

**Fassung
März 2018**

Zusatzmodul

RF-/BETON Stützen

**Verfahren mit Nennkrümmung
nach EN 1992-1-1:2010**

Programmbeschreibung

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten.

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

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

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

Inhalt

	Inhalt	Seite		Inhalt	Seite
1.	Einleitung	4	2.6.1	Nachweisverfahren	43
1.1	Zusatzmodul RF-/BETON Stützen	4	2.6.2	Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung	44
1.2	Gebrauch des Handbuchs	4	2.6.3	Querkrafttragfähigkeit mit Querkraftbewehrung	45
1.3	Rahmenbedingungen	5	2.6.4	Varianten des Querkraftnachweises	48
2.	Theoretische Grundlagen	7	2.6.5	Querkraftnachweis Rechteckquerschnitt	49
2.1	Stabilitätsnachweis	7	2.6.5.1	Gerissener Querschnitt	49
2.1.1	Notwendigkeit des Nachweises	7	2.6.5.2	Völlig überdrückter Querschnitt	52
2.1.2	Form des Nachweises	7	2.6.6	Querkraftnachweis Kreisquerschnitt	53
2.1.3	Klassifizierung des Gesamtsystems	7	2.6.6.1	Gerissener Querschnitt	53
2.1.4	Ermittlung des Ersatzstablänge	8	2.6.6.2	Völlig überdrückter Querschnitt	56
2.1.5	Bestimmung der Schlankheit	9	2.6.7	Querkraftbewehrung	56
2.1.6	Stabilitätsnachweis oder Regelbemessung	10	2.6.8	Programmablauf zur Querkraftbemessung	59
2.1.7	Biegemomente aus Theorie I. und II. Ordnung	10	2.6.8.1	Teil 5.1: Bestimmung der Quertragfähigkeit	59
2.1.7.1	Planmäßige Ausmitte nach Theorie I.Ordnung	10	2.6.8.2	Teil 5.2: Bestimmung der Druckstrebenfestigkeit	61
2.1.7.2	Zusätzliche ungewollte Ausmitte e_1	12	2.6.8.3	Teil 5.3: Bestimmung der Querbewehrung	62
2.1.7.3	Zusätzliche Lastausmitte e_2 aus Verformung nach Theorie II. Ordnung	13	2.7	Übergreifungsstöße	63
2.1.8	Art der Querschnittsbemessung	15	2.7.1	Anschlusselemente an eine Stütze	63
2.2	Programmablauf der Stabilitätsuntersuchung	15	2.7.2	Gestaltung von Übergreifungsstößen	65
2.2.1	Teil 1: Lastunabhängige Berechnungen	19	3.	Arbeit mit RF-/BETON Stützen	67
2.2.2	Teil 2: Bestimmung der maßgebenden Belastung	20	3.1	RF-/BETON Stützen starten	67
2.2.3	Teil 3: Bestimmung der vorhandenen Bewehrung	25	3.2	Masken	68
2.2.4	Teil 4: Bestimmen der vorhandenen Sicherheit	30	3.3	Eingabemasken	69
2.3	Ablauf beim Nachweis vorhandener Bewehrung	31	3.3.1	Maske 1.1 Basisangaben	69
2.4	Ermittlung der vorhandenen Bewehrung	31	3.3.2	Maske 1.2 Materialien	77
2.4.1	Rechteckiger Querschnitt	32	3.3.3	Maske 1.3 Querschnitte	82
2.4.2	Kreisförmiger Querschnitt	34	3.3.4	Maske 1.4 Bewehrung	84
2.5	Brandschutznachweis	36	3.3.4.1	Längsbewehrung	86
2.5.1	Unterteilung des Querschnitts	36	3.3.4.2	Bügel	87
2.5.2	Reduzierung des Querschnitts	37	3.3.4.3	Konstruktive Bewehrung	88
2.5.3	Spannungs-Dehnungs-Linie des Betons	39	3.3.4.4	Bewehrungsanordnung	88
2.5.4	Spannungs-Dehnungs-Linie des Betonstahls	40	3.3.4.5	„Norm“	90
2.6	Querkraftnachweis	43	3.3.4.6	Brandschutz	92
			3.3.5	Maske 1.5 Stützenparameter - stabweise	93
			3.4	Details	105
			3.5	Ergebnismasken	109
			3.5.1	Maske 2.1 Nachweis Stäbe	109

Inhalt

	Inhalt	Seite		Inhalt	Seite
3.5.2	Maske 3.1 Erforderliche Bewehrung querschnittsweise	119			
3.5.3	Maske 3.2 Erforderliche Bewehrung stabweise	123			
3.5.4	Maske 4.1 Vorhandene Längsbewehrung	124			
3.5.5	Maske 4.2 Vorhandene Bügelbewehrung	127			
4.	Ergebnisauswertung	133			
4.1	Ergebnisdarstellung in RFEM/RSTAB	133			
4.2	Ausdruck	137			
5.	Beispiele	142			
5.1	Randstütze	142			
5.1.1	System und Belastung	142			
5.1.2	Bemessungswerte Tragfähigkeit	143			
5.1.3	Räumliche Steifigkeit und Stabilität	147			
5.1.4	Ersatzlänge und Schlankheit	147			
5.1.5	Weitere Eingaben im Modul	148			
5.1.6	Erforderliche Bewehrung	152			
5.1.7	Grenzschlankheit	154			
5.1.8	Ausmitten	155			
5.1.9	Momente nach Theorie I. Ordnung	155			
5.1.10	Momente nach Theorie II. Ordnung	156			
5.1.11	Statisch erforderliche Bewehrung	157			
5.1.12	Vorhandene Bewehrung	157			
5.1.13	Vorhandene Sicherheit	158			
5.2	Schlanke Stütze	161			
5.2.1	Räumliche Steifigkeit und Stabilität	162			
5.2.2	Ersatzlänge und Schlankheit der Stütze	162			
5.2.3	Grenzschlankheit gemäß 5.8.3.1 (1)	164			
5.2.4	Planmäßige Ausmitte gemäß 5.8.8.2	166			
5.2.5	Ausmitte durch Imperfektionen gemäß 5.2	166			
5.2.6	Mindestausmitte gemäß 6.1 (4)	167			
5.2.7	Momente nach Theorie I. Ordnung	167			
5.2.8	Momente nach Theorie II. Ordnung	167			
5.2.9	Vorhandene Bewehrung	172			
5.3	Brandschutznachweis	174			
A:	Literatur	177			

1. Einleitung

1.1 Zusatzmodul RF-/BETON Stützen

Sehr verehrte Anwender von RF-/BETON Stützen,

die Zusatzmodule BETON Stützen (für RSTAB) und RF-BETON Stützen (für RFEM) erweitern die DLUBAL-Produktpalette um ein weiteres leistungsstarkes Werkzeug zur Stahlbetonbemessung. In der gewohnten Art und Weise können Stäbe und Stabzüge mit rechteckigem oder rundem Querschnitt aus dem Modell ausgewählt und Belastungen zur Bemessung angesetzt werden. Die konstruktiven Eigenschaften der Stütze lassen sich komfortabel definieren, ebenso wie die Vorgaben zur Bestimmung der erforderlichen Längs- und Querkraftbewehrung. Die Nachweise können nach den aktuellen Fassungen der Normen EN 1992, ACI 318 oder GB 50010 erfolgen.

Dieses Handbuch beschreibt die Zusatzmodule der beiden Hauptprogramme gemeinsam unter der Bezeichnung **RF-/BETON Stützen**.

Nach dem Start der Berechnung entscheidet das Programm für Sie, welche Belastung für die Nachweise der Biege- und der Querkrafttragfähigkeit maßgebend wird. Für den Nachweis der Biegetragfähigkeit wird untersucht, ob eine Regelbemessung ausreicht oder ob mit den Momenten nach Theorie II. Ordnung zu bemessen ist. In beiden Fällen ist eine zweiachsige Biegebemessung möglich, für die der exakte Verlauf von Dehnung und Spannung des Querschnitts räumlich dargestellt wird. Es werden insgesamt fünf maßgebende Stellen der Stütze für den Nachweis der Biegebruchsicherheit untersucht. Dies sind die Stellen mit der minimalen Normalkraft sowie die Stellen mit dem jeweils minimalen und maximalen Moment um die beiden Hauptachsen des Querschnitts. Für die Querkrafttragfähigkeit werden zudem die Stellen der Stütze mit den extremalen Querkraften in eine Achsrichtung betrachtet.

Nach der Bemessung erstellt RF-/BETON Stützen einen Bewehrungsvorschlag für die Längs- und Querkraftbewehrung unter Beachtung sämtlicher konstruktiver Vorschriften. Diese Bewehrung wird dreidimensional und in vorschriftsmäßig bemaßten Grafiken dargestellt. Der Bewehrungsvorschlag kann jederzeit an die individuellen Erfordernisse angepasst werden. Mit diesen Änderungen wird erneut der quantitative Wert der Sicherheit gegen Biegebruch und Querkraftversagen bestimmt.

Wir wünschen Ihnen viel Freude und Erfolg mit RF-/BETON Stützen.

Ihr Team von DLUBAL SOFTWARE GMBH

1.2 Gebrauch des Handbuchs

Da die Themenbereiche Installation, Benutzeroberfläche, Ergebnisauswertung und Ausdruck im RFEM- bzw. RSTAB-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 Stützen ergeben.



Dieses Handbuch orientiert sich an der Reihenfolge und am Aufbau der Eingabe- und Ergebnismasken. Im Text sind die beschriebenen **Schaltflächen** (Buttons) in eckige Klammern gesetzt, z. B. [Ansichtsmodus]. Zugleich sind sie am linken Rand abgebildet. Die Begriffe, die in Dialogen, Tabellen und Menüs erscheinen, sind in *Kursivschrift* hervorgehoben, sodass die Erläuterungen gut nachvollzogen werden können.

Sie können auch die Suchfunktion für die [Knowledge Base](#) auf unserer Website nutzen, um in den Beiträgen zu den Stahlbetonmodulen eine Lösung zu finden. Unsere [FAQs](#) geben ebenfalls Hilfestellungen zu themenspezifischen Fragen.

1.3 Rahmenbedingungen

Der Produktphilosophie der DLUBAL-Software folgend, werden die Schnittgrößen ermittelt, indem ein Modell und die zugehörige Belastung im Hauptprogramm RFEM oder RSTAB angelegt und dieses anschließend berechnet wird. Die Bemessung der Komponenten dieses Modells und der dort auftretenden Schnittgrößen findet dann im entsprechenden Zusatzmodul statt. Im Modul müssen deshalb zunächst folgende zwei Fragen beantwortet werden:

- Welche Komponente des Modells soll bemessen werden?
- Für welche Belastung soll die Komponente bemessen werden?

Die Komponenten des Modells, die mit RF-/BETON Stützen bemessen werden können, sind sowohl einfache **Stäbe** als auch **Stabzüge**.

Folgende Abbildung verdeutlicht den Unterschied zwischen einem **Stab** und einem **Stabzug**.

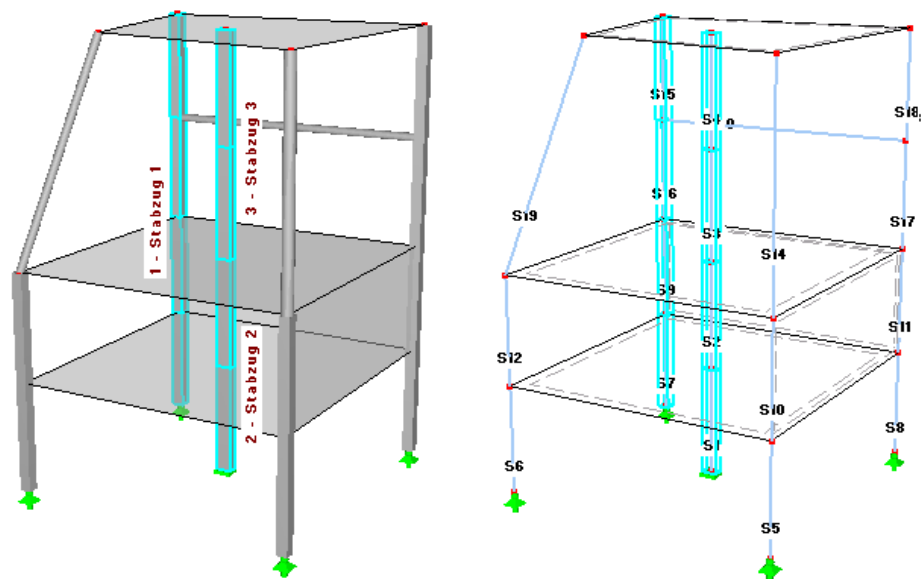


Bild 1.1: Stäbe (innerhalb eines Stabzugs) und Stabzüge (mit Stäben „S“)

Stabzüge bestehen aus mehreren zusammenhängenden Stäben, die nicht verzweigen. In der oberen linken Darstellung sind drei Stabzüge dargestellt. Stabzug 1 erstreckt sich vom Auflager bis zur obersten Platte und besteht aus vier einzelnen Stäben. Stabzug 2 und Stabzug 3 bestehen jeweils aus zwei einzelnen Stäben. Die Nummern der einzelnen Stäbe können der Drahtmodell-darstellung rechts entnommen werden.

Durch Angabe der Nummer eines Stabzuges oder eines Stabes kann diese Komponente im Modul RF-/BETON Stützen zur Bemessung bestimmt werden.

Die Belastung, für die dann die Bemessung stattfindet, ist durch Angabe eines zuvor definierten Lastfalls bzw. einer Last- oder Ergebniskombinationen festzulegen.

Mit dem Festlegen eines Stabes oder Stabzuges erhält das Modul RF-/BETON Stützen Informationen bezüglich des zu bemessenden Bauteils, die der Benutzer bereits beim Anlegen des Modells in RFEM oder RSTAB gegeben hat. Dabei ist zu beachten:

Information	Stab	Stabzug
Material	Als Materialien sind die gängigen Betone der aktuellen Normungen zulässig.	Alle Stäbe des Stabzuges müssen das gleiche Material besitzen, sonst werden sie vom Programm ausgeschlossen.
Querschnitt	Als Querschnittstypen sind rechteckige und runde Querschnitte zulässig.	Alle Stäbe im Stabzug müssen den gleichen Querschnitt aufweisen.
Systemlänge	Die Systemlänge ist die Länge der Linie, die zur Definition des Stabes verwendet wurde.	Die Systemlänge ist die Summe der Längen der Linien, die zur Definition der Stäbe des Stabzuges verwendet wurde.
Anschließende Platte/Stütze	Alle Flächen und/oder Stäbe, die einen Punkt besitzen, der gleichzeitig Anfangs- oder Endpunkt der Linie zur Definition des Stabes ist.	Das zu einem einzelnen Stab Gesagte gilt hier für jeden Stab, der Bestandteil des Stabzuges ist.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Stabilitätsnachweis

2.1.1 Notwendigkeit des Nachweises

Die nachfolgenden Bedingungen bzw. Formeln beziehen sich exemplarisch auf EN 1992-1-1:2010. Bei bestimmten Bauteilen, z. B. Stützen, haben die Verformungen einen wesentlichen Einfluss auf die Größe der Schnittgrößen. Gemäß EN 1992-1-1:2010, Abs. 5.8.2 wird von einem wesentlichen Einfluss gesprochen, wenn die unter Berücksichtigung der Verformung ermittelten Schnittgrößen (Theorie II. Ordnung) sich um mehr als 10 % der Schnittgrößen des unverformten Systems (Theorie I. Ordnung) unterscheiden bzw. wenn die Schlankheit $\lambda > \lambda_{lim}$ nach Abs. 5.8.3.1 ist.

In einem solchen Fall reicht die Regelbemessung nicht mehr aus, es ist eine Stabilitätsuntersuchung erforderlich. Eine einfache Untersuchungsmethode ist das „Verfahren mit Nennkrümmung“ (EN 1992-1-1:2010, Abs. 5.8.8). Es ist anwendbar für Druckglieder als

- Einzelstäbe oder
- Teile einer Rahmenkonstruktion.

Die genaueste Beurteilung von Rahmenkonstruktionen erlaubt die nichtlineare Untersuchung des Verhaltens am Gesamtsystem. Dieser Nachweis ist jedoch sehr aufwändig. Das Verfahren mit Nennkrümmung stellt ein gutes Näherungsverfahren dar.

2.1.2 Form des Nachweises

Beim Verfahren mit Nennkrümmung wird ein Gesamtsystem zur Untersuchung der einzelnen Druckglieder in Ersatzstäbe aufgelöst oder für eine Einzelstütze wird ein Ersatzstab gewählt. Für diese Ersatzstäbe werden Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung unter der vereinfachten Annahme einer parabelförmigen Stützenkrümmung ermittelt.

Die Form des Nachweises entspricht einer regulären Querschnittsbemessung.

Bemessen wird der Querschnitt für folgende Schnittgrößen:

- Normalkraft N_{Ed}
- Moment M_{Ed2}

mit

- N_{Ed} : einwirkende Normalkraft
- M_{Ed2} : Moment M_{Ed2} nach Theorie II. Ordnung, das an einer Modellstütze (Kragstütze) im Einspannpunkt ermittelt wurde

2.1.3 Klassifizierung des Gesamtsystems

Bevor der Ersatzstab eines Gesamtsystems bestimmt werden kann, ist zu untersuchen, um welche Art von Gesamtsystem es sich handelt.

Es sind zwei Gesamtsysteme gemäß EN 1992-1-1:2010, Abs. 5.8.3.3 zu unterscheiden:

- ausgesteifte Bauteile
- nicht ausgesteifte Bauteile

Zur Untersuchung der horizontalen Verschieblichkeit müssen Kenntnisse über die Konstruktion (massive Wandscheiben, Bauwerkskerne) vorhanden sein. Diese Informationen sind aus dem RFEM/RSTAB-Modell nicht automatisch ersichtlich. Die Entscheidung, ob es sich also um ein horizontal verschiebliches oder ein horizontal unverschiebliches Gesamtsystem handelt, muss durch Benutzervorgabe erfasst werden.

2.1.4 Ermittlung des Ersatzstablänge

Norm	Absatz
EN 1992-1-1:2010	5.8.3.2

Die Länge (Knicklänge) l_0 eines Ersatzstab ermittelt sich – sowohl für eine Einzelstütze als auch eine Teilstütze eines Rahmentragwerks – nach folgender Formel:

$$l_0 = \beta \cdot l$$

mit

β : Verhältnis von Ersatzlänge l_0 zu Stützenlänge l

l : Länge der Schwerachse einer Stütze

Das Verhältnis β kann für Einzelstützen aus den definierten Auflagern mit Hilfe der folgenden Tabellenwerte bestimmt werden.

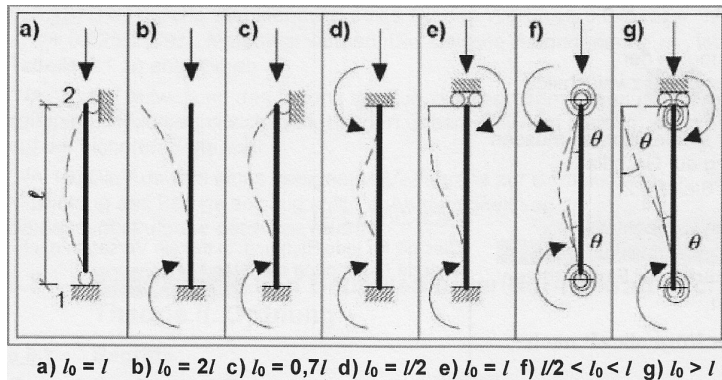


Bild 2.1: Länge (Knicklänge) l_0 eines Ersatzstabes

Wurden Auflagerfedern definiert, ist der Wert β durch den Benutzer zu definieren.

Ist das zu untersuchende Druckglied hingegen Teil eines Rahmensystems, so bieten sich zur Bestimmung des Verhältnisses β folgende Nomogramme nach EN 1992-1-1 an:

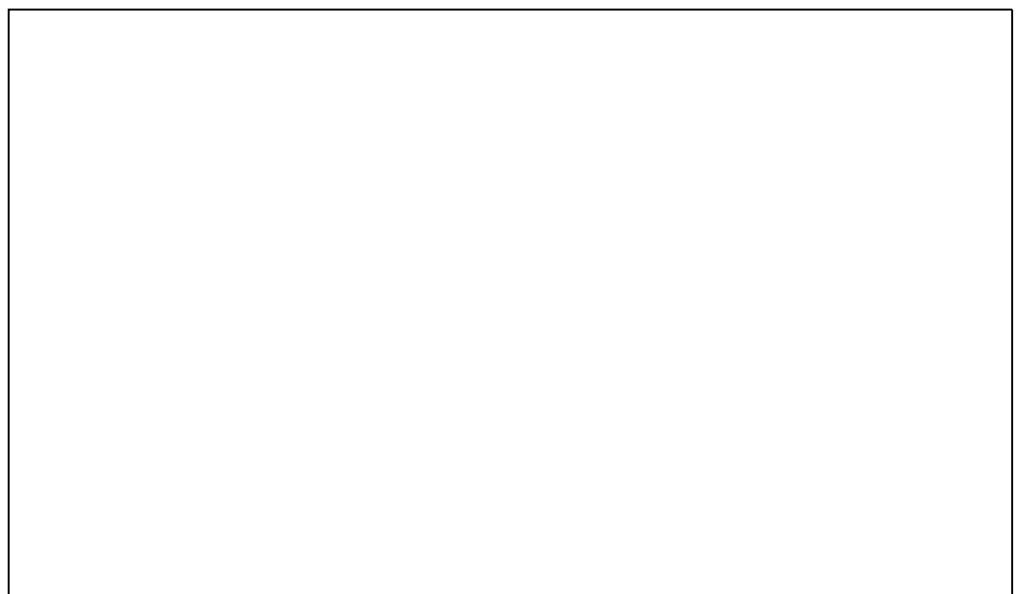


Bild 2.2: Nomogramme zur Bestimmung des Verhältnisses β

Um k_1 und k_2 automatisch im Programm ermitteln zu können, ist im Prinzip nur die Knickrichtung für das zu untersuchende Druckglied zu bestimmen. Innerhalb dieser Richtung werden dann vom Programm automatisch

- die anschließenden Stützen,
- die anschließenden Riegel und
- die Auflagerbedingungen der anschließenden Riegel am abliegenden Ende bestimmt.

Für jede dieser Stützen und Riegel sind dem Programm die Elastizitätsmoduln, Trägheitsmomente und Längen bekannt.

Gegebenenfalls können die anschließenden Stützen und Riegel auch einzeln ausgewählt werden.

Ein Druckglied kann in mehrere Richtungen ausknicken. Bei unterschiedlichen Lagerungsbedingungen in den einzelnen Richtungen kann es zu verschiedenen Ersatzstablängen für jede Richtung kommen.

Das Verhältnis β ist nur eine Näherung und kann deshalb auch durch den Benutzer definiert werden.

2.1.5 Bestimmung der Schlankheit

Norm	Absatz
EN 1992-1-1:2010	5.8.3.2 (1)

Nachdem die Ersatzstablänge l_0 der einzelnen Druckglieder bestimmt ist, kann ihre Schlankheit λ wie folgt ermittelt werden:

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

mit

i : Trägheitsradius

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

2.1.6 Stabilitätsnachweis oder Regelbemessung

Nur für schlanke Druckglieder ist ein Stabilitätsnachweis zu führen; bei gedrunenen Druckgliedern reicht die Regelbemessung. Die Entscheidung, wann ein Druckglied als „schlank“ und wann als „gedrunen“ gilt, findet über einen Vergleich mit der so genannten Grenzschlankheit λ_{lim} nach EN 1992-1-1:2010 statt. Ist die vorhandene Schlankheit kleiner als die Grenzschlankheit, so reicht die Regelbemessung aus.

Die Grenzschlankheit λ_{lim} ermittelt wie folgt:

EN 1992-1-1:2010 Abs. 5.8.3.1 (1)
$\lambda \leq \lambda_{lim}$
$\lambda_{lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C / \sqrt{n}$
mit:
$A = 1 / (1 + 0.2 \cdot \phi_{ef})$
$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega}$
$C = 1.7 - r_m$
und:
$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}}, f_{cd} = \frac{\alpha \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$
$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}}$

Die Grenzschlankheit λ_{lim} ist abhängig von der eingelegten Bewehrung (siehe Faktor B). Um die wirtschaftlichste Bewehrung zu erhalten wird die Formel für λ_{lim} nach A_s umgestellt und somit die erforderliche Bewehrungsmenge $A_{s,lim}$ bestimmt, die zur Durchführung einer Regelbemessung erforderlich ist. Diese „Grenzlängsbewehrung“ wird während der Iterationen zur Berechnung der erforderlichen Längsbewehrung als Vergleichswert verwendet.

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot A \cdot C \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{1 + 2 \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}}} \xrightarrow{\lambda = \lambda_{lim}} A_{s,lim} = \left[\left(\frac{\lambda \cdot \sqrt{n}}{20 \cdot A \cdot C} \right)^2 - 1 \right] \cdot \frac{A_c \cdot f_{cd}}{2 \cdot f_{yd}}$$

2.1.7 Biegemomente aus Theorie I. und II. Ordnung

2.1.7.1 Planmäßige Ausmitte nach Theorie I. Ordnung

Ist der Momentenverlauf über die Stütze konstant, ermittelt sich die planmäßige Ausmitte e_0 nach folgender Gleichung:

$$e_0 = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \geq e_{min}, \quad e_{01} = e_{02}$$

mit:

$$e_{min} = h / 30 \geq 20mm \quad \text{Mindestaumitte nach Abs. 6.1 (4)}$$

h: Querschnittshöhe

Ist der Momentenverlauf hingegen linear veränderlich, darf eine Ersatzausmitte e_e ermittelt werden.

$$e_e = \max \left\{ \begin{array}{l} 0.6 \cdot e_{02} + 0.4 \cdot e_{01} \\ 0.4 \cdot e_{02} \end{array} \right\} \quad \text{dabei gilt: } |e_{02}| \geq |e_{01}| \text{ und } (e_{01}, e_{02} \text{ mit Vorzeichen})$$

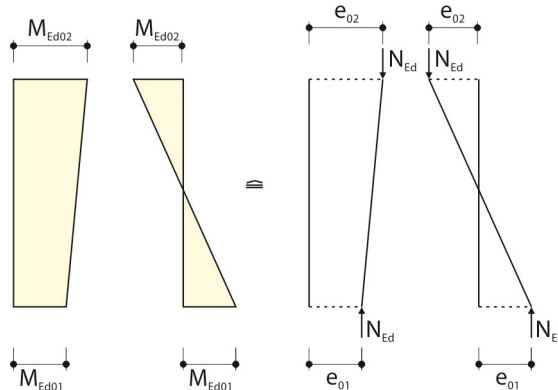


Bild 2.3: Veränderlicher Momentenverlauf

Diese Ersatzausmitte e_e ersetzt dann die planmäßige Ausmitte e_0 in den bisherigen Formeln.

Es finden sich keine Vorgaben für beispielsweise einen parabelförmigen Momentenverlauf. Daher wird bei einem beliebigen Momentenverlauf stets mit der größten Ausmitte gerechnet. Diese Annahme verhindert, in spezifischer Weise belastete Stützen von der Bemessung auszuschließen.

Ebenfalls mit der größten Ausmitte wird gerechnet, wenn die Stütze eine zweiachsige Biegung erfährt oder die Momente an den Stützenenden aus einer Ergebniskombination herrühren.

Als Modellstütze wird eine Kragstütze gewählt, die durch ein Biegemoment M_{Ed0} am Kopfpunkt und eine Normalkraft N_{Ed} beansprucht ist. Das Moment M_{Ed0} wird durch eine ausmittig angreifende Normalkraft N_{Ed} ersetzt. Mit e_0 wird die planmäßige Ausmitte nach Theorie I. Ordnung bezeichnet.

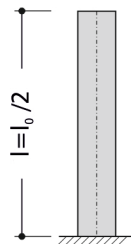


Bild 2.4: Modellstütze - Kragstütze

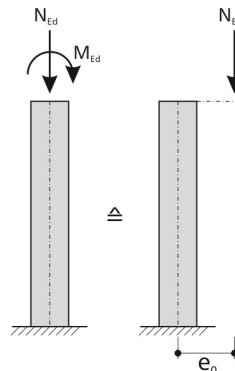


Bild 2.5: Ausmitte e_0

2.1.7.2 Zusätzliche ungewollte Ausmitte e_i

Die unvermeidliche Schiefstellung der Stütze wird durch eine Kopfauslenkung e_i berücksichtigt.

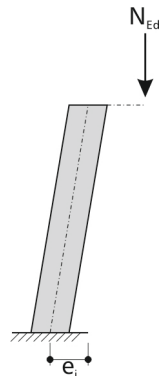


Bild 2.6: Kopfauslenkung e_i

Diese Ausmitte ermittelt sich nach EN 1992-1-1: 2010 nach Gleichung (5.2):

$$e_i = \Theta_i \cdot l_0 / 2$$

Eine Schiefstellung θ_i ermittelt sich nach Gleichung (5.1):

$$\Theta_i = \Theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

$$\Theta_0 = 1 / 200$$

Grundwert der Schiefstellung

$$\alpha_h = 2 / \sqrt{l} \quad 2/3 \leq \alpha_h \leq 1.0$$

Abminderungsbeiwert für die Höhe

$$\alpha_m = \sqrt{0.5 \cdot (1 + 1/m)}$$

Abminderungsbeiwert für die Anzahl der Bauteile

Das Biegemoment M_{Edi} , das sich aus der Schiefstellung e_i ergibt, errechnet sich nach EN 1992-1-1:2010, Abs. 5.2 wie folgt:

$$M_{Edi} = N_{Ed} \cdot e_i$$

Beide Auslenkungen (e_0 und e_i) ergeben folgenden Momentenverlauf (Moment nach Theorie I. Ordnung).

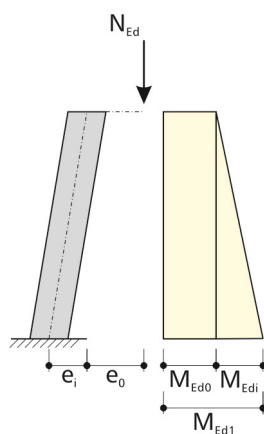


Bild 2.7: Theorie I. Ordnung - Auslenkungen e_i und e_0 .

2.1.7.3 Zusätzliche Lastausmitte e_2 aus Verformung nach Theorie II. Ordnung

Unter der Belastung kommt es zu einer Krümmung der Stütze. Der Stützenkopf wird dabei um den Weg e_2 ausgelenkt. Dabei ergibt sich der Momentenverlauf nach Theorie II. Ordnung.

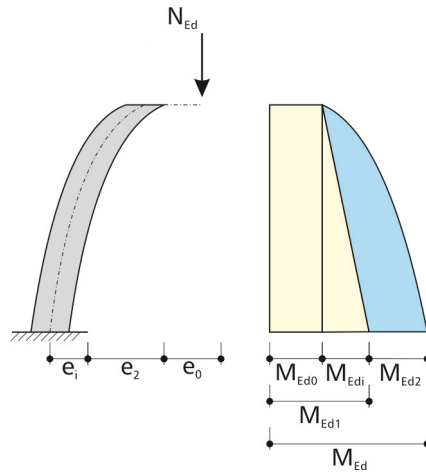


Bild 2.8: Theorie II. Ordnung - Auslenkungen e_1 , e_0 und e_2

Grundgedanke bei der Ermittlung der zusätzlichen Verformung ist die Annahme, dass schlanke Druckglieder bei Erreichen der Fließgrenze in der Bewehrung versagen. Damit ergibt sich als Ausgangspunkt die ungünstigste Konstellation, dass gleichzeitig die Zug- und Druckbewehrung ihre Fließspannungen erreichen. Dies ist für den Bereich des Zugversagens ausreichend genau. Tritt allerdings Druckversagen ein, führt dies zu einer deutlichen Überschätzung der Bruchkrümmung. Dies wird beim Modellstützenverfahren mit dem Faktor K_r berücksichtigt, der später noch genauer erläutert wird.

Die Krümmung verläuft in Abhängigkeit der sich für jedes Teilstück ändernden Steifigkeiten der Stütze nach einer unbekannt Form. Für das Modellstützenverfahren wird jedoch ein parabelförmiger Krümmungsverlauf angenommen. Da der Momentenverlauf zur Krümmung affin ist, kann nun zur Ermittlung der Lastausmitte e_2 die mit dem Prinzip der virtuellen Kräfte hergeleitete Formel verwendet werden.

$$e_2 = \left(\frac{1}{r}\right) \cdot l_0^2 / c \quad \text{nach EN 1992-1-1:2010, Abs. 5.8.8.2 (3)}$$

mit

$$\left(\frac{1}{r}\right): \quad \text{Stabkrümmung im maßgebenden Schnitt}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right) = K_r \cdot K_\phi \cdot 1 / r_0 \quad \text{nach EN 1992-1-1:2010, Abs. 5.8.8.3}$$

mit

K_r : Beiwert zur Berücksichtigung der Abnahme der Krümmung bei steigenden Längsdruckkräften – in der Praxis häufig auf der sicheren Seite liegend mit 1 angenommen.

$$K_r = \frac{|n_u| - |n|}{|n_u| - |n_{bal}|} \leq 1$$

mit

n_u : bezogener Bauteilwiderstand bei zentrischer Beanspruchung

$$n_u = 1 + \omega$$

Achtung:

Der Wert wird aus der eingelegten Bewehrung bestimmt. Daher ist eine iterative Ermittlung erforderlich.

mit

ω : mechanischer Bewehrungsgrad

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}}$$

n : bezogene Normalkraft

$$n = N_{ed} / (A_c \cdot f_c)$$

n_{bal} : bezogene Längsdruckkraft bei größter Biegetragfähigkeit am Einheitsquerschnitt (gilt für symmetrisch bewehrte Rechteckquerschnitte)

$$n_{bal} = 0.4$$

K_ϕ : Beiwert zur Berücksichtigung der Auswirkungen aus Kriechen

$$K_\phi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} \geq 1$$

mit

β : Abminderungsbeiwert

$$\beta = 0.35 + f_{ck} / 200 - \lambda / 150 \geq 0$$

φ_{ef} : effektive Kriechzahl

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \cdot M_{0Eqp} / M_{0Ed}$$

mit

$\varphi(\infty, t_0)$: Endkriechzahl

M_{0Eqp} : Biegemoment nach Theorie I.Ordnung unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination (GZG)

M_{0Ed} : Biegemoment nach Theorie I.Ordnung unter der Bemessungs- Einwirkungskombination (GZT)

Achtung:

Unter gewissen Umständen kann es dazu führen, dass der Quotient aus quasi-ständigem Moment und Bemessungsmoment > 1.0 ist. Diesem Umstand wird in Maske 1.1 Rechnung getragen und kann optional deaktiviert werden.

$$1/r_0 = \varepsilon_{yd} / (0.45 \cdot d)$$

mit

ε_{yd} : Bemessungswert der Dehnung der Bewehrung an der Streckgrenze

$$\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s$$

d : Nutzhöhe des Querschnitts in der zu erwartenden Richtung des Stabilitätsversagens

l_0 : Ersatzlänge

$$l_0 = \beta \cdot l$$

c : Beiwert in Abhängigkeit des Krümmungsverlaufs nach 5.8.8.2(4)

Die Gesamtauslenkung e_{tot} ermittelt sich somit wie folgt:

$$e_{tot} = e_0 + e_1 + e_2$$

Das Gesamtmoment M_{Ed} aus Theorie I. und II. Ordnung ergibt sich zu:

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_{tot}$$

Das Druckglied gilt als nachgewiesen, wenn für das Moment M_{Ed} und die Normalkraft N_{Ed} am Einspannpunkt eine ausreichende Bewehrung ermittelt wurde.

2.1.8 Art der Querschnittsbemessung

Der Benutzer muss vorgeben, um welche Achse eine Stütze stabilitätsgefährdet ist. Auch wenn kein Moment vorliegt, ergibt sich eine Stabilitätsgefahr bei Druckgliedern immer durch die ungewollte Ausmitte e_i .

2.2 Programmablauf der Stabilitätsuntersuchung

Der Programmablauf gliedert sich grob in vier Teile:

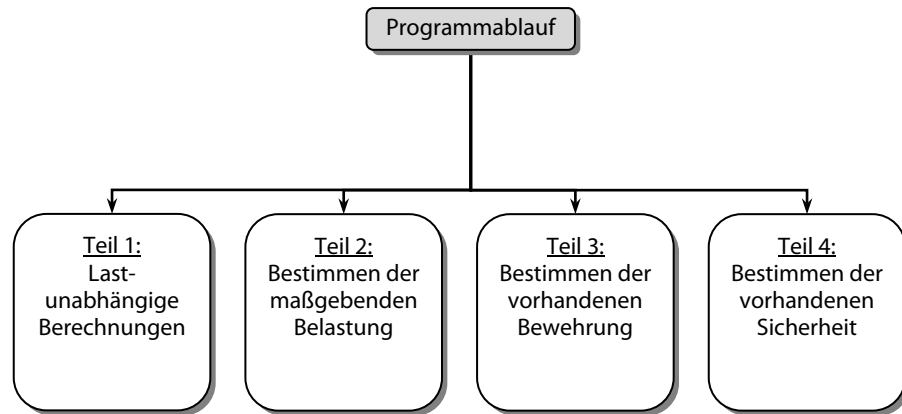


Bild 2.9: Programmablauf

Bevor auf die einzelnen Teile eingegangen wird, ist zu klären, was in RF-/BETON Stützen unter einer „Belastung“ zu verstehen ist.

Eine Belastung kann sich aus einer oder mehreren Einzellasten ergeben, die in Lastfällen zusammengefasst sind. Für einen Lastfall kann sich zum Beispiel ein Schnittgrößenverlauf über die Stütze ergeben, wie er in folgendem Bild dargestellt ist.

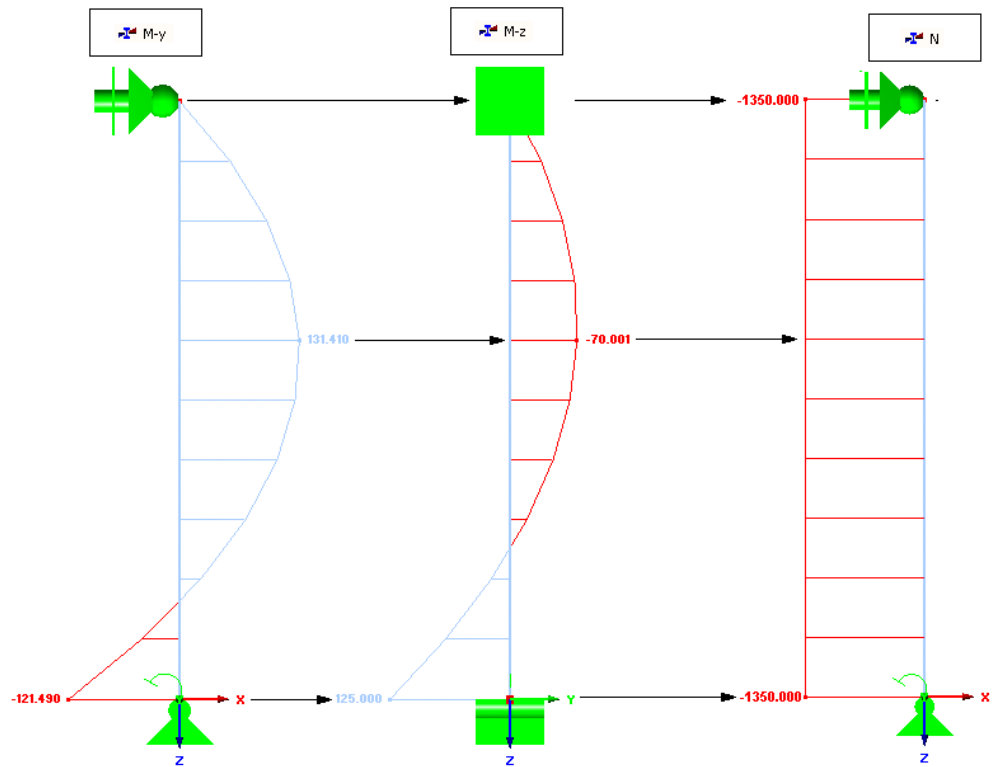


Bild 2.10: Schnittgrößenverlauf über die Stütze für einen Lastfall

Bei einer rechteckigen Stütze sind für die Ermittlung der Längsbewehrung neben der Normalkraft N nur die beiden Biegemomente M_y , M_z , deren Momentenvektoren parallel zu den Achsen y bzw. z des Stabkoordinatensystems verlaufen, zu berücksichtigen.

