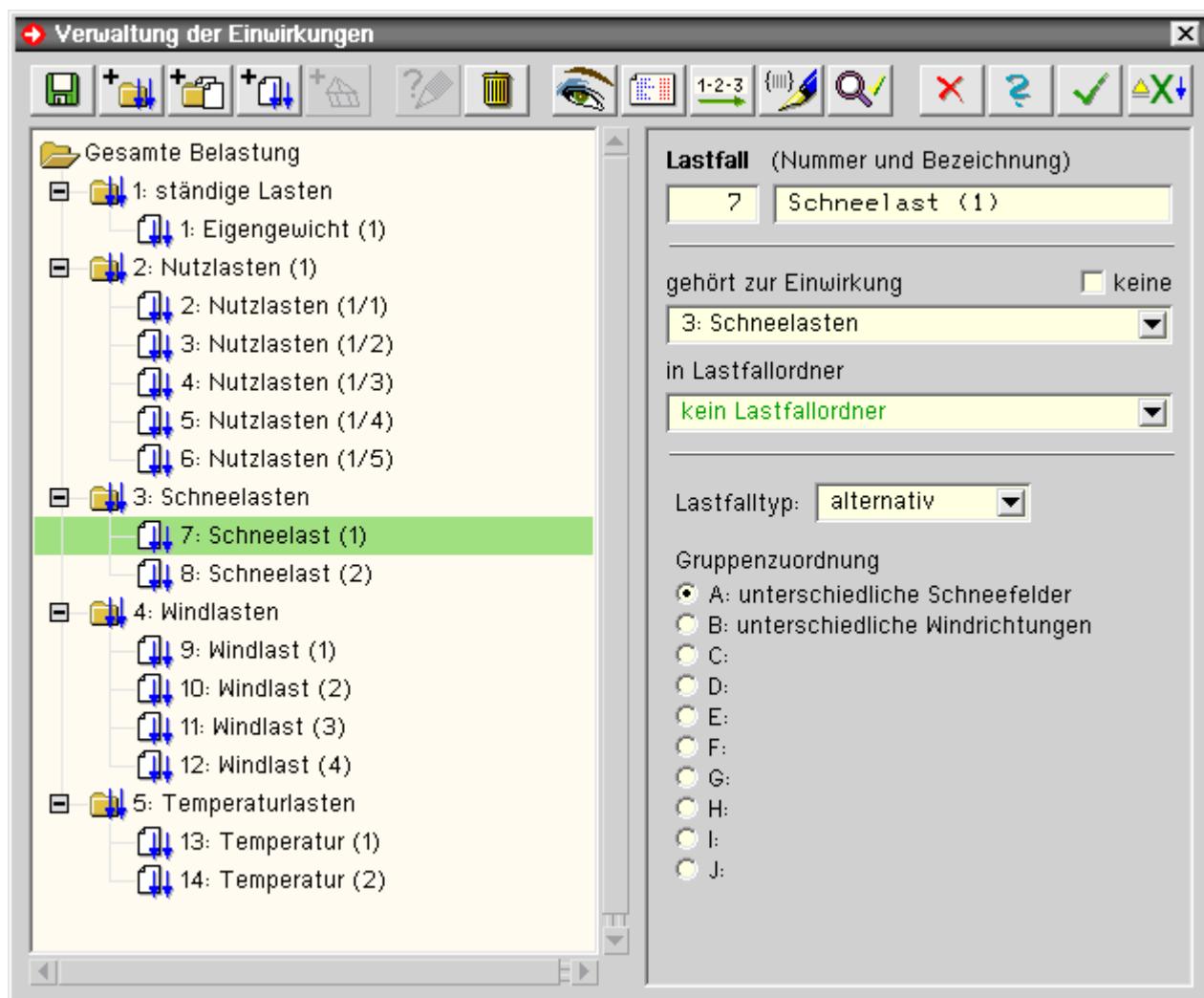
- Bemessung DIN 1045-1
- Spannungsnachweis DIN 1045-1
- Rissnachweis DIN 1045-1
- Ermüdungsnachweis DIN 1045-1
- Dichtigkeitsnachweis DIN 1045-1
- Bemessung DIN 1045
- Rissnachweis DIN 1045
- Schwingbreitennachweis DIN 1045

**Verwaltung der Einwirkungen**

Vor der Belastungseingabe wird die Struktur der Einwirkungen und Lastfälle bestimmt. Hierzu steht ein Assistent zur Verfügung, der die Anzahl der unterschiedlichen Lasttypen aufnimmt und in die Einwirkungsstruktur umsetzt.



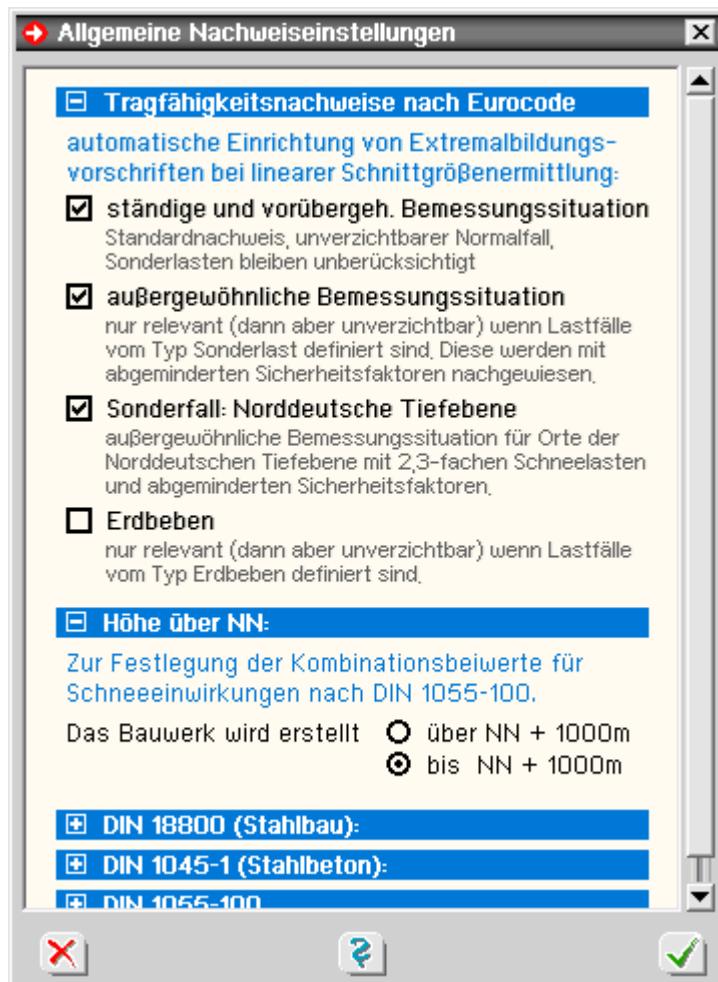
Mit den Angaben des Assistenten werden die Lastfälle den Einwirkungen zugewiesen. Den Einwirkungen sind wiederum Lastkombinations- und Teilsicherheitsbeiwerte zugeordnet, die eine Überlagerungsautomatik innerhalb der Nachweisstruktur ermöglichen.



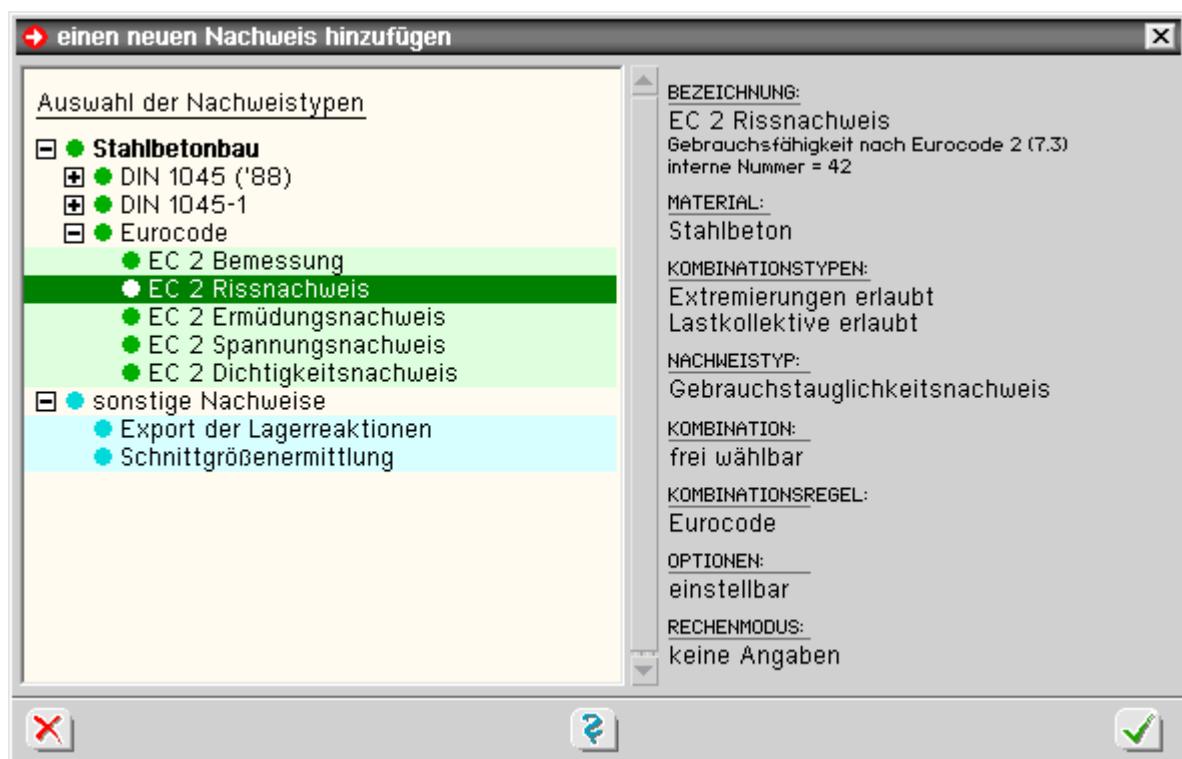
Den nun erzeugten Lastfällen können innerhalb der Lastfallfolien Lastbilder zugewiesen werden.

### Verwaltung der Nachweise

Auch in der Verwaltung der Nachweise steht ein Assistent bereit, über den die automatische Einrichtung der Extrembildungsvorschriften gesteuert wird.



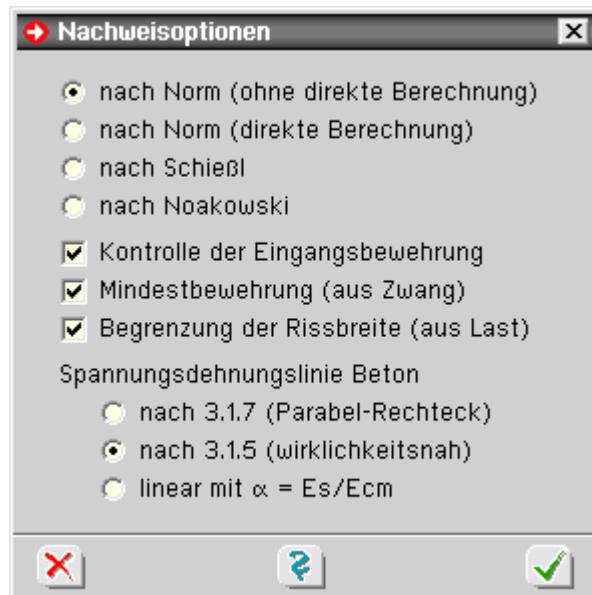
Anschließend werden die erforderlichen Bemessungen und Nachweise erzeugt.



Nach Beendigung des Einrichtungsvorgangs stehen die Nachweise mit den automatisch zugewiesenen Überlagerungsvorschriften und deren Sicherheitsbeiwerten zur Ausführung bereit.

Den Nachweisen können spezielle Optionen, wie der Nachweis zu führen ist, zugewiesen werden.

Diese Optionen können wiederum durch den Positionen und Stäben individuell zugewiesenen Anweisungen übersteuert werden (s.u.).



### allgemeine Bemessungsoptionen Flächenträger

Nachdem festgelegt wurde, dass die Position bemessen werden soll, können alle weiteren Bemessungsparameter bearbeitet werden.

**Die Position soll bemessen werden**

maximaler Bewehrungsgrad: max  $\mu$   %

Schnittgrößentransformation nach

Bewehrungsanordnung

Bewehrungsrichtungen

**Randabstände**

-1-	-2-
z- <input type="text" value="3.5"/>	<input type="text" value="4.5"/> cm
z+ <input type="text" value="3.5"/>	<input type="text" value="4.5"/> cm

**Grundbewehrung**

-1-	-2-
z- <input type="text" value="5.24"/>	<input type="text" value="5.24"/> $\text{cm}^2/\text{m}$
z+ <input type="text" value="5.24"/>	<input type="text" value="5.24"/> $\text{cm}^2/\text{m}$

In diesem Registerblatt gehören zu den Bemessungsparametern

- **maximaler Bewehrungsgrad:** Programmintern erfolgt sowohl für jeden Nachweis als auch für das Gesamtergebnis eine Überprüfung des maximalen Bewehrungsgrades.
- **Transformation der Schnittgrößen:** Alle Bemessungsverfahren erfordern die Transformation der kartesischen Schnittgrößen in die jeweilige Bewehrungsrichtung.  
Die Transformation der Schnittgrößen aus der FEM-Rechnung erfolgt für Faltwerke nach Thürlmann, für Platten und Scheiben können auch die Verfahren nach Baumann oder EC 2 (6.92) gewählt werden.
- **Bewehrungsanordnung:** Aus konstruktiven Gründen kann es sinnvoll sein, in einer Flächenposition oben und unten je Bewehrungsrichtung dieselbe Bewehrung einzulegen.  
In diesem Fall ist die **symmetrische** Bewehrungsanordnung auszuwählen, während die **Zugbewehrung** stets die minimale Bewehrung ermittelt.
- **Bewehrungsrichtungen:** Es kann zwischen **orthogonalem**, **radialsymmetrischem** und **schiefwinkligem**

Bewehrungsgitter gewählt werden, wobei obere und untere Lage die gleichen Richtungen aufweisen.

Das orthogonale Gitter kann um den Winkel  $\alpha$  (Bewehrungsrichtung 1: positiv von x nach y drehend) von der x-Richtung abweichen, während beim schiefwinkligen Gitter zusätzlich der Winkel  $\beta$  von Bewehrungsrichtung 1 zur Bewehrungsrichtung 2 angegeben werden kann.

Für die radialsymmetrische Bewehrung ist der Ursprung mit  $x_0, y_0$  anzugeben (Bewehrungsrichtung 1: radial, Bewehrungsrichtung 2: tangential).

- **Randabstände:** Je Bewehrungsrichtung sind die Stahlrandabstände (Abstand vom Betonrand zum Schwerpunkt der Stahleinlagen) oben und unten festzulegen.
- **Grundbewehrung:** Je Bewehrungsrichtung und -lage kann eine Grundbewehrung vorgegeben werden, die mit der erforderlichen Bewehrung aus den Nachweisergebnissen extremiert wird bzw. als Eingangsbewehrung in die Nachweise eingeht.

## Bemessungsoptionen Eurocode 2 Flächenträger

Das Registerblatt behandelt die Parameter für Nachweise nach DIN EN 1992-1-1, Eurocode 2.

### Material

**Nachweise nach EC 2**

Betongüte entspr. Materialdaten

**Betongüte** C20/25

Kriechen und Schwinden (nur für Nachweise im GZG)

$\varphi(\infty, t_{0k})$	3.377	<input type="checkbox"/> $\varphi(\infty, t_{0k})$ berechnen
$\epsilon_{cs,\infty}$	-0.527	<input type="checkbox"/> $\epsilon_{cs,\infty}$ berechnen

**Längsbewehrung** B500

Expositionsklasse ohne Einfluss auf die Bemessung

In Auswahlboxen werden die möglichen Beton- und Betonstahlsorten (Stabstahl für Biegebemessung und Nachweise, Bügel für Schubbemessung) angeboten.

Um eine Korrespondenz zu dem der Schnittgrößenermittlung zugrunde liegenden Material zu erhalten, können Betongüte und Rohdichte aus dem Materialeigenschaftsblatt der Berechnung übernommen werden.

Für Biegebemessung und Schubbemessung können unterschiedliche Stahlgüten angewählt werden.

Außerdem kann eine Bemessung für benutzerdefinierte (**freie**) Materialien erfolgen. Dazu sind die benötigten Grenzwerte zur Beschreibung der Spannungsdehnungslinien anzugeben.

Bei Verformungsberechnungen (Spannungsermittlung bei den Nachweisen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit) werden bei Bedarf die eingegebenen Kriech- und Schwindbeiwerte berücksichtigt.

Die Angabe einer Expositionsklasse des Bauteils hat keinen Einfluss auf das Bemessungsergebnis, sondern dient lediglich der Information im Statikdokument.

### Biegebemessung

**Biegebemessung**

**Mindestbewehrung** für Platte/Wand  gemäß EC 2, 9.2.1.1 und 9.6.2

für -2-  Bewehrungsrichtung

**Querbewehrung** 0.20 \*  $A_s$ ,Hauptbewehrung

Bei der Berücksichtigung der Mindestbewehrung ist zu beachten, ob es sich um ein überwiegend biegebeanspruchtes Bauteil oder eine Wand (hauptsächlich auf Druck beanspruchtes flächenhaftes Bauteil) handelt!

Für Wände (hauptsächlich auf Druck beanspruchte flächenhafte Bauteile) wird eine Mindestbewehrung nur für die lotrechte Bewehrung gefordert. Diese Bewehrungsrichtung ist dem Programm vorzugeben.

Optional kann eine Querbewehrung in prozentualer Abhängigkeit der Hauptbewehrung ermittelt werden.

