

Fassung
November 2011

Programm

RF-BETON

Flächen

Stahlbetonbemessung nach SIA 262

Programm- Beschreibung

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der INGENIEUR-SOFTWARE DLUBAL GMBH ist es nicht gestattet, diese Programmbeschreibung oder Teile daraus auf jedwede Art zu vervielfältigen.

© **Ingenieur-Software Dlubal GmbH**
Am Zellweg 2 D-93464 Tiefenbach

Tel.: +49 (0) 9673 9203-0
Fax: +49 (0) 9673 9203-51
E-Mail: info@dlubal.com
Web: www.dlubal.de

Inhalt

Inhalt		Seite	Inhalt		Seite
1.	Einleitung	4	3.4.4	Bemessungsmethode	44
1.1	Bemessung mit RF-BETON Flächen	4	3.4.5	Norm	45
1.2	Das RF-BETON Team	5	4.	Berechnung	46
1.3	Zum Gebrauch des Handbuchs	6	4.1	Kontrolle	46
1.4	Aufruf des RF-BETON-Moduls	6	4.2	Start der Berechnung	46
2.	Theoretische Grundlagen	8	5.	Ergebnisse	48
2.1	Tragfähigkeitsnachweis	8	5.1	Erforderliche Bewehrung Gesamt	48
2.1.1	Biegung und Normalkraft	8	5.2	Erforderliche Bewehrung Flächenweise	50
2.1.2	Querkraft	9	5.3	Erforderliche Bewehrung Punktweise	51
2.2	Gebrauchstauglichkeitsnachweis	12	5.4	Gebrauchstauglichkeitsnachweise Gesamt	52
2.2.1	Vorhandene Bewehrung	12	5.5	Gebrauchstauglichkeitsnachweise Flächenweise	55
2.2.2	Mindestbewehrung	12	5.6	Gebrauchstauglichkeitsnachweise Punktweise	56
2.2.3	Begrenzung der Rissbreiten	13	5.7	Nichtlineare Berechnung Gesamt	57
2.2.4	Begrenzung der Betonstahlspannungen	14	5.8	Nichtlineare Berechnung Flächenweise	59
2.2.5	Nachweis des Stababstands	14	5.9	Nichtlineare Berechnung Punktweise	60
2.2.6	Begrenzung der Verformungen	14	6.	Ergebnisauswertung	61
2.2.7	Kriechen und Schwinden	16	6.1	Bemessungsdetails	61
2.2.7.1	Ermittlung der Eingangsgrößen	16	6.2	Ergebnisse am RFEM-Modell	63
2.2.7.2	Rechnerische Berücksichtigung von Kriechen/Schwinden	21	6.3	Filter für Ergebnisse	65
3.	Eingabedaten	23	7.	Ausdruck	68
3.1	Basisangaben	23	7.1	Ausdruckprotokoll	68
3.1.1	Tragfähigkeit	23	7.2	RF-BETON Flächen-Grafiken drucken	69
3.1.2	Gebrauchstauglichkeit	25	8.	Allgemeine Funktionen	70
3.1.2.1	Analytische Nachweismethode	26	8.1	RF-BETON Flächen-Bemessungsfälle	70
3.1.2.2	Nichtlineare Nachweismethode	28	8.2	Einheiten und Dezimalstellen	72
3.2	Materialien	30	8.3	Export der Ergebnisse	72
3.3	Flächen	32	A	Literatur	75
3.3.1	Analytische Methode für GZG	32	B	Index	76
3.3.2	Nichtlineare Methode für GZG	34			
3.4	Bewehrung	37			
3.4.1	Bewehrungsgrade	38			
3.4.2	Bewehrungsanordnung	39			
3.4.3	Längsbewehrung	41			

1. Einleitung

1.1 Bemessung mit RF-BETON Flächen

Obwohl der Verbundwerkstoff Stahlbeton zur Konstruktion von Flächentragwerken mindestens ebenso häufig eingesetzt wird wie für Stabtragwerke, finden sich in Norm und Literatur vergleichsweise wenige Ansätze zur Bemessung zweidimensionaler Bauteile. Dies gilt insbesondere für die Bemessung von Schalentragwerken, die durch eine gleichzeitige Beanspruchung durch Moment und Normalkraft gekennzeichnet sind. Da mit der Methode der finiten Elemente eine wirklichkeitsnahe Modellbildung von Flächentragwerken möglich ist, müssen Bemessungsannahmen und Algorithmen gefunden werden, die diese „Vorschriftenlücke“ zwischen einem staborientierten Regelwerk und den computergenerierten Schnittgrößen von Flächentragwerken schließen.

Die ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH stellt sich mit dem Modul RF-BETON Flächen dieser Herausforderung. Auf Grundlage der von THEODOR BAUMANN im Jahre 1972 definierten Verträglichkeitsbedingungen wurde ein konsistenter Bemessungsalgorithmus zur Dimensionierung zwei- und dreibahniger Bewehrungsscharen entwickelt. Damit dieses Modul nicht nur ein Werkzeug zur Ermittlung der statisch erforderlichen Bewehrung ist, sind die Vorschriften zu zulässigen Höchst- und Mindestbewehrungsgraden für die verschiedenen Bauteiltypen (2D-Platten, 3D-Schalen, Wände, wandartige Träger), wie sie sich in den Normen als Konstruktionsvorgaben finden, auch in RF-BETON Flächen abgebildet.

Neben der Dimensionierung des Bewehrungsstahls wird im Modul stets kontrolliert, dass der Beton, der das Bewehrungsnetz aussteift, durch eine ausreichende Plattendicke sämtlichen Anforderungen aus Biege- und Querkraftbeanspruchung gerecht wird.

Neben der Bemessung im Zustand der Tragfähigkeit besteht die Möglichkeit, das Tragwerk im Zustand der Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen. Diese Nachweise umfassen die Begrenzung der Betondruck- und der Betonstahlspannungen, die Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite sowie die Begrenzung der Rissbreite durch Begrenzung von Stabdurchmesser und Stababstand. Hierzu stehen analytische und nichtlineare Nachweismethoden zur Auswahl.

Für die nichtlineare Bemessung (als Zusatzmodul verfügbar) kann der Einfluss von Kriechen und Schwinden zur Analyse der Rissbildung im Verformungszustand berücksichtigt werden.

Die Bemessung erfolgt für folgende Normen:

- DIN 1045-1:2008-08
- DIN 1045-1:2001-07
- DIN 1045:1988-07
- DIN V ENV 1992-1-1:1992-06
- ÖNORM B 4700:2001-06-01
- EN 1992-1-1
- ACI 318-08
- SIA 262

Die links dargestellte Liste der für EN 1992-1-1:2004 verfügbaren Nationalen Anhänge wird ständig erweitert.

Die lückenlose Darstellung der Zwischenergebnisse schafft – der Philosophie des Hauses DLUBAL entsprechend – eine besondere Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse.

Ihr Team der ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH

CEN	EU
	BS Vereinigtes Königreich
	CSN Tschechien
	DIN Deutschland
	DK Dänemark
	NEN Niederlande
	NF Frankreich
	NP Portugal
	PN Polen
	SFS Finnland
	SIST Slowenien
	SS Schweden
	SS Singapur
	STN Slowakei
	UNE Spanien
	UNI Italien
	ÖNORM Österreich

Nationale Anhänge für EC 2

1.2 Das RF-BETON Team

An der Entwicklung von RF-BETON Flächen waren beteiligt:

Programmkoordinierung

Dipl.-Ing. Georg Dlubal
Dipl.-Ing. (FH) Peter Konrad, B.I.S.M
Ing. Jan Fráňa

Ing. Ph.D. Pavel Marek
Dipl.-Ing. (FH) Alexander Meierhofer
Dipl.-Ing. (FH) Younes El Frem

Programmierung

Ing. Michal Balvon
Jaroslav Bartoš
Ing. Ladislav Ivančo

Dip.-Ing. (FH) Peter Konrad, B.I.S.M
Ing. Alexandr Průcha
Ing. Lukáš Weis

Programmdesign, Dialogbilder und Icons

Dipl.-Ing. Georg Dlubal
MgA. Robert Kolouch

Zdeněk Ballák
Ing. Jan Milář

Programmkontrolle

Ing. Jan Fráňa
M.Sc. Dipl.-Ing. Frank Lobisch

Dipl.-Ing. (FH) Alexander Meierhofer
Ing. Bohdan Šmid

Handbuch, Hilfesystem und Übersetzungen

Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl
Dipl.-Ing. (FH) Peter Konrad, B.I.S.M
Ing. Dmitry Bystrov
Jan Jeřábek

Ing. Ladislav Kábrt
Ing. Petr Míchal
Dipl.-Ü. Gundel Pietzcker
Mgr. Petra Pokorná

Technische Unterstützung und Endkontrolle

Dipl.-Ing. (BA) Markus Baumgärtel
Dipl.-Ing. (BA) Sandy Baumgärtel
Dipl.-Ing. (FH) Steffen Clauß
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann
Dipl.-Ing. Frank Faulstich
Dipl.-Ing. (FH) René Flori
Dipl.-Ing. (FH) Stefan Frenzel
Dipl.-Ing. (FH) Walter Fröhlich
Dipl.-Ing. (FH) Andreas Hörold

Dipl.-Ing. (FH) Bastian Kuhn
M.Sc. Dipl.-Ing. Frank Lobisch
Dipl.-Ing. (FH) Alexander Meierhofer
M. Eng. Dipl.-Ing. (BA) Andreas Niemeier
M.Eng. Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler
Dipl.-Ing. (FH) Frank Sonntag
Dipl.-Ing. (FH) Christian Stautner
Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl
Dipl.-Ing. (FH) Andreas Wopperer

1.3 Zum Gebrauch des Handbuchs

Die Themenbereiche Installation, Benutzeroberfläche, Ergebnisauswertung und Ausdruck werden im RFEM-Handbuch ausführlich erläutert, sodass auf eine Beschreibung verzichtet werden kann. Der Schwerpunkt dieses Handbuchs liegt auf den Besonderheiten, die sich im Rahmen der Arbeit mit dem Zusatzmodul ergeben.

Die Beschreibung des Moduls RF-BETON Flächen orientiert sich an der Reihenfolge und am Aufbau der Eingabe- und Ergebnismasken. In einem vorangestellten theoretischen Kapitel werden kurz die Grundlagen der verwendeten Bemessungsverfahren vorgestellt. Der letzte Handbuchabschnitt beschreibt die diversen Programmfunktionen zur Auswertung und Dokumentation der Bemessungsergebnisse.

Grafik

Im Text werden die beschriebenen **Schaltflächen** (Buttons) in eckige Klammern gesetzt, z. B. [Grafik]. Gleichzeitig sind sie am linken Rand abgebildet. Zudem werden die **Begriffe** der Dialoge, Tabellen und Menüs durch *Kursivschrift* hervorgehoben, um so das Nachvollziehen der Erläuterungen zu erleichtern.

Das Handbuch ist nach schweizerischer Rechtschreibregel geschrieben. Es enthält auch ein Stichwortverzeichnis. Sollten Sie trotzdem nicht fündig werden, steht auf unserer Website www.dlubal.de eine Suchfunktion zur Verfügung, mit der Sie in der Liste aller *Fragen und Antworten* nach bestimmten Kriterien filtern können.

1.4 Aufruf des RF-BETON-Moduls

In RFEM bestehen folgende Möglichkeiten, das Zusatzmodul RF-BETON Flächen zu starten.

Menü

Der Programmaufruf kann erfolgen über das RFEM-Menü

Zusatzmodule → **Stahlbetonbau** → **RF-BETON Flächen**.

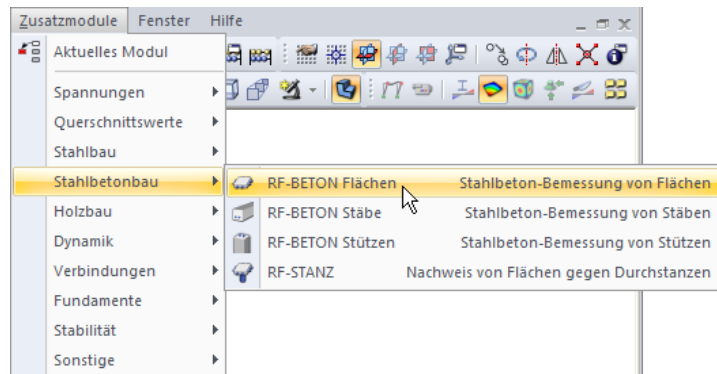


Bild 1.1: Menü *Zusatzmodule* → *Stahlbetonbau* → *RF-BETON Flächen*

Navigator

Das Bemessungsmodul kann auch im *Daten*-Navigator aufgerufen werden über

Zusatzmodule → **RF-BETON Flächen**.

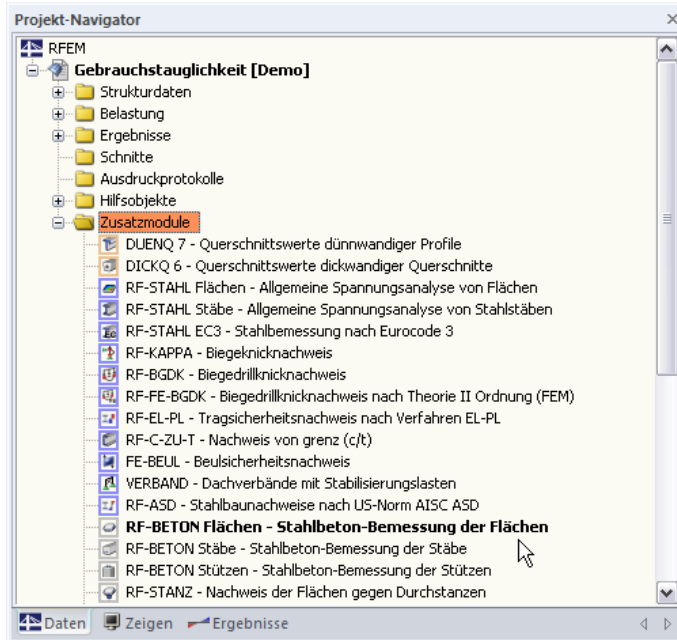
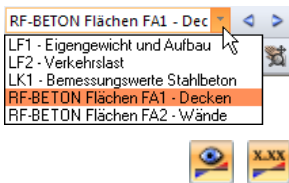


Bild 1.2: Daten-Navigator Zusatzmodule → RF-BETON Flächen

Panel

Falls in der RFEM-Position bereits Bemessungsergebnisse vorliegen, kann der gewünschte RF-BETON Flächen-Fall in der Liste der Lastfälle eingestellt werden. Über die Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus] werden die Bewehrungen oder Schnittgrößen in der Grafik angezeigt.

Im Panel steht nun die Schaltfläche [RF-BETON Flächen] zur Verfügung, die zum Aufrufen des Bemessungsmoduls benutzt werden kann.



RF-BETON Flächen

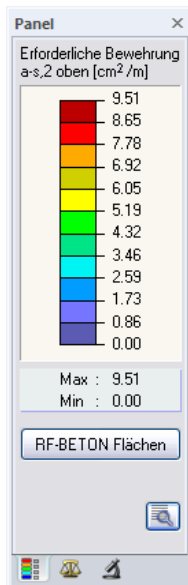


Bild 1.3: Panel: Schaltfläche [RF-BETON Flächen]

2. Theoretische Grundlagen

Nachfolgend werden nur die für die Norm SIA262 spezifischen theoretischen Grundlagen beschrieben. Allgemeine Grundlagen, wie zum Beispiel die Ermittlung der Bemessungsschnittgrößen, sind dem Handbuch zum Modul RF-BETON Flächen zu entnehmen. Dieses steht auf unserer Homepage zum Download bereit.

2.1 Tragfähigkeitsnachweis

Auf eine ausführliche Beschreibung der linearen Bemessungsverfahren wird verzichtet, da dieses Handbuch kein Lehrbuch ersetzen soll.

2.1.1 Biegung und Normalkraft

In SIA 262 werden die Bemessungsgrundlagen für den Nachweis in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit dargestellt. Diese Regelungen gelten für Biegung mit oder ohne Normalkraft und für Normalkraft allein.

Der rechnerische Versagenszustand tritt ein, wenn die Grenzdehnungen erreicht werden. Je nachdem, wo diese Grenzdehnungen auftreten, kann das Versagen durch den Beton oder den Betonstahl ausgelöst werden.

Das folgende Bild verdeutlicht die zulässigen Dehnungsverteilungen bei Biegung mit und ohne Längskraft nach SIA 262.

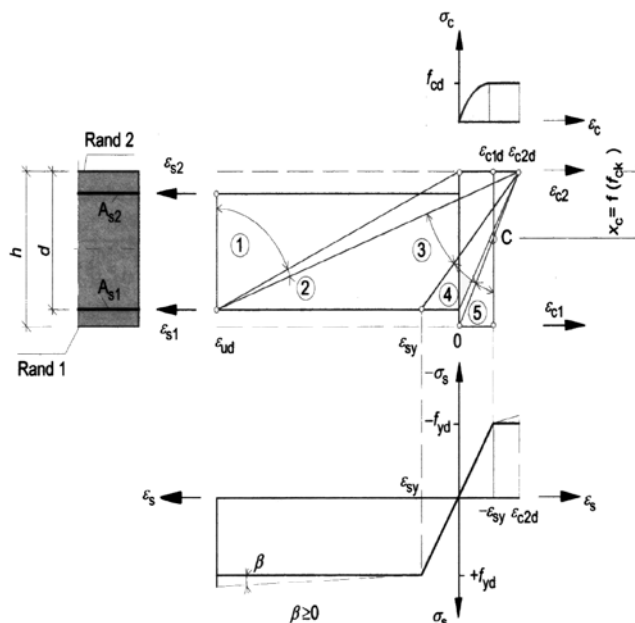


Bild 2.1: Rechnerisch mögliche Dehnungsverteilungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die im Bild gezeigten Bereiche der Dehnungsverteilungen bedeuten nach [9]:

Bereich 1

Dieser Bereich stellt sich bei einer mittigen Zugkraft oder bei einer Zugkraft mit geringer Ausmitte ein. Über dem gesamten Querschnitt treten nur Dehnungen auf. Der statisch wirksame Querschnitt besteht nur aus den beiden Bewehrungslagen A_{s1} und A_{s2} . Die Bewehrung versagt, weil die Grenzdehnung ϵ_{ud} erreicht wird.

Bereich 2

Bereich 2 tritt bei reiner Biegung und bei Biegung mit Längskraft (Druck- und Zugkraft) auf. Die Nulllinie liegt innerhalb des Querschnitts. Die Biegezugbewehrung wird voll ausgenutzt, d. h. der Stahl versagt durch das Erreichen der Grenzdehnung. Der Betonquerschnitt wird in der Regel nicht voll ausgenutzt: Die Stauchungen erreichen nicht die Grenzdehnung ε_{c2d} .

Bereich 3

Dieser Bereich stellt sich nur bei reiner Biegung und bei Biegung mit Längskraft (Druck) ein. Die Tragkraft des Stahls ist grösser als die Tragkraft des Betons. Der Beton versagt, weil seine Grenzdehnung ε_{c2d} erreicht wird.

Das Versagen des Betons kündigt sich wie in den Bereichen 1 und 2 durch Risse an, da der Stahl die Fließgrenze überschreitet (Bruch mit Vorankündigung).

Bereich 4

Bereich 4 tritt bei Biegung mit einer Längsdruckkraft auf. Er stellt den Übergang eines vorwiegend auf Biegung beanspruchten Querschnitts zu einem auf Druck beanspruchten Querschnitt dar. Der Beton versagt, bevor im Stahl die Fließgrenze erreicht wird, da die möglichen Dehnungen sehr klein sind. Dieser Bereich hat einen stark bewehrten Querschnitt zur Folge. Er wird daher durch Einlegen einer Druckbewehrung vermieden.

Kleine Stahldehnungen in der Zugzone führen zum Bruch ohne Vorankündigung (die Biegezugbewehrung gerät nicht ins Fließen).

Bereich 5

Dieser Bereich liegt bei einer Druckkraft mit geringer Ausmitte (z. B. Stütze) oder bei einer zentrischen Druckkraft vor. Über dem gesamten Querschnitt treten nur Stauchungen auf. Die Stauchung am weniger gedrückten Rand liegt zwischen $0 > \varepsilon_{c1} > \varepsilon_{c2}$. Alle Stauchungsverteilungen schneiden sich im Punkt C.

2.1.2 Querkraft

Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit ist nur im Grenzzustand der Tragfähigkeit zu führen. Die Einwirkungen und die Widerstände gehen mit ihren Bemessungswerten ein. Das allgemeine Nachweisformat nach SIA 262 lautet:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

mit V_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Querkraft

V_{Rd} Bemessungswert des Querkraftwiderstandes

Je nach Versagensmechanismus wird der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit durch einen der folgenden drei Werte bestimmt.

$V_{Rd,s}$ Bemessungswert des Widerstands der Bügelbewehrung

$V_{Rd,c}$ Bemessungswert des Widerstands des Betondruckfelds

Bleibt die einwirkende Querkraft V_{Ed} unter dem Wert von $V_{Rd,c}$, dann ist rechnerisch keine Querkraftbewehrung erforderlich und der Nachweis ist erfüllt.

Liegt die einwirkende Querkraft V_{Ed} über dem Wert von $V_{Rd,c}$, ist eine Querkraftbewehrung vorzusehen. Die Querkraftbewehrung muss die gesamte Querkraft aufnehmen

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$$

Die verschiedenen Querkrafttragfähigkeiten bestimmen sich nach SIA 262 wie folgt.

Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung

Der Bemessungswert für den Querkraftwiderstand ohne Querkraftbewehrung V_{Rd} darf ermittelt werden mit:

$$V_{Rd} = k_d \cdot \tau_{cd} \cdot d \cdot b_w \quad \text{SIA 262 4.3.3.2.1 (32)}$$

$$k_d = \frac{1}{1 + k_v \cdot d}$$

τ_{cd} Schubfestigkeit in N/mm²

d Statische Nutzhöhe der Biegebewehrung in m

b_w die kleinste Querschnittsbreite innerhalb der Zugzone des Querschnitts in m

$$k_v = 2,2 \cdot \frac{m_d}{m_{Rd}} \quad \text{SIA 262 4.3.3.2.2 (33)}$$

Bei der Berechnung ist $\frac{m_d}{m_{Rd}} = 1,00$

$$k_v = 2,2 \cdot \frac{m_d - m_{Dd}}{m_{Rd} - m_{Dd}} \quad \text{mit Berücksichtigung der Normalkraft} \quad \text{SIA 262 4.3.3.2.7}$$

Nach [21] 4.5 Einfluss der Normalkraft wird m_{Dd} wie folgt gerechnet:

$$\text{für } n_d < 0 \quad m_{Dd} = -n_d \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{d}{3} \right)$$

$$\text{für } n_d > 0 \quad m_{Dd} = -n_d \cdot \left(\frac{h}{2} - d' \right)$$

Bei der Berechnung ist $\frac{m_d - m_{Dd}}{m_{Rd} - m_{Dd}} = 1,00$

$k_v = 3,00$ wenn plastische Verformungen der Biegebewehrung (z.B. plast. Biegeelenke im Bemessungszustand) nicht ausgeschlossen werden können SIA 262 4.3.3.2.2

Für Betonstahl mit $f_{sd} > 435$ N/mm² ist k_v mit dem Beiwert $f_{sd} / 435$ nach SIA 262 4.3.3.2.4 zu vergrössern.

Für Betone mit dem Grösstkorn $D_{max} < 32$ mm ist k_v mit dem Beiwert $48 / (D_{max} + 16)$ nach SIA 262 4.3.3.2.5 zu vergrössern. Die Korngrösse wird in der Maske eingegeben.

Ist die Längsbewehrung im Bereich $\leq d$ vom Nachweisschnitt abgestuft, ist der Beiwert k_v um 50% zu vergrössern.

Querkrafttragfähigkeit mit Querkraftbewehrung

Für Bauteile mit Querkraftbewehrung rechtwinklig zur Bauteilachse gilt:

$$V_{Rd,s} = \left(\frac{A_{sw}}{s} \right) \cdot z \cdot f_{sd} \cdot \cot \alpha \quad \text{SIA 262 4.3.3.4.3 (37)}$$

mit

- A_{sw} Querschnittsfläche der Querkraftbewehrung
- s Bügelabstand
- z Hebelarm der inneren Kräfte angenommen zu $0,9 \cdot d$
- f_{sd} Bemessungswert der Streckgrenze der Querkraftbewehrung
- α Neigung der Betondruckstrebe

Die Neigung der Betondruckstrebe α darf in Abhängigkeit von der Beanspruchung innerhalb bestimmter Grenzen gewählt werden. Damit soll der Tatsache Rechnung getragen werden, dass ein Teil der Querkraft über die Rissreibung abgetragen wird und somit das Fachwerk nicht belastet. Folgende Grenzen sind in Gleichung (34) der SIA 262 empfohlen.

$$25^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ \quad \text{SIA 262 4.3.3.3.2 (34)}$$

Die Druckstrebenneigung α kann damit zwischen folgenden Werten variieren.

	Mindestneigung	Höchstneigung
α	25,0°	45,0°
$\cot \alpha$	2,14	1,0

Empfohlene Grenzen der Druckstrebenneigung

2.2 Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit bestehen aus verschiedenen Einzelnachweisen.

2.2.1 Vorhandene Bewehrung

Ehe die Gebrauchstauglichkeitsnachweise durchgeführt werden, prüft RF-BETON Flächen die vorhandene Bewehrung. Dabei wird zunächst mit den Schnittgrößen der Gebrauchstauglichkeit eine Bemessung wie im Grenzzustand der Tragfähigkeit durchgeführt. Die sich damit ergebende statisch erforderliche Bewehrung wird mit der benutzerdefinierten vorhandenen Bewehrung verglichen.

Ist die vorhandene Bewehrung kleiner als die statisch erforderliche Bewehrung oder ergibt sich im Zuge dieser Untersuchung eine Unbemessbarkeit, so unterbleiben die Gebrauchstauglichkeitsnachweise.

2.2.2 Mindestbewehrung

Der Mindestbewehrungsquerschnitt zur Begrenzung der Rissbreite ermittelt sich gemäss SIA 262 4.4.2 vereinfacht wie folgt.

$$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k_t \cdot f_{ctm} \cdot A_{ct}}{\sigma_{s,adm}}$$

$A_{s,min}$	Mindestquerschnittsfläche der Betonstahlbewehrung in der Zugzone
$\sigma_{s,adm}$	Zulässige Spannung der Betonstahlbewehrung
k_c	Beiwert zur Berücksichtigung der Spannungsverteilung in der Zugzone $k_c = 1,0$ bei reinem Zug $k_c = 0,4$ bei Biegung oder Biegung mit Normalkraft
k_t	Beiwert zur Berücksichtigung des Einflusses der Abmessung t nach SIA 262 4.4.1.3 (84)
	$k_t = \frac{1}{1 + 0,5 \cdot t} \leq 1,0 \quad t \text{ in m}$
t	generell die kleinste Bauteilabmessung, ausser für Platten- und Rechteckquerschnitte unter Biegebeanspruchung, dann gilt: $t = h/3 \quad t \text{ in m}$
f_{ctm}	Mittelwert der Betonzugfestigkeit
	Das Programm rechnet wahlweise mit einem variablen Abminderungsbeiwert k_{zt} für die Betonzugfestigkeit f_{ctm} .
	$k_{zt} = 1,0$ bei der Rissbildung ausserhalb der ersten 28 Tage
	$k_{zt} = 0,5$ bei der Rissbildung zwischen dem 3. und 5. Tag
A_{ct}	Fläche der Betonzugzone

2.2.3 Begrenzung der Rissbreiten

Der Nachweis der Rissbreite wird gemäss SIA 262 4.4.2 geführt.

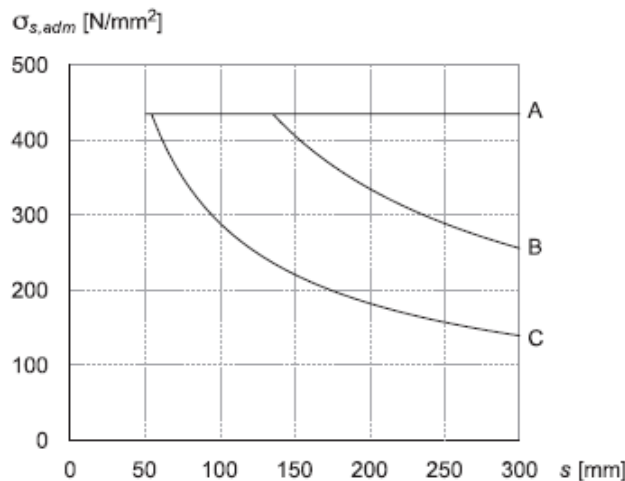
Nach SIA 262 4.4.2.3 werden die normale, erhöhte und hohe Anforderungen unterschieden.

Normale Anforderungen nach SIA 262 4.4.2.2.4 genügen, wenn Risse toleriert und keine besonderen Ansprüche an die Dichtigkeit und das Aussehen gestellt werden. *Erhöhte Anforderungen* nach SIA 262 4.4.2.2.5 werden gestellt, wenn besondere Ansprüche an die Funktionstüchtigkeit und das Aussehen bestehen und eine gute Rissverteilung angestrebt wird. *Hohe Anforderungen* nach SIA 262 4.4.2.2.6 werden gestellt, wenn eine Begrenzung der Rissbreiten für quasi-ständige und häufige Lastfälle erwünscht ist.

Nach dieser Unterscheidung wird nach SIA 262 4.4.2.3.9 Tabelle 16 die Anforderungsklasse für die Spannungsbegrenzung gewählt.

Ziel	Anforderungen		
	normal	erhöht	hoch
Verhindern spröden Versagens beim Erreichen von f_{ctd}	A	A	A
Begrenzen der Rissbreiten unter aufgezwungenen oder behinderten Verformungen (beim Erreichen von f_{ctd})	A	B	C
Begrenzen der Rissbreiten für quasi-ständige Lastfälle gemäss Norm SIA 260	–	–	C
Begrenzen der Rissbreiten für häufige Lastfälle gemäss Norm SIA 260	–	$f_{sd} - 80$	$f_{sd} - 80$

Die Spannungsbegrenzung in Funktion des Stababstandes ϕ wird nach SIA 262 4.4.2.3.10 Figur 31 dargestellt.



Nach [21] Seite 113 werden die Rissöffnungen für Anforderungsklasse B mit 0,5 mm und für C mit 0,2 mm definiert. Für die Anforderungsklasse A und $f_{sd} - 80$ sind die Rissöffnungen variabel und werden nach [21] 10.15 berechnet:

$$w = \frac{s \cdot (\sigma_{s,adm})^{3/2}}{4 \cdot E_s \cdot \sqrt{\pi} \cdot f_{ct}}$$

s Stababstand

E_s Mittelwert des Elastizitätsmoduls von Betonstahl

f_{ct} Bemessungswert der Streckgrenze der Querkraftbewehrung

$$f_{ct} = k_t \cdot k_{zt} \cdot f_{ctm}$$

2.2.4 Begrenzung der Betonstahlspannungen

Zur Vermeidung nichtelastischer Dehnungen, unzulässiger Rissbildungen und Verformungen sind gemäss SIA 262 4.4.2 die Zugspannungen in der Bewehrung zu begrenzen.

Nach SIA 262 4.4.2.3.9 Tabelle 16 werden die Anforderungsklasse für die Spannungsbegrenzung gewählt.

Für die Anforderungsklasse A gilt $\sigma_{s,adm} = f_{sd}$.

Für die Anforderungsklasse B und C werden die Werte $\sigma_{s,adm}$ nach [21] 10.15 berechnet.

$$\sigma_{s,adm} = \left(\frac{4 \cdot w \cdot E_s \cdot \sqrt{\pi \cdot f_{ct}}}{s} \right)^{2/3} \leq f_{sd}$$

Für die Anforderungsklasse $f_{sd} - 80$ gilt $\sigma_{s,adm} = f_{sd} - 80$.

2.2.5 Nachweis des Stababstands

Der maximale Stababstand $\max s_l$ wird nach [21] 10.15 berechnet.

$$s = \frac{4 \cdot E_s \cdot w \cdot \sqrt{\pi \cdot f_{ct}}}{(\sigma_s)^{3/2}} \leq 300\text{mm}$$

2.2.6 Begrenzung der Verformungen

Die Richtwerte für zulässige Verformungen sind der Norm SIA 260 zu entnehmen:

Anhang A Gebäude

Tabelle 3: Richtwerte für Durchbiegungen von Decken und Balken

Grenzzustand	Folgen der Auswirkungen		
	irreversibel	reversibel	reversibel
	Lastfall		
	selten (20)	häufig (21)	quasi-ständig (22)
Funktionsfähigkeit – Einbauten mit sprödem Verhalten – Einbauten mit duktilem Verhalten – Nutzung und Betrieb	$w \leq l/500$ ^{1) 2) 3)}	$w \leq l/350$ ^{1) 2)} $w \leq l/350$ ⁴⁾	
Komfort		$w \leq l/350$ ⁴⁾	
Aussehen			$w \leq l/300$ ¹⁾

¹⁾ Durchbiegung nach Abzug einer allfälligen Überhöhung. Allfällige Langzeitwirkungen aus Schwinden, Relaxation oder Kriechen sind zu berücksichtigen.
²⁾ Durchbiegung infolge der Einwirkungen und Langzeitwirkungen nach dem Einbau der relevanten nicht tragenden Bauteile bzw. technischen Ausrüstung.
³⁾ Wenn Einbauten besonders empfindlich auf Verformungen des Tragwerks reagieren, sind neben oder anstelle von bemessungstechnischen vor allem auch konstruktive Massnahmen gegen Beschädigungen vorzusehen.
⁴⁾ Durchbiegung infolge der veränderlichen Einwirkungen.