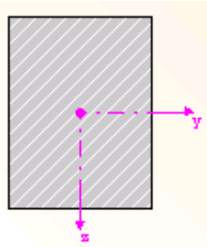


Bild 2.11: Achsen des Stabkoordinatensystems

Wie in vielen Untersuchungen zum Nachweis schlanker Druckglieder bestätigt, sind auch für das Verfahren mit Nennkrümmung Vereinfachungen zulässig. In Anlehnung an DIN 1045-1 wird das Gleichgewicht nur im meistbeanspruchten Querschnitt betrachtet und die Verformung mit vereinfachten Ansätzen ermittelt. Dabei wird der Fließzustand der Bewehrung maßgebend, was die Überführung des komplizierten Nachweises nach Theorie II. Ordnung in eine einfache Querschnittsbemessung ermöglicht.

Für die Bemessung an der meistbeanspruchten Stelle sind fünf Stellen entlang einer Stütze zu untersuchen. Erst wenn feststeht, an welcher Stelle die größte erforderliche Bewehrung vorliegt, kann über eine Bemessung entschieden werden. Diese fünf Stellen sind:

1. Stelle, an der die Normalkraft N minimal wird
2. Stelle, an der das Moment M_y maximal wird
3. Stelle, an der das Moment M_y minimal wird
4. Stelle, an der das Moment M_z maximal wird
5. Stelle, an der das Moment M_z minimal wird

Unter einer maximalen Schnittgröße wird dabei der größte positive Wert, unter einer minimalen Schnittgröße jener Wert verstanden, der bei negativen Vorzeichen den absolut größten Betrag hat. Jede dieser fünf Stellen weist neben der extremalen Schnittgröße zugehörige Schnittgrößen auf, für die im Nachgang eine Bemessung stattfindet.

Wie der Schnittgrößenverlauf für den Lastfall zeigt, können von diesen fünf Stellen einige zusammenfallen.

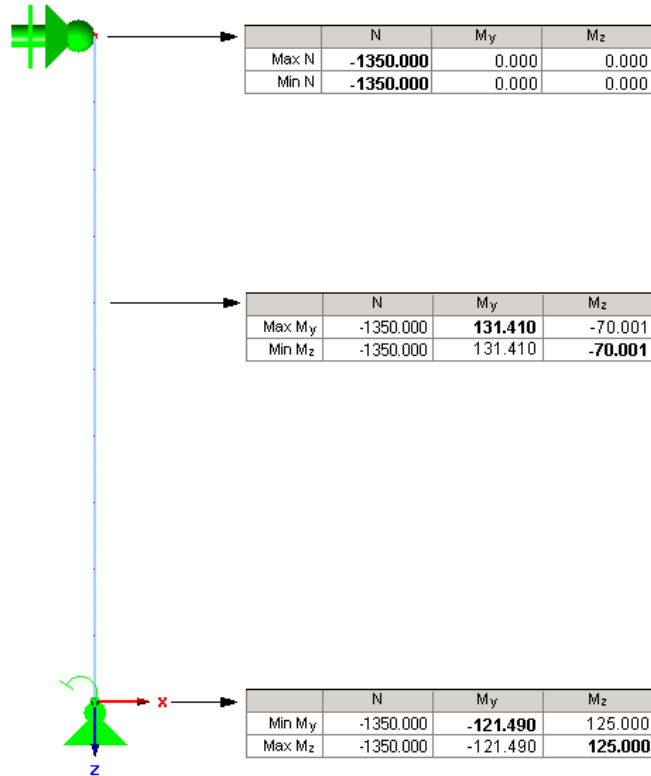


Bild 2.12: Stellen der maßgebenden Schnittgrößen

Eine doppelte Bemessung findet im Falle gleicher Schnittgrößen durch eine programminterne Kontrolle nicht statt.

Neben Lastfällen existieren noch Last- und Ergebniskombinationen. Eine Lastkombination stellt nichts anderes dar als eine Überlagerung von einzelnen Lastfällen, sodass sich wiederum nur ein Schnittkräfteverlauf für jede der drei Schnittkräfte N , M_y und M_z ergibt. Es gilt deshalb das zum einzelnen Lastfall Gesagte.

Bei einer Ergebniskombination hingegen ergibt sich für jede Schnittgröße ein maximaler und ein minimaler Verlauf über die Stütze (siehe folgendes Bild).

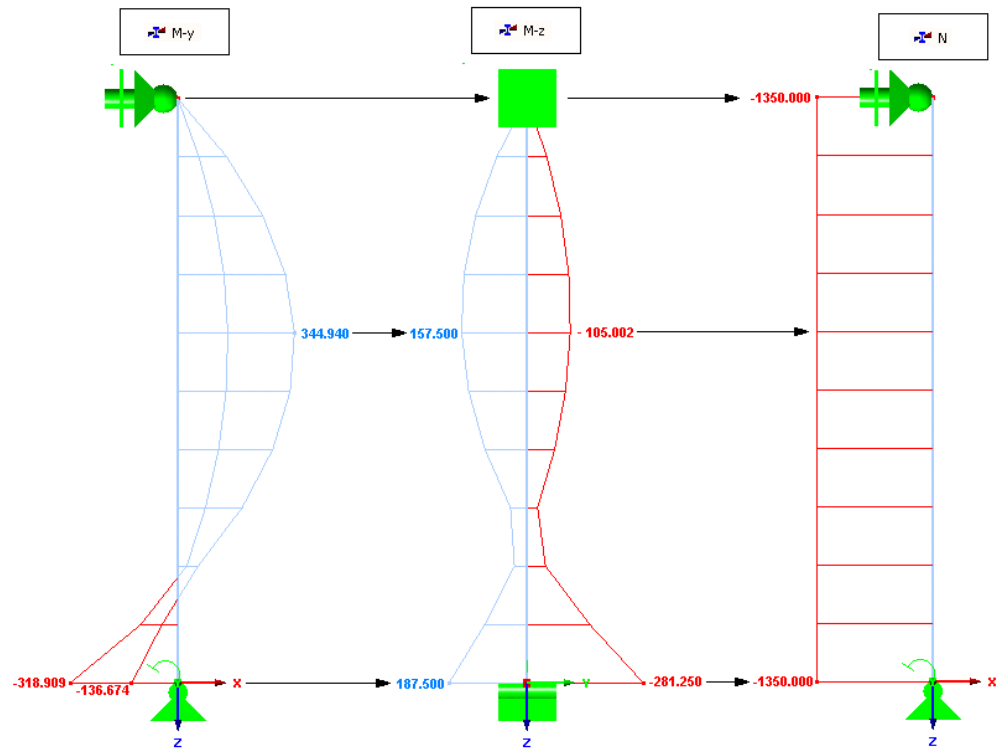


Bild 2.13: Schnittgrößenverläufe einer Ergebniskombination

Für eine Ergebniskombination können aber wiederum die fünf Stellen bestimmt werden, an denen die zwei Schnittgrößen M_y und M_z ihre maximalen und minimalen Werte annehmen und die Normalkraft N minimal wird.

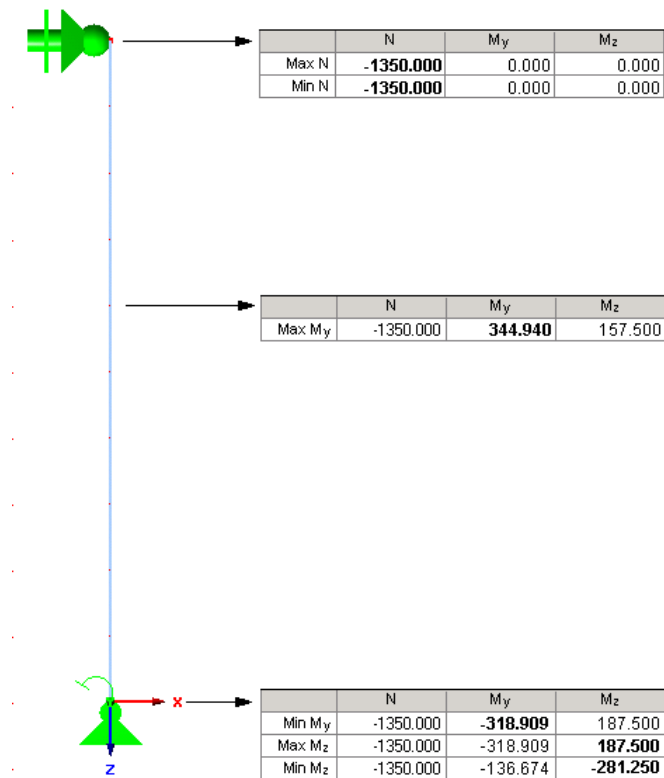


Bild 2.14: Stellen der maßgebenden Schnittgrößen

Neben der Bemessung einzelner Stäbe ist die Bemessung von Stabzügen möglich. Ein Stabzug stellt eine Aneinanderreihung von Stäben dar, die nicht verzweigen. Um einen Stabzug zu bemessen, werden die einzelnen Stäbe hinsichtlich der Schnittgrößen zu einem Stab zusammengefasst. Für diesen Stab werden anschließend wieder die fünf genannten Stellen bemessen. Da sich diese Stellen an unterschiedlichen Stäben des Stabzugs befinden können, ist die größte sich ergebende Bewehrung demzufolge auch über den kompletten Stabzug einzulegen.

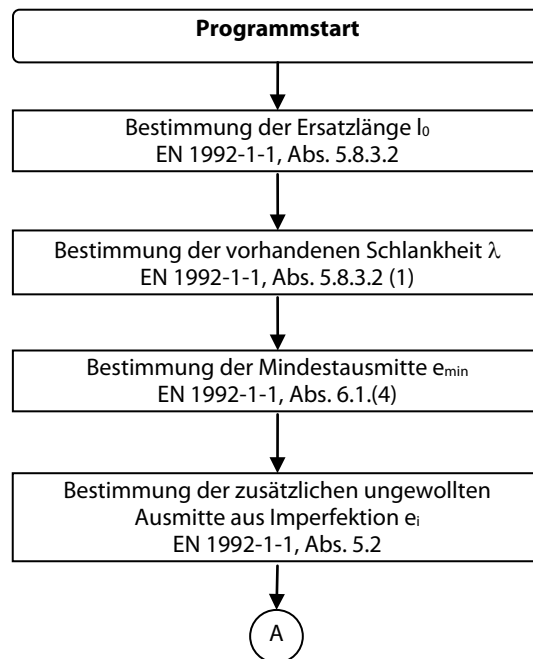
Damit steht fest, dass für jeden Lastfall, jede Lastkombination und jede Ergebniskombination exakt fünf Bemessungen durchzuführen sind, unabhängig davon, ob ein einzelner Stab oder ein ganzer Stabzug als zu bemessendes Element gewählt wurde.

In welchem Teil des Programms die Bemessungen stattfinden, wird bei genauerer Beleuchtung der einzelnen eingangs dieses Kapitels erwähnten Programmteile vorgestellt.

2.2.1 Teil 1: Lastunabhängige Berechnungen

Diese Berechnungen werden zu Beginn des Programmablaufs durchgeführt. Deren Ergebnisse können dann innerhalb jeder Routine für die einzelnen Belastungen weiterverwendet werden. Dabei handelt es sich um folgende Berechnungsschritte:

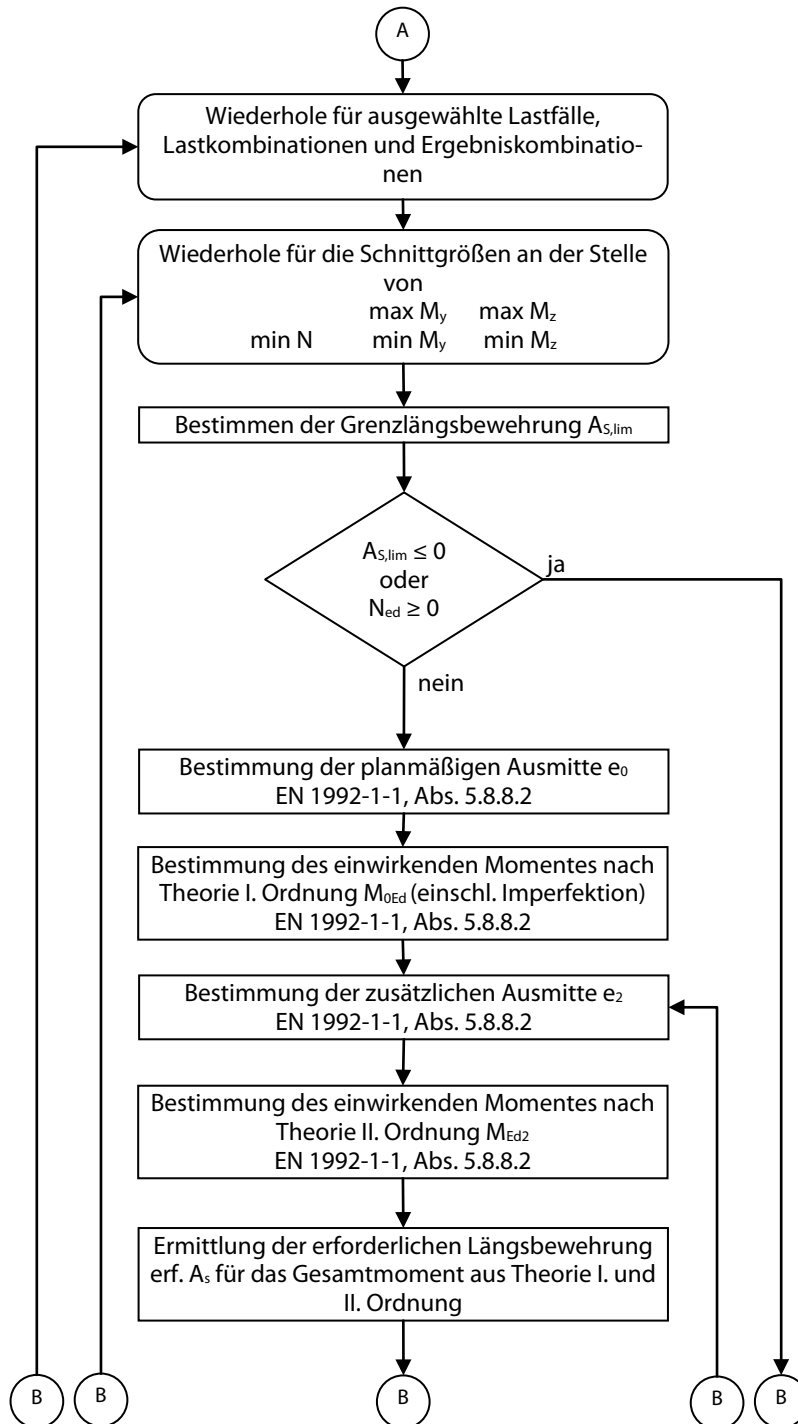
Teil 1: Lastunabhängige Berechnung



Weitere Informationen zur Bestimmung der Ersatzlänge finden sich im Kapitel 2.1.4 dieses Handbuchs. Die Bestimmung der vorhandenen Schlankheit ist im Kapitel 2.1.5, die Bestimmung der zusätzlichen ungewollten Ausmitte im Kapitel 2.1.7 beschrieben.

2.2.2 Teil 2: Bestimmung der maßgebenden Belastung

Der zweite Teil des Programms stellt sich als Flussdiagramm wie folgt dar:



Für sämtliche bemessungsrelevante Stellen wird für jeden der zu bemessenden Lastfälle bzw. Last- oder Ergebniskombination zunächst die Grenzschlankheit λ_{lim} ermittelt. Das Kapitel 2.1.6 beschreibt, wie die Grenzschlankheit λ_{lim} bestimmt wird. Es wird keine Stabilitätsuntersuchung erforderlich, wenn die vorhandene Schlankheit kleiner als die Grenzschlankheit λ_{lim} ist. Im oben gezeigten Berechnungsablauf ist dies durch die Abfrage $A_{s,lim} \leq 0$ dargestellt ($A_{s,lim} \leq 0$ bedeutet,

dass die für einen unbewehrten Querschnitt berechnete Grenزشlankheit λ_{lim} größer als die vorhandene Schlankheit λ ist, vgl. hierzu Kapitel 2.1.6).

Im Fall einer gezogenen Stütze ist anstelle einer Stabilitätsuntersuchung ebenfalls eine Regelbemessung durchzuführen. Diese Bedingungen werden im oben dargestellten Flussdiagramm, getrennt für die beiden Richtungen y und z, zunächst geprüft. Zudem wird kontrolliert, ob der Benutzer eine Stabilitätsgefährdung für diese Richtungen ausgeschlossen hat. Über den rechten Strang wird das Programm hin zu einer Regelbemessung fortgesetzt, während der weitergeführte Strang die Stabilitätsuntersuchung einleitet.

Zunächst wird in Abhängigkeit vom Schnittkraftverlauf wie in Kapitel 2.1.7.1 erläutert die planmäßige Ausmitte e_0 ermittelt.

Damit sind beide Ausmitten bekannt, mit denen dann im nächsten Berechnungsschritt das Moment nach Theorie I. Ordnung bestimmt werden kann (einschließlich Auswirkung aus Imperfektion).

$$M_{0Ed} = N_{Ed} (e_0 + e_i)$$

mit

N_{Ed} : Bemessungswert der aufzunehmenden Längskraft

e_0 : planmäßige Ausmitte nach Kapitel 2.1.7.1

e_i : zusätzliche ungewollte Lastausmitte nach Kapitel 2.1.7.2

Der Programmablauf setzt sich mit der Bestimmung der zusätzlichen Lastausmitte e_2 infolge Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung fort. Die theoretischen Grundlagen dazu wurden im Kapitel 2.1.7.3 genannt. Der dort erwähnte Faktor K_r dient zur näherungsweise Bestimmung der Krümmung $1/r$ und darf nach folgender Formel ermittelt werden:

$$K_r = \frac{|n_u| - |n|}{|n_u| - |n_{bal}|} \leq 1$$

Dabei ist n_u der bezogene Bauteilwiderstand bei zentrischer Druckbeanspruchung. Dieser hängt von der gewählten Bewehrung ab. Da jedoch im ersten Schleifendurchgang noch keine Bewehrung gewählt wurde, wird der Wert von K_r für den ersten Durchgang mit 1,0 angenommen.

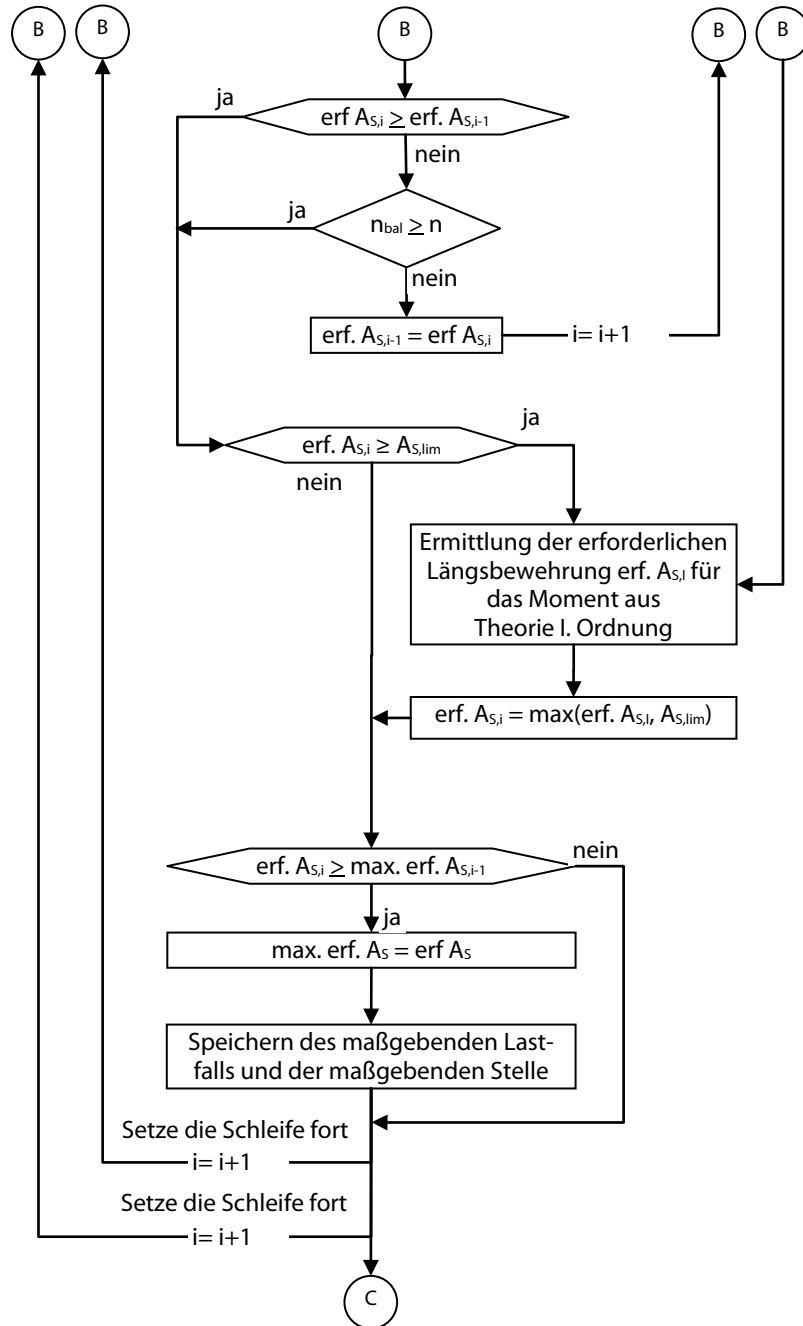
In jedem weiteren anschließenden Schleifendurchgang wird der Wert von n_u mit der statisch erforderlichen Bewehrung des vorherigen Schleifendurchgangs ermittelt.

Ist die zusätzliche Lastausmitte e_2 infolge der Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung bekannt, kann im nächsten Berechnungsschritt das Moment nach Theorie II. Ordnung bestimmt werden:

$$M_{Ed,II} = N_{Ed} \cdot (e_0 + e_i + e_2)$$

Der oben abgebildete Programmablauf endet dann mit der Bestimmung der erforderlichen Bewehrung.

Das nächste Flussdiagramm stellt die untere Hälfte des Programmablaufs Teil 2 dar.



Der rechte Strang führt ebenfalls zur Bestimmung der erforderlichen Bewehrung, allerdings für die Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung, da eine Regelbemessung ausreichend war.

Der mittlere Strang hingegen zeigt, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, damit die Schleife beendet wird. Als erstes wird kontrolliert, ob die erforderliche Bewehrung dieses Schleifendurchgangs größer oder gleich der erforderlichen Bewehrung des vorherigen Durchgangs ist. Eine Übereinstimmung liegt dann vor, wenn sich eine Abweichung erst bei der fünften Nachkommastelle ergibt. Für den ersten Schleifendurchgang kommt eine Beendigung der Schleife über diese Bedingung nicht infrage, da es keine Bewehrung aus dem vorherigen Schleifendurchlauf gibt.

Auch die anschließende Bedingung wird erst wirksam, wenn das Programm diese Stelle ein zweites Mal passiert. Ruft man sich die Formel zur Ermittlung von K_r nochmals vor Augen, ist zu erkennen, dass sich K_r nur ändert, wenn der Wert der einwirkenden Normalkraft N_{Ed} größer ist als die aufnehmbare Längsdruckkraft bei größter Momententragfähigkeit des Querschnitts. Ist dies nicht der Fall, wird der Wert von K_r stets auf 1 gesetzt und die Momente nach Theorie II. Ordnung würden sich in jedem Schleifendurchlauf nicht mehr ändern. Die Schleifen können deshalb vorzeitig verlassen werden.

Sollte keine der beiden Bedingungen zutreffen, wird als vorhandene Bewehrung des nächsten Schleifendurchgangs die erforderliche Bewehrung dieses Durchgangs angesetzt. Das Programm wird mit der Bestimmung der zusätzlichen Lastausmitte e_2 infolge der Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung über den zweiten Strang von rechts fortgesetzt.

Diese Schleife kann nur über die Erfüllung der beiden letztgenannten Bedingungen vorzeitig verlassen werden. Um jedoch keine Endlosschleife erzeugt zu haben, findet eine Beendigung automatisch nach dem tausendsten Durchgang statt.

Wird die Schleife über eine der beiden Bedingungen verlassen, so wird überprüft, ob die erforderliche Bewehrung dieses Schleifendurchganges größer ist als die Grenzlängsbewehrung $A_{S,lim}$. Sollte dies der Fall sein, heißt dies in anderen Worten, dass ein Ansatz von $A_{S,lim}$ zur Vermeidung der Stabilitätsuntersuchung die wirtschaftlichere Lösung ist. Hier vereinen sich dieser Strang und der rechte Strang, über den eine Bewehrung für die Momente nach Theorie I. Ordnung ermittelt wurde. Die erforderliche Bewehrung für die Momente nach Theorie I. Ordnung ergibt sich aus dem maximalen Wert aus der Biegebemessung und der Grenzlängsbewehrung zur Vermeidung der Stabilitätsuntersuchung.

Als Nächstes wird überprüft, ob die erforderliche Bewehrung für diese untersuchte Stelle und diese Belastung größer ist als die bisher größte erforderliche Bewehrung für eine andere Stelle bzw. eine andere Belastung. Sollte dies der Fall sein, wird die erforderliche Bewehrung dieses Schleifendurchgangs als bisher größte registriert und die Schleife wird mit der nächsten Stelle und gegebenenfalls der nächsten Belastung fortgesetzt.

Ein Zahlenbeispiel soll das Prinzip zur Findung der maßgebenden Belastung im zweiten Teil des Programmablaufs veranschaulichen. Als Belastung werden zwei ausgewählte Stellen mit folgenden Schnittgrößen untersucht:

Schnittgröße	1	2
N [kN]:	-431,00	-1500,00
M_{y1} [kNm]:	87,80	-72,80
M_z [kNm]:	0,00	0,00

Bild 2.15: Schnittgrößen

Für die Stelle 1 werden folgende Schritte bis zur Beendigung der Schleife durchlaufen:

Iteration	1	2
$M_{Ed,y,II}$ [kNm]:	-185,1569	-185,1569
vorh. A_s [cm ²]:		13,2460
erf. A_s [cm ²]:	13,2460	13,2460

Bild 2.16: Iteration – Stelle 1

Der zweite Schleifendurchlauf wird verlassen, weil die Bedingung $n_{bal} \geq n$ erfüllt ist und somit die Momente nach Theorie II. Ordnung sich nicht ändern.

Als bisher größte Bewehrung wird der Wert 13,2460 cm² festgehalten. Die Schleife wird mit der zweiten untersuchten Stelle fortgesetzt. Hier ergeben sich sieben Schritte, bevor die Schleife durch die Erfüllung der Bedingung verlassen wird, dass die erforderliche Bewehrung gleich der vorhandenen Bewehrung des vorherigen Schleifendurchlaufs ist.

Iteration	1	2	3	4	5	6	7
$M_{Ed,y,II}$ [kNm]:	-465,1229	-437,8077	-436,5691	-436,5100	-436,5074	-436,5072	-436,5072
erf. $A_{s,i-1}$ [cm ²]:		39,8329	36,2733	36,1117	36,1040	36,1037	36,1037
erf. $A_{s,i}$ [cm ²]:	39,8329	36,2733	36,1117	36,1040	36,1037	36,1037	36,1037

Bild 2.17: Iteration – Stelle 2

Die ermittelten Werte lassen sich wie folgt als Diagramm darstellen:

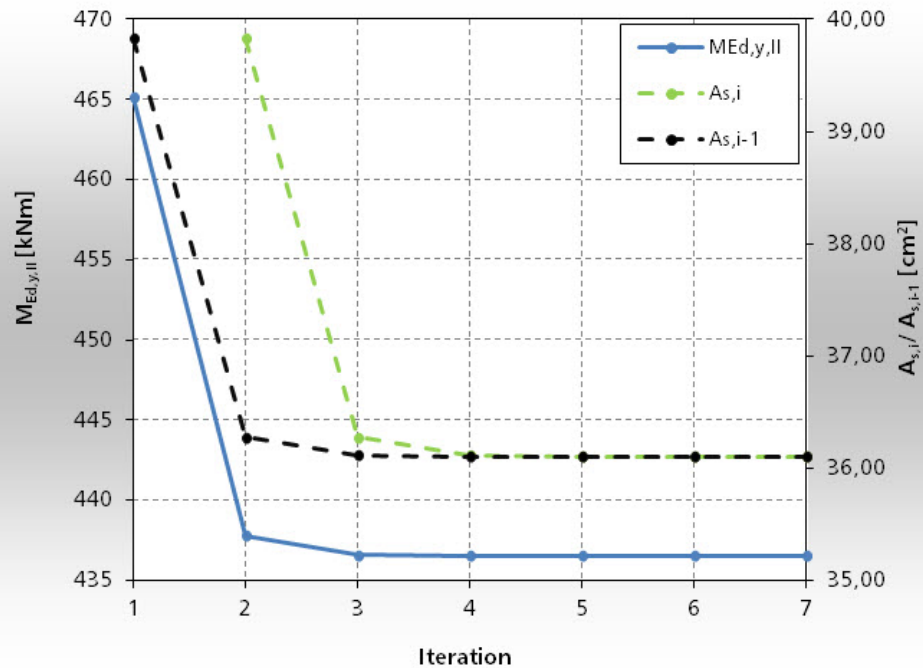
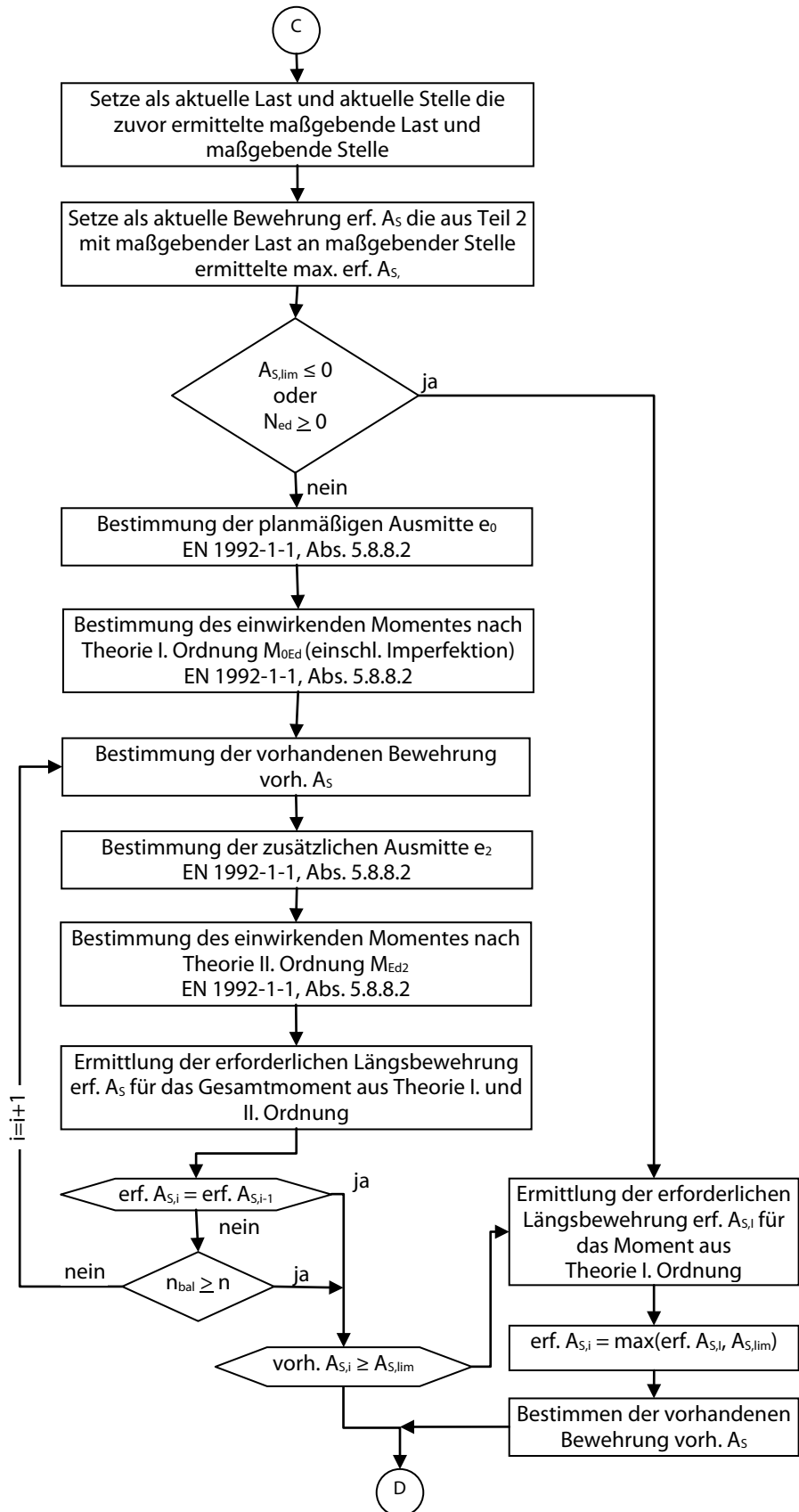


Bild 2.18: Verlauf des Moments nach Theorie II. Ordnung (vertikale Primärachse) sowie der erforderlichen und der vorhandenen Bewehrung (vertikale Sekundärachse)

Der zweite Teil des Programmablaufs schließt mit der Erkenntnis, dass sich die maßgebende Belastung an der untersuchten Stelle 2 ergibt.

Im folgenden dritten Teil des Programmablaufs wird nun eine Bewehrung für diese maßgebende Belastung gefunden.

2.2.3 Teil 3: Bestimmung der vorhandenen Bewehrung



Der dritte Teil des Programmablaufplans beginnt wieder mit der Bestimmung der Vergleichsschlankheiten. Anschließend wird entschieden, ob eine Regelbemessung oder eine Stabilitätsuntersuchung durchgeführt werden soll.

Für die Stabilitätsuntersuchung wird zunächst wieder das bewehrungsunabhängige Moment nach Theorie I. Ordnung bestimmt.

Anschließend tritt die Berechnung in eine Schleife ein. Die Momente nach Theorie II. Ordnung werden in jedem Durchlauf mit der im vorherigen Durchlauf ermittelten vorhandenen Bewehrung bestimmt. Im ersten Schleifendurchlauf werden die Momente nach Theorie II. Ordnung unabhängig von der Bewehrung ermittelt ($K_r = 1$). Hat eine veränderte vorhandene Bewehrung keinen Einfluss auf die Größe der Momente nach Theorie II. Ordnung ($n_{bal} \geq n$), wird die Schleife nach dem zweiten Durchlauf verlassen. Gleiches geschieht, wenn sich die vorhandene Längsbewehrung nach zwei Schleifendurchläufen nicht mehr verändert hat.

Um das Prinzip des dritten Teils des Programmablaufs zu verdeutlichen, wird das begonnene Beispiel für den zweiten Teil des Programmablaufs fortgesetzt. Für die dort als maßgebende Stelle ermittelte Stelle 2 ist die Bewehrung zu finden. Als mögliche Bewehrungsdurchmesser wurden $d_s = 16, 20, 25, 26, 28$ und 30 festgelegt.

Folgende Anzahl und Durchmesser von Bewehrungsstäben bildeten die vorhandene Bewehrung des jeweiligen Iterationsschritts:


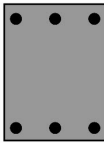

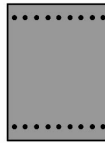
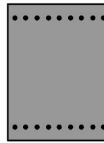
Iteration	1	2	3	4	5
					
$M_{Ed,y,II}$ [kNm]:	-465,1229	-438,6399	-436,8114	-436,5392	-436,5392
vorh. A_s [cm ²]:	36,1	42,4115	36,9451	36,1911	36,1911
Anzahl:	x	6	6	18	18
ϕ [mm]:	x	30	28	16	16
erf. A_s [cm ²]:	39,8329	36,3819	35,8991	34,4489	34,4489

Bild 2.19: Iterationsverlauf

Damit steht fest, dass die Stütze eine Bewehrung von 18 Stäben ($\phi = 16$ mm) erhält, die in der vom Benutzer vorgegebenen Art anzuordnen sind.

Mit dieser vorhandenen Bewehrung ergeben sich folgende Momente nach Theorie II. Ordnung (siehe nächste Seite).

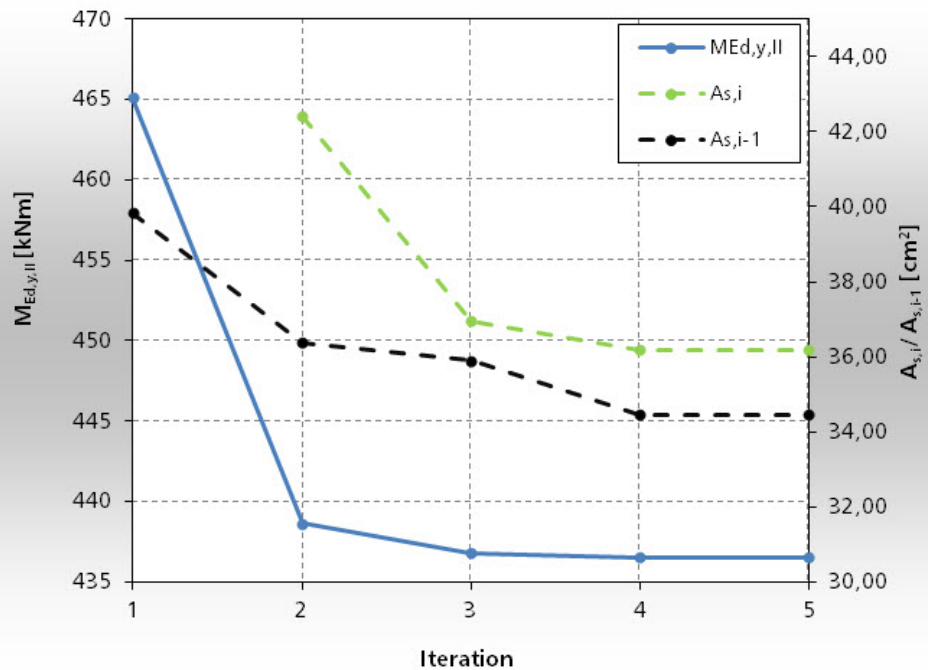


Bild 2.20: Verlauf des Moments nach Theorie II. Ordnung (vertikale Primärachse) sowie der Verlauf der erforderlichen und der vorhandenen Bewehrung (vertikale Sekundärachse)

Das bisherige Abbruchkriterium der Schleife ging davon aus, dass bei einem verringerten Moment durch eine verringerte vorhandene Bewehrung die erforderliche Bewehrung ebenfalls abnimmt. Durch folgendes Beispiel kann dies widerlegt werden.

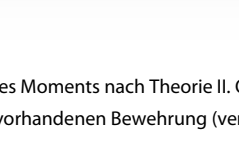
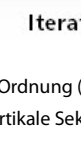
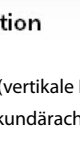
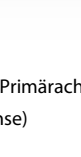
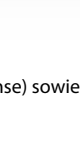
Iteration	1	2	3	4	5
					
$M_{Ed,y,II}$ [kNm]:	-465,1229	-442,3723	-441,4043	-440,8887	-440,3502
$M_{Ed,z,II}$ [kNm]:	96,0501	91,0648	90,8526	90,7396	90,6216
vorh. A_s [cm²]:	0	56,2973	52,2761	50,2655	48,2549
Anzahl:	x	28	26	16	24
ϕ [mm]:	x	16	16	20	16
erf. A_s [cm²]:	54,4809	51,0660	50,1228	47,8654	48,9917

Bild 2.21: Iterationsverlauf

Die folgende Grafik veranschaulicht, wie die Momente nach Theorie II. Ordnung bei fallender vorhandener Bewehrung auch stetig abnehmen.