Sind bei Biegegliedern sowohl Querbewehrung als auch Mindestbewehrung aktiviert, wird nur für die Hauptbewehrungsrichtung die Mindestbewehrung angesetzt.

Der Hauptdruckspannungsnachweis (nur 4H-ALFA-Scheibe) wird für die maximale Betondruckkraft (aus der Transformation) geführt. S. Nachweis der schiefen **Hauptdruckspannungen**.

## Schubbemessung

**Schubbemessung**

**Schubbewehrung**

OHNE Mindestbewehrung      gemäß EC 2, 9.3.2(2)

Schubbewehrung vermeiden

innerer Hebelarm       $z$  aus Biegebemessung  
 $z = 0.9 d \leq d - 2 c_{v,D}$       s. Nachweisoptionen  
 $z$  aus Biegebemessung  $\leq d - 2 c_{v,D}$   
mit  $c_{v,D}$   cm      Betondeckung zur Druckbew. ( $c_{v,D} > 0$ )

Druckstrebenwinkel  minimiert       vereinfacht  
 °

Bewehrungswinkel  °

Verbundfuge

Oberfläche        Zug senkrecht zur Fuge

Es kommen unterschiedliche Verfahren zur Anwendung

- die Querkraftbemessung erfolgt 'in Bewehrungsrichtung'. Dazu wird die Querkraft vektoriell in die beiden Bewehrungsrichtungen zerlegt.  
Mit den zugehörigen Werten aus der Biegebemessung wird je Richtung der maximale Bewehrungsanteil ermittelt. Der erforderliche Bewehrungsquerschnitt ergibt sich dann nach Summation der Einzelanteile.
- die Querkraftbemessung erfolgt 'in Hauptquerkraftrichtung'. Sämtliche benötigten Größen werden in diese Richtung transformiert.

Folgende Parameter sind optional

- ohne Mindestbewehrung
- Schubbewehrung vermeiden: die Anordnung einer Querkraftbewehrung hängt von der Größe des  $v_{Rd,ct}$ -Werts ab, der maßgeblich durch die Zugängsbewehrung beeinflusst wird.

Bei Aktivierung dieses Schalters wird bei Bedarf die Längsbewehrung so erhöht, dass  $v_{Ed} = v_{Rd,ct}$  und damit  $a_{sq} = 0$ . Es wird beachtet, dass  $\rho_l \leq 0.02$ .

Hinweis: es kann aufgrund dieser Vorgehensweise zu punktuell auftretenden großen Längsbewehrungs-erhöhungen kommen (z.B. im Bereich von Einzellasten).

Empfehlung: die Grundängsbewehrung (s. Register **Allgemein**) auf ein sinnvolles Maß anheben.

- innerer Hebelarm: das Verfahren zur Berechnung des inneren Hebelarms wird nachweisglobal bestimmt
- Druckstrebenwinkel  $\theta$ : Neigungswinkel der Druckstrebe
- minimiert ( $\theta = 0$ ): ein minimaler Druckstrebenwinkel führt zu einer minimalen Querkraftbewehrung.

Aber: Der Druckstrebenwinkel geht auch in die Berechnung der Verankerungslängen ein, d.h. die minimale Querkraftbewehrung führt zu einer maximalen Verankerungslänge der Längsbewehrung.

- vereinfacht: bei variablem Druckstrebenwinkel (minimiert) werden die vereinfachten Werte für reine Biegung, Biegung mit Druck bzw. Biegung mit Zug gesetzt
- Bemessung einer Verbundfuge (Elementdecke)
  - Oberfläche: Ausführung der Betonoberfläche in der Verbundfuge
  - Zug senkrecht zur Fuge

## Bemessungsergebnis

Aus der Biegebemessung erhält man

- die auf jede Bewehrungsrichtung und –lage bezogenen maximalen Bewehrungsquerschnitte  $a_{s10}$ ,  $a_{s20}$ ,  $a_{s1u}$ ,  $a_{s2u}$  in  $\text{cm}^2/\text{m}$
- den Bewehrungsgrad  $\mu_s$

sowie als Zusatzergebnisse zum Nachvollziehen des Nachweises

- die statisch erforderliche Bewehrung  $a_{sb10}$ ,  $a_{sb20}$ ,  $a_{sb1u}$ ,  $a_{sb2u}$  in  $\text{cm}^2/\text{m}$
- davon die evtl. erforderliche Druckbewehrung  $a_{sd10}$ ,  $a_{sd20}$ ,  $a_{sd1u}$ ,  $a_{sd2u}$  in  $\text{cm}^2/\text{m}$
- die eingegebene Grundbewehrung (s. Register **Allgemein**)  $a_{s010}$ ,  $a_{s020}$ ,  $a_{s01u}$ ,  $a_{s02u}$  in  $\text{cm}^2/\text{m}$
- die Differenzbewehrung zur eingegebenen Grundbewehrung  $\Delta a_{s10}$ ,  $\Delta a_{s20}$ ,  $\Delta a_{s1u}$ ,  $\Delta a_{s2u}$  in  $\text{cm}^2/\text{m}$

Der Hauptdruckspannungsnachweis (4H-ALFA-Scheibe) liefert

- die Hauptdruckspannung max  $\sigma_2^l$  in  $\text{MN}/\text{m}^2$
- die Ausnutzung  $U_{\sigma2l}$

Die Schubbemessung (4H-ALFA-Platte) liefert

- die maximale Querkraftbewehrung  $a_{sq}$  in  $\text{cm}^2/\text{m}^2$
- sowie als Zusatzergebnisse
  - den Druckstrebenwinkel  $\theta$
  - den Bemessungswert der einwirkenden Querkraft  $v_{Ed}$  in  $\text{kN}/\text{m}$
  - den Bemessungswert der ohne Querkraftbewehrung aufnehmbaren Querkraft  $v_{Rd,ct}$  in  $\text{kN}/\text{m}$
  - den Bemessungswert der durch die Druckstrebenfestigkeit begrenzten aufnehmbaren Querkraft  $v_{Rd,max}$  in  $\text{kN}/\text{m}$
  - das Querkraftverhältnis  $v_{Ed} / v_{Rd,max}$
  - die in den Bewehrungsrichtungen anfallenden Querkraftbewehrungsanteile  $a_{sq1}$  und  $a_{sq2}$  in  $\text{cm}^2/\text{m}^2$  (nur bei „Schubbemessung in den Bewehrungsrichtungen“)
  - den Ausnutzungsbereich AB nach 9.3.2(3)
  - die Fugenbewehrung  $a_{sqf}$  in  $\text{cm}^2/\text{m}^2$
  - die eingegebene Grundbewehrung  $a_{s0q}$  in  $\text{cm}^2/\text{m}^2$
  - die Differenzbewehrung zur eingegebenen Grundbewehrung  $\Delta a_{sq}$  in  $\text{cm}^2/\text{m}^2$

## Rissnachweis

### Rissnachweis

der rissverteilenden Längsbewehrung:

	-1-	-2-	
z-	8	8	mm
z+	8	8	mm

Rissbreite  $w_{k,z-}$   mm

$w_k < 0.30 \text{ mm}$ : häufige oder seltene Ewk

Rissbreite  $w_{k,z+}$   mm

$w_k \geq 0.30 \text{ mm}$ : quasi-ständige Ewk

kurzfristige Lasteinwirkung

Dauerstandeffekt

Verbund

Begrenzung der Rissbreite (aus Lastbeanspruchung)

Beiwert  $k_{z10}$

zur Berücksichtigung des Betonalters ( $k_{z10} \geq k_{zt}$  bei Verkehrslastaufbringung ( $=1.0$ : 28 Tage))

Mindestbewehrung (Erstrissbildung aus unbeabsichtigtem Zwang)

Beiwert  $k_{zt}$

zur Berücksichtigung des Betonalters ( $\geq 0.65$ : frühes Betonalter, Abfluss der Hydratation)

Erstriss-  unter zentr. Zwang  
bildung  unter Biegezwang

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

Indu-  innerhalb  
zierung  außerhalb

Reduktion der Mindestbewehrung

langsam erhärtender Beton

Der Nachweis ist in zwei Teile gegliedert

- Ermittlung der Mindestbewehrung, um unbeabsichtigte Zwangsbeanspruchungen zum Zeitpunkt der

Erstrissbildung (vor Verkehrslastaufbringung) abzufangen

- Begrenzung der Rissbreite nach Endrissbildung

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

- der Stabdurchmesser  $d_s$  der rissverteilenden Bewehrung in mm

festzulegen. Ist ein Durchmesser Null, wird die entsprechende Bewehrungsrichtung nicht nachgewiesen.

Der Rissnachweis kann nach

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

erfolgen. Die Verfahrensauswahl erfolgt nachweisglobal.

Wesentliche Eingangsgröße ist

- die Rissbreite  $w_k$ , die oberhalb  $w_{k,z-}$  und unterhalb  $w_{k,z+}$  der Flächenposition unterschiedlich sein kann

Weiterhin gehen ein

- das Verbundverhalten zwischen Bewehrung und Beton (nur für die Nachweisverfahren von Schießl und Noakowski)
- zur Ermittlung der Mindestbewehrung (für die Erstrissbildung)
  - Art der Zwangsbeanspruchung (zentrischer Zwang, Biegezwang)
  - Grund für die Zwangsbeanspruchung (innerhalb oder außerhalb des Bauteils induziert)
  - Faktor  $k_{z,t}$  für das maßgebende Betonalter zum Zeitpunkt der Erstbelastung. Die Beanspruchung aus dem Abfließen der Hydratationswärme kann mit 'zentr. Zwang' und  $k_{z,t} = 0.65$  geführt werden
  - langsam erhärtender Beton
- zur Ermittlung der Rissbewehrung (aus Lastbeanspruchung)
  - kurzfristige Lasteinwirkung, um dem Dauerstandeffekt Rechnung zu tragen
  - Faktor  $k_{z,t0}$  für das maßgebende Betonalter zum Zeitpunkt der Verkehrslastaufbringung (i.A.  $k_{z,t0} = 1$ )

Die in den Nachweis eingehende Anfangsbewehrung setzt sich zusammen aus der im Eigenschaftsblatt vorgegebenen Grundbewehrung (s. Register **Allgemein**), einer aus den vorher geführten Tragfähigkeitsnachweisen ermittelten Biegebewehrung (Biegebemessung) und der Kontrollbemessung der in den Nachweis eingehenden Lasten. Der Maximalwert wird übernommen.

Der Nachweisteil *Begrenzung der Rissbreite* überprüft, ob die erforderlichen Grenzdurchmesser oben und unten für die maßgebende Risslast eingehalten werden. Ist der Nachweis nicht erfüllt, werden die Bewehrungsquerschnitte der Anfangsbewehrung entsprechend erhöht.

## Ermüdungsnachweis

<input checked="" type="checkbox"/> Ermüdungsnachweis			
$\Delta\sigma_{Rsk}$	85,0	N/mm <sup>2</sup>	Spannungsschwingbreite der Längsbewehrung
$\Delta\sigma_{RskU}$	80,0	N/mm <sup>2</sup>	Spannungsschwingbreite der Querkraftbewehrung
$t_0$	28	d	Zeitpunkt der Erstbelastung des Betons

Der Nachweis ist in zwei Teile gegliedert

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

Wesentliche Eingangsgrößen sind

- die zulässige Spannungsschwingbreite für die Längsbewehrung zul  $\Delta\sigma_{Rsk}$  in N/mm<sup>2</sup>, die i.A. für gerade und gebogene Stäbe (Stabstahl) 175 N/mm<sup>2</sup> und für geschweißte Stäbe (Betonstahlmatten) 85 N/mm<sup>2</sup> betragen darf
- die zulässige Spannungsschwingbreite für die Querkraftbewehrung zul  $\Delta\sigma_{Rsk,V}$  in N/mm<sup>2</sup>, die i.A. 80 N/mm<sup>2</sup> betragen darf
- der Zeitpunkt der Erstbelastung des Betons  $t_0$  in d

Die Parameter sind vom Anwender frei eingebbar. Ist einer der Parameter Null, wird der entsprechende Nachweisteil nicht durchgeführt.

Die in den Nachweis eingehende Anfangsbewehrung setzt sich zusammen aus der im Eigenschaftsblatt vorgegebenen Grundbewehrung (s. Register **Allgemein**), einer aus den vorher geführten Tragfähigkeitsnachweisen ermittelten Biegebewehrung (Biegebemessung) und der Kontrollbemessung der in den Nachweis eingehenden Lasten. Der Maximalwert wird übernommen.

Ist der *Nachweis für die Bewehrung* nicht erfüllt, werden die Bewehrungsquerschnitte der Anfangsbewehrung entsprechend erhöht.

Ein Nachweis der Querkraftbewehrung wird nicht erbracht.

## Spannungsnachweis

**Spannungsnachweis führen**

Vorgabe:	<input checked="" type="radio"/> Faktor	<input type="radio"/> zul $\sigma$
zul $\sigma_c$ =	0,60	$\cdot f_{ck} = -12,0$ N/mm <sup>2</sup>
zul $\sigma_s$ =	0,80	$\cdot f_{yk} = 400,0$ N/mm <sup>2</sup>

Der Nachweis ist in zwei Teile gegliedert

- Nachweis für die Bewehrung
- Nachweis für den Beton

Der Nachweis erfordert die Eingabe der beiden Grenzwerte

- zul  $\sigma_s$  für die Bewehrung
- zul  $\sigma_c$  für den Beton

die je nach Einwirkungskombination variieren.

Ist einer der beiden Grenzwerte gleich Null, wird der entsprechende Nachweis ignoriert.

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

Die in den Nachweis eingehende Anfangsbewehrung setzt sich zusammen aus der im Eigenschaftsblatt vorgegebenen Grundbewehrung (s. Register **Allgemein**), einer aus den vorher geführten Tragfähigkeitsnachweisen ermittelten Biegebewehrung (Biegebemessung) und der Kontrollbemessung der in den Nachweis eingehenden Lasten. Der Maximalwert wird übernommen.

Ist der *Nachweis für die Bewehrung* nicht erfüllt, werden die Bewehrungsquerschnitte der Anfangsbewehrung auf der Zugseite entsprechend erhöht.

Ist der *Nachweis für den Beton* nicht erfüllt, werden die Bewehrungsquerschnitte auf der Druckseite erhöht.

## Dichtigkeitsnachweis

**Dichtigkeitsnachweis führen**

zul $x_D$	20,0 mm	zulässige Druckzonendicke
-----------	---------	---------------------------

Der Dichtigkeitsnachweis wird hier als Nachweis der Mindestdruckzonendicke nach der DAfStB-Richtlinie *Wasserundurchlässige Bauwerke* geführt und erfordert die Eingabe der

- zul  $x_D$  zulässigen Mindestdruckzonendicke

Die in den Nachweis eingehende Anfangsbewehrung setzt sich zusammen aus der im Eigenschaftsblatt vorgegebenen Grundbewehrung (s. Register **Allgemein**), einer aus den vorher geführten Tragfähigkeitsnachweisen ermittelten Biegebewehrung (Biegebemessung) und der Kontrollbemessung der in den Nachweis eingehenden Lasten. Der Maximalwert wird übernommen.

Ist der Nachweis nicht erfüllt, werden die Bewehrungsquerschnitte der Anfangsbewehrung entsprechend erhöht.

## Nachweisergebnis

Aus den Gebrauchstauglichkeitsnachweisen erhält man

- die maximalen Bewehrungsquerschnitte  $a_{s10}$ ,  $a_{s20}$ ,  $a_{s1u}$ ,  $a_{s2u}$  in cm<sup>2</sup>/m

- den Bewehrungsgrad  $\mu_s$

sowie als Zusatzergebnisse

- die in den Nachweis eingehende Anfangsbewehrung  $a_{s010}, a_{s020}, a_{s01u}, a_{s02u}$  in  $\text{cm}^2/\text{m}$
- die Differenzbewehrung zur Anfangsbewehrung  $\Delta a_{s10}, \Delta a_{s20}, \Delta a_{s1u}, \Delta a_{s2u}$  in  $\text{cm}^2/\text{m}$

für den Rissnachweis

- die Mindestbewehrung  $a_{s10,\text{Min}}, a_{s20,\text{Min}}, a_{s1u,\text{Min}}, a_{s2u,\text{Min}}$  in  $\text{cm}^2/\text{m}$
- die zulässigen Grenzdurchmesser  $d_{sR10}, d_{sR20}, d_{sR1u}, d_{sR2u}$  in mm

für den Ermüdungsnachweis

- die Schwingbreite  $\Delta \sigma_{s10}, \Delta \sigma_{s20}, \Delta \sigma_{s1u}, \Delta \sigma_{s2u}$  in  $\text{MN}/\text{m}^2$
- die Betonausnutzung aus Ermüdung  $U_c$
- die extremalen Stahlspannungen  $\sigma_{s10}, \sigma_{s20}, \sigma_{s1u}, \sigma_{s2u}$  in  $\text{MN}/\text{m}^2$
- die extreme Betonspannung  $\sigma_c$  in  $\text{MN}/\text{m}^2$
- die Ergebnisse für die Querkraftbewehrung  $\Delta \sigma_{sq}$  in  $\text{MN}/\text{m}^2$ ,  $a_{sq}, a_{s0q}$  und  $\Delta a_{sq}$  in  $\text{cm}^2/\text{m}^2$

für den Spannungsnachweis

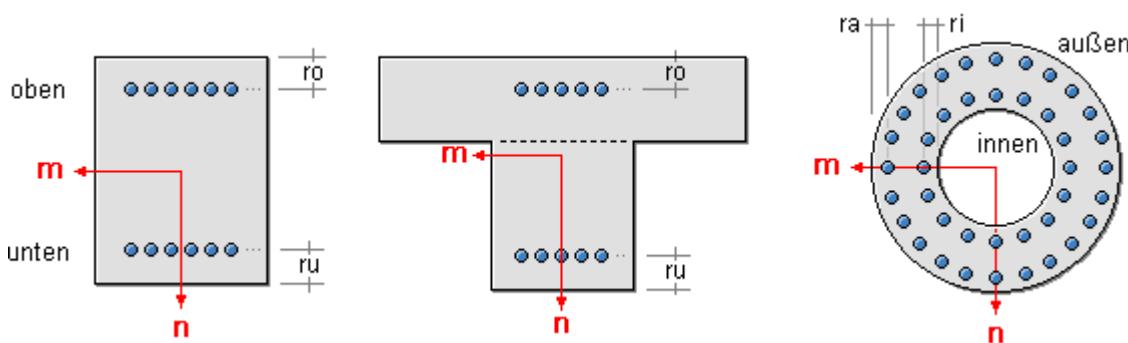
- die extremalen Stahlspannungen  $\sigma_{s10}, \sigma_{s20}, \sigma_{s1u}, \sigma_{s2u}$  in  $\text{MN}/\text{m}^2$
- die minimale Betonspannung  $\sigma_c$  in  $\text{MN}/\text{m}^2$

für den Dichtigkeitsnachweis

- die minimale Druckzonendicke

### allgemeine Bemessungsoptionen Stabträger

Mit dem Programm 4H-ALFA, Platte / Scheibe, können folgende typisierte Stahlbetonquerschnitte einachsig bemessen werden



- Rechteck (als Balken oder Plattenstreifen)
- Plattenbalken (als Unter- oder Überzug)
- Vollkreis (ggf. mit Wendelbewehrung)
- Kreisring

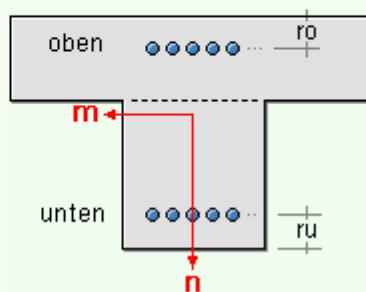
Nachdem festgelegt wurde, dass der Stab bemessen werden soll, können alle weiteren Bemessungsparameter bearbeitet werden.