Die Durchbiegungen sind gemäss den Normen SIA 262 bis 266 zu bestimmen.
 Abweichende Grenzwerte für Durchbiegungen können in Abstimmung auf die Nutzungsanforderungen vereinbart und müssen in der Projektbasis festgelegt werden. Insbesondere für so genannt sekundäre Bauteile können reduzierte Anforderungen gelten.

Tabelle 4: Richtwerte für horizontale Auslenkungen von Wänden, Rahmen und Stützen

Grenzzustand	Folgen der Auswirkungen		
	irreversibel	reversibel	reversibel
	Lastfall		
	selten (20)	häufig (21)	quasi-ständig (22)
Funktionstüchtigkeit – Einbauten mit sprödem Verhalten – Einbauten mit duktilem Verhalten – Nutzung und Betrieb	$u \leq h/500$ ^{1) 2)}	$u \leq h/200$ ¹⁾ $u \leq H/300$	
Aussehen			$u \leq h/250$ ¹⁾
¹⁾ Horizontale Auslenkung infolge der veränderlichen Einwirkungen. ²⁾ Wenn Einbauten besonders empfindlich auf Verformungen des Tragwerks reagieren, sind neben oder anstelle von bemessungstechnischen vor allem auch konstruktive Massnahmen gegen Beschädigungen vorzusehen.			
Die horizontalen Auslenkungen sind gemäss den Normen SIA 262 bis 266 zu bestimmen. Abweichende Grenzwerte für horizontale Auslenkungen können in Abstimmung auf die Nutzungsanforderungen vereinbart und müssen in der Projektbasis festgelegt werden. Insbesondere für Kranbahnen können erhöhte Anforderungen gelten.			

Für weitere Konstruktionstypen sind folgende Anhänge zu berücksichtigen.

- Anhang B Strassenbrücken
- Anhang C Fuss- und Radwegbrücken
- Anhang D Normalspurbahnbrücken
- Anhang E Schmalspurbahnbrücken

Im Programm wird die Verformung nach dem Verfahren EN 1992-1-1, 7.4.3 berechnet.

Diese Berechnungsmethode ermöglicht, die Begrenzung der Verformungen mit einer direkten Berechnung nachzuweisen. Die Durchbiegungen sind dabei wirklichkeitsnah zu ermitteln. Das Berechnungsverfahren muss das tatsächliche Bauwerksverhalten mit einer Genauigkeit wiedergeben, die auf den Nachweiszweck abgestimmt ist.

Die Durchbiegung wird durch zweimalige Integration aus der Differentialgleichung der Biegelinie ermittelt. Da sich bei einem Stahlbetonquerschnitt die Steifigkeit jedoch abschnittsweise infolge Rissbildung ändert, ist das Momenten-Krümmungs-Diagramm nichtlinear. Es bestehen grosse Unterschiede in der Krümmung und damit auch in der Durchbiegung für Zustand I und Zustand II.

Die Durchbiegung wird daher mit dem Prinzip der virtuellen Arbeiten für die Stelle der maximalen Verformung bestimmt. Für die Krümmung wird eine Näherungslinie verwendet, die die Extremwerte der Krümmung mit einer zum Momentenverlauf affinen Linie verbindet.

In der Handrechnung werden nach [9] drei Werte der Durchbiegung erfasst:

Unterer Rechenwert der Durchbiegung

Die geringste Durchbiegung erhält man, wenn die Berechnung für einen vollständig ungerissenen Querschnitt durchgeführt wird (Zustand I). Diese Durchbiegung wird als f_i bezeichnet.

Oberer Rechenwert der Durchbiegung

Die grösste Durchbiegung erhält man, wenn die Berechnung für einen vollständig gerissenen Querschnitt durchgeführt wird (Zustand II). Diese Durchbiegung wird als f_{II} bezeichnet.

Wahrscheinlicher Wert der Durchbiegung

Es ist anzunehmen, dass Teilbereiche des Querschnitts ungerissen und andere, höher beanspruchte Bereiche gerissen sind. Dabei verläuft die Momenten-Krümmungs-Beziehung bis zum

ersten Riss nach Zustand I und dann teilweise gerissen. Diese Annahme liefert den wahrscheinlichen Wert der Durchbiegung f , der zwischen dem unteren und oberen Rechenwert liegt. Nach EN 1992-1-1, 7.4.3 (3), Gl. (7.18) kann dieser aus folgender Beziehung gewonnen werden:

$$\alpha = \zeta \cdot \alpha_{II} + (1 - \zeta) \cdot \alpha_I$$

Die Werte α_I und α_{II} kennzeichnen allgemeine Durchbiegungsparameter (z. B. f_I oder f_{II}). Dies kann eine Dehnung, Krümmung, Durchbiegung oder Verdrehung sein. ζ ist der Verteilungsbeiwert zwischen Zustand I und Zustand II und liegt wie in EN 1992-1-1, Gl. (7.19) dargestellt zwischen $0 \leq \zeta < 1$. Um eine wahrscheinliche Durchbiegung zu ermitteln, wird die quasi-ständige Einwirkungskombination zur Berechnung der Schnittgrößen verwendet.

2.2.7 Kriechen und Schwinden

2.2.7.1 Ermittlung der Eingangsgrößen

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die zeitabhängigen Spannungen und Verformungen aus Kriechen und Schwinden.

Kriechen bezeichnet die zeitabhängige Verformung des Betons unter Belastung über einen bestimmten Zeitraum. Die wesentlichen Einflussgrößen sind ähnlich denen des Schwindens, wobei zusätzlich die sogenannte kriecherzeugende Spannung einen wichtigen Einfluss auf die Kriechverformungen hat. Besondere Beachtung bedarf dabei die Dauer der Belastung, der Zeitpunkt der Lastaufbringung sowie die Höhe der Beanspruchung. Die Grösse, durch die das Kriechen erfasst wird, ist die Kriechzahl $\omega(t, t_0)$ zum betrachteten Zeitpunkt t .

Schwinden beschreibt eine zeitabhängige Änderung des Volumens ohne Einwirkung von äusseren Lasten oder Temperatur. Auf die weitere Verzweigung des Schwindproblems in einzelne Erscheinungsformen (Trocknungsschwinden, autogenes Schwinden, plastisches Schwinden und Karbonatisierungsschwinden) wird hier nicht näher eingegangen. Wesentliche Einflussgrößen des Schwindens sind die relative Luftfeuchte, die wirksame Bauteildicke, die Gesteinskörnung, die Betonfestigkeit, der Wasserzementwert, die Temperatur sowie die Art und Dauer der Nachbehandlung. Die Grösse, durch die das Schwinden erfasst wird, ist das Schwindmass $\epsilon_{cs}(t, t_s)$ zum betrachteten Zeitpunkt t .

Im Folgenden wird die Ermittlung der Kriechzahl $\omega(t, t_0)$ und des Schwindmasses $\epsilon_{cs}(t, t_s)$ gemäss SIA 262 und Bemessungsbeispiele zur Norm SIA 262 Anhang 8.2 - Kriechen und Schwinden von Beton vorgestellt.

Kriechzahl $\omega(t, t_0)$

Voraussetzung zur Anwendung der nachfolgenden Formeln ist, dass die kriecherzeugende Spannung σ_c der einwirkenden Dauerlast folgenden Wert nicht überschreitet:

$$\sigma_c \leq 0,45 \cdot f_{ckj}$$

mit f_{ckj} Zylinderdruckfestigkeit des Betons zum Zeitpunkt des Aufbringens der kriecherzeugenden Spannung

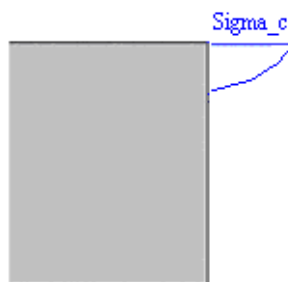


Bild 2.2: Kriecherzeugende Spannung

Unter der Annahme eines linearen Kriechverhaltens ($\sigma_c \leq 0,45f_{ckj}$) kann das Kriechen des Betons durch eine Abminderung des Elastizitätsmodul für den Beton erfasst werden.

$$E_{c,eff} = \frac{1,1 \cdot E_{cm}}{1,1 + \varphi(t, t_0)}$$

- mit E_{cm} mittlerer Elastizitätsmodul nach SIA 262 3.1.2.3.3
- $\omega(t, t_0)$ Kriechzahl
- t Betonalter zum betrachteten Zeitpunkt in Tagen
- t_0 Betonalter zu Belastungsbeginn in Tagen

Die Kriechzahl $\omega(t, t_0)$ zum untersuchten Zeitpunkt t darf wie folgt berechnet werden.

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) \cdot \beta_c(t, t_0)$$

$$\text{mit } \varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - RH}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2$$

- RH Relative Luftfeuchte in [%]
- h_0 Wirksame Bauteildicke [mm]

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u}$$

- A_c Querschnittsfläche
- u Querschnittsumfang

- α_1, α_2 Anpassungsfaktoren

$$\alpha_1 = \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,7}$$

$$\alpha_2 = \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,2}$$

- f_{cm} Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}}$$

- f_{cm} Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons in [N/mm²]

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,20}}$$

- t_0 Betonalter zu Belastungsbeginn in Tagen

$$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right]^{0,3}$$

- t Betonalter zum betrachteten Zeitpunkt in Tagen
- t_0 Betonalter zu Belastungsbeginn in Tagen

$$\beta_H = 1,5 \cdot \left[1 + (0,012 \cdot RH)^{18} \right] \cdot h_0 + 250 \cdot \alpha_3 \leq 1500 \cdot \alpha_3$$

- RH Relative Luftfeuchte [%]
- h_0 Wirksame Bauteildicke [mm]
- α_3 Anpassungsfaktor

$$\alpha_3 = 1 \quad \text{für } f_{cm} \leq 35 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_3 = \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,5} \quad \text{für } f_{cm} \geq 35 \text{ N/mm}^2$$

Folgende Eingaben sind zur Berechnung der Kriechzahl erforderlich:

- RH Relative Luftfeuchte [%]
- t_0 Betonalter zu Belastungsbeginn in Tagen
- t Betonalter zum betrachteten Zeitpunkt in Tagen (wahlweise :)

Der Einfluss hoher oder niedriger Temperatur in einem Bereich von 0 °C bis 80 °C auf den Aushärtungsgrad des Betons kann durch eine Korrektur des Betonalters durch folgende Gleichung berücksichtigt werden:

$$t_T = \sum_{i=1}^n e^{-\left[\frac{4000}{273+T(\Delta t_i)} - 13,65\right]} \cdot \Delta t_i$$

- mit
- n Anzahl der Perioden mit gleicher Temperatur
 - $T(\Delta t_i)$ Temperatur in °C während des Zeitraums Δt_i
 - Δt_i Anzahl der Tage mit dieser Temperatur T

Der Einfluss der Zementart auf die Kriechzahl des Betons kann dadurch berücksichtigt werden, dass das Belastungsalter t_0 mit Hilfe folgender Formel verändert wird.

$$t_0 = t_{0,T} \cdot \left(1 + \frac{9}{2 + (t_{0,T})^{1,2}}\right)^\alpha \geq 0,5$$

- mit
- $t_{0,T} = t_T$ Wirksames Betonalter bei Belastungsbeginn unter Berücksichtigung des Einflusses der Temperatur
 - α Exponent, abhängig von der Zementart

α	Zementart
-1	langsam erhärtende Zemente der Klasse S
0	normal oder schnell erhärtende Zemente der Klasse N
1	schnell erhärtende hochfeste Zemente der Klasse R

Beispiel

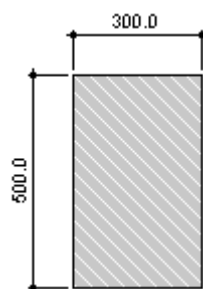


Bild 2.3: Querschnitt

Beton C25/30
 Zement CEM 42,5 N
 RH: 50%
 Zwei Temperaturwechsel:

Dauer	Temperatur
6 Tage	15 °C
8 Tage	7 °C

Betrachtetes Betonalter t_k : 365 Tage

Betonalter bei Kriechbeginn:

$$t_T = \sum_{i=1}^n e^{-\left[\frac{4000}{273+T(\Delta t_i)} - 13,65\right]} \cdot \Delta t_i = e^{-\left[\frac{4000}{273+15} - 13,65\right]} \cdot 6 + e^{-\left[\frac{4000}{273+7} - 13,65\right]} \cdot 8 = 8,96 \text{ Tage}$$

Betonalter unter Einfluss der Zementart:

$$t_0 = t_{0,T} \cdot \left(1 + \frac{9}{2 + (t_{0,T})^{1,2}}\right)^\alpha = 8,96 \cdot \left(1 + \frac{9}{2 + (8,96)^{1,2}}\right)^0 = 8,96 \text{ Tage}$$

Wirksame Bauteildicken:

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 0,5}{2 \cdot (0,3 + 0,5)} = 0,1875 \text{ cm}$$

Kriechzahl:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) \cdot \beta_c(t, t_0) = 1,933 \cdot 2,923 \cdot 0,606 \cdot 0,758 = 2,595$$

mit

$$\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - RH}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 = \left[1 + \frac{1 - 50}{0,1 \cdot \sqrt[3]{187,5}} \cdot 1,042 \right] \cdot 1,012 = 1,933$$

$$\alpha_1 = \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,7} = \left(\frac{35}{33} \right)^{0,7} = 1,042 \quad \alpha_2 = \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,2} = \left(\frac{35}{33} \right)^{0,2} = 1,012$$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = \frac{16,8}{\sqrt{33}} = 2,923$$

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,2}} = \frac{1}{0,1 + 8,96^{0,2}} = 0,606$$

$$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right]^{0,3} = \left[\frac{365 - 8,96}{538,779 + 365 - 8,96} \right]^{0,3} = 0,758$$

$$\beta_H = 1,5 \cdot \left[1 + (0,012 \cdot RH)^{18} \right] \cdot h_0 + 250 \cdot \alpha_3 = 1,5 \cdot \left[1 + (0,012 \cdot 50)^{18} \right] \cdot 187,5 + 250 \cdot 1,030 = 538,779$$

$$\beta_H \leq 1500 \cdot \alpha_3 = 1500 \cdot 1,030 = 1545$$

$$\alpha_3 = \left(\frac{35}{33} \right)^{0,5} = 1,030$$

Schwindmass $\epsilon_{cs}(t, t_s)$

Das Schwinden kann durch die Angabe der Schwindverformung $\epsilon_{cs}(t, t_s)$ definiert werden.

$$\epsilon_{cs}(t, t_s) = \epsilon_s(f_{cm}) \cdot \beta_{RH} \cdot \beta_S(t, t_s)$$

mit $\epsilon_s(f_{cm}) = [160 + \beta_{sc} \cdot (90 - f_{cm})] \cdot 10^{-6}$

Zementfestigkeitsklasse	β_{sc}
32,5	4
32,5 R; 42,5	5
42,5 R; 52,5	8

Bei Luftlagerung ($40 \% \leq RH < 99 \%$):

$$\beta_{RH} = -1,55 \cdot \beta_{sRH} \quad \text{mit } \beta_{sRH} = 1 - \left(\frac{RH}{100}\right)^3$$

Bei Wasserlagerung ($RH \geq 99\%$):

$$\beta_{RH} = 0,25$$

$$\beta_S(t, t_s) = \sqrt{\frac{t - t_s}{0,035 \cdot h_0^2 + t - t_s}}$$

- t Betonalter zum betrachteten Zeitpunkt in Tagen
- t_s Betonalter zu Beginn des Schwindens in Tagen

Beispiel

Beton C25/30

Zement CEM 42,5 R

RH: 50 %

Betonalter t_s bei Schwindbeginn: 28 Tage

Betrachtes Betonalter t: 365 Tage

$$\epsilon_{cs}(t, t_s) = \epsilon_s(f_{cm}) \cdot \beta_{RH} \cdot \beta_S(t, t_s) = 0,000445 \cdot 1,365 \cdot 0,464 = 0,282 \%$$

mit

$$\epsilon_s(f_{cm}) = [160 + \beta_{sc} \cdot (90 - f_{cm})] \cdot 10^{-6} = [160 + 5 \cdot (90 - 33)] \cdot 10^{-6} = 0,000445$$

$$\beta_{RH} = -1,55 \cdot 0,875 = -1,365 \quad \text{mit } \beta_{sRH} = 1 - \left(\frac{50}{100}\right)^3 = 0,875$$

$$\beta_S(t, t_s) = \sqrt{\frac{t - t_s}{0,035 \cdot h_0^2 + t - t_s}} = \sqrt{\frac{365 - 28}{0,035 \cdot 187,5^2 + 365 - 28}} = 0,464$$

2.2.7.2 Rechnerische Berücksichtigung von Kriechen/Schwinden

Rechnerisch werden Kriechen und Schwinden im Modell wie folgt berücksichtigt.

Kriechen

Wird von der Kenntnis der Dehnungen zum Zeitpunkt $t=0$ sowie zu einem beliebigen späteren Zeitpunkt t ausgegangen, so lässt sich der Kriechbeiwert φ_t folgendermassen angeben.

$$\varphi_t = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_{t=0}} - 1$$

Die Gleichung wird umgestellt auf die Dehnung zum Zeitpunkt t . Damit ergibt sich folgender Zusammenhang, der bei konstanten Spannungen (kleiner als circa $0,4 f_{ck}$) gültig ist.

$$\varepsilon_t = \varepsilon_{t=0} \cdot (\varphi_t + 1)$$

Bei grösseren Spannungen als etwa $0,4 f_{ck}$ steigen die Dehnungen überproportional an, wodurch der linear angenommene Bezug verloren geht.

Für die Berechnung in RF-BETON Flächen wird auf eine gängige, für baupraktische Zwecke sinnvolle Lösung zurückgegriffen: Die Spannungs-Dehnungs-Linie des Betons wird um den Faktor $(1+\varphi)$ verzerrt.

Verzerrung der Spannungs-Dehnungs-Linie zur Berücksichtigung des Kriechens

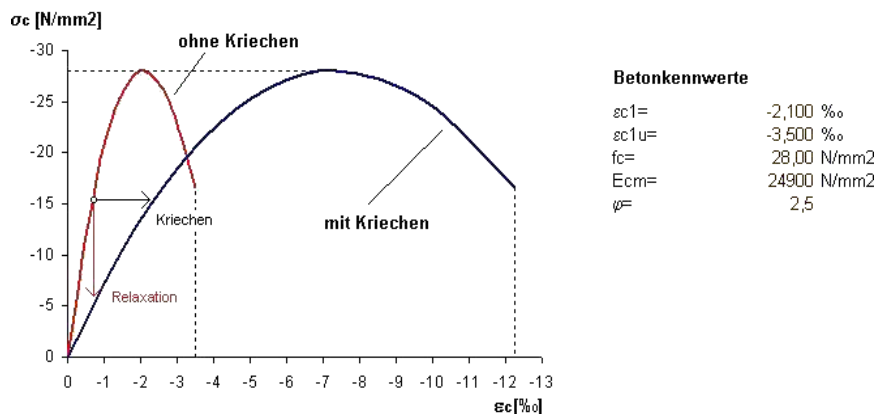


Bild 2.4: Verzerrung der Spannungs-Dehnungs-Linie zur Erfassung des Kriecheinflusses

Wie im Bild 2.4 gezeigt handelt es sich bei der Berücksichtigung des Kriechens um die Annahme konstanter kriechezeugender Spannungen über die Belastungszeit. Dieser Ansatz führt infolge nicht berücksichtigter Spannungumlagerungen zu einer geringfügigen Überschätzung der Verformung. Zudem wird mit diesem Modell der Spannungsabbau ohne eine Dehnungsänderung (Relaxation) nur bedingt erfasst: Geht man von einem linear elastischen Verhalten aus, so könnte eine Proportionalität unterstellt werden und die horizontale Verzerrung würde die Relaxation im Verhältnis $(1+\varphi)$ ebenfalls widerspiegeln. Bei der nichtlinearen Spannungs-Dehnungs-Beziehung geht dieser Zusammenhang allerdings verloren.

Diese Vorgehensweise stellt somit eine Näherung dar. Eine Verminderung der Spannungen infolge Relaxation sowie nichtlineares Kriechen kann nicht oder nur näherungsweise abgebildet werden.

Schwinden

Es stellt sich die Frage, wie die für die Berechnung relevanten Verkrümmungen des Bauteils entstehen. Der Grund hierfür ist die behinderte Verkürzung des Betons infolge der Bewehrung. Geht man von den Randbedingungen für übliche „schlanke“ Bauteile von einer gleichmässigen Schwinddehnung aus, so entstehen Bauteilkrümmungen nur bei unsymmetrischer Bewehrungsverteilung.

Das Schwinden kann deshalb über eine Vordehnung des Betons bzw. Stahls abgebildet werden. Im Detail bedeutet dies, dass durch eine positive Vordehnung des Betons die „freie Dehnung“ des Stahls behindert wird. In gleicher Weise liesse sich die Modellierung über eine negative Vordehnung des Stahls realisieren, sodass der Beton die freie Dehnung des vorgedehnten Stahls behindert. Während sich bei beiden Varianten die Spannungsverteilungen unter Berücksichtigung der jeweiligen Vordehnung identisch einstellen, unterscheidet sich die Dehnungsebene deutlich: Bei einer Vordehnung des Stahls ist aus dem Dehnungszustand sofort ersichtlich, wo Zug- und Druckbereiche infolge des Schwindens auftreten. Bei einer Vordehnung des Betons sind andererseits aus dem Dehnungszustand Aussagen über die tatsächliche Verkürzung des Betons möglich.

Da bei der Berechnung die Ermittlung der Verformungen im Vordergrund steht, ist es nicht von Interesse, ob die Modellierung bei der Steifigkeitsermittlung über eine positive Vordehnung des Betons oder eine negative Vordehnung der Bewehrung erfolgt.

Im Modul RF-BETON Flächen wird die Schwinddehnung als negative Vordehnung des Betonstahls berücksichtigt.

3. Eingabedaten



Alle Eingaben zur Definition der Bemessungsfälle erfolgen in Masken. Eine [Pick]-Funktion ermöglicht es, die zu bemessenden Flächen grafisch auszuwählen.

Nach dem Aufruf des Zusatzmoduls wird in einem neuen Fenster links ein Navigator angezeigt, der alle aktuell anwählbaren Masken verwaltet. Darüber befindet sich eine Pulldownliste mit den eventuell bereits vorhandenen Bemessungsfällen (siehe Kapitel 8.1, Seite 70).

Wird RF-BETON Flächen zum ersten Mal in einer RFEM-Position aufgerufen, so liest das Zusatzmodul folgende bemessungsrelevante Daten automatisch ein:

- Lastfälle, Lastfallgruppen und -kombinationen
- Materialien
- Flächen
- Schnittgrößen (im Hintergrund – sofern berechnet)



Die Ansteuerung der Masken erfolgt entweder durch Anklicken eines bestimmten Eintrages im RF-BETON-Navigator oder durch Blättern mit den beiden links gezeigten Schaltflächen. Die Funktionstasten [F2] und [F3] blättern ebenfalls eine Maske vorwärts bzw. zurück.

Mit [OK] werden die getroffenen Eingaben gesichert und das Modul RF-BETON Flächen verlassen, während [Abbruch] ein Beenden des Zusatzmoduls ohne Sicherung zur Folge hat.

3.1 Basisangaben

Die Maske 1.1 *Basisangaben* verfügt über zwei Register. In diesen werden die Einwirkungen für die Nachweise im Grenzzustand der *Tragfähigkeit* und *Gebrauchstauglichkeit* festgelegt.

3.1.1 Tragfähigkeit

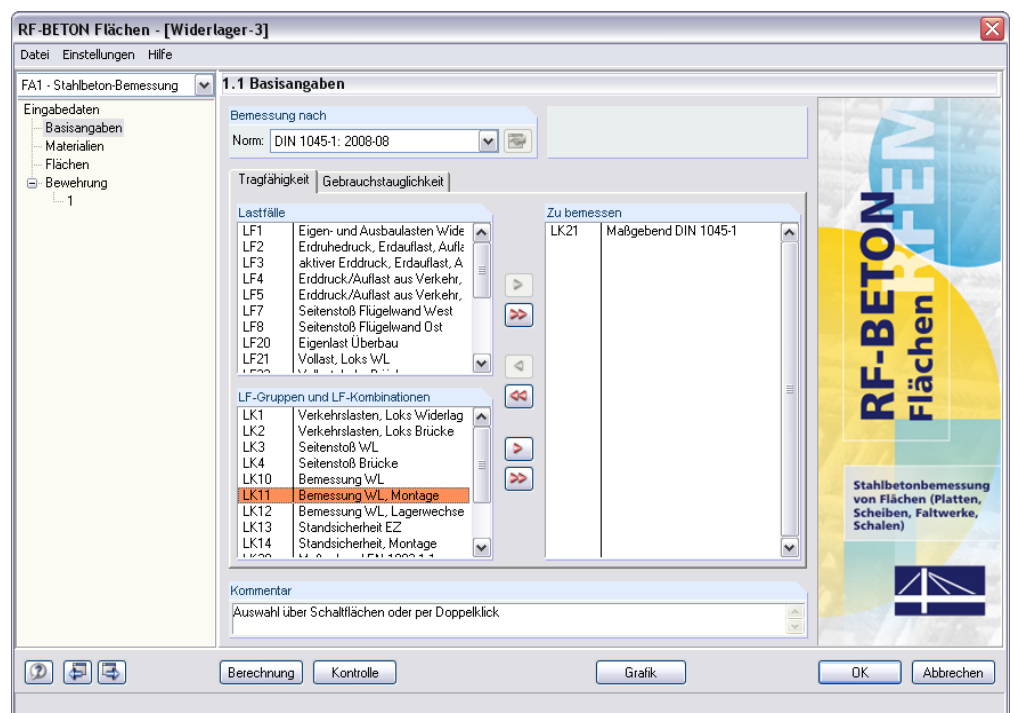


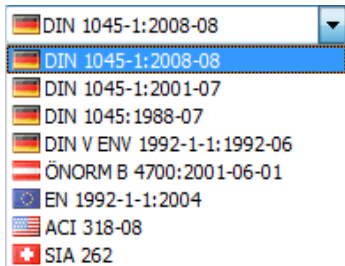
Bild 3.1: Maske 1.1 *Basisangaben*, Register *Tragfähigkeit*

Bemessung nach Norm

Die Norm wird einheitlich für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit festgelegt.

Der Klick auf die Schaltfläche [▼] rechts im Listenfeld öffnet eine Liste mit verschiedenen Stahlbetonnormen. Es stehen folgende Normen zur Auswahl:

- DIN 1045 (2008-08)
- DIN 1045-1 (2001-07)
- DIN 1045-1 (1988-07)
- DIN V ENV 1992-1-1 (1992-06)
- ÖNORM B 4700 (2001-06)
- EN 1992-1-1 (1992-06)
- EN 1992-1-1 (2004)
- ACI 318-08
- SIA 262



Falls eine auf EN 1992-1-1 basierende Norm ausgewählt wird, so wird die Schaltfläche [Norm-Einstellungen bearbeiten] rechts neben dem Listenfeld zugänglich. Diese ruft einen Dialog auf, in dem diverse Parameter benutzerdefiniert angepasst werden können.

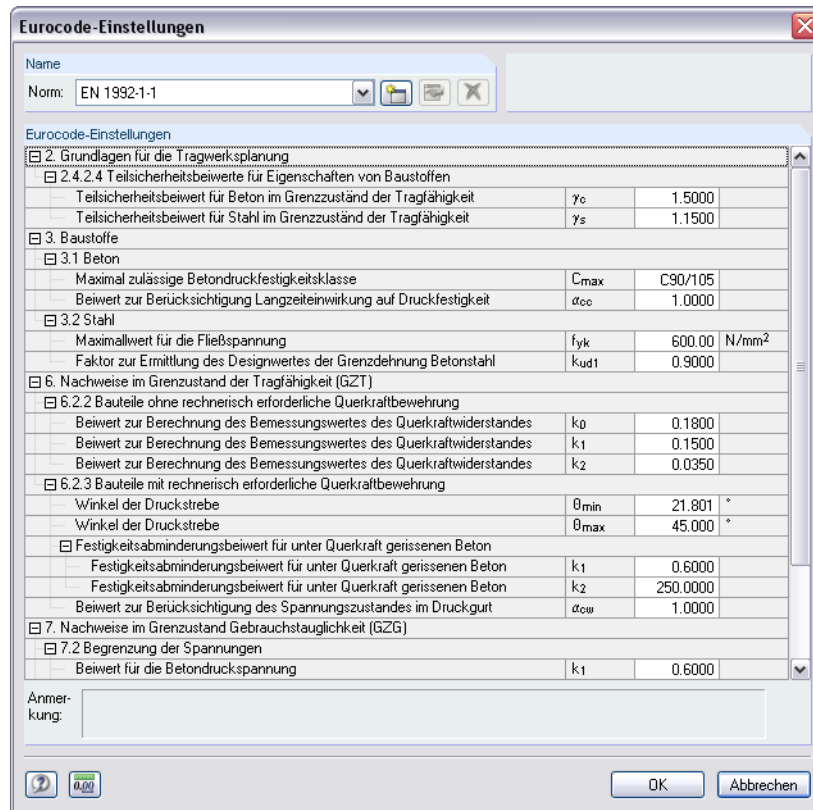


Bild 3.2: Dialog Eurocode-Einstellungen

Es lassen sich Teilsicherheits- und Abminderungsbeiwerte, Druckstrebenwinkel etc. modifizieren, wodurch spezifische nationale Anwendungsvorgaben berücksichtigt werden können.

Über die Schaltfläche [Neu] wird eine Kopie der Ausgangsnorm erzeugt, die nach den entsprechenden Änderungen als neue Eurocode-Einstellung abgespeichert werden kann.



Vorhandene Lastfälle / LF-Gruppen und LF-Kombinationen



In diesen beiden Abschnitten werden alle in RFEM definierten Lastfälle, Lastfallgruppen und Lastfallkombinationen gelistet, die für die Bemessung infrage kommen. Mit der Schaltfläche [▶] werden selektierte Lastfälle bzw. LF-Gruppen oder LF-Kombinationen nach rechts in die Liste *Zu Bemessen* übertragen. Die Auswahl kann auch per Doppelklick erfolgen. Die Schaltfläche [▶▶] übergibt die komplette Liste nach rechts.

Lastfälle, die mit einem Sternchen (*) gekennzeichnet sind, können nicht bemessen werden. Dies ist der Fall, wenn keine Lasten definiert sind oder wenn es sich um reine Imperfektionslastfälle handelt.



Bei der Bemessung von Lastfallkombinationen ist zu beachten, dass hier im Gegensatz zu Lastfällen oder Lastfallgruppen nicht nur ein Satz von Schnittgrößen je Bemessungsstelle vorliegt, sondern je nach Positionstyp bis zu 16 Sätze von Schnittgrößen existieren. Die Untersuchung aller Maxima und Minima mit den zugehörigen Schnittgrößen wirkt sich entsprechend auf die Berechnungsdauer aus.

Zu bemessen



In der rechten Spalte werden die zur Bemessung ausgewählten Einwirkungen aufgelistet. Mit der Schaltfläche [◀] lassen sich selektierte Lastfälle, LF-Gruppen oder LF-Kombinationen wieder aus der Liste entfernen. Auch hier kann die Auswahl per Doppelklick erfolgen. Die Schaltfläche [◀◀] leert die ganze Liste.

Kommentar

Dieses Eingabefeld steht für eine benutzerdefinierte Anmerkung zur Verfügung, die z. B. den aktuellen RF-BETON Flächen-Bemessungsfall erläuternd beschreibt.

3.1.2 Gebrauchstauglichkeit

Das Register *Gebrauchstauglichkeit* ist nur dann zugänglich, wenn im Register *Tragfähigkeit* mindestens eine Einwirkung ausgewählt wurde. Die dort gewählte Norm ist für beide Register gültig.