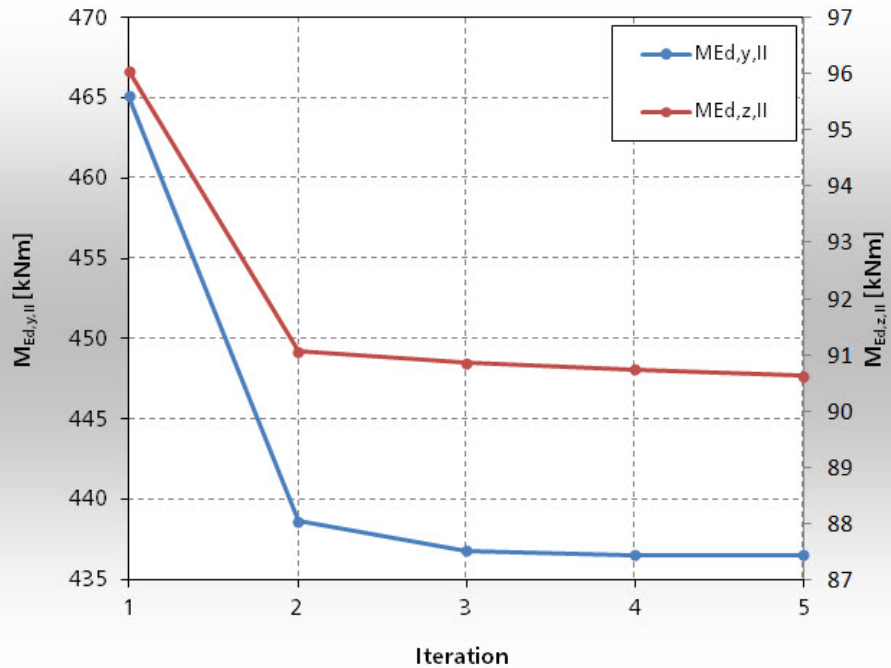


Bild 2.22: Verlauf der Momente nach Theorie II. Ordnung

Obwohl die Momente abnehmen, übersteigt die erforderliche Bewehrung des fünften Iterationsschrittes die ihrer Ermittlung zu Grunde gelegte vorhandene Bewehrung.

Dies verdeutlicht die folgende Grafik:

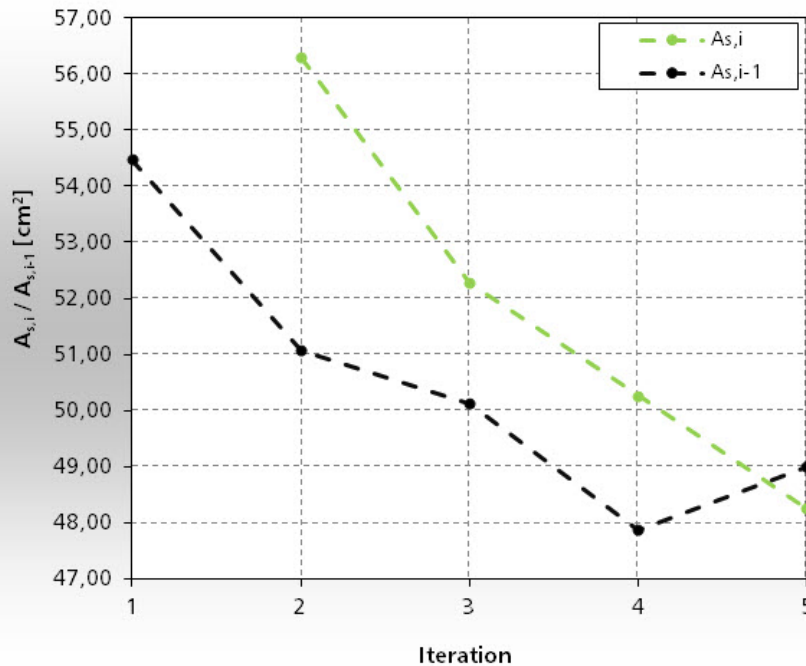

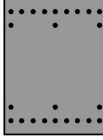
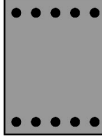
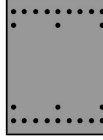


Bild 2.23: Verlauf der erforderlichen und der vorhandenen Bewehrung

Eine Fortsetzung der Iterationen würde zu einer Endlosschleife führen. Die Ursache liegt in der Anordnung der Bewehrung. Da im fünften Iterationsdurchgang die vorhandene Bewehrung in zwei Reihen je Seite angeordnet wurde, verringert sich die statische Höhe und es kommt damit zu einer größeren Bewehrung.

Iteration	4	5	6	7
				
$M_{Ed,y,II}$ [kNm]:	-440,8887	-440,3502	-440,5760	-440,3502
$M_{Ed,z,II}$ [kNm]:	90,7396	90,6216	90,6011	90,6216
erf. A_s [cm ²]:	47,8654	48,9917	47,9090	48,9917
Anzahl:	16	24	10	24
ϕ [mm]:	20	16	25	16
vorh. A_s [cm ²]:	50,2655	48,2549	49,0874	48,2549



Schleife

Bild 2.24: Endlosschleife

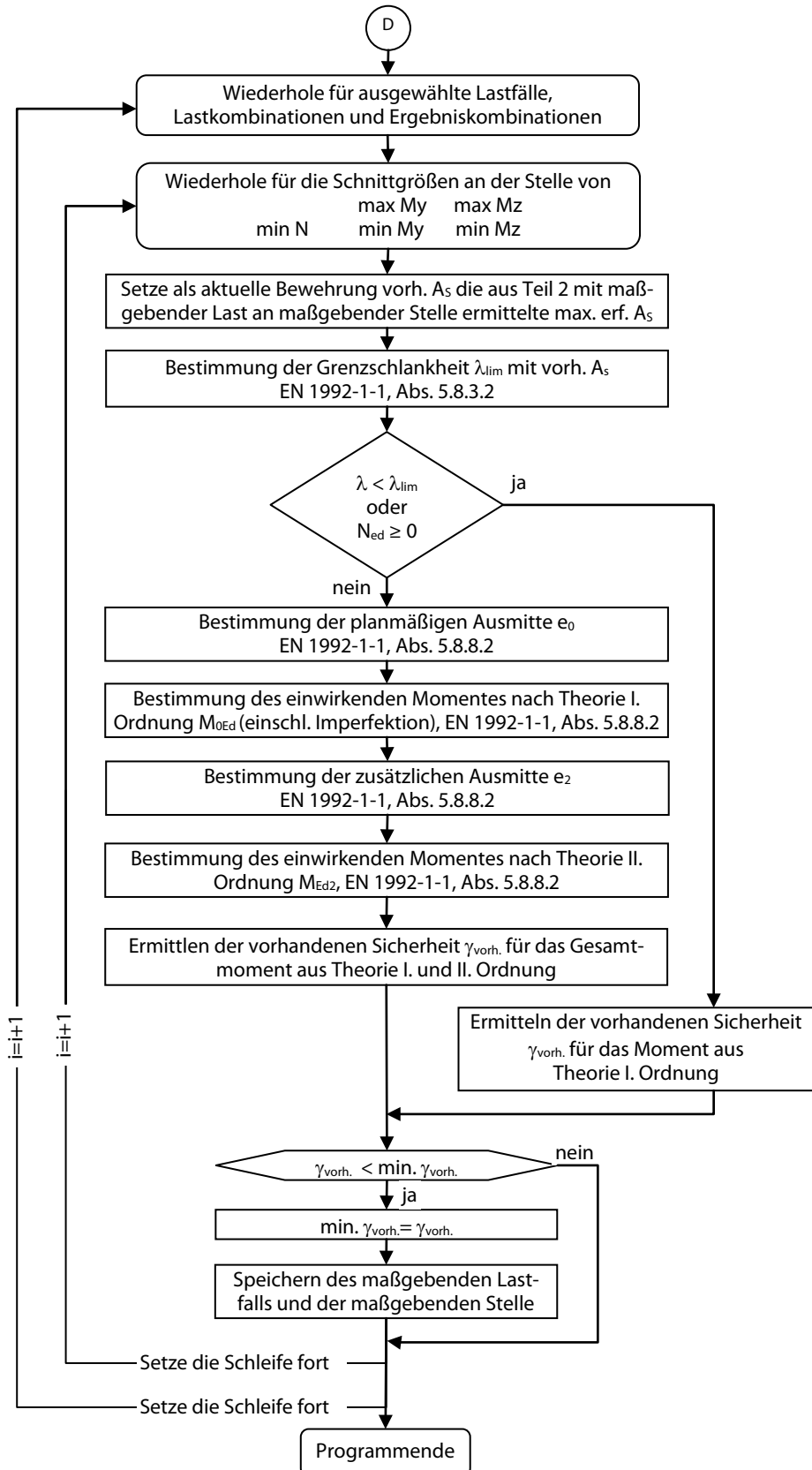
Um eine Endlosschleife zu vermeiden, wird die Iteration deshalb genau dann beendet, wenn die erforderliche Bewehrung die zu ihrer Ermittlung zu Grunde gelegte vorhandene Bewehrung zum ersten Mal überschreitet. Als Lösung wird die vorhandene Bewehrung des vorherigen Iterationsdurchgangs verwendet. Im oben aufgeführten Beispiel ist das die vorhandene Bewehrung des Iterationsdurchgangs Nr. 4.

Damit ist gleichzeitig ein Automatismus geschaffen, durch den Lösungen mit einlagiger Bewehrung vorgezogen werden, falls der Benutzer mehrere Bewehrungslagen zugelassen hat.

Die so bewehrte Stütze ist dann auch in der Lage, die Belastungen aus den anderen Lastfällen, Last- und Ergebniskombinationen aufzunehmen. Welche Sicherheiten dabei jeweils zustandekommen, wird im vierten Teil des Programmablaufs geklärt.

2.2.4 Teil 4: Bestimmen der vorhandenen Sicherheit

Der vierte Teil des Programmablaufs besteht aus zwei geschachtelten Schleifen, um für alle Belastungen die fünf relevanten Stellen zu untersuchen.



Innerhalb der Schleifen gibt es nur eine Verzweigung, die entscheidet, ob die Sicherheit für Momente nach Theorie I. Ordnung oder Theorie II. Ordnung ermittelt werden sollen.

Für die beiden betrachteten Stellen des ersten Beispiels werden folgende Sicherheiten ermittelt:

Stelle 1	Stelle 2
2.8028	1.0234

Bild 2.25: Sicherheiten für Stelle 1 und 2

2.3 Ablauf beim Nachweis vorhandener Bewehrung

Der bisher vorgestellte Programmablauf, der sich über die Teile 1 bis 4 erstreckt, gilt für den Fall, dass der Benutzer eine erste Berechnung gestartet hat. Hierfür wird im Teil 2 des Ablaufs eine erforderliche Bewehrung bestimmt, die unabhängig von einer tatsächlich eingelegten, durch Lage und Stabdurchmesser genau definierten Bewehrung ist. Erst im Teil 3 werden verschiedene mögliche Bewehrungen ausprobiert, um die kleinste vorhandene Bewehrung zu finden, mit der dann im vierten Teil des Ablaufs die maßgebende Sicherheit für sämtliche Belastungen gefunden werden kann.

Diese vorhandene Bewehrung erhält der Benutzer dann in einer der Ausgabemasken. Dort hat er die Möglichkeit, die vorhandene Bewehrung nach seinen Vorstellungen abzuändern. Für diese abgeänderte Bewehrung muss jedoch erneut die vorhandene Sicherheit ermittelt werden. Um dies zu gewährleisten, wird mit dem Ändern der vorhandenen Bewehrung die erste Ausgabemaske, die die maßgebenden vorhandenen Sicherheiten zeigt, gelöscht. Nur die Ausgabemaske, die die erforderliche Bewehrung zeigt, bleibt erhalten, da diese unabhängig von der vorhandenen Bewehrung ist. Der Benutzer wird auf das Löschen der Maske für die vorhandene Sicherheit und eine erforderliche Neuberechnung hingewiesen.

Anschließend wird eine Neuberechnung gestartet. Dazu werden die vorgestellten Programmteile 1 und 4 mit der vom Benutzer definierten Bewehrung nochmals durchlaufen und so die Sicherheit abermals bestimmt.

Wie der Programmablauf der Auslegung einer Längsbewehrung gezeigt hat, sind die Ergebnisse zur Bestimmung der vorhandenen Sicherheit entscheidend von der Wahl der Bewehrung abhängig. Deshalb zeigt das folgende Kapitel, wie für eine erforderliche Bewehrung eine vorhandene Bewehrung aus den verfügbaren Bewehrungsstäben ermittelt wird.

2.4 Ermittlung der vorhandenen Bewehrung

Wurde die erforderliche Bewehrung ermittelt, ist aus den zuvor gewählten Bewehrungsstäben diejenige Anzahl eines bestimmten Stabdurchmessers zu wählen, für die gilt:

$$\text{vorh. } A_s \geq \text{erf. } A_s$$

Gleichzeitig muss beachtet werden, dass die vorhandene Bewehrung nicht die Mindestbewehrung unterschreitet bzw. die Maximalbewehrung überschreitet, wie nach EN 1992-1-1: 2010, Abs. 9.6.2 vorgeschrieben ist:

$$A_{s,\min} = 0.10 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} \geq 0.002 \cdot A_c$$

$$A_{s,\max} = 0.04 \cdot A_c, \text{ sowie bei Übergreifungsstößen } A_{s,\max} = 0.08 \cdot A_c$$

Diese Bewehrung ist zur Aufnahme von Momenten aus ungewollter Einspannung vorzusehen. Es darf jedoch nicht nur der Querschnitt der Bewehrung einen Mindestwert nicht unterschreiten, sondern es existiert auch eine Vorschrift hinsichtlich der Mindestanzahl von Bewehrungs-

stäben. Bei Stützen mit kreisförmigem Querschnitt sind mindestens vier Bewehrungsstäbe einzulegen, während bei Stützen mit Rechteckquerschnitt in jeder Ecke ein Bewehrungsstab einzulegen ist (9.5.2 (4)).

Das Programm folgt der Empfehlung aus [1], Druckglieder nur symmetrisch zu bewehren. Dafür sprechen folgende Gründe:

- Oft ist eine unsymmetrische Bewehrung nicht wirtschaftlicher als eine symmetrische, da die Momente einer Stütze am Kopf und Fuß unterschiedliche Vorzeichen besitzen und meistens die gleiche Größenordnung beibehalten.
- Die Möglichkeit eines um 180° gedrehten, verkehrten Einbaus (bei unsymmetrischer Bewehrung möglich) muss ausgeschlossen werden.

Mit diesen Prämissen kann die Anzahl und der Durchmesser der Stäbe bestimmt werden.

2.4.1 Rechteckiger Querschnitt

Die Anzahl an Bewehrungsstäben wird im Wesentlichen von der durch den Benutzer gewählten Anordnung der Bewehrungsstäbe beeinflusst. Für einen Rechteckquerschnitt kann zwischen folgenden Anordnungen gewählt werden:

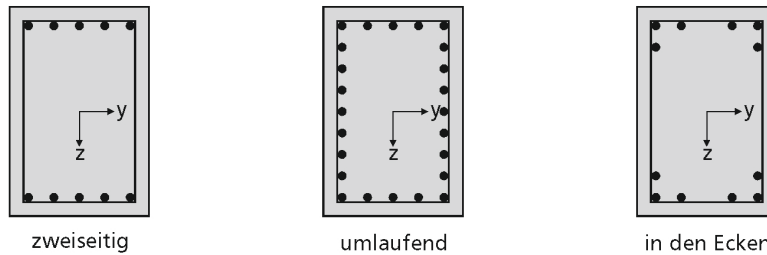


Bild 2.26: Anordnung der Bewehrung

Bei zweiseitiger Bewehrung kann sich der Benutzer zudem dafür entscheiden, ob er die Bewehrung parallel zur y-Achse oder parallel zur z-Achse des Querschnittskordinatensystems verteilt sehen möchte.

Ebenfalls durch den Benutzer vorgegeben wird der minimale Abstand a_{\min} der Bewehrungsstäbe innerhalb der ersten Lage. In der ersten Lage dürfen die vorhandenen Abstände a dann nicht kleiner sein als dieser minimale Abstand a_{\min} .

Den minimalen Abstand b_{\min} innerhalb der zweiten Lage kann der Benutzer ebenfalls definieren. Der Abstand b für zweiseitige Bewehrung darf nicht kleiner sein als der minimale Abstand b_{\min} .

Den minimalen Abstand e_{\min} zur zweiten Lage kann der Benutzer ebenfalls vorgeben. Der Abstand e für zweiseitige Bewehrung darf nicht kleiner sein als der minimale Abstand e_{\min} .

Die Anordnung einer zweiten Bewehrungslage ist nur für zweiseitige Bewehrungsanordnung möglich.

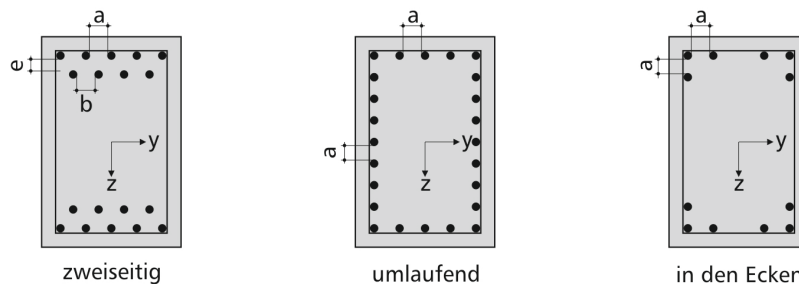


Bild 2.27: Abstände a , b und e der Bewehrungsstäbe

Die Lage der ersten vier Stäbe wird von der definierten Betondeckung bestimmt. Es existieren im Programm zwei Möglichkeiten, die Betondeckung vorzugeben:

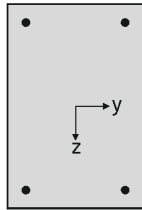


Bild 2.28: Lage der ersten vier Bewehrungsstäbe

Zum einen als Schwerachsen-Deckung (linke Grafik) und zum anderen als Rand-Deckung (rechte Grafik).

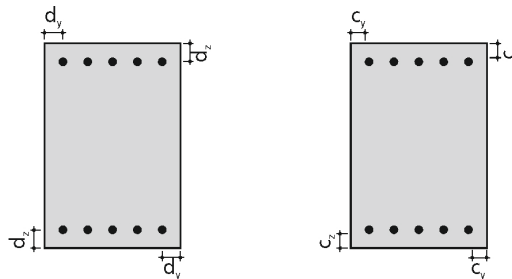


Bild 2.29: Art und die Größe der Betondeckung

Steht die Art und die Größe der Betondeckung fest, kann für jede Seite der verbleibende Bereich R_y und R_z bzw. R_{y2} (bei zweilagiger Bewehrungslage) bestimmt werden, der mit Bewehrungsstäben gefüllt werden kann.

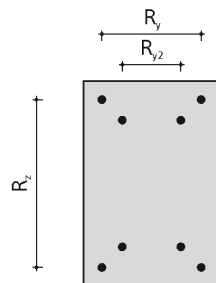


Bild 2.30: Bereich für weitere Bewehrungsstäbe bei ein- bzw. zweilagiger Bewehrungsanordnung

Stehen diese Bereiche fest, werden sie innerhalb einer Routine beginnend mit dem kleinsten durch den Benutzer zur Verfügung gestellten Stabdurchmesser aufgefüllt. Folgende drei Ereignisse können zur Beendigung der Routine führen:

Ereignis 1: Der vorhandene Bewehrungsquerschnitt **vorh A_s** ist größer als der erforderliche Bewehrungsquerschnitt **erf A_s**. Der Stabdurchmesser und die Anzahl dieser Bewehrungsstäbe werden als Lösung gespeichert.

Ereignis 2: Innerhalb der ersten Bewehrungslage können keine Bewehrungsstäbe mehr angeordnet werden, da sonst der Stababstand a den minimalen Stababstand a_{\min} unterschreiten würde. Hat der Benutzer vorgegeben, dass nur eine Bewehrungslage zulässig ist, so wird die Routine erfolglos beendet.

Ereignis 3: Auch innerhalb der zweiten Bewehrungslage können keine Bewehrungsstäbe mehr angeordnet werden, da sonst der Stababstand b den minimalen Stababstand b_{\min} unterschreiten würde. Die Routine wird erfolglos beendet.

Wurde eine Routine beendet, wird mit dem nächstgrößeren Stabdurchmesser fortgefahren. Sind alle durch den Benutzer zur Verfügung gestellten Stabdurchmesser durchlaufen, werden die gespeicherten Lösungen miteinander verglichen. Diejenige Lösung, für die sich die geringste Differenz der vorhandenen Bewehrung zur erforderlichen Bewehrung ergibt, wird als Lösung ausgewählt. Es wird anschließend kontrolliert, ob die zulässigen Bewehrungsgrade eingehalten sind.

2.4.2 Kreisförmiger Querschnitt

Die Bewehrungsstäbe werden beim runden Querschnitt radial zum Querschnittsmittelpunkt angeordnet. Ihre Mindestanzahl beträgt vier Stück.

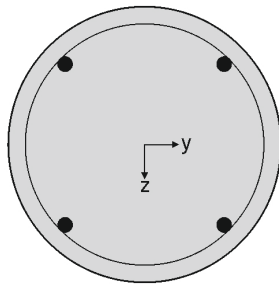


Bild 2.31: Anordnung der Bewehrung

Durch den Benutzer vorgegeben wird der minimale Abstand a_{\min} der Bewehrungsstäbe. Der vorhandene lichte Abstand a darf dann nicht kleiner sein als dieser minimale Abstand a_{\min} .

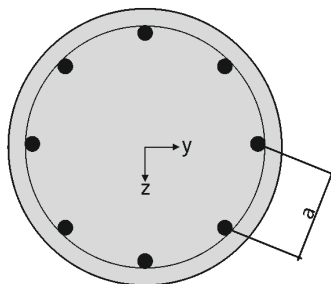


Bild 2.32: Abstand a der Bewehrungsstäbe

Bei kreisrunden Querschnitten wird darauf verzichtet, Bewehrungsvorschläge mit einer zweilagigen Bewehrung anzubieten, da dies in der Praxis nur durch einen unverhältnismäßig hohen Verlegeaufwand möglich ist.

Die Lage der Bewehrungsstäbe wird durch die Betondeckung bestimmt. Wie im Kapitel 2.4.1 *Rechteckiger Querschnitt* beschrieben, bestehen zur Definition der Betondeckung die Möglichkeiten der Schwerachsen- und der Rand-Deckung.

Stehen Art und Größe der Betondeckung fest, kann bei gewähltem Stabdurchmesser der eingeschriebene Kreis bestimmt werden, auf dem sich die Schwerpunkte der Bewehrungsstäbe befinden (siehe folgendes Bild).

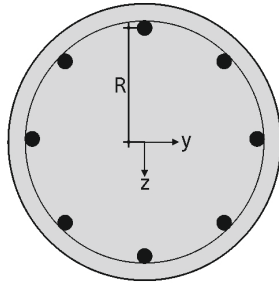


Bild 2.33: Kreis mit Schwerpunkten der Bewehrungsstäbe

Dieser Kreis besitzt den Radius R und den Umfang U.

Als nächstes wird die erforderliche Anzahl n an Bewehrungsstäben bestimmt.

$$n = \frac{\text{erf. } A_s}{A_{s,\text{Stab}}}$$

Der gefundene Wert wird auf eine ganze Zahl aufgerundet. Mit bekanntem Umfang U kann nun der Zwischenwinkel α bestimmt werden.

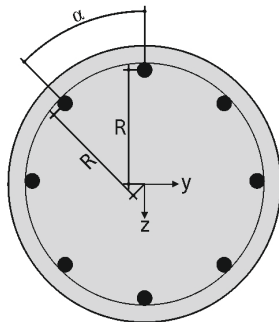


Bild 2.34: Zwischenwinkel α

Dies geschieht nach folgender Formel:

$$\alpha = \frac{360^\circ}{n}$$

Damit kann der lichte Abstand a der Bewehrungsstäbe ermittelt werden.

$$a = 2 \cdot R \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) - d_s$$

Ist dieser lichte Abstand nun kleiner als der minimal zulässige Abstand, wird eine Lösung mit diesem Bewehrungsstabdurchmesser verworfen und der Vorgang mit dem nächstgrößeren Stabdurchmesser wiederholt. Ist der Abstand hingegen größer, so wird die gefundene Lösung gespeichert.

Wenn alle verfügbaren Bewehrungsdurchmesser durchlaufen sind, werden die verschiedenen Lösungen miteinander verglichen. Diejenige Lösung, bei der die vorhandene Bewehrung der erforderlichen Bewehrung am nächsten ist, wird dann gewählt.

2.5 Brandschutznachweis

Die Brandschutzbemessung mit RF-/BETON Stützen erfolgt nach dem vereinfachten Rechenverfahren gemäß EN 1992-1-2 [2], Abs. 4.2. Dabei wird die in Anhang B.2 beschriebene *Zonenmethode* verwendet:

Die Verringerung der Tragfähigkeit bei Brandeinwirkung wird durch eine Verkleinerung des Bauteilquerschnittes und eine Abminderung der Baustofffestigkeiten abgebildet. Bei dem zur Brandbemessung benutzten Ersatzquerschnitt werden die dem Brand direkt ausgesetzten und dadurch zermürbten Betonbereiche nicht berücksichtigt. Der Brandschutznachweis erfolgt dann mit dem reduzierten Querschnitt und den abgeminderten Baustoffeigenschaften analog zum Tragfähigkeitsnachweis bei Normaltemperatur.

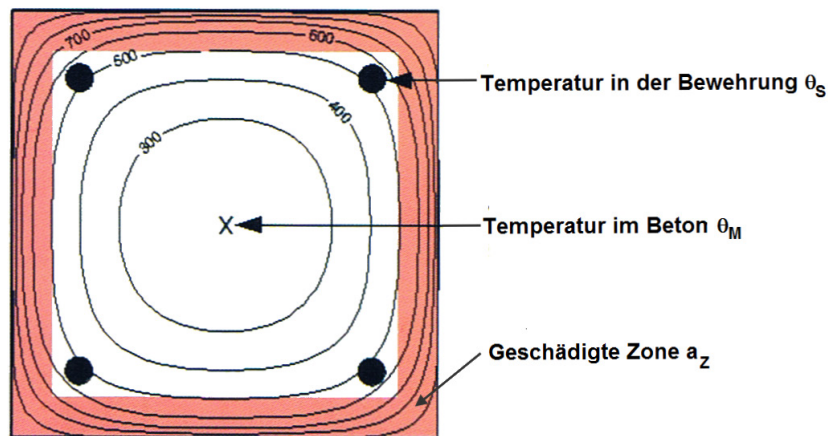


Bild 2.35: Brandbeanspruchter Querschnitt mit geschädigten Zonen

2.5.1 Unterteilung des Querschnitts

Der Querschnitt wird in eine Anzahl paralleler ($n \geq 3$) Zonen gleicher Dicke eingeteilt. Für jede Zone wird die mittlere Temperatur, die entsprechende Druckfestigkeit $f_{c,\theta}$ und ggf. der Elastizitätsmodul ermittelt.

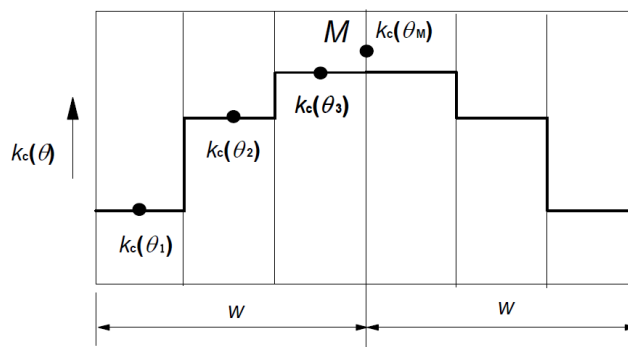


Bild 2.36: Unterteilung einer beidseits brandbeanspruchten Wand in Zonen gemäß [2], Bild B.4

Der brandbeanspruchte Querschnitt wird auf eine äquivalente Wand zurückgeführt. Dabei beträgt die Breite der gleichwertigen Wand $2 \cdot w$. Diese Ersatzbreite ist wie im Bild 2.36 gezeigt symmetrisch in Zonen zu unterteilen.

Die halbe Ersatzbreite w ist abhängig von der Brandbeanspruchung, die auf das Bauteil wirkt. Folgende Tabelle bietet eine Übersicht über die normgemäße Ermittlung der Ersatzbreiten.

Brandbeanspruchung	Halbe Ersatzbreite w
Einseitig brandbeanspruchtes Bauteil	Bauteilbreite in Brandeinwirkungsrichtung
Zweiseitig (gegenüberliegend) brandbeanspruchte Stütze oder Wand	$0,5 \cdot$ Bauteilbreite in Brandeinwirkungsrichtung
Vierseitig brandbeanspruchte Stütze	$0,5 \cdot$ kleineres Querschnittsmaß

Bild 2.37: Ermittlung der Ersatzbreiten

2.5.2 Reduzierung des Querschnitts

Ermittlung der Temperatur θ_i in Zonenmitte

Nach der Zoneneinteilung des Querschnitts wird die Temperatur θ_i in der Mitte einer jeden Zone i ermittelt. Dies erfolgt anhand der Temperaturprofile gemäß EN 1992-1-2, Anhang A, die auf folgenden Annahmen basieren:

- Die spezifische Wärme von Beton entspricht den Angaben nach EN 1992-1-2, 3.2.2.
- Die Feuchte beträgt 1,5 % (für Feuchten $> 1,5 \%$ liegen die dargestellten Temperaturen auf der sicheren Seite).
- Die thermische Leitfähigkeit von Beton ist der untere Grenzwert aus EN 1992-1-2, 3.3.3.
- Der Emissionswert für die Betonoberfläche beträgt 0,7.
- Der konvektive Wärmeübergangskoeffizient beträgt $25 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Ermittlung des Reduktionsfaktors $k_c(\theta_i)$

Für die ermittelte Temperatur im Zentrum der Zone i wird der Reduktionsfaktor $k_c(\theta_i)$ bestimmt, um den Abfall der charakteristischen Betondruckfestigkeit f_{ck} zu berücksichtigen. Dieser Reduktionsfaktor $k_c(\theta_i)$ ist abhängig von den Zuschlägen des Betons:

Bei Normalbeton mit quarzhaltigen Zuschlägen ist die Kurve 1, bei Normalbeton mit kalksteinhaltigen Zuschlägen die Kurve 2 gemäß EN 1992-1-2, Bild 4.1 zu verwenden.

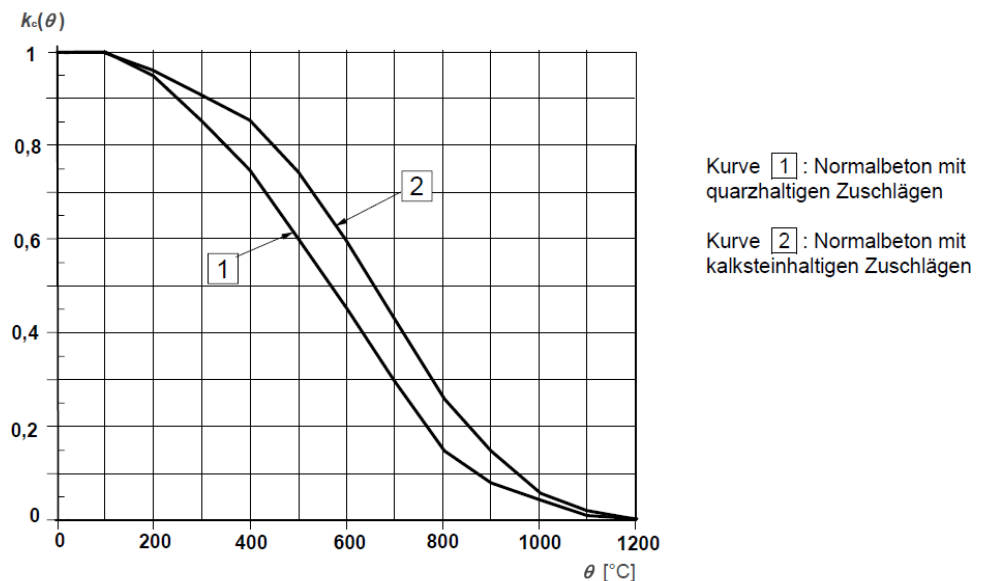


Bild 2.38: Beiwert $k_c(\theta)$ zur Berücksichtigung des Abfalls der Betondruckfestigkeit gemäß [2], Bild 4.1

Ermittlung der geschädigten Zone mit der Dicke a_z

Der brandgeschädigte Querschnitt wird durch einen reduzierten Querschnitt abgebildet. Dies bedeutet, dass eine geschädigte Zone der Dicke a_z an den brandbeanspruchten Seiten beim Nachweis der Tragfähigkeit nicht berücksichtigt wird.

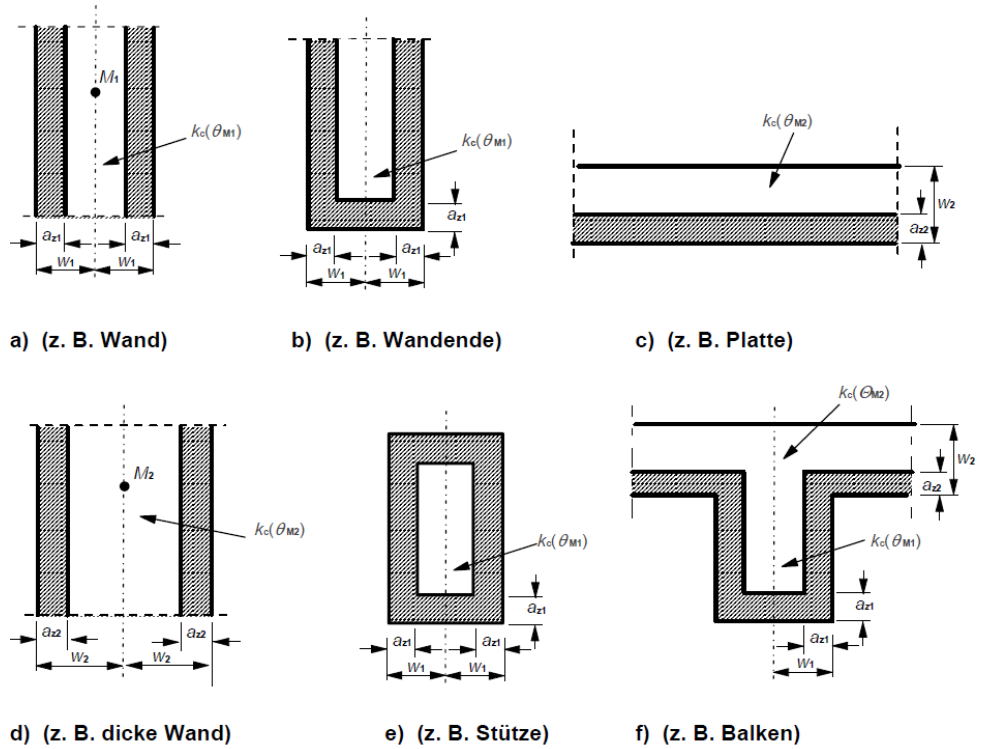


Bild 2.39: Reduktion der Festigkeit und des Querschnitts bei Brandbeanspruchung gemäß [2], Bild B.3

Die Berechnung der geschädigten Zonendicke a_z erfolgt abhängig vom Bauteiltyp:

- **Balken, Platten**

$$a_z = w \cdot \left[1 - \frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right]$$

- **Stützen, Wände** und andere Konstruktionen, bei denen **Auswirkungen infolge Theorie II. Ordnung** berücksichtigt werden müssen

$$a_z = w \cdot \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right)^{1,3} \right]$$

mit

w halbe Breite der äquivalenten Wand

$k_{c,m}$ mittlerer Reduktionskoeffizient für einen bestimmten Querschnitt

$$k_{c,m} = \frac{(1 - 0,2/n)}{n} \sum_{i=1}^n k_c(\theta_i)$$

n Anzahl paralleler Zonen in w

Über den Faktor $(1 - 0,2/n)$ wird die Temperaturveränderung in jeder Zone berücksichtigt.

$k_c(\theta_M)$ Reduktionskoeffizient für Beton am Punkt M (vgl. Bild 2.38 auf Seite 37)

2.5.3 Spannungs-Dehnungs-Linie des Betons

Für die Abminderung der Materialeigenschaften des Betons ist der Punkt M – ein Punkt auf der zentralen Linie der gleichwertigen Wand (siehe Bild 2.36, Seite 36) – maßgebend. Damit wird der Reduktionsfaktor $k_c(\theta_M)$ ermittelt. Die abgeminderten Materialeigenschaften des Betons sind für den gesamten reduzierten Querschnitt (ohne der geschädigten Zone a_z) beim Nachweis der Tragfähigkeit im Brandfall zu verwenden.

Druckfestigkeit des Betons für die Heißbemessung

Die Spannungs-Dehnungs-Linie für die Druckfestigkeit des Betons wird in Abhängigkeit von der Temperatur im Punkt M und der Art der Zuschläge bestimmt. Die Werte der Stauchung $\epsilon_{cu1,\theta}$ bei der Druckfestigkeit $f_{c,\theta}$ werden EN 1992-1-2, Tabelle 3.1 entnommen.

$$f_{c,\theta} = k_c(\theta_M) \cdot f_{ck}$$

mit

$k_c(\theta_M)$ Reduktionskoeffizient für Beton am Punkt M (siehe Bild 2.38, Seite 37)

f_{ck} charakteristische Druckfestigkeit des Betons bei Normaltemperatur

Beton Temp. θ [°C]	Quarzh. Zuschläge			Kalksteinhaltige Zuschläge		
	$f_{c,\theta} / f_{ck}$ [-]	$\epsilon_{c1,\theta}$ [-]	$\epsilon_{cu1,\theta}$ [-]	$f_{c,\theta} / f_{ck}$ [-]	$\epsilon_{c1,\theta}$ [-]	$\epsilon_{cu1,\theta}$ [-]
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	0,0025	0,0200	1,00	0,0025	0,0200
100	1,00	0,0040	0,0225	1,00	0,0040	0,0225
200	0,95	0,0055	0,0250	0,97	0,0055	0,0250
300	0,85	0,0070	0,0275	0,91	0,0070	0,0275
400	0,75	0,0100	0,0300	0,85	0,0100	0,0300
500	0,60	0,0150	0,0325	0,74	0,0150	0,0325
600	0,45	0,0250	0,0350	0,60	0,0250	0,0350
700	0,30	0,0250	0,0375	0,43	0,0250	0,0375
800	0,15	0,0250	0,0400	0,27	0,0250	0,0400
900	0,08	0,0250	0,0425	0,15	0,0250	0,0425
1 000	0,04	0,0250	0,0450	0,06	0,0250	0,0450
1 100	0,01	0,0250	0,0475	0,02	0,0250	0,0475
1 200	0,00	-	-	0,00	-	-

Bild 2.40: Parameter der Spannungs-Dehnungs-Beziehung von Beton bei Brandbeanspruchung gemäß [2], Tabelle 3.1

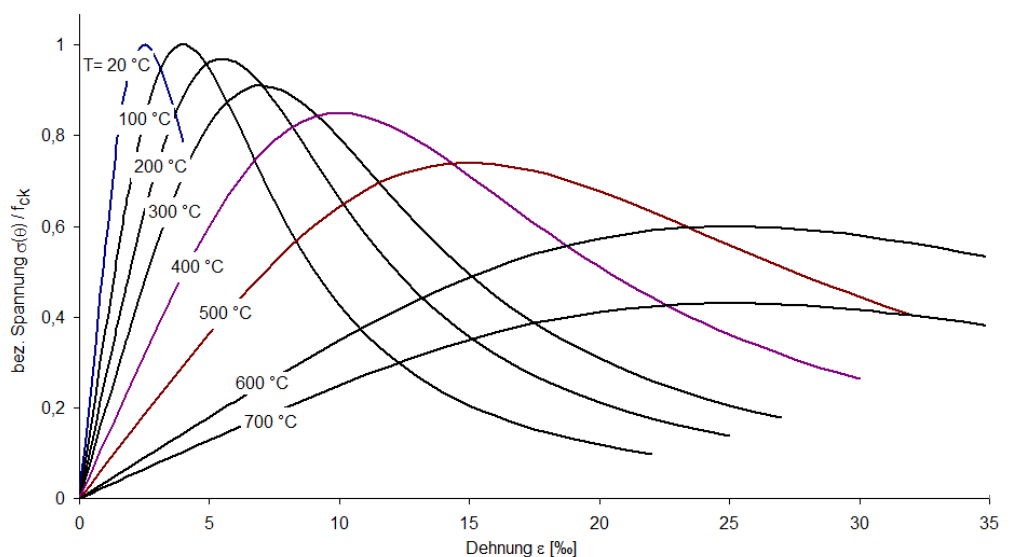


Bild 2.41: Spannungs-Dehnungs-Beziehung von Beton mit kalksteinhaltigen Zuschlägen in Abhängigkeit der Temperatur

Im Diagramm (Bild 2.41) ist zu erkennen, wie sich die Spannungs-Dehnungs-Beziehung von Normalbeton mit kalksteinhaltigen Zuschlägen in Abhängigkeit von der Temperatur ändert. Für den Brandschutznachweis wird der abfallende Ast nicht berücksichtigt.

