

Fassung
November 2011

Programm

RF-BETON

Stäbe

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	5	4.2	Start der Berechnung	50
1.1	Zusatzmodul RF-BETON Stäbe	5	5	Ergebnisse	52
1.2	RF-BETON Stäbe Team	6	5.1	Erforderliche Bewehrung	52
1.3	Gebrauch des Handbuchs	6	5.1.1	Erforderliche Bewehrung querschnittsweise	52
1.4	Aufruf von RF-BETON Stäbe	7	5.1.2	Erforderliche Bewehrung stabsatzweise	55
2	Theoretische Grundlagen	9	5.1.3	Erforderliche Bewehrung stabweise	55
2.1	Tragfähigkeitsnachweis	9	5.1.4	Erforderliche Bewehrung x-stellenweise	56
2.1.1	Biegung und Normalkraft	9	5.1.5	Erforderliche Bewehrung unbemessbar	57
2.1.2	Querkraft	10	5.2	Vorhandene Bewehrung	58
2.2	Gebrauchstauglichkeitsnachweis	13	5.2.1	Vorhandene Längsbewehrung	58
2.2.1	Vorhandene Bewehrung	13	5.2.2	Vorhandene Bügelbewehrung	63
2.2.2	Mindestbewehrung	13	5.2.3	Vorhandene Bewehrung x-stellenweise	66
2.2.3	Begrenzung der Rissbreiten	14	5.2.4	Stahlliste	67
2.2.4	Begrenzung der Betonstahlspannungen	15	5.3	Gebrauchstauglichkeitsnachweis	69
2.2.5	Nachweis des Stababstands	15	5.3.1	Gebrauchstauglichkeitsnachweis querschnittsweise	69
2.2.6	Begrenzung der Verformungen	15	5.3.2	Gebrauchstauglichkeitsnachweis stabsatzweise	71
2.2.7	Kriechen und Schwinden	17	5.3.3	Gebrauchstauglichkeitsnachweis stabweise	72
2.2.7.1	Ermittlung der Eingangsgrößen	17	5.3.4	Gebrauchstauglichkeitsnachweis x- stellenweise	72
2.2.7.2	Rechnerische Berücksichtigung von Kriechen/Schwinden	22	6	Ergebnisauswertung	73
3	Eingabedaten	24	6.1	Bewehrungsvorschlag	73
3.1	Basisangaben	24	6.2	3D-Rendering der Bewehrung	74
3.1.1	Tragfähigkeit	26	6.3	Ergebnisse am RFEM-Modell	76
3.1.2	Gebrauchstauglichkeit	27	6.4	Ergebnisverläufe	79
3.2	Materialien	28	6.5	Filter für Ergebnisse	80
3.3	Querschnitte	30	7	Ausdruck	81
3.4	Rippen	33	7.1	Ausdruckprotokoll	81
3.5	Lager	35	7.2	Grafikausdruck	82
3.6	Bewehrung	37	8	Allgemeine Funktionen	83
3.6.1	Längsbewehrung	38	8.1	RF-BETON Stäbe-Bemessungsfälle	83
3.6.2	Bügel	40	8.2	Querschnittsoptimierung	85
3.6.3	Bewehrungsanordnung	41	8.3	Einheiten und Dezimalstellen	86
3.6.4	Mindestbewehrung	43	8.4	Export der Ergebnisse	87
3.6.5	Norm	46	9	Beispiel	89
3.6.6	Vouten	48	9.1	Eingabedaten	89
4	Berechnung	50			
4.1	Plausibilitätskontrolle	50			

Inhalt

Inhalt		Seite	Inhalt		Seite
9.2	Vorwerte der Verformungsberechnung	90	9.6	Ergebnis in RF-BETON Stäbe	93
9.3	Krümmung im Zustand I	90	A	Literatur	95
9.4	Krümmung im Zustand II	91	B	Index	97
9.5	Ermittlung der Durchbiegung	92			

1 Einleitung

1.1 Zusatzmodul RF-BETON Stäbe

Das Stahlbeton-Bemessungsmodul RF-BETON Stäbe ist vollständig in die RFEM-Oberfläche integriert. Damit ist die lückenlose Bewältigung von Bemessungsaufgaben für Stahlbetonbauteile mit Stabwerkelementen gewährleistet.

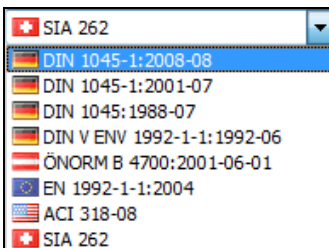
Das Zusatzmodul übernimmt alle relevanten RFEM-Strukturparameter wie Material, Querschnitte, Stäbe, Stabsätze, Rippen, Lager sowie die Schnittgrößen der definierten Einwirkungen und Kombinationen. Im Programm sind jedoch auch Bemessungsalternativen mit geänderten Querschnitten – einschliesslich einer Querschnittsoptimierung – möglich.

RF-BETON Stäbe untersucht die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit. Die Riss- und Durchbiegungsnachweise werden durch eine direkte Berechnung der Rissbreiten und Verformungen geführt. Optional wird im Programm untersucht, ob der Brandschutznachweis nach EN 1992-1-2:2004 erfüllt ist.

Der Einfluss von Kriechen und Schwinden wird bei der Analyse des Verformungszustandes optional berücksichtigt.

Die Stahlbetonbemessung erfolgt nach folgenden nationalen und europäischen Normen:

- DIN 1045:1988-07
- DIN 1045-1:2001-07
- DIN 1045-1:2008-08
- DIN V ENV 1992-1-1:1992-06
- ÖNORM B 4700:2001-06-01
- EN 1992-1-1:2004
- ACI 318-08
- SIA 262



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

Die ermittelte erforderliche Bewehrung beinhaltet einen Bewehrungsvorschlag, der alle Anwendungsvorgaben zu Längs- und Bügelstäben berücksichtigt. Diese Bewehrungsausführung kann jederzeit angepasst werden; die mit den Änderungen verbundenen Nachweise werden automatisch aktualisiert.

Es besteht die Möglichkeit, die eingelegte Bewehrung fotorealistisch zu visualisieren. Diese wirklichkeitsgetreue Darstellung des Bewehrungskorbes kann – wie alle übrigen Ein- und Ausgabedaten des Moduls – im zentralen Ausdruckprotokoll von RFEM dokumentiert werden.

Wir wünschen Ihnen viel Freude und Erfolg mit dem Modul RF-BETON Stäbe. An dieser Stelle bedanken wir uns auch für die bisherige konstruktive Zusammenarbeit. Ihre Hinweise und Verbesserungsvorschläge werden in die Weiterentwicklung des Programms einfließen.

Ihr Team von ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH

1.2 RF-BETON Stäbe Team

An der Entwicklung von RF-BETON Stäbe waren beteiligt:

Programmkoordinierung

Dipl.-Ing. Georg Dlubal
 Dipl.-Ing. (FH) Alexander Meierhofer

Dipl.-Ing. (FH) Younes El Frem

Programmierung

Ing. Michal Balvon
 Jaroslav Bartoš
 Ing. Ladislav Ivančo
 Ing. Alexandr Průcha

Ing. Roman Svoboda
 Dis. Jiří Šmerák
 RNDr. Stanislav Škovran

Programmkontrolle

Dipl.-Ing. (FH) Alexander Meierhofer
 Ing. Jan Fráňa
 Ing. Pavel Gruber

Ing. Bohdan Šmid
 Jana Vlachová

Handbuch, Hilfesystem und Übersetzungen

Dipl.-Ing. (FH) Alexander Meierhofer
 Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl
 Mgr. Petra Pokorná

Dipl.-Ing. Frank Faulstich
 Dipl.-Ü. Gundel Pietzcker

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 Gebrauch des Handbuchs

Da die Themenbereiche Installation, Benutzeroberfläche, Ergebnisauswertung und Ausdruck im RFEM-Handbuch ausführlich erläutert sind, wird hier auf eine Beschreibung verzichtet. Der Schwerpunkt dieses Handbuchs liegt auf den Besonderheiten, die sich im Rahmen der Arbeit mit dem Zusatzmodul RF-BETON Stäbe ergeben.

Grafik

Dieses Handbuch orientiert sich an der Reihenfolge und am Aufbau der Eingabe- und Ergebnismasken. Im Text werden die beschriebenen **Schaltflächen** (Buttons) in eckige Klammern gesetzt, z. B. [Grafik]. Gleichzeitig sind sie am linken Rand abgebildet. Zudem sind die **Begriffe** der Dialoge, Tabellen und Menüs in *Kursivschrift* hervorgehoben, um das Nachvollziehen der Erläuterungen zu erleichtern.

Das Handbuch ist nach schweizerischer Rechtschreibregel geschrieben. Am Ende befindet sich ein Stichwortverzeichnis. Sollten Sie trotzdem nicht fündig werden, können Sie auf unserer Website www.dlubal.de die Suchfunktion nutzen, um in der Liste aller *Fragen und Antworten* nach bestimmten Kriterien zu filtern.

1.4 Aufruf von RF-BETON Stäbe

Es bestehen in RFEM folgende Möglichkeiten, das Zusatzmodul RF-BETON Stäbe zu starten.

Menü

Der Programmaufruf kann erfolgen über das RFEM-Menü

Zusatzmodule → Stahlbetonbau → RF-BETON Stäbe.

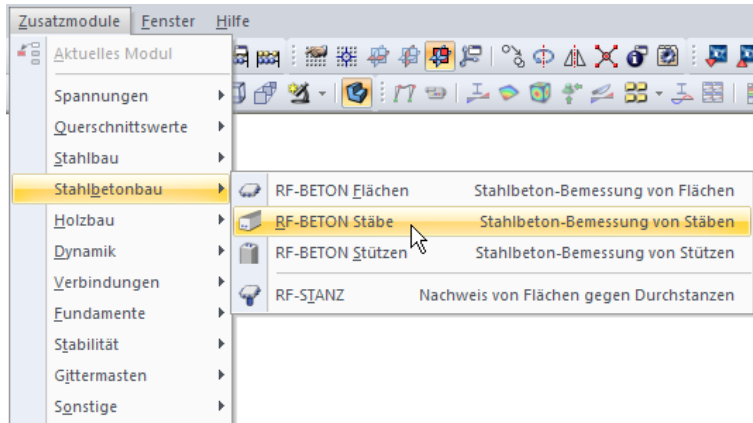


Bild 1.1: Menü Zusatzmodule → Stahlbetonbau → RF-BETON Stäbe

Navigator

RF-BETON Stäbe kann im Daten-Navigator aufgerufen werden über den Eintrag

Zusatzmodule → RF-BETON Stäbe.

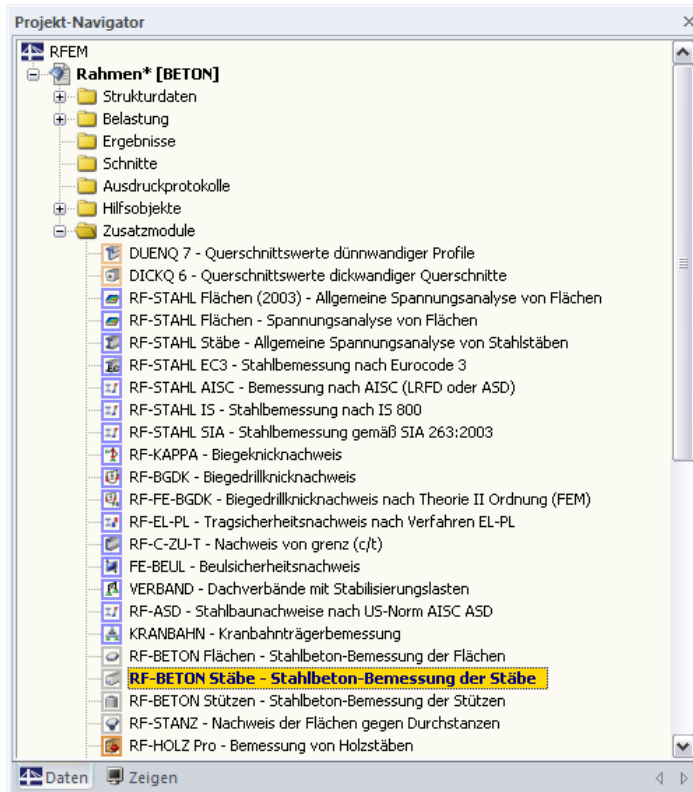
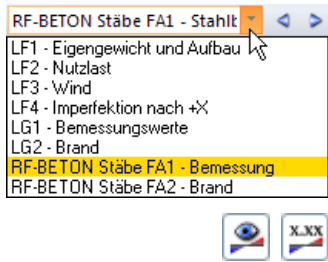


Bild 1.2: Daten-Navigator Zusatzmodule → RF-BETON Stäbe



RF-BETON Stäbe

Panel

Falls in der RFEM-Position bereits Ergebnisse für RF-BETON Stäbe vorliegen, kann der relevante Bemessungsfall in der Liste der Lastfälle eingestellt werden (siehe links). Falls erforderlich, ist über die Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus] die grafische Anzeige der Ergebnisse zu aktivieren.

Im Panel steht nun die Schaltfläche [RF-BETON Stäbe] zur Verfügung, die den Zugang in das Bemessungsmodul ermöglicht.



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

2 Theoretische Grundlagen

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.

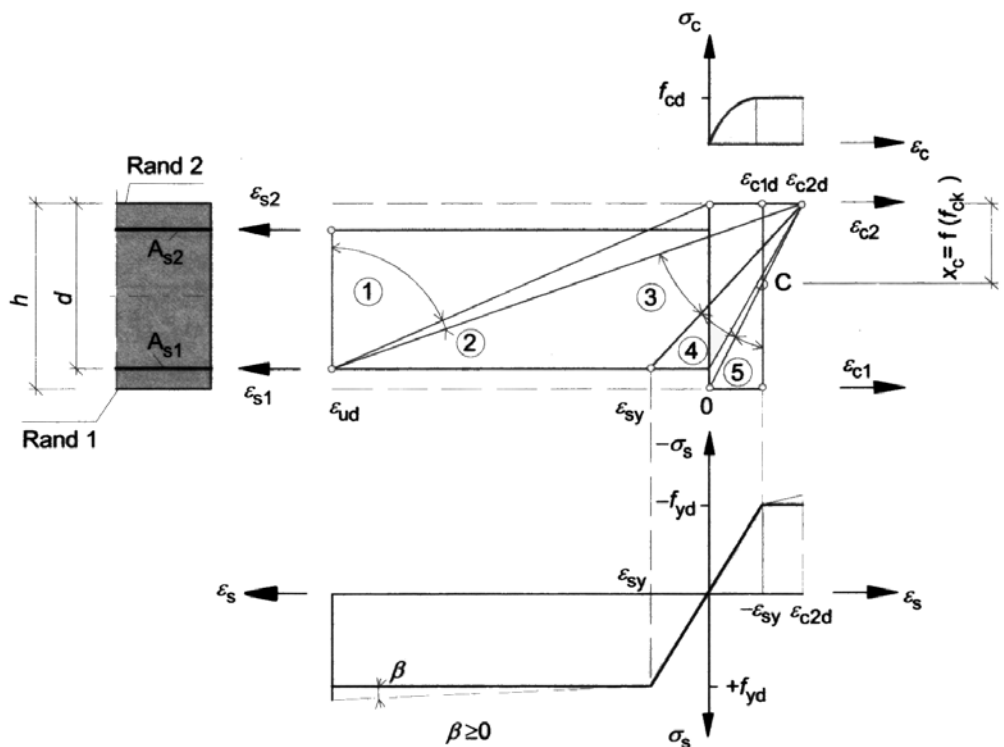


Bild 2.1: Rechnerisch mögliche Dehnungsverteilungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die im Bild gezeigten Bereiche der Dehnungsverteilungen bedeuten nach [18]:

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/mm^2

d Statische Nutzhöhe der Biegebewehrung in m

b_w 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 [17] 4.5 Einfluss der Normalkraft wird m_{Dd} wie folgt berechnet:

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

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

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. plastische Biegeelenke im Bemessungszustand) nicht ausgeschlossen werden können SIA 262 4.3.3.2.2 **oder**

wenn eine *begrenzte Momentenumlagerung* nach SIA262 4.1.4.2.5 durchgeführt wird

Für Betonstahl mit $f_{sd} > 435 \text{ N/mm}^2$ ist k_v mit dem Beiwert $f_{sd} / 435$ nach SIA 262 4.3.3.2.4 zu vergrössern.

Für Betone mit dem Grösstkorn $D_{\max} < 32\text{mm}$ 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-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

Querkrafttragfähigkeit der Betondruckstrebe

Für Bauteile mit Querkraftbewehrung rechtwinklig zur Bauteilachse ($\beta = 90^\circ$) gilt:

$$V_{Rd,c} = b_w \cdot z \cdot k_c \cdot f_{cd} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \quad \text{SIA 262 4.3.3.4.5 (39)}$$

bei geneigter Querkraftbewehrung

$$V_{Rd,c} = b_w \cdot z \cdot k_c \cdot f_{cd} \cdot (\cos \alpha + \cot \beta \cdot \sin \alpha) \sin \alpha \quad \text{SIA 262 4.3.3.4.5 (40)}$$

mit

- b_w Querschnittsbreite
- z Hebelarm der inneren Kräfte angenommen zu 0,9-d
- k_c Reduktionsbeiwert für Betondruckfestigkeit
- f_{cd} Bemessungswert der Betonfestigkeit
- α Neigung der Betondruckstrebe

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 Stäbe 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.

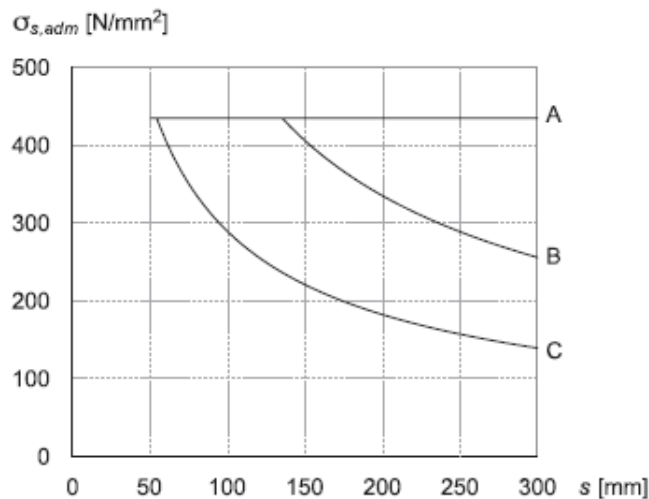
Nach SIA 262 4.4.2.2.3 werden normale, erhöhte und hohe Anforderungen unterschieden:

Normale Anforderungen nach SIA 262 4.4.2.2.4 genügen, wenn Risse toleriert und keine besondere 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 [17] 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 [17] 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 [17] 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 [17] SIA 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)
Funktionsüchichtigkeit – 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 es, 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 [18] 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.



Das Kapitel 9 auf Seite 89 stellt ein Beispiel vor, in dem die Handrechnung einer Verformungsberechnung gemäss EN 1992-1-1 mit der RF-BETON Stäbe-Analyse verglichen wird.

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 $\varepsilon_{cs}(t, t_s)$ zum betrachteten Zeitpunkt t .

Im Folgenden wird die Ermittlung der Kriechzahl $\omega(t, t_0)$ und des Schwindmasses $\varepsilon_{cs}(t, t_s)$ 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

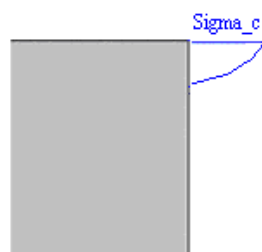


Bild 2.2: Kriecherzeugende Spannung

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 [%]
- t₀ 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(Δt_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 t₀ 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

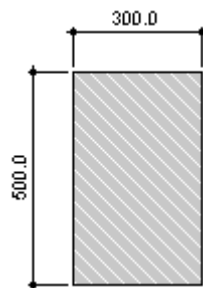


Bild 2.3: Querschnitt

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 $\varepsilon_{cs}(t, t_s)$

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

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

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

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

$$\varepsilon_{cs}(t, t_s) = \varepsilon_s(f_{cm}) \cdot \beta_{RH} \cdot \beta_S(t, t_s) = 0,000445 \cdot 1,365 \cdot 0,464 = 0,282 \text{ ‰}$$

mit

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

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

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

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 Stäbe 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

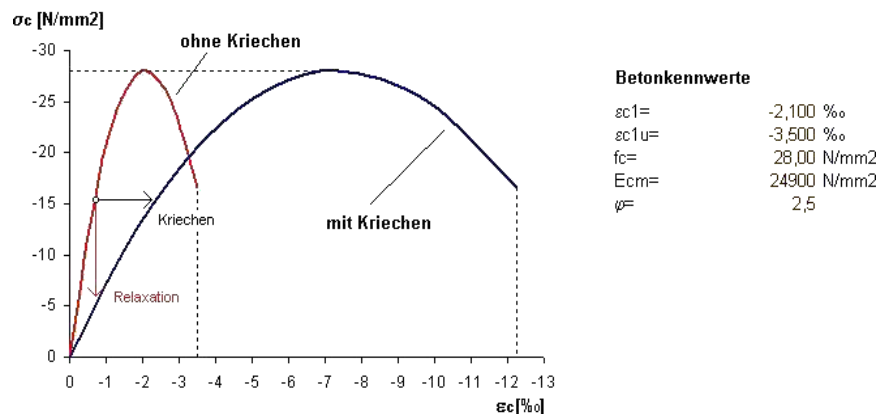


Bild 2.4: Verzerrung der Spannungs-Dehnungs-Linie zur Erfassung des Kriecheinflusses

Wie im Bild 2.4 gezeigt handelt es sich bei der Berücksichtigung des Kriechens um die Annahme konstanter kriecherzeugender 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 Stäbe 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 Objekte 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 83).

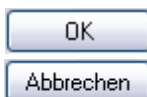
Wird RF-BETON Stäbe zum ersten Mal in einer RFEM-Position aufgerufen, so liest das Zusatzmodul folgende bemessungsrelevante Daten automatisch ein:

- Stäbe und Stabsätze
- Lastfälle, Lastfallgruppen und Lastfallkombinationen
- Materialien
- Querschnitte
- Schnittgrößen (im Hintergrund, sofern berechnet)



Die Ansteuerung der Masken erfolgt entweder durch Anklicken eines bestimmten Eintrags im RF-BETON Stäbe-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 Stäbe verlassen, während [Abbruch] ein Beenden des Zusatzmoduls ohne Sicherung zur Folge hat.



3.1 Basisangaben

In Maske 1.1 *Basisangaben* werden die zu bemessenden Einwirkungen ausgewählt. Die für den Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis relevanten Lastfälle, LF-Gruppen und -Kombinationen lassen sich in den jeweiligen Registern zuweisen.

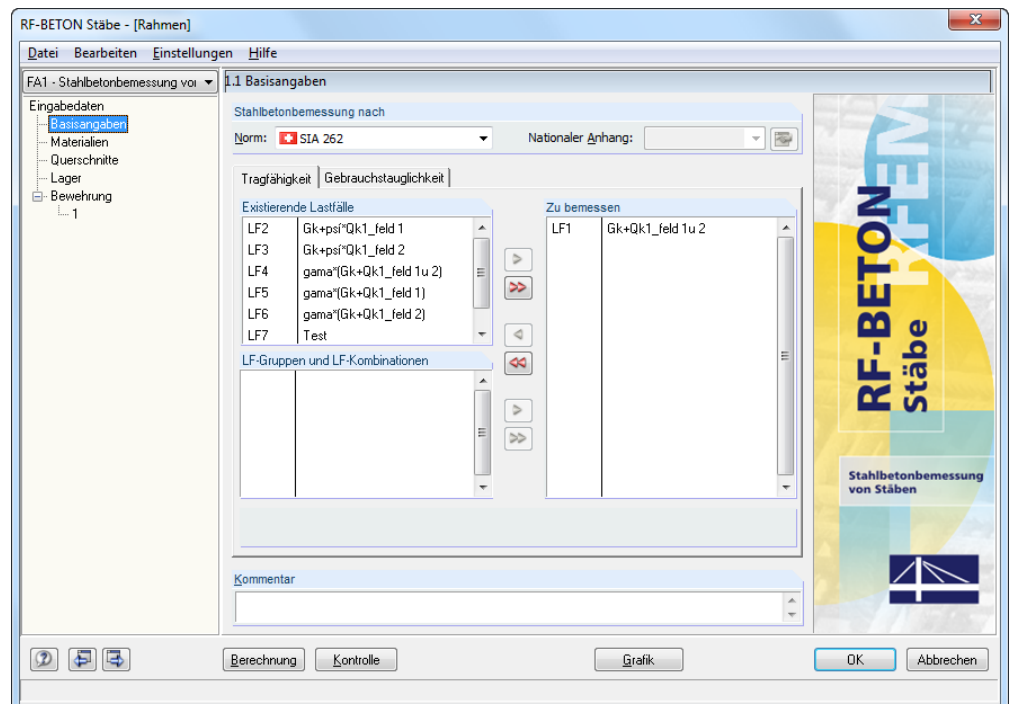


Bild 3.1: Maske 1.1 *Basisangaben*, Register *Tragfähigkeit*

Stahlbetonbemessung nach Norm / Nationaler Anhang

Die Bemessungsnorm wird in dieser Maske einheitlich für alle Nachweisarten festgelegt. Es stehen folgende Stahlbetonnormen zur Auswahl.

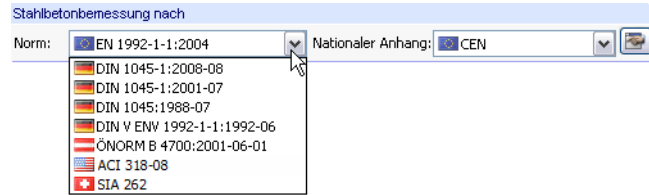


Bild 3.2: Auswahl der Bemessungsnorm

Für EN 1992-1-1:2004 kann in der Liste rechts der *Nationale Anhang* ausgewählt werden.

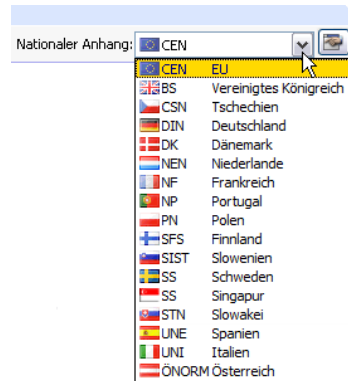


Bild 3.3: Auswahl des Nationalen Anhangs



Mit der Schaltfläche [Bearbeiten] lassen sich die Beiwerte des gewählten Nationalen Anhangs überprüfen und ggf. anpassen.

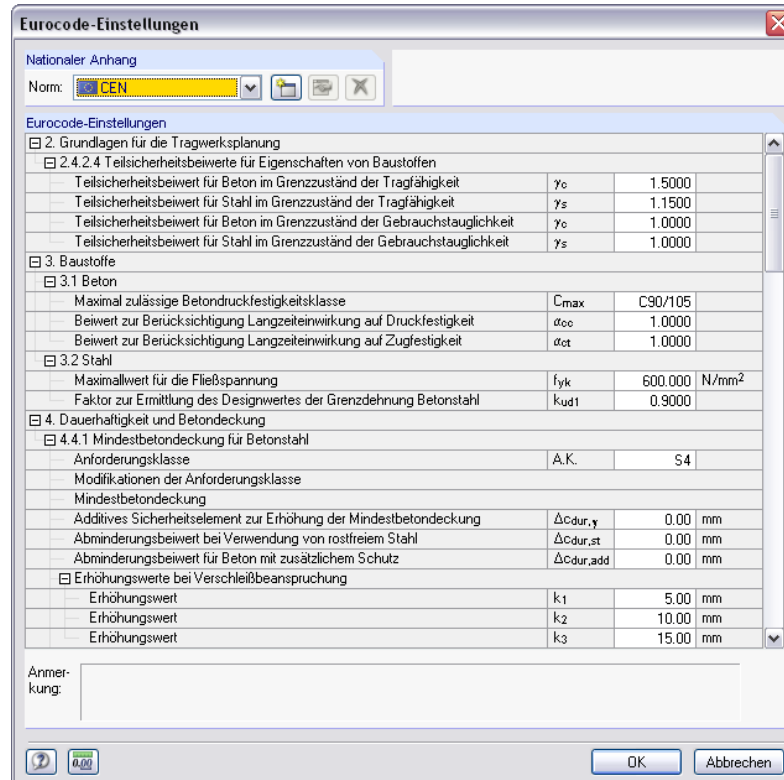


Bild 3.4: Dialog Eurocode-Einstellungen



Im Dialog *Eurocode-Einstellungen* kann über die Schaltfläche [Neu] eine Kopie des aktuellen Anhangs erzeugt werden. Nach dem Ändern der Parameter lässt sich die Kopie unter einem anderen Namen speichern. Die benutzerdefinierten Parameter stehen anschließend in der Liste *Nationaler Anhang* positionsübergreifend zur Verfügung.

Symbol	Land
Norm: CEN (kopiert)	Kaledonien

Bild 3.5: Anlegen eines benutzerdefinierten Nationalen Anhangs

3.1.1 Tragfähigkeit

Das erste Register der Maske 1.1 *Basisangaben* ist im Bild 3.1 auf Seite 24 dargestellt.

Existierende Lastfälle / LF-Gruppen und LF-Kombinationen



In diesen beiden Abschnitten werden alle in RFEM definierten Einwirkungen und Kombinationen aufgelistet, die für die Bemessung infrage kommen. Die Schaltfläche [►] überträgt selektierte Lastfälle, Lastfallgruppen oder Lastfallkombinationen in die Liste *Zu bemessen* nach rechts. Die Auswahl kann auch per Doppelklick erfolgen. Die Schaltfläche [►►] übergibt die komplette Liste nach rechts.

Ist ein Lastfall mit einem Sternchen (*) gekennzeichnet, so kann dieser nicht bemessen werden: Es sind entweder keine Lasten definiert oder es liegt ein Imperfektionslastfall vor.

Zu bemessen



In der rechten Spalte werden die für den Nachweis ausgewählten Einwirkungen aufgelistet. Mit der Schaltfläche [◄] lassen sich selektierte Lastfälle, Lastfallgruppen oder -kombinationen wieder aus der Liste entfernen. Auch hier kann die Auswahl per Doppelklick erfolgen. Die Schaltfläche [◄◄] leert die ganze Liste.

Die Bemessung einer einhüllenden *Oder*-Lastfallkombination verläuft schneller als die Bemessung aller pauschal übernommenen Lastfälle oder Lastfallgruppen. Andererseits ist bei einer LK-Bemessung der Einfluss der enthaltenen Einwirkungen wenig transparent.

Kommentar

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

3.1.2 Gebrauchstauglichkeit

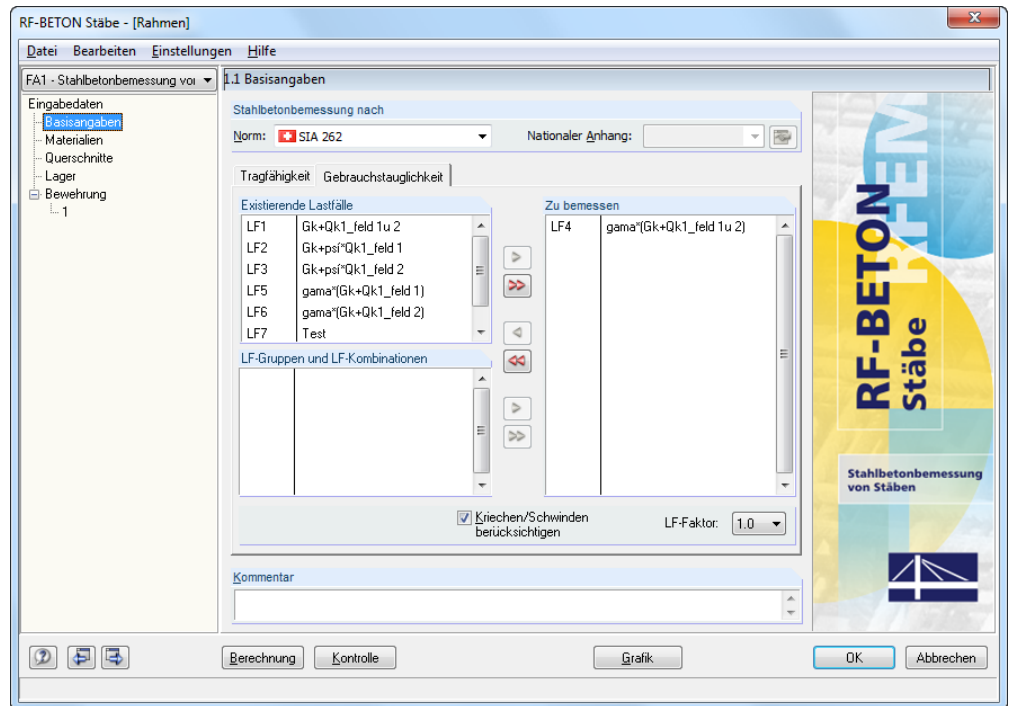


Bild 3.6: Maske 1.1 Basisangaben, Register Gebrauchstauglichkeit

Existierende Lastfälle / LF-Gruppen und LF-Kombinationen



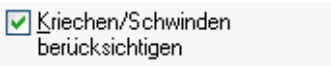
In diesen beiden Abschnitten werden alle in RFEM definierten Einwirkungen und Kombinationen aufgelistet. Die Schaltfläche [▶] überträgt selektierte Lastfälle, Lastfallgruppen oder Lastfallkombinationen in die Liste *Zu bemessen* nach rechts. Die Auswahl kann auch per Doppelklick erfolgen. Mit der Schaltfläche [▶▶] wird die ganze Liste nach rechts übergeben.