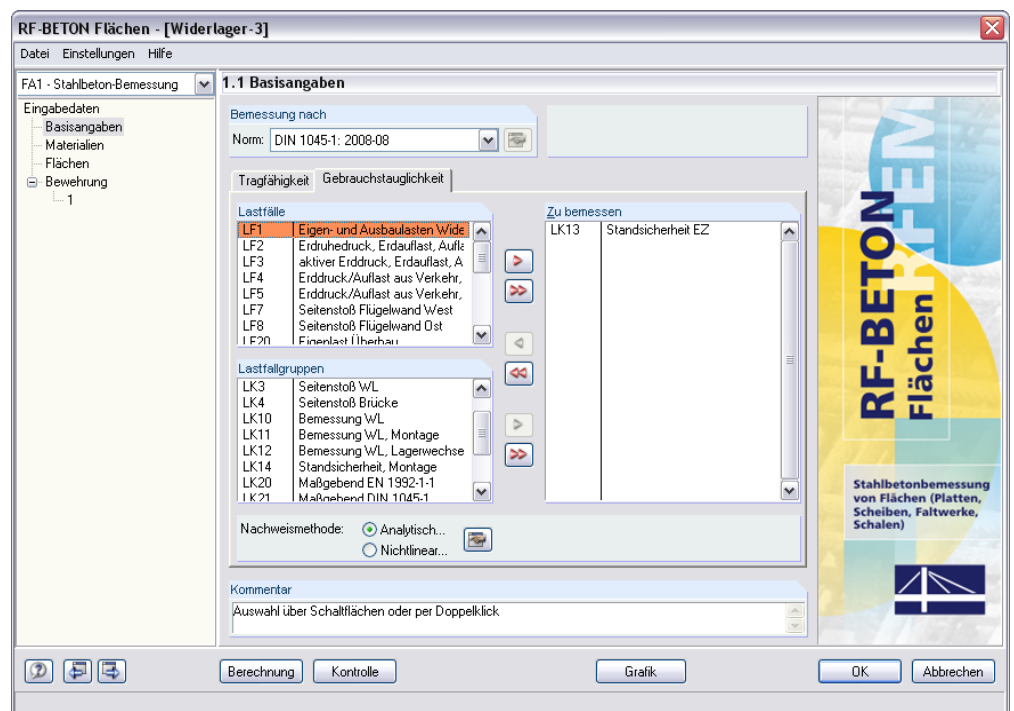


Bild 3.3: Maske 1.1 Basisangaben, Register Gebrauchstauglichkeit

Vorhandene Lastfälle / LF-Gruppen und LF-Kombinationen

Die Auswahl der zu bemessenden Lastfälle, Lastfallgruppen und -kombinationen (nur für analytische Nachweismethode!) erfolgt wie im vorherigen Kapitel 3.1.1 beschrieben.

In der Regel sind für die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) andere Einwirkungen relevant als für die Tragfähigkeitsbemessung. Die entsprechenden Konstellationen sind bereits in RFEM bei der Überlagerung der Lastfälle festzulegen.

Zu bemessen

In der rechten Spalte werden die zur Bemessung ausgewählten Einwirkungen aufgelistet. Wie im Register *Tragfähigkeit* lassen sich mit den Schaltflächen [◀] und [◀◀] selektierte bzw. alle Lastfälle, LF-Gruppen oder LF-Kombinationen aus der Liste entfernen.

Nachweismethode

Die beiden Auswahlfelder im unteren Abschnitt der Maske steuern, ob die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nach analytischer oder nichtlinearer Methode geführt werden.

3.1.2.1 Analytische Nachweismethode

Die Nachweise für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit erfolgen standardgemäß mit der Nachweismethode *Analytisch*. Nach diesem Verfahren werden die Gleichungen benutzt, die für die einzelnen Normen Gültigkeit haben (z. B. DIN 1045-1, Abschnitt 11).

Über die Schaltfläche [Einstellungen] ist ein Dialog zugänglich, in dem spezifische Vorgaben zur Berechnung der Rissbreiten getroffen werden können.

Nachweismethode: Analytisch...
 Nichtlinear...

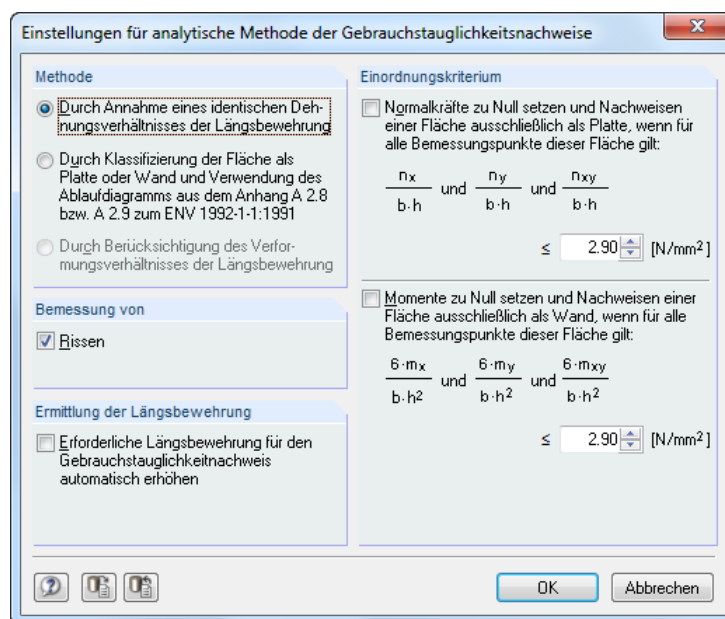


Bild 3.4: Dialog *Einstellungen für analytischen Methode der Gebrauchstauglichkeitsnachweise*

Im Abschnitt **Methode** wird festgelegt, welches Dehnungsverhältnis der Bewehrungsscharen für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis anzusetzen ist. Die *Annahme eines identischen Dehnungsverhältnisses der Längsbewehrung* setzt ein Dehnungsverhältnis der eingelegten Bewehrung von 1 voraus. Dies bedeutet, dass die Bewehrungsstäbe in die einzelnen Bewehrungsrichtungen die gleiche Dehnung erfahren. Dieser Ansatz stellt als geschlossene Lösung ein schnelles und genaues Verfahren dar, wobei die Wahl der geeigneten Druckstrebenneigung eine entscheidende Rolle spielt. Bei dieser Methode handelt es sich um eine rein geometrische Aufteilung. Sie ist gültig, wenn die vorhandene Bewehrung in etwa der erforderlichen Bewehrung entspricht.

Die Option *Klassifizierung der Fläche als Platte oder Wand* bietet eine vereinfachte Lösung, die bei einem nicht gedrehten, orthogonalen Bewehrungsnetz angewandt werden kann. Für jeden Bemessungspunkt wird untersucht, ob die Zugspannungen infolge Normalkräfte bzw. Biegemomente eine bestimmte Spannung nicht überschreiten. Dieser Grenzwert ist im Abschnitt *Einordnungskriterium* festgelegt. Damit wird gesteuert, ob die jeweilige Fläche als Platte (Normalkräfte werden zu null gesetzt) oder Wand (Momente werden zu null gesetzt) eingestuft wird. Durch die Vernachlässigung kleiner Schnittgrößenanteile ist es möglich, das Ablaufdiagramm des ENV 1992-1-1, Anhang A 2.8 bzw. 2.9 zu benutzen. Die Bemessungsschnittgrößen entsprechen dabei den in der RFEM-Tabelle 3.12 ausgewiesenen Werten (vgl. RFEM-Handbuch, Kapitel 9.12, Seite 288).

Sollte das Klassifizierungskriterium für einen Bemessungspunkt der Fläche nicht erfüllt sein, erscheint bei der Berechnung eine Fehlermeldung.

Die *Berücksichtigung des Verformungsverhältnisses der Längsbewehrung* ist nur bei den 2D-Positionstypen „Platte“ oder „Wand“ zugänglich. Diese Methode erfasst die tatsächlichen Dehnungsverhältnisse, die sich mit der gewählten Bewehrung einstellen und berücksichtigt sie für den Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

Der Abschnitt *Einordnungskriterium* steht nur bei 3D-Positionstypen zur Verfügung. Hier wird festgelegt, ob kleine *Normalkräfte* und/oder *Momente* vernachlässigt werden dürfen, um Flächen idealisiert als reine Platten bzw. Wände nachzuweisen. Als Grenzwert ist für die beiden Kontrollfelder der Mittelwert der zentrischen Zugfestigkeit f_{ctm} von 2,9 N/mm² eines Beton C30/37 voreingestellt. Es liegt die Annahme zugrunde, dass die Betonzugfestigkeit eine Rissbildung infolge der kleinen Zugspannungen kompensiert, wodurch diese vernachlässigt werden können.

Wurde im Abschnitt *Methode* die vereinfachte Klassifizierung als Platte oder Wand gewählt, so muss mindestens eines der beiden Einordnungskriterien aktiviert werden.

Im Abschnitt *Bemessung von* kann festgelegt werden, ob Risse und/oder Verformungen im Nachweis untersucht werden sollen. Es ist mindestens eines der Kontrollfelder zu aktivieren.

Im Zuge der Analyse von *Rissen* ist es möglich, die Mindestbewehrungen $a_{s,min}$ sowie die Rissbreiten w_k nachzuweisen. Die Einstellungen zu den einzelnen Nachweisen erfolgen in Maske 1.3 *Flächen* (siehe Kapitel 3.3, Seite 32).

Der Abschnitt *Ermittlung der Längsbewehrung* steuert, ob zur Erfüllung der Gebrauchstauglichkeitsnachweise die Längsbewehrung ausgelegt werden soll. Ist das Kontrollfeld inaktiv, so werden die in Maske 1.4, Register *Längsbewehrung* (siehe Kapitel 3.4.3, Seite 41) getroffenen Vorgaben verwendet: Ansatz der Grundbewehrung, der erforderlichen Bewehrung aus Tragfähigkeitsnachweis oder der Grundbewehrung mit Zusatzbewehrung.

Die Auslegung der Bewehrung für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit erfolgt durch eine iterative Bewehrungserhöhung. Als Startwert der Iteration wird die erforderliche Tragbewehrung zur Aufnahme der vorgegebenen Gebrauchslast angesetzt. Die Bewehrungsauslegung endet ohne Ergebnis, wenn der Stababstand s_i der angesetzten Bewehrung den Stabdurchmesser d_{si} erreicht hat. In diesem Fall wird in den Ergebnismasken für diesen Punkt eine Unbemessbarkeit ausgegeben.

3.1.2.2 Nichtlineare Nachweismethode

Nachweismethode: Analytisch...
 Nichtlinear...



Für die Nachweismethode *Nichtlinear* ist eine Lizenz des Zusatzmoduls **RF-BETON NL** erforderlich.

Bei der nichtlinearen Nachweismethode sind Lastfallkombinationen von der Bemessung ausgeschlossen. Es besteht eine Interaktion zwischen Struktur und Belastung, die eine eindeutige Schnittgrößenverteilung erfordert. Bei einer Lastfallkombination liegen jedoch Maximal- und Minimalwerte für jeden FE-Knoten vor.



Über die Schaltfläche [Einstellungen] im Register *Gebrauchstauglichkeit* der Maske 1.1 (siehe Bild 3.3, Seite 25) ist ein Dialog zugänglich, in dem die Randparameter für den nichtlinearen Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit festgelegt werden.

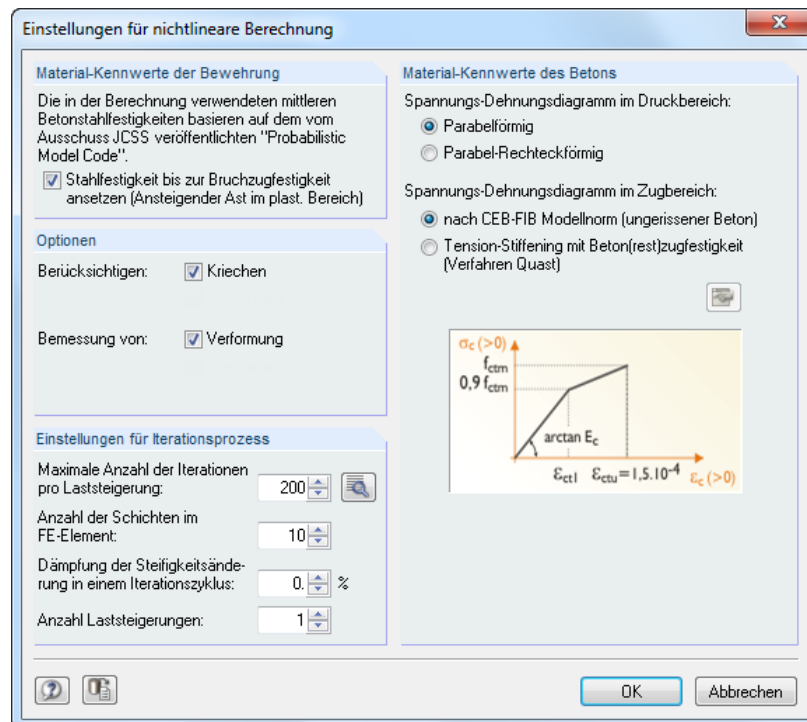


Bild 3.5: Dialog *Einstellungen für nichtlineare Berechnung*

Im Abschnitt **Material-Kennwerte der Bewehrung** wird festgelegt, ob im plastischen Bereich der Spannungs-Dehnungslinie des Betonstahls mit ansteigendem oder mit horizontalem Ast gerechnet wird.

Der Abschnitt **Optionen** steuert, ob der Einfluss von *Kriechen* und *Schwinden* (in Vorbereitung) bei der Berechnung berücksichtigt wird. Zusätzlich kann hier festgelegt werden, welche Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (Verformung, Rissbreiten, Spannungen) zu führen sind. Es ist mindestens eines dieser drei Kontrollfelder zu aktivieren.

Die Einstellungen zu Kriechen und Schwinden sowie zu den einzelnen Nachweisen erfolgen in Maske 1.3 *Flächen* (siehe Kapitel 3.3.2, Seite 34).



Im Abschnitt **Einstellungen für Iterationsprozess** sind alle Einstellungen vorzunehmen, die den Ablauf des nichtlinearen Bemessungsverfahrens betreffen. Bei der Veränderung der Iterationsgenauigkeit ist darauf zu achten, dass die maximale Anzahl der *Iterationen* größer ist als die Stelle im Berechnungsablauf, ab der zusätzlich das Verformungskriterium berücksichtigt wird. Über die Schaltfläche [Details] ist der RFEM-Dialog *Berechnungsparameter* zugänglich. Dort kann die Genauigkeit der Konvergenzschranke für die nichtlineare Berechnung angepasst werden.

Bei der nichtlinearen Berechnung wird die Fläche in so genannte *Schichten* (Layer) aufgeteilt. Die empfohlene Anzahl der Schichten liegt bei 10.

Der Abschnitt **Material-Kennwerte des Betons** des Dialogs *Einstellungen für nichtlineare Berechnung* (vgl. Bild 3.5) steuert, ob für die Spannungs-Dehnungslinie des Betons im *Druckbereich* ein parabelförmiger oder ein parabel-rechteckförmiger Verlauf angesetzt wird. Ferner wird hier der Verlauf der Spannungs-Dehnungslinie im *Zugbereich* des Betons festgelegt. Die Voreinstellung geht gemäß CEB-FIB Model Code von einem ungerissenen Beton aus.



Wird für das Spannungs-Dehnungsdiagramm die versteifende Mitwirkung des Betons in der Zugzone (*Tension Stiffening*) gewählt, können die Einstellungen für den Ansatz der Betonzugfestigkeit zwischen den Rissen in einem separaten Dialog definiert werden. Dieser wird über die links dargestellte Schaltfläche aufgerufen.

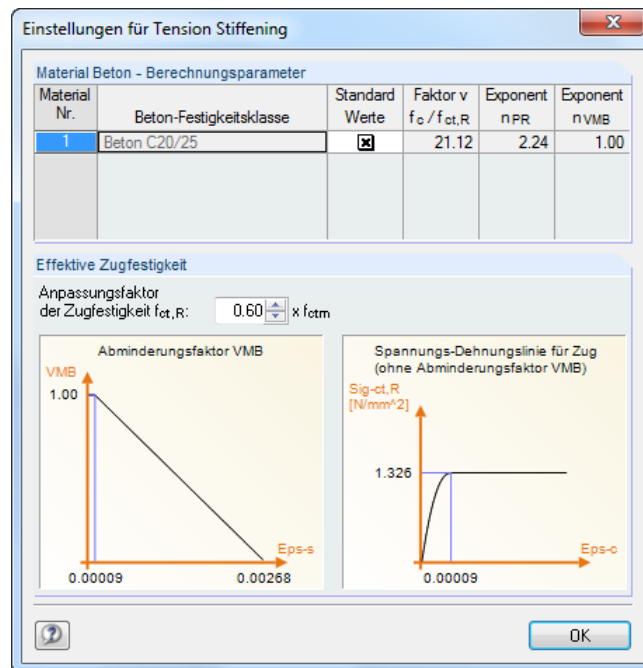


Bild 3.6: Dialog *Tension Stiffening*

Die beiden Grafiken dieses Dialogs zeigen die Änderungen der Parameter dynamisch an.

3.2 Materialien

Diese Maske ist zweigeteilt. Im oberen Abschnitt sind die bei der Bemessung verwendeten Beton- und Stahlgütern aufgelistet. Im Abschnitt *Materialkennwerte* unterhalb werden die Eigenschaften des aktuellen Materials angezeigt, d. h. des Materials, dessen Zeile im oberen Abschnitt selektiert ist.

Die zur Schnittgrößenermittlung in RFEM benötigten Materialkennwerte sind im Kapitel 5.3 des RFEM-Handbuchs ausführlich beschrieben. Die bemessungsrelevanten Materialeigenschaften werden in der globalen Materialbibliothek mit gespeichert und sind automatisch voreingestellt.

Die Einheiten und Nachkommastellen der Materialkennwerte und Spannungen können über Menü **Einstellungen** → **Einheiten und Dezimalstellen** angepasst werden (siehe Bild 8.5, Seite 72).

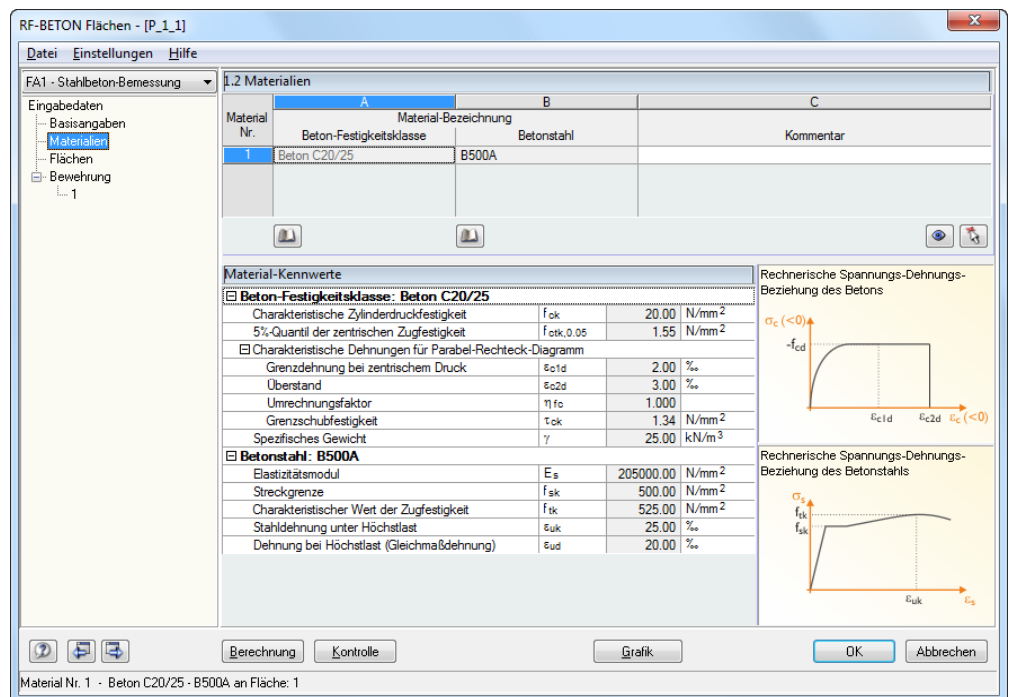


Bild 3.7: Maske 1.2 Materialien

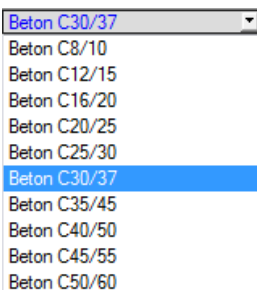
Materialbezeichnung

Beton-Festigkeitsklasse

Die in RFEM definierten Beton-Materialien sind voreingestellt; andersartige Materialien werden ausgeblendet. Wenn die *Materialbezeichnung* mit einem Eintrag der Materialbibliothek übereinstimmt, liest RF-BETON Flächen die Materialkennwerte ein.

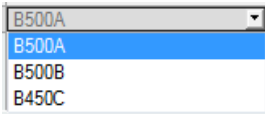
Die Auswahl eines Materials ist über die Liste möglich: Platzen Sie den Cursor in Spalte A und klicken dann die Schaltfläche [▼] an oder betätigen die Funktionstaste [F7]. Es öffnet sich die links dargestellte Liste. Nach der Übernahme werden die Kennwerte aktualisiert.

In der Liste werden nur Materialien der Kategorie *Beton* angeführt, die dem jeweiligen Bemessungskonzept der gewählten Norm entsprechen. Die Übernahme von Materialien aus der Bibliothek ist nachfolgend beschrieben.



Betonstahl

In dieser Spalte ist eine gängige Stahlgüte voreingestellt, die dem Bemessungskonzept der gewählten Norm entspricht.



Wie bei der Beton-Festigkeitsklasse ist die Auswahl eines anderen Betonstahls über die Liste möglich: Platzieren Sie den Cursor in Spalte B und klicken dann die Schaltfläche [▼] an oder betätigen die Funktionstaste [F7]. Es öffnet sich die links dargestellte Liste. Nach der Übernahme werden die Kennwerte aktualisiert.

Die Übernahme von Materialien aus der Bibliothek ist nachfolgend beschrieben.

Materialbibliothek

Eine Vielzahl von Beton- und Betonstahlmaterialien ist in einer Bibliothek hinterlegt. Diese wird aufgerufen über die links dargestellte Schaltfläche, die jeweils für die Beton-Festigkeitsklassen und Betonstähle unterhalb der Spalte A bzw. B zur Verfügung steht.

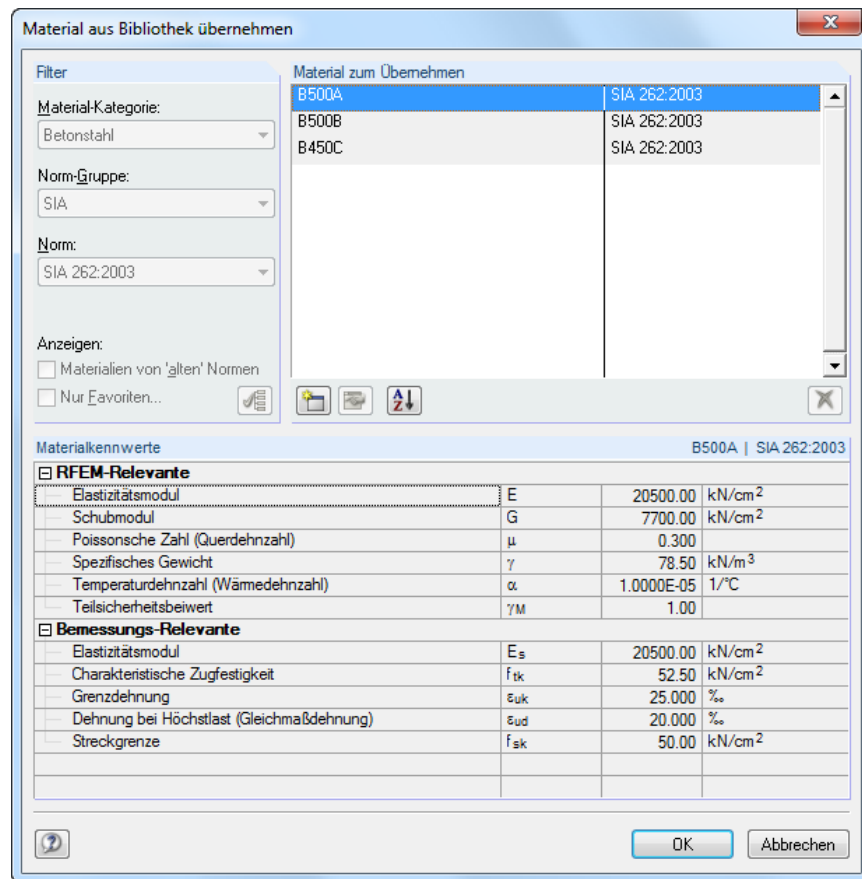


Bild 3.8: Dialog *Material aus Bibliothek übernehmen*

Die normrelevanten Materialien sind bereits als Vorauswahl eingestellt, sodass im Abschnitt *Filter* keine anderen Kategorien oder Normen zugänglich sind. Das Material können Sie in der Liste *Material zum Übernehmen* auswählen und dessen Kennwerte im unteren Bereich des Dialogs kontrollieren. Die Materialeigenschaften sind hier grundsätzlich nicht editierbar.

Mit [OK] oder [↵] wird das gewählte Material in die RF-BETON Flächen-Maske 1.2 übernommen.



Im Kapitel 5.3 des RFEM-Handbuches ist ausführlich beschrieben, wie Materialien ergänzt oder neu sortiert werden können. Auf diese Weise lässt sich über die Schaltfläche [Neu] ein neuer Beton oder Betonstahl mit benutzerdefinierten Materialkennwerten anlegen und für spätere Anwendungszwecke speichern.

3.3 Flächen

In dieser Maske werden die zu bemessenden Flächen verwaltet. Zudem lassen sich hier die Einstellungen für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit vornehmen, sofern im Register *Gebrauchstauglichkeit* der Maske 1.1 *Basisangaben* Einwirkungen ausgewählt wurden (vgl. Bild 3.3, Seite 25).

Das Erscheinungsbild dieser Maske hängt von der Nachweismethode ab, die in Maske 1.1 für die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) vorgegeben wurde. Wird nur der Tragfähigkeitsnachweis geführt, so werden lediglich die Dicken der jeweiligen Flächen aufgelistet.

3.3.1 Analytische Methode für GZG

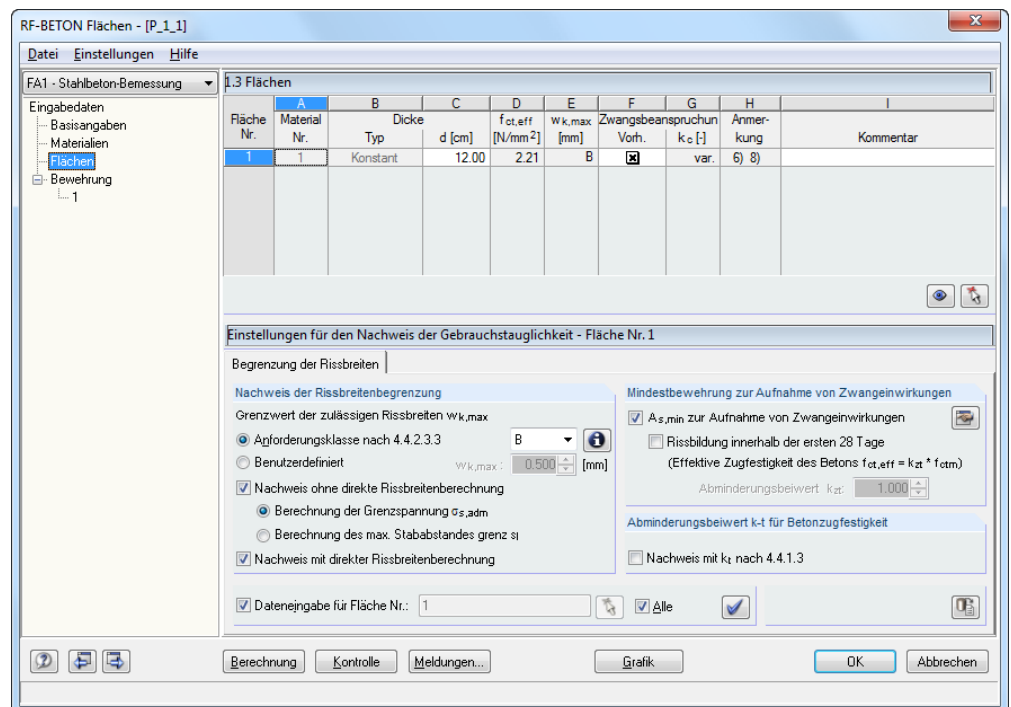


Bild 3.9: Maske 1.3 *Flächen* mit Einstellungen für analytische Nachweismethode der Gebrauchstauglichkeit

Material Nr.

Es werden für jede Fläche die in Maske 1.2 *Materialien* verwalteten Materialnummern angezeigt. Die Materialzuweisung ist in der vorliegenden Maske nicht veränderbar.

Dicke

Typ

Zur Information werden die in RFEM zugewiesenen Dicke-Typen angezeigt. Die Bemessung ist für konstante und linear veränderliche Dicken sowie für orthotrope Flächen (ohne nichtlineare Methode für GZG) möglich.

d

In dieser Spalte werden die von RFEM übernommenen Dicken angezeigt. Die Werte können für die Bemessung jederzeit abgeändert werden.

Beachten Sie bitte, dass die Bemessung mit den in RFEM ermittelten Schnittgrößen erfolgt, denen die dort definierten Flächendicken-Steifigkeiten zugrunde liegen. Bei einem statisch unbestimmten System müssen die in RF-BETON Flächen geänderten Flächendicken auch in RFEM angepasst werden, damit die genaue Bemessung gewährleistet ist.



Die Anzahl der folgenden Spalten hängt von den Registern im unteren Maskenbereich ab. Diese wiederum werden von den Einstellungen des *Details*-Dialogs gesteuert, der in Maske 1.1 *Basisangaben*, Register *Gebrauchstauglichkeit* zugänglich ist (siehe Bild 3.4, Seite 26). Dort wird festgelegt, ob Spannungen und/oder Risse bemessen werden sollen.



Die Werte können nicht direkt in die Spalten eingetragen werden, sondern sie werden über die Register im unteren Maskenbereich geregelt. Dabei ist zu beachten, dass die getroffenen Vorgaben standardmäßig nur für die in der Tabelle oben markierte Fläche gelten. Es besteht jedoch die Möglichkeit, die aktuellen Vorgaben einer anderen Fläche bzw. mehreren oder allen Flächen zuzuordnen. Hierfür ist das Kontrollfeld *Dateneingabe für Fläche Nr.* ggf. zu aktivieren und anschließend das Kontrollfeld *Alle* inaktiv zu setzen (vgl. Bild 3.9). Die Nummern der relevanten Flächen können dann manuell eingetragen oder grafisch im RFEM-Arbeitsfenster ausgewählt werden. Sollen die Einstellungen für alle Flächen gelten, so ist das Kontrollfeld *Alle* zu aktivieren. Abschließend werden die getroffenen Vorgaben mit der Schaltfläche den ausgewählten Flächen zugewiesen. Diese Zuordnung gilt nur für das aktuelle Register (z. B. *Spannungsnachweis*).



$f_{ct,eff}$

In dieser Spalte wird jeweils der Wert der wirksamen Zugfestigkeit des Betons angegeben. Dieser wird für die Kontrolle des Stabdurchmessers benötigt.



Die Parameter sind im Register *Begrenzung der Rissbreiten* zu definieren (siehe Bild 3.9). Dort lassen sich über die Schaltfläche [Bearbeiten] auch Detailvorgaben für die Mindestbewehrung zur Aufnahme von Zwangeinwirkungen.

$W_{k,max}$

Dieser Wert stellt die maximal zulässige Rissbreite.

Die Parameter sind im Register *Begrenzung der Rissbreiten* zu definieren (siehe Bild 3.9).

Anmerkung

Es werden programmseitige Hinweise angezeigt, die in der Statusleiste näher erläutert sind.

Kommentar

Diese Eingabefelder stehen für benutzerdefinierte Anmerkungen zur Verfügung.

3.3.2 Nichtlineare Methode für GZG



Für die nichtlineare Methode wird eine Lizenz des Zusatzmoduls **RF-BETON NL** benötigt.