Der reduzierte Beton-Elastizitätsmodul für den Brandschutznachweis ermittelt sich nach folgender Gleichung:

$$E_{cd,\theta} = [k_c(\theta_M)]^2 \cdot E_c$$

mit

$k_c(\theta_M)$ Reduktionskoeffizient für Beton am Punkt M (siehe Bild 2.38, Seite 37)

E_c E-Modul des Betons bei Normaltemperatur (20 °C)

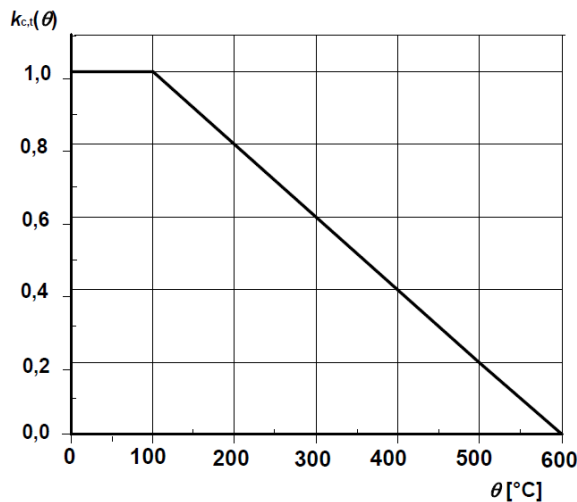
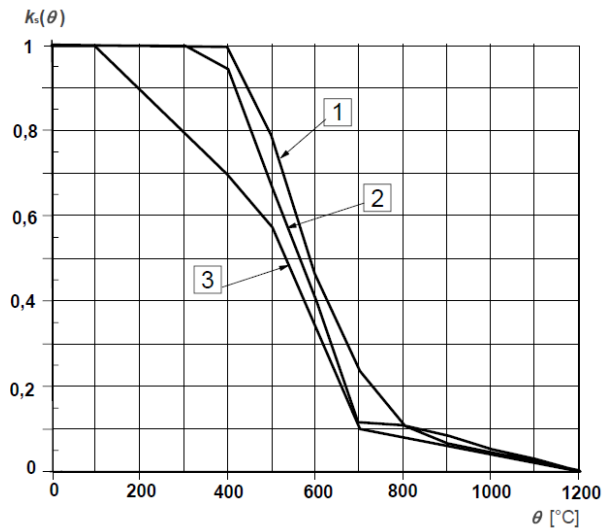


Bild 2.42: Reduktionsfaktor $k_{c,i}(\theta)$ zur Berücksichtigung temperaturabhängiger Betonzugfestigkeit f_{ct} nach [2], Bild 3.2

2.5.4 Spannungs-Dehnungs-Linie des Betonstahls

Ermittlung des Reduktionsfaktors $k_s(\theta)$ für Stahlzugfestigkeit

Zur Bestimmung des Reduktionsfaktors $k_s(\theta)$ ist zunächst die Temperatur in der Stabmitte des ungünstigsten Bewehrungsstabes zu ermitteln. Abhängig von der Herstellungsart und der Klassifizierung des Betonstahls (Klasse N oder Klasse X) sowie der vorhandenen Stahldehnung wird der Reduktionsbeiwert $k_s(\theta)$ ermittelt (siehe folgendes Bild).

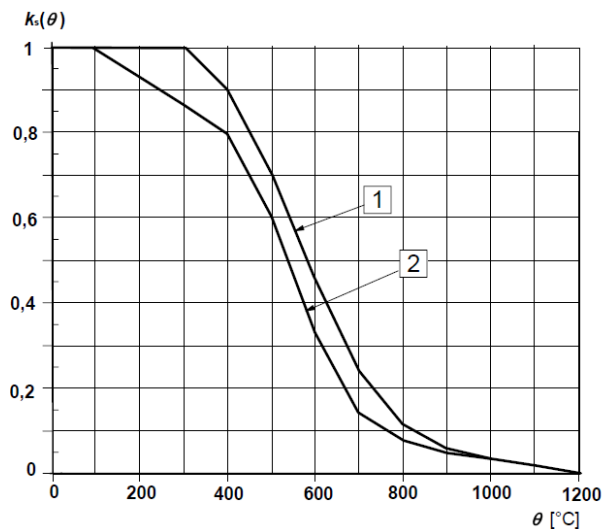


Kurve **1**: Zugbewehrung (warmgewalzt) mit $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$

Kurve **2**: Zugbewehrung (kaltverformt) mit $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$

Kurve **3**: Druckbewehrung und Zugbewehrung mit $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$

Klasse N



Kurve **1**: Zugbewehrung (warmgewalzt und kaltverformt) mit $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$

Kurve **2**: Druckbewehrung und Zugbewehrung (warmgewalzt und kaltverformt) mit $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$

Klasse X

Bild 2.43: Reduktionsfaktor $k_s(\theta)$ zur Berücksichtigung temperaturabhängiger Stahlzugfestigkeit nach [2], Bild 4.2a/b

Reduzierung der Betonstahlfestigkeit $f_{sy,\theta}$

Die Spannungs-Dehnungs-Beziehung des Betonstahls wird durch folgende drei Parameter definiert:

- Neigung im linear-elastischen Bereich $E_{s,\theta}$
- Proportionalitätsgrenze $f_{sp,\theta}$
- maximales Spannungsniveau $f_{sy,\theta}$

Die in der Heißbemessung maximal anzusetzende Festigkeit des Betonstahls ermittelt sich wie folgt:

$$f_{sy,\theta} = k_s(\theta) \cdot f_{yk}$$

mit

$k_s(\theta)$ Reduktionskoeffizient für Betonstahl (siehe Bild 2.43)

f_{yk} charakteristische Festigkeit des Betonstahls bei Normaltemperatur

Ermittlung des reduzierten E-Moduls $E_{s,\theta}$ des Betonstahls

Kann der Betonstahl in Kurve 1 oder Kurve 2 der Bilder 4.2a bzw. 4.2b in EN 1992-1-2 eingeordnet werden (vgl. Bild 2.43), so lässt sich der reduzierte E-Modul des Betonstahls in Abhängigkeit von Betonstahltemperatur und Herstellungsart des Stahls aus EN 1992-1-2, Tabelle 3.2a bzw. 3.2b entnehmen.

Stahltemperatur θ [°C]	$f_{sy,\theta} / f_{yk}$		$f_{sp,\theta} / f_{yk}$		$E_{s,\theta} / E_s$	
	w.-gewalzt	kaltverformt	w.-gewalzt	kaltverformt	w.-gewalzt	kaltverformt
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	0,96	1,00	1,00
200	1,00	1,00	0,81	0,92	0,90	0,87
300	1,00	1,00	0,61	0,81	0,80	0,72
400	1,00	0,94	0,42	0,63	0,70	0,56
500	0,78	0,67	0,36	0,44	0,60	0,40
600	0,47	0,40	0,18	0,26	0,31	0,24
700	0,23	0,12	0,07	0,08	0,13	0,08
800	0,11	0,11	0,05	0,06	0,09	0,06
900	0,06	0,08	0,04	0,05	0,07	0,05
1 000	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,03
1 100	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02
1 200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Klasse N

Stahl Temperatur θ [°C]	$f_{sy,\theta} / f_{yk}$	$f_{sp,\theta} / f_{yk}$	$E_{s,\theta} / E_s$
	warmgewalzt und kaltverformt	warmgewalzt und kaltverformt	warmgewalzt und kaltverformt
20	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00
200	1,00	0,87	0,95
300	1,00	0,74	0,90
400	0,90	0,70	0,75
500	0,70	0,51	0,60
600	0,47	0,18	0,31
700	0,23	0,07	0,13
800	0,11	0,05	0,09
900	0,06	0,04	0,07
1 000	0,04	0,02	0,04
1 100	0,02	0,01	0,02

Klasse X

Bild 2.44: Parameter der Spannungs-Dehnungs-Beziehung von Stahl bei Brandbeanspruchung nach [2], Tabelle 3.2a/b

Für Betonstähle, die in Kurve 3 nach EN 1992-1-2, Bild 4.2a einzustufen sind, wird der reduzierte E-Modul wie folgt berechnet:

$$E_{sy,\theta} = k_s(\theta) \cdot E_s$$

mit

$k_s(\theta)$ Reduktionskoeffizient für Betonstahl (siehe Bild 2.43)

E_s E-Modul des Betonstahls bei Normaltemperatur (20 °C)

2.6 Querkraftnachweis

2.6.1 Nachweisverfahren

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

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

mit

V_{Ed} : Bemessungswert der einwirkenden Querkraft

V_{Rd} : Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit

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

$V_{Rd,c}$: aufnehmbare Querkraft eines Bauteils ohne Querkraftbewehrung

$V_{Rd,s}$: aufnehmbare Querkraft eines Bauteils mit Querkraftbewehrung
Begrenzung der Tragfähigkeit durch das Versagen der Querkraftbewehrung
(Zugstrebenversagen)

$V_{Rd,max}$: aufnehmbare Querkraft bedingt durch die Tragfähigkeit der Betondruckstrebe

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

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

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

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

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

Nachfolgend werden die Formeln vorgestellt, mit denen die verschiedenen Querkrafttragfähigkeiten zu ermitteln sind.

2.6.2 Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung

Die Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung wird gemäß EN 1992-1-1:2010, Gleichung (6.2a) bzw. (6.2b) bestimmt.

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \quad 6.2a$$

mit einem Mindestwert

$$V_{Rd,c} = \left[v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \quad 6.2b$$

mit

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$$

k: Beiwert zur Berücksichtigung der Plattendicke, Maßstabseffekt (Size Effects):

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad d \text{ [mm]}$$

d: statische Nutzhöhe der Biegebewehrung im Querschnitt in [mm]

ρ_l : Längsbewehrungsgrad

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02$$

mit A_{sl} : Fläche der Zugbewehrung, die mindestens $(l_{bd}+d)$ über den betrachteten Querschnitt hinaus geführt wird

b_w : kleinste Querschnittsbreite innerhalb der Zugzone in [mm]

f_{ck} : charakteristischer Wert der Betondruckfestigkeit in [N/mm²]

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0,2 \cdot f_{cd} \quad \text{in [N/mm}^2\text{]}$$

mit N_{Ed} : Normalkraft im Querschnitt infolge Lastbeanspruchung oder Vorspannung [N] ($N_{Ed} > 0$ für Druck). Der Einfluss von Zwang auf N_{Ed} darf vernachlässigt werden;

A_c : Betonquerschnittsfläche in [mm²]

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}}$$

$V_{Rd,c}$ in [N]

Gleichung (6.2) hat nur Gültigkeit, wenn der Betonquerschnitt nicht völlig überdrückt oder völlig gerissen ist.

Im Falle des völlig gerissenen Querschnitts ergibt sich für die Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,c}$ ein negativer Wert. Im Programm wird zudem zusätzlich kontrolliert, ob es eine Stelle des Betonquerschnitts gibt, die Druck erhält. Sollte sich keine Stelle finden (d. h. im Falle eines völlig gerissenen Querschnitts) oder eine Stelle finden und die Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,c}$ ohne Querkraftbewehrung trotzdem negativ werden, wird das Programm mit der Fehlermeldung der Unbemessbarkeit abgebrochen.

Im Falle des völlig überdrückten Querschnitts ergibt sich zwar für die Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,c}$ ohne Querkraftbewehrung ein positiver Wert, jedoch sind die Voraussetzungen für die empirische Formel nicht mehr gegeben. Im Absatz 6.2.2 der EN 1992-1-1:2010 findet sich die Gleichung (6.4) für unbewehrten Beton:

$$V_{Rd,c} = \frac{l \cdot b_w}{S} \cdot \sqrt{\left(\frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} \right)^2 - \alpha_l \cdot \sigma_{cp} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c}} \quad 6.4$$

Damit gibt die Norm eine Gleichung vor, die unabhängig vom Querschnitt einer gezogenen Bewehrung ist und ermöglicht somit einen Nachweis für völlig überdrückte Querschnitte.

Die Gleichung darf dann zur Anwendung kommen, wenn die Betonzugspannungen kleiner sind als $f_{ctk;0,05} / \gamma_c$. Um diese Voraussetzung zu verifizieren, werden wieder die Definitionspunkte des Betonquerschnitts betrachtet. Erhält keiner von ihnen eine Zugkraft, so kommt die Gleichung (6.2a) bzw. (6.2b) zur Anwendung.

2.6.3 Querkrafttragfähigkeit mit Querkraftbewehrung

Die Querkrafttragfähigkeit der Querkraftbewehrung (Zugstrebe) wird gemäß EN 1992-1-1:2010, Gleichung (6.8) bzw. (6.9) bestimmt.

Bauteile mit Winkel der Querkraftbewehrung von 90° :

$$V_{Rd,s} = (A_{sw} / s) \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta \quad 6.8$$

bzw. bei geneigter Querkraftbewehrung:

$$V_{Rd,s} = (A_{sw} / s) \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha \quad 6.13$$

mit

- A_{sw} : Querschnittsfläche der Querkraftbewehrung
- s : Bügelabstand
- z : Hebelarm der inneren Kräfte
- f_{ywd} : Bemessungswert der Streckgrenze der Querkraftbewehrung
- θ : Winkel zwischen Betondruckstreben und der rechtwinklig zur Querkraft verlaufenden Bauteilachse
- α : Winkel zwischen Querkraftbewehrung und der rechtwinklig zur Querkraft verlaufenden Bauteilachse

Diese Neigung der Betondruckstrebe darf in Abhängigkeit von der Beanspruchung innerhalb bestimmter Grenzen gewählt werden – siehe Gleichung (6.7). Damit soll der Tatsache Rechnung getragen werden, dass ein Teil der Querkraft über die Rissreibung abgetragen wird und somit das Fachwerk nicht belastet.

$$1,0 \leq \cot \theta \leq 2,5 \quad 6.7$$

Im deutschen nationalen Anhang DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 ist die Neigung der Betondruckstrebe wie folgt geregelt.

$$1,0 \leq \cot \theta \leq \frac{1,2 + 1,4 \cdot \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}}}{1 - \frac{V_{Rd,cc}}{V_{Ed}}} \leq 3,0 \quad 6.7aDE$$

Bei geneigter Querkraftbewehrung darf $\cot \theta$ bis 0,58 ausgenutzt werden mit

$$V_{Rd,cc} = c \cdot 0,48 \cdot f_{ck}^{\frac{1}{3}} \cdot \left(1 - 1,2 \cdot \frac{\sigma_{cd}}{f_{ck}} \right) \cdot b_w \cdot z \quad 6.7bDE$$

σ_{cd} : Bemessungswert der Betonlängsspannung in Höhe des Querschnittsschwerpunkts

$c = 0,5$

Die Druckstrebenneigung θ kann also für EN1992-1-1:2010 zwischen folgenden Werten schwanken:

	Mindestneigung	Höchstneigung
θ	21,80°	45,00°
$\cot \theta$	2,50	1,00

Bild 2.45: Druckstrebenneigung θ

Eine flachere Betondruckstrebe bedeutet geringere Zugkräfte in der Querkraftbewehrung und somit ein geringerer erforderlicher Bewehrungsquerschnitt. Im Programm entscheidet der Benutzer darüber, welche Neigung die Druckstrebe haben soll.

Wie im obigen Teil gezeigt wurde, hängt die Größe des minimalen Druckstrebenneigungswinkels bei der Bemessung nach dem deutschen nationalen Anhang noch von den einwirkenden Schnittgrößen V_{Ed} und N_{Ed} ab, die dem Programm erst zum Zeitpunkt der Berechnung bekannt sind. Die Überprüfung des vom Benutzer definierten minimalen Druckstrebenwinkels findet also erst während der Berechnung statt. Wurde er zu klein gewählt, so nimmt das Programm automatisch den minimalen Druckstrebenneigungswinkel nach Norm. Sollte allerdings selbst der maximale benutzerdefinierte Neigungswinkel kleiner sein als der Mindestdruckstrebenneigungswinkel nach Norm, bricht das Programm die Berechnung mit der entsprechenden Fehlermeldung ab.

Während der Berechnung wird zunächst mit der minimalen Untergrenze der Druckstrebenneigung die Tragfähigkeit $V_{Rd,max}$ der Betondruckstrebe bestimmt. Ist sie kleiner als die einwirkende Querkraft V_{Ed} , so muss eine steilere Druckstrebenneigung gewählt werden. Die Druckstrebenneigung θ wird dann so lange erhöht, bis gilt:

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

Der so gefundene Druckstrebenneigungswinkel führt zur kleinsten Querkraftbewehrung.

Querkrafttragfähigkeit der Betondruckstrebe gemäß [1] Gl. (6.9)

Bauteile mit Winkel der Querkraftbewehrung von 90°:

$$V_{Rd,max} = \frac{b_w \cdot z \cdot \alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} \quad 6.9$$

bzw. bei geneigter Querkraftbewehrung:

$$V_{Rd,max} = \frac{b_w \cdot z \cdot \alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha)}{1 + \cot \theta^2} \quad 6.14$$

mit

- b_w : Querschnittsbreite
- z : Hebelarm der inneren Kräfte
- α_{cw} : Beiwert zur Berücksichtigung des Spannungszustandes im Druckgurt
 $\alpha_{cw} = 1,0$ für nicht vorgespannte Tragwerke
- v_1 : Abminderungsbeiwert für die Betonfestigkeit bei Schubrisen
 $v_1 = 0,6$ für $f_{ck} \leq 60 \text{ N/mm}^2$
 $v_1 = \max(0,5; 0,9 - f_{ck}/200)$ für $f_{ck} > 60 \text{ N/mm}^2$
- f_{cd} : Bemessungswert der Betondruckfestigkeit
- θ : Winkel zwischen Betondruckstreben und der rechtwinklig zur Querkraft verlaufenden Bauteilachse
- α : Winkel zwischen Querkraftbewehrung und der rechtwinklig zur Querkraft verlaufenden Bauteilachse

2.6.4 Varianten des Querkraftnachweises

Die vorgestellten Querkraftnachweise sind in erster Linie für einachsig querkraftbeanspruchte Rechteckquerschnitte gedacht, die weder völlig gerissen noch völlig überdrückt sind.

Ein Querschnitt wird vom Programm dann als völlig gerissen ausgewiesen, wenn alle Punkte, die zu seiner Definition verwendet werden, eine Zugkraft erhalten. Als völlig überdrückt kann ein Querschnitt aus zweierlei Gründen betrachtet werden: Zum einen dann, wenn sämtliche Bewehrungsstäbe eine Druckkraft erhalten, und zum anderen, wenn die Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,c}$ ohne Querkrafttragfähigkeit einen negativen Wert liefert.

Die folgende Tabelle zeigt einen Überblick über die Formen des Querkraftnachweises für den rechteckigen Querschnitt.

Verformung bzw. Belastung des Querschnitts	EN 1992-1-1:2010	
	Einachsig	Zweiachsig
Querschnitt komplett aufgerissen	Keine Bemessung möglich	Keine Bemessung möglich
Negative Querkrafttragfähigkeit	Keine Bemessung möglich	Keine Bemessung möglich
Querschnitt völlig überdrückt	Nachweis: $V_{Rd,c} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,c}$ nach (6.4) in 6.2.2	Nachweis: zul $\tau \geq \text{vorh } \tau$ zul τ abgeleitet von (6.4) in 6.2.2
Querschnitt normal aufgerissen (keine Querkraftbewehrung)	Nachweis: $V_{Rd,c} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,c}$ nach (6.2) in 6.2.2	Nachweis: $V_{Rd,c} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,c}$ nach (6.2) in 6.2.2 b_w und d ermitteln
Querschnitt normal aufgerissen (Querkraftbewehrung)	Nachweis: $V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,max}$ nach (6.9) oder (6.14) $V_{Rd,s} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,s}$ nach (6.8) oder (6.13) $z = 0,9 \cdot d$	Nachweis: $V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,max}$ nach (6.9) oder (6.14) $V_{Rd,s} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,s}$ nach (6.8) oder (6.13) z und b_w ermitteln

Bild 2.46: Formen des Querkraftnachweises für rechteckigen Querschnitt.

Bei einem kreisförmigen Querschnitt liegt quasi immer eine einachsige Querkraftbeanspruchung vor, da aus den einwirkenden Querkraften V_z und V_y eine resultierende Querkraft V_{Ed} gebildet wird. Die folgende Tabelle zeigt einen Überblick über die Formen des Querkraftnachweises für den **kreisförmigen** Querschnitt.

Verformung bzw. Belastung des Querschnitts	EN 1992-1-1:2010
	Ein- oder zweiachsig
Querschnitt komplett aufgerissen	Keine Bemessung möglich
Negative Querkrafttragfähigkeit	Keine Bemessung möglich
Querschnitt völlig überdrückt	Nachweis: zul $\tau \geq \text{vorh } \tau$ zul τ abgeleitet von (6.4) in 6.2.2
Querschnitt normal aufgerissen (keine Querkraftbewehrung)	Nachweis: $V_{Rd,c} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,c}$ nach (6.2) in 6.2.2 b_w und d ermitteln
Querschnitt normal aufgerissen (Querkraftbewehrung)	Nachweis: $V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,max}$ nach (6.9) oder (6.14) $V_{Rd,s} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,s}$ nach (6.8) oder (6.13) z und b_w ermitteln

Bild 2.47: Überblick über die Formen des Querkraftnachweises für kreisförmigen Querschnitt

2.6.5 Querkraftnachweis Rechteckquerschnitt

In diesem Kapitel werden die Nachweise für eine zweiachsige Querkraftbeanspruchung bei rechteckförmigen Querschnitten vorgestellt. Diese schließen die Ermittlung von d , b_w und z mit ein.

2.6.5.1 Gerissener Querschnitt

Wird ein Querschnitt gleichzeitig durch die Querkraften $V_{Ed,y}$ und $V_{Ed,z}$ beansprucht, so ergibt sich die einwirkende Querkraft V_{Ed} durch quadratische Überlagerung.

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{Ed,y}^2 + V_{Ed,z}^2}$$

Diese einwirkende Querkraft V_{Ed} ist mit der Querkrafttragfähigkeit zu vergleichen.

In den im Kapitel 2.6.1 genannten Gleichungen tauchen die Größen Nutzhöhe d , Bauteilbreite b_w und Hebelarm z auf. Dies sind jedoch nicht so offensichtliche Größen wie bei einem einachsigen beanspruchten Rechteckquerschnitt.

Die statische Nutzhöhe d , Bauteilbreite b_w und der Hebelarm z der inneren Kräfte sind deshalb zunächst gesondert zu ermitteln. Bei einem zweiachsig beanspruchten Rechteckquerschnitt könnte sich folgender Verlauf der Betondruckzone einstellen:

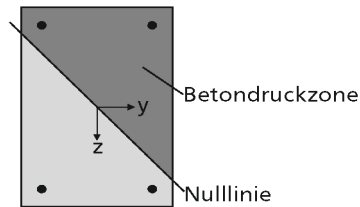


Bild 2.48: Rechteckquerschnitt unter zweiachsiger Biegung

Die statische Nutzhöhe d wird dann ermittelt als der Abstand zwischen der Schwerpunktslage der gezogenen Bewehrungsstäbe und der am weitesten davon entfernten Ecke des Querschnitts, die eine Druckspannung erhält.

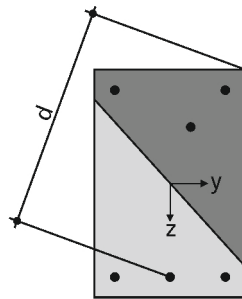


Bild 2.49: Statische Nutzhöhe

Um die statische Nutzhöhe d bestimmen zu können, ist zunächst die Schwerpunktslage der Zugkräfte aller gezogenen Bewehrungsstäbe zu ermitteln. Dessen Koordinaten werden mit y_{st} und z_{st} bezeichnet.

Die Kraft in einem Bewehrungsstab wird mit $F_{st,i}$ bezeichnet. Der Index „i“ steht für die Nummer des betrachteten Bewehrungsstabes. Demzufolge werden die Koordinaten eines Bewehrungsstabes mit $y_{st,i}$ und $z_{st,i}$ bezeichnet. Die Schwerpunktslage der Zugkräfte aller gezogenen Bewehrungsstäbe bestimmt sich zu:

$$y_{st} = \frac{\sum_{i=0}^n y_{st,i} \cdot F_{st,i}}{\sum_{i=0}^n F_{st,i}}$$

$$z_{st} = \frac{\sum_{i=0}^n z_{st,i} \cdot F_{st,i}}{\sum_{i=0}^n F_{st,i}}$$

Dabei werden nur jene Kräfte in den Bewehrungsstäben berücksichtigt, die positiv sind (also die Zugkräfte).

Für das Rechteckquerschnitt-Beispiel stellt der Hebelarm z die Verbindung zwischen der Stelle der resultierenden Betondruckkraft und der Schwerpunktslage der Zugkräfte aller gezogenen Bewehrungsstäbe dar.

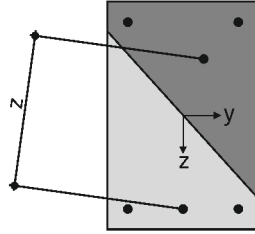


Bild 2.50: Hebelarm der inneren Kräfte

Um die Lage der resultierenden Betondruckkraft F_c zu bestimmen, ist zunächst die Kraft F_c aus den in den Bewehrungsstäben vorhandenen Zug- und Druckkräften sowie der einwirkenden Normalkraft zu ermitteln.

$$F_c = N_{Ed} - \left(\sum_{i=0}^n F_{st,i} + \sum_{i=0}^n F_{sc,i} \right)$$

Nun lassen sich die Koordinaten y_c und z_c der resultierenden Betondruckkraft F_c bestimmen:

$$y_c = \frac{M_z - \sum_{i=0}^n y_{sc,i} \cdot F_{sc,i}}{F_c}$$

$$z_c = \frac{M_y - \sum_{i=0}^n z_{sc,i} \cdot F_{sc,i}}{F_c}$$

Damit kann der Hebelarm z ermittelt werden:

$$z = \sqrt{(y_c - y_{st})^2 + (z_c - z_{st})^2}$$

Um die eingangs dieses Kapitels vorgestellten Formeln verwenden zu können, muss noch die Bauteilbreite b_w bestimmt werden.

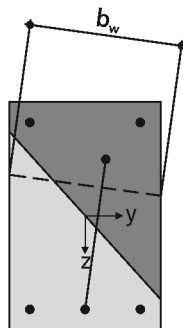


Bild 2.51: Bauteilbreite b_w

Diese steht stets lotrecht auf dem vorher ermittelten Hebelarm z und schneidet zwei Ränder des rechteckigen Querschnitts.

Wenn diese geschnittenen Ränder wie im obigen Beispiel gegenüberliegen, so ist die anzusetzende Querschnittsbreite b_w entlang des Hebelarms z konstant. Bei zwei aufeinander senkrecht stehenden geschnittenen Rändern ändert sich die anzusetzende Querschnittsbreite entlang des Hebelarms. Es wird die kleinste Querschnittsbreite b_w verwendet.

2.6.5.2 Völlig überdrückter Querschnitt

Bemessung nach EN 1992-1-1:2010

Im Falle des völlig überdrückten Querschnitts ergibt sich zwar für die Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,c}$ ohne Querkraftbewehrung ein positiver Wert, jedoch sind die Voraussetzungen für die empirische Formel nicht mehr gegeben. In [1] Absatz 6.2.2 findet sich die Gleichung (6.4) für unbewehrten Beton.

$$V_{Rd,c} = \frac{l \cdot b_w}{S} \cdot \sqrt{\left(\frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} \right)^2 - \alpha_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c}}$$

Damit gibt diese Norm eine Formel vor, die unabhängig vom Querschnitt einer gezogenen Bewehrung ist und somit einen Nachweis für völlig überdrückte Querschnitte ermöglicht.

Sie darf dann angewandt werden, wenn die Betonzugspannungen kleiner sind als $f_{ctk;0,05} / \gamma_c$. Um diese Voraussetzung zu verifizieren, werden wieder die Definitionspunkte des Betonquerschnitts betrachtet. Erhält keiner von ihnen eine Zugkraft, so kommt die Gleichung (6.4) zur Anwendung.

Allerdings muss sie modifiziert werden, um für die zweiachsige Querkraftbeanspruchung anwendbar zu sein. Ersetzt man in der obigen Formel die Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,c}$ durch den Betrag der einwirkenden Querkraft V_{Ed} und stellt die Gleichung wie folgt um, so ergibt sich auf der linken Seite der Gleichung eine Schubspannung, während auf der rechten Seite die zulässige Schubspannung zu finden ist.

$$\frac{|V_{Ed}| \cdot S}{l \cdot b_w} \leq \sqrt{\left(\frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} \right)^2 - \alpha_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c}}$$

Da der Querschnitt ungerissen ist, zeigt Beton ein isotropes Werkstoffverhalten wie Stahl.

Rechteckquerschnitt

Es kann nun, wie sonst im Stahlbau üblich, die zu vergleichende Schubspannung durch einfache Überlagerung bestimmt werden, sodass sich der Nachweis wie folgt gestaltet.

$$\sqrt{\left(\frac{|V_{Ed,z}| \cdot S_y}{I_y \cdot y} \right)^2 + \left(\frac{|V_{Ed,y}| \cdot S_z}{I_z \cdot z} \right)^2} \leq \sqrt{\left(\frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} \right)^2 - \alpha_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c}}$$

Führt man für die beiden Seiten der Gleichung die Variablen $\text{vorh } \tau$ und $\text{zul } \tau$ ein, so erhält man folgende Gleichungen:

$$\text{vorh } \tau = \sqrt{\left(\frac{|V_{Ed,z}| \cdot S_y}{I_y \cdot y} \right)^2 + \left(\frac{|V_{Ed,y}| \cdot S_z}{I_z \cdot z} \right)^2}$$

$$\text{zul } \tau = \sqrt{\left(\frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} \right)^2 - \alpha_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c}}$$

Kreisquerschnitt

Für den Kreisquerschnitt hingegen wird die vorhandene Schubspannung τ (siehe oben) mit folgender Formel ermittelt:

$$\text{vorh } \tau = \sqrt{\left(\frac{|V_{Ed,z}| \cdot S_y}{I_y \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{|V_{Ed,y}| \cdot S_z}{I_z \cdot d}\right)^2}$$

Die zulässige Schubspannung τ ist die gleiche wie beim Rechteckquerschnitt.

Damit kann für Rechteck- und Kreisquerschnitte in gleicher Weise das Querkraft-Nachweiskriterium für einen völlig überdrückten querkraftbeanspruchten Querschnitt wie folgt formuliert werden:

$$\text{Nachweiskriterium} = \frac{\text{vorh } \tau}{\text{zul } \tau}$$

2.6.6 Querkraftnachweis Kreisquerschnitt

2.6.6.1 Gerissener Querschnitt

Wird ein Querschnitt ausschließlich durch die Querkraft in Richtung einer Querschnittsachse beansprucht, so ist die einwirkende Querkraft V_{Ed} gleich dieser Schnittgröße.

Wird ein Querschnitt gleichzeitig durch die Querkräfte $V_{Ed,y}$ und $V_{Ed,z}$ beansprucht, so ergibt sich die einwirkende Querkraft V_{Ed} durch quadratische Überlagerung.

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{Ed,y}^2 + V_{Ed,z}^2}$$

Diese einwirkende Querkraft V_{Ed} ist mit der Querkrafttragfähigkeit zu vergleichen.

Sämtliche in der Norm angegebenen Gleichungen zur Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit gehen von einem rechteckförmigen Querschnitt aus. In den Gleichungen werden die Größen Nutzhöhe d , Bauteilbreite b_w und der Hebelarm z verwendet. Sie müssen für den Kreisquerschnitt entsprechend ermittelt werden.

Exemplarisch wird folgender Verlauf der Betondruckzone im Querschnitt angenommen:

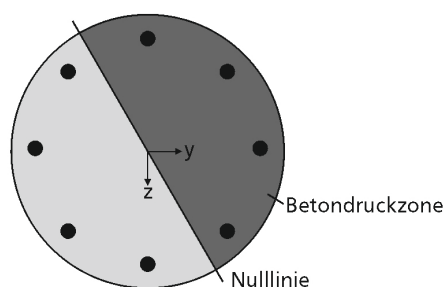


Bild 2.52: Kreisquerschnitt mit Betondruckzone

Die statische Nutzhöhe d wird ermittelt als der Abstand zwischen dem Schwerpunkt der gezogenen Bewehrungsstäbe und dem am weitesten davon entfernten Rand des Querschnitts, der eine Druckspannung erhält.

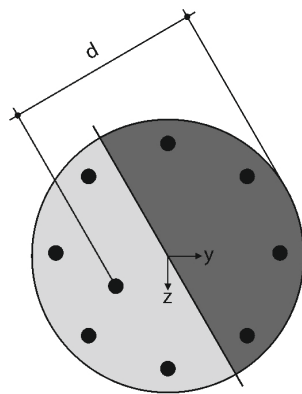


Bild 2.53: Statische Nutzhöhe

Für die Bestimmung der statischen Nutzhöhe d ist zunächst die Schwerpunktlage der Zugkräfte aller gezogenen Bewehrungsstäbe zu ermitteln. Dessen Koordinaten werden mit y_{st} und z_{st} bezeichnet.

Die Kraft in einem Bewehrungsstab wird mit $F_{st,i}$ bezeichnet. Der Index „ i “ steht für die Nummer des betrachteten Bewehrungsstabs. Demzufolge werden die Koordinaten eines Bewehrungsstabes mit $y_{st,i}$ und $z_{st,i}$ bezeichnet. Die Schwerpunktlage der Zugkräfte aller gezogenen Bewehrungsstäbe bestimmt sich zu:

$$y_{st} = \frac{\sum_{i=0}^n y_{st,i} \cdot F_{st,i}}{\sum_{i=0}^n F_{st,i}}$$

$$z_{st} = \frac{\sum_{i=0}^n z_{st,i} \cdot F_{st,i}}{\sum_{i=0}^n F_{st,i}}$$

Dabei werden nur jene Kräfte in den Bewehrungsstäben berücksichtigt, die positiv sind (also die Zugkräfte).

Für das obige Beispiel des Kreisquerschnitts stellt der Hebelarm z die Verbindung zwischen der Stelle der resultierenden Betondruckkraft und der Schwerpunktlage der Zugkräfte aller gezogenen Bewehrungsstäbe dar.

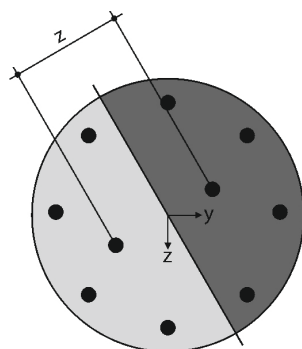


Bild 2.54: Hebelarm der inneren Kräfte

Um die Lage der resultierenden Betondruckkraft F_C zu bestimmen, ist zunächst diese Kraft F_C mithilfe der in den Bewehrungsstäben vorhandenen Zug- und Druckkräfte sowie der einwirkenden Normalkraft zu ermitteln.

$$F_C = N_{Ed} - \sum_{i=0}^n F_{st,i}$$

Nun kann man die Koordinaten y_c und z_c der resultierenden Betondruckkraft F_C ermitteln.

$$y_c = \frac{M_z - \sum_{i=0}^n y_{st,i} \cdot F_{st,i}}{F_C}$$

$$z_c = \frac{M_y - \sum_{i=0}^n z_{st,i} \cdot F_{st,i}}{F_C}$$

Schließlich kann der Hebelarm z bestimmt werden zu:

$$z = \sqrt{(y_c - y_{st})^2 + (z_c - z_{st})^2}$$

Um die eingangs dieses Kapitels vorgestellten Formeln verwenden zu können, muss noch die Bauteilbreite b_w bestimmt werden.

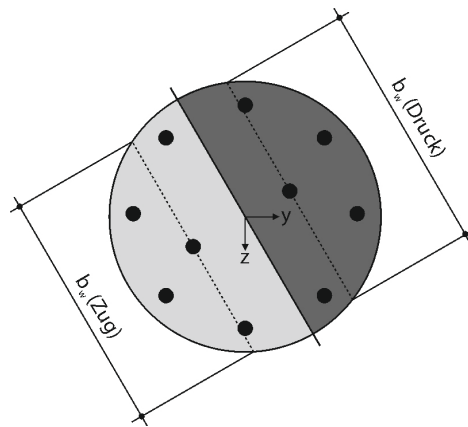


Bild 2.55: Bauteilbreite b_w

Diese steht stets lotrecht auf dem vorher ermittelten Hebelarm z und schneidet zwei Ränder des Kreisquerschnitts. Es ergibt sich eine Querschnittsbreite durch die Schwerpunktslage der Betondruckzone und durch die Lage des Schwerpunkts der gezogenen Bewehrungsstäbe. Die kleinste Querschnittsbreite b_w wird verwendet.

2.6.6.2 Völlig überdrückter Querschnitt

Im Falle des völlig überdrückten Querschnitts ergibt sich zwar für die Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,c}$ ohne Querkraftbewehrung ein positiver Wert, jedoch sind die Voraussetzungen für die empirische Formel nicht mehr gegeben. In [1], Absatz 6.2.2 findet sich die Gleichung (6.4) für unbewehrten Beton.

$$V_{Rd,c} = \frac{l \cdot b_w}{S} \cdot \sqrt{\left(\frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c}\right)^2 - \alpha_l \cdot \sigma_{cp}} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c}$$

Damit gibt die Norm eine Gleichung vor, die unabhängig vom Querschnitt einer gezogenen Bewehrung ist. Sie ermöglicht somit einen Nachweis für völlig überdrückte Querschnitte.

Diese Formel darf dann zur Anwendung kommen, wenn die Betonzugspannungen kleiner als $f_{ctk;0,05} / \gamma_c$ sind. Um diese Voraussetzung zu verifizieren, werden wieder die Definitionspunkte des Betonquerschnitts betrachtet. Erhält keiner von ihnen eine Zugkraft, so kommt die Gleichung (6.4) zur Anwendung.

2.6.7 Querkraftbewehrung

Die Längsbewehrung von Stützen muss durch Querbewehrung umschlossen werden. Es gelten gemäß [1], Absatz 9.5.3 (1) hinsichtlich des Mindestdurchmessers dieser Querbewehrung folgende Bedingungen:

- Größer als ein Viertel des Stabdurchmessers der vorhandenen Längsbewehrung
- ≥ 6 mm

Hinsichtlich der Bügelabstände schreibt [1], Absatz 9.5.3(3) vor, dass diese Abstände nicht größer sein dürfen als $s_{cl,tmax}$. $s_{cl,tmax}$ ist in den nationalen Anhängen geregelt. Der Eurocode empfiehlt für $s_{cl,tmax}$ den kleinsten Wert aus folgenden Abständen:

- das 20fache des kleinsten Durchmessers der Längsstäbe
- die kleinste Seitenlänge der Stütze
- 400mm

[1] Absatz 9.5.3(4) ist zu entnehmen, dass diese Abstände an nachfolgenden Stellen mit dem Faktor 0,6 zu vermindern sind:

- Unmittelbar über und unter Balken oder Platten über eine Höhe gleich der größeren Abmessung des Stützenquerschnitts.
- Bei Übergreifungsstößen der Längsstäbe, wenn deren größter Durchmesser größer als 14 mm ist. Dabei sind mindestens 3 gleichmäßig auf der Stoßlänge angeordnete Stäbe erforderlich.

Das Programm kontrolliert deshalb, ob die Endpunkte von Stäben und die Zwischenpunkte von Stabzügen zusätzlich Bestandteil einer Platte oder eines Balkens sind. Dem Benutzer wird dann der Vorschlag unterbreitet, die Bügelabstände in diesen Bereichen zu verringern.