Der Stab soll bemessen werdenmaximaler Bewehrungsgrad: max  $\mu$   %

Bewehrungsanordnung

Zugbewehrung

## Randabstände in cm

oben ro unten ru Grundbewehrung in  $\text{cm}^2$ oben unten 

In diesem Registerblatt gehören zu den Bemessungsparametern

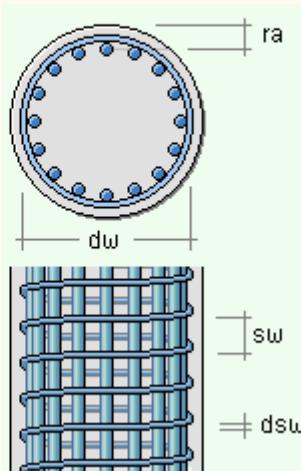
- **Randabstände:** Es sind für den Rechteck- und Plattenbalkenquerschnitt die Stahlrandabstände (Abstand vom Betonrand zum Schwerpunkt der Stahleinlagen) oben, unten, für den Kreisquerschnitt der äußere und für den Kreisringquerschnitt der äußere und innere Stahlrandabstand festzulegen.
- **Grundbewehrung:** Es kann eine Grundbewehrung vorgegeben werden, die mit der erforderlichen Bewehrung aus den Nachweisergebnissen extremiert wird bzw. als Eingangsbewehrung in die Nachweise eingeht.
- **maximaler Bewehrungsgrad:** Programmintern erfolgt sowohl für jeden Nachweis als auch für das Gesamtergebnis eine Überprüfung des maximalen Bewehrungsgrades.
- **Bewehrungsanordnung:** Aus konstruktiven Gründen kann es sinnvoll sein, oben und unten den gleichen Bewehrungsquerschnitt einzulegen. In diesem Fall ist die **symmetrische** Bewehrungsanordnung auszuwählen, während die **Zugbewehrung** stets die minimale Bewehrung ermittelt.
- **Wendelbewehrung** (nur Vollkreis und nur Biegebemessung nach DIN 1045)

 Der Stab soll bemessen werdenmaximaler Bewehrungsgrad: max  $\mu$   %

Randabstand in cm

ra Grundbewehrung in  $\text{cm}^2$ vorh.  $A_s$   Wendelbewehrung

(nur wirksam bei der Biegebemessung nach DIN 1045 (7.88))

dw  cmdsw  mmsw  cmsk  m

Optional kann der Druckkraftwiderstand eines Kreisquerschnitts erhöht werden, indem eine Wendelbewehrung angeordnet wird. Die notwendigen Parameter sind

- $d_w$  Durchmesser der Wendelbewehrung in cm
- $d_{sw}$  Stabdurchmesser der Wendel in mm
- $s_w$  Ganghöhe in cm
- $s_k$  Knicklänge der maßgebenden Stütze (kann aufgrund der Fülle an Einflussfaktoren programmintern nicht ermittelt werden)

## Bemessungsoptionen Eurocode 2 Stabträger

Das Registerblatt behandelt die Parameter für Nachweise nach DIN EN 1992-1-1, Eurocode 2.

## Material

**Nachweise nach EC 2**

Betongüte entspr. Materialdaten

**Betongüte** C20/25

Kriechen und Schwinden (nur für Nachweise im GZG)

$\varphi(\infty, t_{0k})$  3,377   $\varphi(\infty, t_{0k})$  berechnen

$\varepsilon_{os,\infty}$  -0,527 %   $\varepsilon_{os,\infty}$  berechnen

**Längsbewehrung** B500

Expositionsklasse ohne Einfluss auf die Bemessung

In Auswahlboxen werden die möglichen Beton- und Betonstahlsorten (Stabstahl für Biegebemessung und Nachweise, Bügel für Schubbemessung) angeboten.

Um eine Korrespondenz zu dem der Schnittgrößenermittlung zugrunde liegenden Material zu erhalten, können Betongüte und Rohdichte aus dem Materialeigenschaftsblatt der Berechnung übernommen werden.

Für Biege- und Schubbemessung können unterschiedliche Stahlgüten angewählt werden.

Außerdem kann eine Bemessung für benutzerdefinierte (**freie**) Materialien erfolgen. Dazu sind die benötigten Grenzwerte zur Beschreibung der Spannungsdehnungslinien anzugeben.

Bei Verformungsberechnungen (Spannungsermittlung bei den Nachweisen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit) werden bei Bedarf die eingegebenen Kriech- und Schwindbeiwerte berücksichtigt.

Die Angabe einer Expositionsklasse des Bauteils hat keinen Einfluss auf das Bemessungsergebnis, sondern dient lediglich der Information im Statikdokument.

## Biegebemessung

**Biegebemessung**

**Mindestbewehrung** Träger/Stütze  gemäß EC 2, 9.2.1.1 und 9.5.2

Bei der Berücksichtigung der Mindestbewehrung ist zu beachten, ob es sich um ein überwiegend biegebeanspruchtes Bauteil oder eine Stütze (hauptsächlich auf Druck beanspruchtes stabförmiges Bauteil) handelt.

Der Anwender kann aus einer Liste auswählen, welches Kapitel zur Bestimmung der Mindestbewehrung maßgebend ist. Wird **Träger/Stütze** aktiviert, entscheidet die aktuelle Schnittgrößenkombination.

## Schubbemessung

**Schubbemessung**

**Schubbewehrung** wie Längsbew.

OHNE Mindestbewehrung gemäß EC 2, 9.2.2(5)

innerer z = 0,9 d (je Richtung)  
Hebelarm z = 0,9 d - 2 c<sub>v,D</sub> s. Nachweisoptionen

mit c<sub>v,D</sub> 3,0 cm Betondeckung zur Druckbew. (c<sub>v,D</sub> > 0)

Druckstrebenwinkel  minimiert  vereinfacht 0,00 °

Torsion: effektive Wanddicke 0,00 cm (= 0: gemäß EC 2, 6.3.2(1))

Folgende Parameter sind optional

- ohne Mindestbewehrung

- innerer Hebelarm: das Verfahren zur Berechnung des inneren Hebelarms wird nachweisglobal bestimmt
- Druckstrebewinkel  $\theta$ : Neigungswinkel der Druckstrebewinkel
- minimiert ( $\theta = 0$ ): ein minimaler Druckstrebewinkel führt zu einer minimalen Querkraftbewehrung.
- Aber: Der Druckstrebewinkel geht auch in die Berechnung der Verankerungslängen ein, d.h. die minimale Querkraftbewehrung führt zu einer maximalen Verankerungslänge der Längsbewehrung.
  - vereinfacht: bei variablem Druckstrebewinkel (minimiert) werden die vereinfachten Werte für reine Biegung, Biegung mit Druck bzw. Biegung mit Zug gesetzt.
- Fuge (nur Rechteck-, Plattenbalkenquerschnitt): Bemessung einer Verbundfuge
  - Oberfläche: Ausführung der Betonoberfläche in der Verbundfuge
  - Fugenbreite
- Wirksamkeitsfaktor (nur bei Kreisquerschnitten): Über den Wirksamkeitsfaktor kann das ungünstigere Querkrafttragverhalten eines Kreisquerschnitts berücksichtigt werden.
- effektive Wanddicke: Die Torsionsbemessung basiert auf einer (fiktiven) effektiven Wanddicke eines Hohlquerschnitts, die entweder vorgegeben oder nach Norm ermittelt werden kann.

### Bemessungsergebnis

Aus der Biegebemessung erhält man

- die maximalen Bewehrungsquerschnitte  $A_{so}$ ,  $A_{su}$  in  $\text{cm}^2$
  - den Bewehrungsgrad  $\mu_s$
- sowie als Zusatzergebnisse
- die eingegebene Grundbewehrung (s. Register **Allgemein**)  $A_{s00}$ ,  $A_{s0u}$  in  $\text{cm}^2$
  - die statisch erforderliche Bewehrung  $A_{sbo}$ ,  $A_{sbu}$  in  $\text{cm}^2$
  - die Differenzbewehrung zur eingegebenen Grundbewehrung (s. Register **Allgemein**)  $\Delta A_{so}$ ,  $\Delta A_{su}$  in  $\text{cm}^2$

Die Schubbemessung liefert für die Querkraft

- die maximale Querkraftbügelbewehrung (insgesamt)  $a_{sbQ}$  in  $\text{cm}^2/\text{m}$

sowie als Zusatzergebnisse

- den Bemessungswert der einwirkenden Querkraft  $V_{Ed}$  in kN
- den Bemessungswert der ohne Querkraftbewehrung aufnehmbaren Querkraft  $V_{Rd,ct}$  in kN
- den Bemessungswert der durch die Druckstrebefestigkeit begrenzten aufnehmbaren Querkraft  $V_{Rd,max}$  in kN
- den Druckstrebewinkel  $\theta$
- den Ausnutzungsbereich AB nach 9.3.2(3)

für die Torsion (nicht 4H-ALFA-Scheibe)

- die maximale Torsionslängsbewehrung  $A_{sT}$  in  $\text{cm}^2$
- die maximale Torsionsbügelbewehrung (je Seite)  $a_{sbT}$  in  $\text{cm}^2/\text{m}$

sowie als Zusatzergebnisse

- den Bemessungswert des einwirkenden Torsionsmoments  $T_{Ed}$  in kNm
- den Bemessungswert des maximal aufnehmbaren Torsionsmoments  $T_{Rd,max}$  in kNm

für Querkraft und Torsion (nicht 4H-ALFA-Scheibe)

- die Ausnutzung aus Querkraft und Torsion  $U_{V+T}$

### Rissnachweis

### Rissnachweis

der rissverteilenden Längsbewehrung:

	links	rechts	
oben	16	16	mm
unten	16	16	mm

Rissbreite  $w_k$   mm

$w_k < 0.30 \text{ mm}$ : häufige oder seltene Ewk  
 $w_k \geq 0.30 \text{ mm}$ : quasi-ständige Ewk

kurzfristige Lasteinwirkung

Dauerstandeffekt  
zur Berücksichtigung der Verbund-eigenschaften der Bewehrung

Verbund

Begrenzung der Rissbreite (aus Lastbeanspruchung)

Beiwert  $k_{z,t0}$

zur Berücksichtigung des Betonalters ( $k_{z,t0} \geq k_{z,t}$   
bei Verkehrslastaufbringung ( $\geq 1.0$ : 28 Tage)

Mindestbewehrung (Erstrissbildung aus unbeabsichtigtem Zwang)

Beiwert  $k_{z,t}$

zur Berücksichtigung des Betonalters  
( $\approx 0.65$ : frühes Betonalter, Abfluss der Hydratation)

Erstriss-  
bildung  unter zentr. Zwang  
 unter Biegezwang

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

Indu-  
zierung  innerhalb  
 außerhalb

Reduktion der Mindestbewehrung

langsam erhärtender Beton

Der Nachweis ist in zwei Teile gegliedert

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

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

- der Stabdurchmesser  $d_s$  der rissverteilenden Bewehrung in mm

festzulegen. Ist ein Durchmesser Null, wird die entsprechende Bewehrungsrichtung nicht nachgewiesen.

Der Rissnachweis kann nach

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

erfolgen. Die Verfahrensauswahl erfolgt nachweisglobal.

Wesentliche Eingangsgröße ist

- die Rissbreite  $w_k$

Weiterhin gehen ein

- das Verbundverhalten zwischen Bewehrung und Beton (nur für die Nachweisverfahren von Schießl u. Noakowski)
- zur Ermittlung der Mindestbewehrung (für die Erstrissbildung)
  - Art der Zwangsbeanspruchung (zentrischer Zwang, Biegezwang)
  - Grund für die Zwangsbeanspruchung (innerhalb oder außerhalb des Bauteils induziert)
  - Faktor  $k_{z,t}$  für das maßgebende Betonalter zum Zeitpunkt der Erstbelastung. Die Beanspruchung aus dem Abfließen der Hydratationswärme kann mit 'zentr. Zwang' und  $k_{z,t} = 0.65$  geführt werden.
  - langsam erhärtender Beton
- zur Ermittlung der Rissbewehrung (aus Lastbeanspruchung)
  - kurzfristige Lasteinwirkung, um dem Dauerstandeffekt Rechnung zu tragen
  - Faktor  $k_{z,t0}$  für das maßgebende Betonalter zum Zeitpunkt der Verkehrslastaufbringung (i.A.  $k_{z,t0} = 1$ )

Die in den Nachweis eingehende Anfangsbewehrung setzt sich zusammen aus der im Eigenschaftsblatt vorgegebenen Grundbewehrung (s. Register **Allgemein**), einer aus den vorher geführten Tragfähigkeitsnachweisen ermittelten Biegebewehrung (Biegebemessung) und der Kontrollbemessung der in den Nachweis eingehenden Lasten. Der Maximalwert wird übernommen.

Der Nachweisteil *Begrenzung der Rissbreite* überprüft, ob die erforderlichen Grenzdurchmesser oben und

unten für die maßgebende Risslast eingehalten werden.

Ist der Nachweis nicht erfüllt, werden die Bewehrungsquerschnitte der Anfangsbewehrung entsprechend erhöht.

## Ermüdungsnachweis

<input checked="" type="checkbox"/> Ermüdungsnachweis		
$\Delta\sigma_{Rsk}$	175,0	N/mm <sup>2</sup>
$\Delta\sigma_{RskV}$	80,0	N/mm <sup>2</sup>
$t_0$	28	d
Spannungsschwingbreite der Längsbewehrung Spannungsschwingbreite der Querkraftbewehrung Bei 90°-Bügeln mit Bügelhöhen $\geq 60$ cm und $\Phi_{Bü} \leq 16$ mm gilt i.d.R. $\Delta\sigma_{RskV} = \Delta\sigma_{Rsk}$ Zeitpunkt der Erstbelastung des Betons		

Der Nachweis ist in zwei Teile gegliedert

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

Wesentliche Eingangsgrößen sind

- die zulässige Spannungsschwingbreite für die Längsbewehrung zul  $\Delta\sigma_{Rsk}$  in N/mm<sup>2</sup>, die i.A. für gerade und gebogene Stäbe (Stabstahl) 162,5 N/mm<sup>2</sup> und für geschweißte Stäbe (Betonstahlmatten) 58 N/mm<sup>2</sup> betragen darf
- die zulässige Spannungsschwingbreite für die Querkraftbewehrung zul  $\Delta\sigma_{Rsk,V}$  in N/mm<sup>2</sup>, die i.A. 99 N/mm<sup>2</sup> betragen darf
- der Zeitpunkt der Erstbelastung des Betons  $t_0$  in d

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

Die in den Nachweis eingehende Anfangsbewehrung setzt sich zusammen aus der im Eigenschaftsblatt vorgegebenen Grundbewehrung (s. Register **Allgemein**), einer aus den vorher geführten Tragfähigkeitsnachweisen ermittelten Biegebewehrung (Biegebemessung) und der Kontrollbemessung der in den Nachweis eingehenden Lasten. Der Maximalwert wird übernommen.

Ist der *Nachweis für die Bewehrung* nicht erfüllt, werden die Bewehrungsquerschnitte der Anfangsbewehrung entsprechend erhöht.

## Spannungsnachweis

<input checked="" type="checkbox"/> Spannungsnachweis führen		
Vorgabe:	<input checked="" type="radio"/> Faktor	<input type="radio"/> zul $\sigma$
zul $\sigma_c$ =	0,60	* $f_{ck}$ = -21,0 N/mm <sup>2</sup>
zul $\sigma_s$ =	0,80	* $f_{yk}$ = 400,0 N/mm <sup>2</sup>

Der Nachweis ist in zwei Teile gegliedert

- Nachweis für die Bewehrung
- Nachweis für den Beton

Der Nachweis erfordert die Eingabe der beiden Grenzwerte

- zul  $\sigma_c$  für den Beton und
- zul  $\sigma_s$  für die Bewehrung

welche je nach Einwirkungskombination variieren.