Zu bemessen



In der rechten Spalte werden die für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis ausgewählten Einwirkungen aufgelistet. Mit der Schaltfläche [◀] lassen sich selektierte Lastfälle, Lastfallgruppen oder -kombinationen wieder aus der Liste entfernen. Auch hier kann die Auswahl per Doppelklick erfolgen. Die Schaltfläche [◀◀] leert die ganze Liste.

Kriechen/Schwinden berücksichtigen



Für den Nachweis im Zustand der Gebrauchstauglichkeit kann optional der Einfluss infolge von Kriechen und Schwinden berücksichtigt werden. Nähere Informationen hierzu finden sich im Kapitel 2.2.7 auf Seite 17. Ist dieses Kontrollfeld aktiviert, so können in Maske 1.3 *Querschnitte* die Kriechzahl $\varphi(t, t_0)$ und das Schwindmass $\varepsilon_{cs}(t, t_s)$ angegeben werden (siehe Bild 3.11, Seite 32).

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.

Bei der Bemessung nicht benutzte Materialien erscheinen in grauer, unzulässige Materialien in roter Schrift. Modifizierte Materialien werden in blauer Schrift dargestellt.

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 Festigkeiten lassen sich über das Menü **Einstellungen** → **Einheiten und Dezimalstellen** anpassen (siehe Bild 8.6, Seite 86).

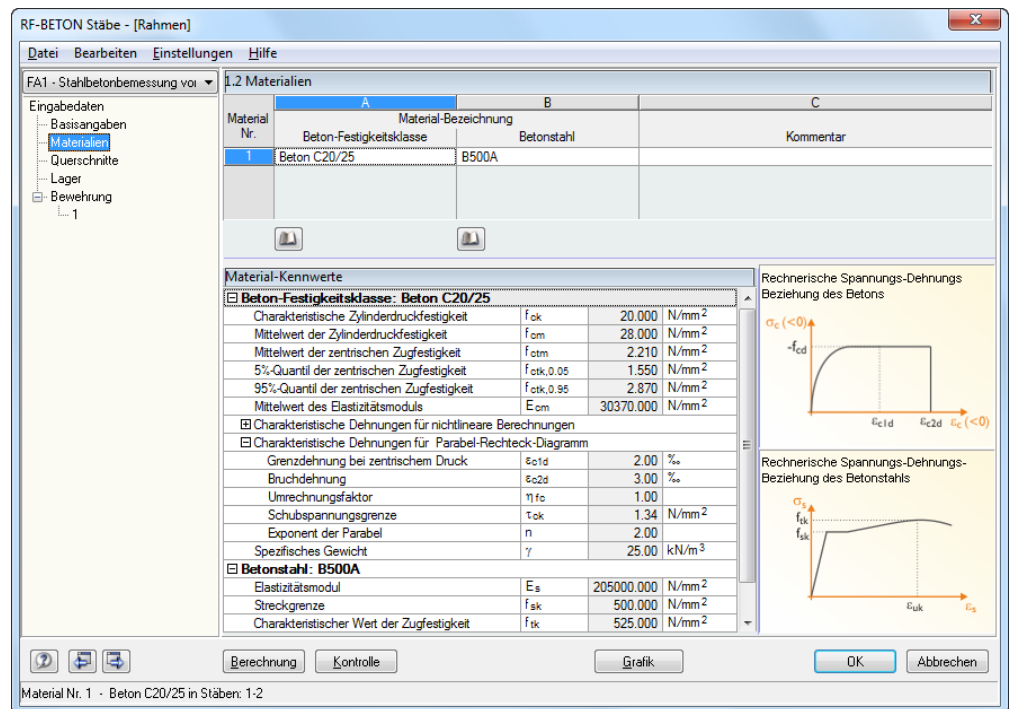


Bild 3.7: Maske 1.2 *Materialien*

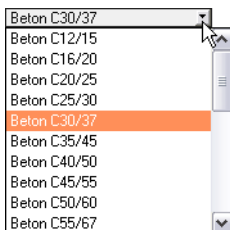
Materialbezeichnung

Beton-Festigkeitsklasse

Die in RFEM definierten Beton-Materialien sind voreingestellt; andersartige Materialien werden in roter Schrift dargestellt. Wenn eine manuell eingetragene Materialbezeichnung mit einem Eintrag der Materialbibliothek übereinstimmt, liest RF-BETON Stäbe die Materialkennwerte ein.

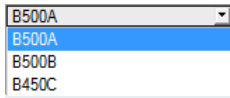
Die Auswahl eines Materials ist über die Liste möglich: Platzen Sie den Cursor in Spalte A und klicken dann die Schaltfläche [▼] an oder betätigen die Funktionstaste [F7]. Es öffnet sich die links dargestellte Liste. Nach der Übernahme werden die Kennwerte aktualisiert.

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.

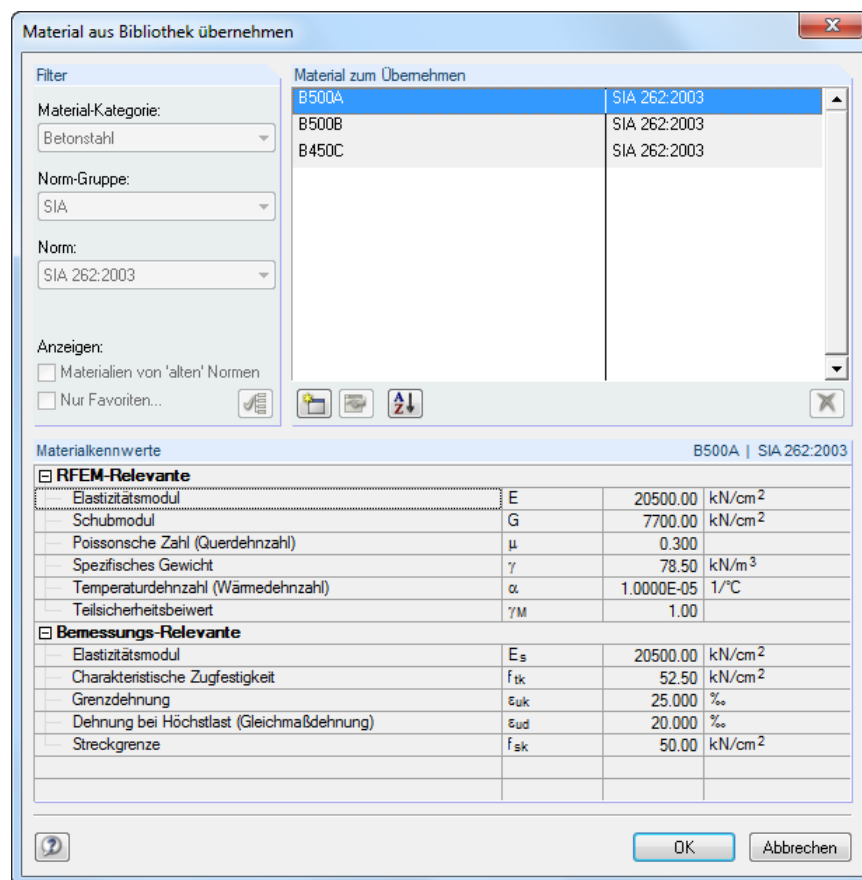


Bild 3.8: Dialog Material aus Bibliothek übernehmen

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 Stäbe-Maske 1.2 übernommen.



Im Kapitel 5.3 des RFEM-Handbuchs 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 Querschnitte

In dieser Maske werden die nachweisrelevanten Querschnitte verwaltet.

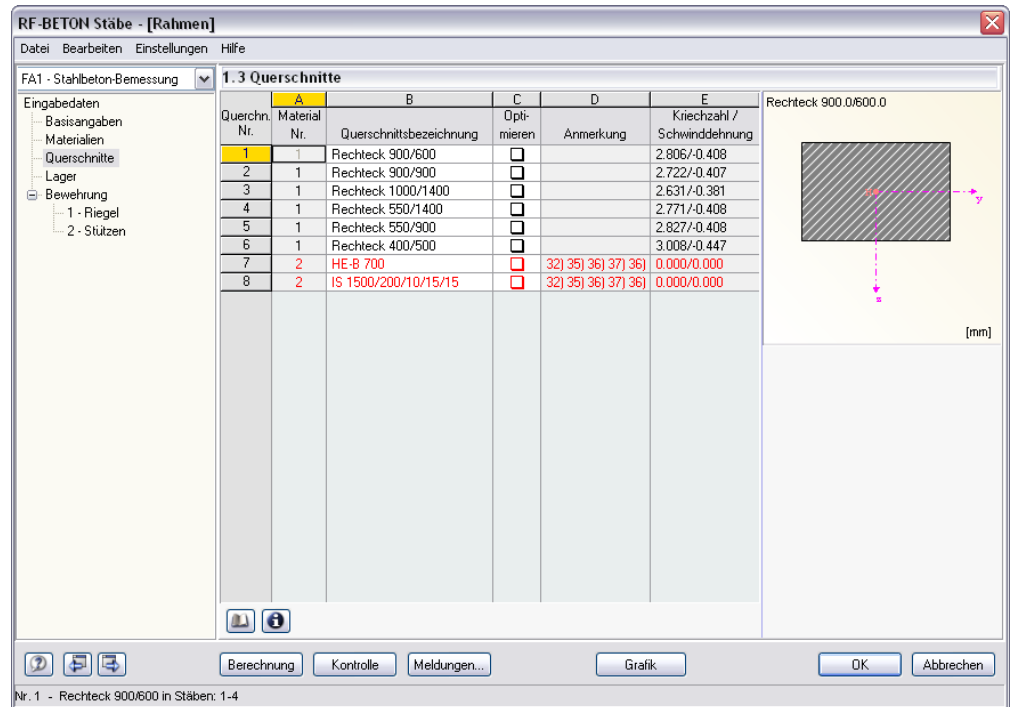


Bild 3.9: Maske 1.3 Querschnitte

Querschnittsbezeichnung

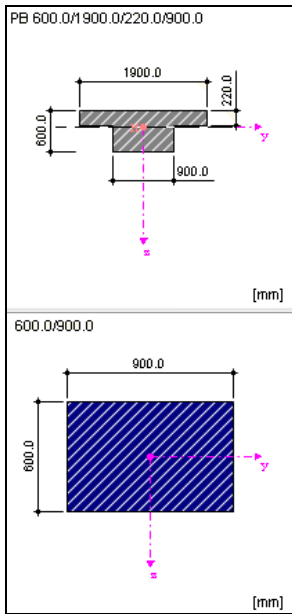
Die in RFEM verwendeten Querschnitte sind beim Aufruf der Maske voreingestellt, ebenso die zugeordneten Materialnummern.

Die vorgegebenen Querschnitte können jederzeit für die Bemessung abgeändert werden. Die Querschnittsbezeichnung eines modifizierten Profils wird in dieser Spalte mit blauer Schrift hervorgehoben.

Zum Ändern eines Profils wird die neue Querschnittsbezeichnung in die entsprechende Zeile eingetragen oder das neue Profil aus der Bibliothek ausgewählt. Diese können Sie wie gewohnt mit der Schaltfläche [Querschnittsbibliothek] aufrufen. Alternativ platzieren Sie den Cursor in der gewünschten Zeile und drücken dann [...] oder die Funktionstaste [F7]. Es erscheint die aus RFEM bekannte Querschnittsbibliothek bzw. Profilvereihe. Für die Bemessung mit RF-BETON Stäbe sind nur ausgewählte Einträge des Abschnitts Massive Querschnitte zugänglich:

- Rechteck
- Plattenbalken (symmetrisch, unsymmetrisch oder konisch)
- Überzug (symmetrisch oder unsymmetrisch)
- I-Querschnitt (symmetrisch, unsymmetrisch oder konisch)
- Kreis
- Ring
- Rechteckhohlkasten (Z-symmetrisch)
- Konus (symmetrisch)
- U-Profil (symmetrisch)

Die Auswahl von Querschnitten aus der Bibliothek ist im Kapitel 5.13 des RFEM-Handbuchs ausführlich beschrieben.



Kriechzahl / Schwinddehnung
2.806/-0.408 ...
2.722/-0.407

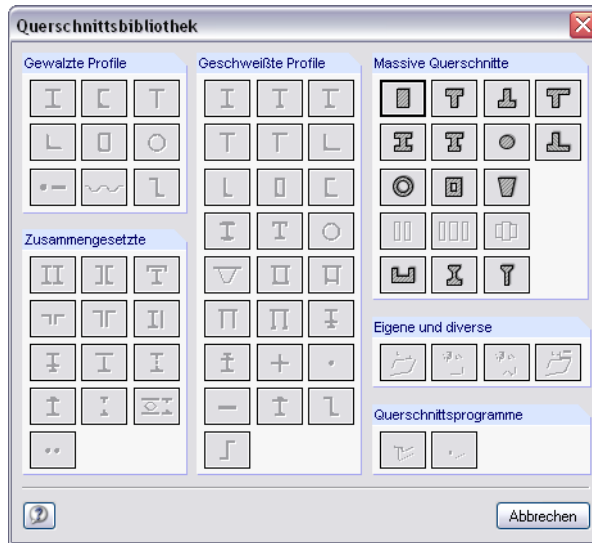


Bild 3.10: Querschnittsbibliothek

Liegen unterschiedliche Querschnitte in RF-BETON Stäbe und in RFEM vor, zeigt die Grafik rechts in der Maske beide Profile an.

Optimieren

Jeder Querschnitt kann einer Optimierungsanalyse unterzogen werden. Dabei wird mit den RFEM-Schnittgrößen derjenige Querschnitt innerhalb der gleichen Profilvereihe ermittelt, der die Bewehrungsvorgaben des Dialogs *Optimierungsparameter* mit den geringstmöglichen Abmessungen erfüllt (siehe Bild 8.5, Seite 85).

Um einen bestimmten Querschnitt zu optimieren, ist dessen Kontrollfeld in Spalte C zu aktivieren. Empfehlungen zur Profilloptimierung finden Sie im Kapitel 8.2 auf Seite 85.

Anmerkung

In dieser Spalte werden Hinweise in Form von Fussnoten angezeigt, die am unteren Ende der Querschnittsliste näher erläutert sind.

Kriechzahl / Schwinddehnung

In Spalte E werden die nach dem voreingestellten Verfahren ermittelten Werte der Kriechzahl und der Schwinddehnung angezeigt. Über die links dargestellte Kontextschaltfläche lassen sich diese Werte anpassen. Die Vorgaben werden in einem neuen Dialog getroffen, der im Bild 3.11 dargestellt ist.

Einstellungen für Kriechen und Schwinden

Art der Ermittlung

<input type="checkbox"/> Ermittlung der Kriechzahl			Alter
<input type="checkbox"/> Ermittlung des Schwindmaßes			Alter

Eingabedaten

<input type="checkbox"/> Betrachtetes Betonalter (Kriechen)	t-k	27393	Tage
<input type="checkbox"/> Betrachtetes Betonalter (Schwinden)	t-s	27393	Tage
<input type="checkbox"/> Wirksame Bauteildicke			
<input type="checkbox"/> Querschnittsfläche	Ac	0.540	m ²
<input type="checkbox"/> Luft ausgesetzter Umfang	u	3.000	m
<input type="checkbox"/> Wirksame Bauteildicke	h0	0.360	m
<input type="checkbox"/> Zementart	ZArt	N	
<input type="checkbox"/> Relative Luftfeuchte	RH	50	%
<input type="checkbox"/> Betonalter Schwindbeginn	ts	28	Tage
<input type="checkbox"/> Betonalter Kriechbeginn		Ermitteln	
<input type="checkbox"/> Temperatur berücksichtigen		Nein	
<input type="checkbox"/> Wirksames Alter (Temperatur)	tT	7.000	Tage
<input type="checkbox"/> Zementart berücksichtigen		Ja	
<input type="checkbox"/> Betonalter Kriechbeginn	t0	7.000	Tage

Ergebnis

Einstellungen zuordnen

Querschnitt: Rechteck 900/600

Allen Querschnitten

Querschnitten Nr.: 1-6

OK Abbrechen

Bild 3.11: Dialog *Einstellungen für Kriechen und Schwinden*

Alter
Definieren
Alter

Der oberste Eintrag *Art der Ermittlung* umfasst jeweils zwei Möglichkeiten, Kriechzahl und Schwindmaß festzulegen:

- **Alter** Kriechzahl und Schwindmass werden über Parameter berechnet
- **Definieren** Kriechzahl und Schwindmass sind direkt anzugeben

Die Ermittlung von Kriechzahl und Schwindmass ist im Kapitel 2.2.7 ab Seite 17 beschrieben.

Am Ende der Tabelle wird als *Ergebnis* die ermittelte Kriechzahl $\phi(t, t_0)$ und das ermittelte Schwindmass $\varepsilon_{cs}(t, t_s)$ angegeben.

Im Abschnitt *Einstellungen zuordnen* kann festgelegt werden, ob die getroffenen Angaben für einen einzelnen Querschnitt, für alle Querschnitte oder für ausgewählte Querschnitte anzuwenden sind.

3.4 Rippen

Die in RFEM definierten Rippen sind voreingestellt. Rippen repräsentieren einen besonderen Stabtyp, der sich aus einem Balken und einem mitwirkenden Plattenquerschnitt zusammensetzt (vgl. Kapitel 5.18 des RFEM-Handbuchs). Es werden die Rippenschnittgrößen aus RFEM übernommen und für die Bemessung verwendet.

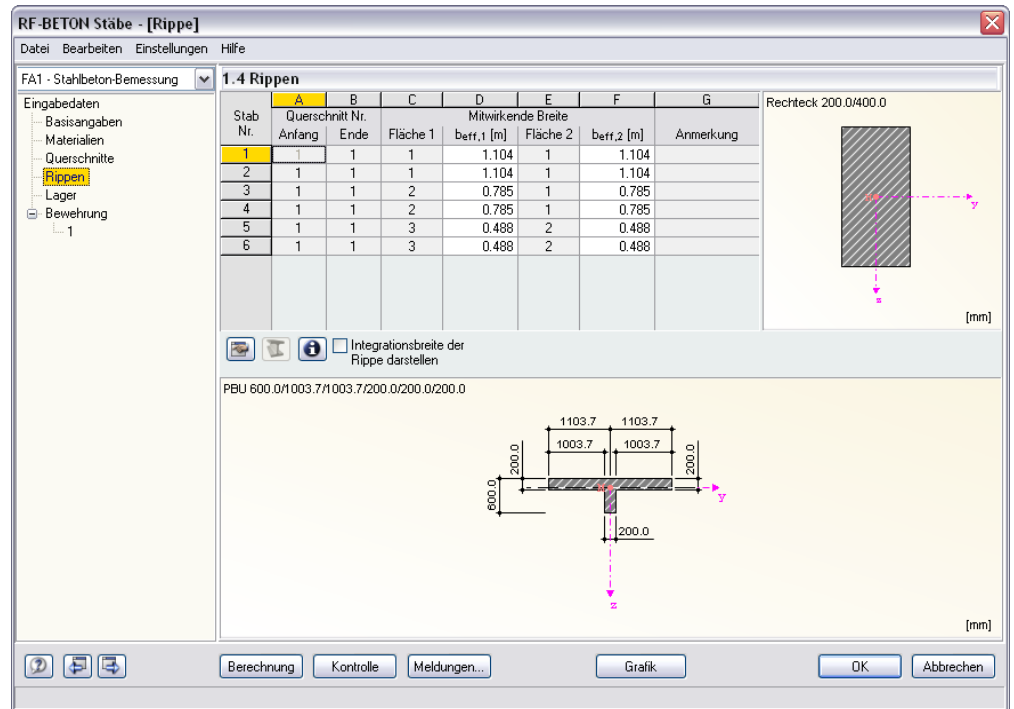


Bild 3.12: Maske 1.4 Rippen



In dieser Maske können die mitwirkenden Breiten entweder direkt in den Spalten D und F oder indirekt über die Schaltfläche [Rippe bearbeiten] geändert werden. Eine Neuberechnung in RFEM ist nicht erforderlich, da dabei die Systemsteifigkeit nicht verändert wird. Die Berechnung der Querschnittseigenschaften und die Integration der Rippenschnittgrößen erfolgt automatisch bei jeder Änderung der mitwirkenden Breiten.

Stab Nr.

In dieser Spalte werden die Nummern der Stäbe angegeben, die in RFEM als Stabtyp *Rippe* definiert wurden.

Querschnitt Nr. Anfang / Ende

Die Spalten A und B geben Auskunft über die Querschnittsnummern (siehe Kapitel 3.3). Bei unterschiedlichen Nummern liegt ein Voutenstab vor.

Mitwirkende Breite b_{eff}

In den Spalten D und F werden die mitwirkenden Breiten für die linke bzw. rechte Stabseite angegeben. Diese Werte sind mit den Vorgaben identisch, die im RFEM-Dialog *Neue Rippe* getroffen wurden (vgl. RFEM-Handbuch, Bild 5.113 auf Seite 163). Aus den Integrationsbreiten für die Anteile der Flächenschnittgrößen werden die Rippenschnittgrößen ermittelt.

Die mitwirkende Breite steuert die Querschnittsbemessung in Form eines Ersatzquerschnitts. Die Werte für b_{eff} können daher angepasst werden (die Vergrößerung der Integrationsbreite ist jedoch nicht zulässig). Zur Kontrolle lässt sich durch Anhängen des entsprechenden Kontrollfeldes die *Mitwirkende Breite der Rippe darstellen*: Die Tabelle wird um zwei Spalten erweitert und es wird die Schaltfläche [Rippe bearbeiten] zugänglich (siehe Bild 3.13).



1.4 Rippen

Stab Nr.	Querschnitt Nr.		Mitwirkende Breite						Anmerkung
	Anfang	Ende	Fläche 1	b _{eff,1} [m]	b ₁ [m]	Fläche 2	b _{eff,2} [m]	b ₂ [m]	
1	1	1	1	0.750	1.104	1	1.104	1.104	
2	1	1	1	1.104	1.104	1	1.104	1.104	
3	1	1	2	0.785	0.785	1	0.785	0.785	
4	1	1	2	0.785	0.785	1	0.785	0.785	
5	1	1	3	0.488	0.488	2	0.488	0.488	
6	1	1	3	0.488	0.488	2	0.488	0.488	

Rechteck 200.0/400.0

Integrationsbreite der Rippe darstellen

PBU 600.0/650.0/1003.7/200.0/200.0/200.0

Bild 3.13: Maske 1.4 Rippen

Änderungen werden in der Querschnittsgrafik unterhalb der Tabelle dynamisch umgesetzt. Die Grafik zeigt den Ersatzquerschnitt an, der zur Bemessung verwendet wird.

Reduzierte mitwirkende Breiten wirken sich in Form von verminderten Stabschnittgrößen aus, die in die Bemessung mit RF-BETON Stäbe einfließen.

Anmerkung

Falls die Rippe Probleme für die Bemessung bereitet, erscheint ein entsprechender Hinweis.

Die Schaltflächen in der Symbolleiste sind mit folgenden Funktionen belegt:

Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Querschnitt bearbeiten	Öffnet den Dialog <i>Massive Querschnitte - Plattenbalken unsymmetrisch</i> mit den Parametern des Ersatzquerschnitts
	Rippe bearbeiten	Öffnet den Dialog <i>Neue Rippe</i> mit den Rippenparametern (vgl. RFEM-Handbuch, Bild 5.113 auf Seite 163)
	Info über Querschnitt	Zeigt die Querschnittskennwerte des Ersatzquerschnitts an (Typ: Plattenbalken unsymmetrisch)

Tabelle 3.1: Schaltflächen in Maske 1.4 Rippen

Für die korrekte Bemessung von Rippen ist zu beachten:

- Die lokale z-Achse der Rippe muss parallel zur lokalen z-Achse der Fläche sein.
- Die lokale z-Achse der Rippe muss orthogonal zur xy-Flächenebene sein.
- Die angeschlossene Fläche muss vom Typ Eben sein.
- Der Querschnittstyp des Rippenstabes muss ein Rechteck sein.
- Bei Stabzügen muss ein einheitlicher Rippentyp für den ganzen Stabsatz vorliegen.
- Der Rippenstab muss am Anfang und Ende den gleichen Querschnitt aufweisen, d. h. es darf keine Voute vorliegen.

3.5 Lager

Diese Maske regelt die Lagerungsbedingungen der zu bemessenden Stäbe. Die in RFEM definierten Knotenlager an horizontalen Stäben sind voreingestellt und können ggf. angepasst werden. RF-BETON Stäbe erkennt auch, ob ein Zwischen- oder ein Endauflager vorliegt.

Lagerbreiten ungleich Null wirken sich auf die Bemessung (Momentenumlagerung) und den Bewehrungsvorschlag (Verankerungslänge) aus.

Dies gilt jedoch nur für Stäbe in horizontaler oder leicht geneigter Lage, nicht für Stützen!

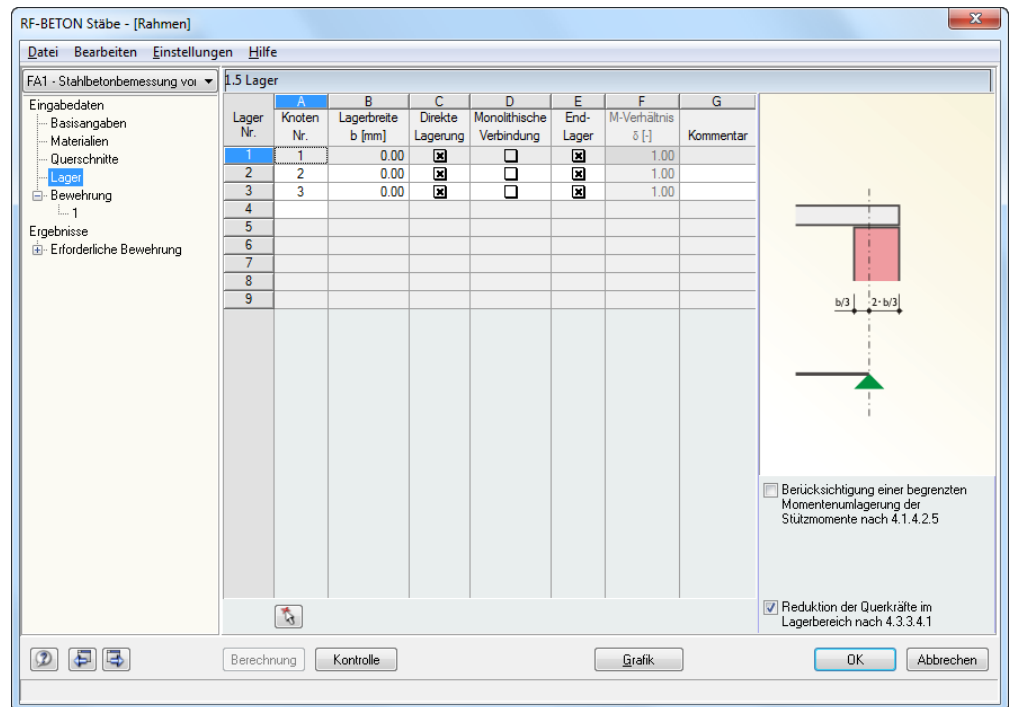


Bild 3.14: Maske 1.5 Lager

Knoten Nr.

In dieser Spalte werden die gelagerten Knoten derjenigen Stäbe aufgelistet, die eine horizontale oder bis zu 15° geneigte Stablage aufweisen. Über die Schaltfläche [...] in dieser Spalte lassen sich zusätzliche Knoten im RFEM-Arbeitsfenster grafisch auswählen.

Lagerbreite b

Hier wird die tatsächliche Breite des jeweiligen Knotenlagers festgelegt. Damit kann z. B. die flächige Lagerung durch eine Wand erfasst werden, die im RFEM-Modell nur als singuläre Stützung abgebildet ist.

Direkte Lagerung

Diese Spalte steuert die Lagerungsart des Trägers. Wird die Last eines Nebenträgers in einen Hauptträger eingeleitet, so liegt eine indirekte Lagerung vor und das Kontrollfeld ist zu deaktivieren.

Die Vorgaben in dieser Spalte wirken sich auf die Verankerungslängen und auf die Querkraftbemessung aus.

Monolithische Verbindung

Es ist anzugeben, ob eine biegesteife Verbindung mit der Unterstützung oder eine frei drehbare Lagerung einschliesslich Ausrundungsmöglichkeit der Stützmomente vorliegt.

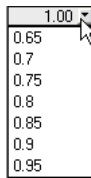
Endlager

Ein Endauflager wirkt sich anders auf das Bemessungsmoment und die Verankerungslängen aus als ein Zwischenaflager. Diese Spalte steuert die Zuordnung.

M-Verhältnis δ

Für durchlaufende Bauteile wird in Spalte F das Verhältnis δ von umgelagertem Moment zu elastisch ermitteltem Ausgangsmoment festgelegt. Diese Spalte ist nur zugänglich, wenn unterhalb der Grafik die Option *Berücksichtigung einer begrenzten Momentenumlagerung* angehakt ist.

Die δ -Werte sind standardmässig auf 1,00 eingestellt, weitere Werte sind aus dem Menü auswählbar.



Kommentar

Für jedes Lager kann ein Kommentartext eingegeben werden, der die gewählten Lagerungsbedingungen erläutert.

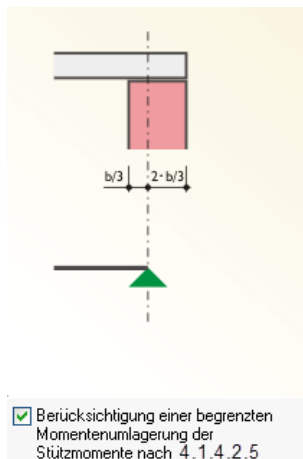
Berücksichtigung der Lagerbreiten

Unter der interaktiven Grafik in dieser Maske werden zwei Kontrollfelder angeboten, deren Vorgaben sich je nach Bemessungsnorm unterschiedlich auf die erforderliche Bewehrung auswirken. Die Einstellungen sind global für den aktuellen Bemessungsfall wirksam.

Berücksichtigung einer begrenzten Momentenumlagerung

Für Durchlaufträger können die linear-elastischen Verfahren mit begrenzter Umlagerung der Stützmomente angewandt werden. Die resultierende Schnittgrössenverteilung muss dabei mit den einwirkenden Lasten im Gleichgewicht stehen. In den Normen werden die einzuhaltenden Momentenverhältnisse δ genannt, damit die Rotationsfähigkeit in den kritischen Bereichen ohne besondere Nachweise gewährleistet ist.

RF-BETON Stäbe ermittelt diesen Grenzwert und vergleicht ihn mit dem Wert, der in Spalte F vorgegeben ist. Für die Umlagerung wird dann der grössere dieser beiden Werte verwendet.



Reduktion der Querkräfte im Lagerbereich

Bei einer direkten Lagerung sowie bei Einleitstellen grosser Kräfte kann der Bemessungswert der Querkraft abgemindert werden, vgl. SIA 262 4.3.3.4.1.

3.6 Bewehrung

Diese Maske besteht aus mehreren Registern, in denen sämtliche Angaben zur Bewehrung erfasst werden. Da die Bewehrungsvoraussetzungen für die einzelnen Stäbe meist unterschiedlich sind, können in jedem RF-BETON Stäbe-Fall mehrere Bewehrungssätze angelegt werden. Die Bewehrungsvorgaben lassen sich dann stab- oder stabsatzweise treffen.

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.

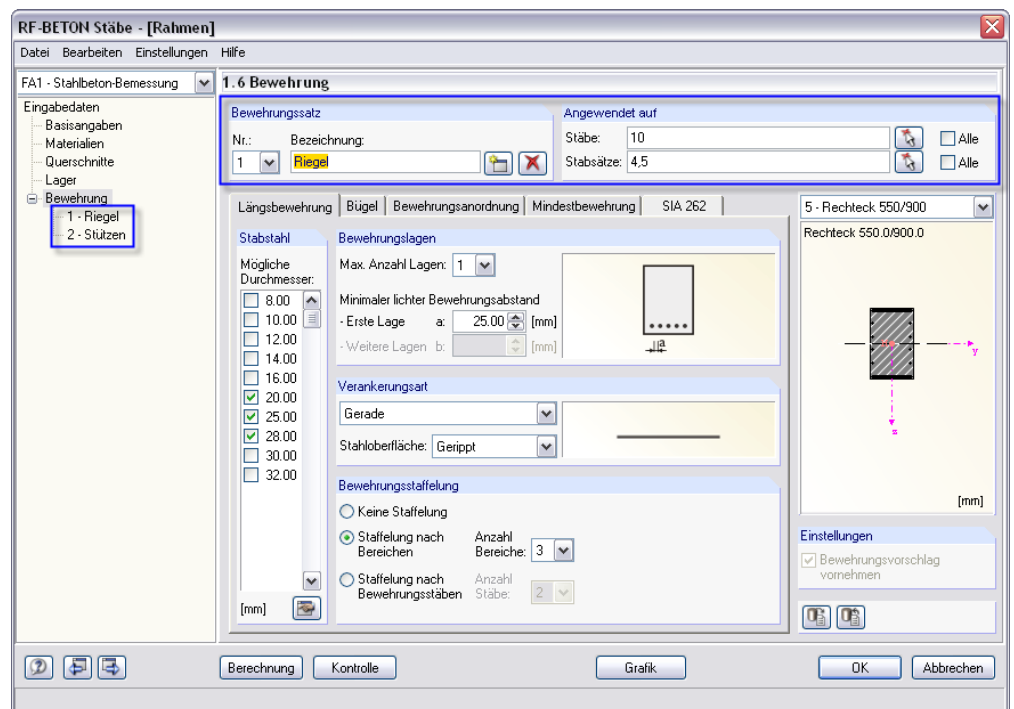


Bild 3.15: Maske 1.6 *Bewehrung* mit zwei Bewehrungssätzen

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

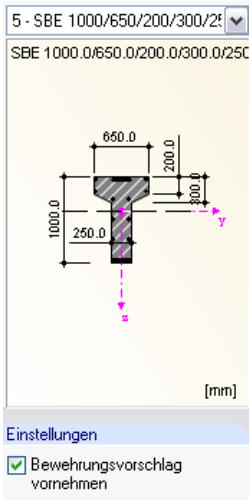
Mit der Schaltfläche [Löschen] wird der aktuelle Bewehrungssatz ohne weitere Warnung aus dem RF-BETON Stäbe-Fall entfernt. Für Stäbe und Stabsätze, die in diesem Bewehrungssatz enthalten waren, findet damit keine Bemessung statt. Um sie zu bemessen, müssen sie einem neuen oder bestehenden Bewehrungssatz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

Der Abschnitt *Angewendet auf* regelt, für welche Stäbe oder Stabsätze der aktuelle Bewehrungssatz gültig ist. Es sind *Alle* Stäbe und *Alle* Stabsätze voreingestellt. Mit dieser Vorgabe kann kein weiterer Bewehrungssatz erstellt werden, denn Stäbe bzw. Stabsätze lassen sich in einem Bemessungsfall nicht nach unterschiedlichen Bewehrungsvorgaben bemessen. Um die Möglichkeit von Bewehrungssätzen nutzen zu können, muss daher mindestens eines der *Alle*-Kontrollfelder deaktiviert werden.