Lässt der Benutzer eine Verringerung der Bügelabstände zu, ergeben sich über die Stütze Bereiche mit unterschiedlichen Bügelabständen, sofern die Mindestquerkraftbewehrung maßgebend ist.

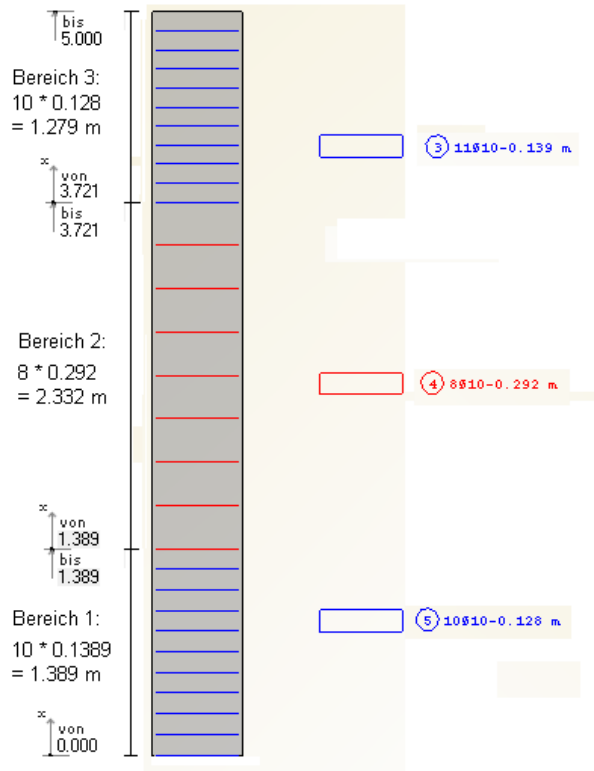


Bild 2.56: Vorhandene Bügelbewehrung

Ein Bereich ist durch einen x-Wert für den Beginn und einen x-Wert für das Ende gekennzeichnet. Jeder Bereich beginnt mit einem Bügel und endet mit einem Abstand. Schließt an diesen Bereich ein weiterer Bereich an, beginnt dieser wieder mit einem Bügel. Schließt kein weiterer Bereich an, endet dieser Bereich mit einem Abstand. Innerhalb eines jeden Bereichs haben alle dort befindlichen Bügel den gleichen Abstand. Die Bügel innerhalb eines Bereichs werden unter einer so genannten Positionsnummer zusammengefasst. Der erste Bügel ist mindestens um die vom Benutzer definierte Betondeckung versetzt vom Stützenanfang angesetzt. Schließt zudem noch eine Platte oder ein Riegel an den Stützenanfang an, so ist der erste Bügel zusätzlich um die halbe Dicke dieses Bauteils zu versetzen.

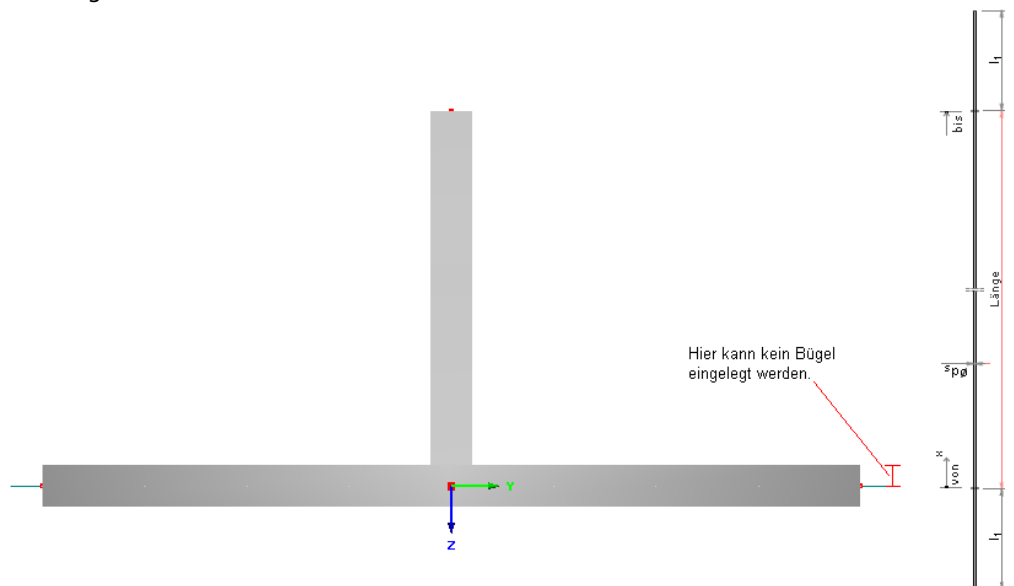


Bild 2.57: Lage des ersten Bügels über einer Platte

Der x-Wert für den Anfang bzw. das Ende eines Bereichs ist in der späteren Ausgabemaske abänderbar. Dabei besteht ein wesentlicher Unterschied, ob der Anfangswert des ersten Bereichs bzw. der Endwert des letzten Bereichs oder ein Wert dazwischen abgeändert wird: Wird der Anfangswert des ersten Bereichs so abgeändert, so beginnt dieser Bereich genau an diesem definierten Wert. Wird hingegen der Anfangs- bzw. Endwert eines Bereichs dazwischen abgeändert und deckt sich dieser nicht mit dem Anfangs- bzw. Endwert des benachbarten Bereichs, so wird ein neuer Zwischenbereich eingefügt.

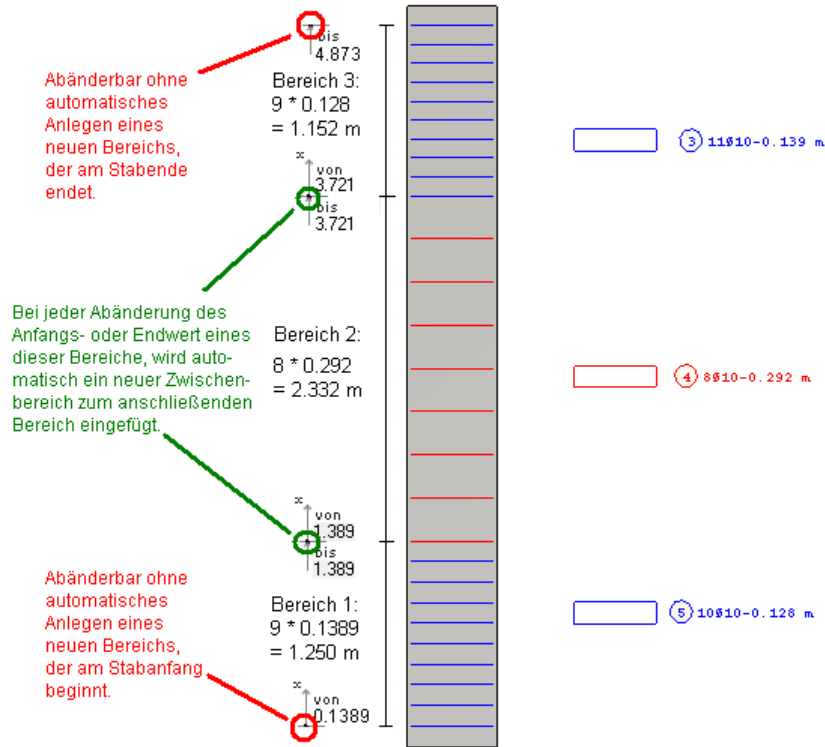


Bild 2.58: Veränderte Bügelbereiche

Für Stützen spielt die Querkraftbemessung eine untergeordnete Rolle. In der gängigen Literatur finden sich ausschließlich konstruktiv bewehrte Stützen. Eine Abstufung der Querkraftbewehrung findet nur in Lagernähe durch die konstruktiven Vorschriften gemäß [1] statt.

Auf eine x-stellenweise Querkraftbemessung wird deshalb verzichtet. Vielmehr werden zunächst die beiden Stellen untersucht, für die sich pro Stab bzw. pro Stabzug die absolut größten Werte für V_y und V_z ergeben. Die Gleichungen (6.8) und (6.9) nach [1] beinhalten beide den Hebelarm z , dessen Größe von den Schnittgrößen N , M_y und M_z abhängt. Da dieser Hebelarm z wesentlicher Bestandteil der Formel der aufnehmbaren Querkraft ist, werden auch die Stellen untersucht, an der

- die Normalkraft N maximal
- die Normalkraft N minimal
- das Moment M_y maximal
- das Moment M_y minimal
- das Moment M_z maximal
- das Moment M_z minimal

wird.

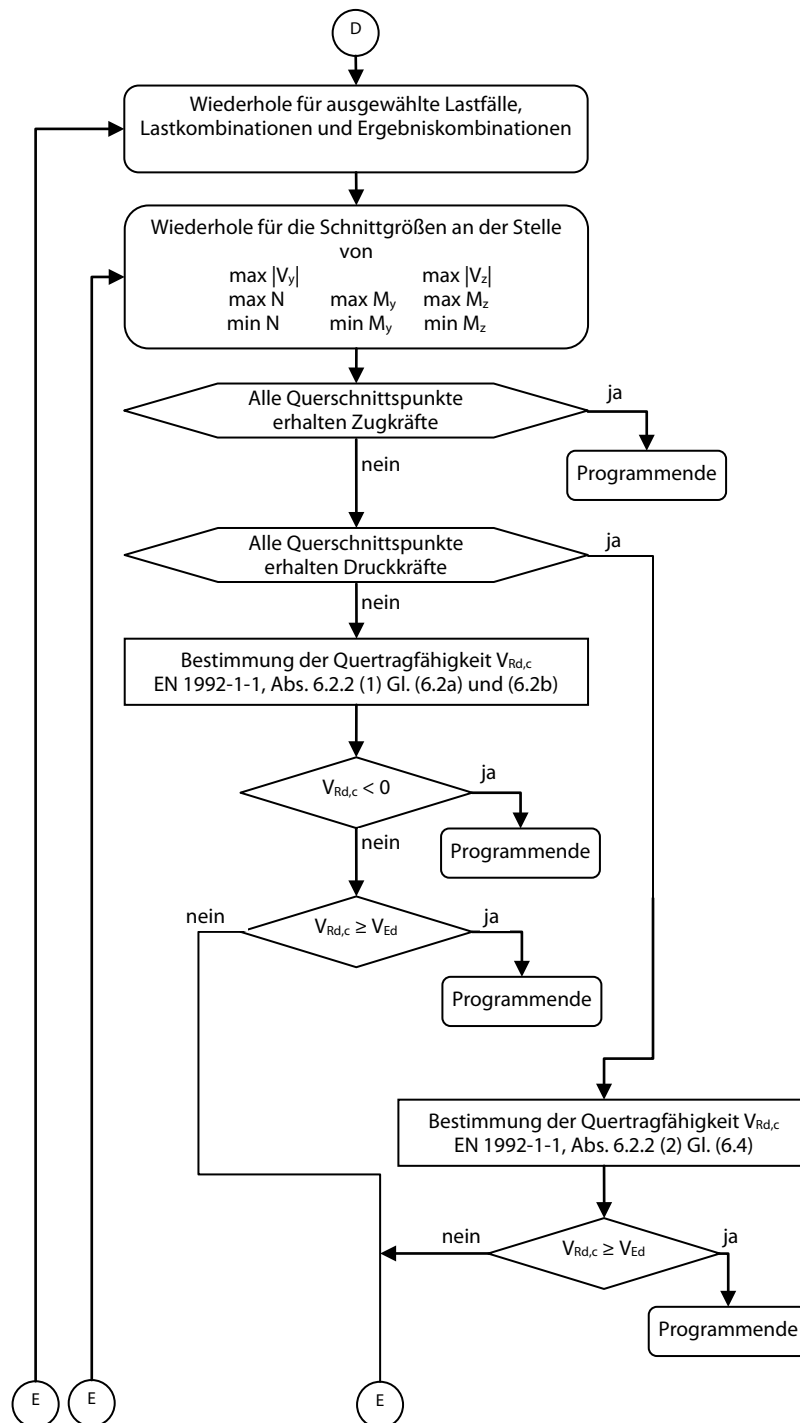
Die Bemessung findet mit den Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung statt.

2.6.8 Programmablauf zur Querkraftbemessung

Nachdem die zu verwendeten Formeln und Schnittgrößen vorgestellt sind, soll abschließend ein Blick auf den Programmablauf zur Querkraftbemessung geworfen werden.

Für die zuvor ermittelte Längsbewehrung werden zunächst für die betrachteten Schnittgrößen die Spannungen in den Ecken des Betonquerschnitts (Kreis durch ein Polygon abgebildet) und in den Bewehrungspunkten selbst ermittelt. Die dort ermittelten Spannungen entscheiden darüber, ob das Programm aufgrund einer Unbemessbarkeit abgebrochen wird oder wie die Querkrafttragfähigkeit zu bestimmen ist.

2.6.8.1 Teil 5.1: Bestimmung der Quertragfähigkeit

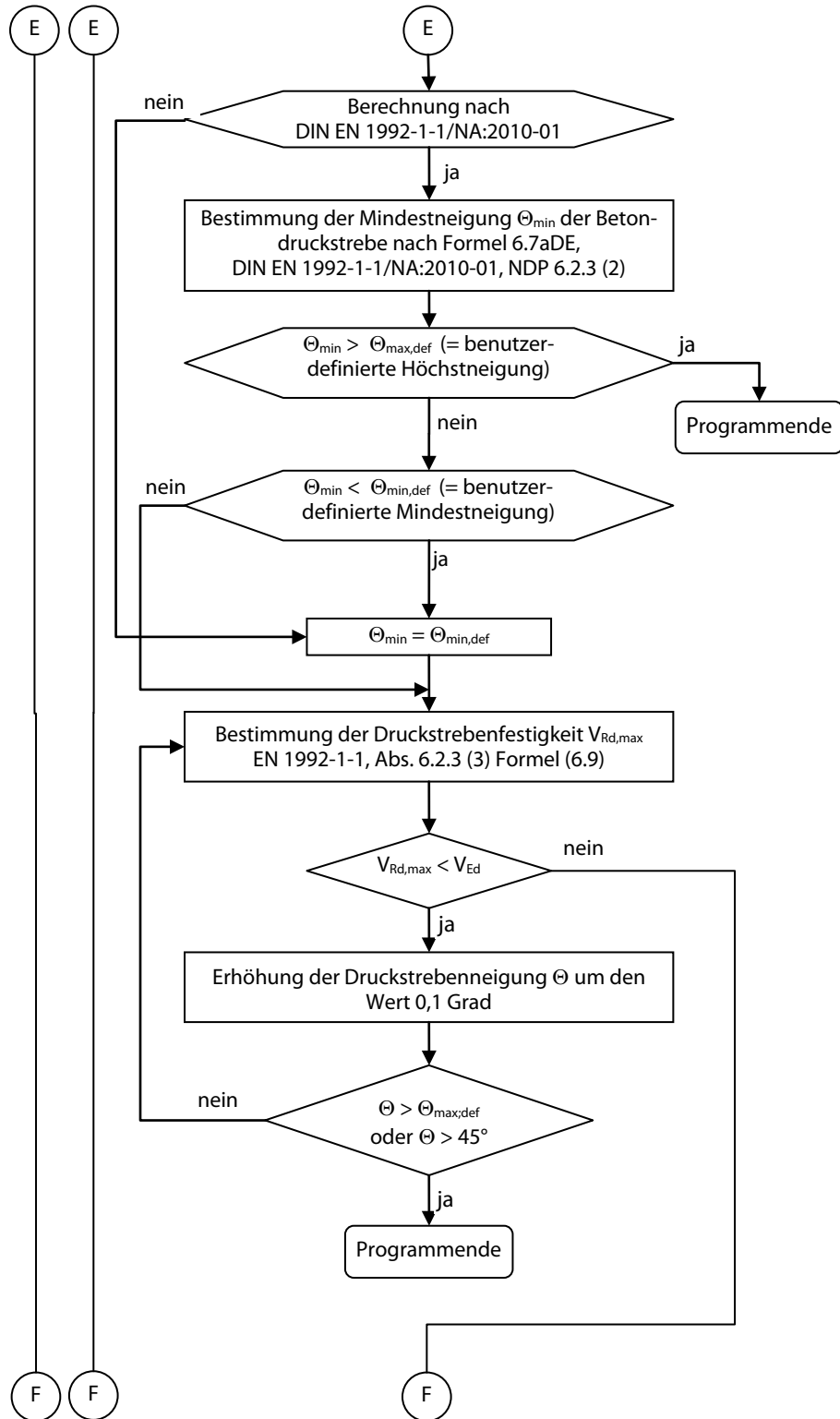


Ist der Querschnitt völlig gerissen, dann wird das Programm hier beendet. Bei völlig überdrücktem Querschnitt wird die Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,ct}$ für den unbewehrten Beton ermittelt. Unabhängig davon, ob sie ausreichend ist oder nicht, wird das Programm beendet, weil eine Querkraftbewehrung bei völlig überdrücktem Querschnitt nicht wirksam werden würde.

Sind weder alle Ecken des Betonquerschnitts überdrückt noch gerissen, wird die Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung gemäß den Forderungen des Eurocode bestimmt. Auch hier kann es sich noch ergeben, dass eine entsprechend große Längszugkraft den Wert der Querkrafttragfähigkeit kleiner als Null werden lässt. In diesem Fall wird das Programm ebenfalls abgebrochen.

Im zweiten Teil des Programmablaufplans zur Querkraftbemessung werden zunächst die Grenzen der veränderlichen Druckstrebenneigung bestimmt. Diese werden dann mit den vom Benutzer vorgegebenen Neigungsgrenzen verglichen.

2.6.8.2 Teil 5.2: Bestimmung der Druckstrebenfestigkeit

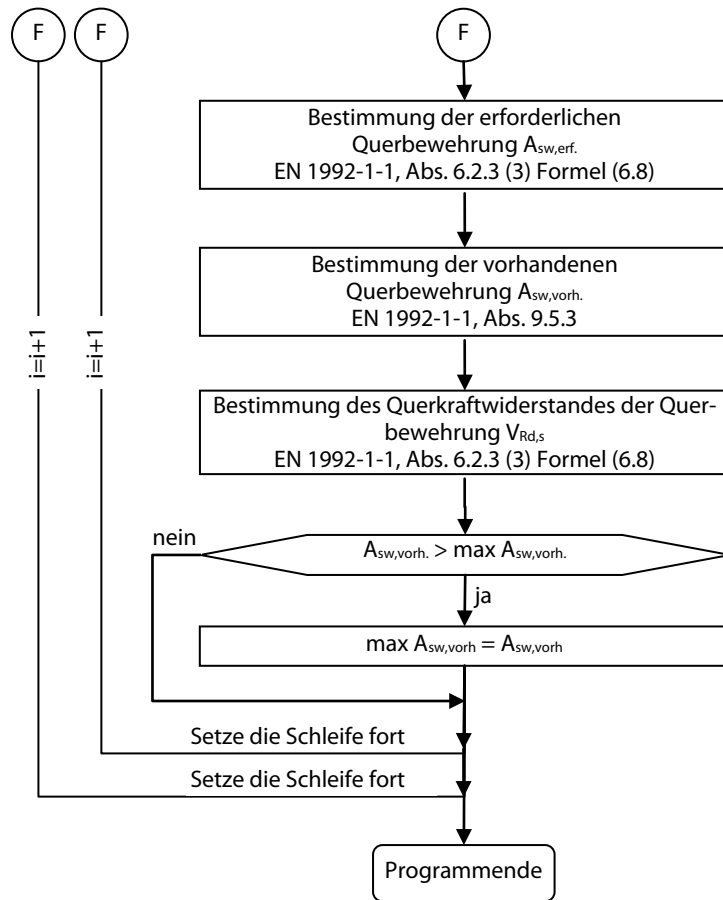


Findet sich keine Schnittmenge zwischen dem von der Norm vorgeschriebenen Bereich der Druckstrebenneigung und dem vom Benutzer definierten Bereich, so wird die Bemessung erfolglos beendet.

Anschließend wird mit der kleinstmöglichen Druckstrebenneigung der Bemessungswert der durch die Druckstrebenfestigkeit begrenzten aufnehmbaren Querkraft bestimmt. Ist er nicht ausreichend, wird die Druckstrebenneigung so lange erhöht, bis er entweder ausreichend ist oder die vom Benutzer maximal zulässige Betondruckstrebenneigung erreicht wird. Die maximal sinnvolle Druckstrebenneigung beträgt 45°, weil ab diesem Wert der Bemessungswert der durch die Druckstrebenfestigkeit begrenzten aufnehmbaren Querkraft wieder abfällt.

Ist der kleinere der beiden Werte (maximale Druckstrebenneigung laut Benutzer oder 45°) überschritten, wird das Programm erfolglos beendet. Stellt sich bereits vorher ein ausreichender Bemessungswert der durch die Druckstrebenfestigkeit begrenzten aufnehmbaren Querkraft ein, wird mit der Ermittlung der erforderlichen Bewehrung fortgefahren.

2.6.8.3 Teil 5.3: Bestimmung der Querbewehrung



Mit der vorhandenen Bewehrung wird anschließend der Bemessungswert der durch die Tragfähigkeit der Querkraftbewehrung begrenzten aufnehmbaren Querkraft bestimmt.

Abschließend wird die vorhandene Querkraftbewehrung dieses Schleifendurchlaufs mit der vorhandenen Querkraftbewehrung des vorherigen Schleifendurchlaufs verglichen.

Die größte Querkraftbewehrung aller Schleifendurchgänge weist dann auf die maßgebende Stelle zur Bemessung der Querkrafttragfähigkeit mit Querkraftbewehrung hin. Für diese wird vom Programm das Nachweiskriterium ausgegeben.

$$\text{Nachweiskriterium} = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}}$$

Es wird nur das Kriterium für die Stelle der maßgebenden Querkraft ohne Querkraftbewehrung ausgegeben, wenn im kompletten Stab nur eine Mindestquerkraftbewehrung erforderlich war.

$$\text{Nachweiskriterium} = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}}$$

Das Nachweiskriterium bestimmt sich als das größere Nachweiskriterium in die Richtungen y und z.

$$\text{Nachweiskriterium} = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} = \max \left\{ \frac{V_y}{V_{Rd,c,y}}; \frac{V_z}{V_{Rd,c,z}} \right\}$$

2.7 Übergreifungsstöße

2.7.1 Anschlüsselemente an eine Stütze

In RFEM können Stützen an verschiedene Elemente anschließen, die in folgender Abbildung dargestellt sind. RSTAB hingegen bietet nur Anschlussmöglichkeit für Auflager und Stäbe.

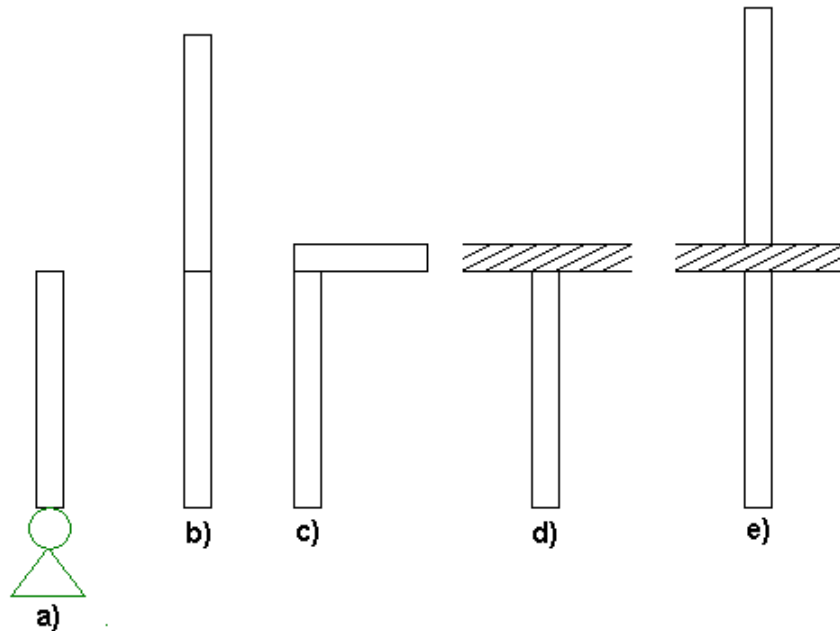


Bild 2.59: a = Auflager, b = Weiterführende Stütze, c = Riegel, d = Platte, e = Platte und weiterführende Stütze

Schließt an die Stütze ein Auflager an, so wird eine mögliche Anschlussbewehrung aus dem Auflager kommen. Sie ist deshalb nicht Bestandteil der ermittelten Stützenlängsbewehrung. Der Benutzer kann jedoch optional entscheiden, ob die Bügelabstände zur Aufnahme der Querkzugkräfte auf 60 % der sonst gewählten Bügelabstände zu verringern sind.

Schließt an die Stütze eine weiterführende Stütze an, ist es für den Benutzer möglich, neben der Verringerung der Bügelabstände einen Übergreifungsstoß ausbilden zu lassen. Dabei wird die Längsbewehrung der betrachteten Stütze um die Übergreifungslänge l_0 verlängert. Die Ermittlung dieser Übergreifungslänge wird im Anschluss vorgestellt.

Bildet ein Riegel oder eine Platte das Anschlüsselement, so kann der Bügelabstand ebenfalls auf Benutzerwunsch verändert werden.

Um einen Übergreifungsstoß ausbilden zu können, ist die Übergreifungslänge l_0 zu bestimmen.

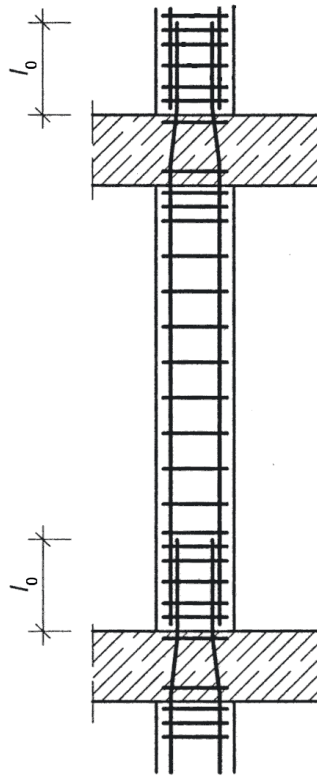


Bild 2.60: Übergreifungslänge l_0

Der Bemessungswert der Übergreifungslänge l_0 wird ermittelt aus dem erforderlichen Grundwert der Verankerungslänge $l_{b,rqd}$ gemäß [1] Absatz 8.4.3.

Der erforderliche Grundwert der Verankerungslänge $l_{b,rqd}$ zur Verankerung der Kraft $A_s \cdot \sigma_{sd}$ eines geraden Stabes unter Annahme einer konstanten Verbundspannung f_{bd} folgt aus der Gleichung:

$$l_{b,rqd} = (\phi / 4) \cdot (\sigma_{sd} / f_{bd})$$

Dabei ist ϕ Stabdurchmesser und σ_{sd} die vorhandene Stahlspannung im GZT des Stabes am Beginn der Verankerungslänge. Werte für f_{bd} sind in [1] 8.4.2 angegeben.

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$

η_1 ein Beiwert, der die Qualität der Verbundbedingungen und die Lage der Stäbe während des Betonierens berücksichtigt

η_2 ein Beiwert zur Berücksichtigung der Stabdurchmessers

f_{ctd} der Bemessungswert der Betonzugfestigkeit gemäß [1] 3.1.6(2)P

Ist der erforderliche Grundwert der Verankerungslänge $l_{b,rqd}$ bestimmt, kann der Bemessungswert der Übergreifungslänge l_0 gemäß [1] Absatz 8.7.3 ermittelt werden:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

mit

$l_{b,rqd}$ der erforderliche Grundwert der Verankerungslänge

$$l_{0,min} \geq \max(0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \phi; 200\text{mm})$$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ Beiwerte (siehe [1] Tabelle 8.2)

$$\alpha_6 = (\rho_1 / 25)^{0,25} \leq 1,5 \text{ bzw. } 1,0$$

ρ_1 ist der Prozentsatz der innerhalb von $0,65 \cdot l_0$ (gemessen ab der Mitte der betrachteten Übergreifungslänge) gestoßenen Bewehrung. Die Werte für α_6 sind in [1] Tabelle 8.3 enthalten.

2.7.2 Gestaltung von Übergreifungsstößen

Die konstruktive Gestaltung von Übergreifungsstößen ist in [1] Absatz 8.7.2 beschrieben.

(3) Die Anordnung der gestoßenen Stäbe muss in der Regel Bild 8.7 entsprechen und folgende Bedingungen erfüllen:

- Der lichte Abstand zwischen sich übergreifenden Stäben darf in der Regel nicht größer als 4ϕ oder 50 mm sein, andernfalls ist die Übergreifungslänge um die Differenz zwischen dem lichten Abstand und 4ϕ oder 50 mm zu vergrößern.
- Der Längsabstand zweier benachbarter Stöße darf in der Regel die 0,3fache Übergreifungslänge l_0 nicht unterschreiten.
- Bei benachbarten Stößen darf in der Regel der lichte Abstand zwischen benachbarten Stäben nicht weniger als 2ϕ oder 20 mm betragen.

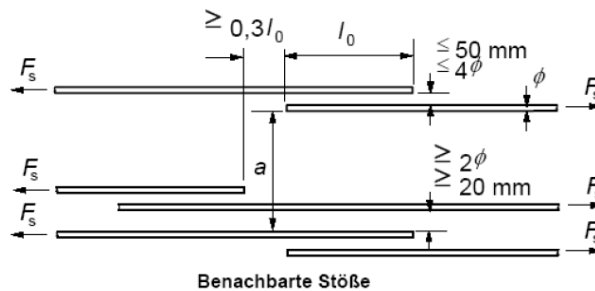


Bild 2.61: Gestaltung von Übergreifungsstößen

(4) Wenn die Anforderungen aus Absatz (3) erfüllt sind, dürfen 100 % der Zugstäbe in einer Lage gestoßen sein. Für Stäbe in mehreren Lagen ist in der Regel dieser Anteil auf 50 % zu reduzieren. Alle Druckstäbe sowie die Querbewehrung dürfen in einem Querschnitt gestoßen sein.

Bedenkt man die Wahl einer unterschiedlichen Bewehrungsanordnung, unterschiedlicher Stützenabmessungen und die sich aus der Berechnung ergebenden unterschiedlichen Anzahlen und Durchmesser der zu stoßenden Stäbe, so erscheint die Einhaltung dieser Vorschriften nahezu unmöglich. Es müssen deshalb für die automatische, konstruktive Gestaltung eines Bewehrungsstoßes durch das Programm folgende Voraussetzungen gegeben sein:

- Die Querschnittsabmessungen der zu stoßenden Stützen sind gleich.
- Für beide Stützen wurde die gleiche Bewehrungsanordnung gewählt.
- Die vorhandene Bewehrung verteilt sich in beiden Stützen nur über eine Lage.

Der Durchmesser und die Anzahl der Bewehrungsstäbe können in beiden Stützen unterschiedlich sein. Nachdem die Koordinaten der abgekröpften Bewehrungsstäbe bestimmt sind, ist zu kontrollieren, ob sich im Umkreis von weniger als $4d_s$ eines jeden dieser Stäbe mindestens ein Bewehrungsstab der anschließenden Stütze befindet. Ist dies nicht der Fall, wird der Benutzer informiert, dass bei dieser Konstellation der Bewehrungsstäbe in den zu stoßenden Stützen kein Übergreifungsstoß möglich ist.

Bei runden Stützenquerschnitten ist ein Übergreifungsstoß uneingeschränkt möglich.

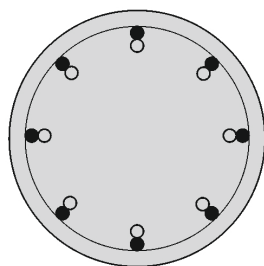


Bild 2.62: Übergreifungsstoß für runden Stützenquerschnitt

Bei rechteckigen Querschnitten entscheidet die Anordnung der Bewehrung darüber, ob ein Übergreifungsstoß zulässig ist.

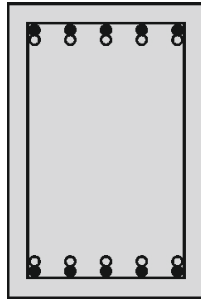


Bild 2.63: Übergreifungsstoß bei rechteckigem Stützenquerschnitt - zweiseitig

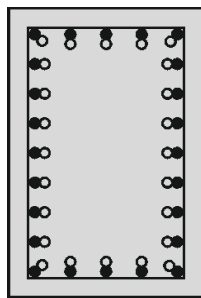


Bild 2.64: Übergreifungsstoß bei rechteckigem Stützenquerschnitt - umlaufend

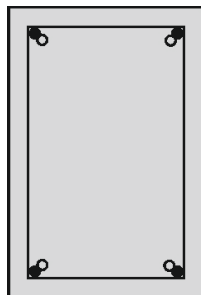


Bild 2.65: Übergreifungsstoß bei rechteckigem Stützenquerschnitt – in den Ecken

Bei zweiseitiger und umlaufender Bewehrungsanordnung ist ein Übergreifungsstoß uneingeschränkt möglich. Bei einer Bewehrungsanordnung in den Ecken sind nur Stöße bei Stützen zulässig, die nicht mehr als einen Bewehrungsstab pro Ecke besitzen. Sonst würde es zu einer Bewehrungskonzentration kommen, die kein Verdichten des Betons mehr zulässt.

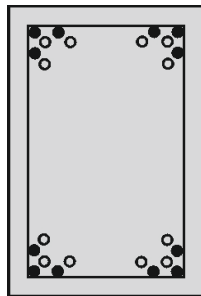


Bild 2.66: Kein Übergreifungsstoß bei konzentrierter Eckbewehrung

3. Arbeit mit RF-/BETON Stützen

3.1 RF-/BETON Stützen starten

Das Zusatzmodul RF-/BETON Stützen bzw. BETON Stützen kann gestartet werden über Menü

Zusatzmodule → **Stahlbetonbau** → **RF-/BETON Stützen**.

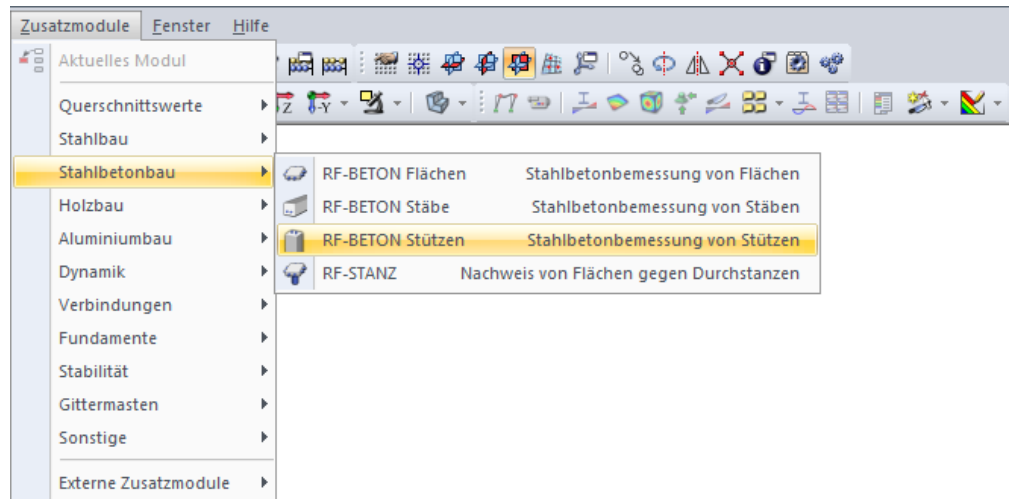


Bild 3.1: Starten von RF-BETON Stützen über das RFEM-Menü *Zusatzmodule*

Alternativ kann das Zusatzmodul im Daten-Navigator durch einen Doppelklick auf den Eintrag **RF-BETON Stützen** bzw. **BETON Stützen** geöffnet werden.

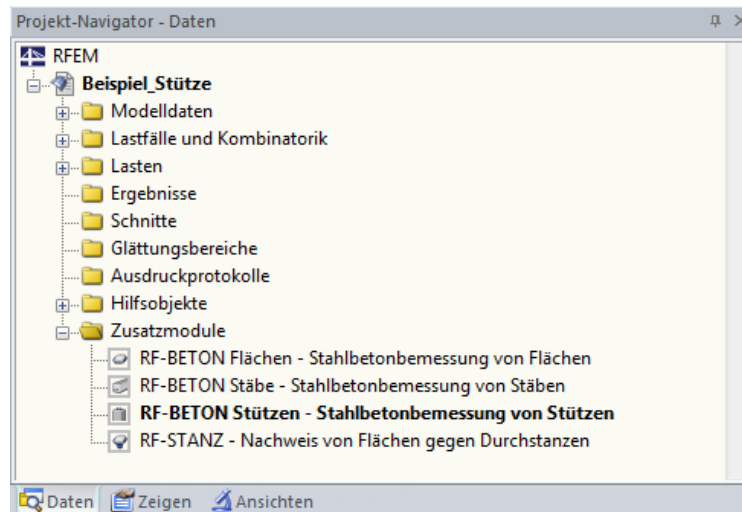


Bild 3.2: Start von RF-BETON Stützen über den *Daten*-Navigator von RFEM

3.2 Masken

Es existieren fünf Eingabemasken, die im Modul linksseitig im Navigator angezeigt werden.

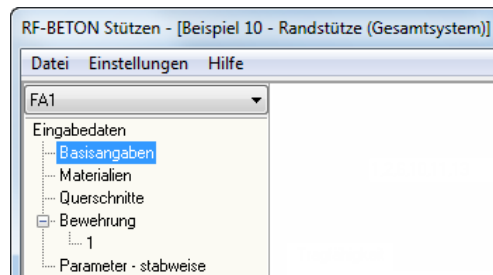


Bild 3.3: Eingabemasken im Navigator

Die Maske *Bewehrung* unterteilt sich wiederum in verschiedene Untermasken für die einzelnen, vom Benutzer angelegten Bewehrungssätze.

Auf der linken Seite stellt der Navigator in einer Liste alle verfügbaren Masken dar. Oberhalb befindet sich eine Liste mit den eventuell bereits vorhandenen Bemessungsfällen.

Unterhalb des Navigators befinden sich drei Schaltflächen.



Bild 3.4: Schaltfläche [Hilfe]

[Hilfe] beziehungsweise die Taste [F1] aktivieren die Online-Hilfe.



Bild 3.5: Vorherige Maske – Nächste Maske

Die Ansteuerung aller Masken kann wahlweise durch Anklicken des entsprechenden Eintrags im Navigator oder sequentielles Durchblättern geschehen. Geblättert werden kann mit den Tasten [F2] und [F3] oder durch Anklicken der oben abgebildeten Schaltflächen.

Berechnung

Bild 3.6: Schaltfläche [Berechnung]

Mit der Schaltfläche [Berechnung] wird nach Abschluss aller Eingaben die Berechnung gestartet.

Grafik

Bild 3.7: Schaltfläche [Grafik]

Mit der Schaltfläche [Grafik] kann in die grafische Ergebnisanzeige gewechselt werden. Es wird automatisch der aktuelle **RF-/BETON Stützen**-Fall eingestellt. Weitere Informationen zu den Themen Ergebnisanzeige und -ausgabe finden Sie im Kapitel 4 dieses Handbuchs.

OK

Bild 3.8: Schaltfläche [OK]

[OK] sichert vor dem Verlassen des Moduls alle Eingaben und Ergebnisse.

Abbrechen

Bild 3.9: Schaltfläche [Abbrechen]

Mit [Abbrechen] wird **RF-/BETON Stützen** verlassen, ohne zuvor die Daten zu sichern.

3.3 Eingabemasken

3.3.1 Maske 1.1 Basisangaben

Nach dem Aufruf des Moduls **RF-/BETON Stützen** erscheint die Maske *1.1 Basisangaben*.