Ist einer der beiden Grenzwerte gleich Null, wird der entsprechende Nachweis ignoriert.

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

Die in den Nachweis eingehende Anfangsbewehrung setzt sich zusammen aus der im Eigenschaftsblatt vorgegebenen Grundbewehrung (s. Register **Allgemein**), einer aus den vorher geführten Tragfähigkeitsnachweisen ermittelten Biegebewehrung (Biegebemessung) und der Kontrollbemessung der in den Nachweis eingehenden Lasten. Der Maximalwert wird übernommen.

Ist der *Nachweis für die Bewehrung* nicht erfüllt, werden die Bewehrungsquerschnitte der Anfangsbewehrung auf der Zugseite entsprechend erhöht.

Ist der *Nachweis für den Beton* nicht erfüllt, werden die Bewehrungsquerschnitte auf der Druckseite erhöht.

#### Nachweisergebnis

Man erhält

- die maximalen Bewehrungsquerschnitte  $A_{s1}, A_{s2}, A_{s3}, A_{s4}$  in  $\text{cm}^2$
- den Bewehrungsgrad  $\mu_s$

sowie als Zusatzergebnisse

- die in den Nachweis eingehende Anfangsbewehrung  $A_{s01}, A_{s01}, A_{s03}, A_{s04}$  in  $\text{cm}^2$
- die Differenzbewehrung zur Anfangsbewehrung  $\Delta A_{s1}, \Delta A_{s2}, \Delta A_{s3}, \Delta A_{s4}$  in  $\text{cm}^2$

für den Rissnachweis

- die Mindestbewehrung  $A_{s1,\text{Min}}, A_{s2,\text{Min}}, A_{s3,\text{Min}}, A_{s4,\text{Min}}$  in  $\text{cm}^2$
- die zulässigen Grenzdurchmesser  $d_{sR1}, d_{sR2}, d_{sR3}, d_{sR4}$  in mm

für den Ermüdungsnachweis

- die Schwingbreite  $\Delta\sigma_{s1}, \Delta\sigma_{s2}, \Delta\sigma_{s3}, \Delta\sigma_{s4}$  in  $\text{MN/m}^2$
- die Betonausnutzung aus Ermüdung  $U_c$
- die extremalen Stahlspannungen  $\sigma_{s1}, \sigma_{s2}, \sigma_{s3}, \sigma_{s4}$  in  $\text{MN/m}^2$
- die extreme Betonspannung  $\sigma_c$  in  $\text{MN/m}^2$
- die Ergebnisse für die Querkraftbewehrung  $\Delta\sigma_{sbQ}$  in  $\text{MN/m}^2$ ,  $a_{sq}, a_{s0q}$  und  $\Delta a_{sbq}$  in  $\text{cm}^2/\text{m}$

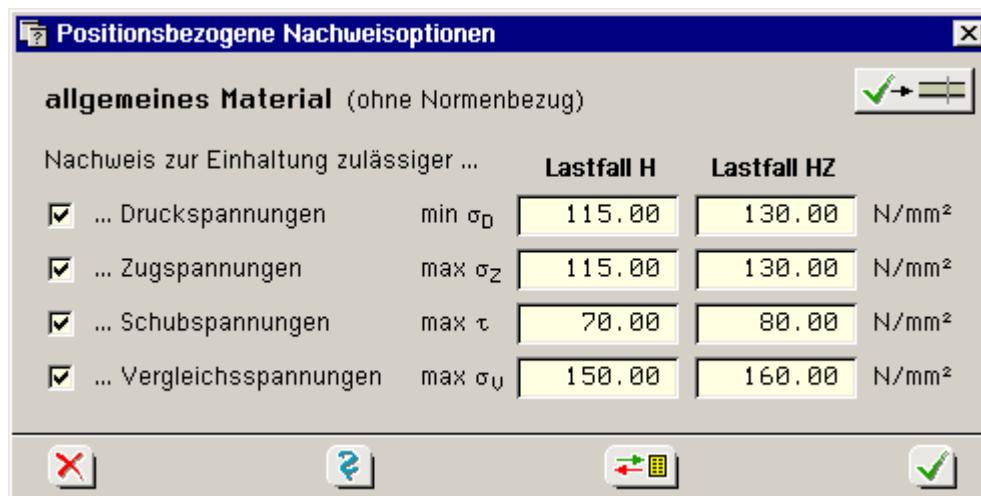
für den Spannungsnachweis

- die extremalen Stahlspannungen  $\sigma_{s1}, \sigma_{s2}, \sigma_{s3}, \sigma_{s4}$  in  $\text{MN/m}^2$
- die minimale Betonspannung  $\sigma_c$  in  $\text{MN/m}^2$

#### positionsbezogene Bemessungsoptionen (allgemeiner Spannungsnachweis)



Wurde im Eigenschaftsblatt *Materialeigenschaften* als Baustoff für eine Flächenposition das Material **allgemein** festgelegt, erscheint nach Anklicken des Buttons zur Festlegung der positionsbezogenen Nachweisoptionen das nachfolgend dargestellte Eigenschaftsblatt.



Hierin kann festgelegt werden, ob für die ausgewählte Position (bzw. die ausgewählten Positionen des o.a. Typs) Nachweise für Druckspannungen, Zugspannungen, Schubspannungen und Vergleichsspannungen geführt werden sollen, und mit welchen max/min zulässigen Werten hierbei gearbeitet werden soll.

Dazu muss mindestens einer der Nachweise Spannungsnachweis LF H (Th. I Ord.) Spannungsnachweis LF HZ (Th. I Ord.) eingerichtet sein (vgl. **Nachweise** verwalten).

## Platten- und Faltwerksberechnung im Zustand 2

Das Kapitel *Plattenberechnung im Zustand 2* kann als pdf-Dokument heruntergeladen werden.



### **DIN EN 1992-1-1, Eurocode 2: Durchbiegungen Zustand 2**

Bei der Durchbiegungsberechnung wird nachgewiesen, dass eine zur Lastkombination zugehörige Durchbiegung einen definierten Wert nicht überschreitet.

DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 7.4.3, ermöglicht es, die Begrenzung der Verformungen durch eine direkte Berechnung mit nichtlinearen Stoffgesetzen für Beton und Stahl nachzuweisen.

In 4H-ALFA wird dazu iterativ ein Verformungszustand gesucht, der unter Einhaltung der vorgegebenen Stoffgesetze im Gleichgewicht mit der Lastkombination steht.

Bei Faltwerken wird die zugehörige Plattendurchbiegung nachgewiesen.

### **Grundlagen der Berechnung**

Realistische Verformungsberechnungen von Stahlbetonbauteilen sind nur unter Berücksichtigung des Reißen des Betons (Zustand 2) und des Fließens der Bewehrung möglich.

Durch die zeitabhängigen Einflüsse infolge Kriechen und Schwinden des Betons werden die Durchbiegungen zusätzlich spürbar erhöht.

Die Durchbiegungen von Stahlbetonplatten können unter Berücksichtigung dieser Einflüsse ein Vielfaches der Werte der nach Elastizitätstheorie berechneten Platte erreichen.

Die wirklichkeitsnahe Berücksichtigung dieser Einflüsse macht die Anwendung aufwendiger nichtlinearer Berechnungen notwendig.

Voraussetzung einer Verformungsberechnung nach Zustand 2 ist die genaue Kenntnis der zugrunde liegenden Bewehrung. Deshalb erfolgt dieser Berechnungsschritt erst nach den Standardstahlbetonnachweisen und einer Vorgabe der schlussendlich gewählten Bewehrung.

Die erforderliche Bewehrung des Tragfähigkeitsnachweises und die Zusatzbewehrung aus den Gebrauchstauglichkeitsnachweisen, wie z.B. Rissnachweis oder Ermüdungs- bzw. Spannungsnachweis, werden in 4H-ALFA standardmäßig bei der Grundbewehrung des Durchbiegungsnachweises nach Zustand 2 berücksichtigt.

Für die vorgegebenen Lastkombinationen (Lastkollektive, Generierungsvorschriften) werden iterativ die Verformungen und Verzerrungen ermittelt, die mit den Beanspruchungen im Gleichgewicht stehen.

Aus den so errechneten Durchbiegungen können bei Vorgabe einer zulässigen Durchbiegung (s. positionsbezogene **Bemessungsoptionen**) Durchbiegungsausnutzungen bestimmt werden.

Die hierbei verwendeten Stoffgesetze für Beton und Stahl haben folgende Eigenschaften

- die Querschnitte bleiben bei der Verformung eben, auch wenn der Querschnitt infolge Überschreitens der Betonzugfestigkeit gerissen ist
- zwischen Beton und Bewehrung herrscht vollkommener Verbund. Damit weisen die Querschnittfasern von Stahl und Beton, die im gleichen Abstand von der Dehnungs-Nulllinie liegen, die gleiche Dehnung auf.
- zur Berechnung der Betonspannungen bzw. Betonschnittgrößen werden Elemente aus mehreren Schichten verwendet (s. Theoretische Grundlagen), in denen die Spannungen nach der Scheibentheorie mit einem zweiachsigen inkrementellen orthotropen Stoffgesetz ermittelt werden. Die Festigkeitssteigerung durch mehraxialen Druck wird nicht berücksichtigt.
- der gerissene Beton wird als Kontinuum mit vielen sehr kleinen Rissen betrachtet (Smeared Crack Approach)
- die Zugfestigkeit des Betons kann optional berücksichtigt werden. Kriechen und Schwinden werden bei Bedarf auch auf der Zugseite angesetzt.
- die Berücksichtigung des Betonkriechens bei der nichtlinearen Systemanalyse erfolgt vereinfachend durch Modifikation der zugrunde liegenden Spannungsdehnungslinie des Betons. Diese wird in Dehnungsrichtung mit dem Faktor  $(1+\varphi)$  skaliert. Auch die zugehörige Grenzdehnung wird mit  $(1+\varphi)$  multipliziert.
- der vorhandene Betonstahl wird als verschmiertes Bewehrungsnetz modelliert. Dabei wird der errechnete Dehnungszustand in die Bewehrungsrichtungen (1, 2) der jeweiligen Betonstahllage transformiert. Für die Spannungsermittlung wird die gewählte Spannungsdehnungslinie des Stahls verwendet.
- nach jedem Iterationsschritt der Gleichgewichtsiteration wird eine Kontrolle der jeweils zulässigen Grenzdehnungen für Beton und Betonstahl durchgeführt. Falls die Dehnungsausnutzung eine gewisse Größe überschreitet, wird die Iteration mit einer entsprechenden Meldung abgebrochen. Die Größe kann vom Anwender vorgeben werden.

- es werden nur die Flächenpositionen nach Zustand 2 berechnet. Unter- bzw. Überzüge können in Plattentragwerken bzw. Faltwerken wegen ihrer speziellen Geometrie nur im Zustand 1 berücksichtigt werden.

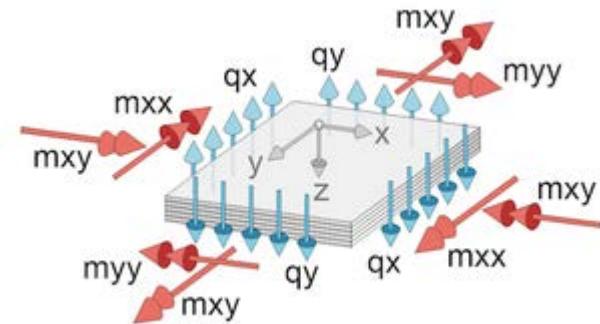
## Theoretische Grundlagen

Zur Berechnung der Betonspannungen bzw. Betonschnittgrößen werden die Flächenelemente in mehrere Schichten aufgeteilt.

In den Schichten werden die Spannungen nach der Scheibentheorie mit einem zweiachsigen inkrementellen orthotropen Stoffgesetz ermittelt (s. [/3I](#)).

Der inkrementelle Dehnungszustand ( $\Delta\epsilon_{xx}$ ,  $\Delta\epsilon_{yy}$ ,  $\Delta\epsilon_{xy}$ ) der einzelnen Schicht wird dazu zunächst in die Dehnung der Hauptrichtung ( $\Delta\epsilon_{11}$ ,  $\Delta\epsilon_{22}$ ,  $\Delta\epsilon_{12} = 0.0$ ) transformiert.

Mit den tangentialen Steifigkeiten  $E_1$ ,  $E_2$  der Hauptrichtungen und den zugehörigen Querkontraktionen  $v_{12}$ ,  $v_{21}$  (mit  $v_{12} \cdot E_1 = v_{21} \cdot E_2$  und  $v_{12} \cdot v_{21} = v \cdot v$ ) ergibt sich dann das inkrementelle orthotrope Stoffgesetz, wobei sich der Wert von  $G$  aus der Forderung nach Richtungsunabhängigkeit ergibt.



$$\begin{bmatrix} \Delta\sigma_{11} \\ \Delta\sigma_{22} \\ \Delta\tau_{12} \end{bmatrix} = \frac{1}{1-v_{12} \cdot v_{21}} \begin{bmatrix} E_1 & v_{12} \cdot E_1 & 0 \\ v_{21} \cdot E_2 & E_2 & 0 \\ 0 & 0 & G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\epsilon_{11} \\ \Delta\epsilon_{22} \\ \Delta\epsilon_{12} \end{bmatrix}$$

$$\dots \text{mit } \dots G = 0.25 \cdot (E_1 + E_2 - 2 \cdot v \cdot \sqrt{|E_1 \cdot E_2|})$$

Die fiktive Größe der äquivalenten einachsigen Dehnungen  $\epsilon_{c1}$ ,  $\epsilon_{c2}$  wird als diejenige Dehnung eingeführt, die bei gegebenen Spannungen  $\sigma_{c1}$ ,  $\sigma_{c2}$  in den Hauptrichtungen vorhanden wäre, wenn die Spannung in der orthogonalen Richtung Null ist.

Dadurch können die einachsigen **Betonspannungsdehnungslinien** für den zweiachsigen Fall angewendet werden.

Das Stoffgesetz kann mit Hilfe inkrementeller äquivalenter einachsiger Dehnungen  $\Delta\epsilon_{c1}$ ,  $\Delta\epsilon_{c2}$  in entkoppelter Form geschrieben werden

$$\begin{bmatrix} \Delta\sigma_{11} \\ \Delta\sigma_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 & 0 \\ 0 & E_2 \end{bmatrix} \frac{1}{1-v_{12} \cdot v_{21}} \begin{bmatrix} 1 & v_{12} \\ v_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\epsilon_{11} \\ \Delta\epsilon_{22} \end{bmatrix} \dots \text{mit } \dots$$

$$\Delta\sigma_{11} = E_1 \cdot \Delta\epsilon_{c1} \dots \text{mit } \dots \Delta\epsilon_{c1} = 1/(1-v_{12} \cdot v_{21}) \cdot (\Delta\epsilon_{11} + v_{12} \cdot \Delta\epsilon_{22})$$

$$\Delta\sigma_{22} = E_2 \cdot \Delta\epsilon_{c2} \dots \text{mit } \dots \Delta\epsilon_{c2} = 1/(1-v_{12} \cdot v_{21}) \cdot (v_{21} \cdot \Delta\epsilon_{11} + \Delta\epsilon_{22})$$

Durch Integration der inkrementellen äquivalenten einachsigen Dehnungen zu den äquivalenten einachsigen Dehnungen  $\epsilon_{c1}$ ,  $\epsilon_{c2}$  lassen sich die Betonspannungen  $\sigma_{c1}$ ,  $\sigma_{c2}$  und die tangentialen Steifigkeiten  $E_1$ ,  $E_2$  aus dem gewählten einachsigen Stoffgesetz berechnen

$$\Delta\epsilon_{c1} = \int d\epsilon_{c1} \approx \sum \Delta\epsilon_{c1} = \sum \Delta\sigma_{11} / E_1$$

$$\Delta\epsilon_{c2} = \int d\epsilon_{c2} \approx \sum \Delta\epsilon_{c2} = \sum \Delta\sigma_{22} / E_2$$

Die Betonschnittgrößen ergeben sich dann aus der Integration der Spannungen der Betonschichten über die Flächenhöhe.

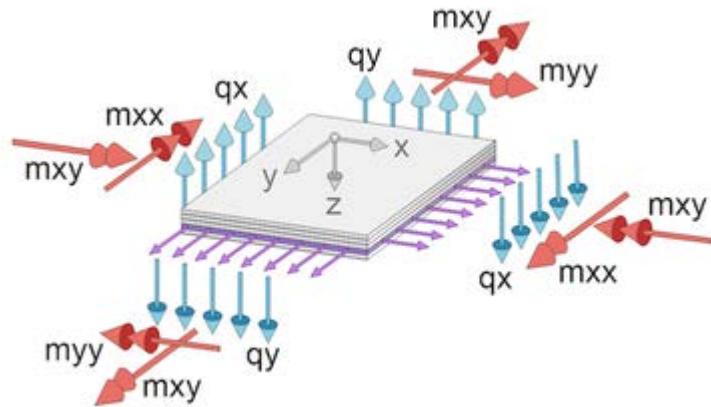


Es ist zu beachten, dass sich z.B. durch das Aufreißen des Betons bei Plattentragwerken die Dehnungsnulllinie verschiebt, so dass Dehnungen und Normalkräfte in der Plattenmittelfläche zu erwarten sind!

Die Bewehrung wird als verschmierte Stahllage des Stahlbetonquerschnitts realisiert.

Zur Berechnung der Stahlspannungen bzw. Stahlschnittgrößen werden die Dehnungen in die Richtung der entsprechenden Stahllage transformiert.