Im Eingabefeld sind die Nummern der relevanten *Stäbe* bzw. *Stabsätze* einzutragen, für die die Bewehrungsvorgaben aller Register dieser Maske gelten. Mit [Pick] lassen sich die Objekte auch grafisch im RFEM-Arbeitsfenster auswählen. Auf diese Weise wird die Schaltfläche [Neuer Bewehrungssatz] zugänglich. Dort dürfen – wie oben angedeutet – nur Stäbe und Stabsätze ausgewählt werden, die noch keinem anderen Bewehrungssatz zugewiesen sind.

In den Stabzügen enthaltene Einzelstäbe werden zur Bemessung automatisch deaktiviert.





Bewehrungsvorschlag

Die Grafik rechts in der Maske zeigt an, wie sich die Eingaben in den diversen Registern auf den Querschnitt auswirken. Die Liste oberhalb der Grafik ermöglicht es, zwischen den Querschnitten zu wechseln. Die Grafik wirkt dynamisch: Änderungen bei den Bewehrungsvorgaben werden sofort grafisch umgesetzt.

Das Kontrollfeld *Bewehrungsvorschlag vornehmen* steuert, ob RF-BETON Stäbe die Vorgaben in den diversen Registern auch in eine Stabstahlbewehrung umsetzt. Wird dieses Feld deaktiviert, so sind einige Eingabefelder unzugänglich. RF-BETON Stäbe ermittelt in diesem Fall nur die erforderlichen Bewehrungsquerschnitte.

Wurde in Maske 1.1 *Basisangaben* der Nachweis für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit aktiviert, so kann der Bewehrungsvorschlag nicht unterdrückt werden: Die GZG-Nachweise basieren auf einer tatsächlich vorhandenen Bewehrung. Rissbreiten, Rissabstände etc. lassen sich nur mit den verwendeten Stabdurchmessern und -abständen ermitteln. Gleiches gilt für eine Bemessung nach dem nichtlinearen Verfahren.

In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Registerkarten der Maske 1.6 vorgestellt.

3.6.1 Längsbewehrung

In diesem Register erfolgen die Vorgaben zur Längsbewehrung.

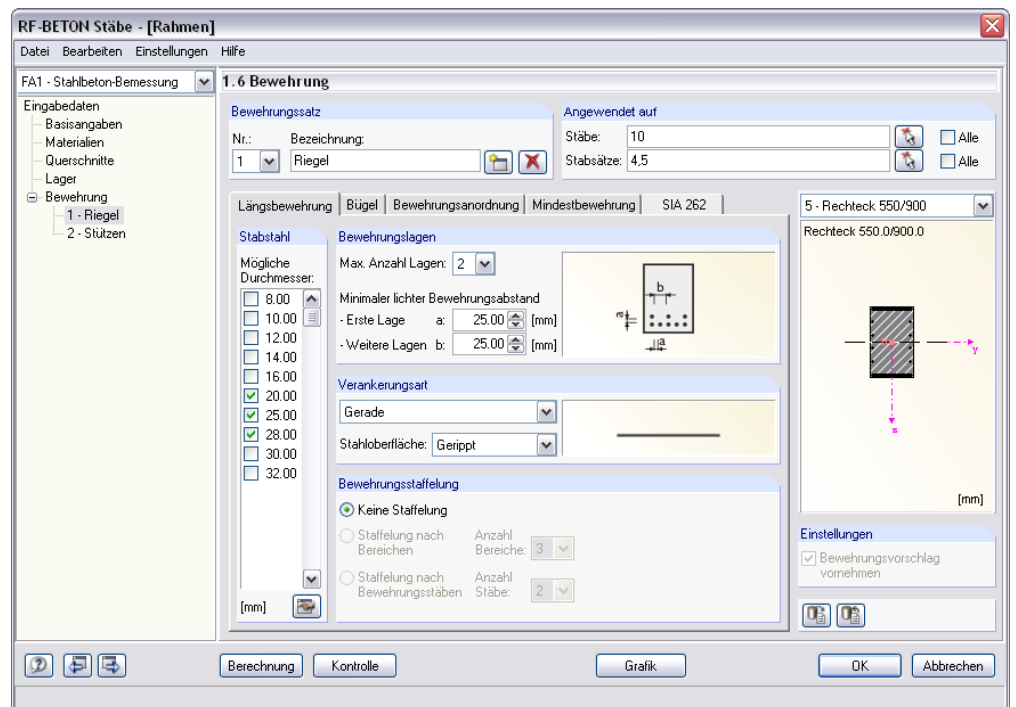


Bild 3.16: Maske 1.6 *Bewehrung*, Register *Längsbewehrung*

Stabstahl

Die Liste der möglichen Durchmesser enthält neben den in DIN 488 genannten Nenndurchmessern von Betonstabstahl auch einige im Ausland gebräuchliche Durchmesser. Eine Mehrfachselektion für die Bemessung ist ohne Weiteres möglich.



Mit der Schaltfläche [Bearbeiten] lässt sich die Liste der angezeigten Stabdurchmesser anpassen.

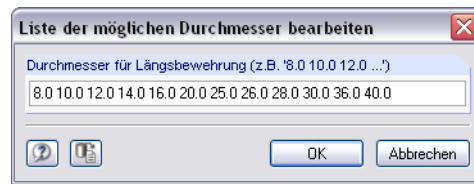


Bild 3.17: Dialog *Liste der möglichen Durchmesser bearbeiten*

In der Eingabezeile können Einträge geändert, gelöscht oder ergänzt werden.

Bewehrungslagen

RF-BETON Stäbe berücksichtigt beim Bewehrungsvorschlag auch eine mehrlagige Anordnung der Bewehrungsstäbe. Über die Liste lässt sich die zulässige *Anzahl der Lagen* vorgeben. Es sind bis zu drei Bewehrungslagen möglich. Die Angaben für den *Minimalen lichten Bewehrungsabstand* a der Bewehrungsstäbe der ersten Lage sowie ggf. b von weiteren Lagen erfolgen in den entsprechenden Eingabefeldern.

Bei der Erstellung des Bewehrungsvorschlags werden diese konstruktiven Vorgaben berücksichtigt. Sie wirken sich auf die Anzahl der möglichen Bewehrungsstäbe jeder Lage und auf den Hebelarm der inneren Kräfte aus.

Bei Anordnung mehrerer Bewehrungslagen ist keine Staffelung der Bewehrung möglich.

Verankerungsart

Die beiden Listen in diesem Abschnitt bieten eine grosse Auswahl an Verankerungsmöglichkeiten. Auch hier wirkt die Grafik rechts dynamisch, d. h. geänderte Vorgaben werden sofort grafisch angezeigt.

Die Verankerungsart wirkt sich auf die erforderliche Verankerungslänge aus.

Bewehrungsstaffelung

Die Voreinstellung ist *Keine Staffelung*. Wurden mehrere Bewehrungslagen vorgegeben, so sind die beiden übrigen Optionen gesperrt.

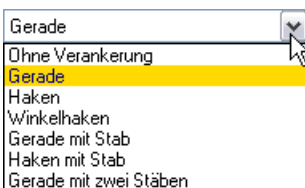
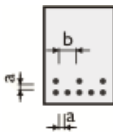
Wird eine *Staffelung nach Bereichen* gewählt, kann über die Liste rechts festgelegt werden, wie viele Bereiche mit jeweils gleicher Bewehrung beim Bewehrungsvorschlag zulässig sind. RF-BETON Stäbe untersucht dann, wie mit den zur Verfügung stehenden Bewehrungsstäben eine optimale Abdeckung der erforderlichen Stahlquerschnittsflächen zu erreichen ist.

Bei der *Staffelung nach Bewehrungsstäben* erfolgt die Ausweisung eines neuen Bereiches erst, wenn die vorgegebene maximale Anzahl an Bewehrungsstäben erreicht ist. Auch hier ist die Vorgabe der Stabanzahl über die Liste rechts möglich.

Vorhandene Grundbewehrung

In diesem Abschnitt kann eine Grundbewehrung getrennt für die obere und untere Lage vorgegeben werden. Nach dem Anhaken der Kontrollfelder sind die Eingabefelder unterhalb zugänglich. Dort können die Anzahl der Bewehrungsstäbe n und die Stabdurchmesser d definiert werden. Das Feld A_s zeigt die entsprechenden Bewehrungsflächen an.

Die benutzerdefinierte Grundbewehrung wird beim Erstellen des Bewehrungsvorschlages berücksichtigt. Sie wird über die gesamte Stab- bzw. Stabsatzlänge eingelegt. Falls die erforderliche Bewehrung nicht von der Grundbewehrung abgedeckt werden kann, ermittelt RF-BETON die zusätzlich benötigten Bewehrungsstäbe und legt sie in den Querschnitt ein.



3.6.2 Bügel

Dieses Register beinhaltet die Bewehrungsvorgaben für die Querkraftbewehrung.

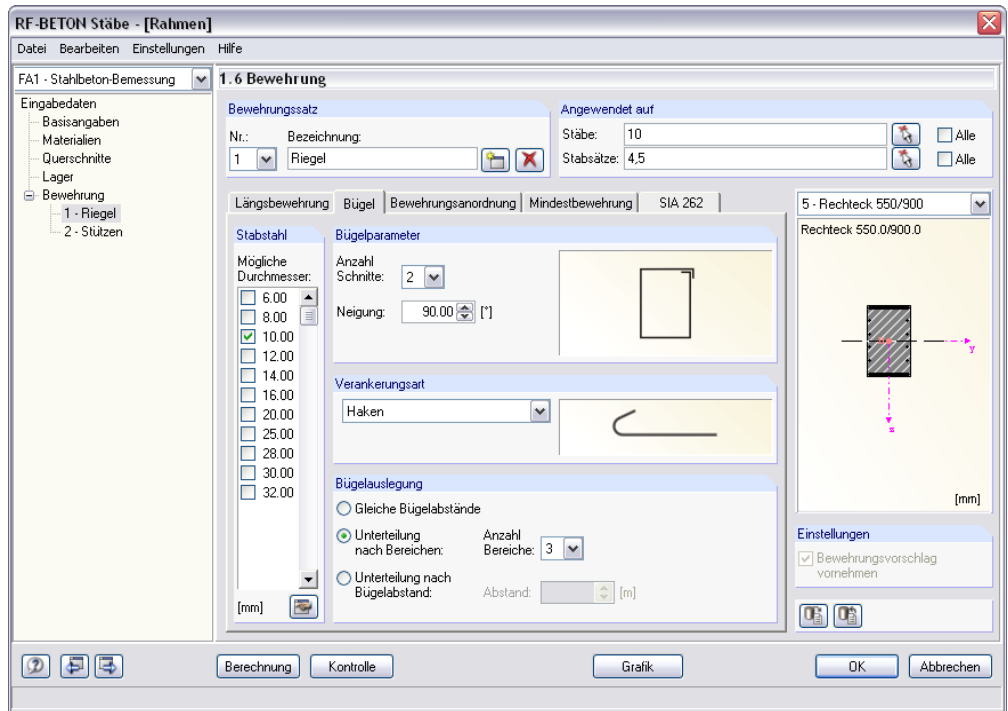


Bild 3.18: Maske 1.6 Bewehrung, Register Bügel

Stabstahl

Die Liste der möglichen Durchmesser enthält eine Auswahl der üblich verwendeten Stabdurchmesser. Eine Mehrfachselektion für die Bemessung ist ohne Weiteres möglich.



Mit der Schaltfläche [Bearbeiten] lässt sich die Liste der angezeigten Stabdurchmesser anpassen (siehe Bild 3.17).

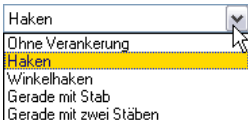
Bügelparameter

Das Feld *Anzahl Schnitte* steuert die Bügelschnittigkeit. Die voreingestellte Zweischnittigkeit lässt sich über die Liste ändern. Es sind bis zu vier Schnitte möglich.

Die *Neigung* der Schubbewehrung wird durch den Winkel zwischen Längs- und Schubbewehrung festgelegt. Voreingestellt sind 90°, also lotrechte Bügel.

Verankerungsart

Die Liste enthält verschiedene Möglichkeiten der Bügelverankerung, die sich auf die Ermittlung der Verankerungslängen auswirken. Auch hier wirkt die Grafik rechts dynamisch, d. h. geänderte Vorgaben werden sofort grafisch angezeigt.



Bügelauslegung

Dieser Abschnitt ist nur dann zugänglich, wenn ein Bewehrungsvorschlag erstellt wird.

Es sind *Gleiche Bügelabstände* für alle Stäbe und Stabzüge voreingestellt.

Wird eine *Unterteilung nach Bereichen* gewählt, so ist in der Liste die Anzahl der Bereiche mit gleicher Bügelanordnung anzugeben. Die Vorgabe von einem Bereich bewirkt, dass neben dem Bereich mit maximalem Bügelabstand (Mindestbewehrung) noch ein Bereich gebildet wird, der den Maximalwert der erforderlichen Bügelbewehrung abdeckt. Bei zwei Bereichen

bestimmt RF-BETON Stäbe den Mittelwert aus erforderlicher Mindest- und Maximalbewehrung und setzt die entsprechenden x-Stellen im Stab als weitere Bereichsgrenzen an.

Bei der *Unterteilung nach Bügelabstand* ist ein Abstand für die Bügelbereiche festzulegen. Ein Wechsel der Bereiche erfolgt in den Abstandsintervallen, die ebenfalls aus erforderlicher Mindest- und Maximalbewehrung mit einem Interpolationsverfahren ermittelt werden.

Werden *Definierte Bügelabstände* vorgegeben, kann in der links dargestellten Liste ein Eintrag ausgewählt werden. Die Schaltfläche [Bearbeiten] ermöglicht es, diese Einträge anzupassen oder einen neuen Eintrag mit benutzerdefinierten Bügelabständen anzulegen.

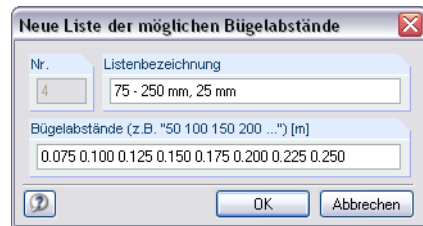
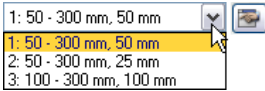


Bild 3.19: Dialog *Neue Liste der möglichen Bewehrungsabstände*

Der *Maximale* und *Minimale Abstand* der Bügelbewehrung kann direkt angegeben werden.

Die im Bewehrungsvorschlag ausgewiesenen Bereiche können nachträglich in Maske 3.2 *Bügelbewehrung* geändert oder ergänzt werden (siehe Kapitel 5.2.2, Seite 63).

3.6.3 Bewehrungsanordnung

Dieses Register steuert, wie die Bewehrung eingelegt wird und welche RFEM-Schnittgrößen bemessen werden sollen.

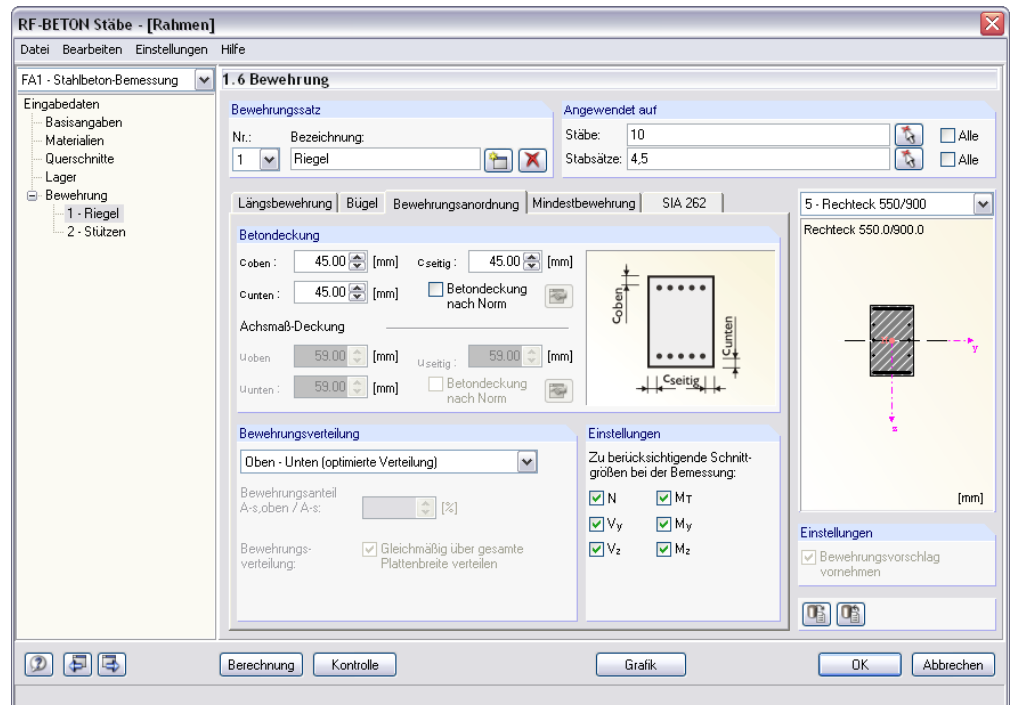


Bild 3.20: Maske 1.6 *Bewehrung*, Register *Bewehrungsanordnung*

Betondeckung

Die Angaben zu den Betondeckungen stehen in Interaktion mit der Vorgabe eines Bewehrungsvorschlags: Wird ein Bewehrungsvorschlag erstellt, beziehen sich die Deckungen auf die Randmasse c der Bewehrung. Falls jedoch kein Bewehrungsvorschlag angewiesen ist, so sind die Angaben auf die Achsmasse u der Bewehrungsstäbe bezogen. Das folgende Bild veranschaulicht diesen Unterschied.

Je nach Vorgabe sind die oberen oder die unteren Eingabefelder des Abschnitts zugänglich.

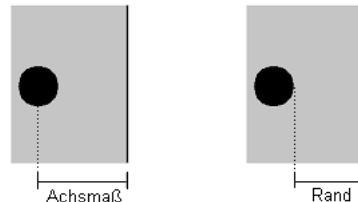
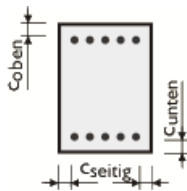


Bild 3.21: Bezug der Betondeckung



Im Feld c_{oben} ist die Betondeckung der oberen Längsbewehrung, im Feld c_{unten} die der unteren Längsbewehrung anzugeben. Diese Werte stellen die Nennmasse der Betondeckung c_{nom} nach SIA 262 5.2.2 dar. RF-BETON Stäbe ermittelt aus diesen Vorgaben und unter Berücksichtigung der verwendeten Stabdurchmesser den Hebel der inneren Kräfte.

„Oben“ und „unten“ ist durch die Lage der lokalen Stabachsen in RFEM eindeutig definiert. Die Deckung c_{seitig} wird für die Ersatzwanddicke zur Torsionsbemessung benötigt.

Bei der Eingabe der Achsmasse u ist zu beachten, dass sich dieser Abstand bei mehrlagigen Bewehrungen auf den Bewehrungsschwerpunkt beziehen muss.

Bewehrungsverteilung

Die Liste enthält verschiedene Möglichkeiten, wie die Bewehrung im Querschnitt angeordnet werden können:

- Oben - Unten (optimierte Verteilung)
- Oben - Unten (symmetrische Verteilung)
- Oben - Unten (Anteil $A_{s,oben} / A_s$ definieren)
- Oben - Unten (Anteil $A_{s,Zug} / A_s$ definieren)
- In Ecken (symmetrische Verteilung)
- Gleichmäßig umlaufend

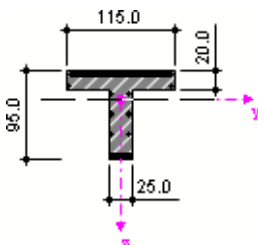
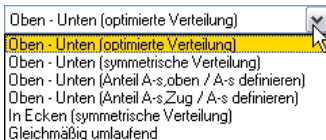
RF-BETON Stäbe führt für die Bewehrungsverteilung *Oben - Unten (optimierte Verteilung)* auch eine Optimierung bei zweiachsiger Biegung durch.

Die Bewehrung kann damit auch über das Verhältnis von Oberer Bewehrung zu Gesamtbewehrung oder von Zug- zu Gesamtbewehrung definiert werden. Die Angabe des Verhältniswerts erfolgt im Eingabefeld unterhalb. Damit ist eine effiziente Nachbildung von Bestandskonstruktionen möglich.

Bei Plattenbalken und I-Querschnitten lässt sich zudem die *Bewehrung gleichmäßig über die gesamte Plattenbreite verteilen*. Dadurch wird ein Teil der Bewehrungsstäbe ausgelagert.

Änderungen in der Bewehrungsanordnung werden dynamisch in der Grafik rechts umgesetzt.

Liegt bei einer Bewehrungsverteilung *Oben - Unten* ein Momentenverlauf von $M_y = 0$ und $M_z > 0$ vor, werden erhöhte Bewehrungsquerschnitte ausgegeben: Das Bemessungsmoment wirkt nicht in die vorgegebene Verteilungsrichtung der Bewehrung. In diesem Fall ist die Bewehrungsverteilung *In Ecken* zu wählen, damit die Bemessung korrekt durchgeführt werden kann.



3.6.4 Mindestbewehrung

Dieses Register verwaltet die Vorgaben zu Mindest- und Konstruktionsbewehrung sowie die Parameter zur Begrenzung der Rissbreite.

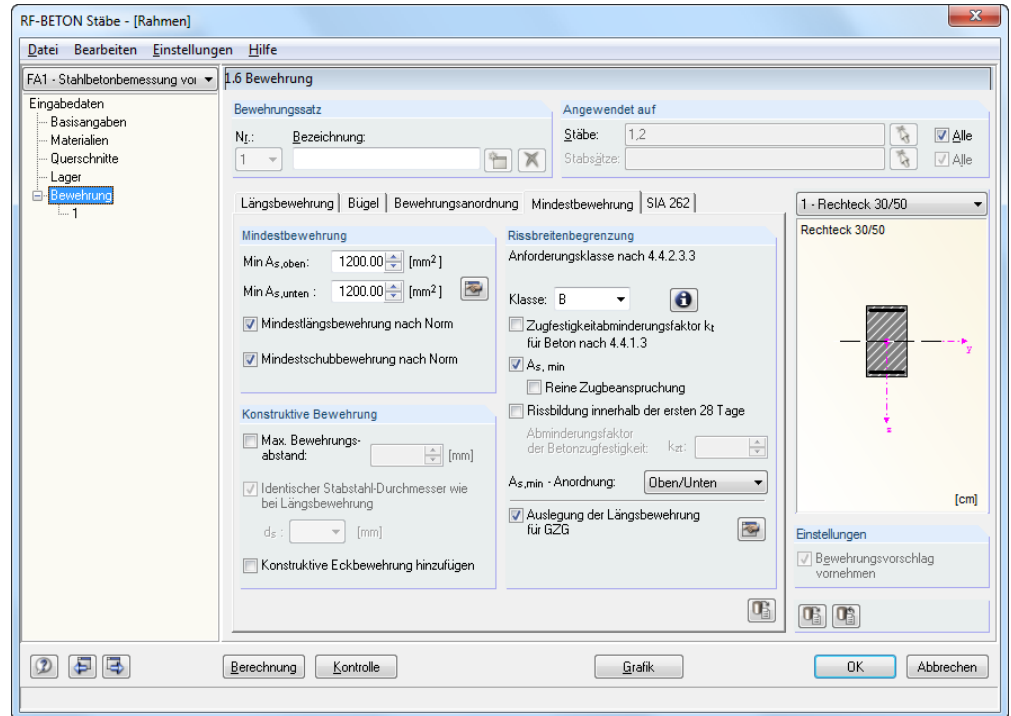


Bild 3.22: Maske 1.6 Bewehrung, Register Mindestbewehrung

Mindestbewehrung

Zur Vorgabe einer globalen Mindestlängsbewehrung sind zwei Eingabefelder verfügbar, in die die Stahlquerschnitte für $Min A_{s,oben}$ und $Min A_{s,unten}$ eingetragen werden können. Über die Schaltfläche [Bearbeiten] lassen sich diese Querschnittsflächen aus der Anzahl der Bewehrungsstäbe und den Stabdurchmessern in einem separaten Dialog ermitteln.

Bei der Berechnung der erforderlichen Bewehrung kann wahlweise und unabhängig voneinander die *Mindestlängsbewehrung* und die *Mindestschubbewehrung* gemäss jeweiliger Norm berücksichtigt oder ausgeklammert werden.

Konstruktive Bewehrung

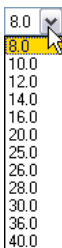
Dieser Abschnitt ist nur aktiv, wenn ein Bewehrungsvorschlag erstellt werden soll.

Der *Maximale Bewehrungsabstand* der konstruktiven, d. h. statisch nicht erforderlichen Bewehrungsstäbe im Querschnitt wird durch die Angabe eines Höchstwertes festgelegt. Der Bewehrungsvorschlag strebt dann mit dieser Vorgabe eine gleichmässige Verteilung der Stäbe an (z. B. bei Plattenbalkenstegen oder schlanken Rechteckquerschnitten).

Die Option *Identischer Durchmesser wie bei Längsbewehrung* gleicht die konstruktive Bewehrung an die Stabdurchmesser der erforderlichen Bewehrung an. Alternativ wird anhand der Liste ein bestimmter Durchmesser ϕ für die konstruktive Bewehrung vorgegeben.

Mit der Möglichkeit *Konstruktive Eckbewehrung hinzufügen* wird generell eine konstruktive Bewehrung in allen Ecken des Querschnitts angeordnet. Damit lässt sich auch bei I-förmigen Querschnitten eine Bewehrung ausserhalb des Stegs definieren.

Wie die Mindestbewehrung wird die konstruktive Bewehrung – soweit ausreichend verankert – für den Sicherheitsnachweis und die Rissbreitenberechnung berücksichtigt.



Rissbreitenbegrenzung

Die Eingabefelder dieses Abschnitts sind nur zugänglich, wenn in Maske 1.1 *Basisangaben* die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit aktiviert wurden. Zudem ist dieser Abschnitt an die gewählte Norm angeglichen. Folgende Beschreibung bezieht sich auf SIA 262.

Der Anforderungsklasse kann über die Liste ausgewählt werden.

Anforderungsklas...	Rissbreite [mm]
A	veränderlich
B	0.50
C	0.20
fsd - 80	veränderlich

Bild 3.23: Rissbreiten in Abhängigkeit von der Anforderungsklasse (SIA 262)

Für die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung ist zwischen Last- und Zwangseinwirkungen zu unterscheiden. Eine *Zwangsbeanspruchung* wird durch die Rissbildung im Bauteil deutlich verringert, sodass eine ausreichend dimensionierte Mindestbewehrung $A_{s,min}$ für eine Verteilung der gesamten Bauteilverkürzung auf mehrere Risse mit entsprechend kleinen Rissbreiten sorgt. Die Rissbreiten infolge einer Lastbeanspruchung hingegen sind von der vorhandenen Stahlspannung und der Bewehrungsanordnung abhängig.

In RF-BETON Stäbe wird die Rissbreite nach SIA 262 4.4.2.3.3 für Lastbeanspruchungen direkt berechnet. Für Zwangsbeanspruchungen wird die Mindestbewehrung zur Begrenzung der vorgegebenen Rissbreite ausgelegt.

$$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k_{zt} \cdot f_{ctm} \cdot A_{ct} \cdot k_t}{\sigma_s}$$

Liegt eine *Reine Zugbeanspruchung* vor, so kann die Zwangsbeanspruchung über das Kontrollfeld näher spezifiziert werden: Die Vorgabe beeinflusst den Beiwert k_c . Bei reiner Zugbeanspruchung wird $k_c = 1,0$ angesetzt. Bei ausschliesslicher Biegebeanspruchung ist σ_c in der Bauteilachse gleich null und damit wird $k_c = 0,4$. Der Faktor k_c berücksichtigt neben der Spannungsverteilung auch näherungsweise die Vergrösserung des inneren Hebelarms bei Rissbildung.

Ist mit einer *Rissbildung innerhalb der ersten 28 Tage* zu rechnen, ist möglich eine Abminderung der wirksamen Betonzugfestigkeit f_{ctm} mit dem Faktor k_{zt} vorzunehmen. Im Eingabefeld kann der entsprechende *Abminderungsfaktor der Betonzugfestigkeit* angegeben werden.

Die Grösse der Abminderung wird bei direktem Zwang von der Bauteildicke beeinflusst, da mit zunehmenden Querschnittsabmessungen höhere Eigenspannungen entstehen. Von aussen aufgezwungene Verformungen (z. B. Lagerverformungen) verursachen hingegen keine Eigenspannungen. In diesen Fällen beträgt der Abminderungsbeiwert 1,0.

Das Auswahlfeld $A_{s,min}$ - *Anordnung* steuert, welcher Bewehrungslage die Mindestbewehrung zugewiesen werden soll.

Mit der Schaltfläche [Bearbeiten] lassen sich die Vorgaben zur *Auslegung der Längsbewehrung für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit* überprüfen und ggf. anpassen. Es öffnet sich folgender Dialog.



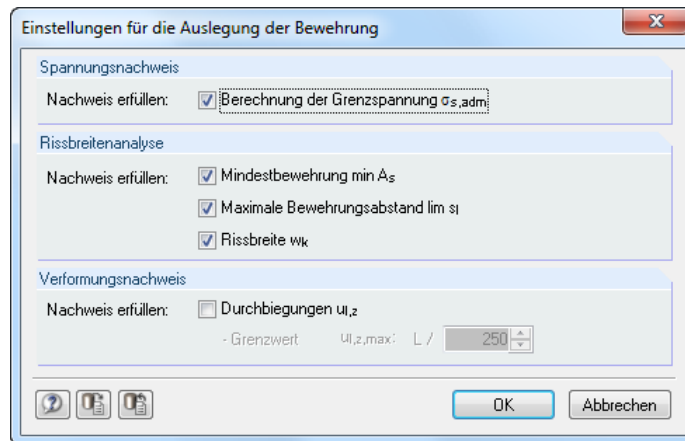


Bild 3.24: Dialog *Einstellungen für die Auslegung der Bewehrung*

Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit können diverse Kriterien für den Spannungs- und Rissbreitennachweis ausgewählt werden, nach denen die Bewehrung ausgelegt wird:

Nachweis	Normative Vorgabe in SIA 262
Begrenzung der Stahlspannung $\sigma_{s,adm}$	[17] (10.15)
Maximaler Bewehrungsabstand $lim s_l$	[17] (10.15)
Begrenzung der Rissbreite w_k	SIA 262 4.4.2
Mindestbewehrung $min A_s$	SIA 262 4.4.2.3.6

Tabelle 3.2: Spannungs- und Rissbreitennachweise

Grundsätzlich muss nur eines der Kriterien $\sigma_{s,adm}$, $lim s_l$ oder w_k für den Nachweis der Rissbreite erfüllt sein.

Das Kriterium der Mindestbewehrung $min A_s$ nach SIA 262 4.4.2.3.6 muss bei Zwangseinwirkung stets erfüllt sein.

Ferner kann eine Kontrolle der Durchbiegungen für den *Verformungsnachweis* angeordnet werden.

Die Richtwerte für zulässige Verformungen sind der Norm SIA 260 Anhang A - E zu entnehmen, im Eingabefeld ist der zugehörige *Grenzwert* anzugeben.

Das Nachweiskriterium der Verformung $u_{l,z}$ betrachtet die Verschiebung in Richtung der lokalen Stabachse z. Der Durchhang ist auf das unverformte System bezogen, d.h. die Verschiebungen der Anfangs- und Endknoten bleiben unberücksichtigt.