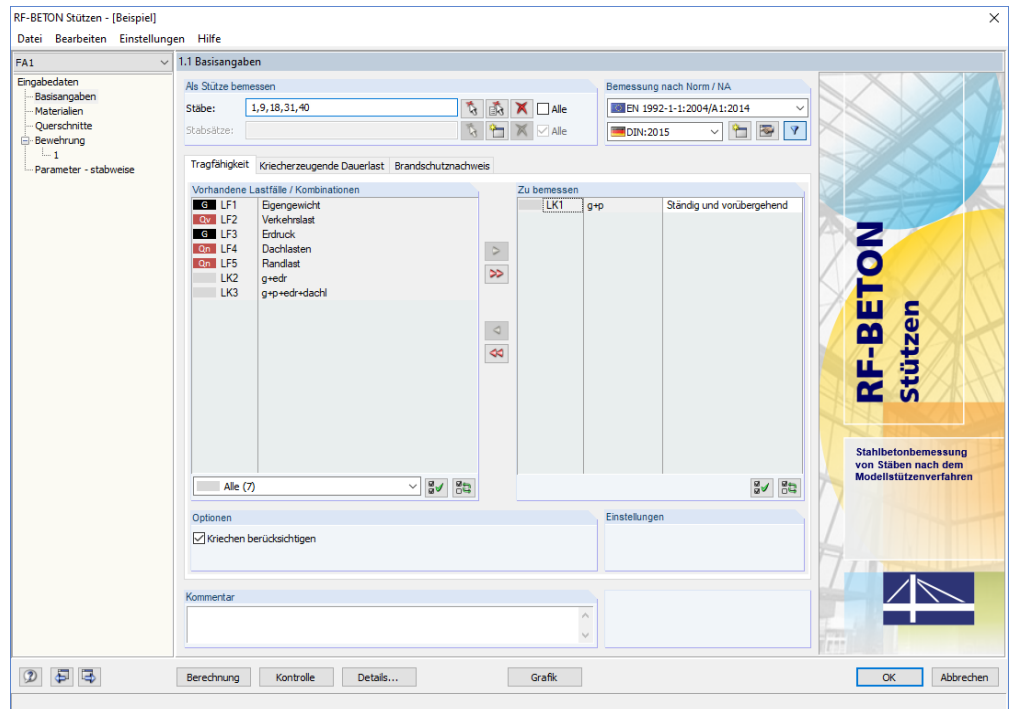


Bild 3.10: Maske 1.1 Basisangaben, Register Tragfähigkeit

In dieser Maske befinden sich Listen der existierenden Lastfälle (LF), Lastkombinationen (LK) und Ergebniskombinationen (EK). Die Lastfälle, Last- oder Ergebniskombinationen (letztere nach **Theorie I. Ordnung** zu berechnen!), für die eine Bemessung erfolgen soll, werden durch Anklicken markiert und mit der Schaltfläche [▶] in die rechte Liste gebracht.



Bild 3.11: Schaltfläche [Selektiertes übernehmen]

Die Schaltfläche [▶▶] überträgt alle Einträge in die rechte Liste.



Bild 3.12: Schaltfläche [Alles übernehmen]

Analog können mit der Schaltfläche [◀] einzelne oder mit der Schaltfläche [◀◀] alle Einträge aus der rechten Liste entfernt werden.



Bild 3.13: Schaltflächen [Selektiertes zurücksetzen] und [Alles zurücksetzen]

Im Textfeld *Kommentar* kann jeder Bemessungsfall mit Anmerkungen versehen werden.

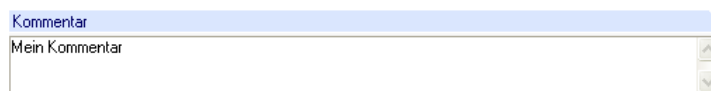


Bild 3.14: Dialogabschnitt *Kommentar*

Über das Menü **Datei** können die einzelnen Bemessungsfälle verwaltet werden.

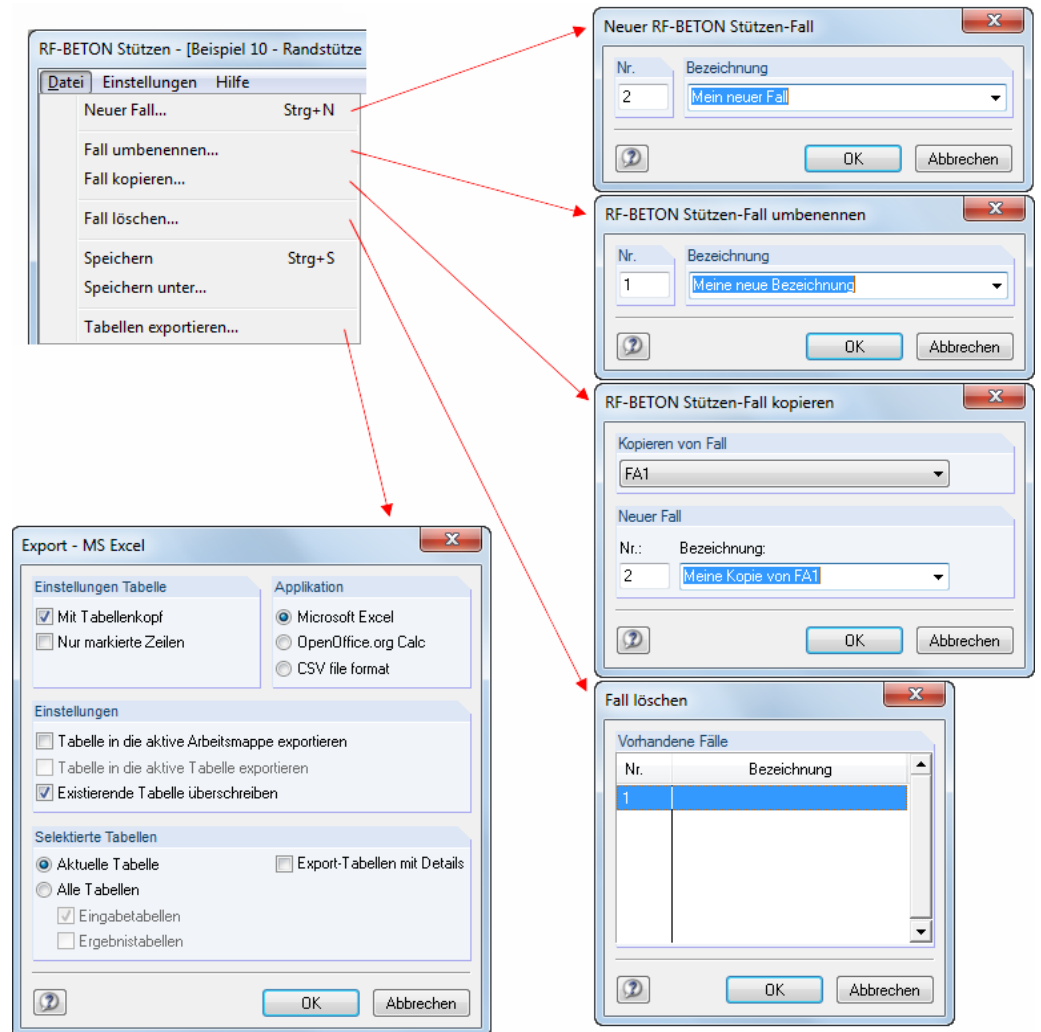


Bild 3.15: Verwalten der Bemessungsfälle

Datei → **Neuer Fall ...**

Ein neuer Bemessungsfall kann auch über die Tastenkombination [Strg]+[N] angelegt werden. Es öffnet sich folgender Dialog:

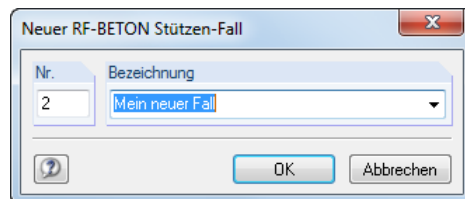


Bild 3.16: Dialog **Neuer RF-BETON Stützen-Fall**

Für den neuen Bemessungsfall muss eine *Nummer* und eine *Bezeichnung* vergeben werden. In der Liste befinden sich alle bereits verwendeten Bezeichnungen. Sie wird sichtbar, wenn man auf den Pfeil am rechten Rand des Textfeldes klickt, in dem die Bezeichnung des Bemessungsfalles steht.

Datei → Fall umbenennen ...

Mit dieser Funktion kann der aktuelle Bemessungsfall umbenannt werden. Dazu muss die Bezeichnung geändert und eventuell auch eine andere Nummer gewählt werden.

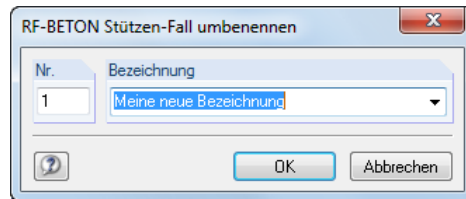


Bild 3.17: Dialog RF-BETON Stützen-Fall umbenennen

Datei → Fall kopieren ...

Mit dieser Funktion kann ein bereits angelegter Bemessungsfall kopiert werden. Dazu ist zunächst dieser in der oberen Liste auszuwählen. In das Eingabefeld *Bezeichnung* ist dann der Name einzutragen, den die Kopie erhalten soll.

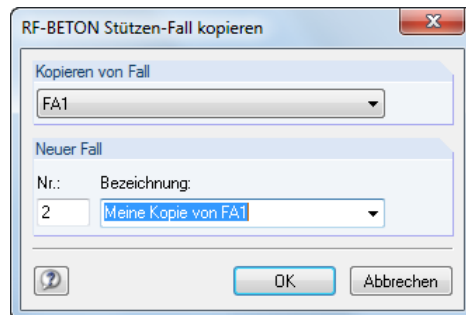


Bild 3.18: Dialog RF-BETON Stützen-Fall kopieren

Datei → Fall löschen ...

In der Liste kann der zu löschende Fall markiert werden. Nach dem Beenden des Dialogs mit [OK] wird der Fall gelöscht. Wenn mehrere Fälle markiert werden sollen, so muss beim Klicken die [Strg]-Taste gedrückt gehalten werden.

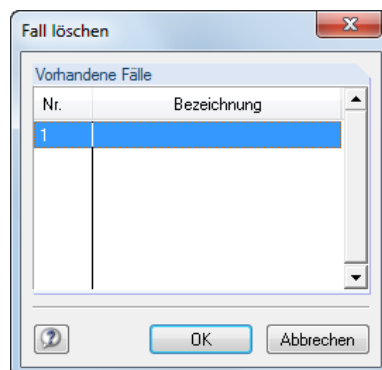


Bild 3.19: Dialog Fall löschen

Export → MS Excel ...

In der Liste kann der Bemessungsfall in die MS Excel-Tabelle exportiert werden.

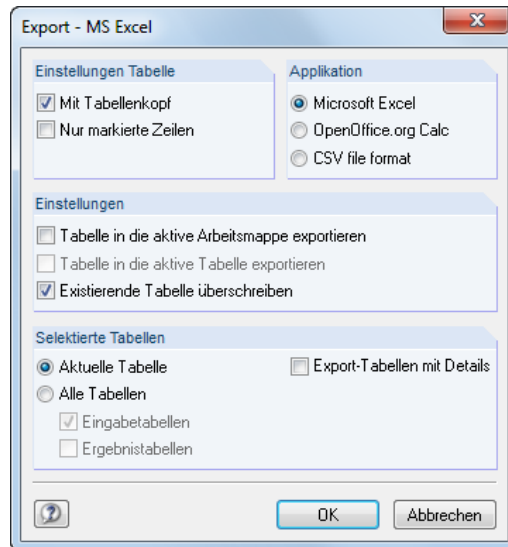


Bild 3.20: Dialog *Export - MS Excel*

Über Menü **Einstellungen** → **Einheiten und Dezimalstellen ...**

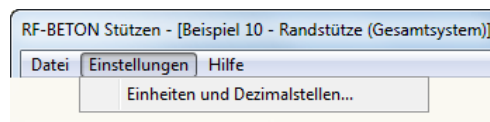


Bild 3.21: Aufruf des Dialogs

.... werden die Einheiten für die Bemessung festgelegt.

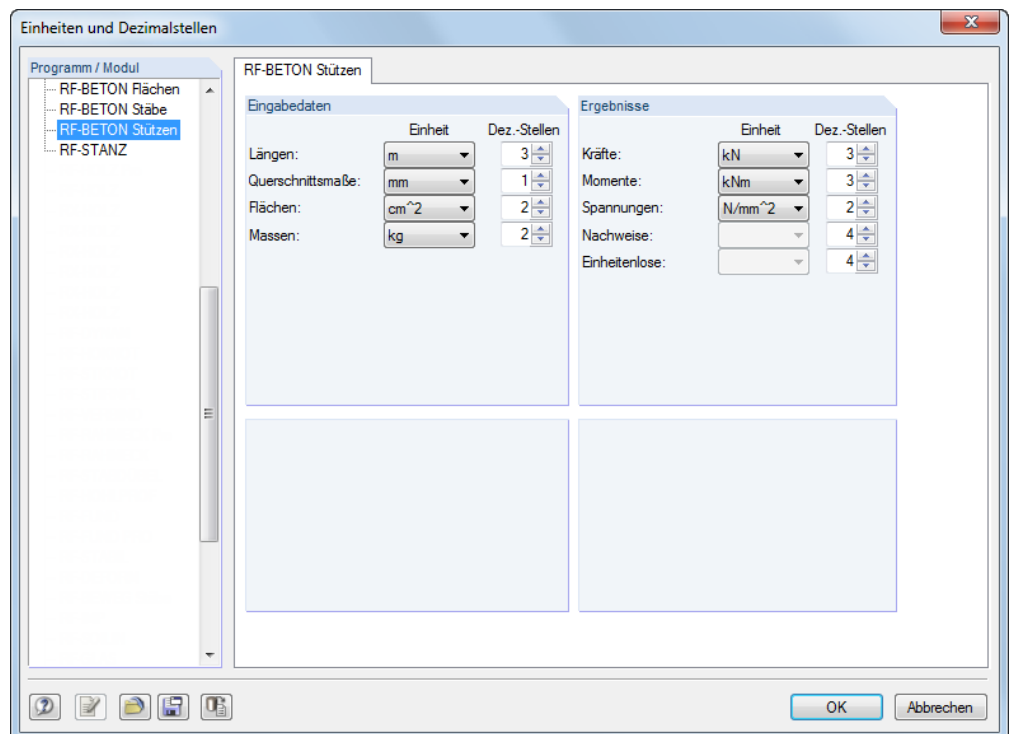


Bild 3.22: Dialog *Einheiten und Dezimalstellen*

Am linken unteren Rand dieses Dialogs finden sich verschiedene Schaltflächen, über die die Einheiten und die Anzahl ihrer Dezimalstellen als Profile verwaltet werden können.

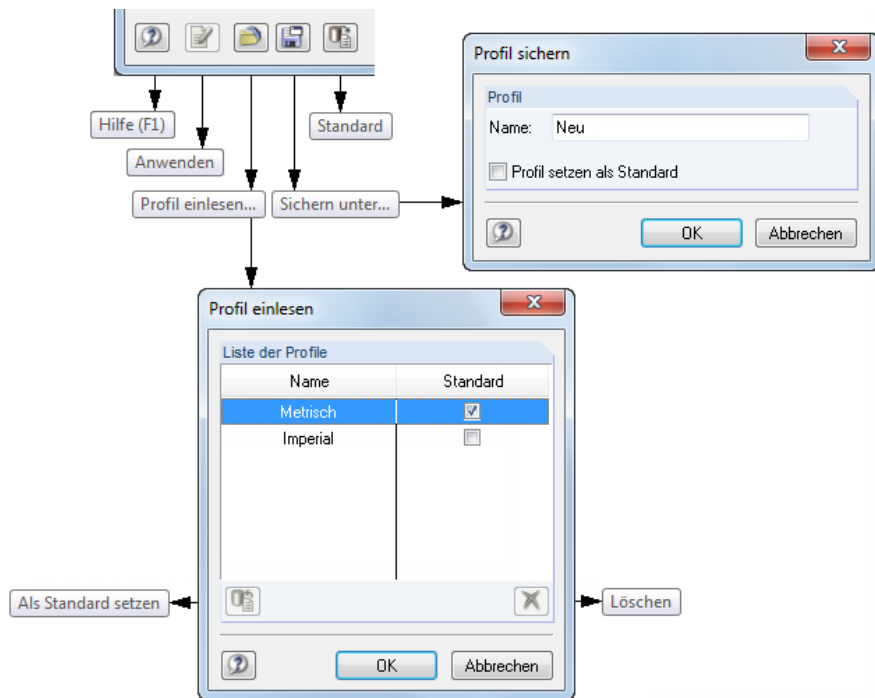


Bild 3.23: Verwaltung der Einheiten

Unter dem Menü **Hilfe** findet der Benutzer Informationen zu diesem Zusatzmodul.



Bild 3.24: Menüpunkt [Hilfe]

Im Abschnitt **Als Stütze bemessen** der Maske 1.1 Basisangaben sind zunächst jene Elemente des RFEM/RSTAB-Modells festzulegen, die nach dem Verfahren mit Nennkrümmung bemessen werden sollen.



Bild 3.25: Auswahl der zu bemessenden Stützen

Im Eingabefeld *Stäbe* ist die Nummer eines Stabes anzugeben. Alternativ kann man über die rechts davon befindliche Schaltfläche in das RFEM- bzw. RSTAB-Arbeitsfenster wechseln und die gewünschte Stütze per Mausklick zur Berechnung auswählen:

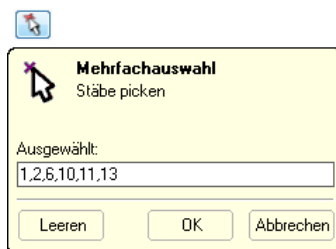


Bild 3.26: Dialog zur Auswahl der Stäbe nach Nummern

In diesem Dialog erscheinen die Nummern der ausgewählten Stäbe. Mit [OK] werden sie in das Modul übernommen.

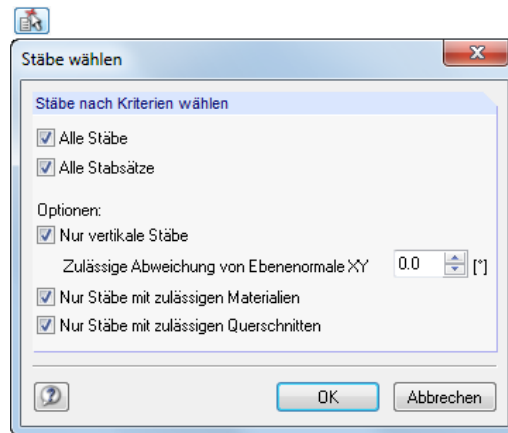


Bild 3.27: Dialog zur Auswahl der Stäbe nach Kriterien

In diesem Dialog erscheinen die Kriterien zur Auswahl der Stäbe. Mit [OK] werden sie in das Modul übernommen.

Soll der Großteil der Stäbe der Struktur ausgewählt werden, so empfiehlt es sich, das Kontrollfeld [Alle] anzuklicken und dann auf die oben beschriebene Weise die nicht relevanten Stäbe aus der Liste zu entfernen.

Analog wird die Auswahl von bereits definierten Stabsätzen vorgenommen. Wurde noch kein Stabsatz angelegt, so sind das Textfeld für die Stabsätze und die zugehörigen Schaltflächen nicht verfügbar.

Im Modul RF-/BETON Stützen kann der Dialog zum Anlegen eines neuen Stabsatzes über folgende Schaltfläche gestartet werden:

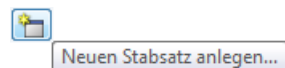


Bild 3.28: Schaltfläche zum Anlegen eines neuen Stabsatzes

Es erscheint der aus RFEM bzw. RSTAB bekannte Dialog *Neuer Stabsatz*:

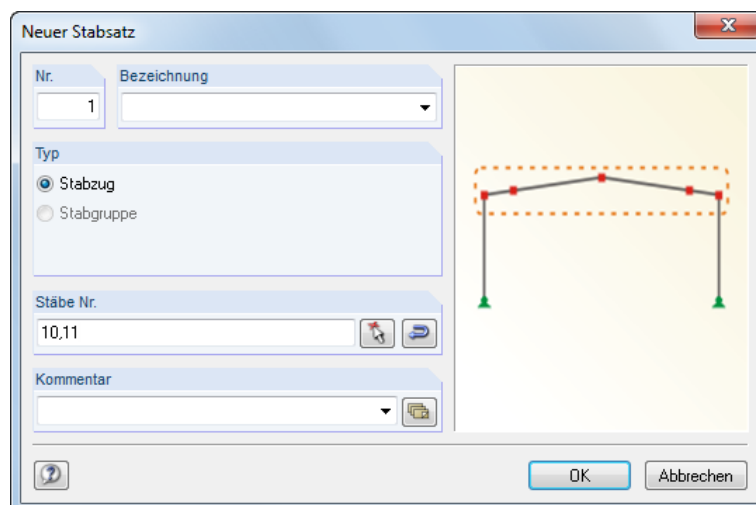


Bild 3.29: Dialog zum Anlegen eines neuen Stabsatzes

In Maske 1.1 *Basisangaben* ist im Abschnitt *Bemessung nach Norm / NA* die Norm festzulegen, nach der bemessen werden soll. Für die Norm *EN 1992-1-1* ist zusätzlich der Nationale Anhang anzugeben.

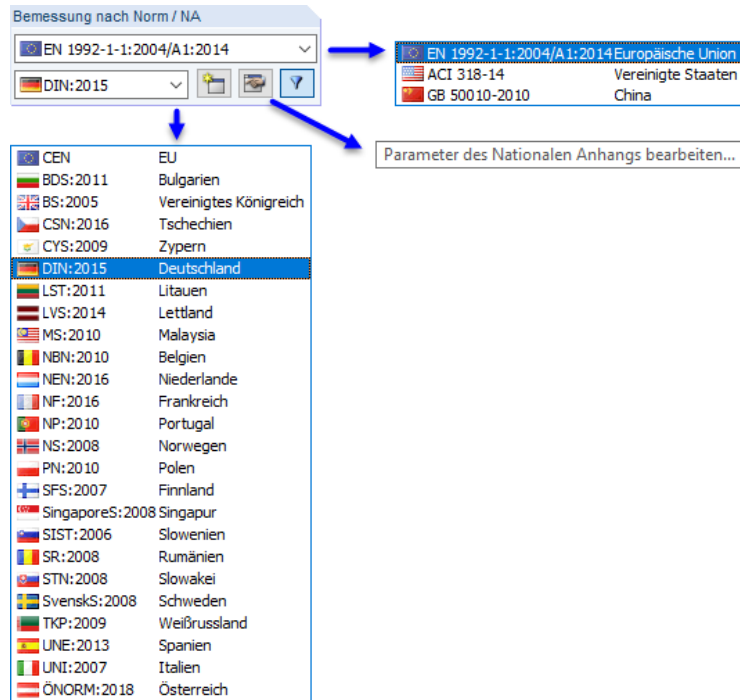


Bild 3.30: Auswahl der Norm und des Nationalen Anhangs

Ferner kann im Abschnitt *Optionen* das Kontrollfeld *Kriechen berücksichtigen* aktiviert werden, falls diese Einflüsse bemessungsrelevant sind.

Dies hat zur Folge, dass das Register *Kriecherzeugende Dauerlast* für den Benutzer verfügbar wird (siehe folgendes Bild). Dort können dann jene Lasten ausgewählt werden, die ständig wirken und somit zu einer Vergrößerung der Zusatzausmitte e_2 infolge Kriechen führen.

Kriecherzeugende Dauerlast

Die näherungsweise Vergrößerung der Zusatzausmitte e_2 infolge Kriecheffekte ist gemäß EN 1992-1-1, Abs. 5.8.4 so zu bestimmen, dass die vorhandene Ausmitte e_2 nach Theorie II. Ordnung mit dem Faktor $(1 + M_{0Eqp} / M_{0Ed})$ multipliziert wird. Das Moment M_{0Eqp} kommt dabei aus jenen Lasten, die im Register *Kriecherzeugende Dauerlast* der Maske 1.1 ausgewählt werden (siehe folgendes Bild). Die Lastfälle werden als ständig wirkend angenommen. Ihr Einfluss wird nacheinander überprüft.

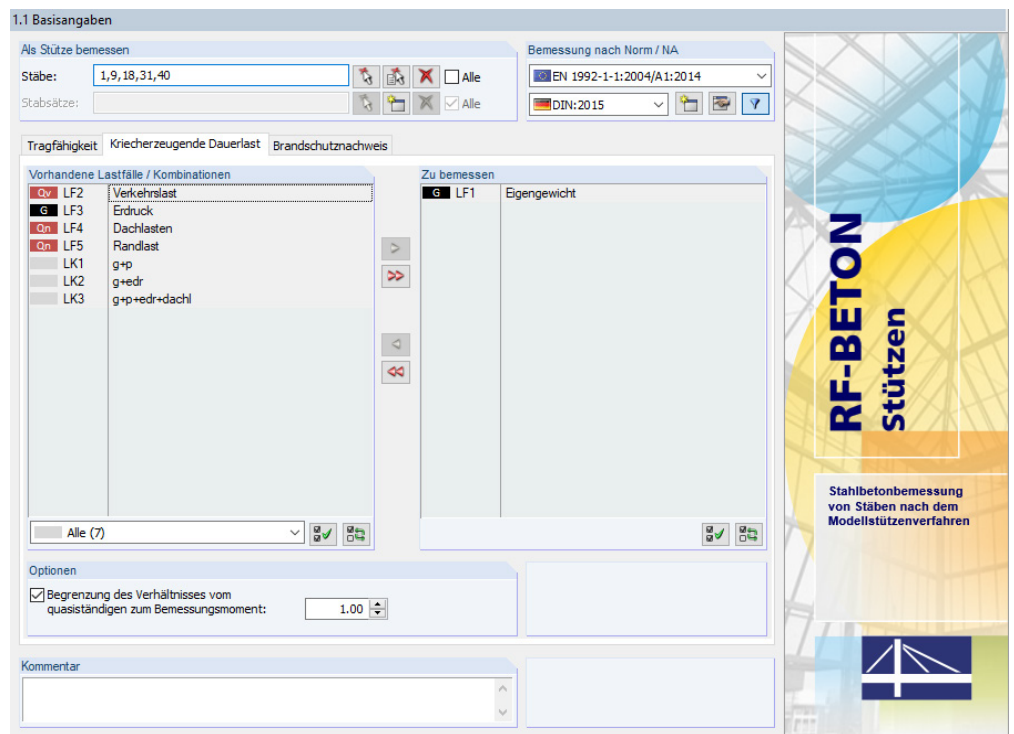


Bild 3.31: Maske 1.1 Basisangaben, Register Kriecherzeugende Dauerlast

Die Option *Begrenzung des Verhältnisses vom quasiständigen zum Bemessungsmoment* ermöglicht es, das Verhältnis M_{0Eqp} / M_{0Ed} zur Berechnung der effektiven Kriechzahl auf den definierten Wert (Standard ist 1,00) zu begrenzen. Damit soll verhindert werden, dass im Fall $M_{0Eqp} > M_{0Ed}$ die effektive Endkriechzahl nicht erhöht wird.

Brandschutznachweis

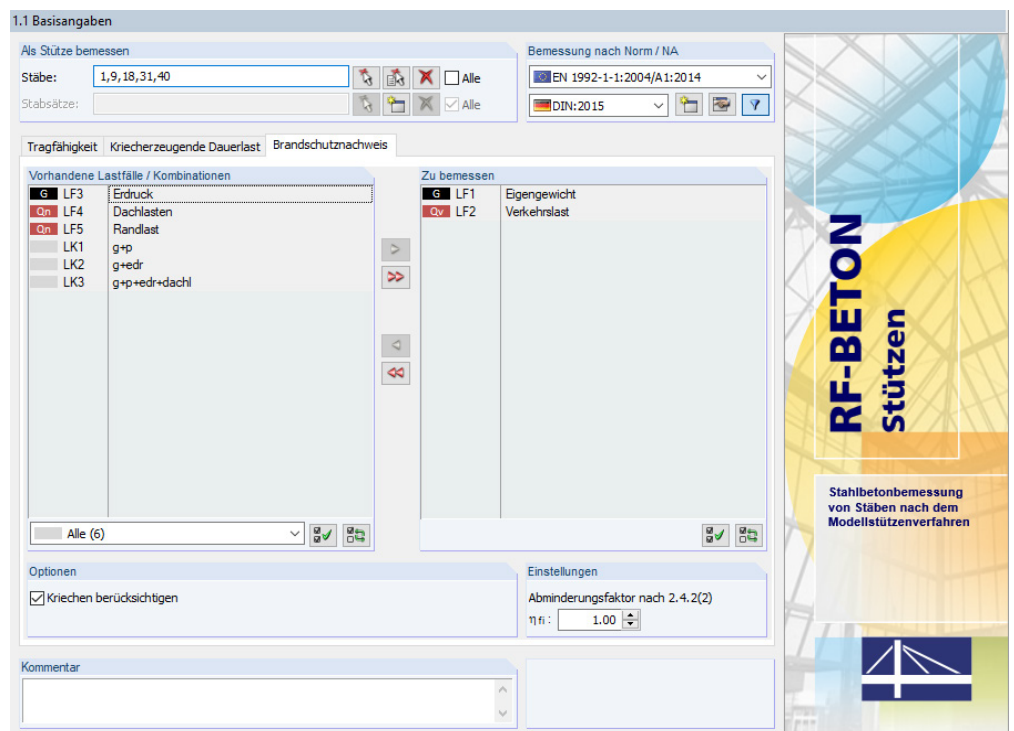


Bild 3.32: Maske 1.1 Basisangaben, Register Brandschutznachweis

Die Option *Abminderungsfaktor nach 2.4.2(2)* ermöglicht es, vereinfacht Beanspruchungen aus der Bemessung für Normaltemperatur zu übernehmen und diese mit dem Reduktionsfaktor η_{fi} zu berücksichtigen. Der Reduktionsfaktor ist wie in EN 1992-1-2 vorgeschlagen gemäß 2.4.2(3) zu ermitteln. Als Vereinfachung kann der empfohlene Wert $\eta_{fi} = 0,7$ verwendet werden.

3.3.2 Maske 1.2 Materialien

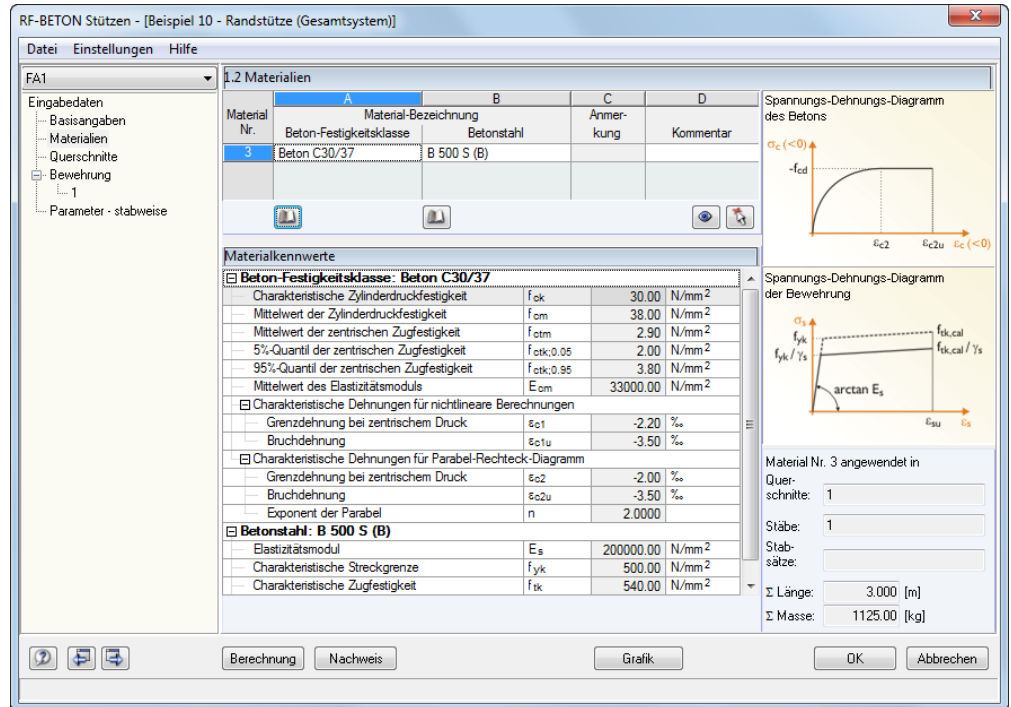


Bild 3.33: Maske 1.2 Materialien

In der zweiten Eingabemaske werden die Materialdaten der zu bemessenden Stäbe angezeigt. Diese Maske ist zweigeteilt: Im oberen Teil werden die Werkstoffe für den Beton und für den Bewehrungsstahl festgelegt. Die Betonfestigkeitsklassen werden von RFEM bzw. RSTAB übernommen, können hier jedoch auch geändert werden.



Bild 3.34: Beton-Bibliothek

Mit der Schaltfläche [Beton-Bibliothek] unterhalb der Spalte *Beton-Festigkeitsklasse* kann die Betongüte ausgewählt werden. Es erscheint der in folgendem Bild dargestellte Dialog.

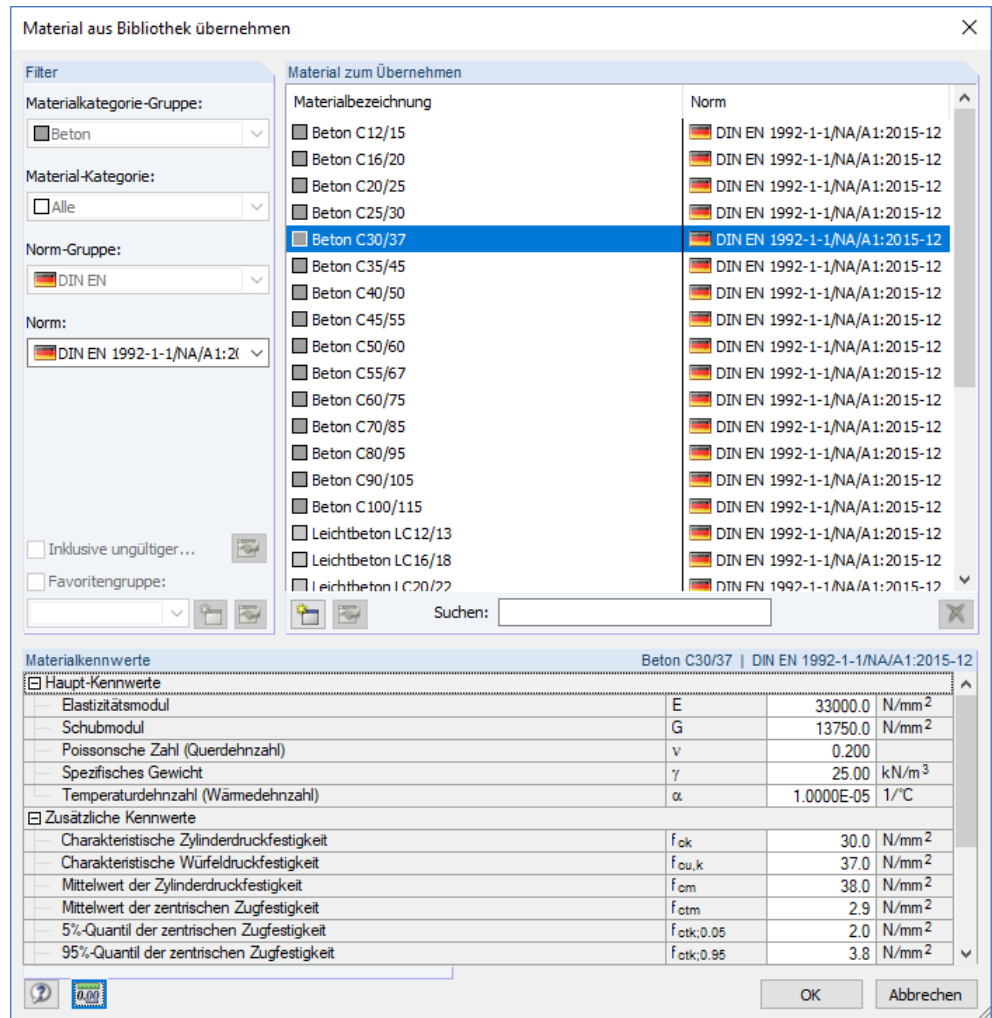


Bild 3.35: Beton-Bibliothek

Der Dialog besteht aus drei Abschnitten. Links befinden sich so genannte *Filter*. Sie sind beim Aufruf über das Modul jedoch nicht zugänglich, da aus den getroffenen Eingaben die geeigneten Materialien voreingestellt werden.

Im Abschnitt *Material zum Übernehmen* werden alle infrage kommenden Materialien aufgelistet, von denen eines durch Anklicken ausgewählt werden kann. Im *Suchen*-Feld ist eine Volltextsuche nach einem bestimmten Material möglich.

Die Tabelle im Abschnitt *Materialkennwerte* gibt Aufschluss über sämtliche Eigenschaften des Materials, die für die RFEM/RSTAB-Berechnung und die Bemessung relevant sind.

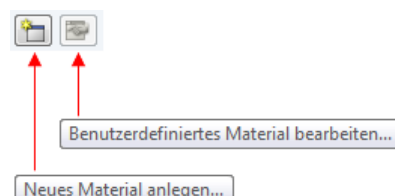


Bild 3.36: Materialbibliothek-Schaltflächen

Über die Schaltfläche [Neues Material anlegen ...] unterhalb der Materialliste kann ein eigener Beton definiert werden. Es erscheint der in folgendem Bild dargestellte Dialog.

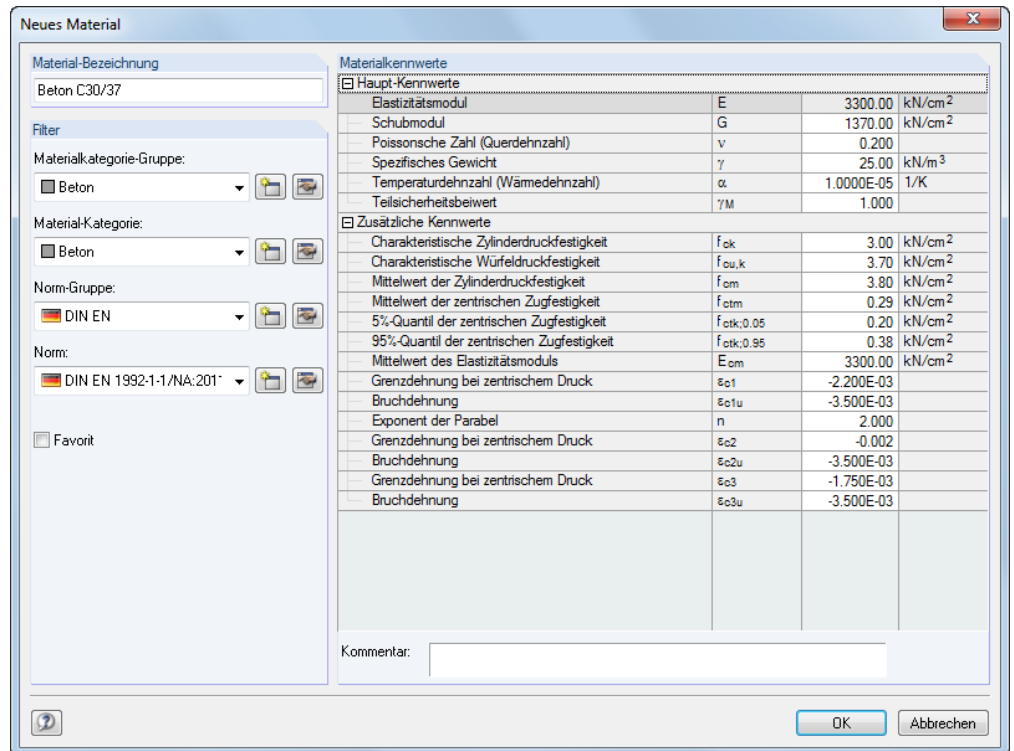


Bild 3.37: Dialog *Neues Material*

In diesem Dialog können neben der Materialbezeichnung sämtliche Materialkennwerte in der rechtsseitigen Tabelle erfasst werden. Mit dem Verlassen dieses Dialogs über [OK] wird das neu angelegte Material zu der Liste der bereits bestehenden Materialien hinzugefügt.

Aus der Beton-Bibliothek wird der selbstdefinierte Beton oder ein Beton mit einer bestimmten Festigkeitsklasse markiert und mit [OK] in das Eingabefeld der Maske 1.2 übernommen.