Aus der zugehörigen **Spannungsdehnungslinie** können die Spannung und die tangentiale Steifigkeit



berechnet werden.

Die Schnittgrößen ergeben sich dann mit Hilfe der vorhandenen Bewehrungsmenge.

## Zugfestigkeit des Betons

Die realitätsnahe Abbildung des Betons in einer Spannungsdehnungsbeziehung erfordert die Berücksichtigung der - wenn auch geringen - Zugspannungen, die der Beton aufnehmen kann. Jedoch reduziert die Zugfestigkeit besonders in geringer belasteten Bereichen der Flächenposition die Durchbiegung enorm.

Die Umsetzung erfolgt in den **pcae**-Programmen durch eine Erweiterung der Beton-Spannungsdehnungslinie.

Versuche (s. [/8/](#)) haben gezeigt, dass die Zug-Kennlinie im Vergleich zur Druck-Kennlinie einen weniger gekrümmten, nahezu linearen Verlauf annimmt. Im Unterschied zum Druck ist die Tragfähigkeit jedoch nicht mit Erreichen der maximalen Zugfestigkeit erreicht, sondern es erfolgt eine Entfestigungsphase, wobei infolge der Verbundspannungen auch im gerissenen Zustand eine Restzugfestigkeit verbleibt.

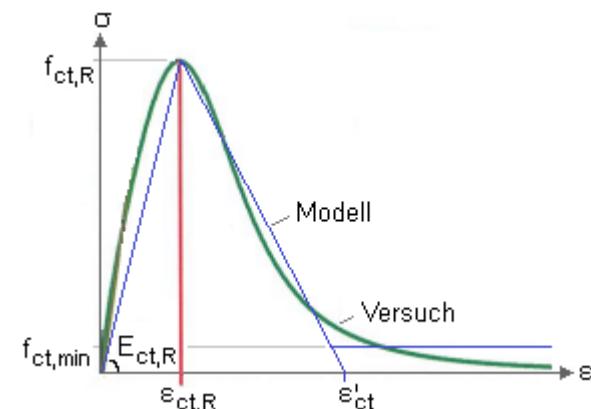
Die Zugfestigkeit  $f_{ct}$  weist eine hohe Streuung (ca. +/- 30%) auf, so dass in der Norm neben dem Mittelwert  $f_{ctm}$  die Quantilwerte  $f_{ct,0.05}$  und  $f_{ct,0.95}$  angegeben werden.

Je nach Bausituation ist daher abzuschätzen, welche Zugfestigkeit zu verwenden ist.

Standardmäßig wird in den **pcae**-Programmen mit  $f_{ct,R} = f_{ctm}$  (s.a. EC 2, 7.4.3(4)) gerechnet. Die Biegezugfestigkeit n. EC 2, 3.1.8, wird nicht verwendet.

Der Zug-E-Modul  $E_{ct}$  unterscheidet sich als Tangentenmodul nur wenig von dem Druck-E-Modul  $E_{cm}$ .

Jedoch wird zur Beschreibung der Spannungsdehnungslinie (s. Grafik) der Sekantenmodul benötigt.



Er kann n. [/8/](#) berechnet werden mit  $E_{ct,R} = 40 \cdot 10^3 \cdot (1 - e^{-(f_{ctm}/2.7)})$  und entspricht damit je nach Betonfestigkeit 75 - 85  $\cdot E_{cm}$ . In den **pcae**-Programmen wird er standardmäßig verwendet.

Die Zugbruchdehnung des Betons ergibt sich damit zu  $\varepsilon_{ct,R} = f_{ct,R} / E_{ct,R}$ .

Nach Erreichen der Zugbruchdehnung tritt die sog. Entfestigung ein, d.h. der Beton kann weiterhin Zugspannungen aufnehmen. Der Entfestigungsbereich  $\delta\varepsilon = \varepsilon'_{ct} - \varepsilon_{ct,R}$  wird als Vielfaches der Zugbruchdehnung beschrieben mit  $\delta\varepsilon = \text{fak} \cdot \varepsilon_{ct,R}$ .

Standardmäßig entspricht in den **pcae**-Programmen der Entfestigungs-E-Modul dem Zug-E-Modul, sodass gilt  $\text{fak} = 1$ .

Aufgrund der Verbundwirkung bleibt im Beton eine Restzugspannung  $f_{ct,min}$  erhalten, die bis zum Zugversagen der Bewehrung wirkt.

Standardmäßig wird in den **pcae**-Programmen eine Restzugfestigkeit von 10 % der Zugfestigkeit angesetzt, d.h.  $f_{ct,min} = 0.1 \cdot f_{ct,R}$ .

Kriechen und Schwinden wirken im Zug- und Druckbereich gleichermaßen, so dass der Kriechbeiwert  $\varphi_\infty$  und das Schwindmaß  $\varepsilon_{cs}$  auch auf die Zugseite übertragen werden. Der Entfestigungsbereich wird beim Kriechen nicht verändert.

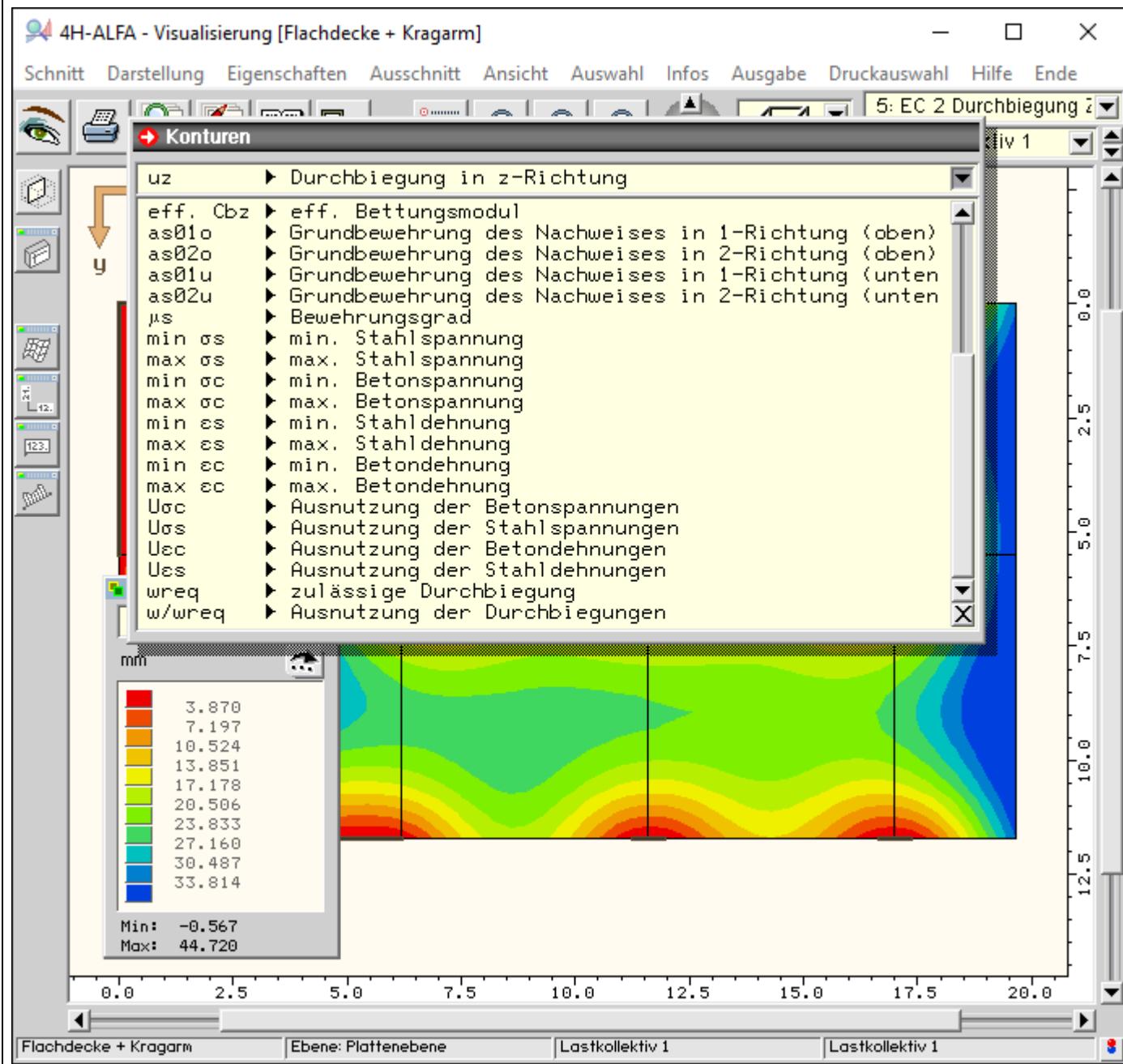


In den **pcae**-Programmen wird standardmäßig die Zug-Spannungsdehnungslinie mit Entfestigung verwendet.

## Berechnungsergebnisse

In der Ergebnisvisualisierung können zusätzlich zu der Durchbiegung bzw. Durchbiegungsausnutzung weitere

Zwischenergebnisse angezeigt werden, die dazu dienen, die Resultate zu verstehen (z.B. Konturen).



## Grundbewehrungen

Die as-Werte as01o / as02o / as01u / as02u sind die dem Durchbiegungsnachweis zugrunde liegenden Grundbewehrungen.

Je nach Nachweiseinstellung ist dies die im Eingabeprogramm definierte Grundbewehrung oder die Bewehrung, die sich aus den vorher durchgeföhrten Nachweisen ergeben hat (Standardeinstellung).

Es lassen sich die extremalen Spannungen bzw. Dehnungen für den Beton bzw. die Bewehrungsstähle (min  $\sigma_s$ , ..., max  $\epsilon_c$ ) darstellen.

Aus den zulässigen Spannungen und Dehnungen ergeben sich daraus die entsprechenden Spannungs- und Dehnungsausnutzungen. Beim Beton werden nur die Druckspannungen bzw. -dehnungen bei der Berechnung der Ausnutzungen berücksichtigt.

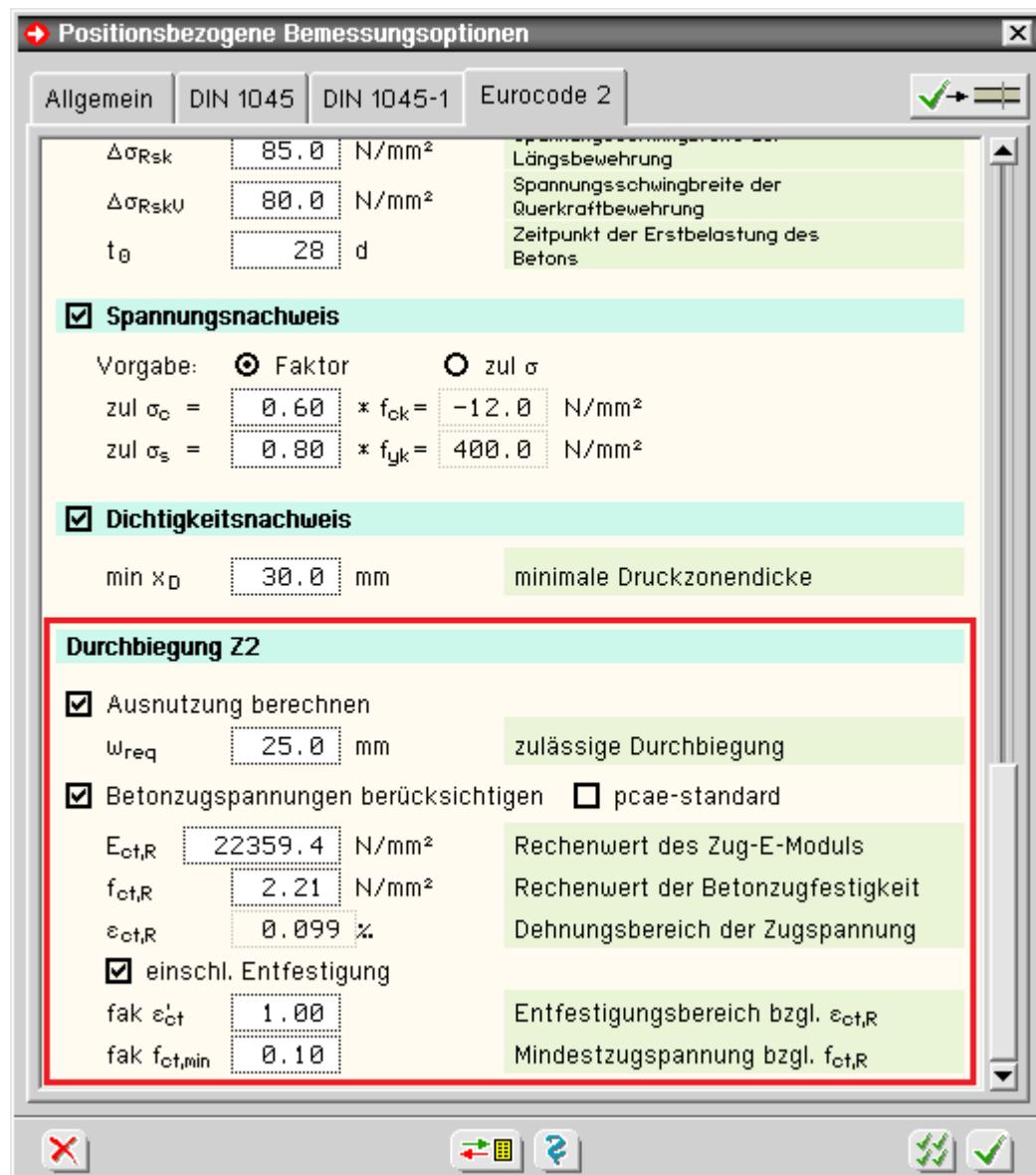
Die Beton- und Stahlspannungsausnutzung ist durch das verwendete Stoffgesetz durch 1.0 begrenzt. Es kann jedoch passieren, dass die iterativ ermittelten Dehnungen die zulässigen Beton- bzw. Stahldehnungen überschreiten.

Dann ist die zugehörige Dehnungsausnutzung größer als 1.0 und es wird eine entsprechende Warnung ausgegeben. Anhand der Ausnutzung lässt sich in einem solchen Fall oftmals der Ort des Problems erkennen.

## Positionsbezogene Bemessungsoptionen

In den positionsbezogenen Bemessungsoptionen kann eine zulässige Durchbiegung  $w_{req}$  vorgegeben werden,

aus der dann die Durchbiegungsausnutzung  $U_w = \max w / w_{req}$  berechnet wird.



Werden Betonzugspannungen berücksichtigt, können die Beiwerte für den Zug-E-Modul, die Betonzugfestigkeit sowie die Faktoren für den Entfestigungsbereich und die Mindestzugspannung vorgegeben werden. Ist der **pcae**-Standard aktiviert, werden die Werte sinnvoll vorbelegt (s. Kap. *Zugfestigkeit des Betons*).

#### Durchbiegung Z2

Bei Ermittlung der Durchbiegungen im Z2 wird die vorliegende Position im Zustand 1 sowohl für den Beton als auch für die Bewehrung berechnet !

Einzelne Positionen, wie z.B ausgewählte Wandscheiben, können von der Berechnung im Zustand 2 ausgeschlossen werden. Die Schnittgrößenermittlung erfolgt dann mit den linear elastischen Stoffkonstanten des Zustand 1. Dabei werden auch die vorhandenen Stahleinlagen als Steifigkeiten angesetzt.

#### Ergebnisse in den Knoten

Durch Doppelklicken eines Elementknotens lassen sich übersichtlich alle Knotenergebnisse simultan anzeigen.

**Informationen**

suche nach:  SCHRIFTGRÖSSE: ABC ABC ABC

**Knoten 2200 in Position 8**  
Nachweis 5 [EC 2 Durchbiegung Z2 K+S]: Lastkollektiv 1: Lastkollektiv 1

**Koordinaten, Dicke, Bettungsmodul**  
 $X = x = 19.65 \text{ m}$ ,  $Y = y = 8.90 \text{ m}$ ,  $d = 0.26 \text{ m}$ ,  $C_{bz} = 0.0 \text{ kN/m}^3$

**Verformungen**  
 $u_z = 44.611 \text{ mm}$ ,  $v_x = -0.7344 \text{ %}$ ,  $v_y = -9.2964 \text{ %}$

**Momente**  
 $M_{xx} = 0.1798 \text{ kNm/m}$ ,  $M_{yy} = 9.809 \text{ kNm/m}$ ,  $M_{xy} = 0.4694 \text{ kNm/m}$   
 $m_1 = 9.8318 \text{ kNm/m}$ ,  $m_2 = 0.157 \text{ kNm/m}$ ,  $\alpha_m = 87.22^\circ$

**Querkräfte**  
 $q_x = 1.6735 \text{ kN/m}$ ,  $q_y = 3.0012 \text{ kN/m}$   
 $q_1 = 3.4363 \text{ kN/m}$ ,  $\alpha_q = 60.86^\circ$

**Grundbewehrung des Nachweises (oben)**  
 $a_{s01o} = 5.70 \text{ cm}^2/\text{m}$ ,  $a_{s02o} = 5.70 \text{ cm}^2/\text{m}$

**Grundbewehrung des Nachweises (unten)**  
 $a_{s01u} = 7.80 \text{ cm}^2/\text{m}$ ,  $a_{s02u} = 11.30 \text{ cm}^2/\text{m}$

**Betonergebnisse des Nachweises (Zustand 2)**  
min  $\sigma_c = -1.253 \text{ MN/m}^2$ , max  $\sigma_c = 0.000 \text{ MN/m}^2$ ,  $U_{sc} = 0.033$   
min  $\epsilon_c = -0.1282 \text{ %}$ , max  $\epsilon_c = 0.5367 \text{ %}$ ,  $U_{sc} = 0.010$

**Bewehrungsergebnisse des Nachweises (Zustand 2)**  
min  $\sigma_s = -86.604 \text{ MN/m}^2$ , max  $\sigma_s = 14.972 \text{ MN/m}^2$ ,  $U_{ss} = 0.165$   
min  $\epsilon_s = -0.4330 \text{ %}$ , max  $\epsilon_s = 0.0749 \text{ %}$ ,  $U_{ss} = 0.017$

**zulässige Durchbiegung**  
 $w_{req} = 25.00 \text{ mm}$ ,  $w/w_{req} = 1.784$

## Nachweiseinstellungen

Der Nachweis der Durchbiegungen im Zustand 2 wird in der Verwaltung der Nachweise eingerichtet.