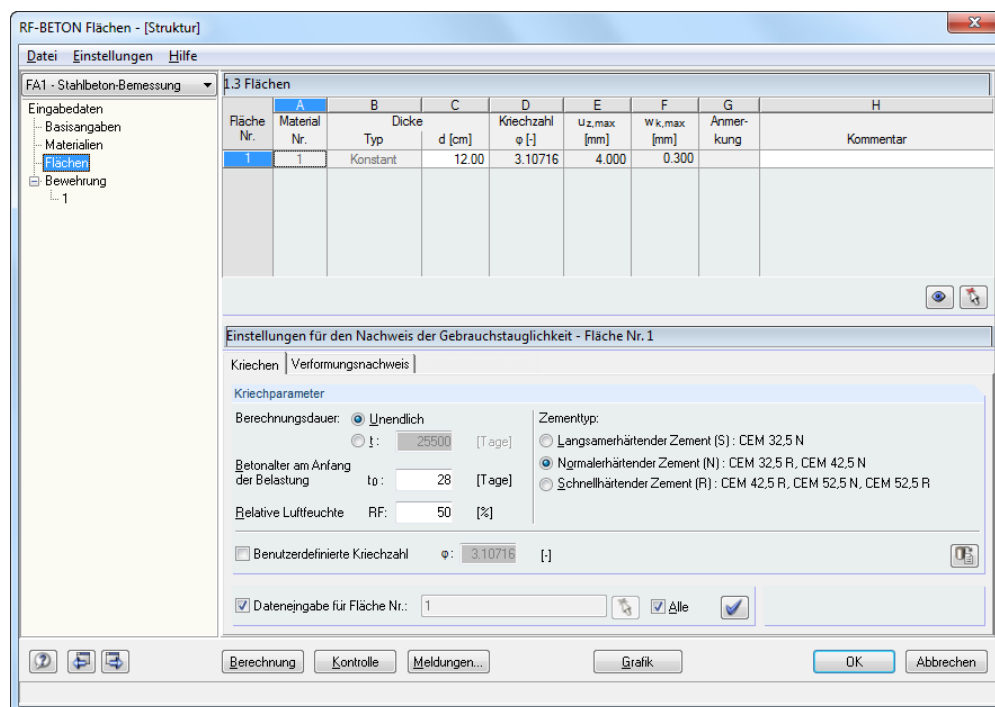


Bild 3.10: Maske 1.3 Flächen mit Einstellungen für nichtlineare Nachweismethode der Gebrauchstauglichkeit

Die Spalten *Material* und *Dicke* sind identisch wie bei der analytischen Nachweismethode. Sie sind im vorherigen Kapitel 3.3.1 auf Seite 32 beschrieben.



Die Werte der folgenden Spalten können nicht direkt eingetragen werden, sondern werden über die Register im unteren Maskenbereich geregelt. Dabei ist zu beachten, dass die getroffenen Vorgaben standardmäßig nur für die in der Tabelle oben markierte Fläche gelten. Es besteht die Möglichkeit, die aktuellen Vorgaben einer anderen Fläche bzw. mehreren oder allen Flächen zuzuordnen. Hierfür ist das Kontrollfeld *Dateneingabe für Fläche Nr.* zu aktivieren und anschließend das Kontrollfeld *Alle* inaktiv zu setzen. Die Nummern der relevanten Flächen können nun manuell eingetragen oder grafisch im RFEM-Arbeitsfenster ausgewählt werden. Sollen die Einstellungen für alle Flächen gelten, so ist das Kontrollfeld *Alle* zu aktivieren. Abschließend werden die getroffenen Vorgaben mit der Schaltfläche den ausgewählten Flächen zugewiesen. Diese Zuordnung gilt nur für das aktuelle Register.



Kriechzahl ϕ

Die Parameter für das Kriechen sind im Register *Kriechen* anzugeben. Aus diesen Randbedingungen ermittelt RF-BETON NL die Kriechzahl. Als wirksame Bauteildicke h_0 wird bei der Berechnung die Flächendicke d angesetzt.

Schwinden ϵ_{cs}

In dieser Spalte wird jeweils das Schwindmaß angegeben. Die für das Schwinden relevanten Parameter sind im Register *Schwinden* anzugeben. Aus diesen Randbedingungen wird automatisch das entsprechende Schwindmaß ermittelt. Als wirksame Bauteildicke h_0 wird bei der Berechnung die Flächendicke d angesetzt.

$u_{z,max}$

Dieser Wert stellt die maximal zulässige Verformung dar, die für den Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit eingehalten werden muss. Die anzusetzenden Nachweiskriterien sind im Register *Verformungsnachweis* festzulegen.

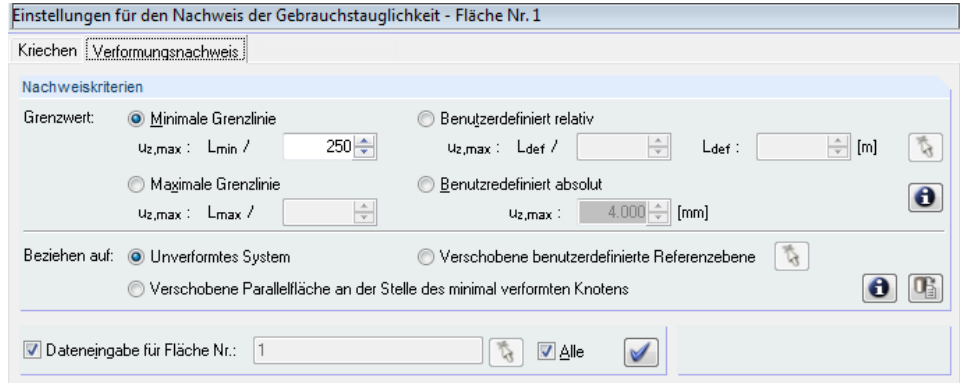


Bild 3.11: Maske 1.3 Flächen, Register *Verformungsnachweis*

Die Auswahl der *Minimale Grenzlinie*, *Maximale Grenzlinie* und *Benutzerdefiniert relativ* steuern, welche Länge für l_{eff} verwendet werden soll. Bei den beiden Auswahlmöglichkeiten der Grenzlinie wird die kleinste bzw. größte Randlinie der jeweiligen Fläche angesetzt (siehe Bild 3.12). Bei der benutzerdefinierten relativen Vorgabe kann die Länge direkt eingetragen oder grafisch zwischen zwei beliebigen Punkten in der RFEM-Struktur gewählt werden. Bei allen drei Möglichkeiten ist zudem der Divisor festzulegen, durch den die definierten Längen dividiert werden.

Bei der Auswahl *Benutzerdefiniert absolut* kann die zulässige Maximalverformung $u_{z,max}$ direkt angegeben werden.

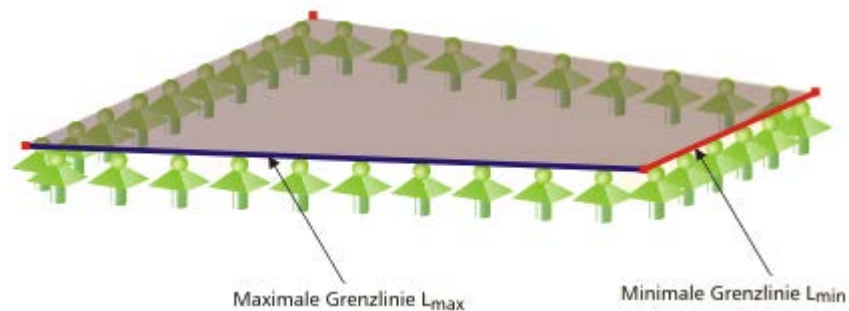


Bild 3.12: Grenzlinien für Ermittlung von $u_{z,max}$

Das Nachweiskriterium der Verformung betrachtet den Durchhang einer Fläche, d. h. die „vertikale Verformung bezogen auf die geradlinige Verbindung der Unterstützungspunkte“. Deshalb stehen unten im Register *Verformungsnachweis* (Bild 3.11) drei Möglichkeiten zur Auswahl, auf welche Weise die für den Verformungsnachweis angesetzte lokale Verformung $u_{z, \text{lokal}}$ berechnet werden soll.

- *Unverformtes System:* Die Verformung wird auf das Ausgangssystem bezogen.
- *Verschobene Parallellfläche:* Bei einer nachgiebigen Lagerung der Fläche ist die vorhandene Verformung unter diesem Aspekt zu betrachten. Die Verformung $u_{z, \text{lokal}}$ bezieht sich auf eine parallel zum unverformten System verschobene, virtuelle Referenzfläche. Der Verschiebungsvektor dieser Referenzfläche ist so lang wie die kleinste Knotenverformung in der Fläche.

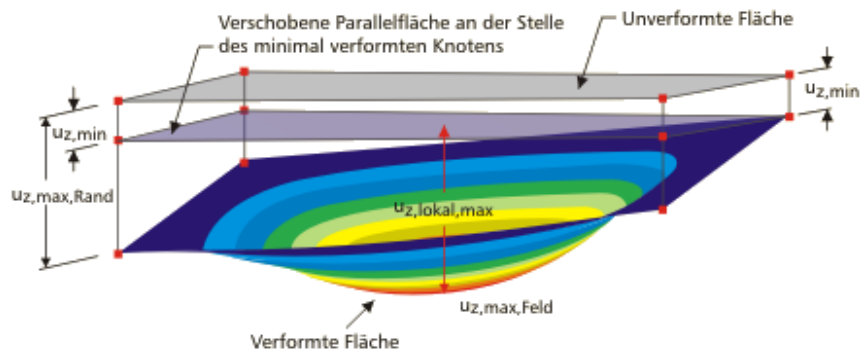


Bild 3.13: Verschobene Parallellfläche an Stelle des minimal verformten Knotens

- *Verschobene Referenzebene:* Falls sich die Lager einer Fläche sehr stark unterschiedlich verformen, kann eine schiefe Referenzebene definiert werden, auf die die im Verformungsnachweis angesetzte Verformung $u_{z, \text{lokal}}$ dann bezogen wird. Diese Ebene wird durch drei Punkte des unverformten Systems festgelegt. RF-BETON NL berechnet anschließend die Verformung der drei Definitionspunkte und legt die Referenzebene durch diese drei verschobenen Punkte, um dadurch die lokale Verformung $u_{z, \text{lokal}}$ zu berechnen.

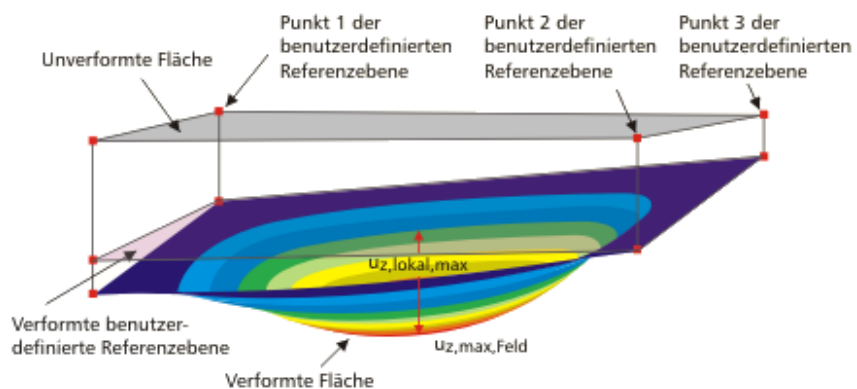


Bild 3.14: Verschobene benutzerdefinierte Referenzebene

$W_{k, \text{max}}$

Dieser Wert stellt die maximal zulässige Rissbreite dar.

Die Parameter sind im Register *Rissbreitennachweis* zu definieren (vgl. Bild 3.9).

3.4 Bewehrung

Diese Maske besteht aus fünf Registern, in denen sämtliche Angaben zur Bewehrung erfasst werden. Da diese Vorgaben meist für die einzelnen Flächen unterschiedlich sind, können für jeden RF-BETON Flächen-Fall mehrere Bewehrungssätze angelegt werden. Die Bewehrungsdefinitionen lassen sich flächenweise vornehmen.

Bewehrungssätze

Ein neuer Bewehrungssatz wird über die Schaltfläche [Neu] im Abschnitt *Bewehrungssatz* angelegt. Die Nummer wird automatisch vergeben. Eine benutzerdefinierte *Bezeichnung* erleichtert den Überblick über alle im Bemessungsfall angelegten Bewehrungssätze.

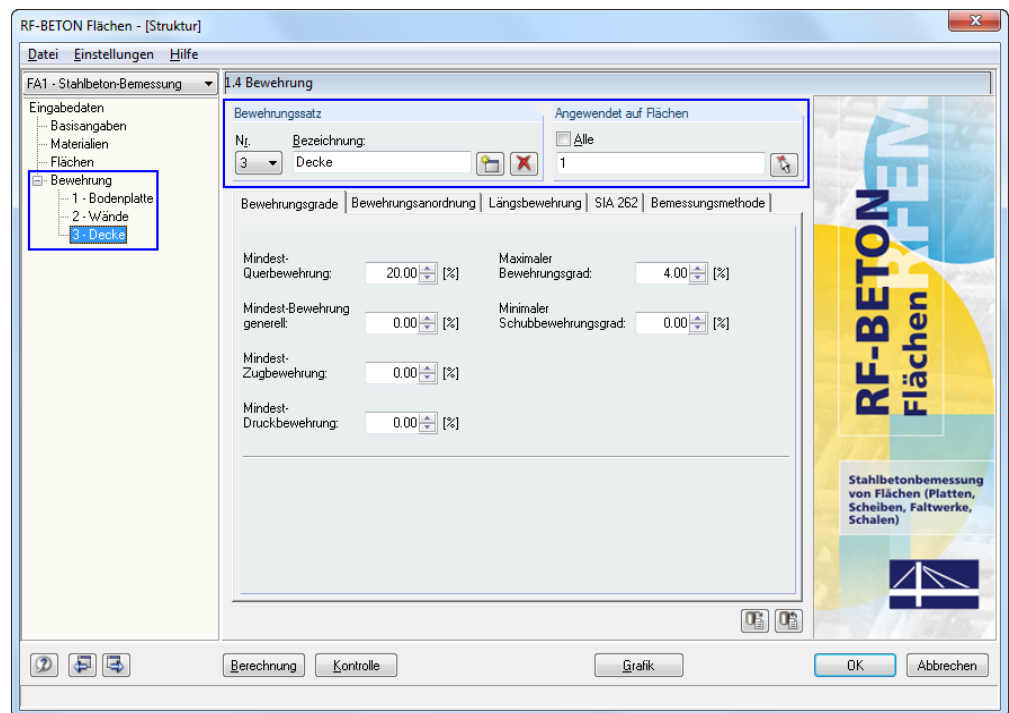


Bild 3.15: Maske 1.4 *Bewehrung* mit drei Bewehrungssätzen

Die Auswahl von Bewehrungssätzen erfolgt über die *Nr.*-Liste oder die Navigatoreinträge.



Mit der Schaltfläche [Löschen] wird der aktuelle Bewehrungssatz ohne weitere Warnung aus dem RF-BETON Flächen-Fall entfernt. Für Flächen, die in diesem Bewehrungssatz enthalten waren, findet damit keine Bemessung statt. Um sie zu bemessen, müssen sie einem neuen oder bestehenden Bewehrungssatz zugewiesen werden.

Im Abschnitt *Angewendet auf Flächen* wird entschieden, für welche Flächen der aktuelle Bewehrungssatz gültig ist. Es sind *Alle* Flächen voreingestellt. Mit dieser Vorgabe kann kein weiterer Bewehrungssatz erstellt werden, denn Flächen lassen sich nicht unterschiedlichen Bewehrungsvorgaben zuweisen. Daher muss das Kontrollfeld *Alle* deaktiviert werden, um Bewehrungssätze nutzen zu können.



Im Eingabefeld werden die Nummern der relevanten Flächen eingetragen oder über [Pick] grafisch im RFEM-Arbeitsfenster ausgewählt, für die die nachfolgend zu treffenden Bewehrungsvorgaben gültig sind. Damit wird auch die Schaltfläche [Neuer Bewehrungssatz] zugänglich. Das Eingabefeld darf nur Flächennummern aufweisen, die noch keinem anderen Bewehrungssatz zugewiesen sind.

3.4.1 Bewehrungsgrade

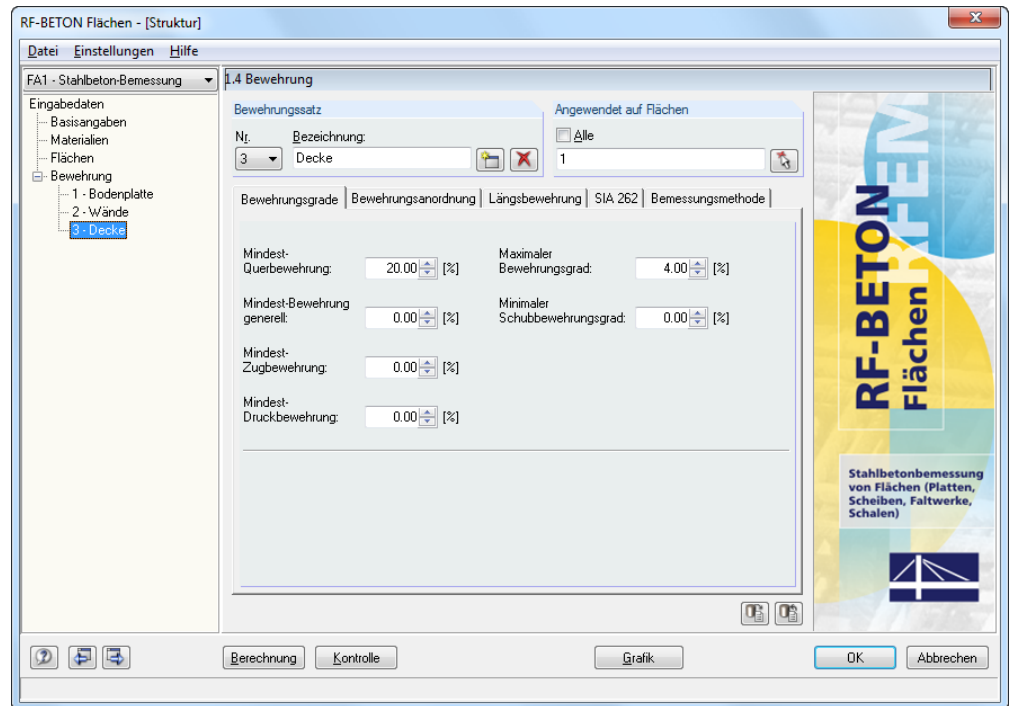


Bild 3.16: Maske 1.4 Bewehrung, Register Bewehrungsgrade

In diesem Register werden die Mindest- und Höchstbewehrungen in Prozentangaben festgelegt. Die *Mindest-Querbewehrung* ist auf die größte einzulegende Längsbewehrung bezogen. Alle weiteren Vorgaben erfolgen mit Bezug auf die Querschnittsfläche eines einen Meter breiten Flächenstreifens. Nur für DIN 1045-88 wird die *Mindest-Druckbewehrung* auf den statisch erforderlichen Querschnitt bezogen.

3.4.2 Bewehrungsanordnung

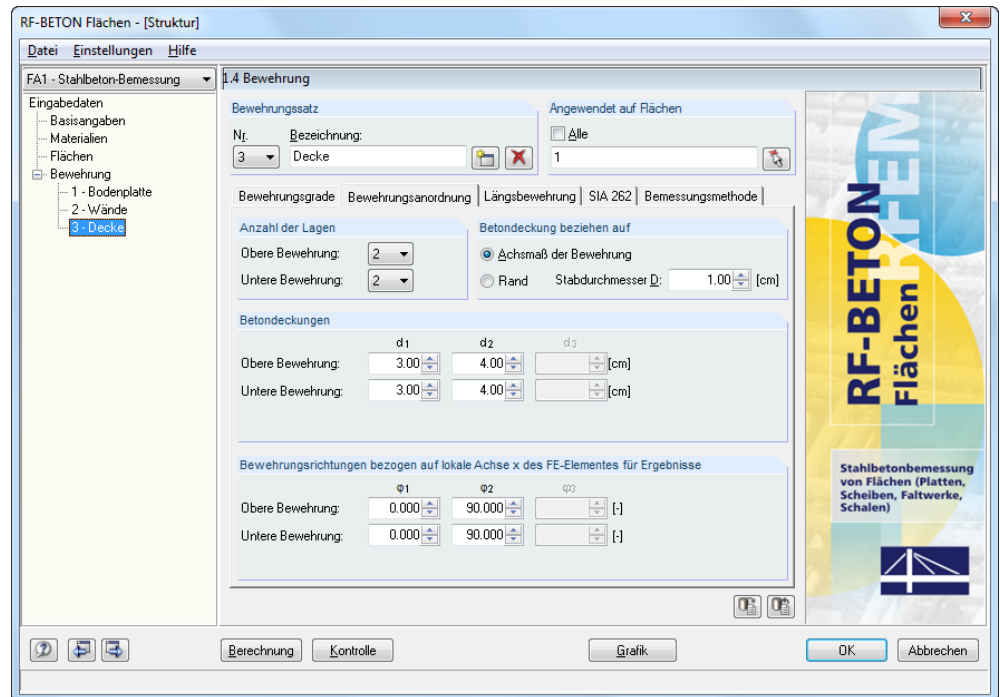


Bild 3.17: Maske 1.4 *Bewehrung*, Register *Bewehrungsanordnung*

Dieses Register steuert die geometrischen Bewehrungsvorgaben für den Bewehrungsatz.

Anzahl der Bahnen



Das Bewehrungsnetz kann in Form von zwei oder drei Bewehrungsbahnen für jede Flächenseite ausgeführt werden. Für die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist nur ein zweibahniges Bewehrungsnetz zulässig.

Die Definition von „oberer“ und „unterer“ Flächenseite findet sich bei der Beschreibung des Abschnitts *Betondeckungen* auf der folgenden Seite.

Betondeckung beziehen auf

Die im folgenden Abschnitt definierten Betondeckungen können auf das *Achismaß* oder den *Rand*-Abstand der Bewehrung bezogen werden.

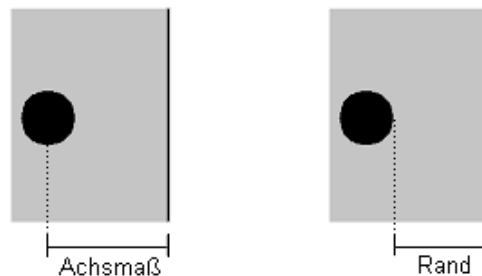


Bild 3.18: Bezug der Betondeckung

Wird das zweite Auswahlfeld *Rand* gewählt, ist für den reinen Tragfähigkeitsnachweis der *Stabdurchmesser D* anzugeben. Im Abschnitt unterhalb lässt sich dann der Randabstand *c* (d. h. das Nennmaß der Betondeckung c_{nom}) festlegen.



Betondeckungen

In diesen Eingabefeldern sind die Betondeckungen für beide Flächenseiten anzugeben. Die Maße stellen entweder die Achsmaße der einzelnen Lagen oder die Randabstände c_{nom} der Bewehrungen in Richtung φ_1 dar. Die Bewehrungsrichtungen werden im Abschnitt unterhalb festgelegt.

Die „obere“ und „untere“ Flächenseite ist wie folgt definiert: Die Unterseite ist in Richtung der positiven lokalen z-Flächenachse zu finden, die Oberseite dementsprechend in Richtung der negativen lokalen z-Achse. Die Flächenachsen können im Zeigen-Navigator von RFEM über den Eintrag *Struktur* → *Flächen* → *Flächen-Achsensysteme x,y,z* oder das Kontextmenü der Flächen einblendend werden.

Um die lokale z-Achse einer Fläche umzukehren, ist diese im RFEM-Arbeitsfenster mit der rechten Maustaste anzuklicken. Im Flächen-Kontextmenü steht dann die Option *Lokales Achsensystem umkehren* zur Auswahl. Auf diese Weise lassen sich z. B. die Ausrichtungen von Wänden vereinheitlichen und die oberen und unteren Bewehrungsseiten für Flächen in vertikaler Lage korrekt zuweisen.

Wurde die RFEM-Struktur als Positionstyp *Wand* angelegt, so können keine unterschiedlichen Bewehrungsnetze für beide Flächenseiten erzeugt werden. Die Eingabemöglichkeiten sind in diesem Fall auf einheitliche Betondeckungen beschränkt, sodass diese für beide Flächenseiten synchron angewandt werden können.

Bewehrungsrichtungen

Die Bewehrungsrichtungen φ beziehen sich jeweils auf die lokale x-Achse der FE-Elemente im Ergebnis-Achsensystem der Flächen. Der Winkel φ ist positiv einzugeben. Er beschreibt die Drehung der Bewehrungsrichtung im Uhrzeigersinn zur jeweiligen x-Achse.

Das Ergebnis-Achsensystem als Eigenschaft einer jeden Fläche ist über den RFEM-Dialog *Fläche bearbeiten* zugänglich und kann dort ggf. angepasst werden.

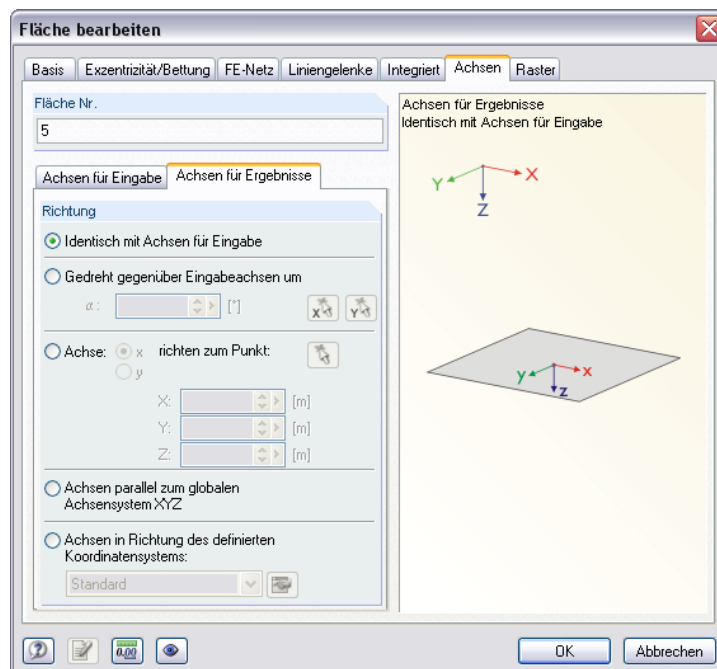


Bild 3.19: RFEM-Dialog *Fläche bearbeiten*, Register *Achsen*

Die Achsen der FE-Elemente lassen sich im RFEM-Arbeitsfenster grafisch überprüfen, indem man im Zeigen-Navigator die Einträge *FE-Netz* → *An Flächen* → *FE-Achsensysteme x,y,z* und *Nummerierung* → *FE-Netz* → *FE-Achsensysteme x,y,z* aktiviert (vgl. Bild 9.30 auf Seite 288 im RFEM-Handbuch).

Wurde die RFEM-Struktur als Positionstyp *Wand* angelegt, so können keine unterschiedlichen Bewehrungsnetze für beide Flächenseiten erzeugt werden. Die Eingabemöglichkeiten sind in diesem Fall auf einheitliche Richtungen der Bewehrungsscharen beschränkt, sodass diese für beide Flächenseiten synchron angewandt werden können.

3.4.3 Längsbewehrung

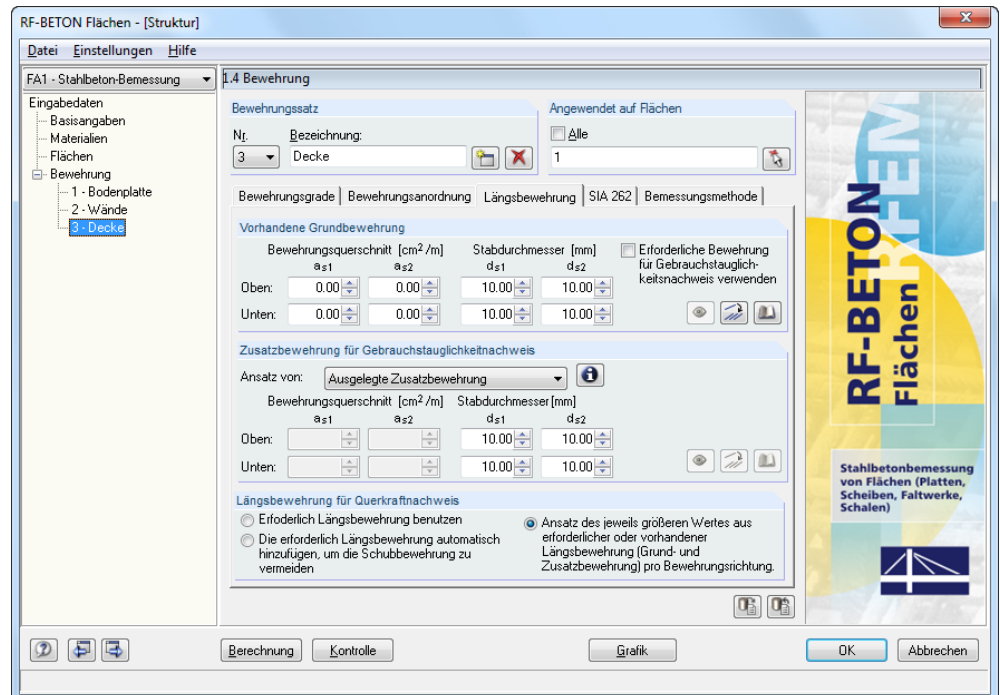


Bild 3.20: Maske 1.4 *Bewehrung*, Register *Längsbewehrung* für Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise

Das Erscheinungsbild dieses Registers hängt von den zu führenden Nachweisen ab: Für die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) müssen Bewehrungsquerschnitte vorgegeben werden. Der reine Tragfähigkeitsnachweis erfordert keine spezifischen Bewehrungsangaben. Es ist lediglich zu regeln, welche Längsbewehrung für den Querkraftnachweis herangezogen werden soll.

Vorhandene Grundbewehrung

Für jede Flächenseite und für jede Bewehrungsrichtung kann eine Grundbewehrung festgelegt werden, die jeweils für sämtliche Flächen des Bewehrungsatzes eingelegt wird. Hierzu wird in den Eingabefeldern der *Bewehrungsquerschnitt* und der für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis relevante *Stabdurchmesser* eingetragen.

Wird die Grundbewehrung so gewählt, dass sie größer ist als die maximale erforderliche Bewehrung, bedarf es keiner zusätzlichen Bewehrung. Es ist allerdings nicht wirtschaftlich, Flächen mit großen konstanten Grundbewehrungen auszustatten.

Die Eingabe der Bewehrungsquerschnitte wird durch Bibliotheken erleichtert, die sowohl für Bewehrungsstäbe als auch für Bewehrungsmatten zur Verfügung stehen. Diese Bibliotheken sind über die beiden links dargestellten Schaltflächen zugänglich.

In den Bibliotheken (vgl. Bild 3.21 und Bild 3.22) können Bewehrungsstäbe bzw. Betonstahlmatten ausgewählt werden. Die dort ermittelten bzw. hinterlegten Bewehrungsquerschnitte lassen sich dann in die Eingabefelder dieses Abschnitts übernehmen.



Bibliotheken



Bild 3.21: Dialog *Bewehrungsfläche aus Bewehrungsstäben übernehmen*

Die drei Auswahlfelder des Abschnitts *Bewehrungsstab-Parameter* wirken interaktiv. In der Regel wird aus dem Stabdurchmesser und Stababstand die Bewehrungsfläche berechnet.

Der Abschnitt *Export* steuert, in welche Eingabefelder des Ausgangsdialogs die ermittelten Bewehrungsflächen übernommen werden. Lage und Bewehrungsrichtung lassen sich gezielt (oder pauschal durch Anhaken aller Kontrollfelder) vorgeben.

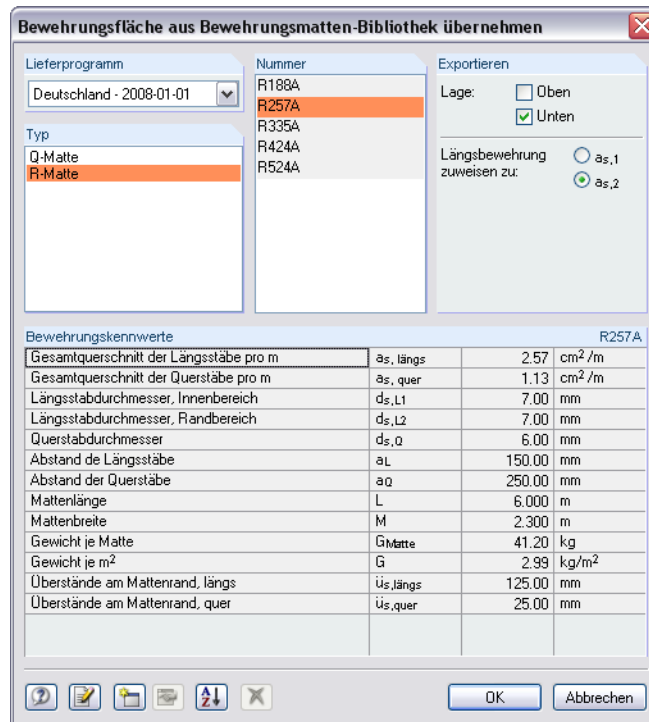


Bild 3.22: Dialog *Bewehrungsfläche aus Bewehrungsmatten-Bibliothek übernehmen*



Zunächst ist das *Lieferprogramm* in der links dargestellten Liste zu wählen. Ist dann der *Typ* der Matte festgelegt, kann die relevante *Nummer* im Abschnitt rechts ausgewählt werden. Im Abschnitt unterhalb lassen sich die *Bewehrungskennwerte* kontrollieren.