Jeder Betonfestigkeitsklasse muss eine Bewehrungsstahlsorte zugewiesen werden. Die Auswahl der Betonstahlgüte erfolgt wie oben für die Betonfestigkeitsklasse beschrieben. Mit der Schaltfläche [Betonstahl-Bibliothek] wird die Bibliothek der Betonstahlgüten aufgerufen.



Bild 3.38: Betonstahl-Bibliothek

Es erscheint der in folgendem Bild dargestellte Dialog.

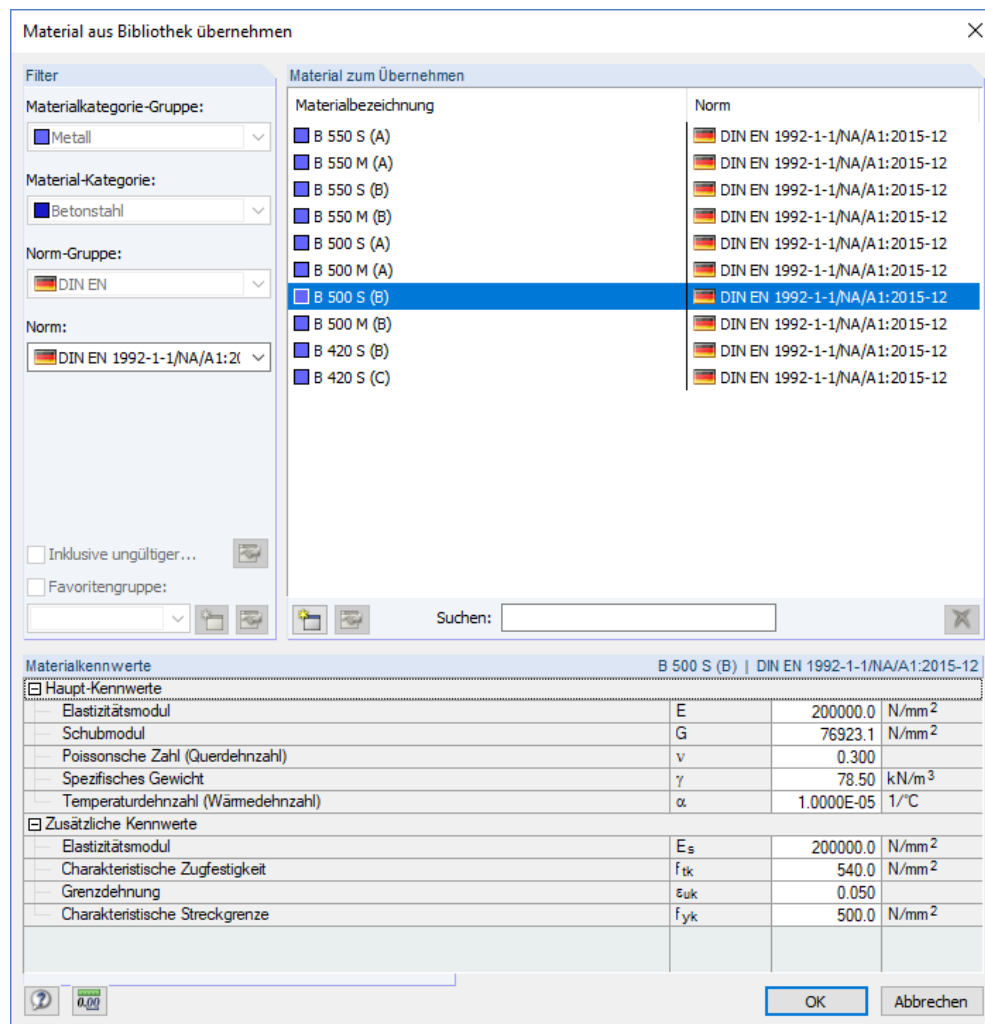


Bild 3.39: Betonstahl-Bibliothek

Über die Schaltfläche [Neu] kann ein eigener Betonstahl definiert werden.

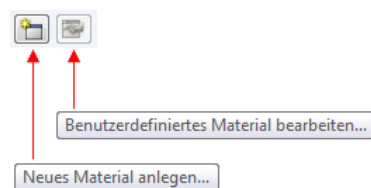


Bild 3.40: Betonstahlbibliothek: Schaltflächen

Es erscheint der in folgendem Bild dargestellte Dialog.

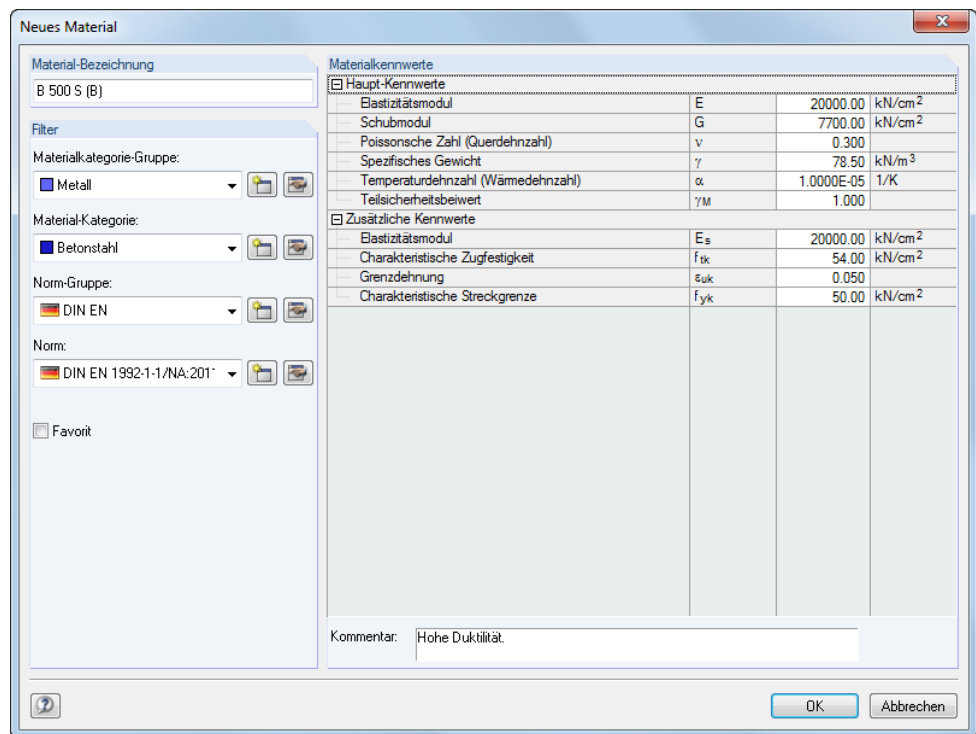


Bild 3.41: Material-Kennwerte

Die Vorgehensweise ist identisch wie beim Beton.

Im unteren Teil der Maske 1.2 befindet sich eine Tabelle mit Detailangaben zu den Materialeigenschaften des Betons und des Betonstahls, der in der oberen Tabelle ausgewählt wurde.

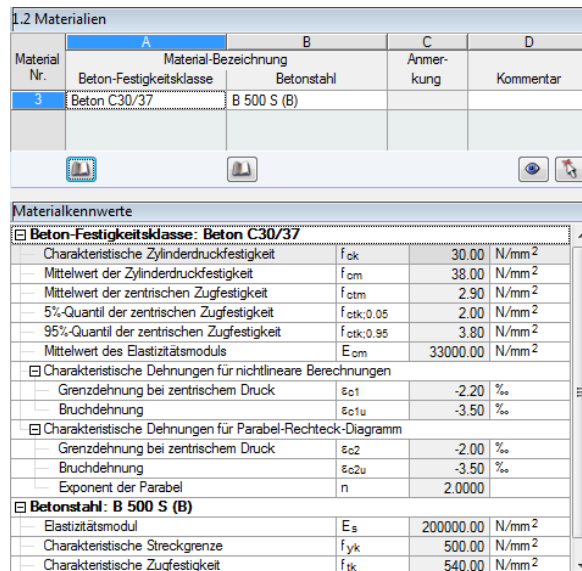


Bild 3.42: Materialkennwerte der ausgewählten Beton- und Betonstahlgüten

Im rechten Bereich der Maske 1.2 *Materialien* wird angezeigt, für welche Querschnitte und Stäbe das aktuelle Material verwendet wird.

In dieser Maske können zwar die Materialien geändert werden, aber die Bemessung erfolgt mit den Schnittgrößen, die mit den in RFEM bzw. RSTAB definierten Steifigkeiten ermittelt wurden. Wenn in RF-/BETON Stützen die Steifigkeiten geändert werden und es sich um ein statisch unbestimmtes System handelt, so müssen zur genauen Bemessung die geänderten Materialien auch in RFEM/RSTAB angepasst und die Schnittgrößen nochmals berechnet werden!

3.3.3 Maske 1.3 Querschnitte

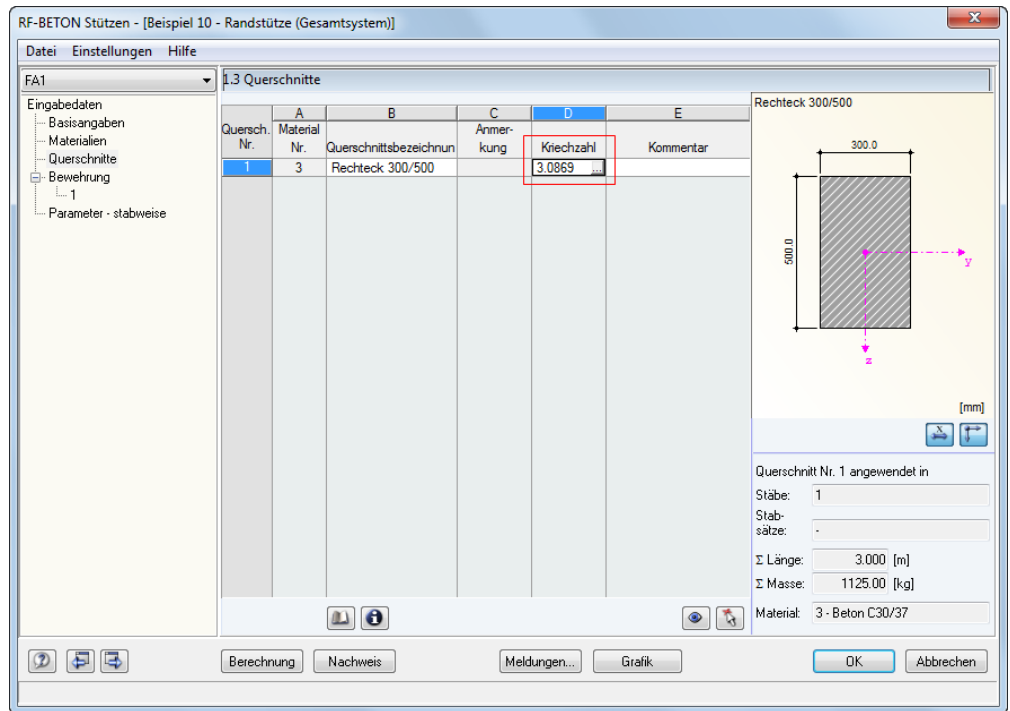


Bild 3.43: Maske 1.3 Querschnitte

In dieser Maske werden alle Querschnitte aufgelistet, aus denen die Stäbe und Stabsätze bestehen, die zuvor in der Maske 1.1 Basisangaben zur Bemessung ausgewählt wurden. Für jeden Querschnitt können hier auch die Vorgaben zur *Kriechzahl* getroffen werden (siehe Markierung im Bild oben). Mit dem Anklicken der Schaltfläche [...] öffnet sich folgender Dialog:

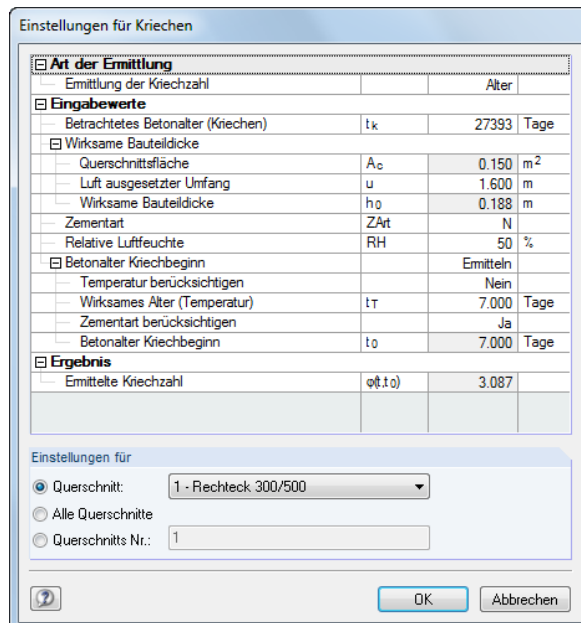


Bild 3.44: Dialog Einstellungen für Kriechen

Links unten in Maske 1.3 befindet sich eine Schaltfläche, über die der in der Liste selektierte Querschnitt verändert werden kann.

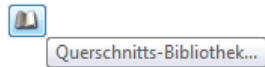


Bild 3.45: Schaltfläche [Querschnittsbibliothek]

Der Klick auf diese Schaltfläche öffnet die Querschnittsbibliothek von RFEM bzw. RSTAB.

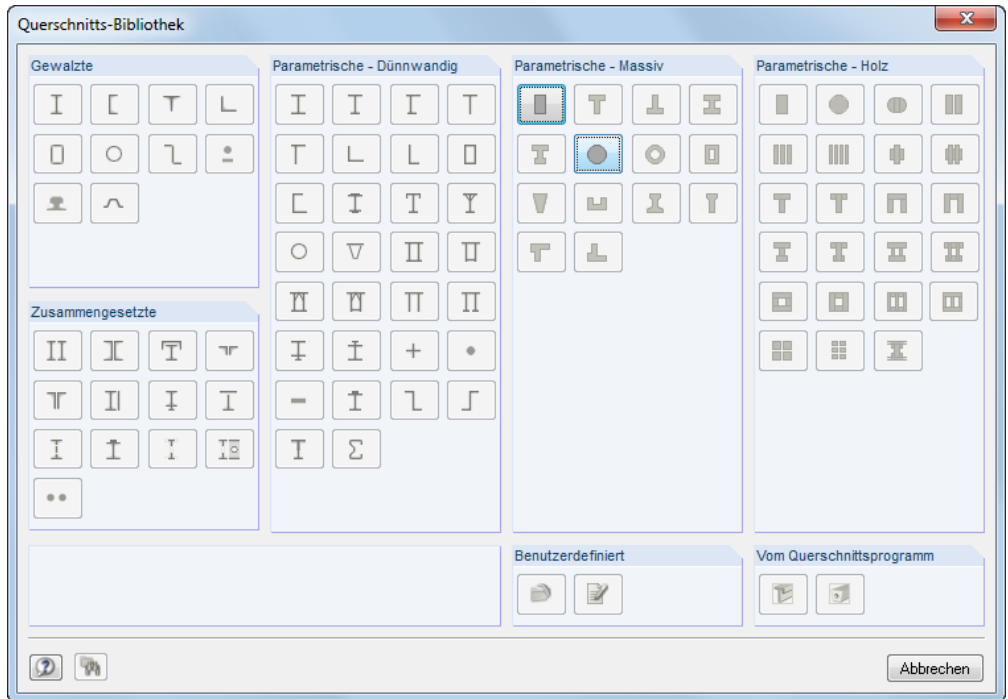


Bild 3.46: Querschnittsbibliothek

In der Bibliothek sind nur jene Querschnitte verfügbar, die vom Modul **RF-/BETON Stützen** unterstützt werden. Dies sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt Kreis- und Rechteckquerschnitte der Profilkategorie *Parametrische - Massiv*.

Im rechten Bereich der Maske 1.3 wird die Querschnittsgrafik des aktuellen Profils dargestellt. Unterhalb der Grafik ist die Zuordnung dieses Querschnitts zu bestimmten Materialien und Stäben ersichtlich.

Eine Querschnittsänderung in dieser Maske führt nicht automatisch zu einer Änderung der Querschnitte innerhalb von RFEM bzw. RSTAB. Wie für die Materialien gilt: Die Bemessung erfolgt mit den Schnittgrößen, die mit den in RFEM bzw. RSTAB definierten Steifigkeiten ermittelt wurden. Wenn in RF-/BETON Stützen die Steifigkeiten geändert werden und es sich um ein statisch unbestimmtes System handelt, so müssen zur genauen Bemessung die geänderten Querschnitte auch in RFEM/RSTAB angepasst und die Schnittgrößen nochmals berechnet werden!

3.3.4 Maske 1.4 Bewehrung

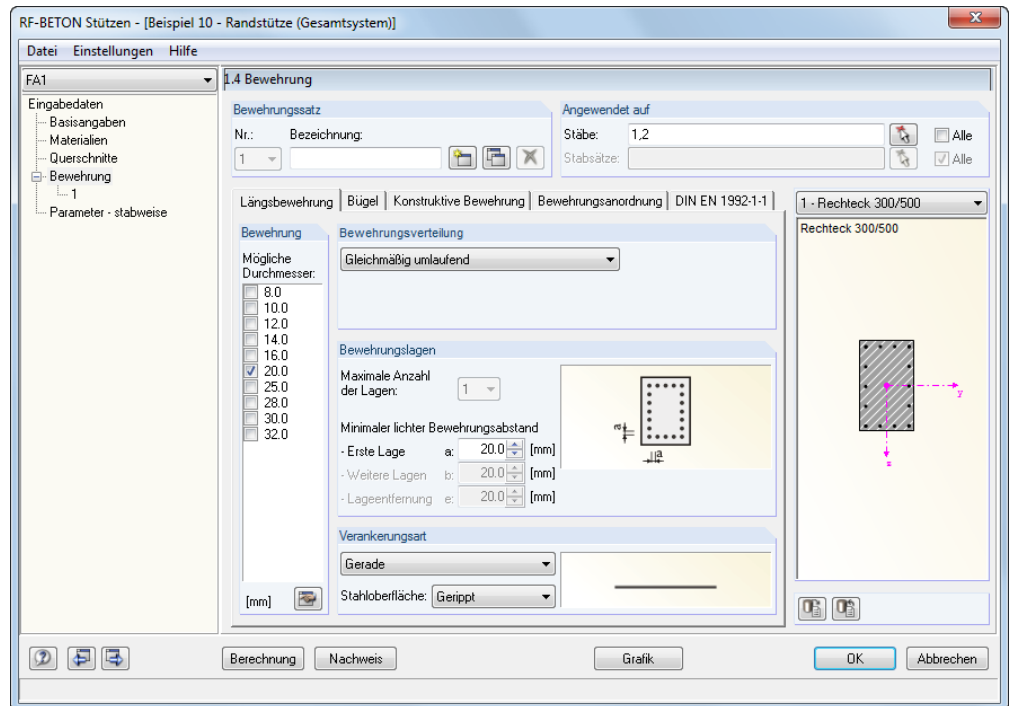


Bild 3.47: Maske 1.4 Bewehrung, Register Längsbewehrung

In den Registern *Längsbewehrung*, *Bügel*, *Konstruktive Bewehrung*, *Bewehrungsanordnung*, *„Norm“* und ggf. *Brandschutz* werden verschiedene Angaben zur Bewehrung erfasst. Die Angaben sind für die einzelnen Stäbe oder Stabsätze oft unterschiedlich. Aus diesem Grund ist es möglich, verschiedene so genannte „Bewehrungssätze“ anzulegen, denen dann bestimmte Stäbe oder Stabsätze zugeordnet werden können. Die Vorgaben des jeweiligen Bewehrungssatzes werden dann auf die relevanten Stäbe oder Stabsätze angewendet.

Ein Bewehrungssatz ist im Abschnitt *Bewehrungssatz* durch eine Nummer und eine frei wählbare *Bezeichnung* definiert.

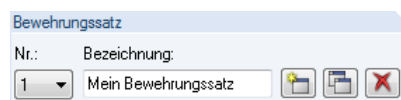


Bild 3.48: Abschnitt *Bewehrungssatz*

Im Abschnitt *Angewendet auf* rechts daneben ist festzulegen, für welche Stäbe oder Stabsätze dieser Bewehrungssatz gültig ist.



Bild 3.49: Abschnitt *Angewendet auf*

Die Nummern der Stäbe oder Stabsätze können in die Eingabefelder eingetragen oder über die Schaltfläche [^] grafisch ausgewählt werden. Es erscheint das Arbeitsfenster von RFEM bzw. RSTAB, in dem die gewünschten Stäbe oder Stabsätze per Mausklick festgelegt werden können.

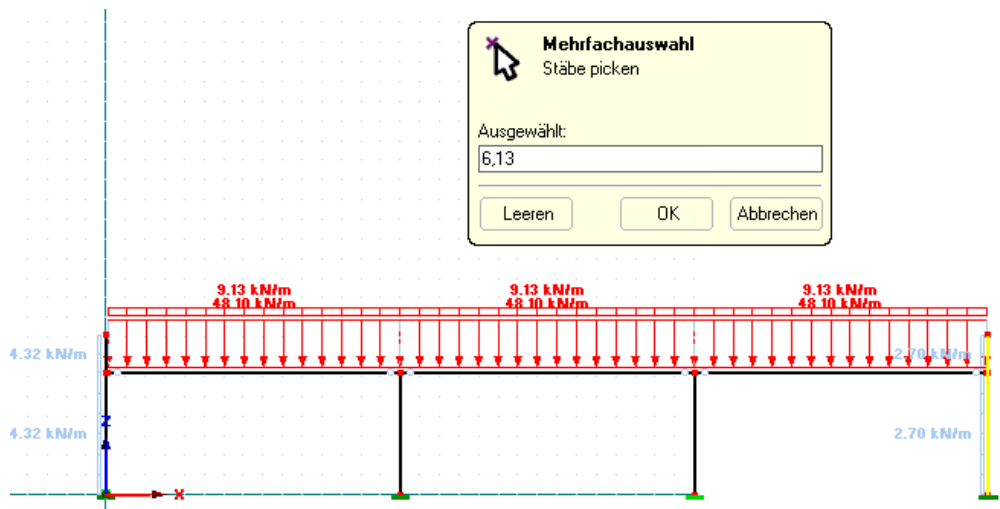


Bild 3.50: Stäbe im RFEM/RSTAB-Arbeitsfenster grafisch auswählen

Ein Bewehrungssatz kann auch auf alle Stäbe bzw. Stabsätze angewendet werden. Dies wird erreicht, indem im Abschnitt *Angewendet auf* das Kontrollfeld [Alle] angehakt wird. Damit ist jedoch folgende Einschränkung verbunden: Da in diesem Bewehrungssatz bereits alle Stäbe bzw. Stabsätze enthalten sind, kann kein anderer Bewehrungssatz mehr definiert werden – es gibt keinen Stab oder Stabsatz mehr, auf den er angewendet werden könnte. Dies ist auch daran zu erkennen, dass im Abschnitt *Bewehrungssatz* die Schaltfläche zum Anlegen eines neuen Bewehrungssatzes nicht verfügbar ist.

Wird das Häkchen beim Kontrollfeld *Alle* entfernt, so wird die Schaltfläche [Neuer Bewehrungssatz] zugänglich:

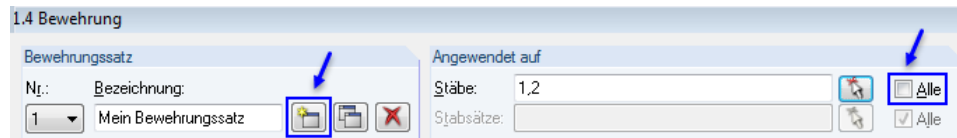


Bild 3.51: Bewehrungssatz angewendet auf bestimmte Stäbe

Ein bereits definierter Bewehrungssatz kann über die Schaltfläche [X] wieder gelöscht werden:

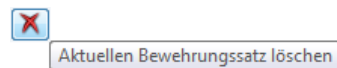


Bild 3.52: Schaltfläche [Bewehrungssatz löschen]

Dabei ist zu beachten, dass für die Stäbe oder Stabsätze, die in diesem gelöschten Bewehrungssatz enthalten waren, keine Bemessung stattfindet. Sollen diese dennoch bemessen werden, müssen sie einem bestehenden oder neuen Bewehrungssatz zugeordnet werden. Anderenfalls erscheint im Programm folgende Fehlermeldung:

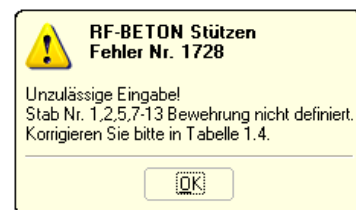


Bild 3.53: Fehlermeldung

Um Änderungen in einem bereits angelegten Bewehrungssatz vorzunehmen, muss dieser zunächst ausgewählt werden. Dies kann auf zweierlei Arten erfolgen:

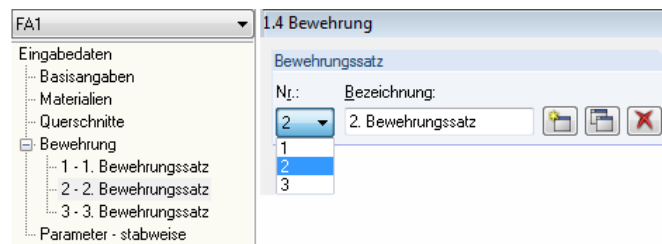


Bild 3.54: Auswahl eines Bewehrungssatzes

Im Abschnitt *Bewehrungssatz* kann die Nummer eines Bewehrungssatzes aus der Auswahlliste gewählt werden. Alternativ wird der gewünschte Bewehrungssatz über einen Doppelklick auf den entsprechenden Navigatoreintrag eingestellt.

Im unteren Teil der Maske 1.4 kann der aktuelle Bewehrungssatz dann über die fünf bzw. sechs Register *Längsbewehrung*, *Bügel*, *Konstruktive Bewehrung*, *Bewehrungsanordnung*, *„Norm“* und ggf. *Brandschutz* definiert werden.

3.3.4.1 Längsbewehrung

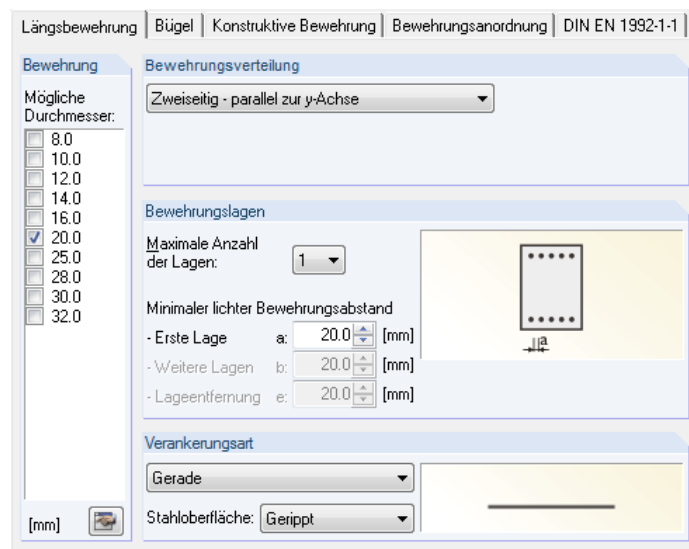


Bild 3.55: Register *Längsbewehrung*

Im Abschnitt *Bewehrung* stehen verschiedene Bewehrungsdurchmesser zur Auswahl, die für die Längsbewehrung infrage kommen. Durch Anhaken der Einträge werden dem Programm bestimmte Durchmesser zur Verfügung gestellt. Es wird dann ausschließlich mit den vorgegebenen möglichen Bewehrungsstäben eine Lösung gesucht.

Über die Auswahlliste im Abschnitt *Bewehrungsverteilung* wird über die vier Möglichkeiten der Bewehrungsverteilung entschieden:

- Zweiseitig - parallel zur y-Achse
- Zweiseitig - parallel zur z-Achse
- Nur in den Ecken
- Gleichmäßig umlaufend

Im Abschnitt *Bewehrungslagen* kann in einer weiteren Auswahlliste die *Maximale Anzahl der Lagen* vorgegeben werden. Für diese Bewehrungslagen kann dann über die Abstände *a*, *b* und *e* festgelegt werden, wie deren Anordnung erfolgen soll.

Den Abschluss dieses Registers bilden zwei Auswahllisten im Abschnitt *Verankerungsart*, die für die Ermittlung der Verankerungslängen bedeutsam werden. In der kleinen Grafik rechts daneben werden die jeweiligen Parameter dynamisch veranschaulicht.

3.3.4.2 Bügel

In diesem Register sind die Angaben zur Querkraftbewehrung vorzunehmen.

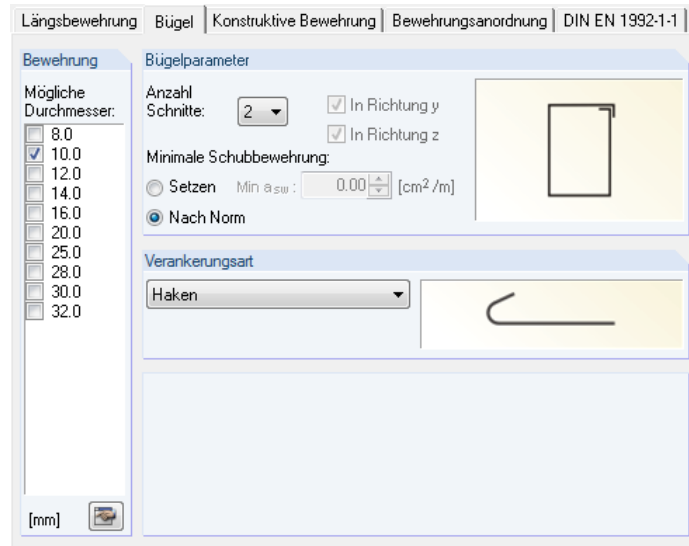


Bild 3.56: Register *Bügel*

Die für die Bemessung infrage kommenden Stabdurchmesser der Bügelbewehrung sind im Abschnitt *Bewehrung* auszuwählen. Wie oben für die Längsbewehrung beschrieben, wird dann ausschließlich mit den vorgegebenen möglichen Bügeldurchmessern eine Lösung gesucht

Im Abschnitt *Bügelparameter* kann die Anzahl der Schnitte sowie die Mindestschubbewehrung $Min a_{sw}$ manuell oder nach Norm festgelegt werden. Unterschreitet die statisch erforderliche Querkraftbewehrung oder die Mindestquerkraftbewehrung nach Norm den hier vorgegebenen Wert, so wird $Min a_{sw}$ als erforderliche Bügelbewehrung verwendet.

Den Abschluss dieses Registers bildet ein Auswahlfeld im Abschnitt *Verankerungsart*, das für die Ermittlung der Verankerungslängen bedeutsam ist. In der kleinen Grafik rechts daneben wird die jeweilige Verankerungsart veranschaulicht. Die geometrische Form der Verankerung kann nach der Bemessung noch in *Maske 4.2 Vorhandene Bügelbewehrung* beeinflusst werden (siehe Kapitel 3.5.5, Seite 127).

3.3.4.3 Konstruktive Bewehrung

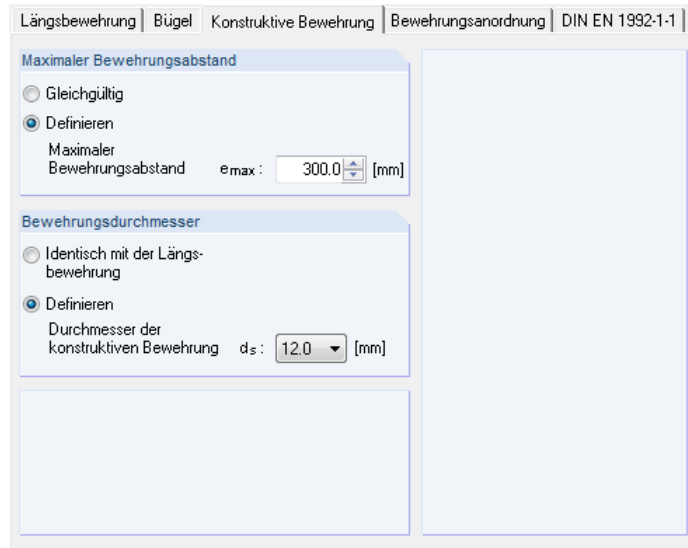


Bild 3.57: Register *Konstruktive Bewehrung*

Neben der statisch erforderlichen Bewehrung sind (außer bei umlaufender Bewehrung) Zwischenstäbe entlang einer Querschnittsseite anzuordnen, damit der Abstand zwischen den Stäben der statisch erforderlichen Bewehrung nicht zu groß wird. Der maximal zulässige Abstand ist in den einzelnen Normen genau geregelt. Durch Anklicken der Option *Gleichgültig* wird ein gleichmäßiger Abstand angesetzt. Die Option *Definieren* ermöglicht es, den maximal zulässigen Abstand manuell festzulegen.

Der Abschnitt *Bewehrungsdurchmesser* steuert, ob für die konstruktive Bewehrung der gleiche Stabdurchmesser wie für die statisch erforderliche Bewehrung verwendet wird. Über die Option *Definieren* kann ein anderer Durchmesser vorgegeben werden.

3.3.4.4 Bewehrungsanordnung

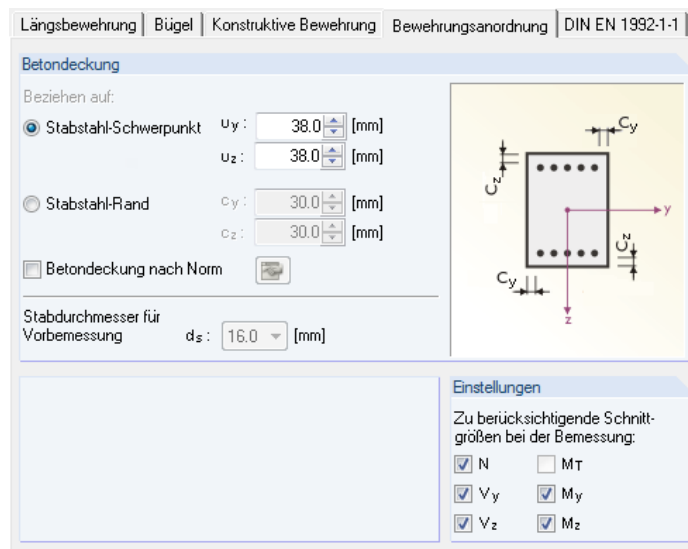


Bild 3.58: Register *Bewehrungsanordnung*

In diesem Register kann die *Betondeckung* in Richtung der jeweiligen Achse des Querschnitts festgelegt werden. Für rechteckige Querschnitte sind somit in zwei Richtungen verschiedene Betondeckungen möglich, die in den Eingabefeldern u_y und u_z bzw. c_y und c_z festzulegen sind.

Einem Kreisquerschnitt hingegen kann nur eine Betondeckung zugewiesen werden.

Abhängig vom aktiven Auswahlfeld im Abschnitt *Betondeckung* beziehen sich die Deckungen auf den Schwerpunkt (Achismaß) oder den Rand der Bewehrung:

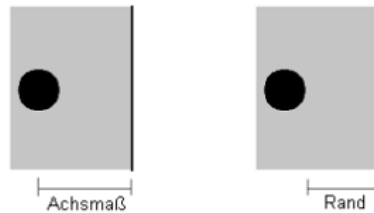
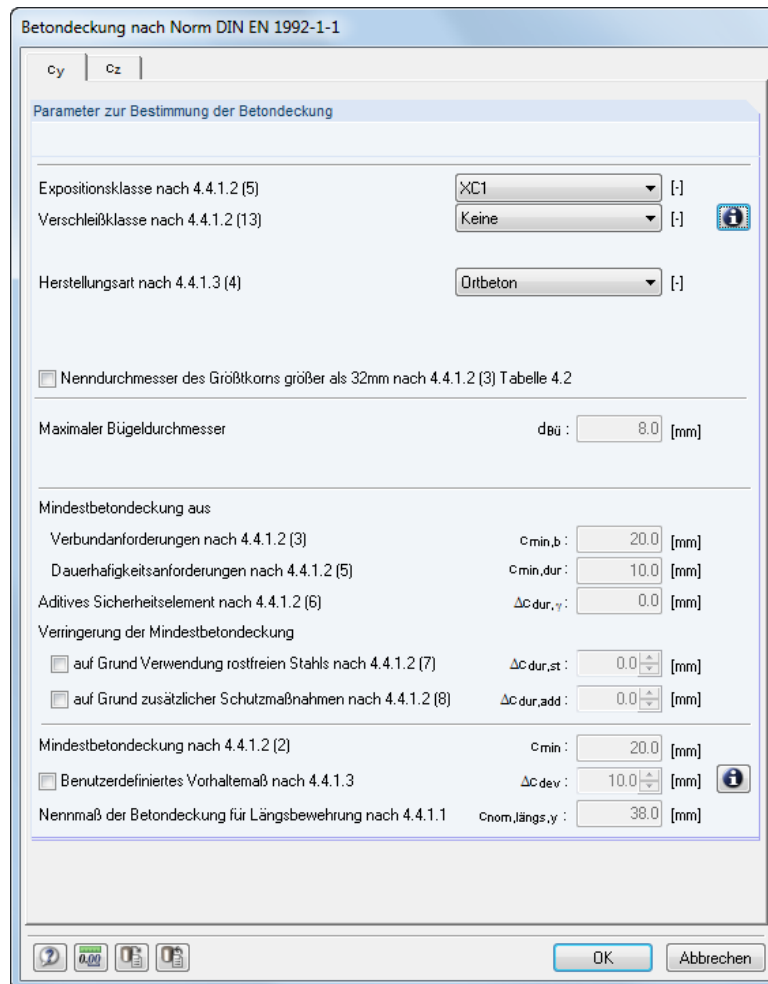


Bild 3.59: Art der Betondeckung



Beim Ansatz der *Betondeckung nach Norm* ist über die Schaltfläche [Bearbeiten] ein Dialog aufrufbar, in dem die Angaben zur Ermittlung des Nennmaßes der Betondeckung $c_{nom,längs}$ nach der gewählten Norm, wie z. B. EN 1992-1-1, Abs. 4.4.1.1, getroffen werden können.



Betondeckung nach Norm DIN EN 1992-1-1

Cy | Cz

Parameter zur Bestimmung der Betondeckung

Expositionsklasse nach 4.4.1.2 (5) XC1 [-]

Verschleißklasse nach 4.4.1.2 (13) Keine [-]

Herstellungsart nach 4.4.1.3 (4) Ortbeton [-]

Nenndurchmesser des Größtkorns größer als 32mm nach 4.4.1.2 (3) Tabelle 4.2

Maximaler Bügeldurchmesser d_{bu} : 8.0 [mm]

Mindestbetondeckung aus

Verbundanforderungen nach 4.4.1.2 (3) $c_{min,b}$: 20.0 [mm]

Dauerhaftigkeitsanforderungen nach 4.4.1.2 (5) $c_{min,dur}$: 10.0 [mm]

Aditives Sicherheitselement nach 4.4.1.2 (6) $\Delta c_{dur,y}$: 0.0 [mm]

Verringerung der Mindestbetondeckung

auf Grund Verwendung rostfreien Stahls nach 4.4.1.2 (7) $\Delta c_{dur,st}$: 0.0 [mm]

auf Grund zusätzlicher Schutzmaßnahmen nach 4.4.1.2 (8) $\Delta c_{dur,add}$: 0.0 [mm]

Mindestbetondeckung nach 4.4.1.2 (2) c_{min} : 20.0 [mm]

Benutzerdefiniertes Vorhaltemaß nach 4.4.1.3 Δc_{dev} : 10.0 [mm]

Nennmaß der Betondeckung für Längsbewehrung nach 4.4.1.1 $c_{nom,längs,y}$: 38.0 [mm]

OK | Abbrechen

Bild 3.60: Dialog *Betondeckung nach Norm*

Mit [OK] werden die ermittelten Betondeckungen für die Bemessung übernommen.

In einem separaten Eingabefeld im Register *Bewehrungsanordnung* ist anzugeben, welcher Stabdurchmesser zur Vorbemessung angenommen werden soll. Damit wird die Lage der Bewehrungsschwerpunkte bestimmt.

Der Abschnitt *Einstellungen* steuert, welche Schnittgrößen bei der Bemessung berücksichtigt werden. Das Deaktivieren einer Komponente sollte nur in Ausnahmefällen erfolgen!

3.3.4.5 „Norm“

Im Registerreiter-Titel wird die Norm angezeigt, die in Maske 1.1 Basisangaben eingestellt ist.