3.6.5 Norm

Das fünfte Register der Maske wird von der Norm gesteuert, die in Maske 1.1 *Basisangaben* ausgewählt wurde (siehe Bild 3.2, Seite 25). Dieses Register verwaltet die normspezifischen Bewehrungsvorgaben. Sie werden im Folgenden für SIA 262 beschrieben.

Im unteren Bereich des Registers wird die Schaltfläche [Standard] angeboten, mit der sich die Ausgangswerte der aktuellen Norm wiederherstellen lassen.

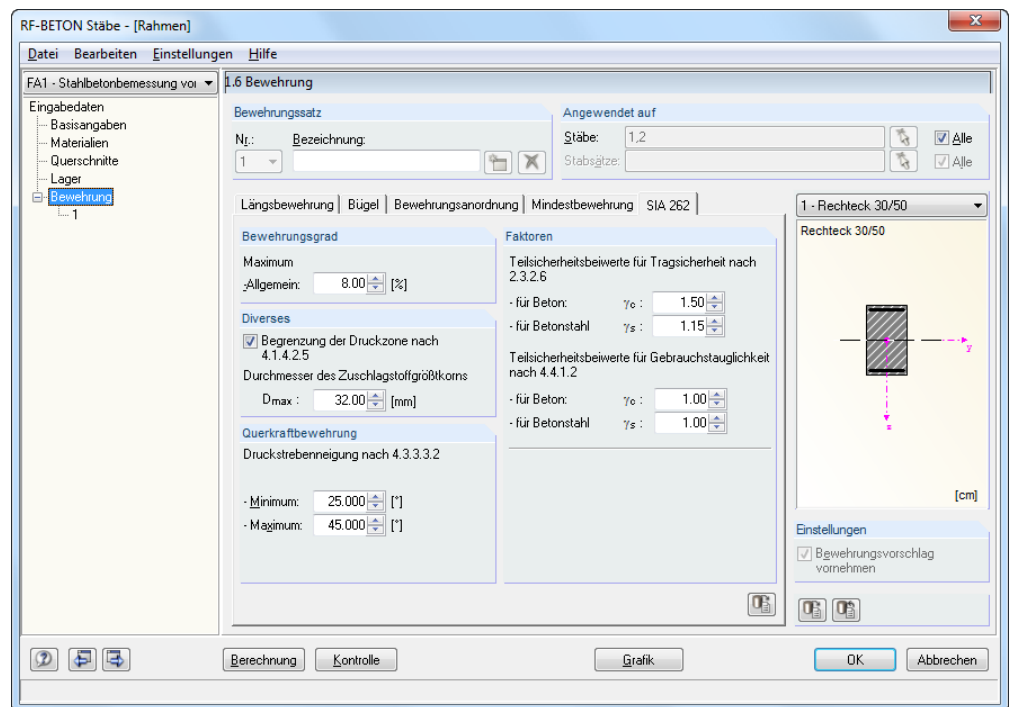


Bild 3.25: Maske 1.6 *Bewehrung*, Register SIA 262

Bewehrungsgrad

Dieses Eingabefeld steuert den generellen Höchstbewehrungsgrad für Balken. SIA 262 5.5.4.5 empfiehlt den Wert von $A_{s,max} = 0,08A_c$ in Druckgliedern.

Diverses

Wenn die Betondruckzone nicht mehr in der Lage ist, die Druckkräfte aufzunehmen, wird eine Druckbewehrung erforderlich. Dieser Fall tritt dann ein, wenn das Biegemoment überschritten ist, das sich bei einer Betonrandstauchung von -3.50 ‰ und der Dehnung beim Erreichen der Streckgrenze des Betonstahls ergibt.

Über das Kontrollfeld kann die Höhe der Druckzone gemäss SIA 262 4.1.4.2.5 begrenzt werden. In diesem Fall beträgt das maximale Verhältnis $x/d = 0,35$ für Beton bis zur Festigkeitsklasse C50/60 bei der Verwendung den Betonstahlklassen B oder C.

Querkraftbewehrung

Diese beiden Eingabefelder stecken den zulässigen Bereich der Druckstrebenneigung ab. Liegen benutzerdefinierte Winkel ausserhalb der Gültigkeitsgrenzen der Norm, so erscheint eine entsprechende Fehlermeldung.

SIA 262 stellt ein ganzheitliches Modell zur Berechnung der Querkrafttragfähigkeit zur Verfügung. Für Bauteile mit Querkraftbewehrung rechtwinklig zur Bauteilachse ($\beta=90^\circ$) gilt:

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

mit

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

Die Neigung der Betondruckstrebe α darf in Abhängigkeit von der Beanspruchung innerhalb bestimmten Grenzen gewählt werden. Damit soll der Tatsache Rechnung getragen werden, dass ein Teil der Querkraft über die Rissreibung abgetragen wird und damit das Fachwerk nicht belastet. Diese Grenzen sind in SIA 262 4.3.3.3.2 (34) wie folgt angegeben:

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

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

Faktoren

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.

In den Eingabefeldern unterhalb sind entsprechend die beiden Teilsicherheitsbeiwerte für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit nach SIA 262 4.4.1.2 zu definieren. Hier entsprechen die voreingestellten Teilsicherheitsbeiwerte denen der Tragsicherheit, um die Spannungen auf die Bemessungswerte zu begrenzen. Dies zeigt sich zum Beispiel anhand der Rissbreitenbegrenzung nach SIA 262 4.4.2.3.9 Tabelle 16. Die Spannung $\sigma_{s,adm}$ wird hier durch f_{sk}/γ_s mit $\gamma_s=1,15$ auf f_{sd} begrenzt.

3.6.6 Vouten

Dieses Register erscheint nur, wenn Voutenstäbe im RFEM-Modell existieren.

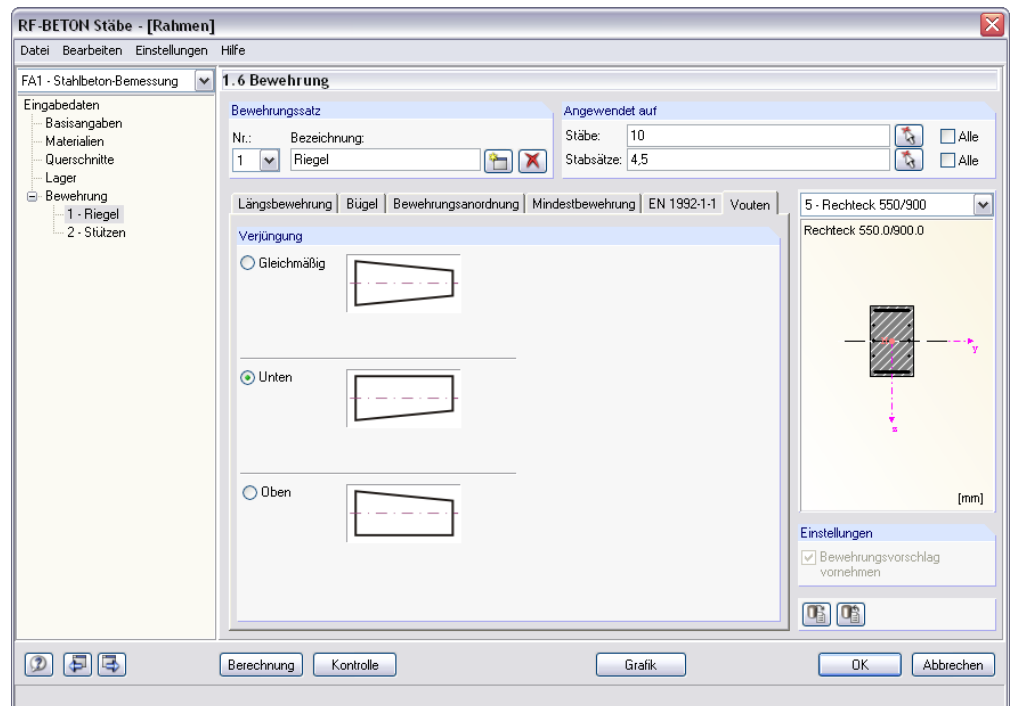


Bild 3.26: Maske 1.6 Bewehrung, Register Vouten

RF-BETON Stäbe bemisst auch Voutenstäbe, sofern der gleiche Querschnittstyp am Stabumfang und Stabende vorliegt. Ist dies nicht der Fall, können keine Zwischenwerte interpoliert werden und RFEM gibt vor der RFEM-Berechnung eine entsprechende Fehlermeldung aus.

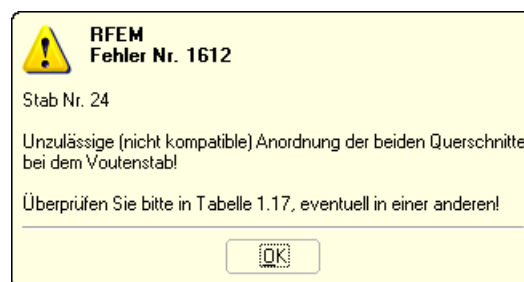
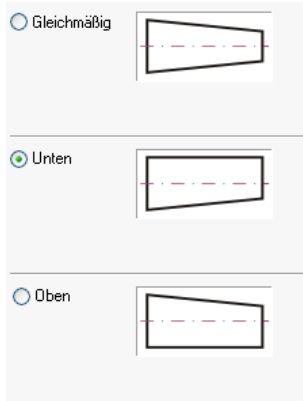


Bild 3.27: Fehlermeldung bei inkompatiblen Voutenquerschnitten

Gevoutete Stabsätze werden nur dann bemessen, wenn der gesamte Stabsatz einen linearen Querschnittsverlauf aufweist.



Verjüngung

Für die genaue Beschreibung der Voute stehen drei Möglichkeiten zur Auswahl:

- Gleichmäßig
- Unten
- Oben

Diese Vorgabe wirkt sich auf die Bemessung und die Anordnung der Längsbewehrung aus.

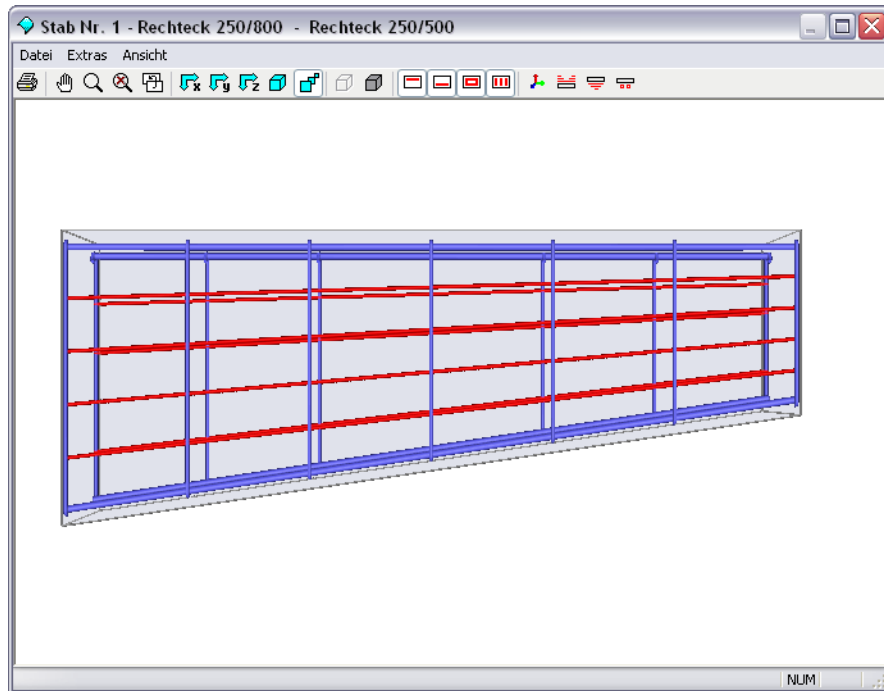


Bild 3.28: Voute mit geneigter Unterseite

4 Berechnung

Berechnung

In jeder Eingabemaske kann die [Berechnung] über die gleichnamige Schaltfläche gestartet werden.

Kontrolle

4.1 Plausibilitätskontrolle

Vor der Bemessung sollten kurz die Eingabedaten überprüft werden. Diese Funktion kann mit der Schaltfläche [Kontrolle] in jeder Maske von RF-BETON Stäbe aufgerufen werden. Werden keine Eingabefehler entdeckt, erscheint eine entsprechende Meldung.



Bild 4.1: Erfolgreiche Plausibilitätskontrolle

Berechnung

4.2 Start der Berechnung

Die [Berechnung] wird über die gleichnamige Schaltfläche gestartet, die in jeder Eingabemaske des Moduls RF-BETON Stäbe zur Verfügung steht.

RF-BETON Stäbe sucht nach den Ergebnissen der zu bemessenden Lastfälle, Lastfallgruppen und -kombinationen. Falls diese nicht vorliegen, startet zunächst die RFEM-Berechnung zur Ermittlung der nachweisrelevanten Schnittgrößen. Es wird dabei auf die vorgegebenen Berechnungsparameter von RFEM zurückgegriffen.

Auch aus der RFEM-Oberfläche kann die Bemessung durch RF-BETON Stäbe gestartet werden. Alle Zusatzmodule werden im Dialog *Zu berechnen* wie ein Lastfall oder eine Lastfallgruppe aufgelistet. Dieser Dialog wird in RFEM aufgerufen über Menü

Berechnung → **Zu berechnen.**

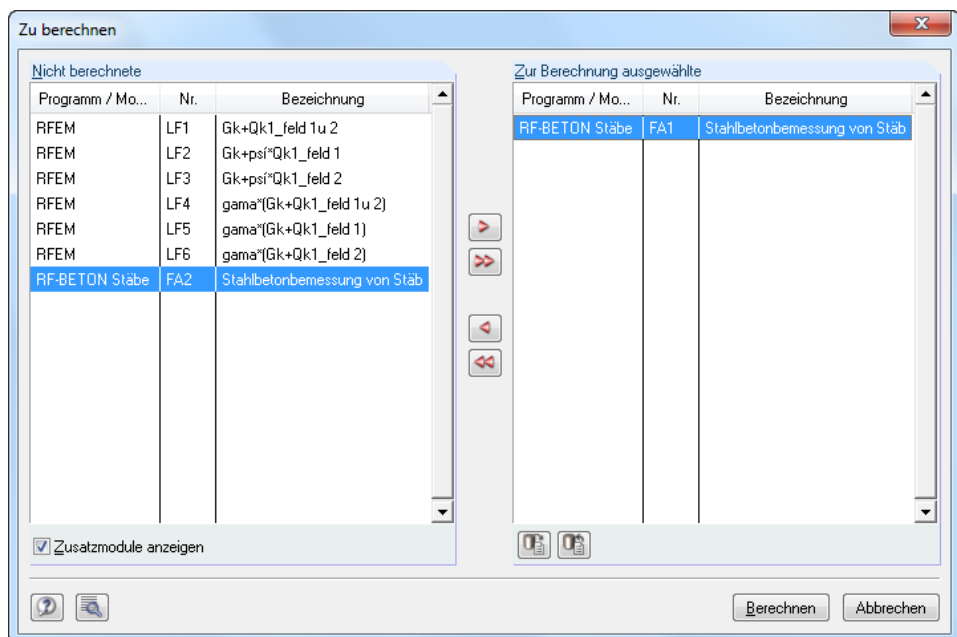


Bild 4.2: Dialog *Zu berechnen*

Sollten die RF-BETON Stäbe-Bemessungsfälle in der Liste *Nicht berechnete* fehlen, muss das Kontrollfeld *Zusatzmodule anzeigen* am Ende der Liste aktiviert werden.

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

Über die Liste der RFEM-Symbolleiste kann ein bestimmter RF-BETON Stäbe-Bemessungsfall ebenfalls direkt berechnet werden: Stellen Sie den gewünschten Bemessungsfall ein und klicken dann die Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus] an.

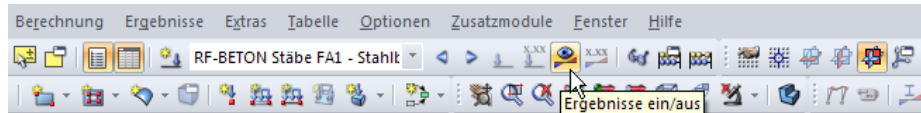


Bild 4.3: Direkte Berechnung eines RF-BETON Stäbe-Bemessungsfalls in RFEM

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

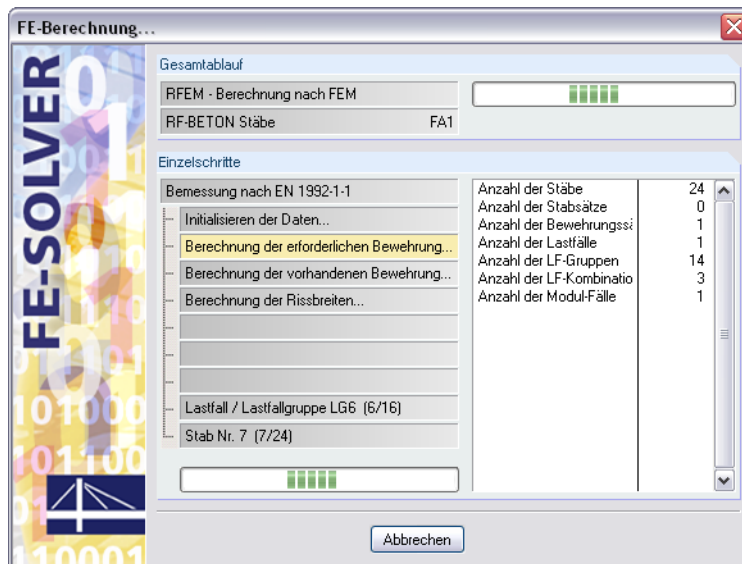


Bild 4.4: Bemessung mit RF-BETON Stäbe

5 Ergebnisse

Unmittelbar nach der erfolgreichen Bemessung erscheint die Maske 2.1 *Erforderliche Bewehrung querschnittsweise*.

Die für den Tragfähigkeitsnachweis erforderlichen Bewehrungsquerschnitte werden in den Ergebnismasken 2.1 bis 2.4 aufgelistet. Wurde ein Bewehrungsvorschlag erstellt, erscheint die vorhandene Bewehrung inklusive Stahlliste in den Ergebnismasken 3.1 bis 3.4. Die Gebrauchstauglichkeitsnachweise werden in den Masken 4.1 bis 4.4 ausgegeben, die Masken 5.1 bis 5.4 sind für die Brandschutznachweise reserviert. Falls eine nichtlineare Bemessung durchgeführt wurde, werden diese Ergebnisse in den Masken 6.1 bis 6.4 ausgegeben.



Die diversen Masken lassen sich direkt über den RF-BETON Stäbe-Navigator ansteuern. Alternativ werden die beiden links dargestellten Schaltflächen oder die Funktionstasten [F2] und [F3] benutzt, um eine Maske vor- oder zurückzublätern.

[OK] sichert die Ergebnisse und beendet das Modul RF-BETON Stäbe.

Dieses Handbuchkapitel stellt die Ergebnismasken der Reihe nach vor. Die Auswertung und Kontrolle der Resultate ist im Kapitel 6 *Ergebnisauswertung* ab Seite 72 beschrieben.

5.1 Erforderliche Bewehrung

5.1.1 Erforderliche Bewehrung querschnittsweise

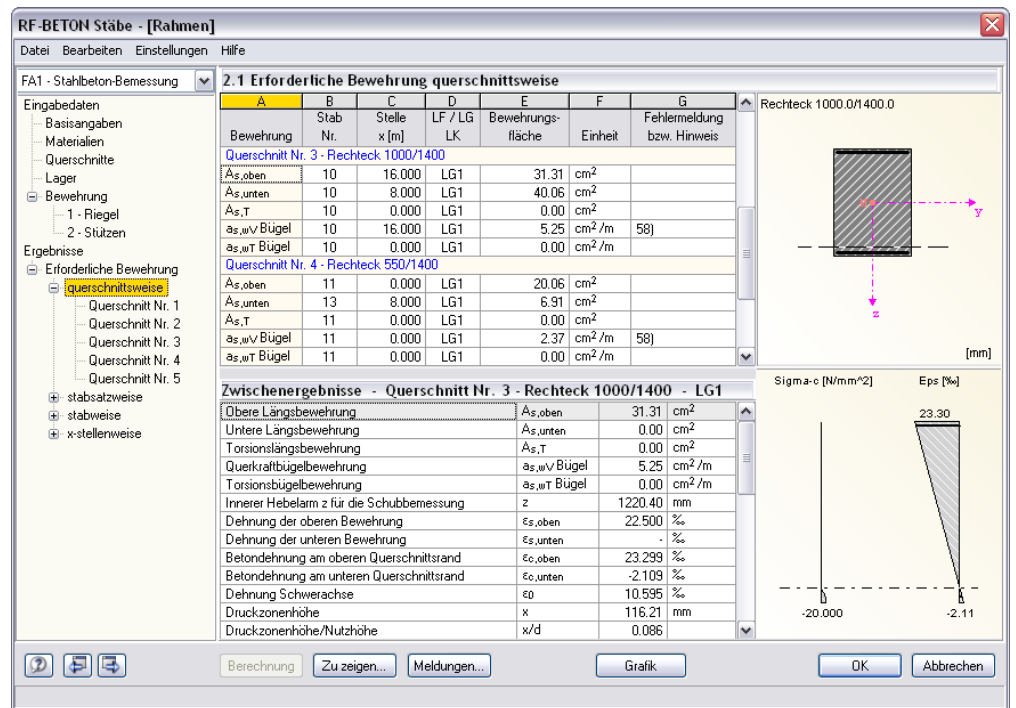


Bild 5.1: Maske 2.1 *Erforderliche Bewehrung querschnittsweise*

Es werden für alle bemessenen Querschnitte die maximal erforderlichen Bewehrungsflächen ausgewiesen, die sich aus den Parametern der Bewehrungssätze und den Schnittgrößen der massgebenden Einwirkungen ergeben.

Die Bewehrungsflächen der Längs- und Bügelbewehrung sind nach Querschnitten geordnet aufgelistet. In den beiden Bereichen dieser Maske werden diejenigen Bewehrungsarten und Bemessungsdetails angezeigt, die im Dialog *Ergebnisse zu zeigen* aktiv sind (siehe Bild 5.2).

Im unteren Teil der Maske werden die *Zwischenergebnisse* für die oben selektierte Zeile angezeigt. Dadurch ist eine gezielte Auswertung anhand der Bemessungsdetails möglich. Die Ausgabe der Zwischenergebnisse im unteren Bereich aktualisiert sich automatisch, sobald im oberen Abschnitt eine andere Zeile selektiert wird.

Bewehrung

Es sind folgende Längs- und Bügelbewehrungen voreingestellt:

Bewehrung	Erläuterung
$A_{s,oben}$	Bewehrungsquerschnitt der erforderlichen oberen Längsbewehrung infolge Biegung mit oder ohne Längskraft oder Längskraft allein
$A_{s,unten}$	Bewehrungsquerschnitt der erforderlichen unteren Längsbewehrung infolge Biegung mit oder ohne Längskraft oder Längskraft allein
$A_{s,T}$	Bewehrungsquerschnitt einer gegebenenfalls erforderlichen Torsionslängsbewehrung
$a_{sw,V}$ Bügel	Querschnitt der erforderlichen Schubbewehrung zur Aufnahme der Querkraft, bezogen auf die Einheitslänge 1 m
$a_{sw,T}$ Bügel	Querschnitt der erforderlichen Bügelbewehrung zur Aufnahme des Torsionsmoments, bezogen auf die Einheitslänge 1 m

Tabelle 5.1: Längs- und Bügelbewehrungen

Die untere Bewehrung befindet sich auf der Stabseite in Richtung der positiven lokalen Stabachse z, die obere Bewehrung entsprechend in Richtung der negativen z-Achse. In der RFEM-Oberfläche lassen sich die Stabachsen im *Zeigen*-Navigator oder Stab-Kontextmenü zur Kontrolle einblenden.

Zu zeigen...

Über die Schaltfläche [Zu zeigen] kann gezielt festgelegt werden, welche Bewehrungs- und Zwischenergebnisse in den beiden Abschnitten der Maske erscheinen. Diese Einstellungen steuern gleichzeitig die Ergebnisarten für das Ausdruckenprotokoll.

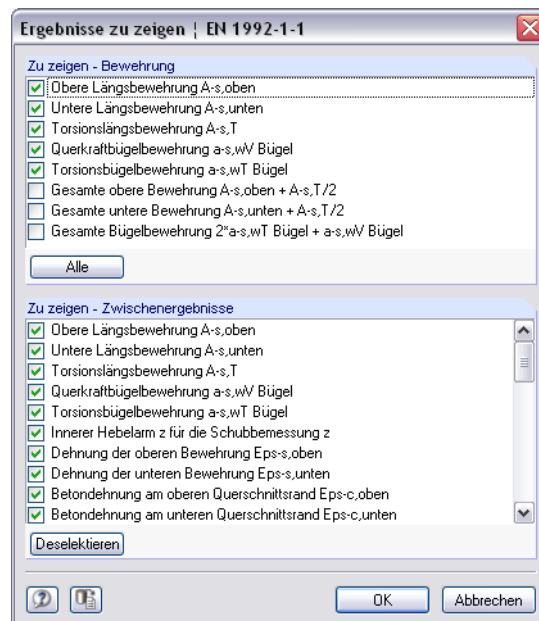


Bild 5.2: Dialog *Ergebnisse zu zeigen*

Stab Nr.

Es wird für jeden Querschnitt und jede Bewehrungsart die Nummer des Stabes angegeben, der die grösste Bewehrungsfläche aufweist.

Stelle x

Es wird jeweils die x-Stelle im Stab angegeben, für die die Maximalbewehrung ermittelt wurde. Zur tabellarischen Ausgabe werden diese RFEM-Stabstellen x herangezogen:

- Anfangs- und Endknoten
- Teilungspunkte gemäss eventuell vorgegebener Stabteilung
- Extremwerte der Schnittgrössen

LF / LG / LK

In dieser Spalte werden die Nummern der Lastfälle, Lastfallgruppen oder Lastfallkombinationen angegeben, die für die jeweilige Bemessung massgebend sind.

Bewehrungsfläche

Spalte E gibt Auskunft über die maximalen Bewehrungsflächen für jede Bewehrungsart. Diese sind zur Erfüllung des Tragsicherheitsnachweises erforderlich.

Die in Spalte F angegebenen *Einheiten* der Bewehrungen lassen sich anpassen über Menü

Einstellungen → **Einheiten und Dezimalstellen**.

Es wird der im Bild 8.6 auf Seite 86 gezeigte Dialog aufgerufen.

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...

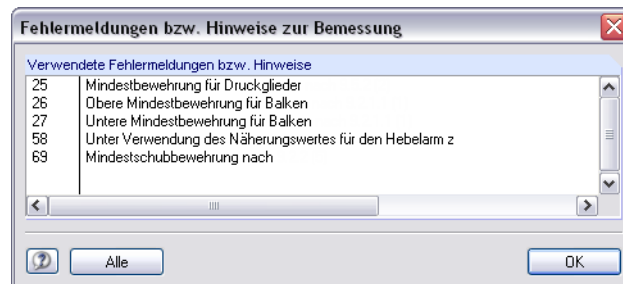


Bild 5.3: Dialog Fehlermeldungen bzw. Hinweise

5.1.2 Erforderliche Bewehrung stabsatzweise

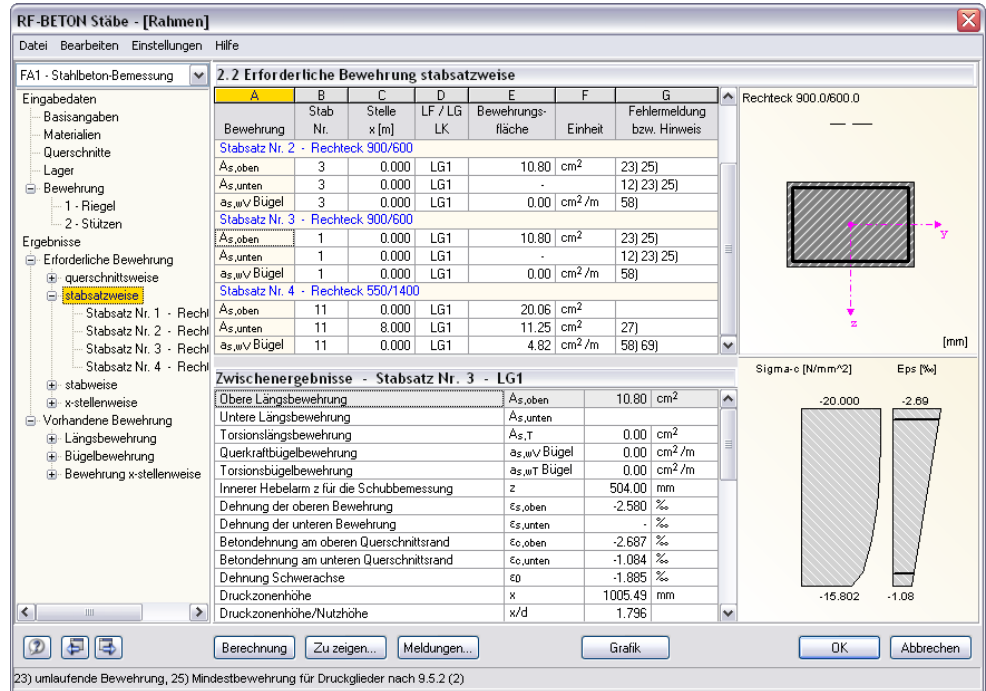


Bild 5.4: Maske 2.2 Erforderliche Bewehrung stabsatzweise

Diese Maske präsentiert die maximalen Bewehrungsflächen, die für die einzelnen Stabsätze erforderlich sind. Die Spalten sind im vorherigen Kapitel 5.1.1 erläutert.

5.1.3 Erforderliche Bewehrung stabweise

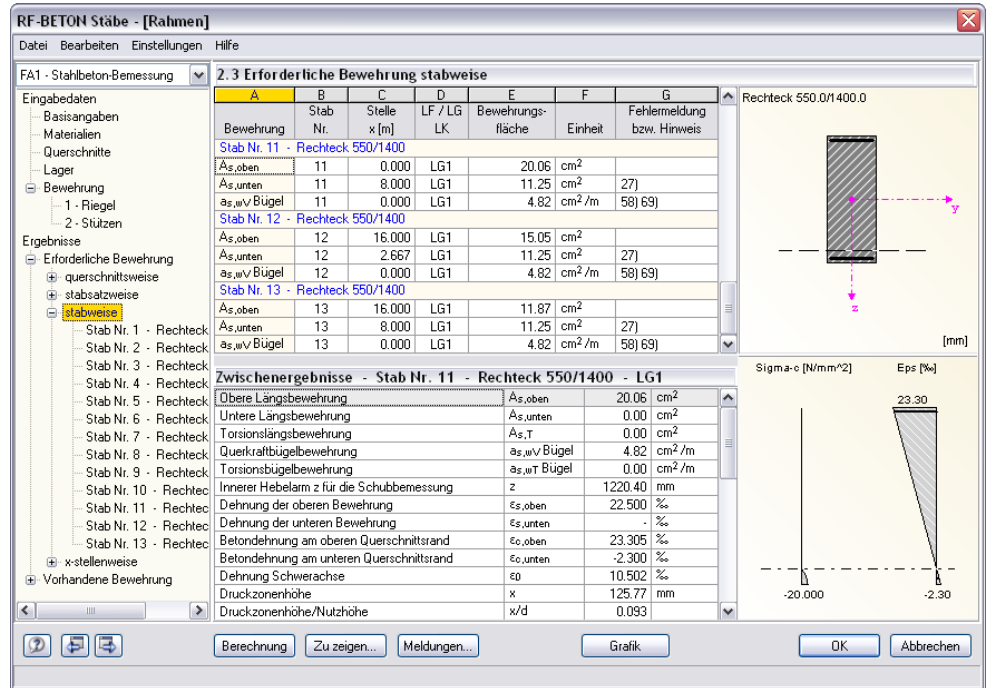


Bild 5.5: Maske 2.3 Erforderliche Bewehrung stabweise

Die maximalen Bewehrungsflächen sind nach Stäben geordnet aufgelistet. Bei Voutenträgern werden beide Querschnittsbezeichnungen neben den Stabnummern angegeben.