**Verwaltung der Nachweise**

**Nachweise**

- 1: EC
- 2: EC
- 3: Sc
- 4: EC
- 5: EC
- 6: EC

**ein einen neuen Nachweis hinzufügen**

**Auswahl der Nachweistypen**

- Stahlbetonbau**
  - DIN 1045 ('88)
  - DIN 1045-1
  - Eurocode**
    - EC 2 Bemessung
    - EC 2 Rissnachweis
    - EC 2 Ermüdungsnachweis
    - EC 2 Spannungsnachweis
    - EC 2 Dichtigkeitsnachweis
    - EC 2 Durchbiegung Z2**
  - sonstige Nachweise

**BEZEICHNUNG:**  
EC 2 Durchbiegung Z2  
Durchbiegung nach Eurocode 2  
interne Nummer = 48

**MATERIAL:**  
Stahlbeton

**KOMBINATIONSTYPEN:**  
Extremierungen nicht möglich  
Lastkollektive erforderlich

**NACHWEISTYP:**  
Gebrauchstauglichkeitsnachweis

**KOMBINATION:**  
frei wählbar

**KOMBINATIONSREGEL:**  
Eurocode

**OPTIONEN:**  
einstellbar

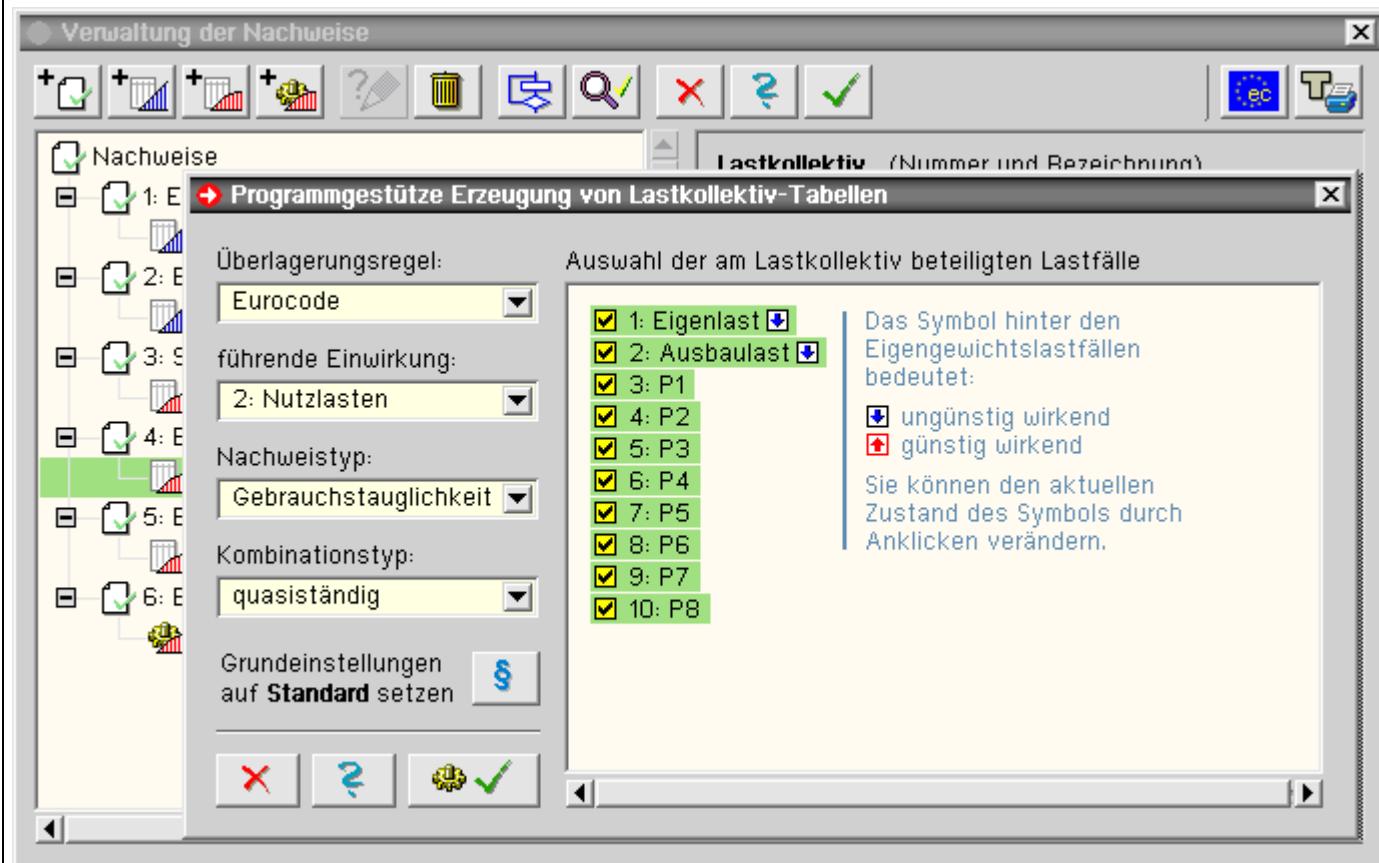
**RECHENMODUS:**  
nichtlineare Schnittgrößenberechnung

Unabhängig von der Reihenfolge der erzeugten Nachweise werden die Nachweisergebnisse **EC 2 Durchbiegung Z2**

erst nach Berechnung aller anderer Nachweise in einem nachfolgenden Schritt ermittelt, da standardmäßig die im ersten Schritt ermittelte Bewehrung als Grundbewehrung des Durchbiegungsnachweises angesetzt wird.

### Lastfallkollektive

Die realistischen Verformungen sind von den beanspruchungsabhängigen Steifigkeiten des Stahlbetons abhängig, so dass keine Überlagerung aus vorab ermittelten Lastfallergebnissen erfolgen kann, sondern Lastkombinationen in Form von Lastkollektiven bzw. Generierungsvorschriften verwendet werden müssen.

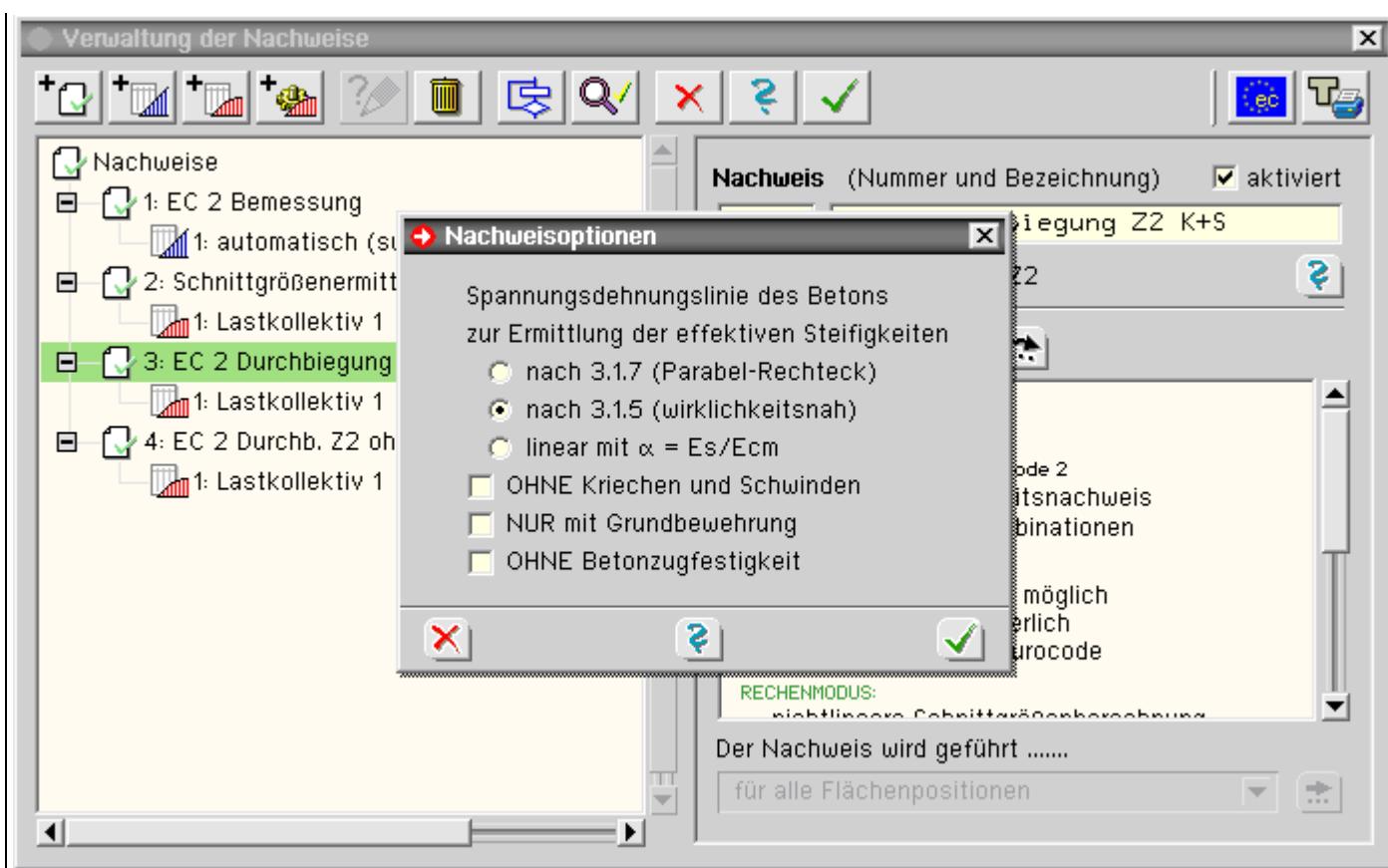


Die **Überlagerungsregel**, der **Nachweistyp** und der **Kombinationstyp** (quasiständig) sind bei der Erzeugung der Lastkollektive dem Standardfall entsprechend eingestellt, können aber jederzeit abgewandelt werden.

Die Anzahl der möglichen Kombinationen steigt mit der Anzahl der Lastfälle exponentiell an, so dass eventuell nur ausgewählte Kombinationen (Volllast, schachbrettartige Zusammenstellungen) berücksichtigt werden sollten.

### Nachweisoptionen

Unabhängig von den positionsbezogenen Bemessungsoptionen können weitere Nachweisoptionen vorgegeben werden



Die Spannungsdehnungslinie des Betons kann zur Ermittlung der realistischen Steifigkeiten gewählt werden.

Durch Berechnung **OHNE Kriechen und Schwinden** können z.B. in einem Rechenlauf mit Hilfe zweier Nachweise Durchbiegungen für den Anfangs- und dem Endzustand ermittelt werden.

Standardmäßig wird die im ersten Bemessungsschritt ermittelte Bewehrung (Tragfähigkeit- und Gebrauchszustandsnachweise mit linear berechneten Schnittgrößen) als Grundbewehrung des Durchbiegungsnachweises angesetzt.

Normalerweise schließt sich an den ersten Bemessungsschritt die Wahl der einzulegenden Bewehrung an.

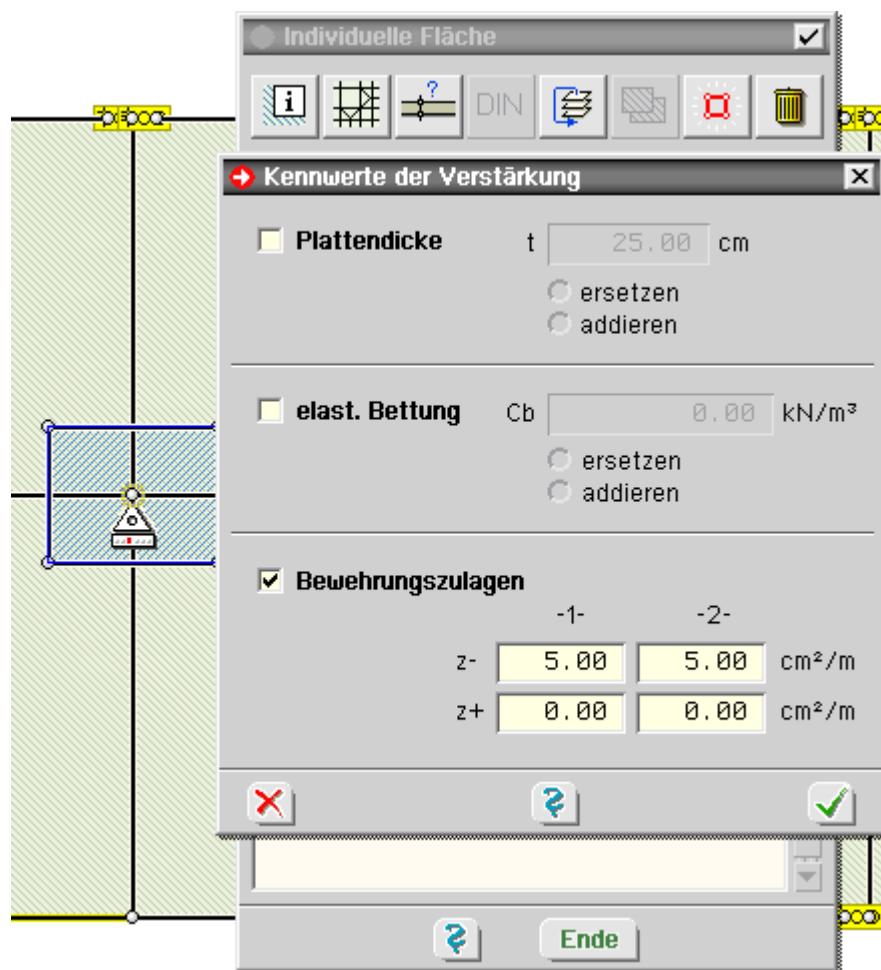
Mit dieser gewählten Bewehrung ist der Durchbiegungsnachweis zu führen.

Durch Berechnung **NUR mit Grundbewehrung** können die Bewehrungsergebnisse der vorab geführten Nachweise bei der Bewehrung für den Durchbiegungsnachweis ignoriert werden.

Durch Berechnung **OHNE Betonzugfestigkeit** können z.B. in einem Rechenlauf mit Hilfe zweier Nachweise Durchbiegungen mit und ohne Mitwirken des Betons auf Zug ermittelt werden.

### Zulagebewehrung

Neben der Möglichkeit, Grundbewehrung positionsweise zu beschreiben, kann in 4H-ALFA eine Zulagebewehrung über die Erzeugung von Flächen vom Typ **Verstärkung** hinzugefügt werden (hier ein Rechteckbereich über einer Stütze mit zusätzlicher oberer Bewehrung)



Diese Erhöhung wird für alle Finiten-Elemente vorgenommen, deren Schwerpunkt in der Verstärkungsfläche liegt. Die Vorgehensweise erfolgt analog zu der Eingabe lokaler Dicken- bzw. Bettungsänderungen.

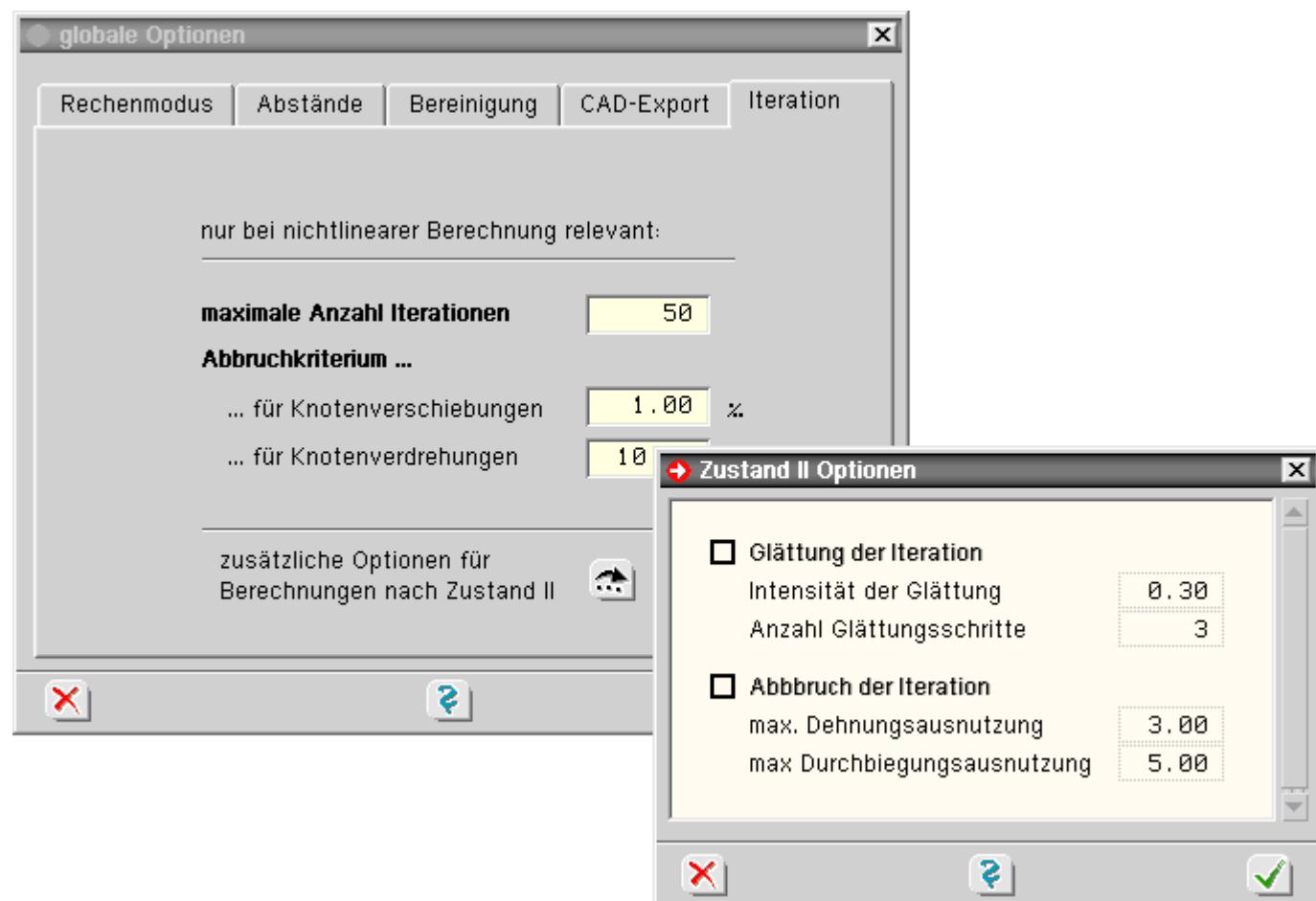
Die Bewehrungsrichtungen 1-2 und die Achsabstände der Bewehrungszulagen entsprechen dabei den Werten der zugrunde liegenden Position.