Der Abschnitt *Exportieren* steuert, in welche Eingabefelder des Ausgangsdialogs die ermittelten Bewehrungsflächen übernommen werden. Lage und Bewehrungsrichtung lassen sich gezielt (oder pauschal durch Anhaken aller Kontrollfelder) vorgeben.

Erforderliche Bewehrung für Gebrauchstauglichkeitsnachweis verwenden

Die ideale Vorgehensweise zur Führung der Gebrauchstauglichkeitsnachweise wäre:

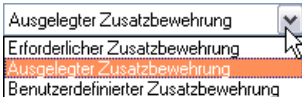
1. Bestimmen der erforderlichen Bewehrung ausschließlich mit der Belastung des Registers *Tragfähigkeit*
2. Erstellen eines Bewehrungsplans durch Betrachten des farbigen Ergebnisverlaufs mit Bewehrungsmatten und Bewehrungsstäben
3. Ggf. Teilen der Flächen in RFEM in kleinere Flächen aufgrund des Bewehrungsplans, die in jede Bewehrungsrichtung den gleichen vorhandenen Bewehrungsquerschnitt haben
4. Definieren dieses vorhandenen Bewehrungsquerschnitts, Stababstands und Stabdurchmessers für jede dieser Flächen im Modul RF-BETON Flächen
5. Erneutes Starten der Berechnung mit der Belastung des Registers *Gebrauchstauglichkeit*

Dieser Ablauf erscheint aufwändig und widerspricht in gewisser Weise der Programmkonvention, dass mit dem Drücken der Schaltfläche [Berechnung] sowohl die Ermittlung der Bewehrung als auch die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit geführt werden.

Das Kontrollfeld *Erforderliche Bewehrung verwenden* eröffnet deshalb die Möglichkeit, schnell eine vorhandene Bewehrung für die einzelnen Flächen zu erhalten: Als anzusetzende Bewehrung wird die erforderliche Bewehrung aus der Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit verwendet. Es ist dann lediglich der Stabdurchmesser vorzugeben.

Zusatzbewehrung für Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Die Bereiche, in denen die statisch erforderliche Bewehrung größer ist als die definierte Grundbewehrung, erfordern eine Zusatzbewehrung. Welche Zusatzbewehrung nun für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis angesetzt werden soll, kann über die Auswahlliste dieses Abschnitts festgelegt werden.



Bei Wahl von *Erforderlicher Zusatzbewehrung* wird der tatsächliche $A_{s,erf}$ -Verlauf als anzusetzende Zusatzbewehrung für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis angenommen.

Mit *Ausgelegter Zusatzbewehrung* ermittelt RF-BETON Flächen die Zusatzbewehrung als Differenz von größter statisch erforderlicher Bewehrung und definierter Grundbewehrung:

$$a_{s,Zusatz} = \max a_{s,erf} - a_{s,Grund}$$

Gleichung 3.1

In grafischer Form stellt sich der Ansatz von ausgelegter Zusatzbewehrung wie folgt dar.

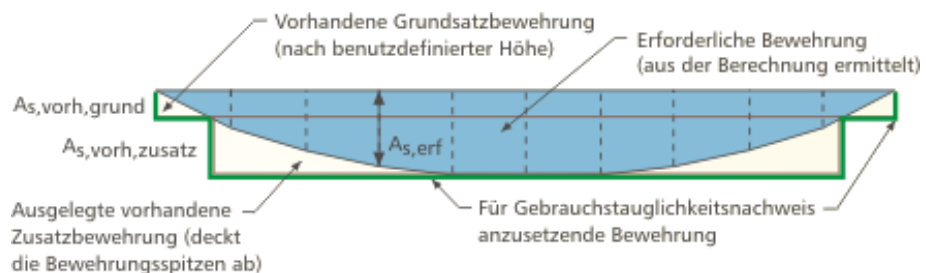


Bild 3.23: Ansatz von ausgelegter Zusatzbewehrung

Für die Auslegung der Zusatzbewehrung ist lediglich der Stabdurchmesser festzulegen.

Der Bewehrungsquerschnitt lässt sich auch *Benutzerdefiniert* vorgeben. Hierzu stehen wie im Abschnitt oberhalb Bibliotheken zur Auswahl von Bewehrungsstäben und -matten zur Verfügung.

Die [Info]-Schaltfläche ruft einen Dialog zur Veranschaulichung der drei beschriebenen Optionen auf.



Längsbewehrung für Querkraftnachweis

Es stehen drei Möglichkeiten zur Auswahl, die die angesetzte Längsbewehrung für den Querkraftnachweis ohne Querkraftbewehrung steuern.

- *Ansatz der erforderlichen Längsbewehrung*
Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit wird mit der transformierten vorhandenen Zugbewehrung in Hauptquerkrafttrichtung geführt.
- *Erforderliche Längsbewehrung zur Vermeidung von Querkraftbewehrung erhöhen*
Ist die erforderliche Längsbewehrung nicht ausreichend für die Querkrafttragfähigkeit, wird die Längsbewehrung in Hauptquerkrafttrichtung vergrößert, bis der Querkraftnachweis ohne Querkraftbewehrung erfüllt ist.
- *Ansatz der größeren Bewehrung aus erforderlicher oder vorhandener Bewehrung*
Für den Nachweis der Querkrafttragfähigkeit wird entweder die statisch erforderliche oder die benutzerdefinierte Längsbewehrung benutzt.

3.4.4 Bemessungsmethode

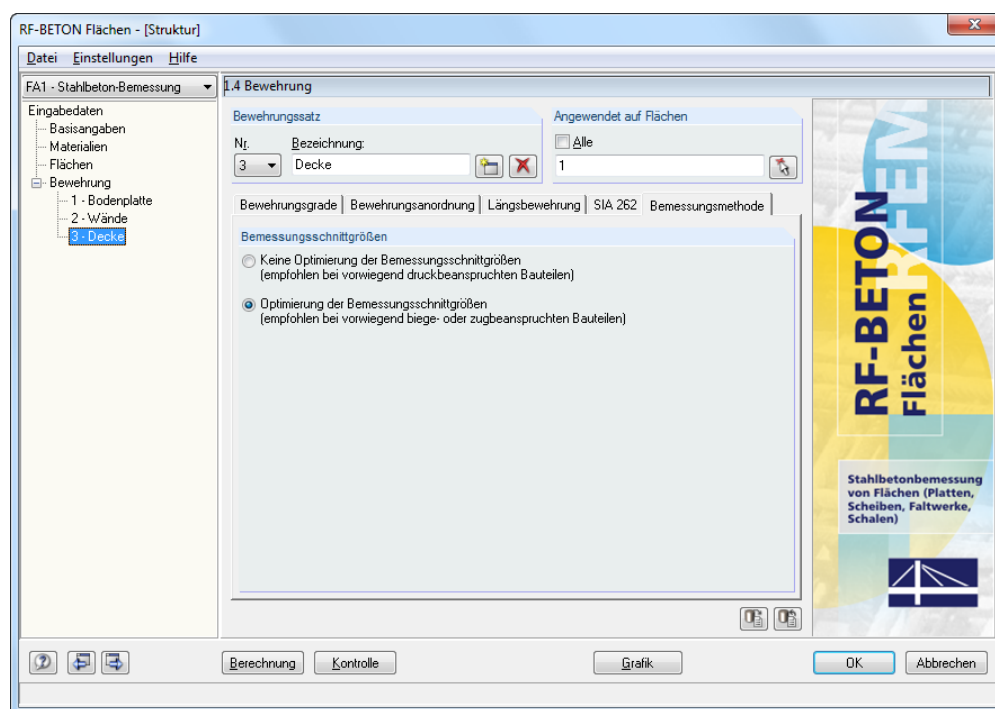


Bild 3.24: Maske 1.4 Bewehrung, Register Bemessungsmethode

Bei der Ermittlung der erforderlichen Bewehrung werden die Hauptschnittgrößen in Bemessungskräfte in Bewehrungsrichtung und in eine sich ausbildende Betondruckstrebenkraft transformiert. Die Größen dieser Bemessungskräfte sind abhängig vom angenommenen Winkel der Betondruckstrebe, die das Bewehrungsnetz aussteift.

Bei den Belastungssituationen „Zug-Zug“ und „Zug-Druck“ kann bei einem bestimmten Druckstrebenwinkel der Fall eintreten, dass die Bemessungskraft in eine Bewehrungsrichtung negativ wird, d. h. es würden Druckkräfte für die Zugbewehrung vorliegen. Durch die Optimierung der Bemessungskräfte wird die Richtung der Betondruckstrebe so verändert, bis die negative Bemessungskraft zu null wird.



Bei der Optimierung der Schnittgrößen wird somit untersucht, welcher Neigungswinkel der Betondruckstrebe zum günstigsten Bemessungsergebnis führt. Die Bemessungsmomente werden iterativ mit angepassten Neigungswinkeln ermittelt, um die energetisch kleinste Lösung mit dem geringsten Bewehrungsbedarf zu finden. Die Optimierung kann bei druckbeanspruchten

Betonbauteilen wie Wänden zu Unbemessbarkeiten durch das Versagen der Betondruckstrebe führen. Für die Belastungssituationen Druck-Druck ist die Optimierung daher u. U. ungeeignet.

3.4.5 Norm

Das Register wird von der Norm gesteuert, die in Maske 1.1 *Basisangaben* ausgewählt wurde. Es sind die normspezifischen Bewehrungsvorgaben zu treffen, die hier für SIA 262 vorgestellt sind.

Im unteren Bereich des Registers stehen zwei Schaltflächen zur Verfügung. [Standard] stellt die Ausgangswerte der aktuellen Norm wieder her; [Als Standard setzen] speichert die Eingaben als neue Voreinstellungen ab.

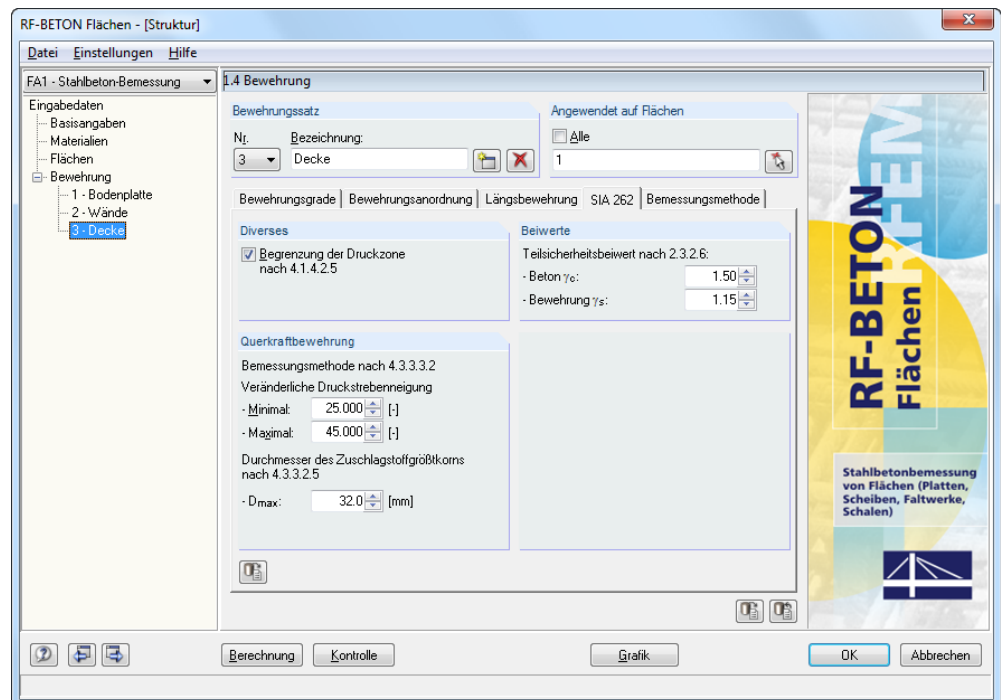
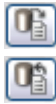


Bild 3.25: Maske 1.4 *Bewehrung*, Register SIA 262

Diverses

Über dieses Kontrollfeld kann die Höhe der Druckzone gemäß SIA 262, Abschnitt 4.1.4.2.5 begrenzt werden. In diesem Fall beträgt das maximale Verhältnis $x_d/d = 0,35$ für Beton bis zur Festigkeitsklasse C50/60 und Betonstahlklassen B oder C.

Beiwerte

Die beiden oberen Eingabefelder legen jeweils den *Teilsicherheitsbeiwert* für Beton γ_c und für Betonstahl γ_s fest, der für den Nachweis der Tragfähigkeit Verwendung findet. Es sind die Werte nach SIA 262 2.3.2.6 voreingestellt.

Die beide Teilsicherheitsbeiwerte für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit wurden nach SIA 262 4.4.1.2 definiert. Für das Spannungs-Dehnungsdiagramm wird mit $\gamma_c=1,0$ und mit $\gamma_s=1,0$ gerechnet. Für die Rissbreitenbegrenzung nach SIA 262 4.4.2.3.9 Tabelle 16 wird die Spannung $\sigma_{s,adm}$ durch f_{sk}/γ_s mit $\gamma_s=1,15$ auf f_{sd} begrenzt.

Die voreingestellten Teilsicherheitsbeiwerte entsprechen denen der Tragsicherheit, um die Spannungen auf die Bemessungswerte zu begrenzen.

Querkraftbewehrung

In diesen beiden Eingabefeldern wird der zulässige Bereich der Druckstrebenneigung festgelegt. Falls die eingegebenen Winkel außerhalb der in den Normen genannten Gültigkeitsgrenzen liegen, erscheint eine entsprechende Fehlermeldung.

4. Berechnung

Berechnung

Die [Berechnung] wird über die gleichnamige Schaltfläche gestartet.

Die Stahlbetonbemessung erfolgt mit den in RFEM ermittelten Schnittgrößen. Sollten noch keine RFEM-Ergebnisse vorliegen, wird die Berechnung der Schnittgrößen automatisch vorgeschaltet.

4.1 Kontrolle

Kontrolle

Vor der Berechnung empfiehlt es sich, die Eingabedaten des Moduls RF-BETON Flächen auf ihre Richtigkeit überprüfen zu lassen. Diese [Kontrolle] kann in jeder Eingabemaske von RF-BETON Flächen aufgerufen werden.

Es wird kontrolliert, ob die zur Bemessung erforderlichen Angaben vollständig vorliegen und die Bezüge der Datensätze untereinander sinnvoll definiert sind. Falls Eingabefehler aufgedeckt werden, kann die betreffende Maske direkt angesteuert werden. Dort lassen sich dann die Korrekturen vorzunehmen.

Nach einer erfolgreichen Plausibilitätskontrolle erscheint folgender Hinweis.



Bild 4.1: Plausibilitätskontrolle der Eingabedaten

4.2 Start der Berechnung

Berechnung

In jeder der vier Eingabemasken des RF-BETON Flächen-Moduls kann die [Berechnung] über die gleichnamige Schaltfläche gestartet werden.

RF-BETON Flächen sucht nach den Ergebnissen der zu bemessenden Lastfälle, Lastfallgruppen und Lastfallkombinationen. Werden diese nicht gefunden, startet zunächst die RFEM-Berechnung zur Ermittlung der bemessungsrelevanten Schnittgrößen. Dabei wird auf die vorgegebenen Berechnungsparameter von RFEM zurückgegriffen.

Die Bemessung kann auch aus der RFEM-Oberfläche gestartet werden, denn die Zusatzmodule werden im Dialog *Zu berechnen* wie ein Lastfall oder eine Lastfallgruppe aufgelistet. Der Dialog zum Starten der Bemessung wird in RFEM aufgerufen über das Menü

Berechnung → **Zu berechnen**.

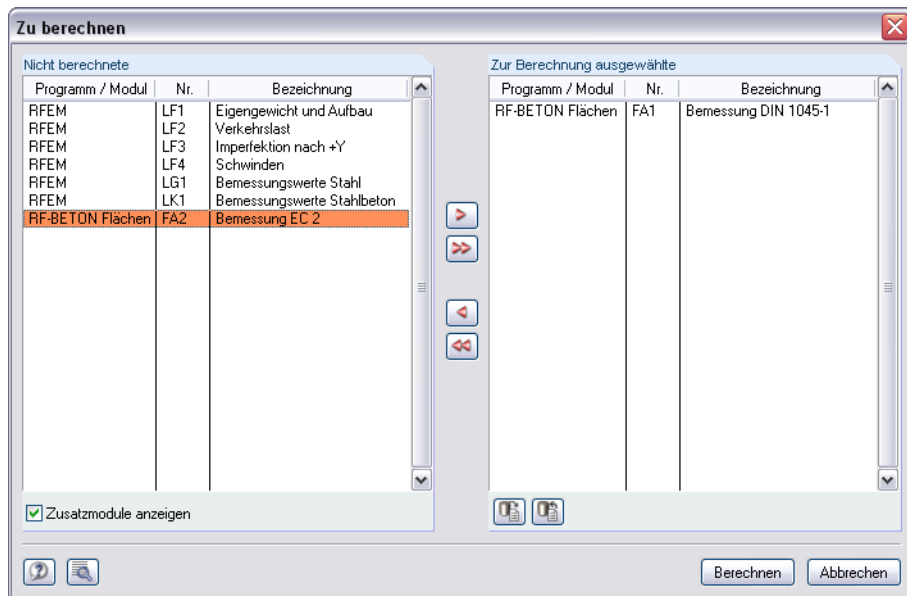


Bild 4.2: Dialog Zu berechnen

Falls die RF-BETON Flächen-Bemessungsfälle in der Liste *Nicht berechnete* fehlen, muss das Kontrollfeld *Zusatzmodule anzeigen* aktiviert werden.

Mit der Schaltfläche [►] werden die selektierten RF-BETON Flächen-Fälle in die rechte Liste übergeben. Die Berechnung wird dann mit der entsprechenden Schaltfläche gestartet.

Auch über die Liste der Symbolleiste können RF-BETON Flächen-Fälle direkt berechnet werden: Stellen Sie den gewünschten Bemessungsfall ein und klicken dann auf die Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus].

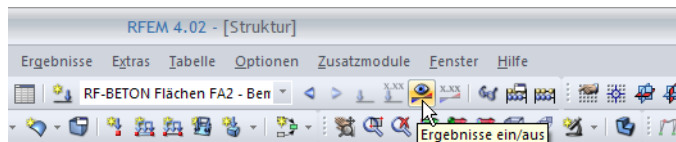


Bild 4.3: Direkte Berechnung eines RF-BETON Flächen-Bemessungsfalls in RFEM

Der Ablauf der Bemessung kann anschließend in einem Dialog verfolgt werden.

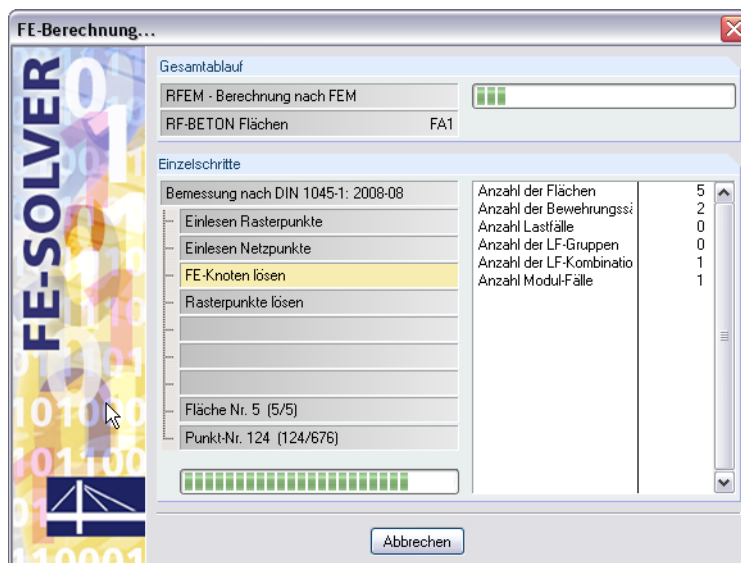


Bild 4.4: RF-BETON Flächen-Berechnung

5. Ergebnisse



Unmittelbar nach der Berechnung erscheint die Maske 2.1 *Erforderliche Bewehrung Gesamt*. In den Ergebnismasken 2.1 bis 2.3 werden die Ergebnisse des Tragfähigkeitsnachweises mitsamt Erläuterungen aufgelistet. Die Masken 3.1 bis 3.3 sind für die Ergebnisse der Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit reserviert. Jede Ergebnismaske kann über den RF-BETON Flächen-Navigator angesteuert werden. Alternativ benutzt man die beiden links dargestellten Schaltflächen oder die Funktionstasten [F2] und [F3], um eine Maske vor- oder zurückzublättern.

Mit [OK] werden die Ergebnisse gesichert und das RF-BETON Flächen-Modul verlassen.

In diesem Handbuchkapitel werden die einzelnen Masken der Reihe nach vorgestellt. Die Auswertung und Kontrolle der Resultate ist im folgenden Kapitel 6 Ergebnisauswertung ab Seite 61 ausführlich beschrieben.

Die links dargestellten Kontrollfelder steuern, ob die Ergebnisdaten in den einzelnen Masken *In FE-Punkten* oder *In Rasterpunkten* angezeigt werden. Diese Kontrollfelder befinden sich im unteren Bereich der Maske. Die Ergebnisse der FE-Punkte werden direkt vom Rechenkern ermittelt, die Rasterpunkt-Ergebnisse durch Interpolation der FE-Punkteergebnisse bestimmt.

Die Ergebnismasken 3.1 bis 3.3 sind zweigeteilt (vgl. Bild 5.5). Im oberen Abschnitt erfolgt eine tabellarische Übersicht der Nachweise, im unteren Abschnitt werden die Zwischenergebnisse des aktuellen (d. h. des oben aktiven) FE- oder Rasterpunkts mit allen bemessungsrelevanten Parametern ausgewiesen. Die einzelnen Kapitel in der Baumstruktur des unteren Abschnitts können mit [+] aufgeklappt und mit [-] geschlossen werden.

In FE-Punkten In Rasterpunkten

5.1 Erforderliche Bewehrung Gesamt

2.1 Erforderliche Bewehrung Gesamt											
Fläche Nr.	Rasterpunkt	Punkt-Koordinaten [m]			Symbol	Erforderliche Bewehrung	Einheit	Bewehrung [cm ² /m]		Fehlermeldung bzw. Hinweis	
		X	Y	Z				Vorh. Grund	Vorh. Zusatz		
5	R90	9.787	5.855	2.500	As,1 oben	2.44	cm ² /m	0.00	5.69	17)	
1	R260	9.500	6.000	0.000	As,2 oben	3.19	cm ² /m	1.88	1.57	18)	
5	R15	9.787	5.855	0.000	As,1 unten	4.10	cm ² /m	0.00	5.52	20)	
1	R175	7.000	4.000	0.000	As,2 unten	5.46	cm ² /m	1.88	3.62	21)	
1	R175	7.000	4.000	0.000	Asw	8.76	cm ² /m ²	.	.	.	15)

Bild 5.1: Maske 2.1 *Erforderliche Bewehrung Gesamt*

Es werden die maximalen Bewehrungsergebnisse aller zur Bemessung vorgesehenen Flächen ausgegeben, die sich aus den Schnittgrößen der gewählten Lastfälle, Lastfallgruppen und Lastfallkombinationen für den Nachweis der Tragfähigkeit ergeben.

Punkt Nr.

In dieser Spalte werden die Nummern der FE- bzw. Rasterpunkte angegeben, in denen die größte erforderliche Bewehrung für jede Lage und Richtung ermittelt wurde. Die Art der Bewehrung wird in Spalte E *Symbol* angegeben.

Die FE-Netzpunkte werden automatisch generiert. Die Rasterpunkte hingegen stellen eine Flächeneigenschaft dar, die in RFEM beeinflussbar ist. Für jede Fläche lassen sich benutzerdefinierte Ergebnistraster erzeugen. Hintergrundinformationen zu den Rasterpunkten finden Sie im Kapitel 9.9 des RFEM-Handbuchs auf Seite 285.

Punkt-Koordinaten

Die drei Spalten geben die Koordinaten der jeweils maßgebenden FE- oder Rasterpunkte an.

Symbol

Spalte E weist die Art der Bewehrung aus. Für die vier (bzw. sechs) Längsbewehrungen werden jeweils Richtung (1, 2 und ggf. 3) und Flächenseite (*oben* und *unten*) angegeben.

Die Bewehrungsrichtungen werden im Register *Bewehrungsanordnung* der Maske 1.4 *Bewehrung* gesteuert (vgl. Kapitel 3.4.2, Seite 39).

Die untere Bewehrung befindet sich auf der Flächenseite in Richtung der positiven lokalen z-Flächenachse, die obere Bewehrung entsprechend in Richtung der negativen z-Achse.

Die Schubbewehrung ist als a_{sw} gekennzeichnet.

Erforderliche Bewehrung

In dieser Spalte werden die Bewehrungsquerschnitte ausgewiesen, die für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit erforderlich sind.

Vorhandene Grundbewehrung

Hier findet sich die benutzerdefinierte Grundbewehrung wieder, die im Register *Längsbewehrung* der Maske 1.4 *Bewehrung* vorgegeben wurde (vgl. Kapitel 3.4.3, Seite 41).

Vorhandene Zusatzbewehrung

Beim reinen Tragsicherheitsnachweis wird in dieser Spalte die Differenz zwischen erforderlicher Bewehrung (Spalte F) und vorhandener Grundbewehrung (Spalte H) angegeben.

Werden zusätzlich die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit geführt, so lassen sich hier die Bewehrungsquerschnitte ablesen, die mit den Vorgaben des Registers *Längsbewehrung* der Maske 1.4 *Bewehrung* (vgl. Kapitel 3.4.3, Seite 41) zur Erfüllung der Gebrauchstauglichkeitsnachweise benötigt werden.

Fehlermeldung bzw. Hinweis

Die letzte Spalte verweist auf Unbemessbarkeiten oder Bemerkungen, die sich im Zuge der Bemessung ergeben haben. Die Nummern sind in der Statusleiste näher erläutert.

Alle [Meldungen] des aktuellen Bemessungsfalls lassen sich zusammengefasst über die links dargestellte Schaltfläche einsehen. Es erscheint ein informativer Dialog mit einer Übersicht.



Meldungen...

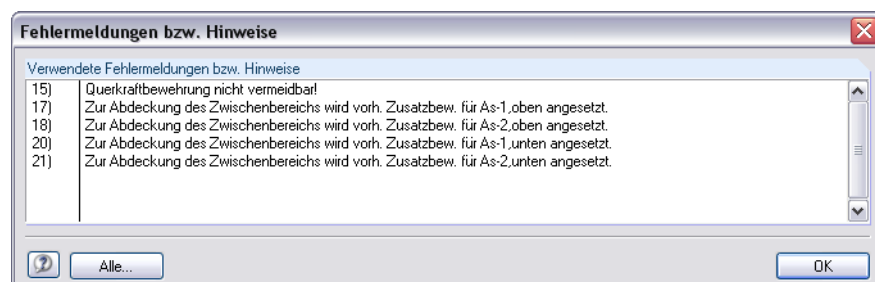


Bild 5.2: Dialog *Fehlermeldungen bzw. Hinweise*

Die Schaltflächen im unteren Bereich der Maske sind mit folgenden Funktionen belegt:






Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Punkte filtern	FE- bzw. Rasterpunkte können flächenweise und nach bestimmten Kriterien gefiltert werden. → Kapitel 6.3, Seite 65
	Nur bemessbare Ergebnisse zeigen	Zeilen mit Unbemessbarkeiten werden ausgeblendet.
	Punkt finden	Zeilen mit Ergebnissen einzelner FE- bzw. Rasterpunkte können flächen- und nummerweise gesucht werden. → Kapitel 6.3, Seite 67
	Fläche wählen	Eine Fläche kann im RFEM-Fenster angeklickt werden, deren Ergebnisse dann in der Tabelle erscheinen.
	Sichtmodus	Es erfolgt ein Sprung in das RFEM-Arbeitsfenster, sodass dort eine andere Ansicht eingestellt werden kann.

Tabelle 5.1: Schaltflächen der Ergebnismasken 2.1 bis 2.3

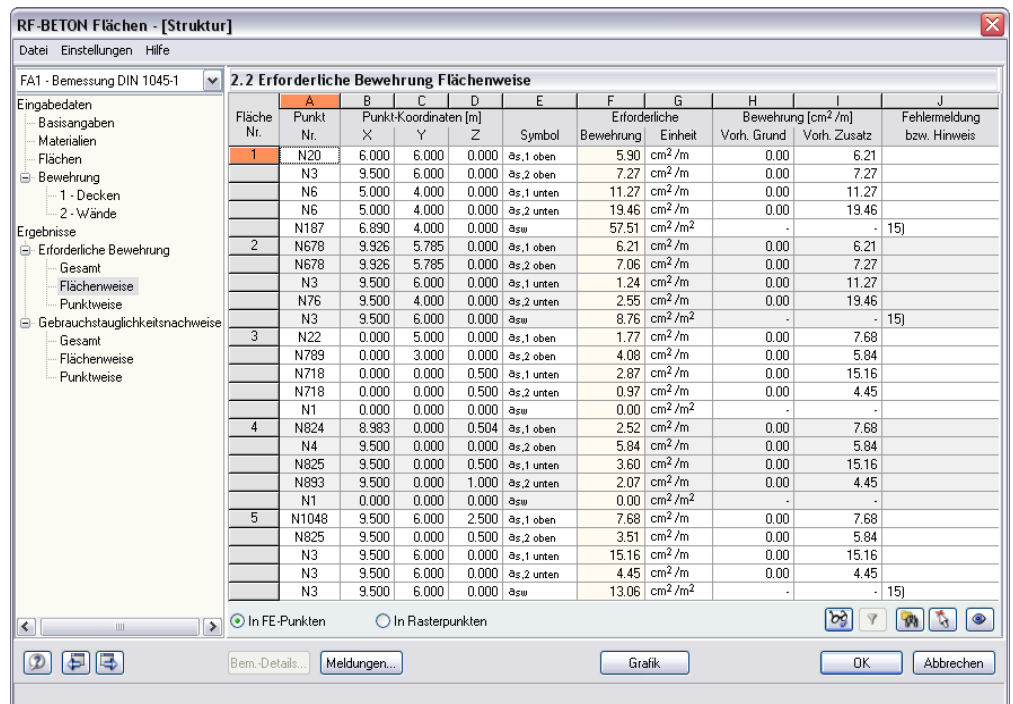
Bem.-Details...

Bei der Ausgabe der Bemessungsergebnisse *In Rasterpunkten* (siehe Bild 5.1) steht die Schaltfläche [Bem.-Details] zur Verfügung. Damit können die Bemessungsdetails für jeden Rasterpunkt eingesehen werden. Die Anzeige ist für den aktuellen Rasterpunkt aktiv, d. h. desjenigen Punkts, in dessen Tabellenzeile sich der Cursor befindet.



Die Bemessungsdetails werden nur für die Ergebnisse von Lastfällen und Lastfallgruppen angezeigt. Der Dialog *Bemessungsdetails* ist im Kapitel 6.1 auf Seite 61 beschrieben.

5.2 Erforderliche Bewehrung Flächenweise



Fläche Nr.	Punkt Nr.	Punkt-Koordinaten [m]			Symbol	Erforderliche Bewehrung	Einheit	Bewehrung [cm ² /m]		Fehlermeldung bzw. Hinweis
		X	Y	Z				Vorh. Grund	Vorh. Zusatz	
1	N20	6.000	6.000	0.000	as,1 oben	5.90	cm ² /m	0.00	6.21	
	N3	9.500	6.000	0.000	as,2 oben	7.27	cm ² /m	0.00	7.27	
	N6	5.000	4.000	0.000	as,1 unten	11.27	cm ² /m	0.00	11.27	
2	N6	5.000	4.000	0.000	as,2 unten	19.46	cm ² /m	0.00	19.46	
	N187	6.890	4.000	0.000	asw	57.51	cm ² /m ²	-	-	15)
	N678	9.926	5.785	0.000	as,1 oben	6.21	cm ² /m	0.00	6.21	
3	N678	9.926	5.785	0.000	as,2 oben	7.06	cm ² /m	0.00	7.27	
	N3	9.500	6.000	0.000	as,1 unten	1.24	cm ² /m	0.00	11.27	
	N76	9.500	4.000	0.000	as,2 unten	2.55	cm ² /m	0.00	19.46	
4	N3	9.500	6.000	0.000	asw	8.76	cm ² /m ²	-	-	15)
	N22	0.000	5.000	0.000	as,1 oben	1.77	cm ² /m	0.00	7.68	
	N789	0.000	3.000	0.000	as,2 oben	4.08	cm ² /m	0.00	5.84	
5	N718	0.000	0.000	0.500	as,1 unten	2.87	cm ² /m	0.00	15.16	
	N718	0.000	0.000	0.500	as,2 unten	0.97	cm ² /m	0.00	4.45	
	N1	0.000	0.000	0.000	asw	0.00	cm ² /m ²	-	-	
6	N824	8.983	0.000	0.504	as,1 oben	2.52	cm ² /m	0.00	7.68	
	N4	9.500	0.000	0.000	as,2 oben	5.84	cm ² /m	0.00	5.84	
	N825	9.500	0.000	0.500	as,1 unten	3.60	cm ² /m	0.00	15.16	
7	N893	9.500	0.000	1.000	as,2 unten	2.07	cm ² /m	0.00	4.45	
	N1	0.000	0.000	0.000	asw	0.00	cm ² /m ²	-	-	
	N1048	9.500	6.000	2.500	as,1 oben	7.68	cm ² /m	0.00	7.68	
8	N825	9.500	0.000	0.500	as,2 oben	3.51	cm ² /m	0.00	5.84	
	N3	9.500	6.000	0.000	as,1 unten	15.16	cm ² /m	0.00	15.16	
	N3	9.500	6.000	0.000	as,2 unten	4.45	cm ² /m	0.00	4.45	
9	N3	9.500	6.000	0.000	asw	13.06	cm ² /m ²	-	-	15)

Bild 5.3: Maske 2.2 Erforderliche Bewehrung Flächenweise

Es werden die maximalen Bewehrungsquerschnitte ausgewiesen, die für jede der bemessenen Flächen erforderlich sind. Die einzelnen Spalten sind im vorherigen Kapitel 5.1 erläutert.