5.1.4 Erforderliche Bewehrung x-stellenweise

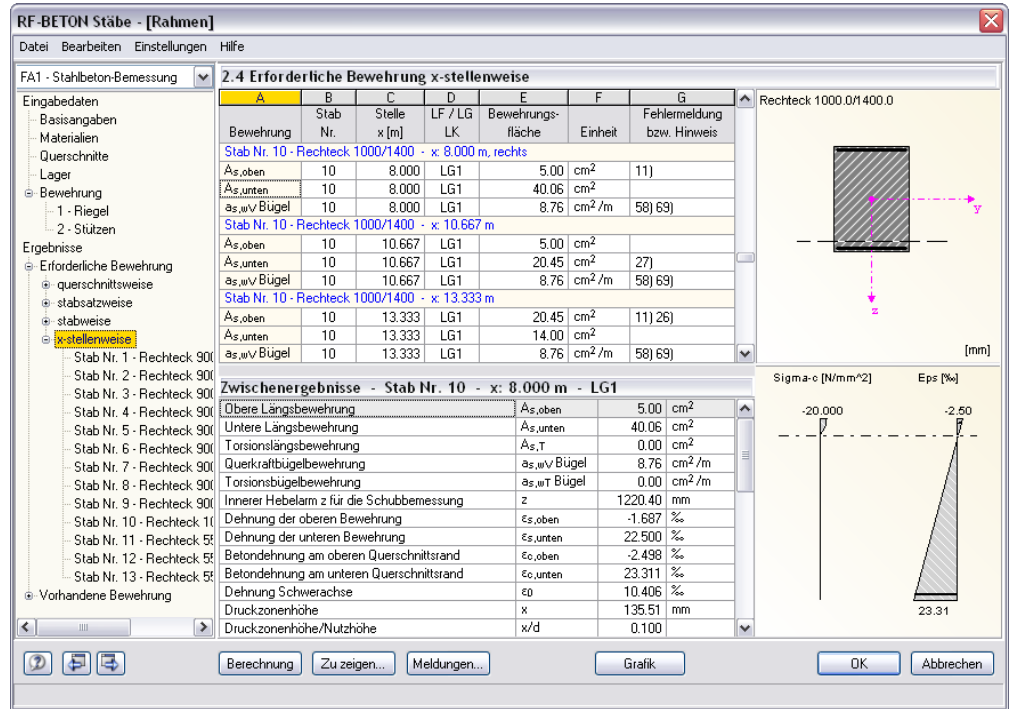


Bild 5.6: Maske 2.4 Erforderliche Bewehrung x-stellenweise

Für jeden Stab werden die erforderlichen Bewehrungsflächen mitsamt Zwischenergebnissen nach x-Stellen geordnet aufgelistet:

- Anfangs- und Endknoten
- Teilungspunkte gemäss eventuell vorgegebener Stabteilung
- Extremwerte der Schnittgrößen

Unstetigkeitsstellen werden gesondert dokumentiert.

Diese Maske bietet die Möglichkeit, gezielt Informationen zu den Bemessungsergebnissen abzurufen. So lässt sich beispielsweise die erforderliche Bügelbewehrung mit den zugehörigen Details für eine bestimmte Stabstelle (Bemessungsschnitt) überprüfen.

Die einzelnen Spalten sind im Kapitel 5.1.1 erläutert.

5.1.5 Erforderliche Bewehrung unbemessbar

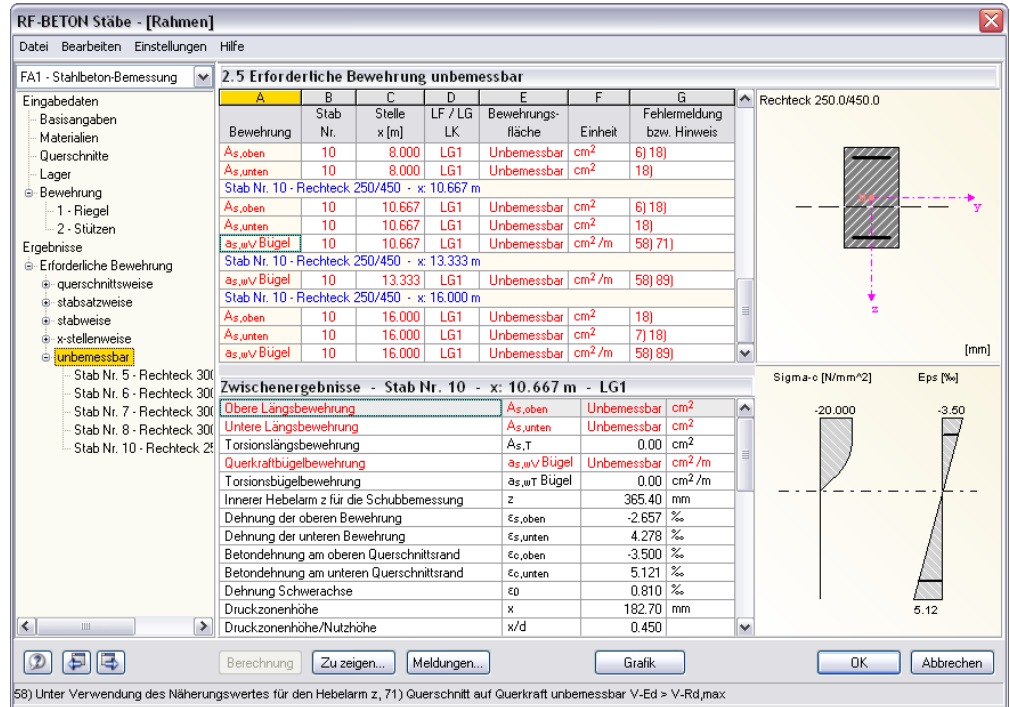


Bild 5.7: Maske 2.5 Erforderliche Bewehrung unbemessbar

Diese Maske wird nur angezeigt, wenn während der Stahlbetonanalyse Unbemessbarkeiten oder Probleme festgestellt wurden. Die Fehlermeldungen sind nach Stäben und x-Stellen geordnet.

Die in Spalte G angegebene Nummer der Fehlermeldung wird in der Fusszeile kommentiert.

Die Schaltfläche [Meldungen] zeigt sämtliche Sonderkonditionen an, die sich während der Bemessung der aktuellen x-Stelle ergeben haben.

Meldungen...

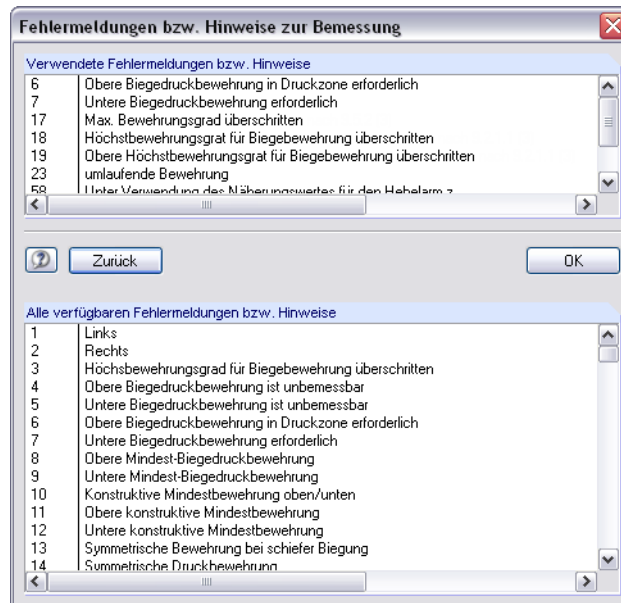


Bild 5.8: Dialog Fehlermeldungen bzw. Hinweise zur Bemessung

Ein Klick auf [Alle] in diesem Dialog zeigt alle verfügbaren Hinweise für RF-BETON Stäbe an.

Alle

5.2 Vorhandene Bewehrung

Die Ergebnismasken 3.1 bis 3.4 erscheinen nur dann, wenn in Maske 1.6 *Bewehrung* die Option *Bewehrungsvorschlag vornehmen* aktiviert wurde (siehe Seite 38) und wenn keine Unbemessbarkeiten vorliegen (siehe Kapitel 5.1.5, Seite 57). Die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit und die nichtlineare Berechnung erfordern ebenfalls die Ermittlung einer vorhandenen Bewehrung.

RF-BETON Stäbe ermittelt mit den Vorgaben in Maske 1.6 einen Bewehrungsvorschlag für die Längs- und Bügelbewehrung. Dabei wird versucht, die erforderliche Bewehrung unter Berücksichtigung der Parameter (vorgegebene Stabdurchmesser, mögliche Anzahl an Bewehrungslagen, Staffelung, Verankerungsart) mit einem möglichst geringen Bedarf an Bewehrungsstäben bzw. -querschnitten abzudecken.

Die vorgeschlagene Bewehrung lässt sich in den Masken *Vorhandene Bewehrung* editieren, sodass Durchmesser, Anzahl, Lage und Länge der einzelnen Bewehrungsgruppen den jeweiligen Erfordernissen angepasst werden können.

5.2.1 Vorhandene Längsbewehrung

Position Nr.	Bewehrungslage	Anzahl Stäbe	ds [mm]	Länge [m]	Stelle x [m] von	Stelle x [m] bis	Verankerung	Gewicht [kg]	Meldung
Stab Nr. 10 - Rechteck 1000/1400									
1	Oben	2	20.00	4.305	12.542	16.847	<input checked="" type="checkbox"/>	21.22	
2	Oben	4	20.00	3.127	-0.216	2.911	<input checked="" type="checkbox"/>	30.83	
3	Oben	4	20.00	6.733	10.114	16.847	<input checked="" type="checkbox"/>	66.39	
4	Oben	4	20.00	6.381	-0.216	6.164	<input checked="" type="checkbox"/>	62.91	
5	Oben	4	20.00	9.699	7.148	16.847	<input checked="" type="checkbox"/>	95.63	
6	Unten	1	25.00	3.502	5.983	9.485	<input checked="" type="checkbox"/>	13.49	
7	Unten	6	20.00	13.260	0.178	13.438	<input checked="" type="checkbox"/>	196.11	
8	Unten	6	20.00	16.793	-0.200	16.593	<input checked="" type="checkbox"/>	248.36	
9	Konstruktiv	12	12.00	16.000	0.000	16.000	<input type="checkbox"/>	170.37	
Stab Nr. 14 - Rechteck 550/900									

Bild 5.9: Maske 3.1 Vorhandene Längsbewehrung

Die Ausgabe der vorhandenen Bewehrung erfolgt stab- und stabsatzweise nach *Positionen* (Bewehrungsgruppen) geordnet.

Im unteren Abschnitt wird die Bewehrung grafisch mit Positionsstäben skizziert. Die aktuelle Position (die Zeile im Abschnitt oben, in der sich der Cursor befindet) ist rot gekennzeichnet. Änderungen bei den Parametern im Abschnitt oben werden sofort grafisch umgesetzt.

Der Bewehrungsvorschlag berücksichtigt auch konstruktive Vorschriften. Nach SIA 262 5.5.2.5 ist beispielsweise in den Auflagerbereichen mindestens 25% der im Feld erforderlichen Gurtbewehrung zu verankern.

Position Nr.

Die Auflistung erfolgt nach *Positionen* geordnet, die jeweils gleiche Eigenschaften besitzen (Durchmesser, Länge).

Die Positionen aller Stäbe und Stabsätze werden in Maske 3.4 *Stahl*liste zusammengefasst.

Bewehrungslage

Diese Spalte gibt die Lage der Bewehrung im Querschnitt an:

- Oben
- Unten
- In Ecken
- Umlaufend
- Konstruktiv

Für die Anordnung der Bewehrung berücksichtigt RF-BETON Stäbe die Benutzervorgaben in Maske 1.6 *Bewehrung*, Register *Bewehrungsanordnung* (siehe Kapitel 3.6.3, Seite 42).

Anzahl Stäbe

Die Anzahl der Bewehrungsstäbe einer Position ist editierbar: Selektieren Sie die Zelle und klicken dann die Schaltfläche [...] an, um den Bearbeitungsdialog zu öffnen.

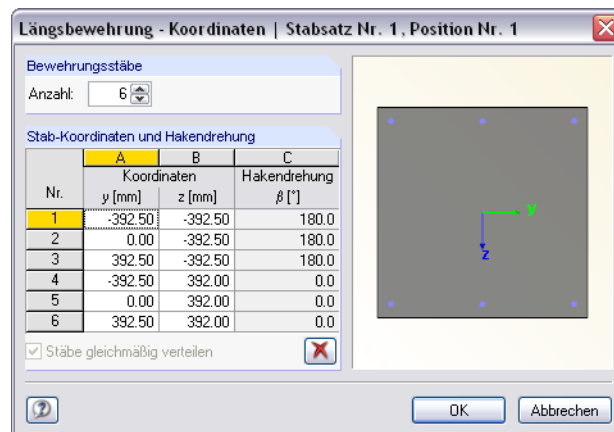


Bild 5.10: Dialog *Längsbewehrung - Koordinaten*

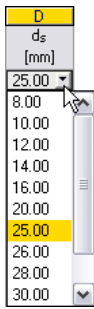


Die *Anzahl* der Bewehrungsstäbe lässt sich manuell über die Drehfelder oder durch die Vorgabe einer anderen Anzahl ändern. Über die diversen Eingabezeilen im unteren Abschnitt kann anschliessend die Lage eines jeden Bewehrungsstabes angepasst werden. Die Schaltfläche [Löschen] entfernt die im unteren Abschnitt selektierte Zeile.

Die Lage eines Bewehrungsstabes wird anhand seiner *Stab-Koordinaten* festgelegt: Die Koordinaten y und z geben den globalen Abstand vom Querschnittsschwerpunkt an, der Winkel β beschreibt die Neigung gegen die Stablängsachse für die Verankerungstypen „Haken“ und „Winkelhaken“. Eine *Hakendrehung* um den Winkel β = 90 ° beispielsweise bewirkt bei der oberen Bewehrung eine Drehung nach unten (d. h. in Richtung z), der Winkel β = 270 ° dreht das Verankerungsende der unteren Bewehrung nach oben. Für den Verankerungstyp „Gerade“ ist die Spalte C bedeutungslos.



Bei Änderungen der Hakendrehung empfiehlt sich eine anschliessende Kontrolle über das [3D-Rendering].



φ

Die verwendeten Stabdurchmesser wirken sich auf die Berechnung des inneren Hebels der Kräfte und die Anzahl von Bewehrungsstäben je Lage aus. Über die Liste lässt sich der Stabdurchmesser für die aktuelle Positionsnummer ändern.

Länge

In dieser Spalte wird für jede Position die Gesamtlänge eines repräsentativen Bewehrungsstabes angezeigt. Die Angabe, die sich aus der erforderlichen Stablänge und den Verankerungslängen an beiden Stabenden zusammensetzt, kann hier nicht editiert werden.

Stelle x von ... bis

Diese Werte geben die rechnerischen Anfangs- und Endpositionen des Bewehrungsstabes an. Sie sind auf den Stabanfangsknoten von RFEM (x = 0) bezogen. Bei der Ermittlung dieser Masse werden die Lagerbedingungen und Verankerungslängen l₁ und l₂ berücksichtigt.

Die Angaben können in diesen beiden Spalten nicht geändert werden. Dies ist nur über die Schaltfläche [Bearbeiten] im unteren Grafikabschnitt möglich (siehe Bild 5.12, Seite 62).



Verankerung

Die Verankerungslängen des Bewehrungsvorschlags können über die Liste geändert werden. Die Option *Details* ruft folgenden Bearbeitungsdialog auf.

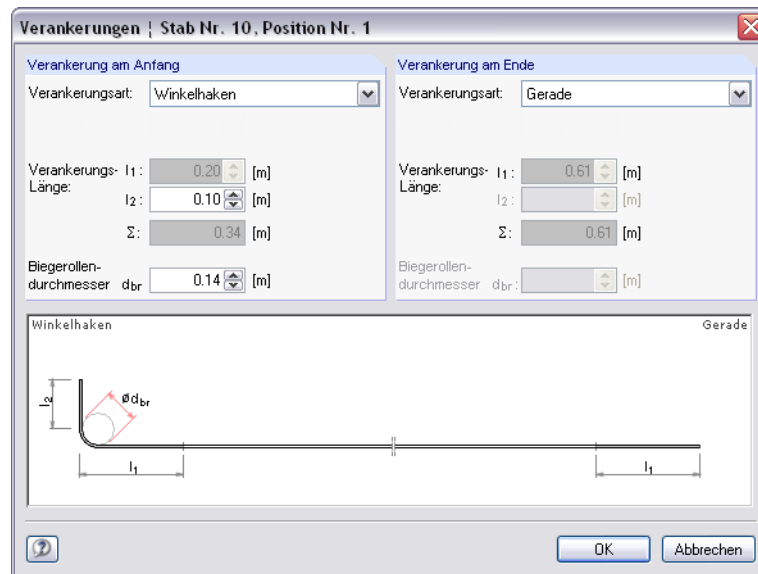


Bild 5.11: Dialog *Verankerungen*

Dieser Dialog verwaltet die Parameter der *Verankerung am Anfang* und am *Ende* des Bewehrungsstabes.

Über die Liste kann jeweils die *Verankerungsart* angepasst werden. Die Verankerungsart ist im Kapitel 3.6.1 auf Seite 39 beschrieben.

Der Bemessungswert der Verbundspannung beträgt:

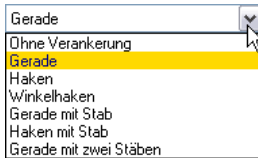
$$f_{bd} = \frac{1,4 \cdot f_{ctm}}{\gamma_c} \quad \text{SIA 262 5.2.5.2 (88)}$$

Der Grundwert der Verankerungslänge für Verankerungen in der Zugzone beträgt:

$$l_{bd,net} = \frac{\sigma_{sd}}{4 \cdot f_{bd}} \geq 25\phi \quad \text{SIA 262 5.2.5.3 (89)}$$

Der Grundwert der Verankerungslänge $l_{bd,net}$ wird in jedem Schnitt gerechnet und der Bemessungswert der Fließgrenze von Betonstahl f_{sd} wird in so einem Schnitt mit dem wirklichen Wert der Stahlbetonspannung σ_{sd} ersetzt.

Für die angebotenen Verankerungsarten nach SIA 5.2.5.4 – 6 gilt:



- Gerade $l_{bd} = l_{bd,net}$
- Haken $l_{bd} = 0,70 \cdot l_{bd,net} \geq 15\emptyset$
- Winkelhaken $l_{bd} = 0,70 \cdot l_{bd,net} \geq 15\emptyset$
- Gerade mit Stab $l_{bd} = 0,85 \cdot l_{bd,net} \geq 15\emptyset$
- Haken mit Stab $l_{bd} = 0,70 \cdot l_{bd,net} \geq 15\emptyset$
- Gerade mit zwei Stäben $l_{bd} = 0,70 \cdot l_{bd,net} \geq 15\emptyset$

Zur Kontrolle wird der Bemessungswert der Verankerungslänge l_{bd} angezeigt.

Bei Haken und Winkelhaken wird die *Verankerungslänge* l_2 als 5ϕ betragen.

Der erforderliche *Biegerollendurchmesser* d_b wird gemäss SIA 5.2.4.1 angegeben und kann gegebenenfalls angepasst werden.

$$\begin{aligned} \text{Haken, Winkelhaken} \quad d_2 &= 6\emptyset \quad \text{für Stäbe} \leq 20\text{mm} \\ &= 8\emptyset \quad \text{für Stäbe} > 20\text{mm und} \leq 30\text{mm} \\ &= 10\emptyset \quad \text{für Stäbe} > 30\text{mm und} \leq 40\text{mm} \end{aligned}$$

Die gesamte Verankerungslänge Σ an jedem Stabende wird aus den jeweiligen Anteilen gebildet.

Gewicht

Die Spalte I der Maske 3.1 gibt für jede Position die Masse sämtlicher Bewehrungsstäbe an.

Meldung

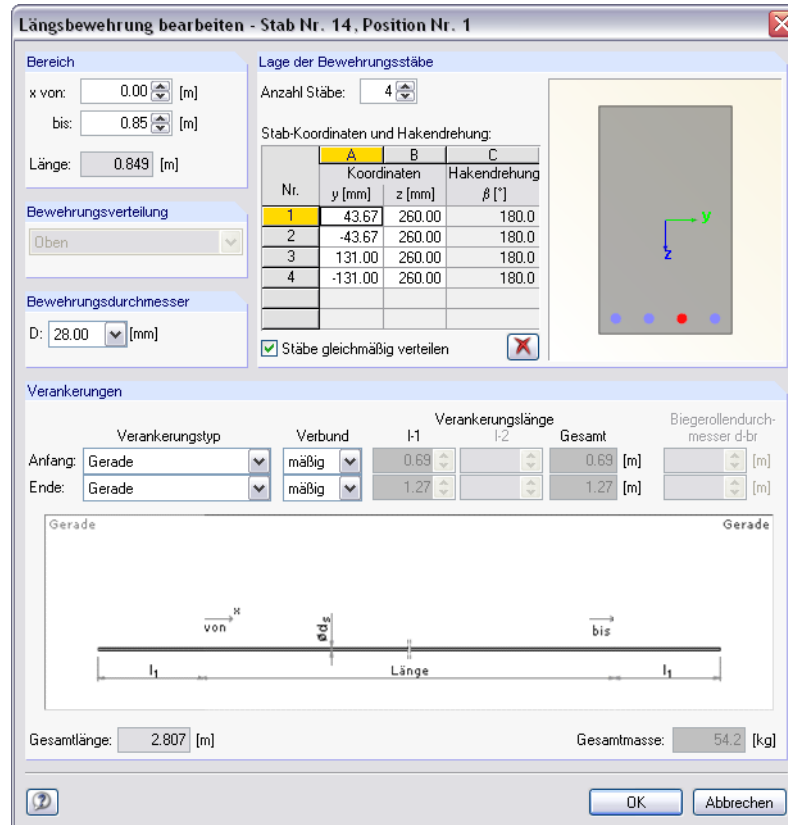
Falls eine Fussnote in der letzten Spalte angezeigt wird, liegt eine Sonderbedingung vor. Die Nummern sind in der Statusleiste näher erläutert.

Meldungen...

Alle [Meldungen] der aktuellen Position lassen sich über die links dargestellte Schaltfläche einsehen. Es erscheint ein informativer Dialog mit einer Übersicht (vgl. Bild 5.3, Seite 54).

Bewehrungsvorschlag ändern

Im unteren Abschnitt der Maske 3.1 wird die Bewehrung mit Positionsstäben skizziert. Die aktuelle Bewehrungsposition (die Zeile, in der sich der Cursor im Abschnitt oben befindet) ist rot hervorgehoben. Ein Klick auf die Schaltfläche [Bearbeiten] rechts unten in der Grafik ruft den Bearbeitungsdialog dieser Position auf.



Längsbewehrung bearbeiten - Stab Nr. 14, Position Nr. 1

Bereich
 x von: 0.00 [m]
 bis: 0.85 [m]
 Länge: 0.849 [m]

Bewehrungsverteilung
 Oben

Bewehrungsdurchmesser
 D: 28.00 [mm]

Lage der Bewehrungsstäbe
 Anzahl Stäbe: 4

Stab-Koordinaten und Hakendrehung:

Nr.	Koordinaten		Hakendrehung
	y [mm]	z [mm]	β [°]
1	43.67	260.00	180.0
2	-43.67	260.00	180.0
3	131.00	260.00	180.0
4	-131.00	260.00	180.0

Stäbe gleichmäßig verteilen

Verankerungen

Anfang:	Verankerungstyp	Verbund	Verankerungslänge			Biegerollendurchmesser d-br
			I-1	I-2	Gesamt	
Gerade	Gerade	mäßig	0.69		0.69 [m]	
Ende:	Gerade	mäßig	1.27		1.27 [m]	

Gesamtlänge: 2.807 [m] Gesamtmasse: 54.2 [kg]

OK Abbrechen

Bild 5.12: Dialog *Längsbewehrung bearbeiten*

In diesem Dialog sind die bereits beschriebenen Bewehrungsparameter zusammenfasst. Hier lassen sich die Angaben zu *Bereich*, *Lage der Bewehrungsstäbe*, *Bewehrungsdurchmesser* und *Verankerungen* kontrollieren und gegebenenfalls modifizieren.

Berechnung

Bei Änderungen werden die zu führenden Nachweise automatisch mit der neuen vorhandenen Bewehrung nochmals berechnet. Eine Ausnahme gilt für die Ergebnisse nichtlinearer Analysen: Diese werden gelöscht und es ist erneut eine manuelle [Berechnung] erforderlich.

5.2.2 Vorhandene Bügelbewehrung

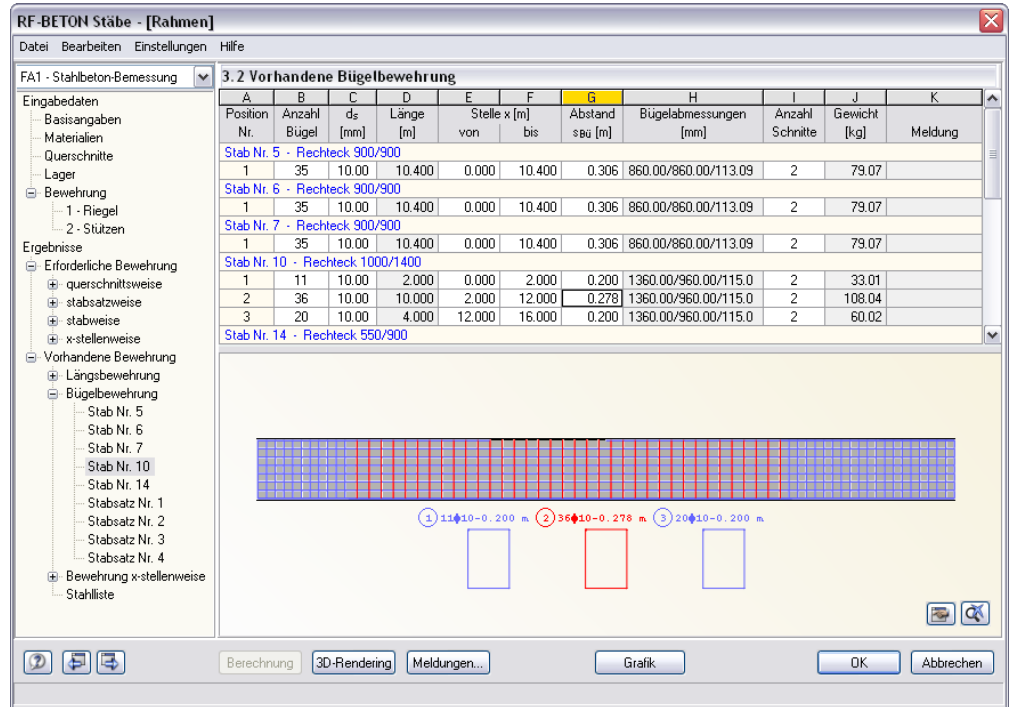


Bild 5.13: Maske 3.2 Vorhandene Bügelbewehrung

Wie die Längsbewehrung wird die vorhandene Bügelbewehrung stab- und stabsatzweise nach *Positionen* (Bewehrungsgruppen) geordnet ausgegeben.

Im unteren Abschnitt wird die Bewehrung grafisch mit Positionsbügeln skizziert. Die aktuelle Position (die Zeile im Abschnitt oben, in der sich der Cursor befindet) ist rot gekennzeichnet. Änderungen bei den Parametern im Abschnitt oben werden sofort grafisch umgesetzt.

Der Bewehrungsvorschlag berücksichtigt auch konstruktive Vorschriften. Nach SIA 262 5.5.2.2 sind beispielsweise in Balken stets Bügel anzuordnen, deren gegenseitiger Abstand 25ϕ nicht übersteigt und deren Querschnitt mindestens 0,2% des zugehörigen Betonquerschnitts betragen soll. Bei breiten Stegen darf die Stegbreite mit maximal 400 mm in Rechnung gestellt werden.

Position Nr.

Die Auflistung erfolgt nach *Positionen* geordnet, die jeweils gleiche Eigenschaften besitzen (Durchmesser, Abstand).

Die Positionen aller Stäbe und Stabsätze werden in Maske 3.4 *Stahlliste* zusammengefasst.

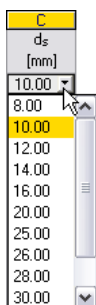
Anzahl Bügel

Bei Ermittlung der Bügelbewehrung berücksichtigt RF-BETON Stäbe die Benutzervorgaben der Maske 1.6 *Bewehrung*, Register *Bügel* (siehe Kapitel 3.6.2, Seite 40).

Die Anzahl der Bügel einer Position ist editierbar: Nach einem Klick in die Zelle ist einfach ein anderer Wert einzutragen. Der Bügelabstand (Spalte G) wird dabei automatisch umgerechnet.



Der Bewehrungsvorschlag benutzt die Vorgaben der Maske 1.6 *Bewehrung*, Register *Bügel*. Über die Liste lässt sich der Stabdurchmesser für die aktuelle Positionsnummer ändern.





Länge

In Spalte D wird für jede Position die Gesamtlänge des Bügelbereichs angezeigt. Sie ermittelt sich aus den Anfangs- und Endstellen x und kann in dieser Spalte nicht editiert werden. Dies ist nur über die Schaltfläche [Bearbeiten] im Grafikabschnitt möglich (siehe Bild 5.14, Seite 65).

Stelle x von ... bis

Diese Werte geben die Anfangs- und Endpositionen des Bewehrungsbereichs an. Sie sind auf den Stabanfangsknoten von RFEM ($x = 0$) bezogen. Die Einträge in diesen beiden Spalten sind editierbar, sodass die Bereichsgrenzen durch Ändern der Werte verschoben werden können.

Um einen Bereich zu unterteilen, ist bei der Anfangs- oder Endposition eine Stelle x einzutragen, die zwischen den beiden Werten liegt. RF-BETON Stäbe legt dann automatisch einen neuen Bügelbereich an.

Abstand $s_{Bü}$

Der vorgeschlagene Bügelabstand berücksichtigt die Vorgaben der Maske 1.6 *Bewehrung*, Register *Bügel* (siehe Kapitel 3.6.2, Seite 40). Dieser Wert ist editierbar: Nach einem Klick in die Zelle ist einfach ein anderer Abstand einzutragen. Die Bügelanzahl (Spalte B) wird dabei automatisch angepasst. Der exakte Bügelabstand wiederum errechnet sich dann auf Basis einer ganzzahligen Bügelmenge.

Bügelabmessungen

In dieser Spalte werden die Bügelmasse in der Form „Höhe/Breite/Verankerungslänge“ angegeben. RF-BETON Stäbe berücksichtigt die vorgegebenen Stabdurchmesser und Betondeckungen. Die Werte sind nicht editierbar.

Anzahl Schnitte

Die Schnittigkeit der Bügel basiert auf den Vorgaben der Maske 1.6 *Bewehrung*, Register *Bügel* (siehe Kapitel 3.6.2, Seite 40). Über die Liste kann die Anzahl der Schnitte geändert werden.



Gewicht

Die Spalte J der Maske 3.2 gibt für jede Position die Masse aller Bügelbewehrungsstäbe an.

Meldung

Falls eine Fussnote in der letzten Spalte angezeigt wird, liegt eine Sonderbedingung vor. Die Nummern sind in der Statusleiste näher erläutert.

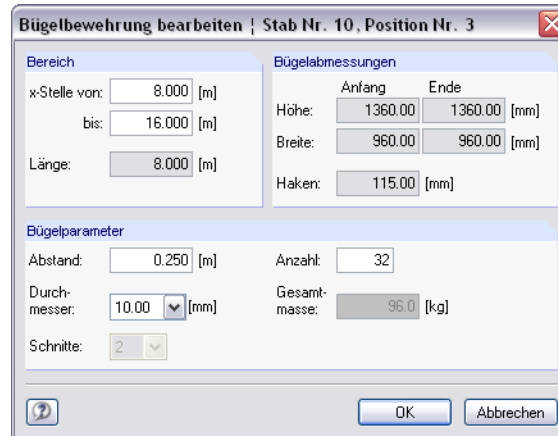
Meldungen...

Alle [Meldungen] der aktuellen Position lassen sich über die links dargestellte Schaltfläche einsehen. Es erscheint ein informativer Dialog mit einer Übersicht (vgl. Bild 5.3, Seite 54).

Bewehrungsvorschlag ändern



Im unteren Abschnitt der Maske 3.2 wird die Bewehrung mit Positionsbügeln skizziert. Die aktuelle Bewehrungsposition (die Zeile, in der sich der Cursor im Abschnitt oben befindet) ist rot hervorgehoben. Ein Klick auf die Schaltfläche [Bearbeiten] rechts unten in der Grafik ruft den Bearbeitungsdialog dieser Position auf.



Bereich		Bügelabmessungen	
x-Stelle von:	8.000 [m]	Anfang	Ende
bis:	16.000 [m]	Höhe:	1360.00 [mm]
Länge:	8.000 [m]	Breite:	960.00 [mm]
		Haken:	115.00 [mm]

Bügelparameter	
Abstand:	0.250 [m]
Anzahl:	32
Durchmesser:	10.00 [mm]
Gesamtmasse:	96.0 [kg]
Schnitte:	2

Bild 5.14: Dialog *Bügelbewehrung bearbeiten*

In diesem Dialog sind die bereits beschriebenen Bewehrungsparameter zusammengefasst. Hier lassen sich die Angaben zu *Bereich*, *Bügelabmessungen* und *Bügelparameter* kontrollieren und gegebenenfalls modifizieren.

Berechnung

Bei Änderungen werden die zu führenden Nachweise automatisch mit der neuen vorhandenen Bügelbewehrung nochmals berechnet. Eine Ausnahme gilt hierbei für die Ergebnisse nichtlinearer Analysen: Diese werden gelöscht und es ist erneut eine manuelle [Berechnung] erforderlich.

5.2.3 Vorhandene Bewehrung x-stellenweise

Diese Maske gibt Auskunft über die eingehaltenen oder nicht erfüllten Nachweise der Tragfähigkeit. Ein grosser Vorteil liegt in der Dynamik der Sicherheitsnachweise: Bei Änderungen an den vorhandenen Bewehrungen werden die Nachweise automatisch aktualisiert.