Beim Nachweis **EC 2 Durchbiegung Z2** kann über den Button **NUR mit Grundbewehrung** eingestellt werden, dass nur die eingegebene Grundbewehrung der Positionen und die Zulagebewehrung berücksichtigt werden.

Die zugrunde liegende Bewehrung kann als Ergebnis des Nachweises in der Visualisierung eingesehen werden.

## Iterationseinstellungen

Die iterative Berechnung der Ergebnisse nach Zustand 2 kann durch folgende Einstellungen beeinflusst werden



Im Register *Iteration* der globalen Optionen können zunächst, wie auch für andere iterative Berechnungen (z.B. Ausschluss von Zugfedern, Steifezahlverfahren), die maximale Anzahl der Iterationen und das Abbruchkriterium eingestellt werden.

Das Abbruchkriterium wird getrennt für Knotenverschiebungen und Knotenverdrehungen angegeben.

Fällt die Änderung der Verschiebungen und Verdrehungen in dem Iterationsschritt unter den gewünschten Wert, wird die Iteration beendet.

Die Abbruchkriterien beziehen sich dabei auf die maximalen Verschiebungs- bzw. Verdrehungswerte.

Für Berechnungen nach Zustand 2 gibt es zusätzliche Optionen, die nur geändert werden sollten, wenn es zu Problemen bei der Berechnung kommt.

Zur Aktivierung der Optionen muss der Button **Glättung der Iteration** oder **Abbruch der Iteration** gesetzt werden.

Die Glättung der Iteration sorgt dafür, dass der Iterationsfortschritt in kleineren Schritten erfolgt, wodurch ein Hin- und Herspringen in der Iteration oftmals vermieden wird.

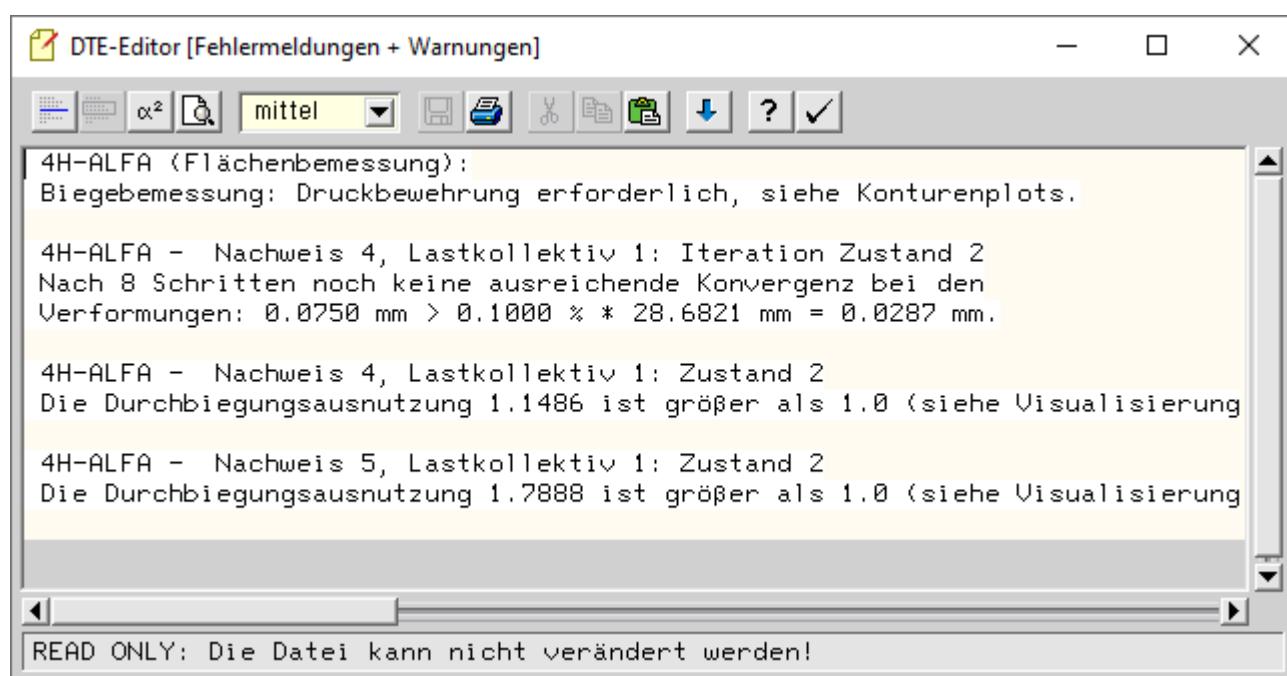
Die Intensität der Glättung kann zwischen den Werten 0.0 (keine Glättung) und 1.0 (maximale Glättung) eingestellt werden. Die Anzahl der Iterationsschritte, für die die Glättung wirken soll, kann ebenfalls vorgegeben werden.

Es ist zu beachten, dass eine starke Glättung der Iteration die Rechenzeit erhöht!

Es gibt Zustände während der Iteration, wo eine weitere Berechnung nicht sinnvoll erscheint.

Die Beton- und Stahlspannungen sind während der Berechnung durch das verwendete Stoffgesetz limitiert. Es kann jedoch passieren, dass die iterativ ermittelten Dehnungen die zulässigen Beton- bzw. Stahldehnungen überschreiten.

Die maximale Dehnungsausnutzung kann vorgegeben werden. Die Berechnung der entsprechenden Lastkombination wird dann bei Überschreitung dieser Dehnungsausnutzung mit einer entsprechenden Meldung abgebrochen.



In den positionsbezogenen Bemessungsoptionen kann eine zulässige Durchbiegung  $w_{req}$  vorgegeben werden, aus der eine Durchbiegungsausnutzung  $U_w = \max w / w_{req}$  berechnet wird. Falls diese Ausnutzung den vorgegebenen Wert überschreitet, wird die Iteration ebenfalls beendet.

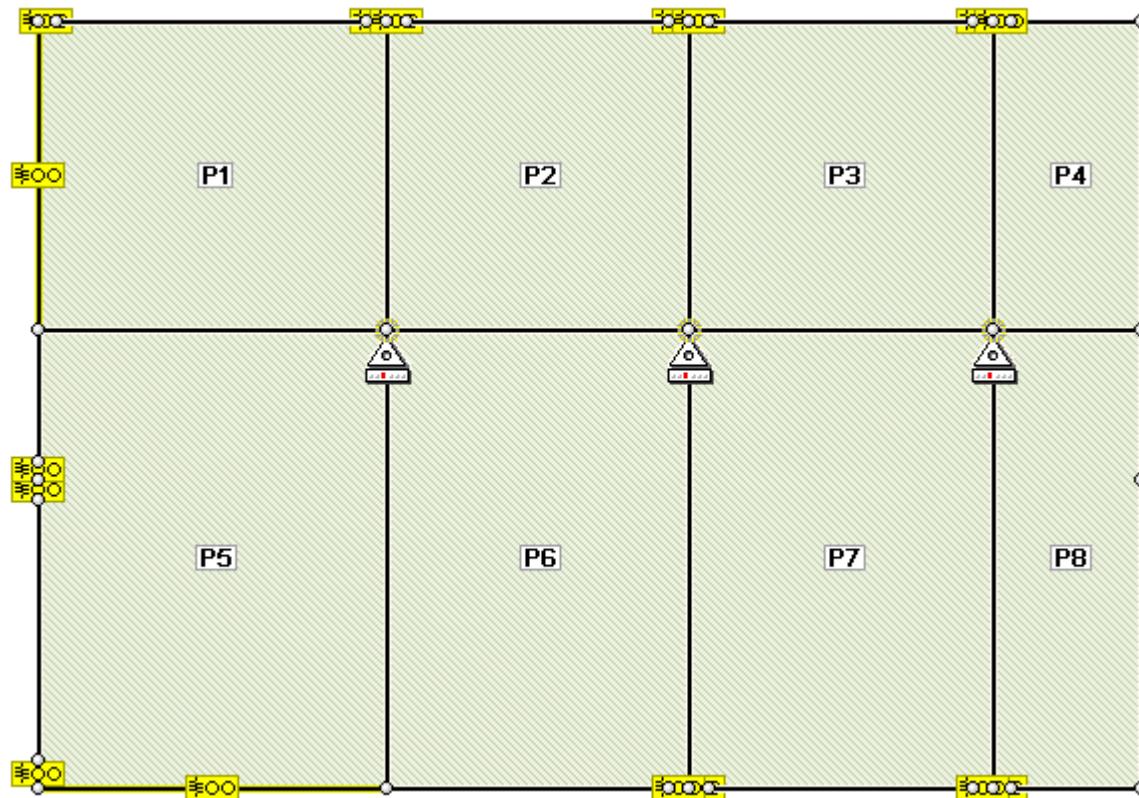


Achtung: Die Ergebnisse sind bei Abbruch der Iteration nicht zulässig!

### Beispielberechnung Flachdecke mit Kragarm im Zustand II

Das nachfolgende Beispiel ist dem Buch /1/ *Beispiele zur Bemessung nach Eurocode 2 – Band 2: Ingenieurbau* entnommen. Es stellt eine auskragende Flachdecke eines Bürogebäudes dar, für die die Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen ist.

Die Platte besteht aus acht Stahlbetonpositionen (Deckendicke 26 cm, Beton C30/37, Stahl B500) und ist auf Einzelstützen ( $C_z = 2214 \text{ MN/m}$ ) und Wandscheiben ( $c_z = 2186.7 \text{ MN/m}^2$ ) gelagert.

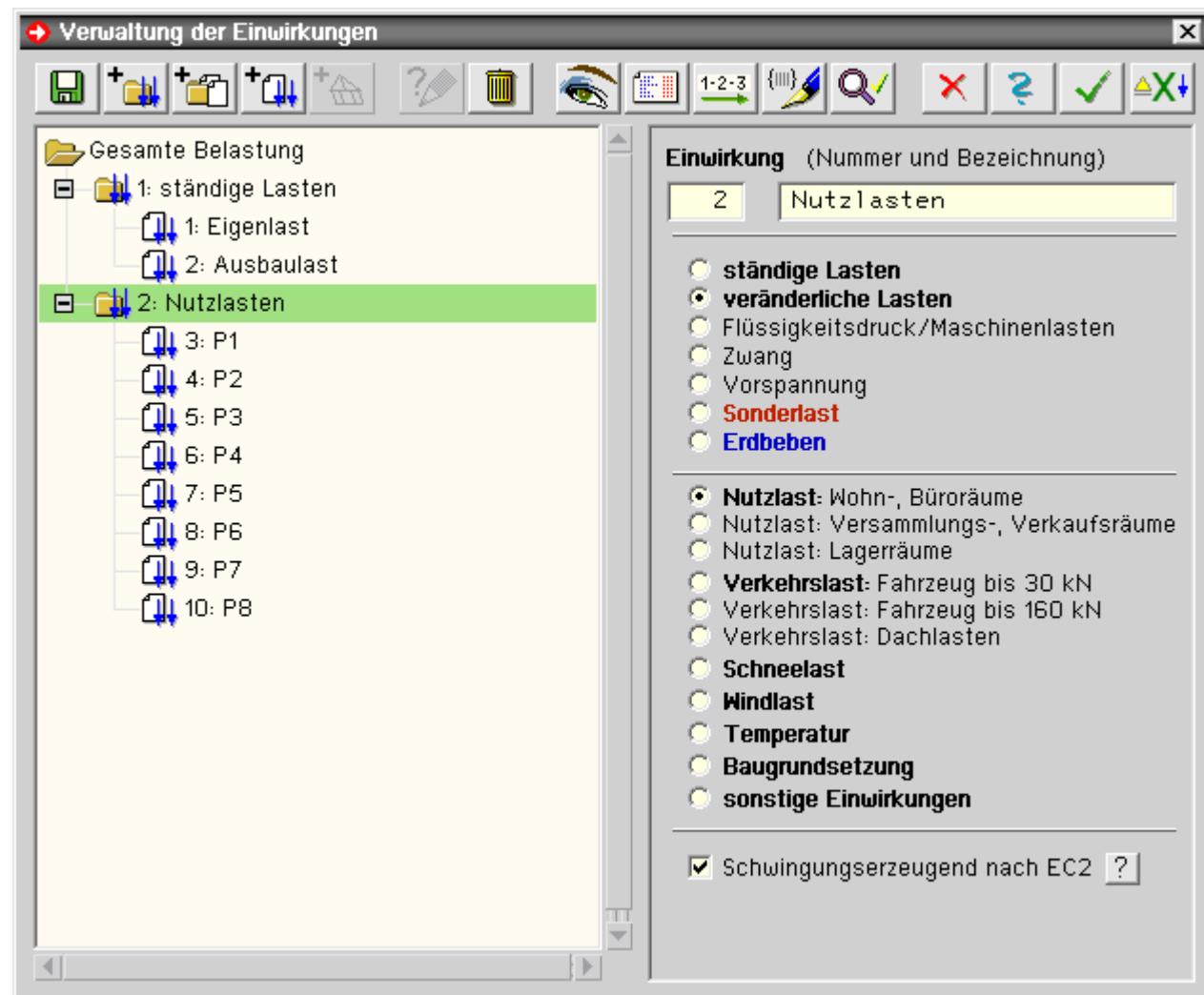


Als Grundbewehrung wird für die Positionen P1 - P4 aso1 / aso2 / asu1 / asu2 = 5.7 / 5.7 / 7.8 / 5.0  $\text{cm}^2/\text{m}$

und für die Positionen P5 - P8  $aso1 / aso2 / asu1 / asu2 = 5.7 / 5.7 / 7.8 / 11.3 \text{ cm}^2/\text{m}$  gewählt.

## Einwirkungen

Die Einwirkungen setzen sich aus den ständigen Lasten Eigenlast (LF1) und Ausbaulast (LF2) sowie den Nutzlasten der Positionen P1 bis P8 (LF3 - LF10) zusammen.



## Nachweise

Es wird zunächst der Tragfähigkeitsnachweis **EC 2 Bemessung** mit den Standardextremierungen eingerichtet.

Zur Kontrolle der Durchbiegungen werden die Nachweise **Schnittgrößenermittlung** (linear elastische Berechnung), **EC 2 Durchbiegung Z2 K+S** (Zustand 2 mit Kriechen und Schwinden) und **EC 2 Durchbiegung Z2 ohne Zug K+S** (Zustand 2 mit Kriechen und Schwinden ohne Betonzugfestigkeit) definiert.

Verwaltung der Nachweise

Nachweise

- 1: EC 2 Bemessung
  - 1: automatisch (suv Bs)
- 2: Schnittgrößenermittlung
  - 1: Lastkollektiv 1
- 3: EC 2 Durchbiegung Z2 K+S
  - 1: Lastkollektiv 1
- 4: EC 2 Durchb. Z2 ohne Zug, K+S
  - 1: Lastkollektiv 1

Lastkollektiv (Nummer und Bezeichnung)

1 Lastkollektiv 1

zum Nachweis: EC 2 Durchbiegung Z2 K+S

Lastf.	$\Psi$	$\gamma_f$	Faktor
1	1.000	1.000	= 1.000
2	1.000	1.000	= 1.000
3	0.300	1.000	= 0.300
4	0.300	1.000	= 0.300
5	0.300	1.000	= 0.300
6	0.300	1.000	= 0.300
7	0.300	1.000	= 0.300
8	0.300	1.000	= 0.300
9	0.300	1.000	= 0.300
10	0.300	1.000	= 0.300
			=
			=
			=
			=
			=
			=

Als Lastkombination wird diesen Nachweisen jeweils ein Lastkollektiv aller Lastfälle (Volllast, entspricht  $G + 0.3 \cdot Q$ ) vom Kombinationstyp **quasiständig** hinzugefügt.