5.3 Erforderliche Bewehrung Punktweise

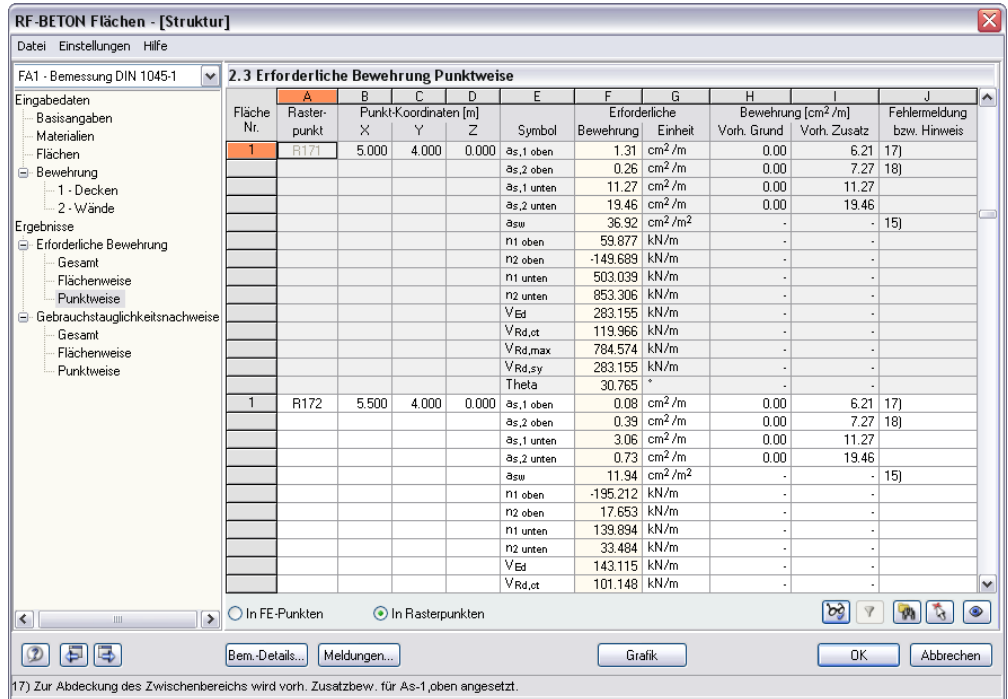


Bild 5.4: Maske 2.3 Erforderliche Bewehrung Punktweise

Diese Maske listet die maximalen Bewehrungsquerschnitte für alle FE- bzw. Rasterpunkte einer jeden Fläche auf. Die einzelnen Spalten sind im Kapitel 5.1 auf Seite 49 erläutert.

Neben den Zeilen mit den diversen Bewehrungsarten werden wesentliche Größen ausgegeben, die zur Ermittlung der Bewehrung bedeutsam sind. Für SIA 262 sind dies:

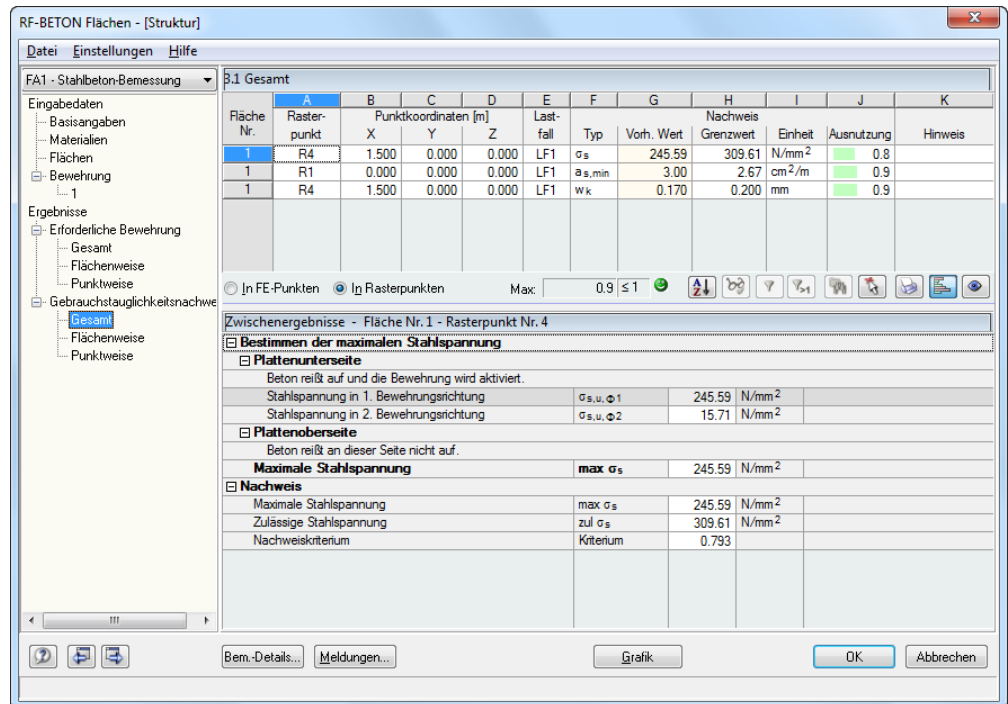
Symbol	Bedeutung
n ₁ oben	Normal- bzw. Membrankraft zur Bemessung der Bewehrung in die erste Bewehrungsrichtung an der Flächenoberseite
n ₂ oben	Normal- bzw. Membrankraft zur Bemessung der Bewehrung in die zweite Bewehrungsrichtung an der Flächenoberseite
n ₁ unten	Wie n ₁ oben, jedoch für Flächenunterseite
n ₂ unten	Wie n ₂ oben, jedoch für Flächenunterseite
m ₁ oben / m ₂ oben	Nur für Positionstyp <i>Platte XY</i> : Moment zur Bemessung der Bewehrung in die erste bzw. zweite Bewehrungsrichtung an der Flächenoberseite
m ₁ unten / m ₂ unten	Wie m ₁ oben / m ₂ oben, jedoch für Flächenunterseite
V _{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft
V _{Rd}	Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung
V _{Rd,c}	Querkrafttragfähigkeit der Betondruckstrebe
V _{Rd,sy}	Querkrafttragfähigkeit der Querkraftbewehrung
alpha	Neigungswinkel der Betondruckstrebe α

Tabelle 5.2: Ausgabegrößen in Maske 2.3 für SIA 262



Die Suchfunktion, die über die links dargestellte Schaltfläche aufgerufen wird, erleichtert das schnelle Auffinden eines bestimmten FE- oder Rasterpunkts (vgl. Bild 6.8, Seite 67).

5.4 Gebrauchstauglichkeitsnachweise Gesamt



The screenshot shows the 'RF-BETON Flächen - [Struktur]' software interface. The main window displays a table with columns for 'Fläche Nr.', 'Rasterpunkt', 'Punktkoordinaten [m]', 'Lastfall', 'Typ', 'Vorh. Wert', 'Nachweis', 'Grenzwert', 'Einheit', 'Ausnutzung', and 'Hinweis'. Below the table, there is a detailed view for 'Zwischenergebnisse - Fläche Nr. 1 - Rasterpunkt Nr. 4', which includes sections for 'Plattenunterseite', 'Plattenoberseite', 'Maximale Stahlspannung', and 'Nachweis'.

Fläche Nr.	Rasterpunkt	X	Y	Z	Lastfall	Typ	Vorh. Wert	Nachweis	Grenzwert	Einheit	Ausnutzung	Hinweis
1	R4	1.500	0.000	0.000	LF1	σ_s	245.59		309.61	N/mm ²	0.8	
1	R1	0.000	0.000	0.000	LF1	$a_{s,min}$	3.00		2.67	cm ² /m	0.9	
1	R4	1.500	0.000	0.000	LF1	w_k	0.170		0.200	mm	0.9	

Zwischenergebnisse - Fläche Nr. 1 - Rasterpunkt Nr. 4		
Bestimmen der maximalen Stahlspannung		
Plattenunterseite		
Beton reißt auf und die Bewehrung wird aktiviert.		
Stahlspannung in 1. Bewehrungsrichtung	$\sigma_{s,u,\phi 1}$	245.59 N/mm ²
Stahlspannung in 2. Bewehrungsrichtung	$\sigma_{s,u,\phi 2}$	15.71 N/mm ²
Plattenoberseite		
Beton reißt an dieser Seite nicht auf.		
Maximale Stahlspannung	max σ_s	245.59 N/mm ²
Nachweis		
Maximale Stahlspannung	max σ_s	245.59 N/mm ²
Zulässige Stahlspannung	zul σ_s	309.61 N/mm ²
Nachweiskriterium	Kriterium	0.793

Bild 5.5: Maske 3.1 Gebrauchstauglichkeitsnachweise Gesamt

Es werden die maßgebenden Ergebnisse der diversen Gebrauchstauglichkeitsnachweise aller zur Bemessung vorgesehenen Flächen ausgegeben. Diese Maske ist zweigeteilt: Im oberen Abschnitt erfolgt eine tabellarische Übersicht der Nachweise, im unteren Abschnitt werden die *Zwischenergebnisse* des oben aktiven FE- oder Rasterpunkts ausgewiesen.

Bild 5.5 zeigt die Ergebnismaske einer analytischen Gebrauchstauglichkeitsuntersuchung. Die Nachweismethode wird im Register *Gebrauchstauglichkeit* der Maske 1.1 *Basisangaben* vorgegeben (vgl. Bild 3.3, Seite 25). Im Kapitel 5.7 auf Seite 57 sind die Ergebnismasken beschrieben, die nach Abschluss einer nichtlinearen GZG-Untersuchung erscheinen.

Punkt Nr.

In dieser Spalte werden die Nummern der FE- bzw. Rasterpunkte angegeben, in denen die größten Ausnutzungen für jeden geforderten Nachweis ermittelt wurden. Die Art des Nachweises wird in Spalte F *Typ* angegeben.

Die FE-Netzpunkte werden automatisch generiert. Die Rasterpunkte hingegen stellen eine Flächeneigenschaft dar, die in RFEM beeinflussbar ist. Für jede Fläche lassen sich benutzerdefinierte Ergebnistraster erzeugen. Hintergrundinformationen zu den Rasterpunkten finden Sie im Kapitel 9.9 des RFEM-Handbuchs auf Seite 285.

Punkt-Koordinaten

In diesen drei Spalten werden die Koordinaten der jeweils maßgebenden FE- oder Rasterpunkte angegeben.

Lastfall

In Spalte E wird der Lastfall bzw. die Lastfallgruppe oder Lastfallkombination ausgewiesen, dessen bzw. deren Schnittgrößen zur maximalen Ausnutzung für den jeweiligen Gebrauchstauglichkeitsnachweis führen.

Typ

Spalte F gibt die Art des Gebrauchstauglichkeitsnachweises an. Bei der analytischen Methode werden bis zu drei Nachweistypen aufgelistet.

Die einzelnen Nachweistypen haben folgende Bedeutungen:

Typ	Nachweis GZG
σ_s	Begrenzung der Betonstahlspannung gemäß Vorgaben in Maske 1.3 <i>Flächen</i> (siehe Bild 3.10, Seite 34)
$a_{s,min}$	Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite gemäß Vorgaben in Maske 1.3 <i>Flächen</i>
w_k	Begrenzung der Rissbreite gemäß Vorgaben in Maske 1.3 <i>Flächen</i> (siehe Bild 3.9, Seite 32)

Tabelle 5.3: Gebrauchstauglichkeitsnachweise nach analytischer Methode

Vorhandener Wert

In dieser Spalte werden die Gesamt-Extremwerte aller Flächen angegeben, die für die jeweiligen Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit maßgebend sind.

Grenzwert

Die Grenzwerte resultieren aus den Normvorgaben und der aktuellen Belastungssituation.

Ausnutzung


Diese Spalte gibt Auskunft über die Nachweisquotienten aus vorhandenem Wert (Spalte G) und Grenzwert (Spalte H). Damit ist sofort ersichtlich, ob das Nachweiskriterium von 1 eingehalten oder überschritten ist.

Die Werte dieser Spalte sind mit farbigen Balken hinterlegt, deren Längen die jeweiligen Ausnutzungen widerspiegeln. Ein grüner Balken bedeutet zudem, dass der Nachweis erfüllt ist, ein roter Balken weist auf eine Überschreitung hin. Die Darstellung dieser Balken kann über die links dargestellte Schaltfläche ein- und ausgeblendet werden.

Hinweis

Die letzte Spalte verweist auf Unbemessbarkeiten oder Bemerkungen, die sich im Zuge der Nachweisführung ergeben haben. Die Nummern sind in der Statusleiste näher erläutert.

Alle [Meldungen] des aktuellen Bemessungsfalls lassen sich zusammengefasst über die links dargestellte Schaltfläche einsehen. Es erscheint ein informativer Dialog mit einer Übersicht (vgl. Bild 5.2, Seite 49).

Max: 0.92 ≤ 1 



Meldungen...

Die Schaltflächen im oberen Abschnitt dieser Maske sind mit folgenden Funktionen belegt:










Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Werte sortieren	Die Ergebnisse lassen sich nach den maximalen Ausnutzungen (Spalte J) oder Werten (Spalte G) ordnen. → Kapitel 6.3, Seite 66
	Punkte filtern	FE- bzw. Rasterpunkte können flächenweise und nach bestimmten Kriterien gefiltert werden. → Kapitel 6.3, Seite 65
	Nur bemessbare Ergebnisse zeigen	Zeilen mit Unbemessbarkeiten werden ausgeblendet.
	Nur unbemessbare Ergebnisse zeigen	Es werden nur Zeilen mit Ausnutzungen > 1,00 angezeigt.
	Punkt finden	Zeilen mit Ergebnissen einzelner FE- bzw. Rasterpunkte können flächen- und nummernweise gesucht werden. → Kapitel 6.3, Seite 67
	Fläche wählen	Eine Fläche kann im RFEM-Fenster angeklickt werden, deren Ergebnisse dann in der Tabelle erscheinen.
	Ergebnisse drucken	Die Zwischenergebnisse des aktuellen FE- oder Rasterpunkts werden in das Ausdruckprotokoll gedruckt.
	Relationsbalken	Die farbigen Bezugsskalen werden ein- oder ausgeblendet.
	Sichtmodus	Es erfolgt ein Sprung in das RFEM-Arbeitsfenster, sodass dort eine andere Ansicht eingestellt werden kann.

Tabelle 5.4: Schaltflächen in den Ergebnismasken 3.1 bis 3.3

Bem.-Details...

Bei der Ausgabe der Bemessungsergebnisse *In Rasterpunkten* (siehe Bild 5.1) steht die Schaltfläche [Bem.-Details] zur Verfügung. Damit können die Bemessungsdetails für jeden Rasterpunkt eingesehen werden. Die Anzeige ist für den aktuellen Rasterpunkt aktiv, d. h. desjenigen Punkts, in dessen Tabellenzeile sich der Cursor befindet.

5.5 Gebrauchstauglichkeitsnachweise Flächenweise

RF-BETON Flächen - [Struktur]

FA1 - Stahlbeton-Bemessung

3.2 Flächenweise

Fläche Nr.	Rasterpunkt	Punktkoordinaten [m]			Lastfall	Nachweis					
		X	Y	Z		Typ	Vorf. Wert	Grenzwert	Einheit	Ausnutzung	Hinweis
1	R4	1.500	0.000	0.000	LF1	σ_s	245.59	309.61	N/mm ²	0.8	
	R1	0.000	0.000	0.000	LF1	$a_{s,min}$	3.00	2.67	cm ² /m	0.9	
	R4	1.500	0.000	0.000	LF1	w _k	0.170	0.200	mm	0.9	

In FE-Punkten In Rasterpunkten Max: 0.9 ≤ 1

Zwischenergebnisse - Fläche Nr. 1 - Rasterpunkt Nr. 4

Bestimmen der maximalen Stahlspannung

Plattenunterseite
 Beton reißt auf und die Bewehrung wird aktiviert.
 Stahlspannung in 1. Bewehrungsrichtung $\sigma_{s,u,\phi 1}$ 245.59 N/mm²
 Stahlspannung in 2. Bewehrungsrichtung $\sigma_{s,u,\phi 2}$ 15.71 N/mm²

Plattenoberseite
 Beton reißt an dieser Seite nicht auf.

Maximale Stahlspannung max σ_s 245.59 N/mm²

Nachweis

Maximale Stahlspannung	max σ_s	245.59	N/mm ²
Zulässige Stahlspannung	zul σ_s	309.61	N/mm ²
Nachweiskriterium	Kriterium	0.793	

Bem.-Details... Meldungen... Grafik OK Abbrechen

Bild 5.6: Maske 3.2 Gebrauchstauglichkeitsnachweise Flächenweise

In dieser Ergebnismaske werden die maximalen Ausnutzungen für die diversen Gebrauchstauglichkeitsnachweise ausgewiesen, die für jede der bemessenen Flächen maßgebend sind.

Die einzelnen Spalten sind im vorherigen Kapitel 5.4 erläutert.

5.6 Gebrauchstauglichkeitsnachweise Punktweise

Fläche Nr.	Rasterpunkt	Punktkoordinaten [m]			Lastfall	Typ	Vorh. Wert	Nachweis			Hinweis
		X	Y	Z				Grenzwert	Einheit	Ausnutzung	
1	R1	0.000	0.000	0.000	LF1	σ_s	0.00	309.61	N/mm ²	0.0	226)
						$\alpha_{s,min}$	3.00	2.67	cm ² /m	0.9	
						w_k	0.000	0.200	mm	0.0	226)
1	R2	0.500	0.000	0.000	LF1	σ_s	150.21	309.61	N/mm ²	0.5	
						$\alpha_{s,min}$	3.00	2.67	cm ² /m	0.9	
						w_k	0.064	0.200	mm	0.4	
1	R3	1.000	0.000	0.000	LF1	σ_s	226.28	309.61	N/mm ²	0.8	
						$\alpha_{s,min}$	3.00	2.67	cm ² /m	0.9	
						w_k	0.144	0.200	mm	0.8	
1	R4	1.500	0.000	0.000	LF1	σ_s	245.59	309.61	N/mm ²	0.8	

Zwischenergebnisse - Fläche Nr. 1 - Rasterpunkt Nr. 2			
Bestimmen des Rechenwert der Rissbreite			
Plattenunterseite			
Rechenwert der Rissbreite in 1. Bewehrungsrichtung	$w_{k,u,q,1}$	0.064	mm
Rechenwert der Rissbreite in 2. Bewehrungsrichtung	$w_{k,u,q,2}$	0.014	mm
Rechenwert der Rissbreite in Richtung der resultierenden	$w_{k,u,res}$	0.064	mm
Plattenoberseite			
Beton reißt an dieser Seite nicht auf.			
Nachweis			
Rissbreite an der Unterseite in 1. Bewehrungsrichtung	$w_{k,u,q,1}$	0.064	mm
Maximal zulässige Rissbreite laut Benutzervorgabe	$w_{k,grenz}$	0.200	mm
Nachweiskriterium	Kriterium	0.318	

Bild 5.7: Maske 3.3 Gebrauchstauglichkeitsnachweise Punktweise

Diese Maske listet die maximalen Ausnutzungen für alle FE- bzw. Rasterpunkte einer jeden Fläche auf. Die einzelnen Spalten sind im Kapitel 5.4 auf Seite 53 erläutert.

Neben den Zeilen mit den diversen Gebrauchstauglichkeitsnachweisen werden wesentliche Größen als *Zwischenergebnisse* ausgegeben, die in den Nachweisen berücksichtigt sind.



Die Suchfunktion, die über die links dargestellte Schaltfläche aufgerufen wird, erleichtert das schnelle Auffinden eines bestimmten FE- oder Rasterpunkts (vgl. Bild 6.8, Seite 67). Die übrigen Schaltflächen sind in Tabelle 5.4 auf Seite 54 erläutert.

5.7 Nichtlineare Berechnung Gesamt

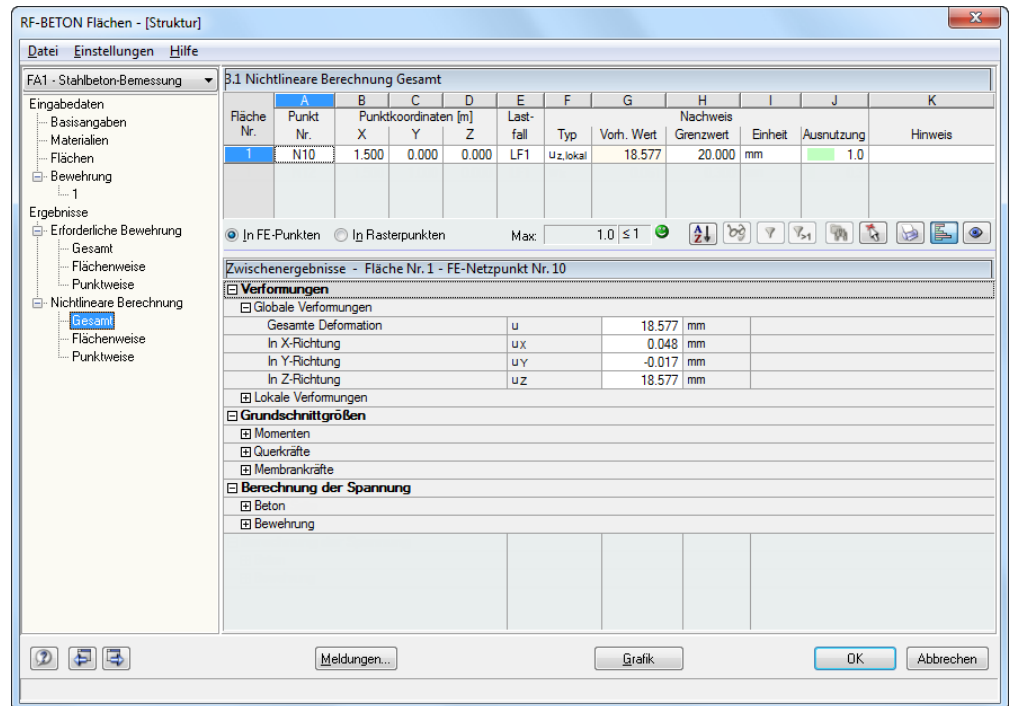


Bild 5.8: Maske 3.1 Nichtlineare Berechnung Gesamt

Es werden die maßgebenden Ergebnisse der diversen Gebrauchstauglichkeitsnachweise aller zur Bemessung vorgesehenen Flächen ausgegeben. Diese Maske ist zweigeteilt: Im oberen Abschnitt erfolgt eine tabellarische Übersicht der Nachweise, im unteren Abschnitt werden die *Zwischenergebnisse* des oben aktiven FE- oder Rasterpunkts ausgewiesen.

Bild 5.8 zeigt die Ergebnismaske einer nichtlinearen Gebrauchstauglichkeitsuntersuchung. Die Nachweismethode wird im Register *Gebrauchstauglichkeit* der Maske 1.1 *Basisangaben* vorgegeben (vgl. Bild 3.3, Seite 25). Im Kapitel 5.4 auf Seite 52 sind die Ergebnismasken beschrieben, die nach Abschluss einer analytischen GZG-Untersuchung erscheinen.

Punkt Nr.

In dieser Spalte werden die Nummern der FE- bzw. Rasterpunkte angegeben, in denen die größten Ausnutzungen für jeden geforderten Nachweis ermittelt wurden. Die Art des Nachweises wird in Spalte F *Typ* angegeben.

Die FE-Netzpunkte werden automatisch generiert. Die Rasterpunkte hingegen stellen eine Flächeneigenschaft dar, die in RFEM beeinflussbar ist. Für jede Fläche lassen sich benutzerdefinierte Ergebnistraster erzeugen. Hintergrundinformationen zu den Rasterpunkten finden Sie im Kapitel 9.9 des RFEM-Handbuchs auf Seite 285.

Punkt-Koordinaten

In diesen drei Spalten werden die Koordinaten der jeweils maßgebenden FE- oder Rasterpunkte angegeben.

Lastfall

In Spalte E wird die Nummer des Lastfalls bzw. der Lastfallgruppe ausgewiesen, dessen bzw. deren Schnittgrößen zur maximalen Ausnutzung für den jeweiligen Gebrauchstauglichkeitsnachweis führen.

Typ

Spalte F gibt die Art des Gebrauchstauglichkeitsnachweis an.

Dieser Nachweistyp hat folgende Bedeutungen:

Typ	Nachweis GZG
$u_{z, lokal}$	Verformung im Zustand II gemäß Vorgaben in Maske 1.3 <i>Flächen</i> (siehe Bild 3.11, Seite 35)

Tabelle 5.5: Gebrauchstauglichkeitsnachweise nach nichtlinearer Methode

Vorhandener Wert

In dieser Spalte werden die Gesamt-Extremwerte aller Flächen angegeben, die für die jeweiligen Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit maßgebend sind. Die Werte der Verformungen, Rissbreiten und Spannungen stellen die Ergebnisse im Zustand II dar.

Die bei den Zwischenergebnissen im unteren Abschnitt angegebenen Rissbreiten w_k sind auf die Bewehrungsrichtungen 1 und 2 bezogen. Somit repräsentiert beispielsweise der Wert für $w_{k1, oben}$ die Rissbreite der ersten Bewehrungsrichtung an der Flächenoberseite (d. h. der Riss verläuft senkrecht zur ersten Bewehrungsrichtung).

Grenzwert

Die Grenzwerte resultieren aus den Normvorgaben und der aktuellen Belastungssituation.

Ausnutzung

Diese Spalte gibt Auskunft über die Nachweisquotienten aus vorhandenem Wert (Spalte G) und Grenzwert (Spalte H). Damit ist sofort ersichtlich, ob das Nachweiskriterium von 1 eingehalten oder überschritten ist.


Die Werte dieser Spalte sind mit farbigen Balken hinterlegt, deren Länge die Ausnutzung des Querschnitts widerspiegeln. Ein grüner Balken bedeutet zudem, dass der Nachweis erfüllt ist, ein roter Balken weist auf eine Überschreitung hin. Die Darstellung dieser Balken kann über die links dargestellte Schaltfläche ein- und ausgeblendet werden.

Hinweis

Die letzte Spalte verweist auf Unbemessbarkeiten oder Bemerkungen, die sich im Zuge der Nachweisführung ergeben haben. Die Nummern sind in der Statusleiste näher erläutert.

Alle [Meldungen] des aktuellen Bemessungsfalls lassen sich zusammengefasst über die links dargestellte Schaltfläche einsehen. Es erscheint ein informativer Dialog mit einer Übersicht (vgl. Bild 5.2, Seite 49).

Die Schaltflächen im oberen Abschnitt der Maske sind in Tabelle 5.4 auf Seite 54 erläutert.

Max: 0.92 ≤ 1 



Meldungen...

5.8 Nichtlineare Berechnung Flächenweise

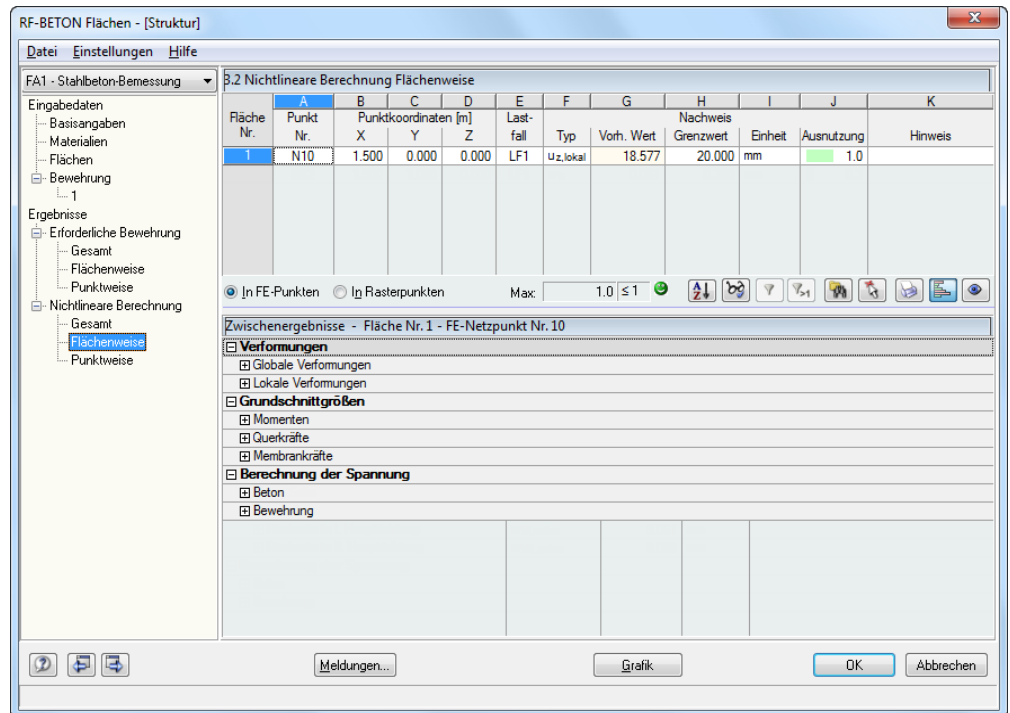
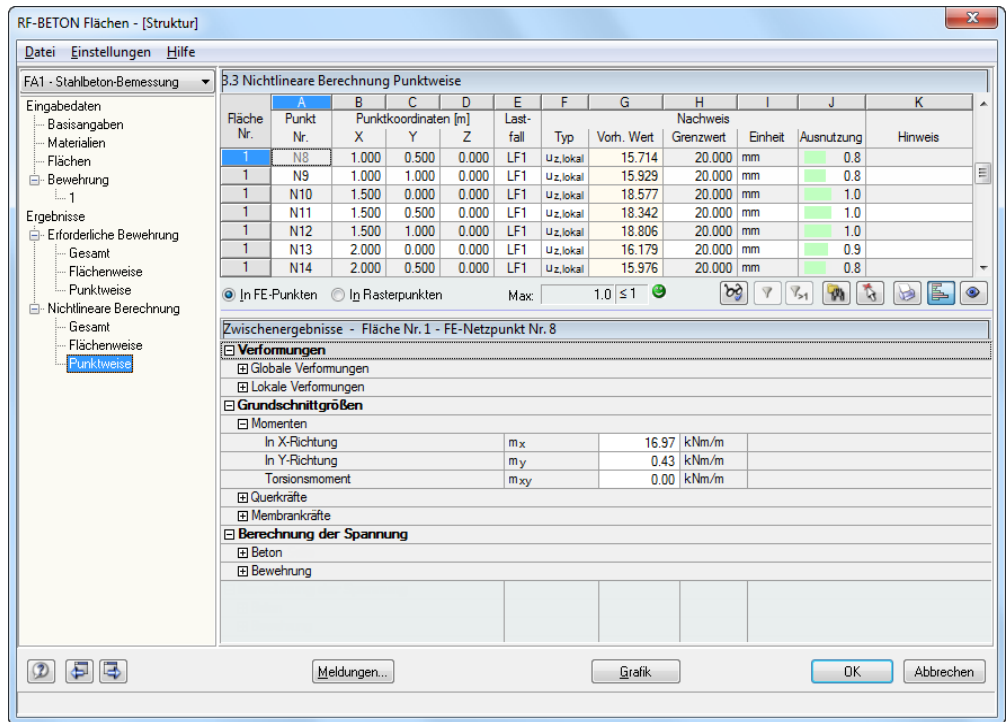


Bild 5.9: Maske 3.2 Nichtlineare Berechnung Flächenweise

In dieser Ergebnismaske werden die maximalen Ausnutzungen für die diversen Gebrauchstauglichkeitsnachweise ausgewiesen, die für jede der bemessenen Flächen maßgebend sind. Die einzelnen Spalten sind im vorherigen Kapitel 5.7 erläutert.