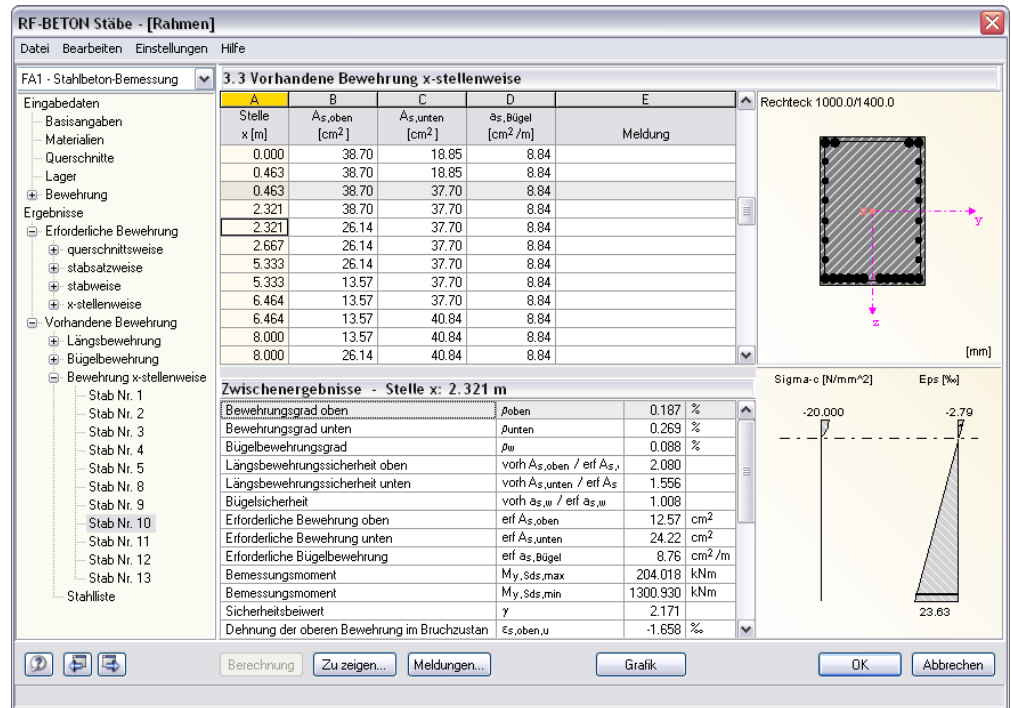


Bild 5.15: Maske 3.3 Vorhandene Bewehrung x-stellenweise

Im oberen Abschnitt werden die Längs- und Bügelbewehrungsquerschnitte für jede Stabstelle x aufgelistet.

Stelle x

Die vorhandenen Bewehrungsflächen sind für jeden Stab nach x-Stellen geordnet:

- Anfangs- und Endknoten
- Teilungspunkte gemäss eventuell vorgegebener Stabteilung
- Extremwerte der Schnittgrössen

Bei gestaffelten Bewehrungen erscheinen die x-Stellen zweifach für die Bereichsgrenzen.

$A_{s, oben}$

Dieser Wert gibt den Bewehrungsquerschnitt der vorhandenen oberen Längsbewehrung an.

$A_{s, unten}$

Dieser Wert repräsentiert den Bewehrungsquerschnitt der vorhandenen unteren Längsbewehrung.

$a_{s, Bügel}$

In dieser Spalte wird der Querschnitt der vorhandenen Bügelbewehrung angegeben.

Die *Zwischenergebnisse* im unteren Abschnitt ermöglichen eine detaillierte Bewertung der geführten Nachweise. Hier werden die Bemessungsdetails der aktuellen (d. h. im Abschnitt oben aktiven) Stelle x mit allen nachweisrelevanten Parametern ausgewiesen.

Zu zeigen...

Über die Schaltfläche [Zu zeigen] lassen sich die angezeigten Ergebnisparameter reduzieren.

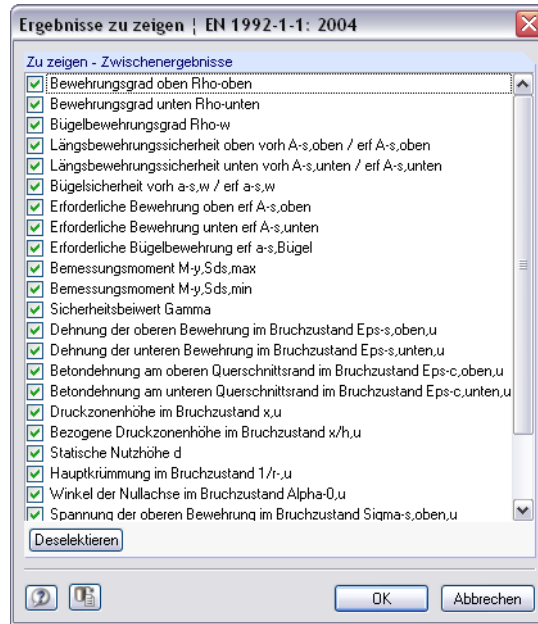


Bild 5.16: Dialog *Ergebnisse zu zeigen*

Die Zwischenergebnisse geben Auskunft über den *Bewehrungsgrad* und die *Sicherheit* der gewählten Bewehrung, d. h. dem Verhältnis von vorhandener zu erforderlicher Bewehrung. Dabei wird die Sicherheit der Längsbewehrung mit einem vergrößerten Moment nachgewiesen, das das Versatzmass berücksichtigt.

5.2.4 Stahlliste

In einer Übersicht werden die vorhandenen Bewehrungsstäbe zusammengestellt. Diese Tabelle ist nicht editierbar.

3.4 Stahlliste										
A	B	C	D	E	F	G		H	I	J
Position Nr.	Bewehrungs- typ	d _s [mm]	Ober- fläche	Anzahl Stäbe	Länge [m]	Verankerungstyp		Biegerollen- durchmesser [m]	Gewicht [kg]	
Material Nr. 2 - Betonstahl BS1 500 S (A)										
1	Längs	12.0	Gerippt	12	16.000	Ohne Verankerung	Ohne Verankerung			170.4
2	Längs	12.0	Gerippt	8	8.000	Ohne Verankerung	Ohne Verankerung			56.8
3	Längs	20.0	Gerippt	48	10.800	Gerade	Gerade			1277.8
4	Längs	20.0	Gerippt	3	16.518	Gerade	Gerade			122.1
5	Längs	20.0	Gerippt	6	16.694	Winkelhaken	Winkelhaken	0.140		246.9
6	Längs	20.0	Gerippt	2	8.400	Gerade	Gerade			41.4
7	Längs	20.0	Gerippt	2	8.536	Winkelhaken	Gerade	0.140		42.1
8	Bügel	10.0	Gerippt	18	4.866	Haken	Haken	0.040		54.0
9	Bügel	10.0	Gerippt	14	2.966	Haken	Haken	0.040		25.6
10	Bügel	10.0	Gerippt	112	3.666	Haken	Haken	0.040		253.0
11	Bügel	10.0	Gerippt	56	3.066	Haken	Haken	0.040		105.8
Summe					281					2395.9

Bild 5.17: Maske 3.4 *Stahlliste*

Position Nr.

Die Auflistung der Bewehrungsstäbe erfolgt nach *Positionen* geordnet, die jeweils gleiche Eigenschaften besitzen (Durchmesser, Länge, Verankerungstyp etc.)

Die Positionsnummern sind in der Regel nicht mit den Nummern der Masken 3.1 und 3.2 identisch.

Bewehrungstyp

Diese Spalte gibt an, ob es sich um eine *Längs-* oder eine *Bügel-*Bewehrung handelt.

ϕ

Spalte C benennt die verwendeten Stabdurchmesser.

Oberfläche

In dieser Spalte wird angegeben, ob die Oberfläche des Bewehrungsstahls *Gerippt* oder *Glatt* ist.

Anzahl Stäbe

Die Anzahl gleichartiger Bewehrungsstäbe einer jeden Position kann in Spalte E abgelesen werden.

Länge

In dieser Spalte wird für jede Position die Gesamtlänge eines repräsentativen Bewehrungsstabes angegeben.

Verankerungstyp Anfang / Ende

Diese beiden Spalten informieren über die Verankerungstypen am Anfang und Ende der Bewehrungsstäbe (*Ohne Verankerung, Gerade, Haken, Winkelhaken* etc.)

Biegerollendurchmesser

Bei Bügeln und Haken wird der Biegerollendurchmesser d_{br} in Spalte I angegeben.

Gewicht

Die letzte Spalte gibt für jede Position die Masse sämtlicher Bewehrungsstäbe an.

Summe

Am Ende der Stahlliste wird neben der Gesamtanzahl der Bewehrungsstäbe die Masse des insgesamt benötigten Stahls angegeben. Diese ermittelt sich aus den Werten der einzelnen Positionen oberhalb.

5.3 Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Die Ergebnismasken 4.1 bis 4.4 erscheinen nur dann, wenn in Maske 1.1 die Bemessung für *Gebrauchstauglichkeit* aktiviert wurde (siehe Kapitel 3.1.2, Seite 27) und wenn keine Unbemessbarkeiten vorliegen (siehe Kapitel 5.1.5, Seite 57 und Kapitel 5.2.3, Seite 66).

Die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit werden mit der Bewehrungsanordnung geführt, die in den Masken 3.1 und 3.2 als *Vorhandene Bewehrung* vorliegt.

5.3.1 Gebrauchstauglichkeitsnachweis querschnittsweise

Quersc. Nr.	Stab Nr.	Stelle x [m]	LF / LG LK	σ_s [N/mm ²]	σ_c [N/mm ²]	min A _s [cm ²]	Stababstand lim s ₁ [mm]	Rissbreite max w _k [mm]	Durchbiegung u _{1,2} [mm]	Meldung
1	2	4.400	LG1	-3.6	-5.9	0.00	300.00	0.00	4.17	204)
2	8	0.000	LG1	-0.8	-5.8	0.00	300.00	0.00	0.00	204)
3	10	8.000	LG1	262.7	-10.4	54.13	290.69	0.29	36.14	331)
4	11	0.000	LG1	213.1	-9.2	35.03	300.00	0.17	7.51	
5	13	16.000	LG1	264.4	-12.4	22.52	287.81	0.26	5.40	
Maßgebend:										
5	13	16.000	LG1	264.4	-12.4	22.52	287.81	0.26	5.40	

Bild 5.18: Maske 4.1 Gebrauchstauglichkeitsnachweis querschnittsweise

Es werden die Extremwerte der diversen Kriterien angegeben, die für die Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen sind. Diese resultieren aus den Parametern der Bewehrungsätze zur Rissbreitenbegrenzung (siehe Kapitel 3.6.4, Seite 43), der vorhandenen Bewehrung und den Schnittgrößen der massgebenden Einwirkungen.

Für die Auswertung dieser Ausgabemaske beachten Sie bitte die Erläuterungen zum Dialog *Einstellungen für Auslegung der Bewehrung* auf Seite 45.

Querschnitt Nr.

Die Nachweise sind nach Querschnittsnummern geordnet. Die letzte Zeile der Tabelle gibt an, welcher Querschnitt *massgebend* für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit ist.

Stab Nr.

In dieser Spalte wird die Nummer des Stabes angegeben, der für jeden Querschnittstyp die Extremwerte liefert.

Stelle x

Es wird jeweils die x-Stelle im Stab angegeben, an der die ungünstigsten Werte auftreten. Die Abstände beziehen sich auf den Anfangsknoten des massgebenden Stabes.

LF / LG / LK

In dieser Spalte werden die Nummern der Lastfälle, Lastfallgruppen oder -kombinationen angegeben, die für die einzelnen Nachweise massgebend sind.

 σ_s

Diese Werte drücken die Spannungen in der Bewehrung bei gerissener Zugzone aus, die sich aus dem Produkt von Stahldehnung und E-Modul ermitteln:

$$\sigma_s = \varepsilon_s \cdot E_s$$

 σ_c

In dieser Spalte werden die Betonspannungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit angegeben.

min As

Die Mindestquerschnittsfläche der Betonstabstahlbewehrung nach SIA 262 4.4.2 beträgt:

$$A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s}$$

mit k_c	Beiwert zur Berücksichtigung der Spannungsverteilung im Querschnitt vor der Erstrissbildung
k	Beiwert zur Berücksichtigung von nichtlinear über den Querschnitt verteilten Eigenspannungen
$f_{ct,eff}$	Mittelwert der wirksamen Betonzugfestigkeit beim Auftreten der Risse
A_{ct}	Betonzugzone im ungerissenen Zustand bei Erstrissbildung
$f_{ct,eff}$	Wirksame Betonzugfestigkeit zum massgebenden Zeitpunkt
σ_s	Zulässige Stahlspannung unmittelbar nach der Rissbildung (ggf. in Abhängigkeit vom Grenzdurchmesser oder Höchstwert der Stababstände)

Stababstand $l_{im s_1}$

Der maximale Stababstand $max s_1$ wird nach [17] 10.15 berechnet.

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

Rissbreite $max w_k$

Nachweis der Rissbreite wird gemäss SIA 262 4.4.2 bestimmt.

Durchbiegung $u_{l,z}$

In der vorletzten Spalte wird jeweils der Absolutwert der Verformung angegeben, der in Richtung der lokalen Stabachse z vorliegt.

Die zulässige relative Durchbiegung wird im Dialog *Einstellungen für die Auslegung der Längsbewehrung* (siehe Bild 3.24, Seite 45) verwaltet.

Meldungen...

Meldung

Die letzte Spalte verweist auf Probleme oder Bemerkungen, die sich bei der Durchführung der Nachweise ergeben haben. Die Nummern sind in der Statusleiste näher erläutert.

Alle [Meldungen] der aktuellen Gebrauchstauglichkeitsanalyse lassen sich zusammengefasst über die links gezeigte Schaltfläche einsehen. Es erscheint ein informativer Dialog mit einer Übersicht.



Bild 5.19: Dialog Fehlermeldungen bzw. Hinweise zur Bemessung

5.3.2 Gebrauchstauglichkeitsnachweis stabsatzweise

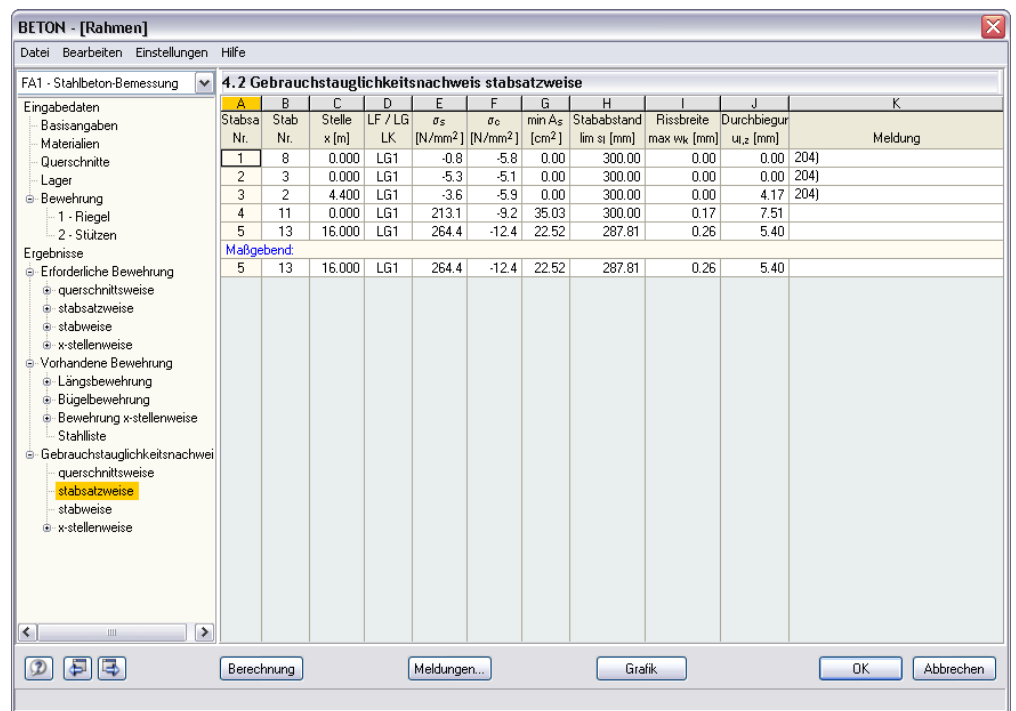


Bild 5.20: Maske 4.2 Gebrauchstauglichkeitsnachweis stabsatzweise

Wurden Stabsätze zur Bemessung ausgewählt, so werden in dieser Maske die massgebenden Gebrauchstauglichkeitsnachweise nach Stabsätzen geordnet ausgegeben.

Die einzelnen Spalten sind im vorherigen Kapitel 5.3.1 erläutert.

5.3.3 Gebrauchstauglichkeitsnachweis stabweise

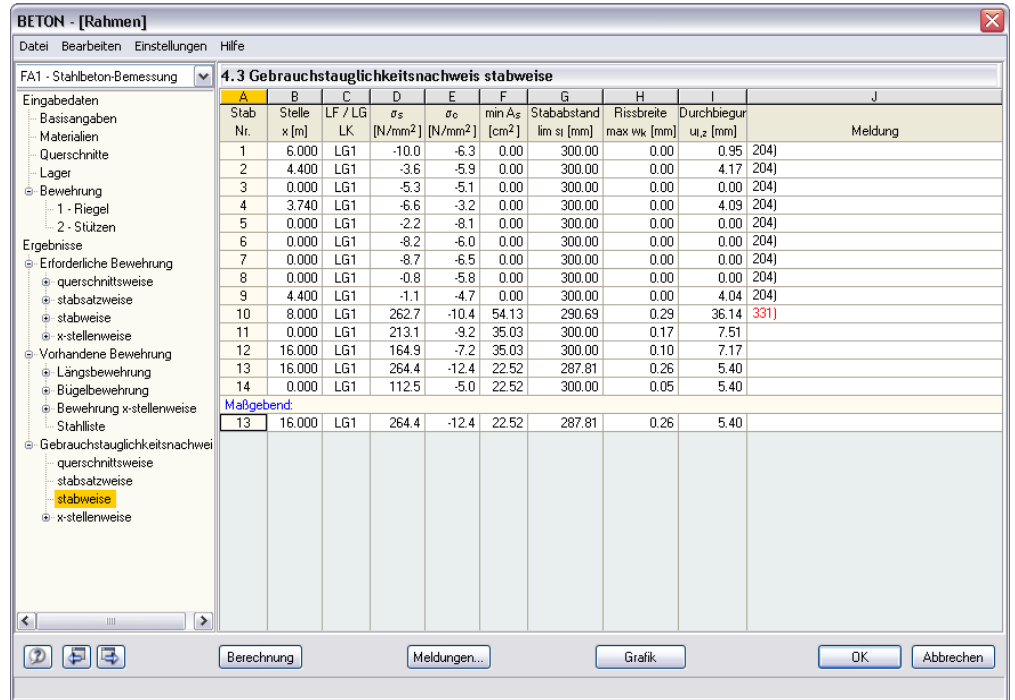


Bild 5.21: Maske 4.3 Gebrauchstauglichkeitsnachweis stabweise

In dieser Maske erfolgt die Ausgabe der Rissbreitennachweise nach Stäben geordnet. Die einzelnen Spalten entsprechen denen der Maske 4.1. Sie sind im Kapitel 5.3.1 erläutert.

5.3.4 Gebrauchstauglichkeitsnachweis x-stellenweise

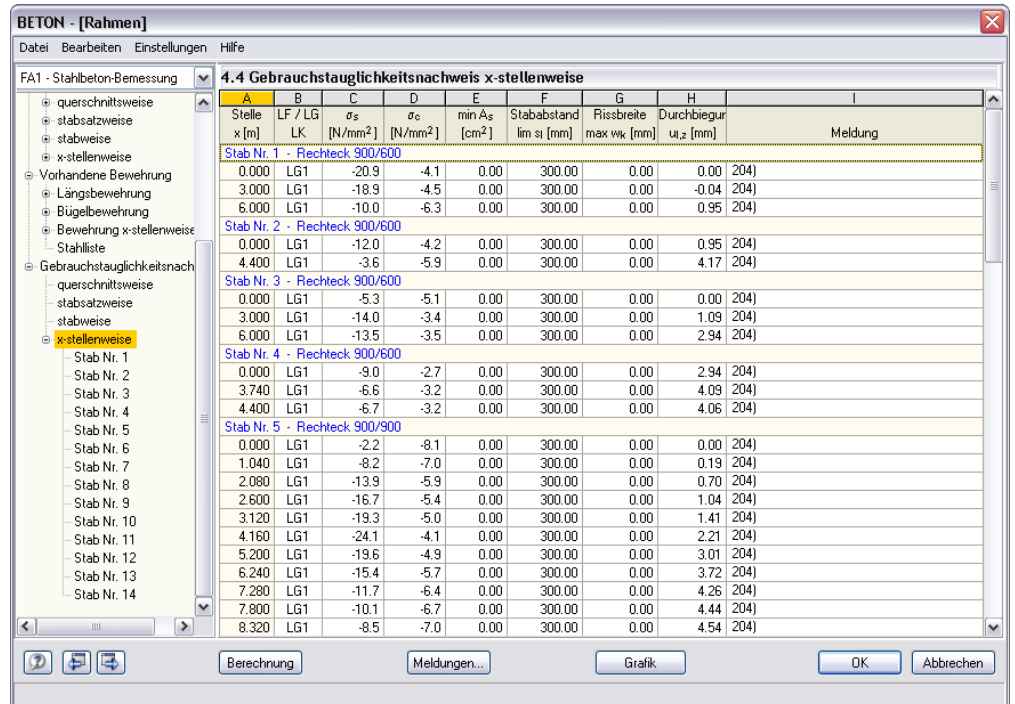


Bild 5.22: Maske 4.4 Gebrauchstauglichkeitsnachweis x-stellenweise

Diese Maske listet die diversen Nachweise (siehe Kapitel 5.3.1) detailliert nach x-Stellen auf.

6 Ergebnisauswertung

Nach der Bemessung lassen sich die Ergebnisse in verschiedener Weise auswerten. Im Kapitel 5 wurden die Ergebnistabellen vorgestellt, das folgende Kapitel beschreibt die grafische Auswertung.

6.1 Bewehrungsvorschlag

Die Ergebnismasken 3.1 und 3.2 stellen dar, wie die erforderlichen Bewehrungsflächen mit Bewehrungsstäben abgedeckt werden können, damit z. B. der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit erfüllt ist. Dieser Bewehrungsvorschlag wird im unteren Bereich der Masken 3.1 *Längsbewehrung* und 3.2 *Bügelbewehrung* als Bewehrungsskizze grafisch dargestellt (siehe Bild 5.9, Seite 58 und Bild 5.13, Seite 63).

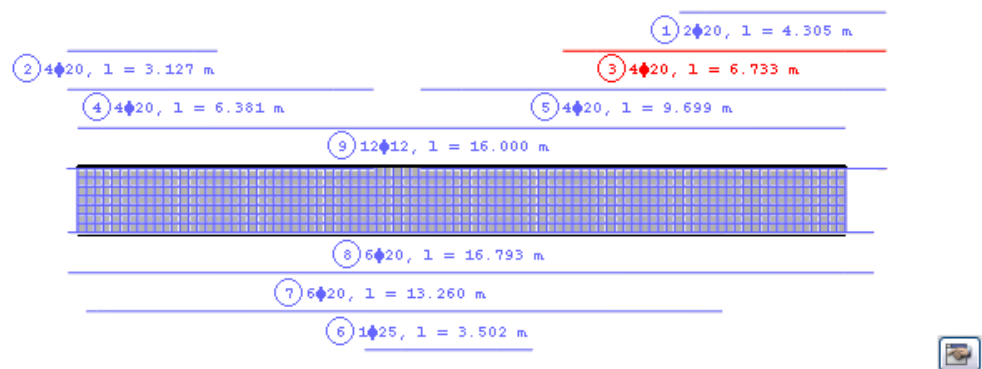


Bild 6.1: Bewehrungsskizze in Maske 3.1 *Vorhandene Bewehrung*

Die aktuelle Position (diejenige Zeile in der Tabelle oberhalb, in der sich der Cursor befindet) ist rot gekennzeichnet. Diese Grafik ermöglicht es, die Lage und Anordnung der einzelnen Positionsstäbe abzulesen und entsprechend zu bewerten.

Die Schaltfläche [Bearbeiten] rechts unten in der Skizze ruft den Bearbeitungsdialog der aktuellen Bewehrungsposition auf. Dieser Dialog ist im Bild 5.12 auf Seite 62 bzw. Bild 5.14 auf Seite 65 dargestellt. Dort lassen sich die diversen Parameter der gewählten Längs- bzw. Bügelbewehrung überprüfen und gegebenenfalls anpassen.

6.2 3D-Rendering der Bewehrung

3D-Rendering

In den beiden Masken 3.1 *Längsbewehrung* und 3.2 *Bügelbewehrung* steht die Schaltfläche [3D-Rendering] zur Verfügung, die eine fotorealistische Visualisierung der vorhandenen Bewehrung ermöglicht. Sie ruft ein neues Fenster mit der gerenderten Darstellung des Bewehrungskorbes des aktuellen Stabes oder Stabsatzes auf (d. h. des Objekts, in dessen Tabellenzeile der Cursor positioniert ist).

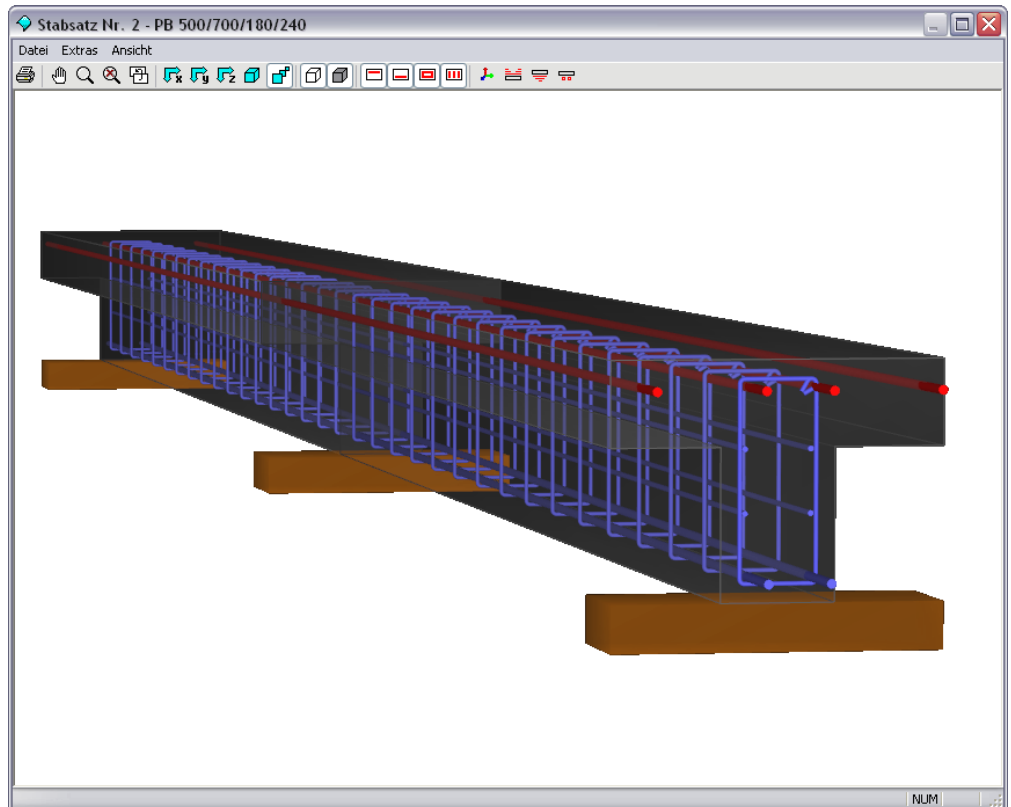


Bild 6.2: 3D-Rendering der vorhandenen Längs- und Bügelbewehrung

Mit dieser Grafik lässt sich die gewählte Bewehrung wirklichkeitsnah überprüfen.

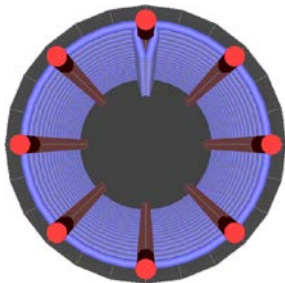


Die Darstellung wird über das Pulldownmenü *Ansicht* oder die zugeordneten Schaltflächen gesteuert (siehe Tabelle 6.1). Wie in RFEM steht auch hier die Greiffunktion zur Verfügung: Verschieben, Zoomen oder Drehen mit gedrückter [Umschalt]- bzw. [Strg]-Taste.



Die aktuelle Grafik kann auch direkt auf den Drucker ausgegeben bzw. in das Ausdruckprotokoll oder in die Zwischenablage übergeben werden.

Die Schaltflächen in der Symbolleiste sind mit folgenden Funktionen belegt:



Stützenbewehrung:
Perspektivische Ansicht in X











Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Drucken	Öffnet den Dialog <i>Grafikausdruck</i> (Bild 7.4, Seite 82) mit den Druckeinstellungen
	Verschieben	Ermöglicht das Verschieben der Ansicht mit der Maus (Zoomen/Rotieren mit [Umschalt]- bzw. [Strg]-Taste)
	Zoomen	Ermöglicht das Vergrössern eines Grafikbereiches durch Aufziehen eines Fensters mit der Maus
	Zeige alles	Stellt die Gesamtansicht wieder her
	Vorherige Ansicht	Zeigt die zuletzt gewählte Ansicht an
	Ansicht in X	Stellt die Ansicht auf YZ-Ebene dar
	Ansicht in Y	Stellt die Ansicht auf XZ-Ebene dar
	Ansicht in Z	Stellt die Ansicht auf XY-Ebene dar
	Isometrie	Stellt die räumliche Ansicht dar
	Perspektive	Bildet die Ansicht in perspektivischer Darstellung ab (mit allen vier Ansichtstypen kombinierbar)
	Drahtmodell	Blendet das Betonmaterial aus
	Vollmodell	Stellt den Beton im Stab oder Stabsatz dar
	Obere Bewehrung	Stellt die oben im Stab liegende Längsbewehrung dar
	Untere Bewehrung	Stellt die unten im Stab liegende Längsbewehrung dar
	Umlaufende Bewehrung	Stellt die umlaufende oder konstruktive Längsbewehrung dar
	Bügelbewehrung	Stellt die Bügelbewehrung dar
	Stab-Achsensystem	Steuert die Anzeige der lokalen Stabachsen xyz
	Obere Längsbewehrung	Stellt die Positionsstäbe der oberen Bewehrung oberhalb des Stabes dar
	Untere Längsbewehrung	Stellt die Positionsstäbe der unteren Bewehrung unterhalb des Stabes dar
	Schubbewehrung	Stellt die Positionsstäbe der Bügelbewehrung dar

Tabelle 6.1: Schaltflächen für 3D-Rendering

6.3 Ergebnisse am RFEM-Modell

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

RFEM-Hintergrundgrafik

Die RFEM-Grafik im Hintergrund kann hilfreich sein, um die Lage eines bestimmten Stabes im Modell zu kontrollieren. Ist in der Ergebnismaske von RF-BETON Stäbe eine Tabellenzeile selektiert, so wird der betreffende Stab in der RFEM-Hintergrundgrafik farblich hervorgehoben. Ein Pfeil kennzeichnet zusätzlich die x-Stelle am Stab, um die es sich in der aktuellen Tabellenzeile handelt.

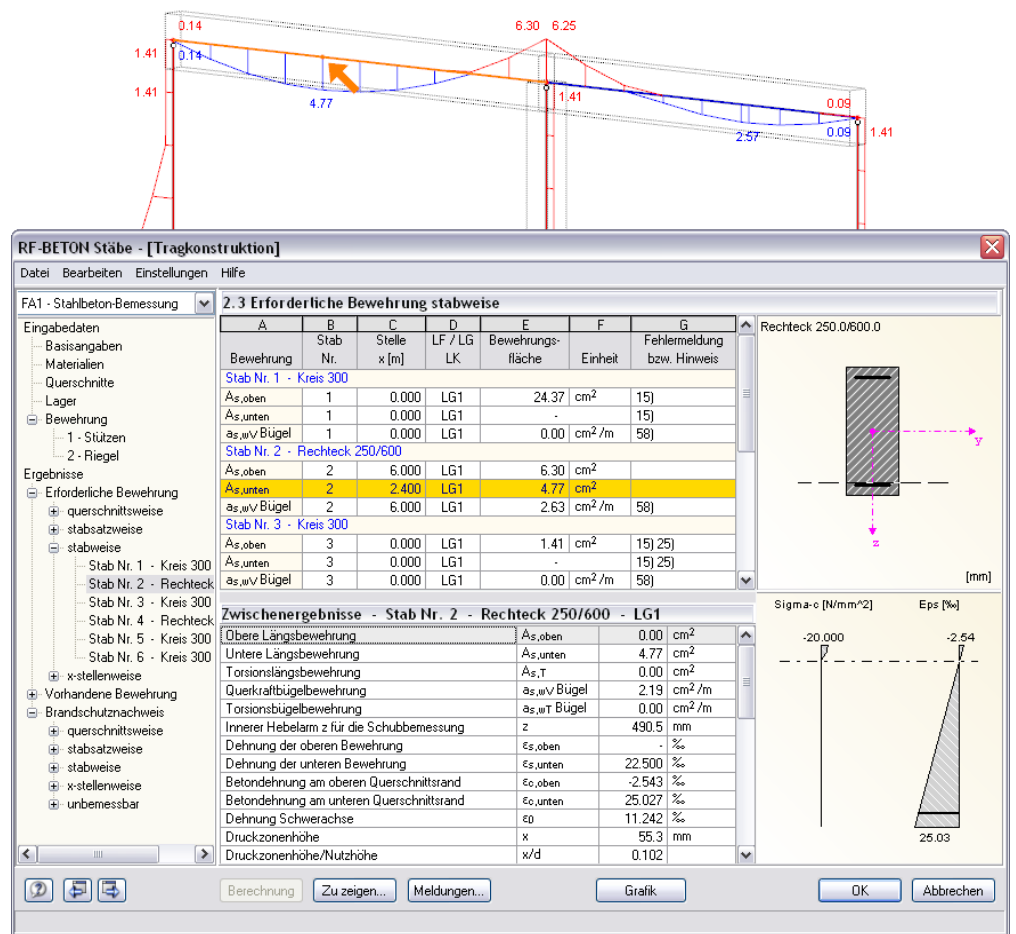


Bild 6.3: Kennzeichnung des Stabes und der aktuellen Stelle x im RFEM-Modell

Grafik

RF-BETON Stäbe

Diese Funktion steht allerdings nur zur Verfügung, wenn in der Oberfläche von RFEM die Ergebnisse des aktuellen RF-BETON Stäbe-Falls eingestellt sind. Dies wird z. B. durch einen Wechsel in die [Grafik] und wieder zurück in das Modul [RF-BETON Stäbe] erreicht.