Programmgestützte Erzeugung von Lastkollektiv-Tabellen

Überlagerungsregel: Eurocode

führende Einwirkung: 2: Nutzlasten

Nachweistyp: Gebrauchstauglichkeit

Kombinationstyp: quasiständig

Grundeinstellungen auf Standard setzen §

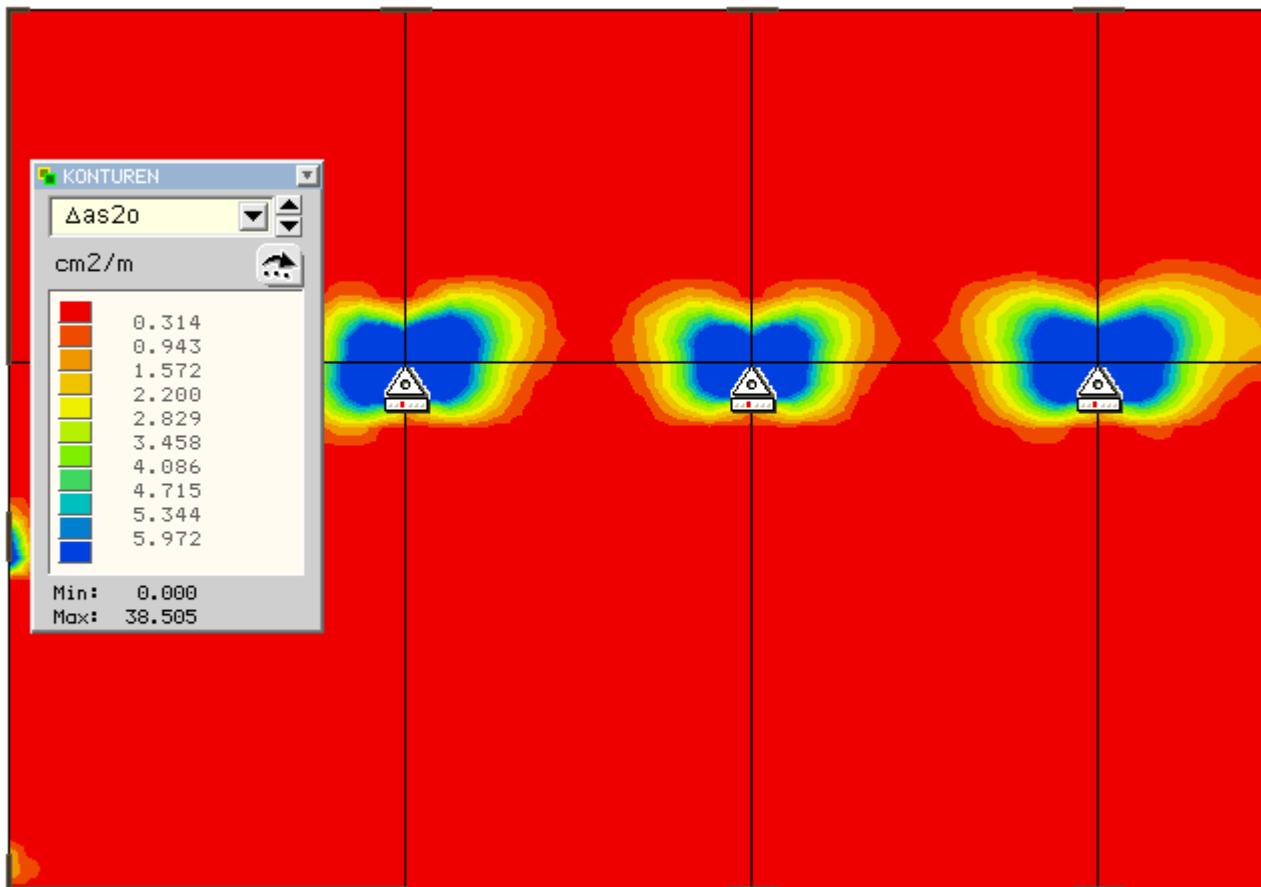
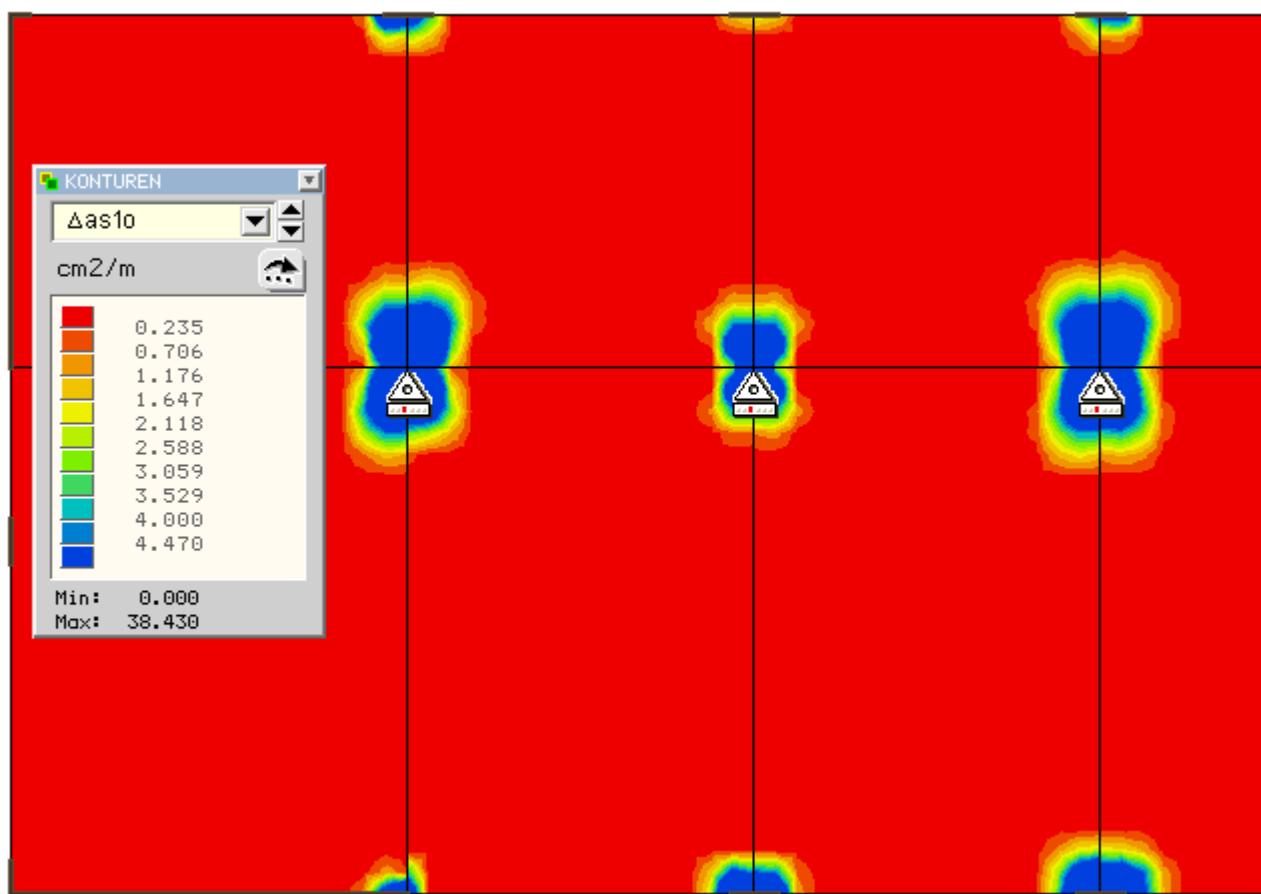
Auswahl der am Lastkollektiv beteiligten Lastfälle

1: Eigenlast  2: Ausbaulast  3: P1  4: P2  5: P3  6: P4  7: P5  8: P6  9: P7  10: P8

Das Symbol hinter den Eigengewichtslastfällen bedeutet:  
 ungünstig wirkend  
 günstig wirkend  
 Sie können den aktuellen Zustand des Symbols durch Anklicken verändern.

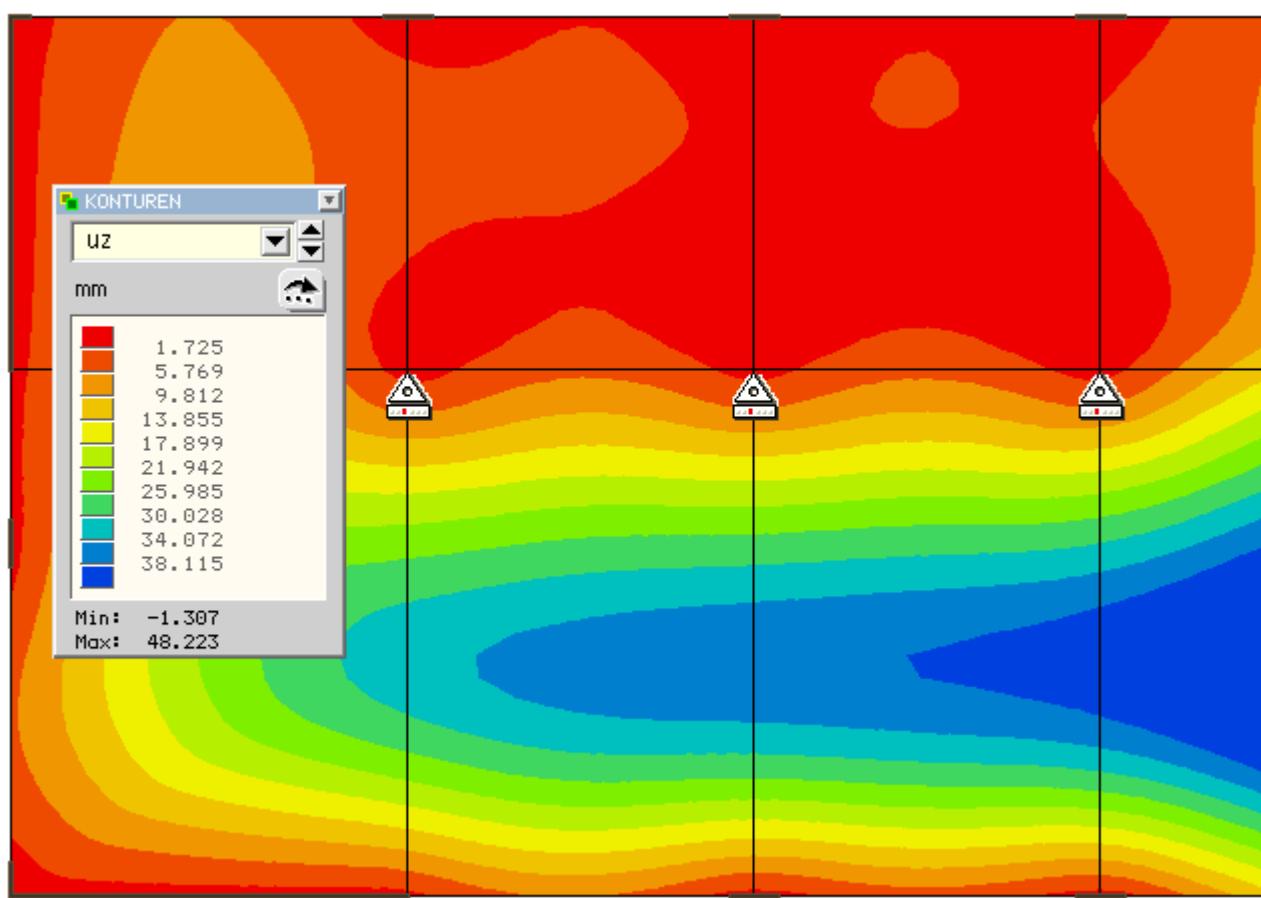
### Ergebnisse der Biegebemessung

Gegenüber der oben angegebenen Grundbewehrung ergibt sich aus der Bemessung nur in den Stütz- und Eckbereichen in den oberen Bewehrungslagen eine erforderliche Bewehrungserhöhung  $\Delta a_s$ .



### Durchbiegung im Zustand 2

Als maximale Durchbiegung ergibt sich im Nachweis EC 2 Durchbiegung Z2 K+S ein Wert von 48.22 mm, der sehr gut dem in der Literatur angegebenen Wert von 45 mm entspricht.



Die maximale Durchbiegung beim Nachweis *Schnittgrößenermittlung* (linear elastische Berechnung, nur Betonsteifigkeit) beträgt 9.86 mm.

Beim Nachweis *EC 2 Durchbiegung Z2 ohne Betonzugfestigkeit* ergeben sich 81.4 mm.

### Zusätzliche Bemerkungen

Folgende zusätzliche Bemerkungen sollen die Durchführung des Durchbiegungsnachweises und das Verständnis der Ergebnisse erleichtern.

- Es ist zu beachten, dass sich durch das einseitige Aufreißen des Betons bei Plattentragwerken die Dehnungsnulllinie verschiebt, so dass Dehnungen und Normalkräfte in der Plattenmittelfläche zu erwarten sind! Deshalb werden die Durchbiegungen nach Zustand 2 auch für Platten intern mit Faltwerkselementen berechnet.
- Bei Punktlagern und Linienlagerenden kann es aufgrund von Spannungskonzentrationen bei der FE-Berechnung zu einer zu großen Steifigkeitsabminderung kommen, die Krümmungen bzw. Verformungen werden in diesen Bereichen überschätzt.

Durch Modellierung von Lagerungen durch elastisch gebettete Teilbereiche statt durch Punktscanner werden oftmals kleinere Durchbiegungen ermittelt.

- Bei zu großen Durchbiegungen bzw. dem Abbruch der Iteration lohnt es sich, die Dehnungsausnutzungen zu kontrollieren.

An den Stellen maximaler Dehnungsausnutzung ist i.d.R. zu wenig Bewehrung vorhanden oder die Platte ist zu dünn.

- Zur Abschätzung der Durchbiegung reicht es aus, zunächst (evtl. in einer Kopie des Bauteils) mit einer kleineren Elementkantenlänge zu rechnen.
- Bevor man alle möglichen Lastkombinationen berechnet (z.B. Generierungsvorschrift), sollten zuerst ausgewählte Kombinationen untersucht werden (Volllast, schachbrettartige Zusammenstellungen).

In der quasiständigen Bemessungssituation sind die Kombinationsbeiwerte mancher Einwirkungsarten recht klein, so dass sie keinen großen Einfluss auf die maximale Durchbiegung haben.

- Voraussetzung der Berechnung realistischer Durchbiegungen ist eine genaue Beschreibung der gewählten Bewehrung.

Zumindest sollten in jedem Fall ein Tragfähigkeits- und ein Rissnachweis durchgeführt werden.

- Zur nachträglichen Änderung der gewählten Bewehrung kann man die Grundbewehrung der Positionen

abändern oder in Teilbereichen (s. Verstärkungsflächen) Bewehrungszulagen definieren.

## Literatur

- /1/ Beispiele zur Bemessung nach Eurocode 2, Band 2: Ingenieurbau, Deutscher Beton- und Bautechnik Verein E.V., Ernst & Sohn Verlag, Berlin 2015
- /2/ Stempniewski, L., Eibl, J. - Finite Elemente im Stahlbetonbau, Betonkalender 1993, Ernst & Sohn Verlag, Berlin 1993
- /3/ Darwin, D., Pecknold, D.A.W. - Inelastic Model for Cyclic Biaxial Loading of Reinforced Concrete, A Report on a Research Project Sponsored by The National Science Foundation, Research Grant GI 29934, University of Illinois at Urbana-Champaign Urbana, Illinois 1974
- /4/ Ulrich Häussler-Combe - Computational Methods for Reinforced Concrete Structures, Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin 2015
- /5/ Seung Jin Choi, Halil Kiziltan - Zur Berechnung der Durchbiegungen von Stahlbetonplatten unter Berücksichtigung wirklichkeitsnaher Materialmodelle, Eigenverlag der TU Dortmund, Fachbereich Architektur und Bauingenieurwesen, Heft 5 der Schriftenreihe Betonbau, Dortmund 2014
- /6/ DIN EN 1992-1-1, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe Januar 2011
- /7/ DIN EN 1992-1-1/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe April 2013
- /8/ Stefan Röhling, Heinz Meichsner - Rissbildung im Stahlbetonbau, Fraunhofer IRB Verlag, 2018

### globale Einstellungen für den Brückenbau



Das Fenster mit den globalen Einstellungen für den Brückenbau wird durch Klicken der Buttons **globale Einstellungen** und **brückenbauspezifische Einstellungen** erreicht.



Zunächst ist der Brückentyp festzulegen, was i.W. Einfluss auf die Teilsicherheitsbeiwerte ( $\gamma$ -Werte) und Kombinationsbeiwerte ( $\psi$ -Werte) nach DIN Fachbericht 101, Anhang C und D, bzw. Eurocode, die vom Programm automatisch gesetzt werden (Standardwerte).

Ein Klick auf den Button **Tragfähigkeitsnachweise** unter der Überschrift *Nachweisoptionen* öffnet ein Fenster zur Einstellung der Abminderungsfaktoren der Zwangsschnittgrößen bei Tragfähigkeitsnachweisen im Bruchzustand.



Die Sicherheitsbeiwerte gemäß DIN Fachbericht 101/102 sind über den Brückentyp standardmäßig voreingestellt.

Es ist jedoch möglich, über die Optionsknöpfe in den Auswahlbereichen *Sicherheitsbeiwerte FB 101/102* bzw. *Eurocode abweichende Werte* einzustellen.

Bei Nachweisen nach Eurocode werden die Lastfaktoren (Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte) dem eingestellten nationalen Anwendungsdokument (NAD) entnommen.

NADs enthalten länderspezifische Einstellungen (Parameter) zu den Eurocode-Normen und können vom Anwender der **pcae**-Programme erzeugt und inhaltlich bearbeitet werden.

Das DTE®-System bietet in der Schreibtischschublade ein entsprechendes Werkzeug an. Voreingestellt ist stets das NAD *Deutschland*, das von **pcae** mitgeliefert und gegen Änderungen geschützt ist.

---

zur Hauptseite **4H-ALFA**, Platte

**4H-ALFA3D**, Faltwerke



© **pcae** GmbH Kopernikusstr. 4A 30167 Hannover Tel. 0511/70083-0 Fax 70083-99 Mail [dte@pcae.de](mailto:dte@pcae.de)