5.9 Nichtlineare Berechnung Punktweise



Fläche Nr.	Punkt Nr.	Punktkoordinaten [m]	Lastfall	Typ	Vorh. Wert	Nachweis Grenzwert	Einheit	Ausnutzung	Hinweis
1	N8	1.000 0.500 0.000	LF1	Uz, lokal	15.714	20.000	mm	0.8	
1	N9	1.000 1.000 0.000	LF1	Uz, lokal	15.929	20.000	mm	0.8	
1	N10	1.500 0.000 0.000	LF1	Uz, lokal	18.577	20.000	mm	1.0	
1	N11	1.500 0.500 0.000	LF1	Uz, lokal	18.342	20.000	mm	1.0	
1	N12	1.500 1.000 0.000	LF1	Uz, lokal	18.806	20.000	mm	1.0	
1	N13	2.000 0.000 0.000	LF1	Uz, lokal	16.179	20.000	mm	0.9	
1	N14	2.000 0.500 0.000	LF1	Uz, lokal	15.976	20.000	mm	0.8	

Zwischenergebnisse - Fläche Nr. 1 - FE-Netzpunkt Nr. 8			
Verformungen			
[] Globale Verformungen			
[] Lokale Verformungen			
Grundschnittgrößen			
[] Momente			
In X-Richtung	m _x	16.97	kNm/m
In Y-Richtung	m _y	0.43	kNm/m
Torsionsmoment	m _{xy}	0.00	kNm/m
[] Querkräfte			
[] Membrankräfte			
Berechnung der Spannung			
[] Beton			
[] Bewehrung			

Bild 5.10: Maske 3.3 Nichtlineare Berechnung Punktweise

Es werden die maximalen Ausnutzungen für jeden einzelnen FE- bzw. Rasterpunkt jeder Fläche aufgelistet. Die einzelnen Spalten sind im Kapitel 5.7 auf Seite 58 erläutert.



Die Suchfunktion, die über die links dargestellte Schaltfläche aufgerufen wird, erleichtert das schnelle Auffinden eines bestimmten FE- oder Rasterpunkts (vgl. Bild 6.8, Seite 67).

6. Ergebnisauswertung

Nach der Bemessung bestehen verschiedene Möglichkeiten, die Ergebnisse auszuwerten. Hierfür erweisen sich die Bemessungsdetails als sehr nützlich, die sich in einem separaten Fenster anzeigen lassen. Die grafische Auswertung kann im RFEM-Arbeitsfenster erfolgen.

6.1 Bemessungsdetails

Bem.-Details...

In den Ergebnismasken 2.1 bis 2.3 der Tragfähigkeitsnachweise steht bei der Anzeigeart *In Rasterpunkten* (siehe Bild 5.1) die Schaltfläche [Bem.-Details] zur Verfügung. Über diese lassen sich die Bemessungsdetails des aktuellen Rasterpunkts einsehen, d. h. desjenigen Punkts, in dessen Tabellenzeile sich der Cursor befindet.

Die Details des Tragfähigkeitsnachweises können nur angezeigt werden, wenn die maßgebenden Schnittgrößen aus einem einzigen Lastfall bzw. einer einzigen Lastfallgruppe resultieren. Die Bemessung mehrerer Lastfälle, Lastfallgruppen oder einer Lastfallkombination erlaubt keine eindeutige Zuordnung.

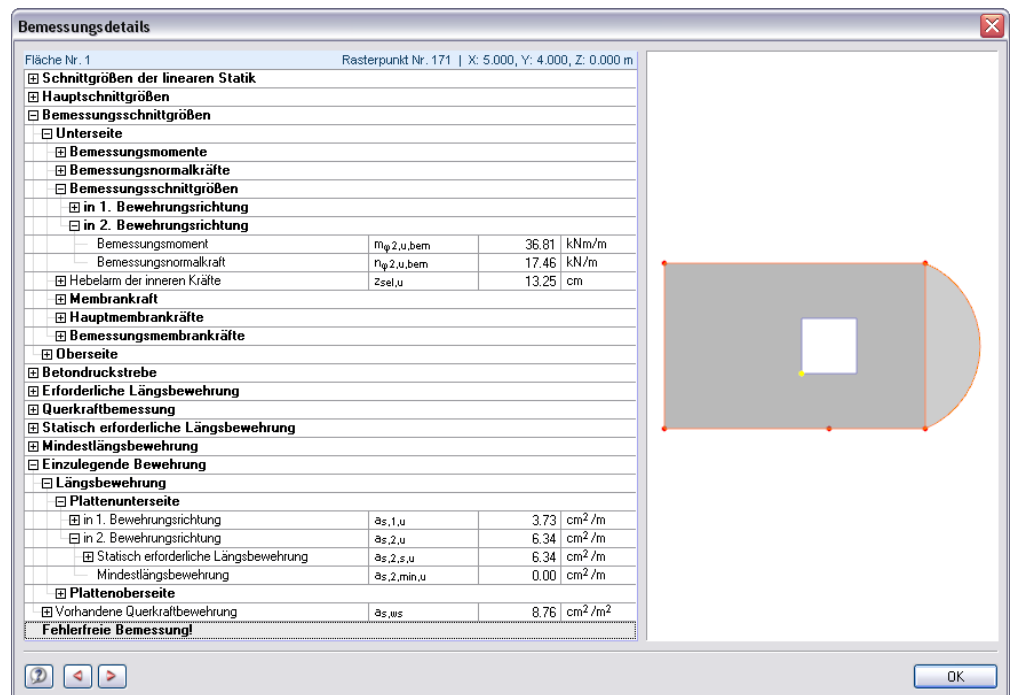


Bild 6.1: Dialog *Bemessungsdetails* für Tragfähigkeitsnachweis

Links werden alle relevanten Daten in einer Baumstruktur aufgelistet. Die einzelnen Kapitel in der Baumstruktur können mit [+] aufgeklappt und mit [-] geschlossen werden. Rechts im Dialog wird die Lage des Rasterpunkts im Gesamtmodell grafisch angezeigt.

Folgende Bemessungsdetails werden ausgegeben :

- Schnittgrößen der linearen Statik
- Hauptschnittgrößen
- Bemessungsschnittgrößen
- Betondruckstrebe
- Erforderliche Längsbewehrung
- Querkraftbemessung
- Statisch erforderliche Längsbewehrung
- Mindestlängsbewehrung
- Einzulegende Bewehrung

Bem.-Details...

Bei den Nachweisen der Gebrauchstauglichkeit werden wesentliche Zwischenergebnisse direkt in den zweigeteilten Masken 3.1 bis 3.3 ausgewiesen (vgl. Bild 5.5, Seite 52). Für die analytischen Nachweise lassen sich mit der Schaltfläche [Bem.-Details] wieder sämtliche Bemessungsdetails eines jeden Raster- und FE-Punkts überprüfen. Im Gegensatz zu den Tragfähigkeitsnachweisen sind auch die Detailangaben mehrerer zur Bemessung vorgegebener Lastfälle sowie von Lastfallkombinationen zugänglich.

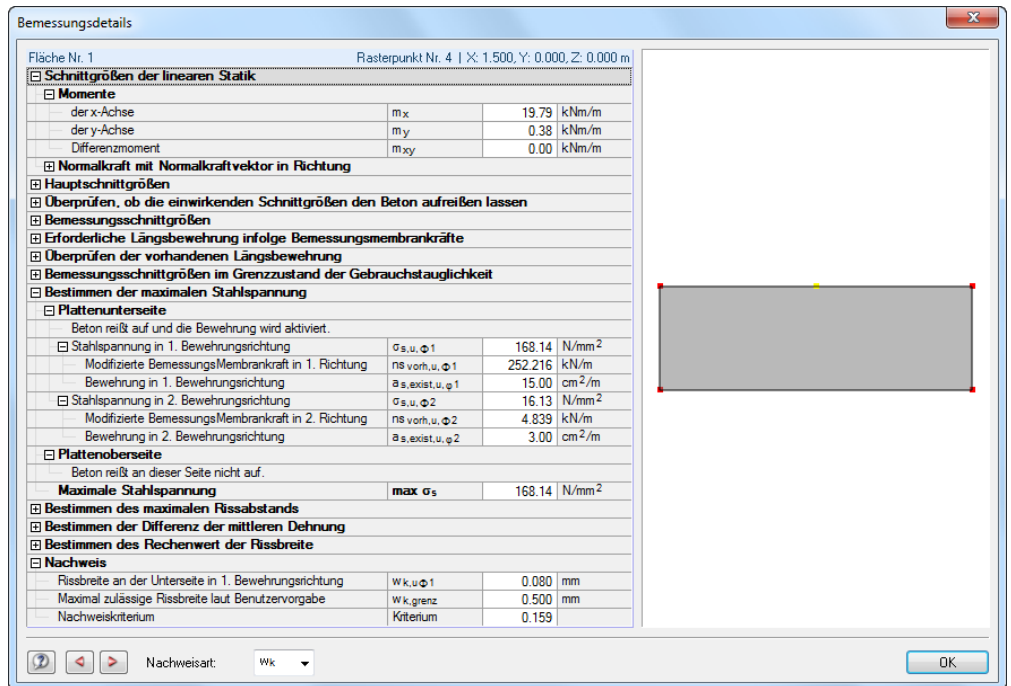
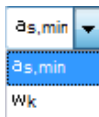


Bild 6.2: Dialog *Bemessungsdetails* für Gebrauchstauglichkeitsnachweis



In einer Baumstruktur werden die für jeden Nachweistyp relevanten Ergebniszeilen dargestellt. Die Steuerung der angezeigten Bemessungsdetails erfolgt über die Liste *Nachweisart* unten im Dialog.

Nachweismethode	Nachweisart
Analytisch	$a_{s,min}$
	W_k

} siehe Tabelle 5.3, Seite 53

Tabelle 6.1: *Nachweisart* für Gebrauchstauglichkeitsnachweise



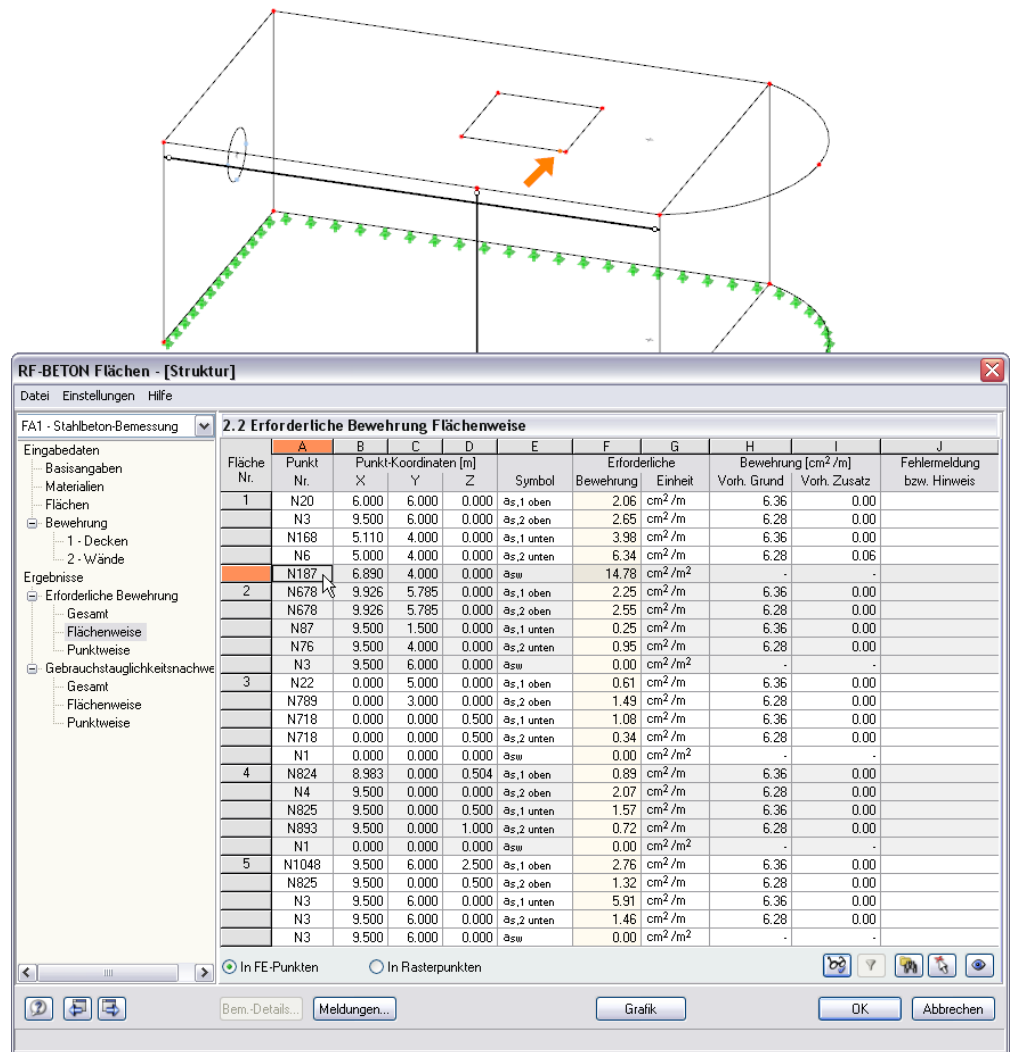
Mit der Schaltfläche [◀] kann zum vorherigen FE- oder Rasterpunkt zurückgeblättert, mit der Schaltfläche [▶] zum nächsten Punkt weitergeblättert werden.

6.2 Ergebnisse am RFEM-Modell

Zur grafischen Auswertung der Bemessungsergebnisse kann das RFEM-Arbeitsfenster genutzt werden.

RFEM-Hintergrundgrafik

Über die RFEM-Grafik im Hintergrund lässt sich schnell die Lage eines bestimmten FE- oder Rasterpunkts im Modell überprüfen. Der in der Ergebnismaske selektierte Punkt wird in der Hintergrundgrafik von RFEM mit einem Pfeil gekennzeichnet.



2.2 Erforderliche Bewehrung Flächenweise											
Fläche Nr.	Punkt Nr.	Punkt-Koordinaten [m]			Symbol	Erforderliche Bewehrung	Einheit	Bewehrung [cm ² /m]		Fehlermeldung bzw. Hinweis	
		X	Y	Z				Vorh. Grund	Vorh. Zusatz		
1	N20	6.000	6.000	0.000	As,1 oben	2.06	cm ² /m	6.36	0.00		
	N3	9.500	6.000	0.000	As,2 oben	2.65	cm ² /m	6.28	0.00		
	N168	5.110	4.000	0.000	As,1 unten	3.98	cm ² /m	6.36	0.00		
	N6	5.000	4.000	0.000	As,2 unten	6.34	cm ² /m	6.28	0.06		
	N187	6.890	4.000	0.000	Bsw	14.78	cm ² /m ²	-	-		
2	N678	9.926	5.785	0.000	As,1 oben	2.25	cm ² /m	6.36	0.00		
	N678	9.926	5.785	0.000	As,2 oben	2.55	cm ² /m	6.28	0.00		
	N87	9.500	1.500	0.000	As,1 unten	0.25	cm ² /m	6.36	0.00		
	N76	9.500	4.000	0.000	As,2 unten	0.95	cm ² /m	6.28	0.00		
	N3	9.500	6.000	0.000	Bsw	0.00	cm ² /m ²	-	-		
3	N22	0.000	5.000	0.000	As,1 oben	0.61	cm ² /m	6.36	0.00		
	N789	0.000	3.000	0.000	As,2 oben	1.49	cm ² /m	6.28	0.00		
	N718	0.000	0.000	0.500	As,1 unten	1.08	cm ² /m	6.36	0.00		
	N718	0.000	0.000	0.500	As,2 unten	0.34	cm ² /m	6.28	0.00		
	N1	0.000	0.000	0.000	Bsw	0.00	cm ² /m ²	-	-		
4	N824	8.983	0.000	0.504	As,1 oben	0.89	cm ² /m	6.36	0.00		
	N4	9.500	0.000	0.000	As,2 oben	2.07	cm ² /m	6.28	0.00		
	N825	9.500	0.000	0.500	As,1 unten	1.57	cm ² /m	6.36	0.00		
	N893	9.500	0.000	1.000	As,2 unten	0.72	cm ² /m	6.28	0.00		
	N1	0.000	0.000	0.000	Bsw	0.00	cm ² /m ²	-	-		
5	N1048	9.500	6.000	2.500	As,1 oben	2.76	cm ² /m	6.36	0.00		
	N825	9.500	0.000	0.500	As,2 oben	1.32	cm ² /m	6.28	0.00		
	N3	9.500	6.000	0.000	As,1 unten	5.91	cm ² /m	6.36	0.00		
	N3	9.500	6.000	0.000	As,2 unten	1.46	cm ² /m	6.28	0.00		
	N3	9.500	6.000	0.000	Bsw	0.00	cm ² /m ²	-	-		

Bild 6.3: Lokalisierung des aktuellen FE-Punkts im RFEM-Modell



Sollte sich eine ungünstige Ansicht auch durch das Verschieben des RF-BETON Flächen-Fensters nicht beheben lassen, kann über die Schaltfläche [Ansicht ändern] der so genannte *Sichtmodus* aktiviert werden: Das RF-BETON Flächen-Fenster wird ausgeblendet, sodass nun im RFEM-Arbeitsfenster die Anzeige geändert werden kann. In diesem Modus stehen nur die Funktionen des Menüs *Ansicht* zur Verfügung, z. B. Zoomen, Verschieben oder Drehen der Ansicht.

Grafik

Bewehrungsrichtung

RFEM-Arbeitsfenster

Die Bemessungsergebnisse und Ausnutzungsgrade lassen sich auch direkt am Strukturmodell visualisieren. Mit der Schaltfläche [Grafik] wird das Modul RF-BETON Flächen verlassen und das RFEM-Arbeitsfenster aufgebaut. Dort werden sämtliche Bemessungsergebnisse und Nachweiskriterien in grafischer Form präsentiert.

Der *Ergebnisse*-Navigator ist an die Ergebnisse von RF-BETON Flächen angepasst. Es stehen die Ergebnisse der Längsbewehrungen für jede Bewehrungsrichtung und -lage, der Schubbewehrung, die Bemessungsschnittgrößen sowie die diversen Ausnutzungen und Detailergebnisse der Gebrauchstauglichkeitsnachweise zur Verfügung.

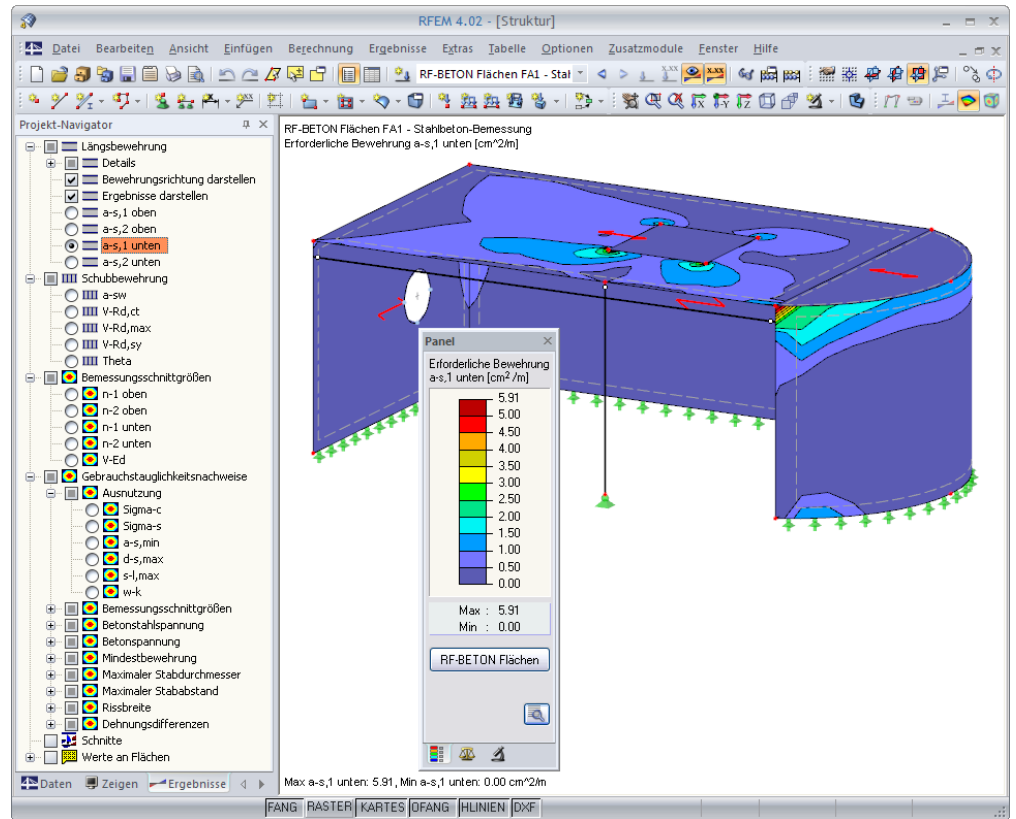


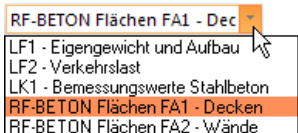
Bild 6.4: *Ergebnisse*-Navigator von RF-BETON Flächen



Wie bei den RFEM-Schnittgrößen blendet die Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus] die Darstellung der Bemessungsergebnisse ein oder aus, die rechts davon angeordnete Schaltfläche [Ergebnisse mit Werten anzeigen] steuert die Anzeige der Ergebniswerte in der Grafik.

Da die RFEM-Tabellen für die Auswertung der RF-BETON Flächen-Ergebnisse keine Funktion haben, können sie ggf. deaktiviert werden.

Die Auswahl der Bemessungsfälle erfolgt wie üblich über die Liste in der RFEM-Menüleiste.



Die Auswertung der Bemessungsergebnisse wird durch das Panel mit den üblichen Steuerungsmöglichkeiten unterstützt. Dessen Funktionen sind im RFEM-Handbuch, Kapitel 4.4.6 ab Seite 77 ausführlich erläutert. Im Register *Darstellungsfaktoren* lassen sich die Flächenverläufe der Bewehrungen, Schnittgrößen oder Ausnutzungen skalieren, im Register *Filter* die Ergebnisse bestimmter Flächen gezielt auswählen.

Für die Anzeige und Auswertung der numerischen Bemessungsergebnisse stehen alle in RFEM verfügbaren Möglichkeiten zur Auswahl. Diese Funktionen finden Sie im Kapitel 10.4 des RFEM-Handbuchs ab Seite 307 detailliert erläutert. Das folgende Bild zeigt beispielsweise die untere Bewehrung, die zusätzlich zur vorgegebenen Grundbewehrung einzulegen ist, als *Gruppe*. Die Werte werden dabei in Bewehrungsrichtung angetragen.

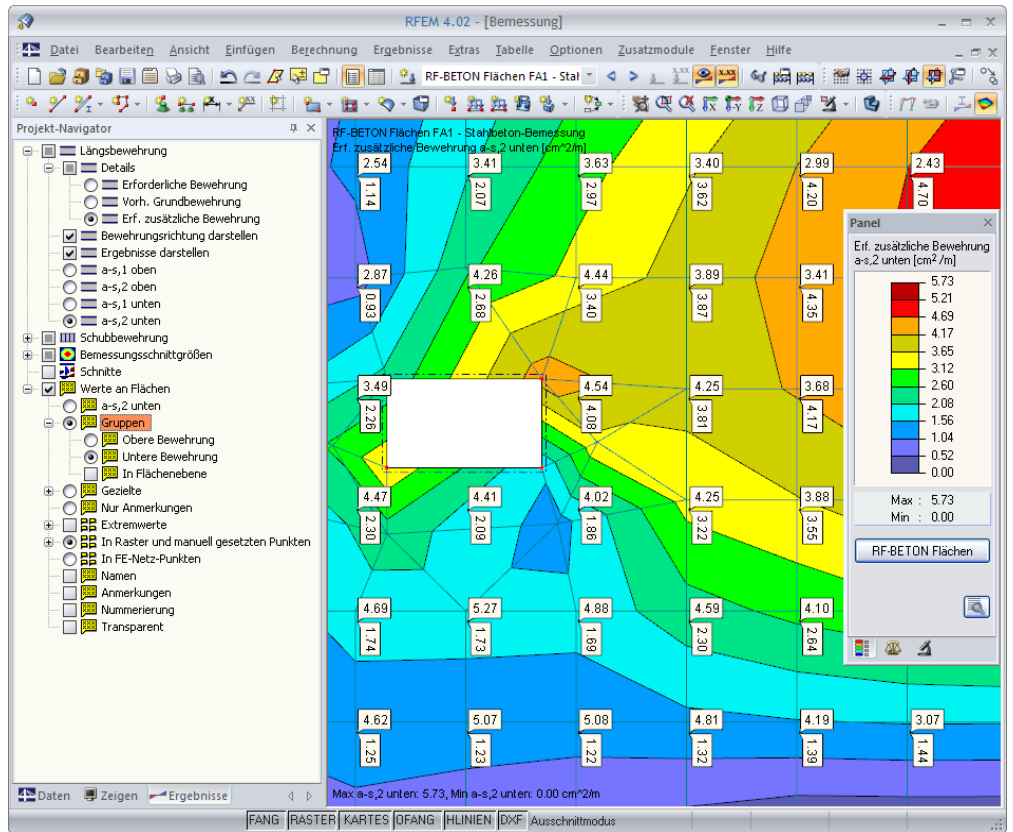


Bild 6.5: Gruppe *Untere Bewehrung*, Darstellung der Zusatzbewehrung

Diese Grafiken lassen sich auch wie RFEM-Grafiken in das Ausdruckprotokoll übertragen (siehe Kapitel 7.2, Seite 69).

RF-BETON Flächen

Über die Panel-Schaltfläche [RF-BETON Flächen] ist die Rückkehr in das Bemessungsmodul möglich.

6.3 Filter für Ergebnisse

Die RF-BETON Flächen-Ergebnismasken bieten durch ihre Organisation bereits eine Auswahl der Gesamt- und Flächenmaxima an. In den Masken 2.3 und 3.3 mit allen punktwisen Ergebnissen bestehen zudem Filteroptionen, die eine gezielte Auswertung ermöglichen.

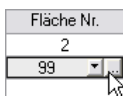


Punkte filtern

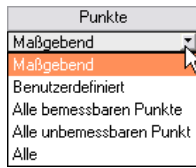
In den Ergebnismasken 2.2 und 2.3 sowie 3.2 und 3.3 steht die links dargestellte Schaltfläche zur Verfügung. Diese ruft den Dialog *Punkte filtern* auf.



Bild 6.6: Dialog *Punkte filtern*



In der Spalte *Fläche Nr.* wird die gewünschte Flächennummer eingetragen oder grafisch im RFEM-Arbeitsfenster ausgewählt. Diese Funktion ist nach einem Klick in das Feld zugänglich.



Die Spalte *Punkte* bietet verschiedene Kriterien an, um die Ergebnisse zu filtern. Neben allen *bemessbaren* und *unbemessbaren* Punkten lassen sich die *maßgebenden* Punkte selektieren. In diesen Punkten liegen die größten Bewehrungsquerschnitte oder Ausnutzungen für die jeweiligen Trag- bzw. Gebrauchstauglichkeitsnachweise vor.

Über die Option *Benutzerdefiniert* können Punktnummern direkt eingetragen werden. *Alle* stellt die Gesamtanzeige wieder her.

Nur bemessbare bzw. unbemessbare Ergebnisse anzeigen

Mit den beiden links dargestellten Schaltflächen lassen sich alle bemessbaren Resultate bzw. alle Unbemessbarkeiten exklusiv darstellen. Dadurch können beispielsweise Unbemessbarkeiten infolge von Singularitäten unterdrückt oder die Ursachen von Bemessungsproblemen näher untersucht werden.

Ergebnisse sortieren

Die Masken 3.1 und 3.2 zeigen die Ergebnisse standardmäßig nach den maximalen Ausnutzungen geordnet an. Maßgebend ist hierbei die Tabellenspalte J. Um die maximalen Werte der Spalte G zu kontrollieren, lassen sich die Ergebnisse nach den vorhandenen Werten sortieren. Die maximale Ausnutzung der Verformung beispielsweise muss nicht zwangsläufig die Maximalverformung darstellen, da die Grenzwerte flächenweise unterschiedlich definiert werden können. Mit der Schaltfläche [Sortieren] wird zwischen diesen beiden Anordnungsarten gewechselt.

Ausschnitt

Neben den Funktionen in den Ergebnismasken bestehen alle im RFEM-Handbuch beschriebenen Filtermöglichkeiten, um die Bemessungsergebnisse grafisch auszuwerten. Es kann auf bereits existierende Ausschnitte zurückgegriffen werden (vgl. RFEM-Handbuch, Kapitel 10.9 ab Seite 322), die es gestatten, Objekte in geeigneter Weise zu gruppieren. Gegebenenfalls kann ein neuer Ausschnitt für die RF-BETON Flächen-Ergebnisse angelegt werden.

Schnitt

In gleicher Weise lassen sich Schnitte im RFEM-Modell nutzen oder neu definieren, um die Ergebnisse benutzergerecht auszuwerten (vgl. RFEM-Handbuch, Kapitel 10.6 ab Seite 314).

Ergebnisse-Panel

Die Bewehrungsquerschnitte und Ausnutzungen können auch als Filterkriterium im RFEM-Arbeitsfenster benutzt werden. Hierzu muss das Panel angezeigt werden. Sollte es nicht aktiv sein, kann es einblendet werden über das RFEM-Menü

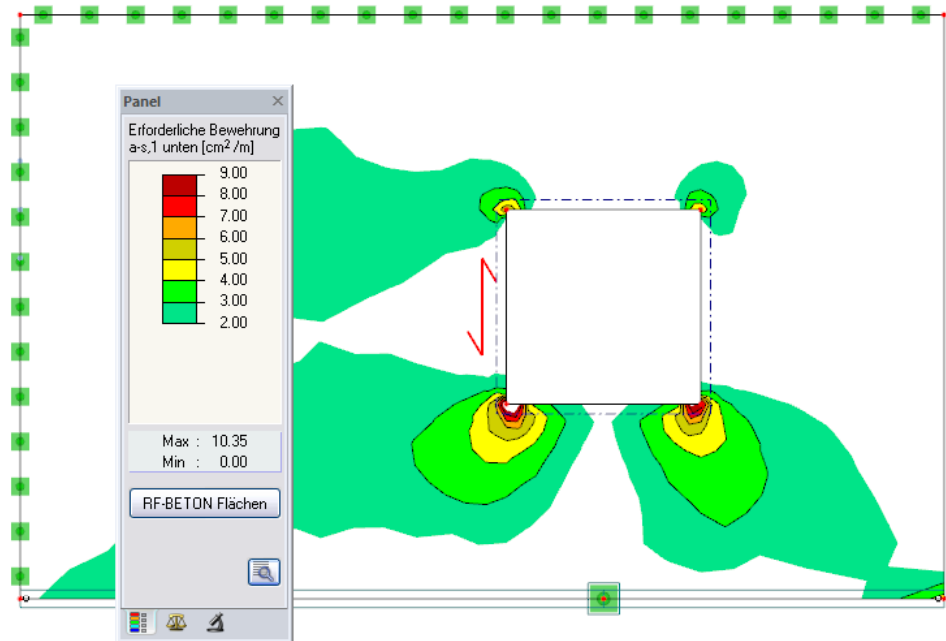
Ansicht → Steuerpanel

oder die entsprechende Schaltfläche in der *Ergebnisse*-Symbolleiste von RFEM.

Das Panel ist im Kapitel 4.4.6 des RFEM-Handbuchs ab Seite 77 beschrieben. Die Filtervorgaben für die Ergebnisse können im ersten Register *Farbskala* vorgenommen werden, die Flächenauswahl erfolgt im letzten Register *Filter*.

Über das Panel kann beispielsweise festgelegt werden, dass Bewehrungsquerschnitte erst ab einem bestimmten Wert angezeigt werden. Im folgenden Bild 6.7 ist dieser untere Grenzwert mit $2,00 \text{ cm}^2/\text{m}$ vorgegeben. Die reduzierte Farbskala ist zudem so bearbeitet, dass mit einem Farbbereich genau $1,00 \text{ cm}^2/\text{m}$ abgedeckt sind. Der obere Grenzwert ist in diesem Beispiel auf $9,00 \text{ cm}^2/\text{m}$ beschränkt, um Singularitätseffekte zu begrenzen.