Grafik

RFEM-Arbeitsfenster

Alle Bewehrungsflächen und Zwischenergebnisse lassen sich am Strukturmodell von RFEM visualisieren: Mit der Schaltfläche [Grafik] wird das Modul RF-BETON Stäbe zunächst beendet. Im RFEM-Arbeitsfenster werden nun die diversen Bewehrungen und Nachweisgrößen grafisch wie die Schnittgrößen oder Verformungen eines RFEM-Lastfalls angezeigt. Die Steuerung der Ergebnisarten erfolgt über den *Ergebnisse*-Navigator von RF-BETON Stäbe.

Der *Ergebnisse*-Navigator ist auf die Nachweise des RF-BETON Stäbe-Moduls abgestimmt. Es stehen die verschiedenen Bewehrungstypen für die Nachweise der Tragfähigkeit, der Gebrauchstauglichkeit und des Brandschutzes mit allen Zwischenergebnissen zur Auswahl.

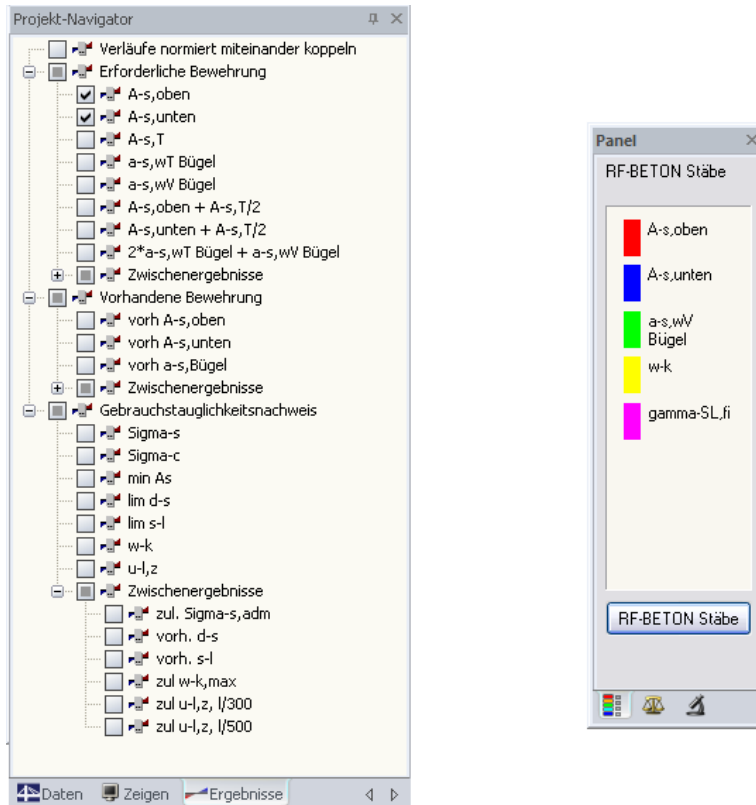


Bild 6.4: *Ergebnisse*-Navigator von RF-BETON Stäbe und Panel mit ausgewählten Ergebnisarten

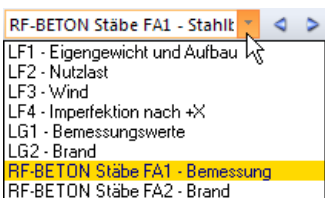
Der *Ergebnisse*-Navigator ermöglicht es, mehrere Bewehrungsarten oder Nachweise gleichzeitig darzustellen. Damit lässt sich z. B. grafisch die erforderliche Längsbewehrung mit der vorhandenen Längsbewehrung vergleichen. Das Panel wird dabei mit den gewählten Ergebnisarten synchronisiert.

Wegen der Mehrfachauswahl und automatischen Farbzweisung sind die in RFEM angebotenen Möglichkeiten des *Zeigen*-Navigators zur Darstellung der Stabergebnisse wirkungslos.

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 Ergebnisse von RF-BETON Stäbe keine Funktion haben, können sie ggf. deaktiviert werden.

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



Wie bei den Stabschnittgrößen kann im mittleren Panel-Register *Darstellungsfaktoren* eine Skalierung der Stabverläufe vorgenommen werden. Damit lassen sich die Bemessungsergebnisse für die Auswertung (und den Ausdruck) grafisch skalieren.



Bild 6.5: Panel-Register *Darstellungsfaktoren*

Neben der erforderlichen und der vorhandenen Bewehrung können die Zwischenergebnisse aller Nachweise grafisch ausgewertet werden.

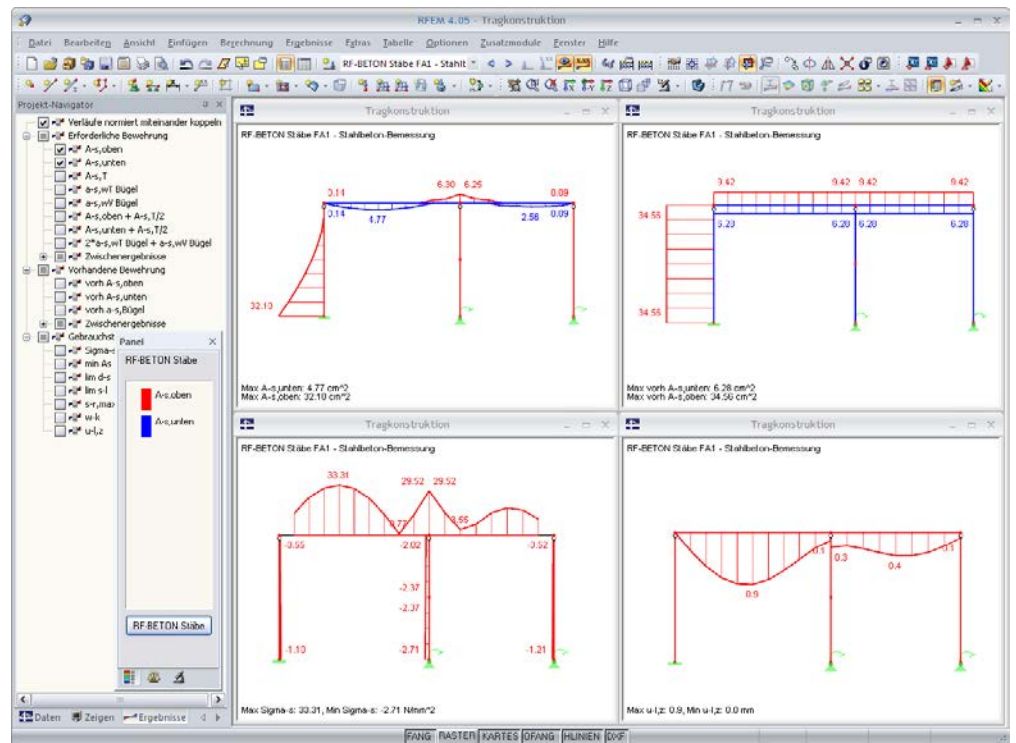


Bild 6.6: Grafische Ausgabe von erforderlicher und vorhandener Bewehrung sowie der Nachweisdetails im ZGZ

Alle Ergebnisdarstellungen lassen sich wie RFEM-Grafiken in das zentrale Ausdruckprotokoll übertragen (siehe Kapitel 7.2, Seite 82).

Mit der Panel-Schaltfläche [RF-BETON Stäbe] erfolgt die Rückkehr in das Bemessungsmodul.

RF-BETON Stäbe

6.4 Ergebnisverläufe

In der RFEM-Grafik sind die Ergebnisverläufe zugänglich über Menü

Ergebnisse → Ergebnisverläufe an selektierten Stäben

oder die entsprechende Schaltfläche in der RFEM-Symboleiste.

Es öffnet sich ein Fenster, das den Verlauf der Bewehrungsflächen und Zwischenergebnisse am gewählten Stab oder Stabsatz zeigt.

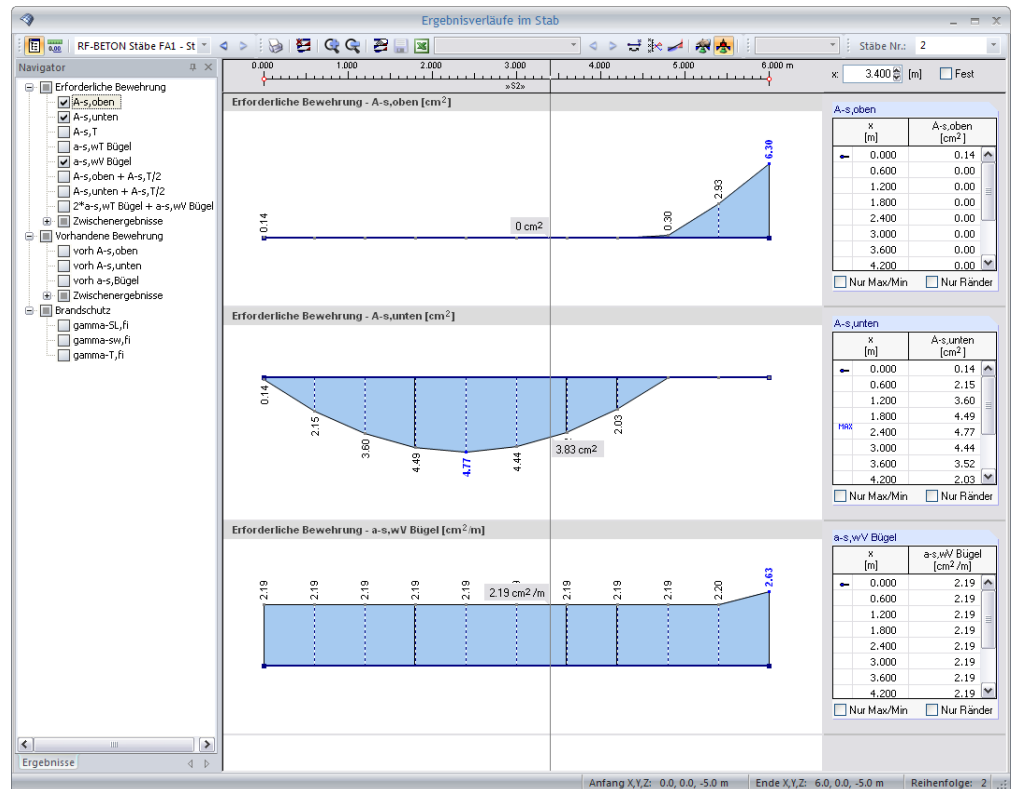


Bild 6.7: Dialog *Ergebnisverläufe im Stab*



Im Navigator links sind die Bewehrungen und Zwischenergebnisse auszuwählen, die im Ergebnisdiagramm erscheinen sollen. Über die Listen in der Symbolleiste kann zwischen den Bemessungsfällen von RF-BETON Stäbe und den Stäben bzw. Stabsätzen gewechselt werden.

Eine ausführliche Beschreibung des Dialogs *Ergebnisverläufe* finden Sie im Kapitel 10.5 des RFEM-Handbuchs auf Seite 312.

6.5 Filter für Ergebnisse

Neben den Ergebnismasken, die durch ihre Struktur bereits eine Auswahl nach bestimmten Kriterien erlauben, stehen die im RFEM-Handbuch beschriebenen Filtermöglichkeiten zur grafischen Auswertung der Nachweise zur Verfügung.



Zum einen kann auf bereits definierte Ausschnitte zurückgegriffen werden (siehe RFEM-Handbuch, Kapitel 10.9 ab Seite 322), die es gestatten, Objekte in geeigneter Weise zu gruppieren.

Zum anderen können im Register *Filter* des Steuerpanels die Nummern der Stäbe bestimmt werden, deren Ergebnisse in der Grafik gefiltert zur Anzeige kommen sollen. Die Beschreibung dieser Funktion finden Sie im Kapitel 4.4.6 des RFEM-Handbuchs auf Seite 80.

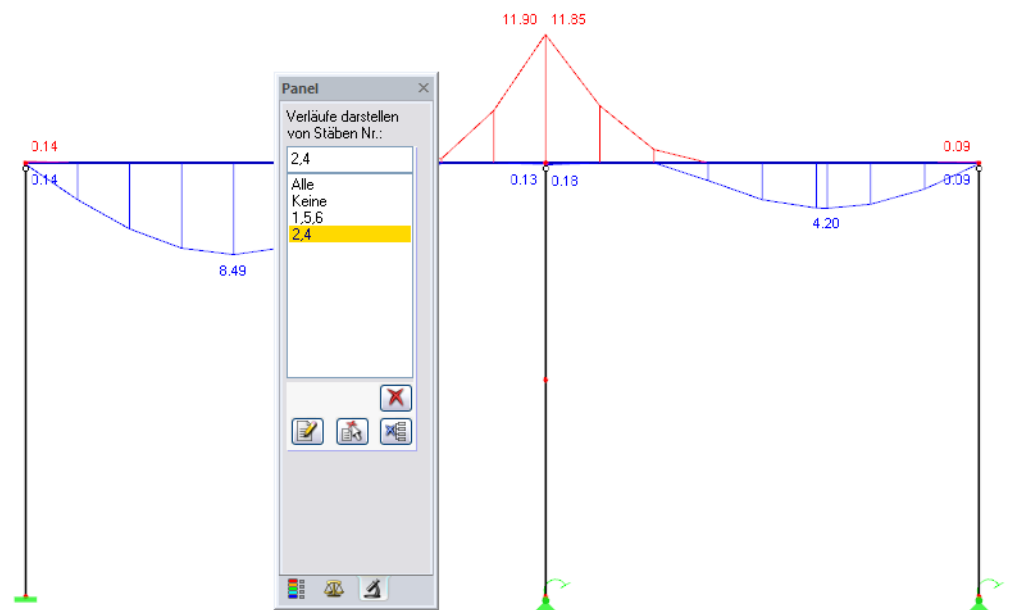


Bild 6.8: Filtern von Stäben im Panel

Im Unterschied zur Ausschnittfunktion wird das Modell vollständig mit angezeigt.

7 Ausdruck

7.1 Ausdruckprotokoll

Wie für RFEM wird zunächst ein Ausdruckprotokoll mit den Daten von RF-BETON Stäbe erzeugt, das mit Grafiken und Erläuterungen ergänzt werden kann. Zudem ist in dieser Druckvorschau festzulegen, welche Ergebnisse der Stahlbetonbemessung letztendlich zu Papier gebracht werden.

Bei sehr grossen Modellen ist es ratsam, anstelle eines einzigen, umfangreichen Protokolls die Daten auf mehrere kleine Protokolle aufzuteilen. Legt man ein separates Protokoll für RF-BETON Stäbe an, 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.

Es bestehen die üblichen Selektionsmöglichkeiten zur Auswahl der Bemessungsfälle sowie der Eingabe- und Ergebnisdaten von RF-BETON Stäbe.

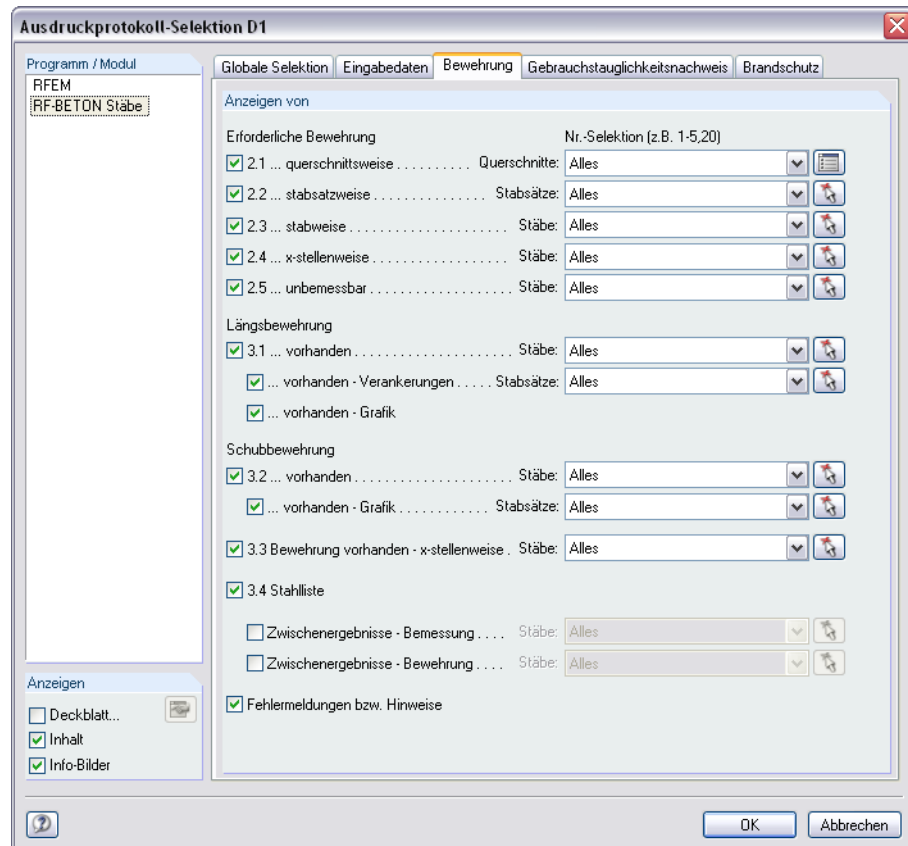


Bild 7.1: Ausdruckprotokoll-Selektion der RF-BETON Stäbe-Ergebnisse, Register *Bewehrung*

7.2 Grafikausdruck

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



Wie in RFEM kann jedes Bild, das im Grafikenfenster des Hauptprogramms angezeigt wird, in das Ausdruckprotokoll übernommen werden. Ebenso lassen sich die 3D-Rendering-Grafiken und die Stab-Ergebnisverläufe mit den [Drucken]-Schaltflächen in das Protokoll übergeben.

Die im RFEM-Arbeitsfenster dargestellte RF-BETON Stäbe-Grafik wird gedruckt über Menü

Datei → Drucken

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

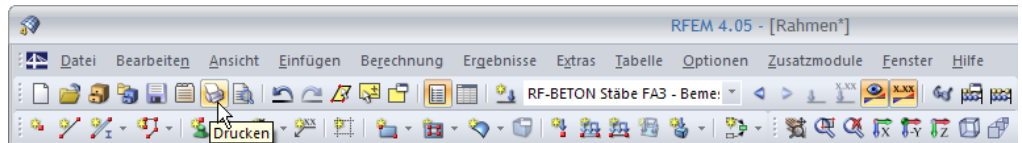


Bild 7.2: Schaltfläche *Drucken* in der Symbolleiste des Hauptfensters



Bild 7.3: Schaltfläche *Drucken* in der Symbolleiste des 3D-Rendering-Fensters

Es wird folgender Dialog angezeigt.

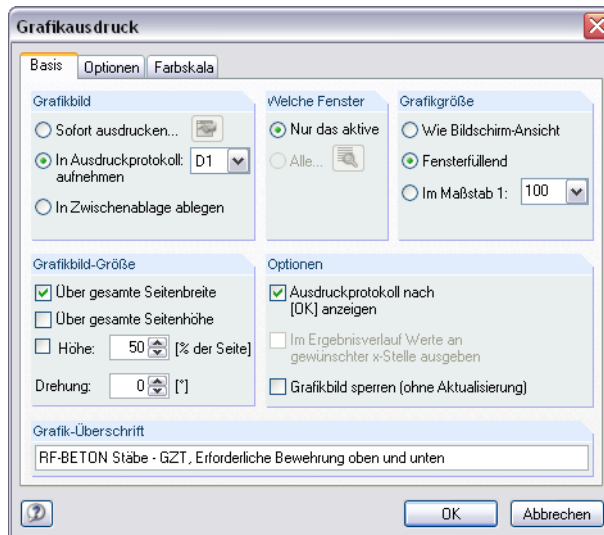
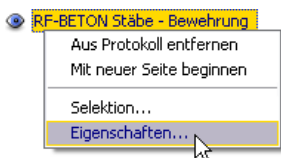


Bild 7.4: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Basis*

Dieser Dialog ist im Kapitel 11.2 des RFEM-Handbuchs ab Seite 355 ausführlich beschrieben. Dort sind auch die weiteren Register *Optionen* und *Farbskala* erläutert.

Im Ausdruckprotokoll kann eine RF-BETON Stäbe-Grafik per Drag & Drop an eine andere Stelle verschoben werden. Zudem lassen sich eingefügte Grafiken nachträglich anpassen: Klicken Sie den entsprechenden Eintrag im Protokoll-Navigator mit der rechten Maustaste an und wählen im Kontextmenü dessen *Eigenschaften...* Es erscheint wieder der Dialog *Grafikausdruck* mit diversen Modifikationsmöglichkeiten.



8 Allgemeine Funktionen

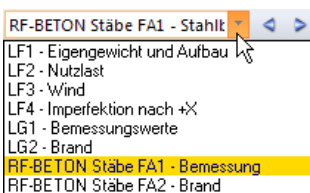
Dieses Kapitel stellt einige Menüfunktionen sowie Exportmöglichkeiten für die Bemessungsergebnisse vor.

8.1 RF-BETON Stäbe-Bemessungsfälle

Es besteht die Möglichkeit, Stäbe und Stabsätze in verschiedenen Bemessungsfällen zu gruppieren. Damit können beispielsweise Bauteilgruppen mit spezifischen Bemessungsvorgaben (Materialien, Querschnitte, Bewehrungsanordnung etc.) beaufschlagt werden.

Es bereitet kein Problem, einen Stab oder Stabsatz in unterschiedlichen Bemessungsfällen zu untersuchen.

Die RF-BETON Stäbe-Fälle sind im RFEM-Arbeitsfenster wie ein Lastfall oder eine Lastfallgruppe in der Liste der Symbolleiste zugänglich.



Neuen RF-BETON Stäbe-Fall anlegen

Ein neuer Bemessungsfall wird angelegt über das RF-BETON Stäbe-Menü

Datei → **Neuer Fall**.

Es erscheint der folgende Dialog.

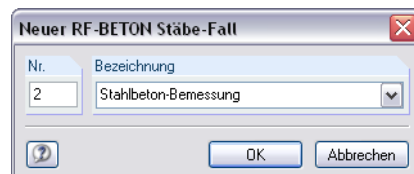


Bild 8.1: Dialog *Neuer RF-BETON Stäbe-Fall*

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

RF-BETON Stäbe-Fall umbenennen

Die Bezeichnung eines Bemessungsfalls kann geändert werden über RF-BETON Stäbe-Menü

Datei → **Fall umbenennen**.

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

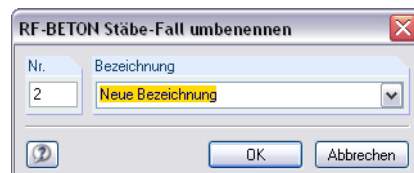


Bild 8.2: Dialog *RF-BETON Stäbe-Fall umbenennen*

RF-BETON Stäbe-Fall kopieren

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

Datei → **Fall kopieren**.

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



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

RF-BETON Stäbe-Fall löschen

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

Datei → **Fall löschen**.

Im Dialog *Fall löschen* ist in der Liste *Vorhandene Fälle* ein Bemessungsfall auszuwählen, der dann mit [OK] gelöscht wird.

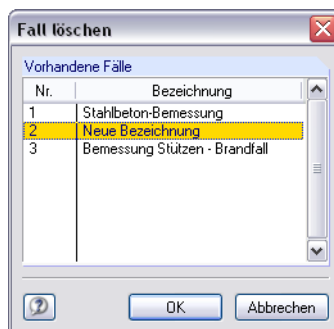


Bild 8.4: Dialog *Fall löschen*

8.2 Querschnittsoptimierung

Wie in Kapitel 3.3 erwähnt bietet RF-BETON Stäbe die Möglichkeit einer querschnittsweisen Optimierung an. Hierzu ist in Spalte C der Maske 1.3 *Querschnitte* der betreffende Querschnitt durch Ankreuzen festzulegen (siehe Bild 3.9, Seite 30). Dies erfolgt am einfachsten über einen Klick in das Kästchen. Dabei erscheint ein Dialog, in dem detaillierte Vorgaben getroffen werden können.

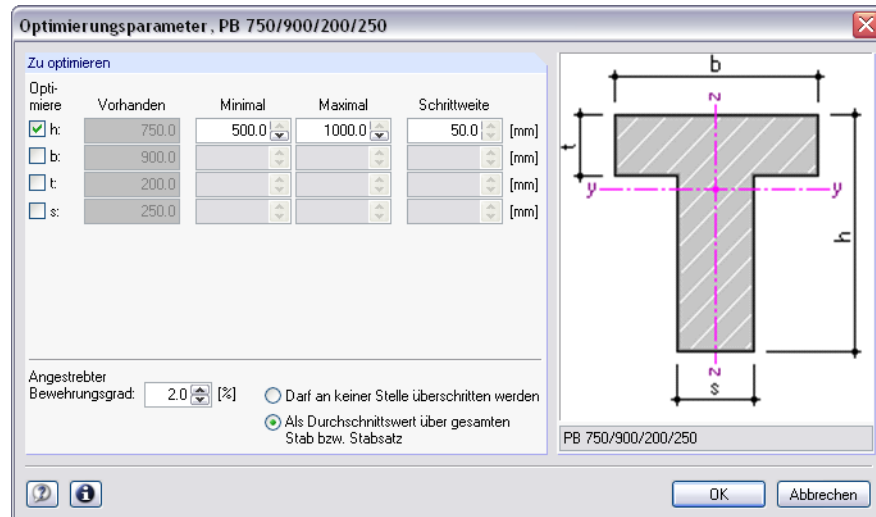


Bild 8.5: Dialog *Optimierungsparameter* eines Plattenbalkens

In der Spalte *Optimiere* wird zunächst durch Anhaken festgelegt, welcher (oder auch welche) Parameter modifiziert werden soll. Damit werden die Spalten *Minimal* und *Maximal* zugänglich, um dort die Unter- und Obergrenze des Parameters zur Optimierung vorzugeben. Die Spalte *Schrittweite* steuert, in welchem Intervall die Abmessungen dieses Parameters beim Optimierungsprozess variieren.

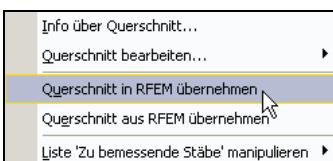
Als Optimierungskriterium gilt, dass ein *Angestrebter Bewehrungsgrad* entweder an keiner Stelle überschritten werden darf oder als Durchschnittswert über den gesamten Stab oder Stabsatz vorliegen soll. Der gewünschte Bewehrungsgrad kann im Eingabefeld angegeben werden.

Im Zuge der Optimierung untersucht RF-BETON Stäbe, mit welchen Abmessungen des zulässigen Parameters der Nachweis noch gelingt. Dabei ist zu beachten, dass die Schnittgrößen nicht automatisch neu mit den geänderten Querschnitten berechnet werden. Es bleibt dem Anwender überlassen, wann die optimierten Querschnitte für einen neuen Rechenlauf nach RFEM übergeben werden. Wegen der geänderten Steifigkeiten im System können die Schnittgrößen erheblich differieren, die sich mit den neuen Querschnitten ergeben. Es empfiehlt sich daher, nach einer ersten Optimierung die Schnittgrößen neu zu berechnen und die Querschnitte ggf. nochmals zu optimieren.

Die geänderten Querschnitte brauchen nicht manuell nach RFEM übergeben werden: Stellen Sie die Maske 1.3 *Querschnitte* ein und wählen dann das Menü

Bearbeiten → Querschnitt in RFEM übernehmen.

Das links dargestellte Kontextmenü der Tabellenzeile in Maske 1.3 enthält ebenfalls Möglichkeiten zum Export modifizierter Querschnitte nach RFEM.



Berechnung

Vor der Übergabe erfolgt eine Sicherheitsabfrage, da diese Massnahme mit dem Löschen der Ergebnisse verbunden ist. Wird in RF-BETON Stäbe dann die [Berechnung] gestartet, vollzieht sich die Ermittlung der RFEM-Schnittgrößen und der Bewehrungsflächen in einem einzigen Berechnungsablauf.

Analog kann über die oben beschriebene Menüfunktion wieder der RFEM-Originalquerschnitt in RF-BETON Stäbe eingelesen werden. Bitte beachten Sie, dass auch diese Möglichkeit nur in der Maske 1.3 *Querschnitte* besteht.

Liegt ein Voutenstab zur Optimierung vor, werden die Anfangs- und Endstellen optimiert. Danach werden die Flächenträgheitsmomente an den Zwischenstellen linear interpoliert. Da diese mit der vierten Potenz eingehen, können die Nachweise bei grossen Unterschieden der Anfangs- und Endquerschnittshöhen ungenau werden. In diesem Fall empfiehlt es sich, die Voute in einzelne Stäbe zu unterteilen, deren Anfangs- und Endquerschnitte geringere Höhenunterschiede aufweisen.

8.3 Einheiten und Dezimalstellen

Die Einheiten und Nachkommastellen werden für RFEM sowie für sämtliche Zusatzmodule zentral verwaltet. In RF-BETON Stäbe 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 Stäbe ist voreingestellt.

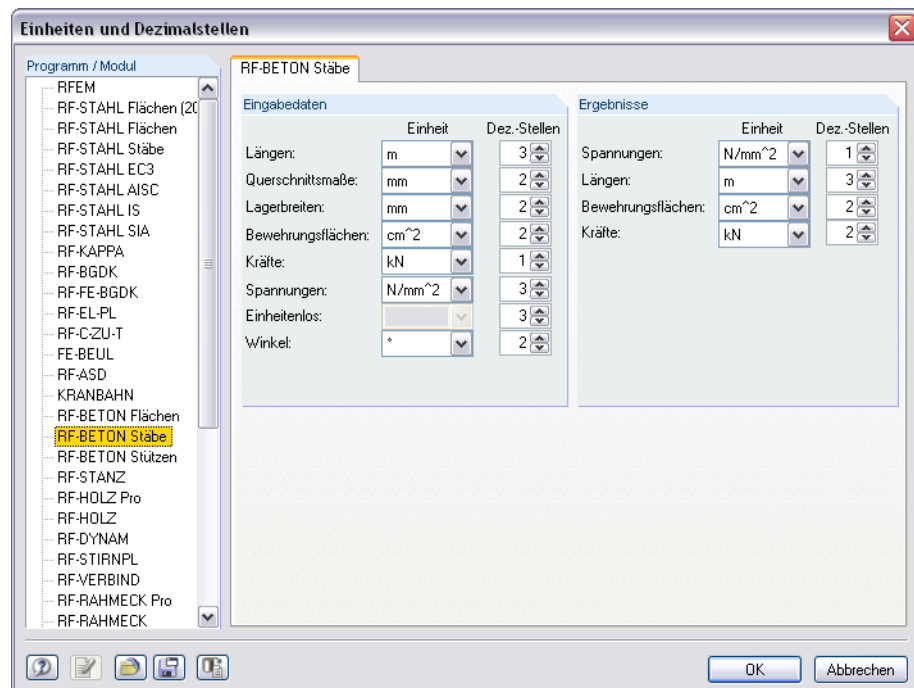


Bild 8.6: Dialog *Einheiten und Dezimalstellen*



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 457.

8.4 Export der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Stahlbetonbemessung sind auch in anderen Programmen verwertbar.

Zwischenablage

Markierte Zellen der RF-BETON Stäbe-Ergebnismasken lassen sich mit [Strg]+[C] in die Zwischenablage kopieren und mit [Strg]+[V] z. B. in ein Textverarbeitungsprogramm einfügen. Die Überschriften der Tabellenspalten werden dabei nicht berücksichtigt.

Ausdruckprotokoll

Die RF-BETON Stäbe-Daten können in das Ausdruckprotokoll gedruckt (siehe Kapitel 7.1, Seite 81) und von 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 351 beschrieben.

Excel / OpenOffice

RF-BETON Stäbe 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.

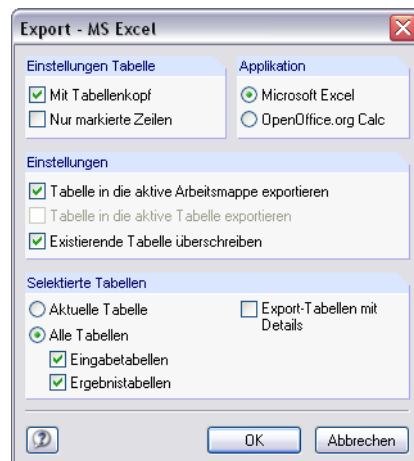
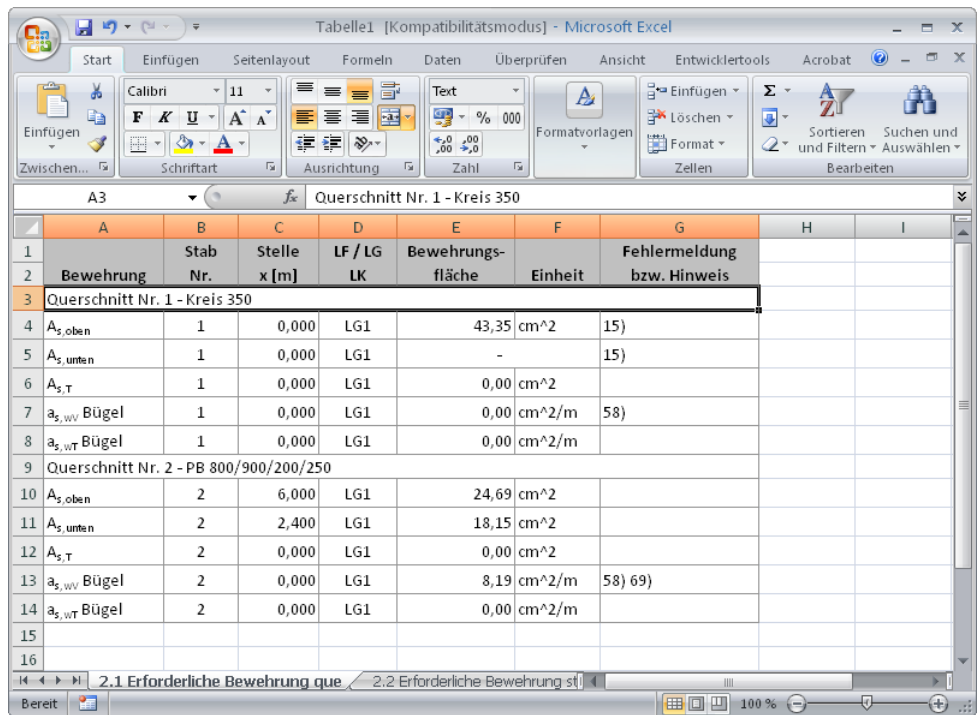


Bild 8.7: Dialog *Export - MS Excel*

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



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Stab	Stelle	LF / LG	Bewehrungs-		Fehlermeldung		
2	Bewehrung	Nr.	x [m]	LK	fläche	Einheit	bzw. Hinweis		
3	Querschnitt Nr. 1 - Kreis 350								
4	A _{s,oben}	1	0,000	LG1	43,35	cm ²	15)		
5	A _{s,unten}	1	0,000	LG1	-		15)		
6	A _{s,T}	1	0,000	LG1	0,00	cm ²			
7	a _{s,wv} Bügel	1	0,000	LG1	0,00	cm ² /m	58)		
8	a _{s,wt} Bügel	1	0,000	LG1	0,00	cm ² /m			
9	Querschnitt Nr. 2 - PB 800/900/200/250								
10	A _{s,oben}	2	6,000	LG1	24,69	cm ²			
11	A _{s,unten}	2	2,400	LG1	18,15	cm ²			
12	A _{s,T}	2	0,000	LG1	0,00	cm ²			
13	a _{s,wv} Bügel	2	0,000	LG1	8,19	cm ² /m	58) 69)		
14	a _{s,wt} Bügel	2	0,000	LG1	0,00	cm ² /m			
15									
16									

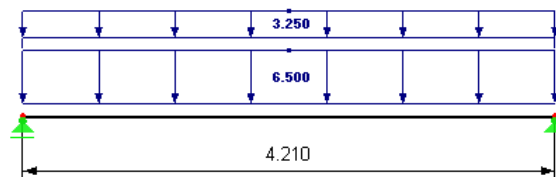
Bild 8.8: Ergebnis in Excel

9 Beispiel

In einem Beispiel wird die Begrenzung der Verformungen gemäss EN 1992-1-1, 7.4.3 mit direkter Berechnung nachgewiesen.

9.1 Eingabedaten

System



Querschnitt

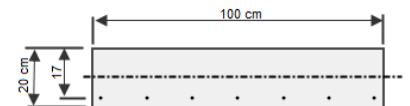


Bild 9.1: System, Belastung und Querschnitt

Material: C20/25

B500A

statische Höhe: $d=17,00\text{cm}$

Bewehrung: $As1, \text{vorh}=4,52\text{cm}^2$

Einwirkungen

Eigengewicht Beton: $0,2\text{m} \cdot 1\text{m} \cdot 25,0\text{kN/m}^3 = 5,00 \text{ kN/m}$

Belag und Putz: $1,50 \text{ kN/m}$

gk = $6,50 \text{ kN/m}$

Nutzlast Büro: $2,00 \text{ kN/m}$

Trennwandzuschlag: $1,25 \text{ kN/m}$

gk = $3,25 \text{ kN/m}$

Maximalmoment für quasi-ständige Belastung

Kombinationsbeiwert: $\psi_2 = 0,3$ (Nutzlast Büro)

Kombinationsbeiwert: $\psi_2 = 1,0$ (Trennwandzuschlag)

Quasi-ständige Belastung: $6,5\text{kN/m} + 1,23\text{kN/m} + 0,30 \cdot 2,00\text{kN/m} = 8,35 \text{ kN/m}$

Maximalmoment: $M_{\text{quasi-ständig}} = 8,35\text{kN/m} \cdot \frac{4,21^2\text{m}^2}{8} = 18,50\text{kNm}$

9.2 Vorwerte der Verformungsberechnung

Parameter

Mittlerer E-Modul	$E_{cm}=30370\text{N/mm}^2$
Mittlere Zugfestigkeit	$f_{ctm}=2,21\text{N/mm}^2$
Endkriechzahl	$\varphi=1,8$ (Innenraum)
Schwinddehnung	$\varepsilon_{cs}=-0,5\text{‰}$

Längsbewehrungsgrad

$$\rho^l = \frac{A_{s1}}{b \cdot h} = \frac{4,52\text{cm}^2}{100 \cdot 20\text{cm}^2} = 0,00226$$

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} = \frac{4,52\text{cm}^2}{100 \cdot 17\text{cm}^2} = 0,0026588$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,\text{eff}}} = \frac{205000\text{N/mm}^2}{10846\text{N/mm}^2} = 18,90$$

Berücksichtigt man die Nettoflächen der Querschnitte, verwendet man $\alpha_e = \alpha_e - 1$ anstelle von α_e .

Wirksamer Beton-Elastizitätsmodul

Kriechdehnung durch Abminderung des E-Moduls mit der Kriechendzahl φ erfasst.

$$E_{c,\text{eff}} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} = \frac{30370\text{N/mm}^2}{1 + 1,8} = 10846\text{N/mm}^2$$

9.3 Krümmung im Zustand I

Querschnittswerte für Zustand I

$$\xi^l = \frac{0,5 + \alpha_e^* \cdot \rho^l \cdot d/h}{1 + \alpha_e^* \cdot \rho^l} = \frac{0,5 + (17,90 \cdot 0,00226 \cdot 17/20)}{1 + (17,90 \cdot 0,00226)} = 0,5136$$

$$x^l = \xi^l \cdot h = 0,5136 \cdot 20\text{cm} = 10,272\text{cm}$$

$$S^l = A_{s1} \cdot (d - x^l) = 4,52\text{cm}^2 \cdot (17 - 10,272)\text{cm} = 30,41\text{cm}^3 = 3,04 \cdot 10^{-5}\text{m}^3$$

$$\kappa^l = 1 + 12 \cdot (0,5 - \xi^l)^2 + 12 \cdot \alpha_e^* \cdot \rho^l \cdot (d/h - \xi^l)^2$$

$$\kappa^l = 1 + 12 \cdot (0,5 - 0,5136)^2 + 12 \cdot 17,90 \cdot 0,00226 \cdot (17/20 - 0,5136)^2 = 1,0572$$

$$I^l = \kappa^l \cdot \frac{bh^3}{12} = 1,0572 \cdot \frac{(100 \cdot 20^3)\text{cm}^4}{12} = 70480\text{cm}^4 = 7,05 \cdot 10^{-4}\text{m}^4$$

Krümmung infolge Belastung

Grundlagen: $\sigma_{c2}^l = \frac{M_{Ed}}{I^l} \cdot x^l$ und $E_{c,eff} = \frac{\sigma_{c2}^l}{\varepsilon_{c2}^l}$

$$(1/r)_M^l = \frac{\varepsilon_{c2}^l}{x^l} = \frac{\sigma_{c2}^l}{x^l \cdot E_{c,eff}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I^l} \cdot \frac{x^l}{x^l} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I^l} \quad \text{mit} \quad \varepsilon_{c2}^l = \frac{\sigma_{c2}^l}{E_{c,eff}} \quad \text{und} \quad \sigma_{c2}^l = \frac{M_{Ed}}{I^l} \cdot x^l$$

$$(1/r)_M^l = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I^l} = \frac{0,01850 \text{ MNm}}{10847 \text{ MN/m}^2 \cdot 0,000705 \text{ MN/m}^2} = 2,42 \cdot 10^{-3} \cdot 1/\text{m}$$

Krümmung infolge Schwindens

$$(1/r)_{cs}^l = \varepsilon_{cs} \cdot \alpha_e \cdot \frac{S^l}{I^l} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 18,9 \cdot \frac{30,41 \text{ cm}^3}{70480 \text{ cm}^4} = 4,08 \cdot 10^{-6} \cdot 1/\text{cm} = 4,08 \cdot 10^{-4} \cdot 1/\text{m}$$

Gesamtkrümmung

$$(1/r)_{tot}^l = (1/r)_{cs} + (1/r)_M = 4,08 \cdot 10^{-4} \cdot 1/\text{m} + 2,42 \cdot 10^{-3} \cdot 1/\text{m} = 2,828 \cdot 10^{-3} \cdot 1/\text{m}$$

9.4 Krümmung im Zustand II

Krümmung infolge Belastung

Unter Gebrauchslasten zeigt Beton ein linear elastisches Verhalten. Die Verteilung der **Betonspannung** über die Druckzone wird dreieckförmig angenommen.

Querschnittswerte für Zustand II

$$\xi = -\alpha_e \cdot \rho + \sqrt{(\alpha_e \cdot \rho)^2 + 2 \cdot \alpha_e \cdot \rho}$$

$$\xi = -18,9 \cdot 0,0026588 + \sqrt{(18,9 \cdot 0,0026588)^2 + 2 \cdot 18,9 \cdot 0,0026588} = 0,2707$$

$$x = \xi \cdot d = 0,2707 \cdot 17 \text{ cm} = 4,602 \text{ cm}$$

$$z = d - \frac{x}{3} = 17 \text{ cm} - \frac{4,602 \text{ cm}}{3} = 15,466 \text{ cm}$$

$$S = A_{s1} \cdot (d - x) = 4,52 \text{ cm}^2 \cdot (17 \text{ cm} - 4,602 \text{ cm}) = 56,04 \text{ cm}^3 = 5,604 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\kappa = 4 \cdot \xi^3 + 12 \cdot \alpha_e \cdot \rho \cdot (1 - \xi)^2 = 4 \cdot 0,2707^3 + 12 \cdot 18,9 \cdot 0,0026588 \cdot (1 - 0,2707)^2 = 0,40$$

$$I = \kappa \cdot \frac{bd^3}{12} = 0,40 \cdot \frac{100 \cdot 17^3}{12} = 16376 \text{ cm}^4 = 1,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

Zugspannung in der Bewehrung:

$$\sigma_{s1} = \frac{F_{s1}}{A_{s1}} \Rightarrow \sigma_{s1} = \frac{M_{Ed}}{A_{s1} \cdot z} = \frac{0,01850 \text{ MNm}}{4,52 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 0,15466 \text{ m}} = 264,64 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{264,64 \text{ N/mm}^2}{205000 \text{ N/mm}^2} = 1,29 \cdot 10^{-3}$$

Krümmung infolge Belastung

$$(1/r)_M^{\text{II}} = \frac{\varepsilon_s}{d-x} = \frac{1,29 \cdot 10^{-3}}{170 \text{ mm} - 46,02 \text{ mm}} = 1,04 \cdot 10^{-5} \text{ mm} = 1,04 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Krümmung infolge Schwindens

$$(1/r)_{cs}^{\text{II}} = \varepsilon_{cs} \cdot \alpha_e \cdot \frac{S}{I} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 18,9 \cdot \frac{5,604 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3}{1,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4} = 3,23 \cdot 10^{-3} \cdot 1/\text{m}$$

Gesamtkrümmung

$$(1/r)_{\text{tot}}^{\text{II}} = (1/r)_{cs}^{\text{II}} + (1/r)_M^{\text{II}} = 3,23 \cdot 10^{-3} \cdot 1/\text{m} + 0,01041 \cdot 1/\text{m} = 0,01364 \cdot 1/\text{m}$$

9.5 Ermittlung der Durchbiegung

Der wahrscheinliche Wert der Verformung kann nach Gleichung (7.18) der EN 1992-1-1 ermittelt werden.

Verteilungsbeiwert

Der Verteilungsbeiwert ζ zwischen Zustand I und II bestimmt sich zu:

$$\zeta = 1 - \beta \cdot (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2$$

mit β : 1,0 Kurzzeitbelastung

0,5 Langzeitbelastung oder vielen Zyklen sich wiederholender

Rissmoment M_r

$$M_r = f_{ctm} \cdot W = 2,21 \text{ MN/m}^2 \cdot 7,245 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 0,01601 \text{ MNm} = 16,01 \text{ kNm}$$

$$\text{mit } W = \frac{I^1}{z_s^1} = \frac{I^1}{h-x^1} = \frac{70480 \text{ cm}^4}{20 \text{ cm} - 10,272 \text{ cm}} = 7245 \text{ cm}^3 = 7,245 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Spannung unmittelbar nach Rissbildung

$$\sigma_{sr} = \frac{M_r}{A_{s1} \cdot z} = \frac{0,01601 \text{ MNm}}{4,52 \cdot 10^{-4} \cdot 0,15466 \text{ m}} = 229,02 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{s1} = 264,64 \text{ N/mm}^2 \text{ (siehe oben)}$$

$$\zeta = 1 - \beta \cdot (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2 = 1 - 0,5 \cdot \left(\frac{229,02 \text{ N/mm}^2}{264,64 \text{ N/mm}^2} \right)^2 = 0,6255$$

Krümmung näherungsweise nach EN 1992-1-1(7.18)

$$(1/r)_{tot} = \zeta \cdot (1/r)_{tot}^{II} + (1-\zeta) \cdot (1/r)_{tot}^I$$

$$(1/r)_{tot} = 0,6255 \cdot 0,01364 \cdot 1/m + (1-0,6255) \cdot 2,828 \cdot 10^{-3} \cdot 1/m = 0,00959 \cdot 1/m$$

Verformung

Die Durchbiegung f in Balkenmitte bestimmt sich somit zu:

$$f = \frac{5ql_{eff}^4}{384EI} \Leftrightarrow \frac{5}{48} \cdot l_{eff}^2 \cdot \frac{M}{EI} = \frac{5}{48} \cdot l_{eff}^2 \cdot \frac{1}{r} = \frac{5}{48} \cdot 4,21^2 m^2 \cdot 0,009591/m = 0,0177m = 17,7mm$$

Die Abweichungen zwischen der hier dargestellten Berechnung und den Programmresultaten sind auf die unterschiedlich verwendeten Spannungs-Dehnungs-Linien für Beton zurückzuführen. Das Programm verwendet das Parabel-Rechteck-Diagramm für den Zustand II.

9.6 Ergebnis in RF-BETON Stäbe

RF-BETON Stäbe gibt als Verformungswert in Balkenmitte ebenfalls 18,1 mm aus.

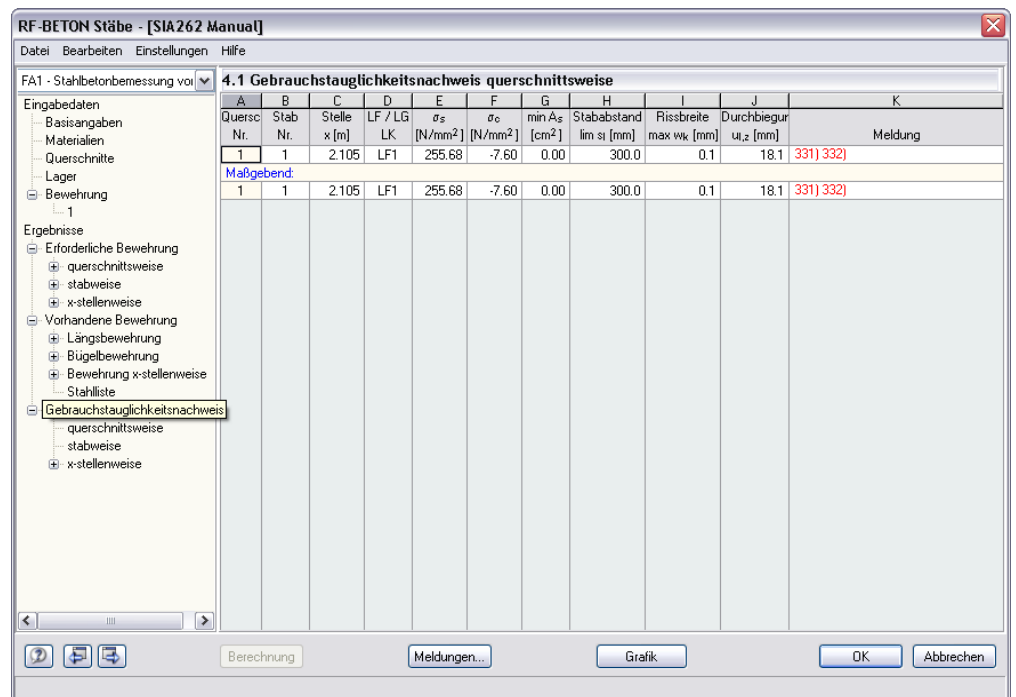


Bild 9.2: Maske 4.3 Gebrauchstauglichkeitsnachweis stabweise

Im folgenden Bild sind die Verformungen nach Zustand I und Zustand II gegenübergestellt.

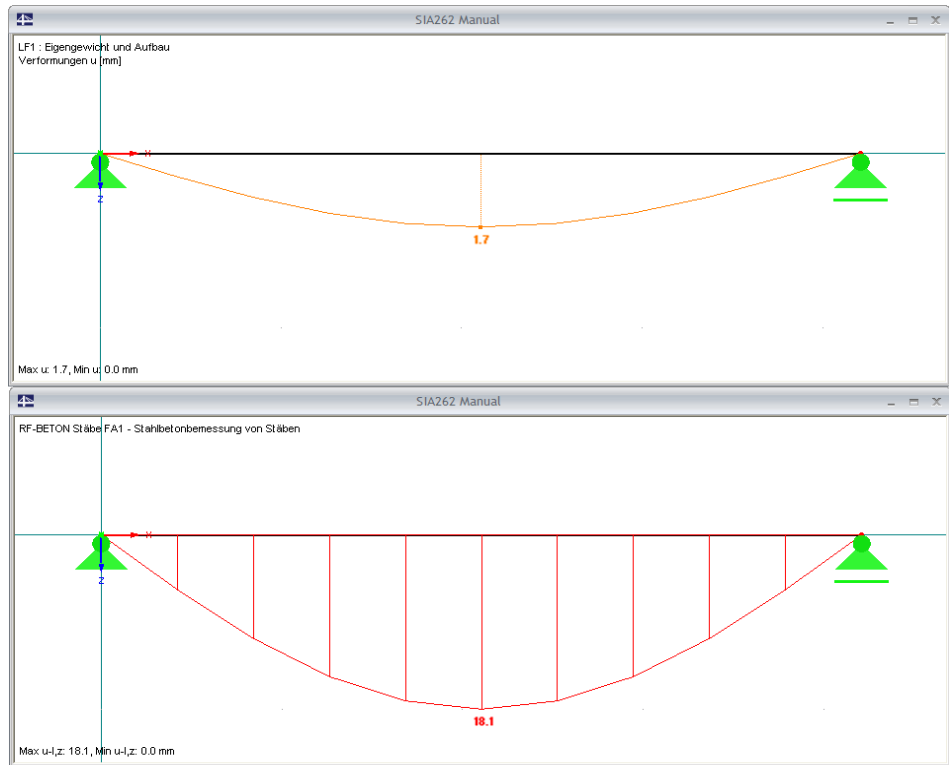


Bild 9.3: Verformungen im Zustand I und Zustand II

A Literatur

Normen / Anwendungen

- [1] DIN 1045-1 (Juli 2001) Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Beuth Verlag, Berlin Wien Zürich 2001
- [2] DIN 1045-1 (Juli 2001, 2. Auflage) Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1 Bemessung und Konstruktion, Kommentierte Kurzfassung, Beuth Verlag, Berlin Wien Zürich 2005
- [3] DIN 1045-1 (Juni 2008) Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Beuth Verlag, Berlin Wien Zürich 2008
- [4] DIN 1045-88 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1 Bemessung und Konstruktion, Beuth Verlag, Berlin Wien Zürich 1988
- [5] DIN V ENV 1992-1-1:1992: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1: Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau. Juni 1992.
- [6] DIN EN 1992-1-1:2005: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Februar 2010.
- [7] DIN EN 1992-1-2:2005: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall. Oktober 2006.
- [8] ÖNORM B 4700 (Juni 2001): „Stahlbetontragwerke EUROCODE-nahe Berechnung, Bemessung und konstruktive Durchbildung“, Österreichisches Normungsinstitut, Wien
- [9] Heft 220 DAFStb. „Bemessung von Beton- und Stahlbetonbauteilen nach DIN 1045 – Biegung mit Längskraft, Schub, Torsion“, Beuth Verlag, Berlin Wien Zürich, 2. Auflage 1978
- [10] Heft 240 DAFStb. „Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formänderungen von Stahlbetontragwerken nach DIN 1045-88“, Beuth Verlag, Berlin Wien Zürich, 3. Auflage 1991
- [11] Heft 415 DAFStb., BUSJÄGER, D., QUAST, U.: „Programmgesteuerte Berechnung beliebiger Massivbauquerschnitte unter zweiachsiger Biegung mit Längskraft“, Beuth Verlag, Berlin Wien Zürich 1990
- [12] Heft 425 DAFStb., KORDINA, K. et. al.: „Bemessungshilfsmittel zu Eurocode 2 Teil 1 – Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken“, Beuth Verlag, Berlin Wien Zürich 1992
- [13] Heft 525 DAFStb. „Erläuterungen zu DIN 1045-1“, Beuth Verlag, Berlin Wien Zürich 2003
- [14] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.: „Beispiel zur Bemessung nach DIN 1045-1, Band 1: Hochbau“, Ernst & Sohn Verlag 2005, 2. Auflage
- [15] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.: „Beispiel zur Bemessung nach DIN 1045-1, Band 2: Ingenieurbau“, Ernst & Sohn Verlag 2003, 1. Auflage
- [16] SIA 262:2003 Bauwesen – Betonbau (Schweizer Norm SN 505 262)
- [17] Einführung in die Norm SIA 262 – Betonbau (SIA Dokumentation D 0182)

Allgemein

- [18] AVAK, R.: Stahlbetonbau in Beispielen, DIN 1045, Teil 1, „Grundlagen der Stahlbeton-Bemessung - Bemessung von Stabtragwerken“, Werner Verlag, 5. Auflage 2007
- [19] BARTH, C., RUSTLER, W.: „Finite Elemente in der Baustatik-Praxis“, Bauwerk Verlag 2010
- [20] CURBACH, M. et. al.: „Nichtlineare Berechnung alter Bogenbrücken auf Grundlage neuer Vorschriften“, Beton- und Stahlbetonbau 99 (04/2004)
- [21] HEYDEL G., KRINGS W., HERRMANN H.: „Stahlbeton im Hochbau nach EC 2“, Ernst und Sohn Verlag 1995
- [22] HOSSER, D. und RICHTER, E.: Überführung von EN 1992-1-2 in EN-Norm und Bestimmung der national festzulegenden Parameter (NDP) im Nationalen Anhang zu EN 1992-1-2. Schlussbericht, Stuttgart, Fraunhofer IRB 2007
- [23] KLEINSCHMITT, J.: „Die Berechnung von Stahlbetonstützen nach DIN 1045-1 mit nichtlinearen Verfahren“, Beton- und Stahlbetonbau 02/2005
- [24] KORDINA, K. und QUAST, U.: „Bemessung von schlanken Bauteilen für den durch Tragwerksverformung beeinflussten Grenzzustand der Tragfähigkeit – Stabilitätsnachweis“, Betonkalender 2002/Teil 1, Ernst & Sohn Verlag 2002
- [25] LEONHARDT, F.: „Vorlesungen über Massivbau“, Teil 1 bis 4, Springer Verlag, 3. Auflage 1984
- [26] NOAKOWSKI, P. und Schäfer, H. G.: „Steifigkeitsorientierte Statik im Stahlbetonbau“, Ernst & Sohn, 2003
- [27] NOAKOWSKI, P. und SCHÄFER, H. G.: „Die Schnittgrößen in Stahlbetontragwerken einfach richtig berechnen“, Beton- und Stahlbetonbau 96 (06/2001)
- [28] PFEIFFER, U.: „Die nichtlineare Berechnung ebener Rahmen aus Stahl- oder Spannbeton mit Berücksichtigung der durch das Aufreißen bedingten Achsdehnung“, Dissertation an der TU Hamburg-Harburg 2004, Cuvillier Verlag Göttingen
- [29] PFEIFFER, U. und QUAST, U.: „Some advantages of 1D- instead of 2D- or 3D- modelling for non-linear analysis of reinforced concrete frames“, Proceedings of the EURO-C Conference 2003, St. Johann im Pongau, 17-20 March 2003, 805-815. Lisse, Abingdon, Exton (PA), Tokyo: A. A. Balkema Publishers, 2003
Download unter <http://www.mb.tu-harburg.de> möglich
- [30] PFEIFFER, U. und QUAST, U.: „Nichtlineares Berechnen stabförmiger Bauteile“, Beton- und Stahlbetonbau 98 (09/2003)
- [31] QUAST, U.: „Zur Kritik an der Stützenbemessung“, Beton- und Stahlbetonbau 95 (05/2000)
- [32] QUAST, U.: „Zum nichtlinearen Berechnen im Stahlbeton- und Spannbetonbau“, Beton- und Stahlbetonbau 89 (09/1994)
- [33] QUAST, U.: „Nichtlineare Verfahren, normungsreif oder nicht?“, Betonbau - Forschung, Entwicklung und Anwendung, 223-232. Braunschweig: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Download unter <http://www.mb.tu-harburg.de> möglich
- [34] QUAST, U.: „Versagen Stahlbetonstützen anders als Stahlstützen?“, Veröffentlicht auf der Homepage der TU Hamburg-Harburg
Download unter <http://www.mb.tu-harburg.de> möglich
- [35] VATER, C.: „Rechnerisch-theoretische Untersuchungen zur Schnittgrößenumlagerung in verschieblichen und unverschieblichen Stahlbetonrahmen“, Dissertation an der TU Hamburg-Harburg 1999
- [36] ZILCH, K. und ROGGE, A.: „Bemessung der Stahlbeton- und Spannbetonbauteile nach DIN 1045-1“, Betonkalender 2002/Teil 1 und 2004/Teil 2, Ernst & Sohn Verlag 2002 bzw. 2004.

B Index

3	
3D-Rendering.....	74, 82
A	
Achsmass.....	42
Anmerkung.....	31
Ausdruckprotokoll.....	81, 87
Auslegung der Längsbewehrung.....	44
Ausschnitt.....	80
B	
Basisangaben.....	24
Beenden von RF-BETON Stäbe.....	24, 52
Bemessungsdetails.....	53, 66
Bemessungsfall.....	77, 83, 84
Berechnung.....	50
Betonalter.....	19, 21
Betondeckung.....	42
Betondruckstrebe.....	12, 47
Betondruckzone.....	46
Beton-Festigkeitsklasse.....	28
Betonspannung.....	70
Betonstahl.....	29
Betonzugfestigkeit.....	44, 70
Bewehrung.....	37
Bewehrungsabstand.....	39
Bewehrungsanordnung.....	41
Bewehrungsfläche.....	52, 54
Bewehrungsgrad.....	46, 67, 85
Bewehrungslage.....	39, 59
Bewehrungssatz.....	37
Bewehrungsskizze.....	73
Bewehrungsstab.....	59
Bewehrungsstaffelung.....	39
Bewehrungsverteilung.....	42
Bewehrungsvorschlag.....	38, 58, 62, 65, 73
Biegerollendurchmesser.....	61, 68
Biegung.....	9
Blättern in Masken.....	24
Brandschutznachweis.....	77
Bügel.....	40
Bügelabmessungen.....	64
Bügelabstand.....	41, 64
Bügelbereich.....	64
Bügelbewehrung.....	52, 53, 63, 66, 73, 75
Bügelparameter.....	40
D	
Dezimalstellen.....	28, 86
Direkte Lagerung.....	35
Druckbewehrung.....	10, 46
Drucken.....	82
Druckkraft.....	10
Druckstrebenneigung θ	47
Durchbiegung.....	16, 45, 70, 92
Durchmesser.....	39
E	
Ecke.....	42, 43
Einheiten.....	28, 86
Endlager.....	36
Erforderliche Bewehrung.....	52
Ergebnisauswertung.....	73
Ergebnismasken.....	52
<i>Ergebnisse</i> -Navigator.....	77
Ergebnisverläufe.....	79, 82
Ergebniswerte.....	77
Eurocode.....	26
Excel.....	87
Export Ergebnisse.....	87
Export Querschnitte.....	85
F	
Fehlermeldung.....	54, 57
Filter.....	80
Filtern von Stäben.....	80
G	
Gebrauchstauglichkeit.....	13, 27, 45, 58, 69, 77
Gewicht.....	61, 64, 68
Grafik.....	77
Grafik drucken.....	82
Grenzzustand Gebrauchstauglichkeit..	13, 38, 44, 69
Grenzzustand Tragfähigkeit.....	9, 10
Grundbewehrung.....	39

H			
Haken	61		
Hintergrundgrafik	76		
Hinweis	54		
Höchstbewehrungsgrad	46		
I			
Indirekte Lagerung	35		
Installation	6		
K			
Kommentar	26		
Konstruktive Bewehrung	43		
Kriechen	17, 22, 27, 31		
Kriechzahl	17, 18, 31		
Krümmung	16, 91		
L			
Lage	42		
Lager	35		
Lagerbreite	35		
Länge	60		
Längsbewehrung	38, 52, 53, 58, 66, 73, 75		
Längskraft	9		
Lastfall	26, 27		
Lastfallgruppe	26, 27		
Lastfallkombination	26, 27		
M			
Masken	24		
Material	28		
Materialbezeichnung	28		
Materialbibliothek	29		
Materialkennwerte	28		
Meldung	61, 64, 71		
Mindestbewehrung	13, 43, 70		
Mitwirkende Breite	33		
Momentenumlagerung	36		
Monolithische Verbindung	35		
M-Verhältnis δ	36		
N			
Nationaler Anhang	25		
Navigator	24		
Neigung	40, 59		
Nennmass	42		
Nichtlineare Berechnung	58		
Norm	5, 25, 46		
O			
Obere Bewehrung	53		
Oberfläche	68		
OpenOffice	87		
Optimierung	31, 85		
P			
Panel	8		
Plattenbreite	42		
Plausibilitätskontrolle	50		
Position	58, 63, 68, 73		
Positionsbügel	63, 65		
Positionsstab	58, 62, 73, 75		
Programmaufruf	7		
Q			
Querkraft	36		
Querkraftbewehrung	46		
Querkrafttragfähigkeit	10, 47		
Querschnitt	30		
Querschnittsbezeichnung	30		
Querschnittsbibliothek	30		
Querschnittsoptimierung	85		
R			
Randmass	42		
Relative Luftfeuchte	18		
Relaxation	22		
RF-BETON Stäbe-Fall	51, 83		
RFEM-Arbeitsfenster	76		
Rippe	33, 34		
Rissbreite	14, 44, 70		
Rissbreitenbegrenzung	44		
Rissbreitennachweis	45		
S			
Schaltflächen	34, 75		
Schnitt	40, 64		
Schnittgrößen	85		
Schubbewehrung	40, 53		
Schwinddehnung	31		
Schwinden	17, 22, 27, 31		
Schwindmaß	17, 21		
Selektion Ausdruck	81		
Sicherheit	67		

Skalierung.....	78
Spannungsnachweis.....	45
Stab.....	37, 55, 72
Stababstand.....	15, 70
Stabdurchmesser.....	43, 60, 63, 68
Stabsatz.....	34, 37, 48, 55, 71
Stabstahl.....	38, 40
Staffelung.....	39
Stahlliste.....	67
Stahloberfläche.....	39
Stahlspannung.....	70
Starten von RF-BETON Stäbe.....	7
Stelle x.....	54, 56, 59, 60, 64, 66, 69
T	
Teilsicherheitsbeiwert Beton.....	47
Teilsicherheitsbeiwert Betonstahl.....	47
Torsion.....	53
Tragfähigkeit.....	9, 77
U	
Umlaufende Bewehrung.....	42
Unbemessbarkeit.....	57
Untere Bewehrung.....	53
V	
Verankerung.....	39, 60
Verankerungsart.....	39, 40, 60
Verankerungslänge.....	39, 40
Verankerungstyp.....	68
Verformung.....	5, 16, 45, 70, 89
Verjüngung.....	49
Versatzmass.....	67
Visualisierung.....	74, 77
Vorhandene Bewehrung.....	58
Voüte.....	33, 34, 48, 55, 86
W	
Winkelhaken.....	61
X	
x-Stelle.....	54, 56, 66, 69, 72
Z	
Zementart.....	19
Zugbeanspruchung.....	44
Zugkraft.....	9
Zustand II.....	16
Zwang.....	44, 45
Zwischenergebnisse.....	53, 66, 77, 79