RF-BETON Flächen FA1 - Stahlbeton-Bemessung
 Erforderliche Bewehrung a-s,1 unten [cm²/m]



Max a-s,1 unten: 10.35, Min a-s,1 unten: 0.00 cm²/m

Bild 6.7: Filtern der erforderlichen Bewehrung mit angepasster Farbskala



FE-Knoten- und Rasterwerte

In den Ergebnismasken 2.2 und 2.3 (Bewehrung) sowie 3.2 und 3.3 (Gebrauchstauglichkeit) steht eine Suchfunktion für FE-Knoten und Rasterpunkten zur Verfügung. Diese ist über die links dargestellte Schaltfläche zugänglich. Es öffnet sich folgender Dialog.



Bild 6.8: Dialog *Rasterpunkt finden*



Zunächst ist die Nummer der Fläche manuell anzugeben oder mit [Pick] grafisch auszuwählen. Anschließend kann die Nummer des gewünschten Rasterpunkts oder FE-Knotens eingetragen oder aus der Liste ausgewählt werden.

Für die Anzeige der Rasterpunkt- oder FE-Knotenwerte in der Grafik bestehen die gleichen Steuerungsfunktionen wie RFEM. Diese Möglichkeiten finden Sie im Kapitel 10.4 des RFEM-Handbuchs ab Seite 309 beschrieben.

7. Ausdruck

7.1 Ausdruckprotokoll

Wie für RFEM wird zunächst ein Ausdruckprotokoll mit den RF-BETON Flächen-Daten generiert, das mit Grafiken und Erläuterungen ergänzt werden kann. Zusätzlich kann in dieser Druckvorschau festgelegt werden, welche Ergebnisse der Bemessung schließlich im Ausdruck erscheinen.



Bei sehr großen Strukturen ist es ratsam, anstelle eines einzigen, umfangreichen Protokolls die Daten auf mehrere kleine Protokolle aufzuteilen. Legt man beispielsweise ein separates Protokoll nur für die RF-BETON Flächen-Daten an, so kann dieses Ausdruckprotokoll relativ schnell aufgebaut werden.

Das Ausdruckprotokoll ist im RFEM-Handbuch ausführlich beschrieben. Insbesondere das Kapitel 11.1.3.4 *Selektion der Zusatzmodul-Daten* auf Seite 339 behandelt die Auswahl der Ein- und Ausgabedaten in den Zusatzmodulen.

Eine besondere Selektionsmöglichkeit besteht für die Auswahl der Zwischenergebnisse der Gebrauchstauglichkeitsnachweise. Die Spalte *Punkte* bietet verschiedene Kriterien an, um die Ergebnisse zu filtern. Neben allen *bemessbaren* und *unbemessbaren* Punkten lassen sich die *maßgebenden* Punkte selektieren. In diesen Punkten liegen die größten Ausnutzungen für die jeweiligen Gebrauchstauglichkeitsnachweise vor.

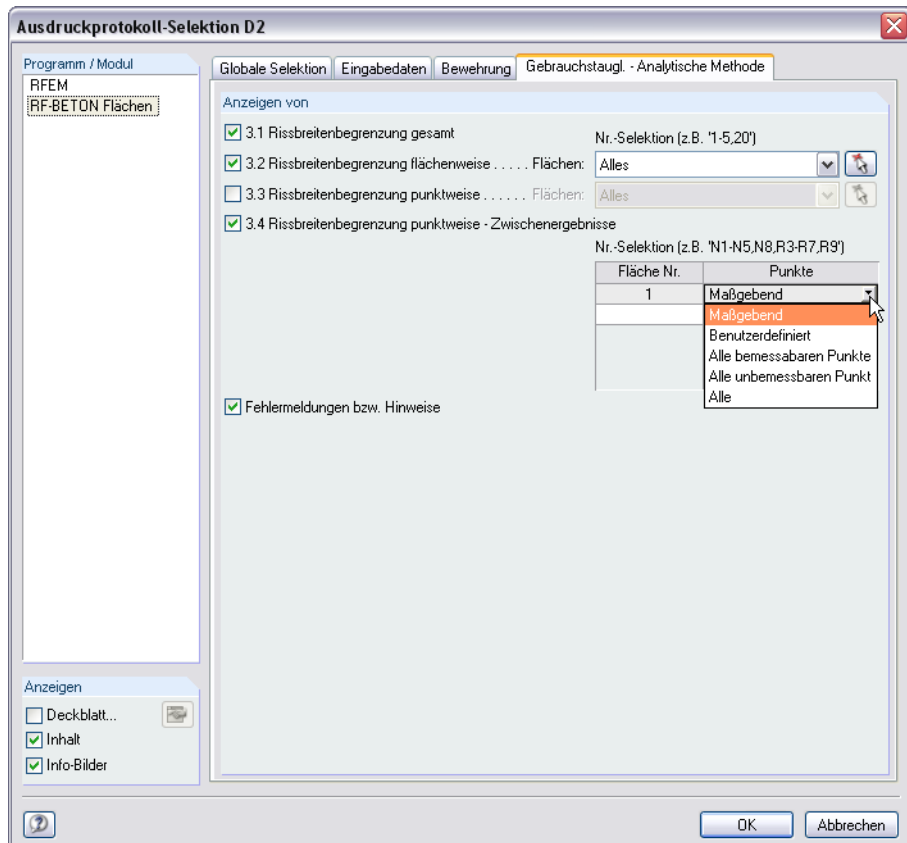
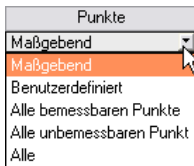


Bild 7.1: Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion*, Register *Gebrauchstauglichkeit*

7.2 RF-BETON Flächen-Grafiken drucken

Die Nachweisgrafiken können entweder in das Ausdruckprotokoll eingebunden oder direkt auf den Drucker geleitet werden. Im Kapitel 11.2 des RFEM-Handbuchs ab Seite 355 wird das Drucken von Grafiken ausführlich erläutert.

Jedes Bild, das im RFEM-Arbeitsfenster angezeigt wird, kann wie in RFEM üblich in das Ausdruckprotokoll übernommen werden. In gleicher Weise lassen sich die Ergebnisverläufe von Schnitten mit der [Drucken]-Schaltfläche in das Druckprotokoll integrieren.



Die aktuelle RF-BETON Flächen-Grafik des RFEM-Fensters kann gedruckt werden über Menü

Datei → Drucken

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

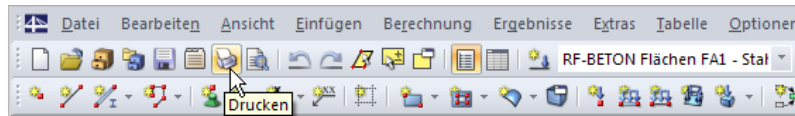


Bild 7.2: Schaltfläche *Drucken* in der Symbolleiste des Hauptfensters

Es wird folgender Dialog angezeigt.

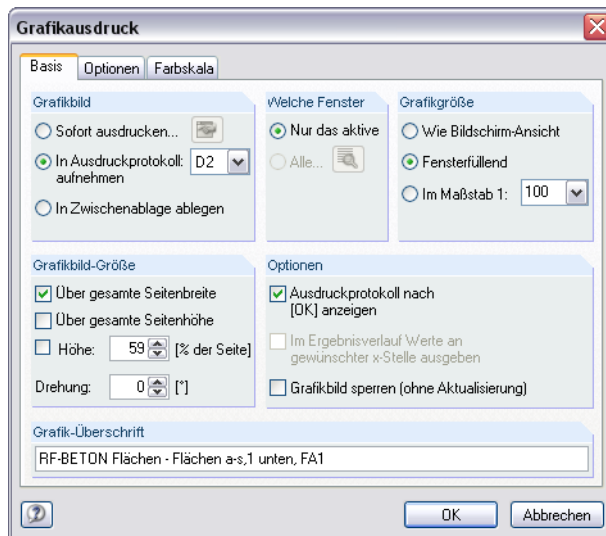
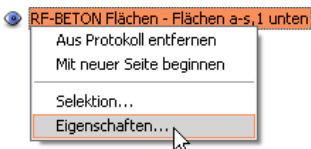


Bild 7.3: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Basis*

Dieser Dialog ist im Kapitel 11.2 des RFEM-Handbuchs ab Seite 356 ausführlich beschrieben. Dort werden auch die übrigen Register *Optionen* und *Farbskala* erläutert.

Jede RF-BETON Flächen-Grafik kann im Ausdruckprotokoll wie gewohnt per Drag & Drop an eine andere Stelle verschoben werden.

Ferner besteht die Möglichkeit, eine eingefügte Grafik nachträglich anzupassen: Klicken Sie den entsprechenden Eintrag im Ausdruckprotokoll-Navigator mit der rechten Maustaste an und wählen im Kontextmenü die Option *Eigenschaften*. Es erscheint wiederum der Dialog *Grafikausdruck*, in dem die Anpassungen vorgenommen werden können.



8. Allgemeine Funktionen

Das letzte Kapitel stellt einige Menüfunktionen sowie Exportmöglichkeiten der Bemessungsergebnisse vor.

8.1 RF-BETON Flächen-Bemessungsfälle

Es besteht die Möglichkeit, Flächen in separaten Bemessungsfällen zu gruppieren. Damit können beispielsweise Flächengruppen zusammengefasst oder spezifische Bemessungsvarianten (Norm, Bewehrung, nichtlineare Analyse etc.) vorgegeben werden.

In den Bewehrungssätzen eines Bemessungsfalls müssen Flächen eindeutig zugewiesen sein (vgl. Kapitel 3.4, Seite 37). Im Gegensatz dazu ist es kein Problem, ein und dieselbe Fläche in unterschiedlichen Bemessungsfällen zu untersuchen.

Die RF-BETON Flächen-Fälle stehen in der RFEM-Arbeitsfläche wie ein Lastfall oder eine Lastfallgruppe in der Liste der Symbolleiste zur Verfügung.

Neuen RF-BETON Flächen-Fall anlegen

Ein neuer Bemessungsfall wird angelegt über RF-BETON Flächen-Menü

Datei → Neuer Fall.

Es erscheint der folgende Dialog.



Bild 8.1: Dialog *Neuer RF-BETON Flächen-Fall*

In diesem Dialog sind eine (noch nicht belegte) *Nummer* sowie eine *Bezeichnung* für den neuen Bemessungsfall anzugeben. Nach [OK] erscheint die RF-BETON Flächen-Maske 1.1 *Basisangaben* zur Eingabe der neuen Bemessungsdaten.

RF-BETON Flächen-Fall umbenennen

Die Bezeichnung eines Bemessungsfalls wird geändert über RF-BETON Flächen-Menü

Datei → Fall umbenennen.

Es erscheint der Dialog *RF-BETON Flächen-Fall umbenennen*.

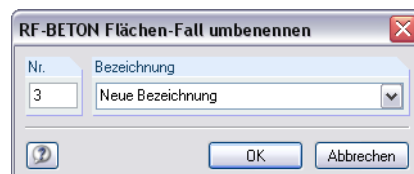
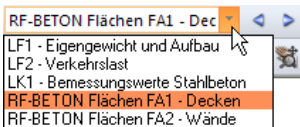


Bild 8.2: Dialog *RF-BETON Flächen-Fall umbenennen*



RF-BETON Flächen-Fall kopieren

Die Eingabedaten des aktuellen Bemessungsfalls werden kopiert über RF-BETON Flächen-Menü

Datei → **Fall kopieren**.

Es erscheint der Dialog *RF-BETON Flächen-Fall kopieren*, in dem die Nummer und Bezeichnung des neuen Falls festzulegen sind.



Bild 8.3: Dialog *RF-BETON Flächen-Fall kopieren*

RF-BETON Flächen-Fall löschen

Es besteht die Möglichkeit, Bemessungsfälle zu löschen über RF-BETON Flächen-Menü

Datei → **Fall löschen**.

Im Dialog *Fall löschen* kann in der Liste *Vorhandene Fälle* ein RF-BETON Flächen-Fall ausgewählt und dann mit [OK] gelöscht werden.



Bild 8.4: Dialog *Fall löschen*

8.2 Einheiten und Dezimalstellen

Die Einheiten und Nachkommastellen werden für RFEM sowie für sämtliche Zusatzmodule zentral verwaltet. In RF-BETON Flächen ist der Dialog zum Einstellen der Einheiten zugänglich über das Menü

Einstellungen → Einheiten und Dezimalstellen.

Es wird der aus RFEM bekannte Dialog aufgerufen, das Modul RF-BETON Flächen ist voreingestellt.

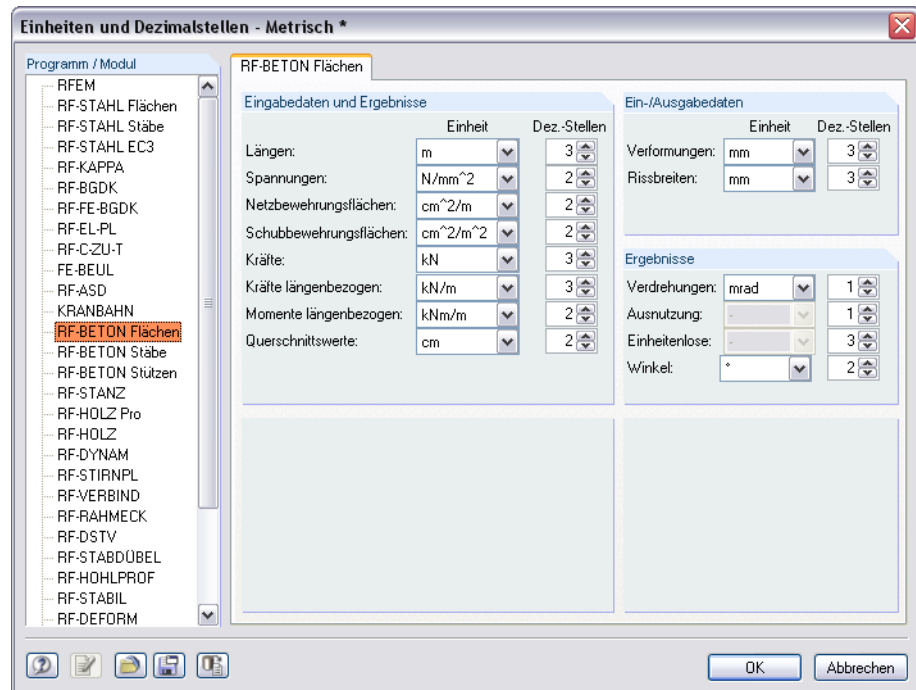


Bild 8.5: Dialog *Einheiten und Dezimalstellen*



Die Einstellungen können als Benutzerprofil gespeichert und in anderen Positionen wieder verwendet werden. Die Beschreibung dieser Funktionen finden Sie im Kapitel 12.6.2 des RFEM-Handbuchs auf Seite 462.

8.3 Export der Ergebnisse

Die Bemessungsergebnisse können auf verschiedene Weise für andere Programme zur Verfügung gestellt werden.

Zwischenablage

Markierte Zellen der RF-BETON Flächen-Ergebnismasken können über [Strg]+[C] in die Zwischenablage kopiert und mit [Strg]+[V] z. B. in ein Textverarbeitungsprogramm eingefügt werden. Die Überschriften der Tabellenspalten bleiben dabei unberücksichtigt.

Ausdruckprotokoll

Die RF-BETON Flächen-Daten lassen sich in das Ausdruckprotokoll drucken (vgl. Kapitel 7.1, Seite 68) und können dort dann exportiert werden über Menü

Datei → Export in RTF-Datei bzw. BauText.

Diese Funktion ist im Kapitel 11.1.11 des RFEM-Handbuchs auf Seite 358 beschrieben.

Excel / OpenOffice

RF-BETON Flächen ermöglicht den direkten Datenexport zu MS Excel und OpenOffice.org Calc. Diese Funktion wird aufgerufen über Menü

Datei → Tabellen exportieren.

Es öffnet sich folgender Exportdialog.

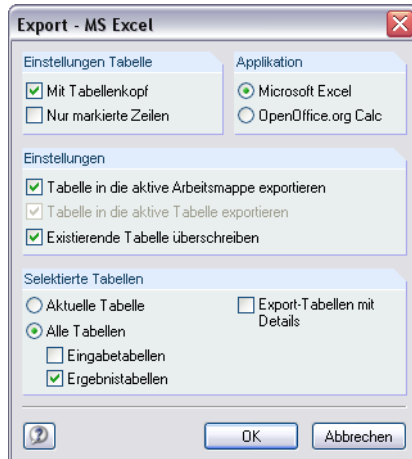
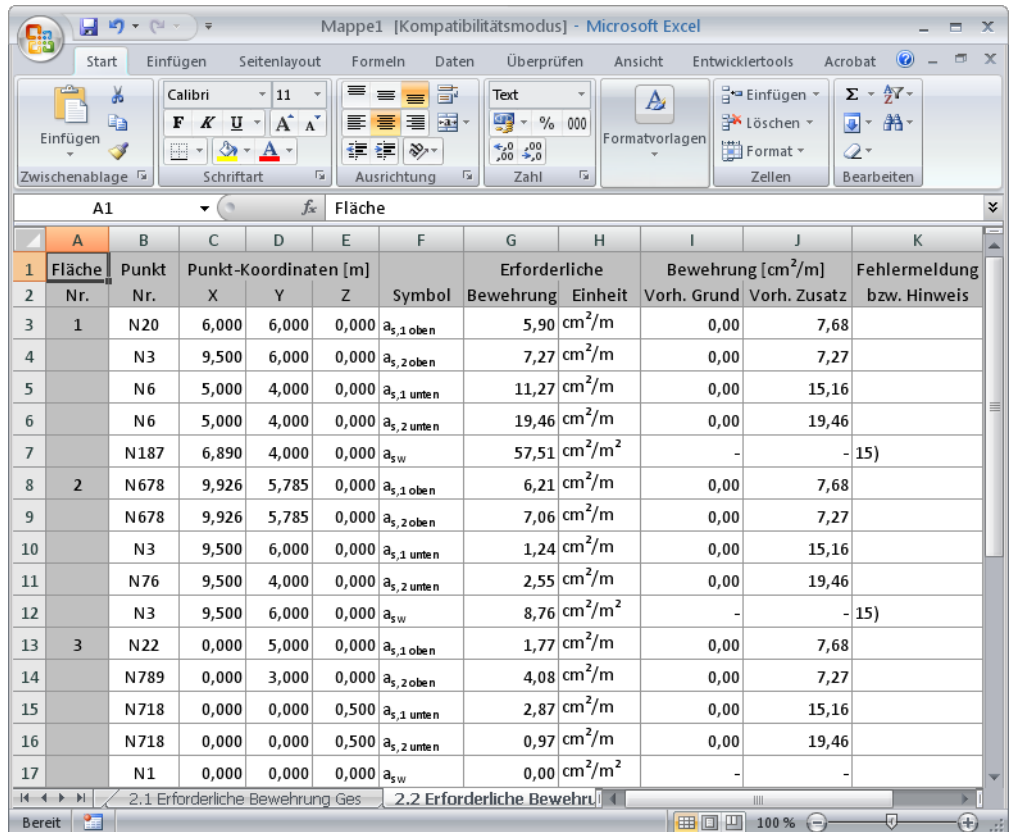


Bild 8.6: Dialog Export - MS Excel

Sind die gewünschten Parameter ausgewählt, kann der Export mit [OK] gestartet werden. Excel und OpenOffice werden automatisch aufgerufen. Die Programme brauchen nicht im Hintergrund geöffnet sein.



1	Fläche	Punkt	Punkt-Koordinaten [m]			Symbol	Erforderliche Bewehrung		Bewehrung [cm ² /m]		Fehlermeldung bzw. Hinweis
2	Nr.	Nr.	X	Y	Z			Einheit	Vorh. Grund	Vorh. Zusatz	
3	1	N20	6,000	6,000	0,000	a _{s,1 oben}	5,90	cm ² /m	0,00	7,68	
4		N3	9,500	6,000	0,000	a _{s,2 oben}	7,27	cm ² /m	0,00	7,27	
5		N6	5,000	4,000	0,000	a _{s,1 unten}	11,27	cm ² /m	0,00	15,16	
6		N6	5,000	4,000	0,000	a _{s,2 unten}	19,46	cm ² /m	0,00	19,46	
7		N187	6,890	4,000	0,000	a _{s,w}	57,51	cm ² /m ²	-	- 15)	
8	2	N678	9,926	5,785	0,000	a _{s,1 oben}	6,21	cm ² /m	0,00	7,68	
9		N678	9,926	5,785	0,000	a _{s,2 oben}	7,06	cm ² /m	0,00	7,27	
10		N3	9,500	6,000	0,000	a _{s,1 unten}	1,24	cm ² /m	0,00	15,16	
11		N76	9,500	4,000	0,000	a _{s,2 unten}	2,55	cm ² /m	0,00	19,46	
12		N3	9,500	6,000	0,000	a _{s,w}	8,76	cm ² /m ²	-	- 15)	
13	3	N22	0,000	5,000	0,000	a _{s,1 oben}	1,77	cm ² /m	0,00	7,68	
14		N789	0,000	3,000	0,000	a _{s,2 oben}	4,08	cm ² /m	0,00	7,27	
15		N718	0,000	0,000	0,500	a _{s,1 unten}	2,87	cm ² /m	0,00	15,16	
16		N718	0,000	0,000	0,500	a _{s,2 unten}	0,97	cm ² /m	0,00	19,46	
17		N1	0,000	0,000	0,000	a _{s,w}	0,00	cm ² /m ²	-	-	

Bild 8.7: Ergebnis in Excel

CAD-Anwendungen

Die in RF-BETON Flächen ermittelten Bewehrungsquerschnitte lassen sich auch in CAD-Anwendungen nutzen. In RFEM sind Schnittstellen zu folgenden Programmen enthalten:

- Nemetschek (FEM-Format für Allplan *.asf)
- Glaser (Format *.fem)
- Strakon (Format *.cfe)

Die Exportfunktion wird aufgerufen über das RFEM-Menü

Datei → Exportieren.

Es öffnet sich der Dialog *Exportieren*, in dem die gewünschte Schnittstelle ausgewählt werden kann. Dieser Dialog ist im Kapitel 13.5 des RFEM-Handbuchs beschrieben.

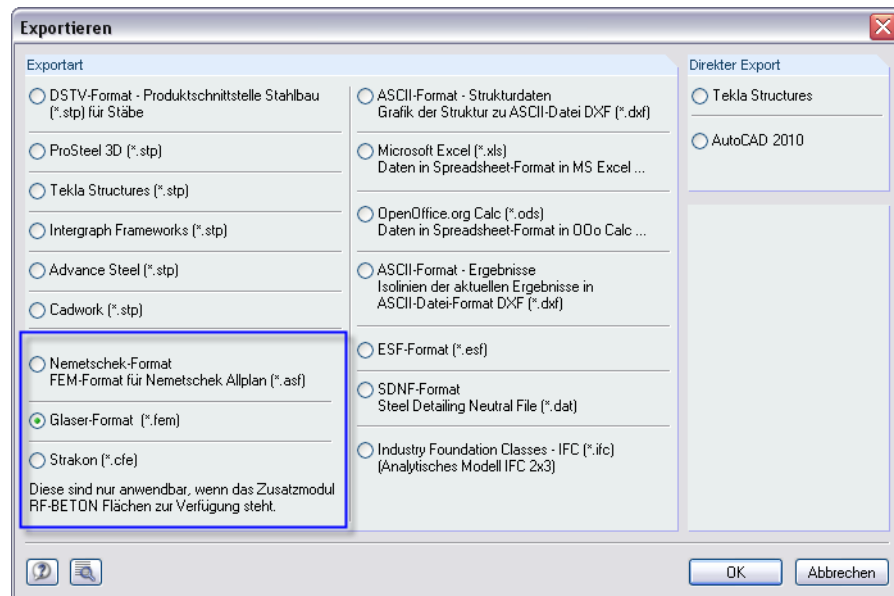


Bild 8.8: RFEM-Dialog *Exportieren*



Für den Export der Bewehrungen stehen je nach Schnittstelle spezifische Möglichkeiten zur Auswahl. Diese werden über die Schaltfläche [Details] im Dialog *Exportieren* aufgerufen. In einem weiteren Dialog lassen sich gezielte Vorgaben für die jeweilige Schnittstelle treffen.



Bild 8.9: Dialog *Detail-Einstellungen für Export*, Ergebnisse für *Glaser*

A Literatur

- [1] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 217: Tragwirkung orthogonaler Bewehrungsnetze beliebiger Richtung in Flächentragwerken aus Stahlbeton (von Th. BAUMANN), Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1972.
- [2] DIN 1045: Beton- und Stahlbetonbau. Juli 1988.
- [3] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Juni 2001.
- [4] DIN V ENV 1992-1-1 (Eurocode 2): Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1: Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau. Juni 1992.
- [5] REYMENDT Jörg: DIN 1045 neu, Anwendung und Beispiele. Papenberg Verlag, Frankfurt 2001.
- [6] Deutscher Beton-Verein e.V.: Beispiele zur Bemessung von Betontragwerken nach EC2. Bauverlag, Wiesbaden/Berlin 1994.
- [7] AVAK, Ralf.: Stahlbetonbau in Beispielen, DIN 1045 und Europäische Normung, Teil 2: Konstruktion-Platten-Treppen-Fundamente. Werner Verlag, Düsseldorf 1992.
- [8] AVAK, Ralf: Stahlbetonbau in Beispielen, DIN 1045 und Europäische Normung, Teil 2: Bemessung von Flächentragwerken, Konstruktionspläne für Stahlbetonbauteile, 2. Auflage. Werner Verlag, Düsseldorf 2002.
- [9] Avak, R.: Stahlbetonbau in Beispielen, DIN 1045, Teil 1, „Grundlagen der Stahlbeton-Bemessung - Bemessung von Stabtragwerken“, Werner Verlag, 5. Auflage 2007
- [10] SCHNEIDER, Klaus-Jürgen: Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen, 15. Auflage. Werner Verlag, Düsseldorf 2002.
- [11] PFEIFFER, Uwe: Die nichtlineare Berechnung ebener Rahmen aus Stahl- oder Spannbeton mit Berücksichtigung der durch das Aufreißen bedingten Achsendehnung. Cuviller Verlag, Göttingen 2004.
- [12] LANG, Christian, MEISWINKEL, Rüdiger, WITTEK, Udo: Bemessung von Stahlbetonplatten mit dem nichtlinearen Verfahren nach DIN 1045-1. Beton- und Stahlbetonbau 95, 2000, Heft 5, S. 270-278.
- [13] SCHLAICH/SCHÄFER: Konstruieren im Stahlbetonbau. Betonkalender 1993 Teil II. Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1993.
- [14] MEISWINKEL, Rüdiger: Nichtlineare Nachweisverfahren von Stahlbeton-Flächentragwerken. Beton- und Stahlbetonbau 96, 2000, Heft 1, S. 27-34.
- [15] RAHM, Heiko: Modellierung und Berechnung von Alterungsprozessen bei Stahlbeton-Flächentragwerken. Universität Kaiserslautern 2002.
- [16] KUPFER, Herbert, HILSDORF, Hubert K., RÜSCH, Hubert: Behavior of concrete under biaxial stresses, ACI Journal, 1969.
- [17] QUAST, Ulrich: Zur Mitwirkung des Betons in der Zugzone. Beton- und Stahlbetonbau, 1981, Heft 10, S. 247-250.
- [18] QUAST, Ulrich: Zum nichtlinearen Berechnen im Stahlbeton- und Spannbetonbau. Beton- und Stahlbetonbau, 1994, Heft 9, S. 250-253, Heft 10, S. 280-284.
- [19] SCHNEIDER, Klaus-Jürgen: Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen, 13. Auflage. Werner Verlag, Düsseldorf 1998.
- [20] SIA 262:003 Bauwesen – Betonbau (Schweizer Norm SN 505 262)
- [21] Einführung in die Norm SIA 262 – Betonbau (SIA Dokumentation D 0182)

B Index

A	
Achsensystem	40
Achismaß	39
Analytische Methode	26, 32, 52
Ausdruckprotokoll	68
Ausnutzung	53, 58
Ausschnitt	66
B	
Bahnen	39
Basisangaben	23
Beenden von RF-BETON Flächen	23
Bemessungsdetails	50, 54, 61, 62
Bemessungsfall	47, 64, 70, 71
Bemessungsmethode	44
Benutzerprofil	72
Berechnung	46
Berechnung starten	46
Betonalter	18, 20
Betondeckung	39, 40
Betondruckstrebe	11, 44
Beton-Festigkeitsklasse	30
Betonstahl	28, 31
Betonstahlspannung	53
Betonzugspannung	29
Bewehrung	37, 48, 49
Bewehrungsanordnung	39
Bewehrungsbahn	39
Bewehrungsgrad	38
Bewehrungsmatten	42
Bewehrungsquerschnitt	41
Bewehrungsrichtung	40
Bewehrungssatz	37
Bibliothek	41
Biegung	8
Blättern in Masken	23
C	
CAD-Export	74
D	
Dehnungsverhältnis	26
Dezimalstellen	30, 72
Dicke	32
Druckbewehrung	9, 38
Drucken	69
Druckkraft	9
Druckstrebenneigung θ	45
Druckzone	45
Druckzonenhöhe	45
Durchbiegung	15
E	
Einheiten	30, 72
Einordnungskriterium	27
Erforderliche Bewehrung	43
Ergebnisauswertung	61
Ergebnismasken	48
<i>Ergebnisse</i> -Navigator	64
Ergebnisverläufe	69
Ergebniswerte	64
Ergebniswerte grafisch	64
Eurocode	24
Excel	73
Export Ergebnisse	72
F	
Farb-Relationsbalken	53, 58
Farbskala	66
Fehlermeldung	49
FE-Punkt	48, 49, 51, 52, 56, 57, 60, 67
Filter	50, 51, 54, 65
Fläche	32, 37, 40, 50, 55, 59
Flächenverläufe	64
G	
Gebrauchstauglichkeit 12, 25, 32, 43, 49, 52, 53, 57, 58	
Glaser	74
Grafik	64
Grafikausdruck	69
Grenzlinie	35
Grenzzustand Gebrauchstauglichkeit 12, 25, 32, 52, 53, 57, 58	
Grenzzustand Tragfähigkeit	8, 9, 24, 48, 49
Grundbewehrung	41, 49
H	
Hintergrundgrafik	63
Hinweis	49, 53, 58
Höchstbewehrung	38

I		Q	
Installation	6	Querkraftbewehrung	45
Iterationen	28	Querkraftnachweis	44
K		Querkrafttragfähigkeit	9
Kommentar	25, 33	R	
Kontrolle	46	Randabstand	39
Koordinaten	49, 52, 57	Rasterpunkt	48, 49, 51, 52, 56, 57, 60, 67
Kriechen	16, 21, 28	Referenzebene	36
Kriechzahl	16, 17	Relative Luftfeuchte	17
Kriechzahl φ	34	Relaxation	21
Krümmung	15	RF-BETON Flächen beenden	48
L		RF-BETON Flächen-Fall	70
Längsbewehrung	41, 44, 49	RF-BETON NL	28, 34
Längskraft	8	RFEM-Arbeitsfenster	63
Lastfall	25, 52, 57, 62	Riss	27
Lastfallkombination	25, 26, 28, 52, 61, 62	Rissbreite	13, 28, 33, 36
Layer	29	S	
M		Schaltflächen	50
Masken	23	Schichten	29
Maßgebende Punkte	66, 68	Schnitt	66
Materialbezeichnung	30	Schnittgrößen	46
Materialbibliothek	31	Schubbewehrung	49
Materialkennwerte	30	Schwinden	16, 21, 28
Methode	26	Schwindmaß	16, 20, 34
Mindestbewehrung	12, 38, 53	Selektion Ausdruck	68
N		Sichtmodus	50, 54, 63
Nachweisart	62	Singularität	66
Nachweismethode	26	Skalierung	64
Navigator	23	Sortieren	54, 66
Nemetschek	74	Spannungen	27, 28
Nichtlineare Methode	28, 34, 57	Spannungs-Dehnungslinie	29
Norm	4, 24, 25, 45	Stababstand	14
O		Stabdurchmesser	39, 41, 43
Obere Bewehrung	40, 49	Starten von RF-BETON Flächen	6
OpenOffice	73	Steuerpanel	66
Optimierung	44	Strakon	74
P		Suchfunktion	67
Panel	7, 64, 66	Symbol	49, 51
Parallelfäche	36	T	
Platte	27	Teilsicherheitsbeiwert Beton	45
Plausibilitätskontrolle	46	Teilsicherheitsbeiwert Betonstahl	45
Programmaufruf	6	Tension Stiffening	29
Punkt-Koordinaten	49, 52, 57	Tragfähigkeit	8, 24, 48, 49
		Typ	53, 58, 62

U

Unbemessbarkeit 50, 54
Untere Bewehrung 40, 49
Unverformtes System 36

V

Verformung 15, 28, 35, 58
Verformungsnachweis 36
Verschobene Referenzebene 36
Visualisierung 64

W

Wand 27, 41, 45

Winkel φ 40

Z

Zementart 18

Zugfestigkeit Beton 33

Zugkraft 8

Zusatzbewehrung 43, 49

Zustand II 15, 58

Zwischenergebnisse 48, 52, 56, 57