EN 1992-1-1

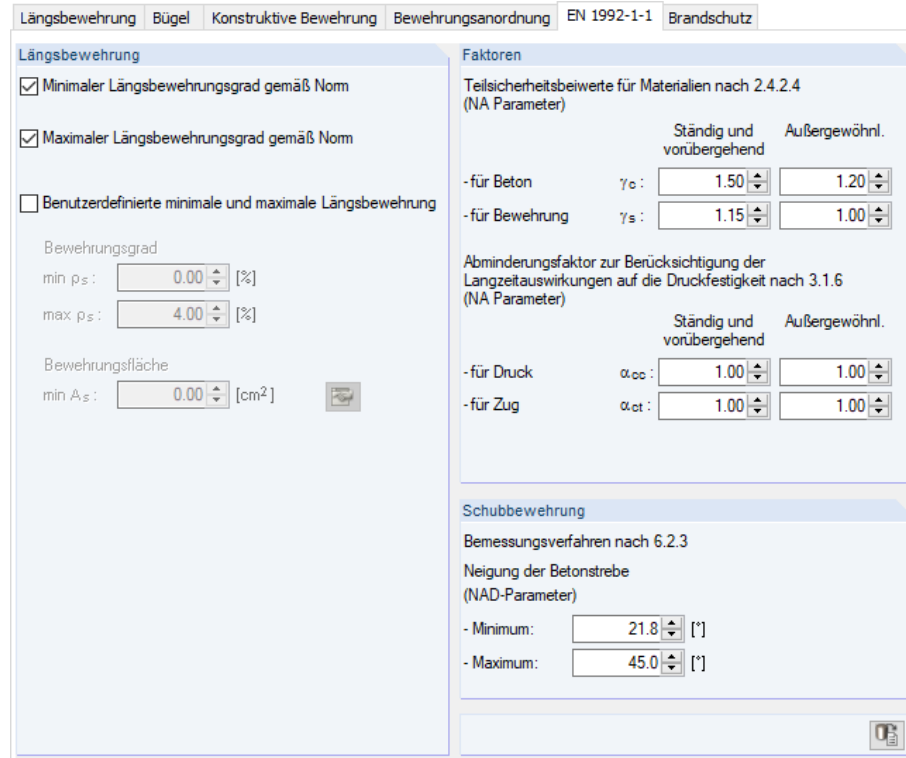


Bild 3.61: Register EN 1992-1-1

Der Abschnitt *Längsbewehrung* steuert, ob die maximalen und minimalen Bewehrungsgrade der Norm verwendet werden. Alternativ kann ein benutzerdefinierter Höchst- oder Mindestbewehrungsgrad angegeben werden.

Die Mindestbewehrung ist in EN 1992-1-1, Abs. 9.5.2 (2) als nationaler Parameter geregelt.

Der empfohlene Wert ist

$$A_{s,min} = \max(0,10 \cdot N_{Ed} / f_{yd}; 0,002 \cdot A_c)$$

Die Maximalbewehrung ist in EN 1992-1-1, Abs. 9.5.2 (3) als nationaler Parameter geregelt.

Der empfohlene Wert ist

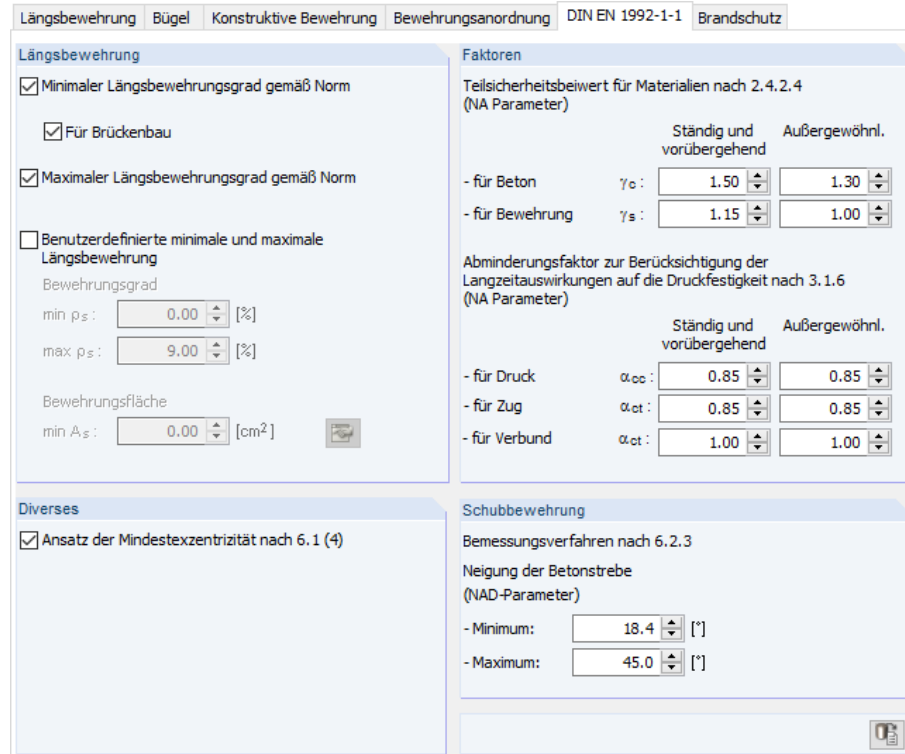
$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c \text{ (außerhalb von Stoßbereichen)}$$

$$A_{s,max} = 0,08 \cdot A_c \text{ (im Bereich von Stößen)}$$

Im Abschnitt *Faktoren* können die Teilsicherheitsbeiwerte γ für Stahl und Beton sowie der Abminderungsbeiwert α für Druck und Zug eingegeben werden.

Der Abschnitt *Schubbewehrung* verwaltet die Unter- und Obergrenzen des Druckstrebenwinkels. Das Modul ermittelt die Schnittmenge aus diesem benutzerdefinierten Bereich und dem Bereich, der sich nach EN 1992-1-1 ergibt. Sollte die benutzerdefinierte minimale Druckstrebenneigung jedoch größer sein als die maximale Druckstrebenneigung nach Norm, wird eine Unbemessbarkeit ausgegeben.

DIN EN 1992-1-1



The screenshot shows the 'DIN EN 1992-1-1' register in the software. It includes tabs for 'Längsbewehrung', 'Bügel', 'Konstruktive Bewehrung', 'Bewehrungsanordnung', 'DIN EN 1992-1-1', and 'Brandschutz'. The 'Längsbewehrung' section has checkboxes for 'Minimaler Längsbewehrungsgrad gemäß Norm' (checked), 'Für Brückenbau' (checked), and 'Maximaler Längsbewehrungsgrad gemäß Norm' (checked). There are also input fields for 'Benutzerdefinierte minimale und maximale Längsbewehrungsgrad' (0.00% and 9.00%) and 'Bewehrungsfläche' (0.00 cm²). The 'Faktoren' section includes safety factors γ_c (1.50 and 1.30) and γ_s (1.15 and 1.00), and reduction factors α_{cc} (0.85 and 0.85) and α_{ct} (1.00 and 1.00). The 'Diverses' section has a checked checkbox for 'Ansatz der Mindestexzentrizität nach 6.1 (4)'. The 'Schubbewehrung' section includes design methods and concrete strut inclination angles (18.4° and 45.0°).

Bild 3.62: Register DIN EN 1992-1-1

Der Abschnitt *Bewehrungsgrad* steuert, ob die maximalen und minimalen Bewehrungsgrade der Norm [1] verwendet werden sollen. Alternativ kann ein benutzerdefinierter Höchst- oder Mindestbewehrungsgrad angegeben werden.

DIN EN 1992-1-1 schreibt für die Stütze folgende Mindestbewehrung vor:

$$A_{s,min} = 0,15 \cdot N_{ed} / f_{yd} \quad 9.5.2 (2)$$

Die Maximalbewehrung darf auch im Bereich von Stößen nicht größer sein als:

$$A_{s,max} = 0,09 \cdot A_c \quad 9.5.2 (3)$$

Im Abschnitt *Diverses* kann festgelegt werden, ob die in DIN EN 1992-1-1 Abs. 6.1 (4) beschriebene Mindestausmitte bei der Bemessung angesetzt werden soll:

$$e_0 = h / 30 \geq 30 \text{ mm (mit } h : \text{ Querschnittshöhe)}$$

Im Abschnitt *Beiwerte* können die Teilsicherheitsbeiwerte γ für Stahl und Beton sowie der Abminderungsbeiwert α für Druck, Zug und Verbund eingegeben werden.

Der Abschnitt *Schubbewehrung* verwaltet die Unter- und Obergrenzen des Druckstrebenwinkels. Das Modul ermittelt die Schnittmenge aus diesem benutzerdefinierten Bereich und dem Bereich, der sich nach dem Nationalen Anhang ergibt. Sollte die benutzerdefinierte minimale Druckstrebenneigung jedoch größer sein als die maximale Druckstrebenneigung nach Nationalem Anhang, wird eine Unbemessbarkeit ausgegeben.

3.3.4.6 Brandschutz

EN 1992-1-2 [2]

Das letzte Register der Maske ist verfügbar, wenn in Maske 1.1 *Basisangaben* eine Eingabe für die Heißbemessung getätigt wurde (siehe Bild 3.10, Seite 69). Hier erfolgen die brandschutzspezifischen Bemessungsvorgaben.



Im unteren Bereich des Registers steht die Schaltfläche [Standard] zur Verfügung, mit der die Ausgangswerte wiederhergestellt werden können. Die Brandschutzbemessung erfolgt nach dem vereinfachten Rechenverfahren gemäß EN 1992-1-2, Abs. 4.2 (siehe Kapitel 2.5, Seite 36).

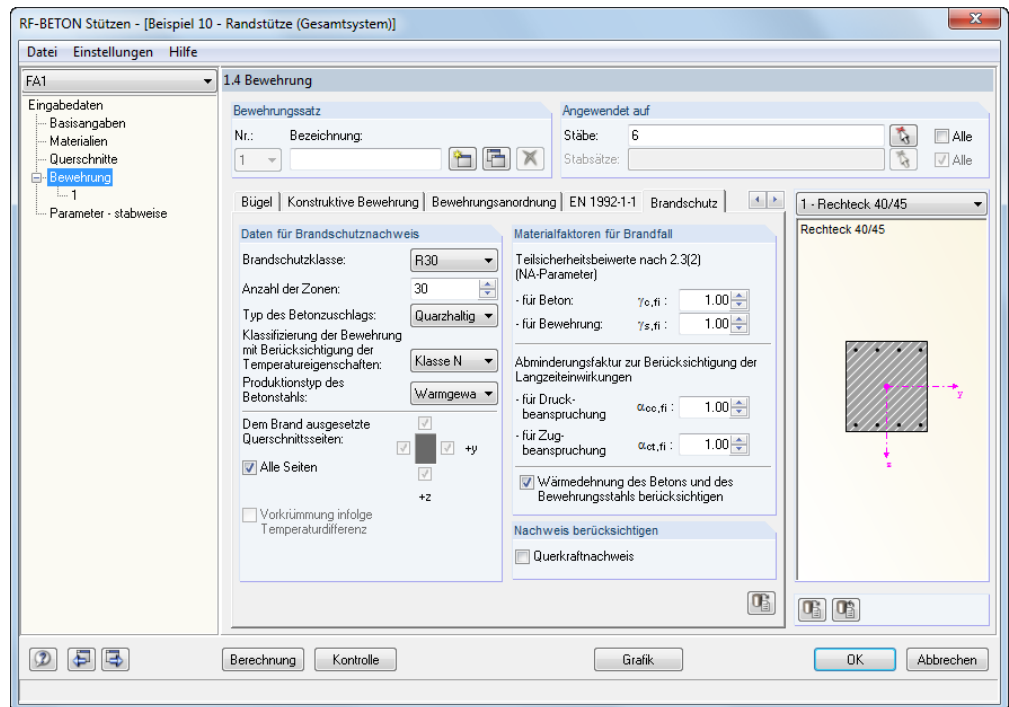


Bild 3.63: Register *Brandschutz*

Daten für Brandschutznachweis

Fünf Listen regeln die Parameter, die den Brandschutznachweis entscheidend beeinflussen:

- Brandschutzklasse (Feuerwiderstandsklasse gemäß EN 1992-1-2, 1.6.1 (1))
- Anzahl der Zonen (Zonenmethode gemäß EN 1992-1-2, Anhang B.2)
- Typ des Betonzuschlags (siehe Bild 2.38, Seite 37 und Bild 2.40, Seite 39)
- Klassifizierung der Bewehrung (siehe Bild 2.43, Seite 41)
- Produktionstyp des Betonstahls (siehe Bild 2.44, Seite 42)

Die Bedeutung dieser Parameter ist im Kapitel 2.5 ab Seite 36 beschrieben.

In diesem Abschnitt sind auch die dem *Brand ausgesetzten Querschnittsseiten* festzulegen. Falls nicht *Alle Seiten* einem Abbrand unterliegen, ist das entsprechende Kontrollfeld zu deaktivieren. Damit werden die Kontrollfelder um das Querschnittssymbol zugänglich, die gezielte Vorgaben ermöglichen. Die Richtungen beziehen sich auf die lokalen Stabachsen.

Materialfaktoren für Brandfall

Die beiden oberen Eingabefelder legen jeweils den *Teilsicherheitsbeiwert* für Beton γ_c und für Betonstahl γ_s fest, der für den Brandschutznachweis Verwendung findet. Es sind die in EN 1992-1-2, Abs. 2.3 (2) empfohlenen Werte voreingestellt.

Der *Abminderungsfaktor* α zur Berücksichtigung von Langzeitauswirkungen auf die Betonfestigkeit im Brandfall kann getrennt für Druck- und Zugbeanspruchungen angegeben werden. In beiden Feldern sind die in EN 1992-1-1, Abs. 3.1.6 empfohlenen Werte mit 1,0 voreingestellt.

Die Option *Wärmedehnung des Betons und des Bewehrungsstahls berücksichtigen* ermöglicht es, die Differenz zwischen der Dehnung der „heißen“ Bewehrung und der regulären Wärmedehnung des Betonquerschnitts in Form einer Vorstauchung des Bewehrungsstabes zu erfassen: Bei Temperaturbelastung stellen sich thermische Längsdehnungen im Beton und Bewehrungsstahl ein, die aufgrund der unterschiedlichen Temperaturverteilung im Querschnitt differieren. Die Wärmedehnungen können sich nicht überall im Querschnitt frei einstellen, da diese durch die benachbarten Bereiche beeinflusst werden. In der Regel darf von einem Ebenbleiben der Querschnitte ausgegangen werden. Da die Wärmeausdehnung der Bewehrung im Randbereich des Querschnitts behindert ist, erfährt diese eine Vorstauchung. Das Zonenverfahren nach [2] setzt nur eine Bauteilberechnung um, d. h. die thermischen Zusatzdehnungen im Schwerpunkt sind in der Norm nicht berücksichtigt. Nach HOSSER [5] jedoch dürfen für Berechnungen nach Theorie II. Ordnung diese thermischen Wärmedehnungen nicht vernachlässigt werden. Die Wärmedehnung des Betons wird dabei mit dem Mittelwert der Temperatur über den gesamten Betonquerschnitt berechnet.

Nachweis berücksichtigen

Der Anhang D zu EN 1992-1-2 beinhaltet eine Berechnungsmethode für den Querkraftnachweis brandbeanspruchter Bauteile. Diese Berechnungsmethode ist im Modul RF-/BETON Stützen implementiert und kann separat aktiviert werden.

Da in Deutschland diese Berechnungsmethode für den Schubnachweis nicht zugelassen ist, ist die Auswahlmöglichkeit für den Nachweis nach deutschem Nationalen Anhang inaktiv.

3.3.5 Maske 1.5 Stützenparameter - stabweise

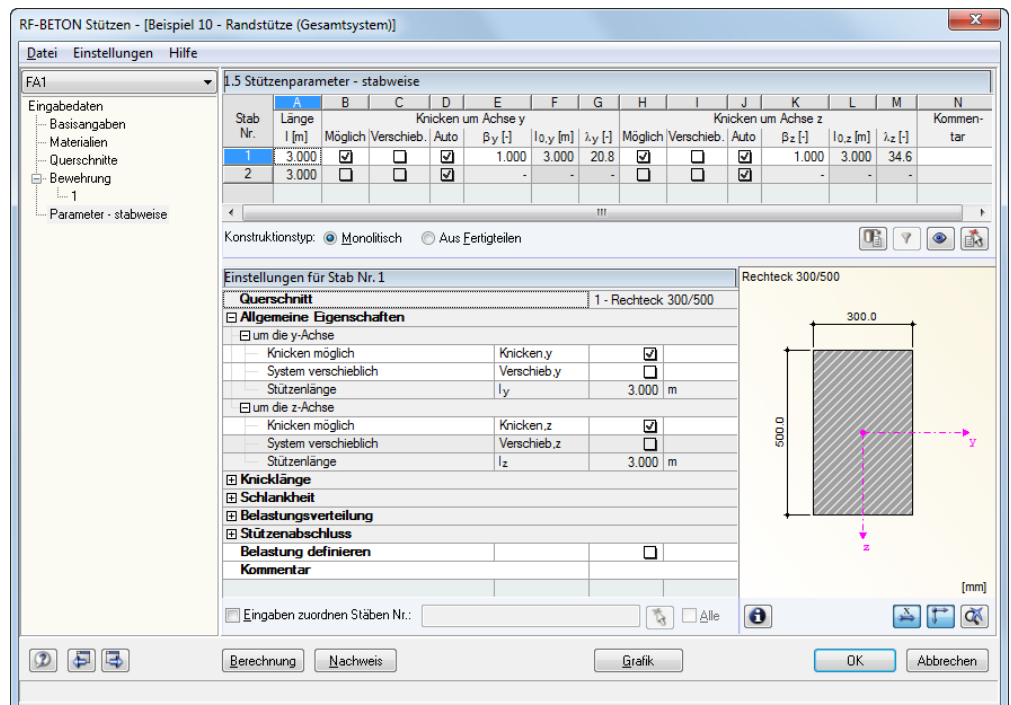


Bild 3.64: Maske 1.5 Stützenparameter - stabweise

Diese Maske ist für Eingaben vorgesehen, die speziell das Verfahren mit Nennkrümmung betreffen. Es existieren zwei Varianten der Maske – je nachdem, ob Stäbe oder Stabsätze für die Bemessung vorgesehen sind. Die Überschrift ist entsprechend angepasst.

In der oberen Tabelle sind die in Maske 1.1 *Basisangaben* selektierten Stäbe bzw. Stabsätze aufgelistet. Zur Information wird in Spalte A die Länge des betrachteten Stabes bzw. Stabsatzes angegeben. Die Spalten B bis J enthalten diverse Kontroll- und Eingabefelder zur Erfassung der detaillierten Stützenparameter.

Stab Nr.	A	B			C			D			E			F			G			H			I			J			K			L			M			N
	Länge l [m]	Möglich	Verschieb.	Auto	β_y [-]	$l_{0,y}$ [m]	λ_y [-]	Möglich	Verschieb.	Auto	β_z [-]	$l_{0,z}$ [m]	λ_z [-]	Kommentar																								
1	3.000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	3.000	20.8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	3.000	34.6																									
2	3.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-	-																									

Bild 3.65: Obere Tabelle der Maske 1.5 *Stützenparameter - stabweise*

In der oberen Tabelle werden nur die Grundeinstellungen getätigt. Weitere Eingaben, die sich aus dieser Grundeinstellung ergeben, sind in der *Einstellungen*-Tabelle unterhalb vorzunehmen.

Die Einstellmöglichkeiten der beiden Tabellen sind synchronisiert. Im Folgenden werden daher nur die Eingabemöglichkeiten der *Einstellungen*-Tabelle beschrieben, die die Systemparameter betreffen. Sie entsprechen den Einträgen der Spalten B bis J in der oberen Tabelle.

Stab Nr.	A	B			C			D			E			F			G			H			I			J			K			L			M			N
	Länge l [m]	Möglich	Verschieb.	Auto	β_y [-]	$l_{0,y}$ [m]	λ_y [-]	Möglich	Verschieb.	Auto	β_z [-]	$l_{0,z}$ [m]	λ_z [-]	Kommentar																								
6	6.200	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2.100	13.020	100.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-	-	-																									

Bild 3.66: Allgemeine Eigenschaften

Es ist getrennt für die y-Achse und z-Achse festzulegen, ob eine Knickgefährdung der Stütze oder eine Verschieblichkeit des Systems vorliegt. Als Systemlänge der Stütze wird bei Stäben der Abstand von Anfangs- und Endknoten angenommen. Bei Stabzügen ist dies der Abstand zwischen dem Anfangsknoten des ersten Stabes und dem Endknoten des letzten Stabes im Stabzug. Die Systemlänge kann jedoch nach Belieben abgeändert werden.

Damit sind die Eingabemöglichkeiten abgeschlossen, die in der unteren Tabelle unter dem Eintrag **Allgemeine Eigenschaften** verwaltet werden.



In diesem Zusammenhang soll kurz das Prinzip der Informationsverdichtung erläutert werden, nach dem viele Tabellen im Programm aufgebaut sind: Am Zeilenanfang finden Sie bei Zeilen, die auf einer untergeordneten Ebene weitere Zeilen enthalten, ein Kästchen. Dieses Kästchen enthält entweder ein [-] oder ein [+]. Wenn Sie das Minus mit der linken Maustaste anklicken, können Sie Zeilen aller tieferen Ebenen ausblenden. Ein Plus hingegen bedeutet, dass sich unter dieser Zeile eine oder mehrere Ebenen mit weiteren Zeilen befinden. Diese werden durch einen Klick auf das Plus sichtbar.

Schließt man nun in der unteren Tabelle wie beschrieben den Eintrag *Allgemeine Eigenschaften*, so rückt der nächste Eintrag **Ersatzlänge** in den Fokus.

Zur Eingabe des Knicklängenbeiwerts β ist es möglich, einen Dialog mit Euler-Fällen zu nutzen (siehe folgendes Bild). Dort kann der geeignete Fall ausgewählt und in die Tabelle übernommen werden. Bei Stäben ist es auch möglich, den Knicklängenbeiwert zu übernehmen, der mit dem Zusatzmodul RF-STABIL bzw. RSKNICK ermittelt wurde.

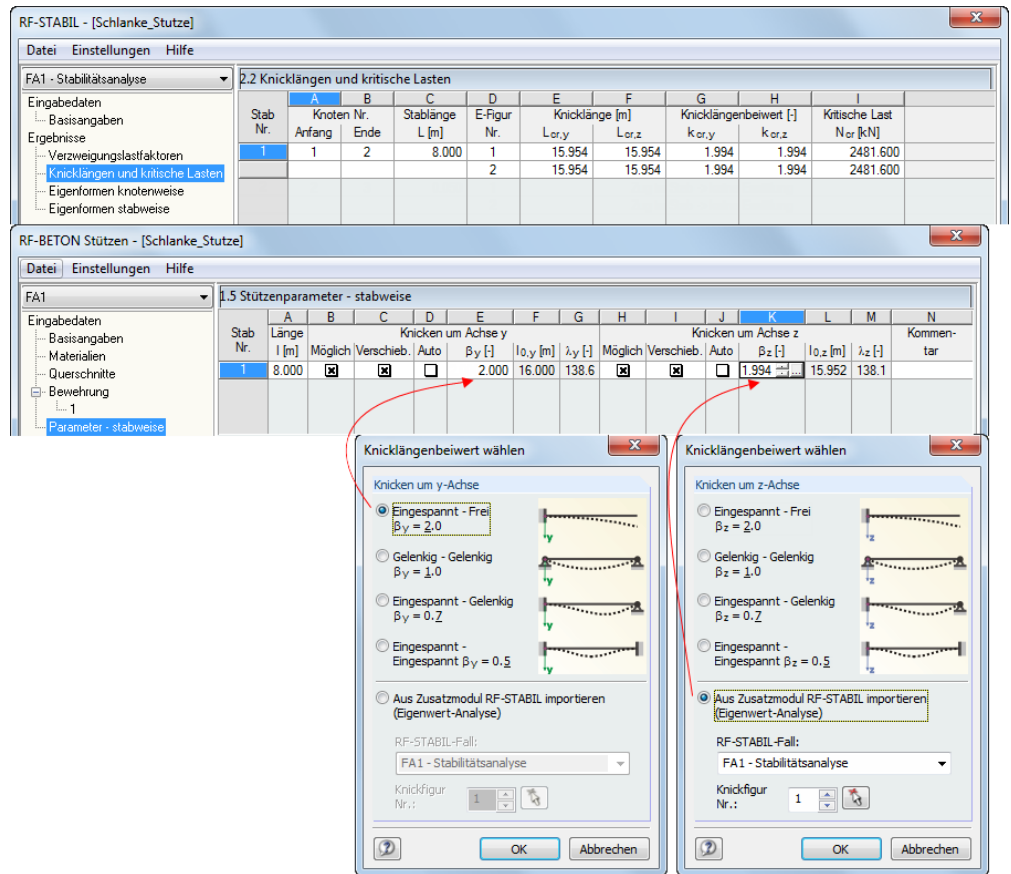


Bild 3.67: Knicklängenbeiwert wählen

Die Ersatzlänge kann auch direkt angegeben werden. Hierzu ist entweder das Verhältnis β für jede der Stabachsen y und z zu definieren. Das Programm errechnet daraus die Ersatzlänge.

Einstellungen für Stab Nr. 1			
Querschnitt		1 - Rechteck 300/500	
Allgemeine Eigenschaften			
Ersatzlänge			
<input type="checkbox"/> um die y-Achse			
<input type="checkbox"/>	Knicklängenmittlung automatisch	Emit- β	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Definiertes Knicklängenbeiwert	β_y	1.000
<input type="checkbox"/>	Ersatzlänge	$l_{0,y}$	3.000 m
<input type="checkbox"/> um die z-Achse			
<input type="checkbox"/>	Knicklängenmittlung automatisch	Emit- β	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Definiertes Knicklängenbeiwert	β_z	1.000
<input type="checkbox"/>	Ersatzlänge	$l_{0,z}$	3.000 m

Bild 3.68: Verhältnis β definieren

Alternativ kann das Verhältnis β durch das Programm bestimmt werden, indem das Kontrollfeld in der Zeile *Knicklängenmittlung automatisch* aktiviert wird.

Einstellungen für Stab Nr. 1			
Querschnitt		1 - Rechteck 300/500	
Allgemeine Eigenschaften			
Ersatzlänge			
<input type="checkbox"/> um die y-Achse			
<input type="checkbox"/>	Knicklängenmittlung automatisch	Emit- β	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	k_A - Steifigkeit in Einspannung		
<input checked="" type="checkbox"/>	k_B - Steifigkeit in Einspannung		
<input type="checkbox"/>	Ermittelter Knicklängenbeiwert	β_y	1.000
<input type="checkbox"/>	Ersatzlänge	$l_{0,y}$	3.000 m
<input type="checkbox"/> um die z-Achse			
<input type="checkbox"/>	Knicklängenmittlung automatisch	Emit- β	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	k_A - Steifigkeit in Einspannung		
<input checked="" type="checkbox"/>	k_B - Steifigkeit in Einspannung		
<input type="checkbox"/>	Ermittelter Knicklängenbeiwert	β_z	1.000
<input type="checkbox"/>	Ersatzlänge	$l_{0,z}$	3.000 m

Bild 3.69: Verhältnis β automatisch ermitteln

Beispiel: Ermittlung des Knicklängenbeiwerts β

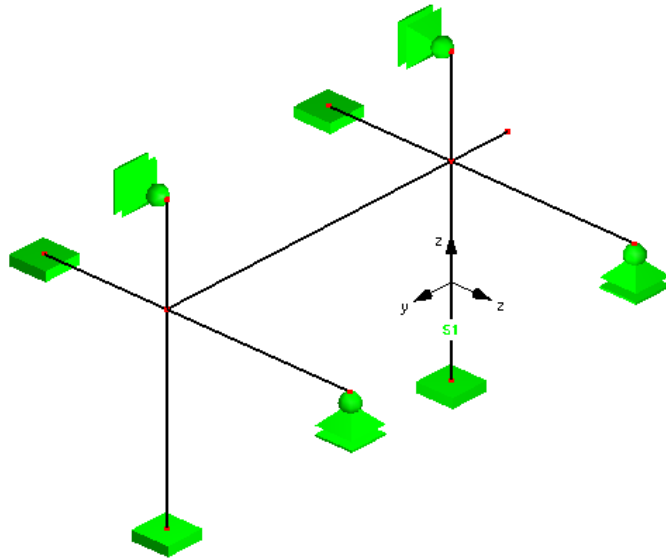


Bild 3.70: Stützenmodell

Untersucht wird die Stütze „S1“. In der obigen Abbildung ist das yz-Stabachsensystem dargestellt. Im System werden nur Rechteckquerschnitte 30/40 cm verwendet.

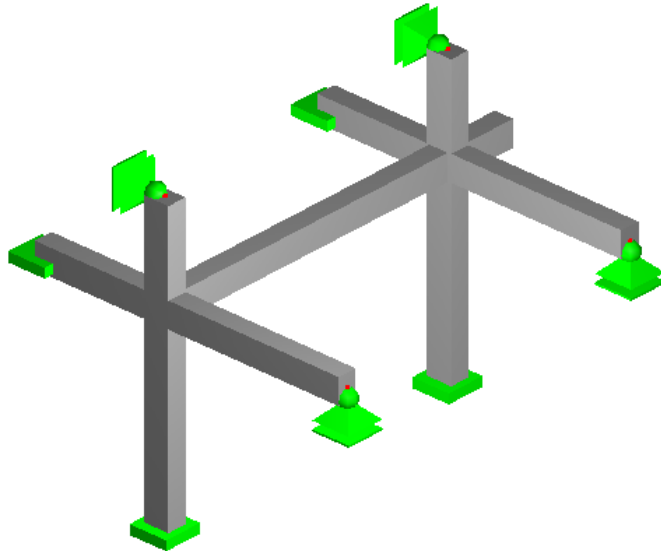


Bild 3.71: Gerenderte Darstellung der Stütze

In Maske 1.5 *Stützenparameter* werden bei den *Einstellungen* folgende Angaben zum System getroffen:

☐ Allgemeine Eigenschaften			
☐ um die y-Achse			
<input type="checkbox"/>	Knicken möglich	Knicken.y	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	System verschieblich	Verschieb.y	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Stützenlänge	I_y	3.000 m
☐ um die z-Achse			
<input type="checkbox"/>	Knicken möglich	Knicken.z	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	System verschieblich	Verschieb.z	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Stützenlänge	I_z	3.000 m

Bild 3.72: Allgemeine Eigenschaften des Systems

Für die Ermittlung der Knicklänge *um die y-Achse* wird das Kontrollfeld *Ermitt-β* aktiviert.

Knicklänge			
<input type="checkbox"/> um die y-Achse			
<input type="checkbox"/> Knicklängenermittlung automatisch	Ermitt-β	<input checked="" type="checkbox"/>	

Bild 3.73: Knicklängenermittlung automatisch

Bei den nun erscheinenden Einträgen k_A und k_B können Angaben zu den am Stützenanfang und -ende anschließenden Balken und Stützen getätigt werden. Die Objekte lassen sich in den jeweiligen Untereinträgen festlegen.

Knicklänge			
<input type="checkbox"/> um die y-Achse			
<input type="checkbox"/> Knicklängenermittlung automatisch	Ermitt-β	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> k_A - Steifigkeit in Einspannung			
<input type="checkbox"/> Wert manuell eingeben		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Anschließende Stütze		<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Stütze			
<input type="checkbox"/> Definieren	Def-Stab	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Stab	Nr.		
<input type="checkbox"/> Stützenlänge	l_{col}	0.000	m
<input type="checkbox"/> Trägheitsmoment	I_y	0.0	mm ⁴
<input type="checkbox"/> E-Modul	E	0.00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Anzahl der Stäbe		0	
<input type="checkbox"/> Steifigkeit in Einspannung	k	∞	

Bild 3.74: Eingabe für Stützenanfang k_A

Klickt man beispielsweise in die Zelle der Stützen-Stabnummer, erscheint eine Schaltfläche mit drei Punkten [...]. Diese ermöglicht den Wechsel in das Arbeitsfenster von RFEM bzw. RSTAB, um den entsprechenden Stab auszuwählen. Systemlänge, Trägheitsmoment und E-Modul werden dann automatisch in die anschließenden Zeilen übernommen.

Die anschließenden Stäbe werden wie folgt zugeordnet:

Knicklänge			
<input type="checkbox"/> um die y-Achse			
<input type="checkbox"/> Knicklängenermittlung automatisch	Ermitt-β	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> k_A - Steifigkeit in Einspannung			
<input type="checkbox"/> Wert manuell eingeben		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Anschließende Stütze		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Anzahl der Stäbe		0	
<input type="checkbox"/> Steifigkeit in Einspannung	k_A	0.100	
<input type="checkbox"/> k_B - Steifigkeit in Einspannung			
<input type="checkbox"/> Wert manuell eingeben		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Anschließende Stütze		<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Stütze			
<input type="checkbox"/> Definieren	Def-Stab	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Stab	Nr.	2	
<input type="checkbox"/> Stützenlänge	l_{col}	1.500	m
<input type="checkbox"/> Trägheitsmoment	I_y	160000.0	cm ⁴
<input type="checkbox"/> Elastizitätsmodul	E	33000.00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Anzahl der Stäbe		2	
<input type="checkbox"/> 1. Balken			
<input type="checkbox"/> Definieren	Def-Stab	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Stab	Nr.	3	
<input type="checkbox"/> Trägerlänge	l_b	3.000	m
<input type="checkbox"/> Trägheitsmoment	I_y	160000.0	cm ⁴
<input type="checkbox"/> Elastizitätsmodul	E	33000.00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Benutzerdefinierter Beiwert der Einspannung			
<input type="checkbox"/> Beiwert Einspannung	def. α	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Beiwert Einspannung	α	Gelenkig	
<input type="checkbox"/> 2. Balken			
<input type="checkbox"/> Definieren	Def-Stab	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Stab	Nr.	4	
<input type="checkbox"/> Trägerlänge	l_b	2.000	m
<input type="checkbox"/> Trägheitsmoment	I_y	160000.0	cm ⁴
<input type="checkbox"/> Elastizitätsmodul	E	33000.00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Benutzerdefinierter Beiwert der Einspannung			
<input type="checkbox"/> Beiwert Einspannung	def. α	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Beiwert Einspannung	α	Fest	
<input type="checkbox"/> Steifigkeit in Einspannung	k	0.333	
<input type="checkbox"/> Ermittelter Knicklängenbeiwert	β_y	0.649	
<input type="checkbox"/> Ersatzlänge	$l_{0,y}$	1.947	m

Bild 3.75: Automatische Ermittlung der Knicklänge

Diese Angaben entsprechen den Eigenschaften der im System vorhandenen Stäbe.

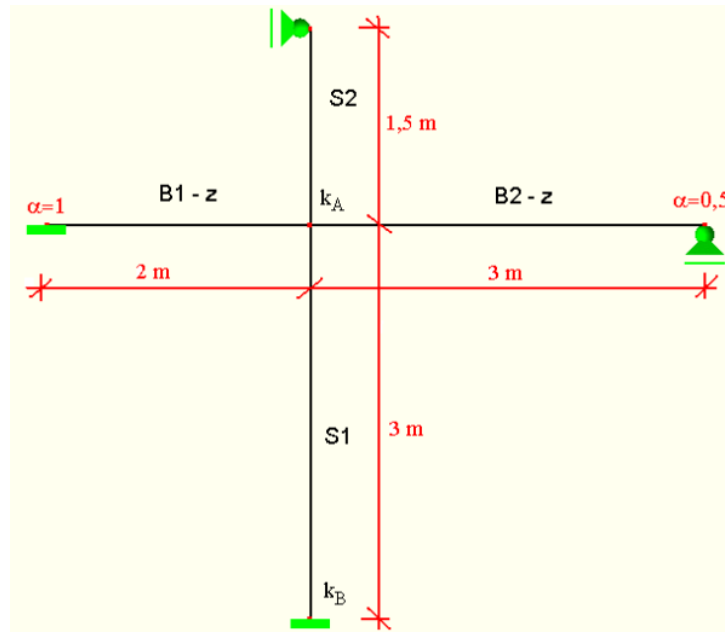


Bild 3.76: System für Knicken um die y-Achse

Damit kann der bezogene Einspanngrad k durch das Programm ermittelt werden. Dieser Wert wird durch eine Handrechnung überprüft:

$$k_1 = \frac{\sum E_{cm} \cdot I_{col} / I_{col}}{\sum E_{cm} \cdot \alpha \cdot I_b / I_b} = \frac{E_{cm} \cdot I_{S1} / I_{col,S1} + E_{cm} \cdot I_{S2} / I_{col,S2}}{E_{cm} \cdot \alpha_1 \cdot I_{B1-z} / I_{B1-z} + E_{cm} \cdot \alpha_2 \cdot I_{B2-z} / I_{B2-z}} =$$

$$= \frac{32000 \cdot 90000 / 3 + 32000 \cdot 90000 / 1,5}{32000 \cdot 4 \cdot 90000 / 2 + 32000 \cdot 3 \cdot 90000 / 3} = 0,33$$

mit

$\alpha_1 = 4$ abliegendes Ende starr eingespannt (Auflager)

$\alpha_2 = 3$ abliegendes Ende frei drehbar gelagert

Am Auflager der Stütze S1 liegt keine Einspannung vor. Im Programm wird wie im Bild 3.75 dargestellt der Beiwert $k_A = 0,1$ verwendet, da eine starre Einspannung in der Realität kaum zu erreichen ist.

Folgende Abbildung zeigt den Knicklängenbeiwert $\beta_y = 0,649$, den das Programm aus den Werten $k_A = 0,33$ und $k_B = 0,1$ ermittelt:

Knicklänge			
<input type="checkbox"/> um die y-Achse			
<input type="checkbox"/> Knicklängenmittlung automatisch	Emit- β	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> k_A - Steifigkeit in Einspannung			
<input checked="" type="checkbox"/> k_B - Steifigkeit in Einspannung			
<input type="checkbox"/> Ermittelter Knicklängenbeiwert	β_y	0.649	
<input type="checkbox"/> Ersatzlänge	$l_{0,y}$	1.947	m

Bild 3.77: Knicklängenbeiwert β_y

Dies wird anhand des Nomogramms für unverschiebliche Systeme überprüft.

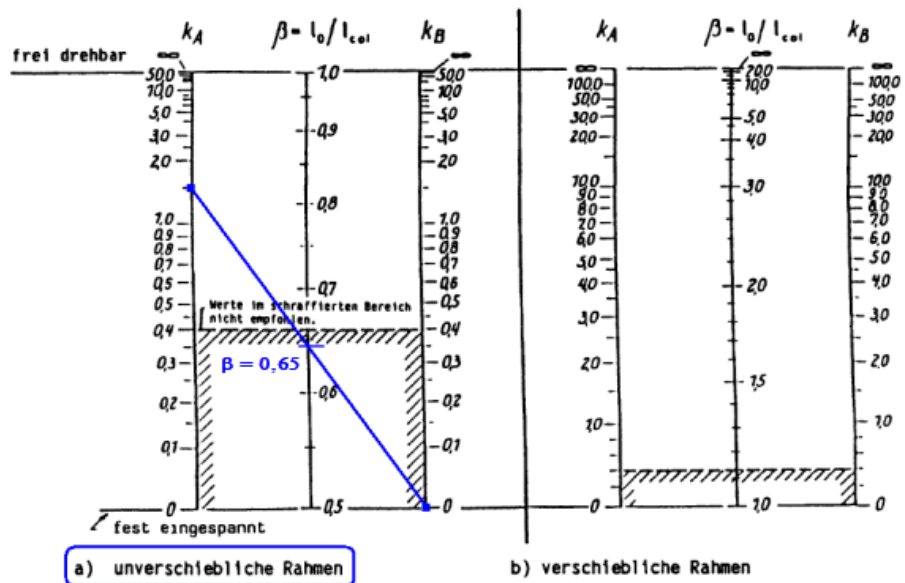


Bild 3.78: Grafische Ermittlung von β_y

$$l_{col,y} = 3 \text{ m}$$

$$l_{0,y} = l_{col,y} \cdot \beta_y = 3 \cdot 0,65 = 1,95 \text{ m}$$

Alternativ kann β bzw. l_0 nach DIN EN 1992-1-1, Gleichung (5.15) berechnet werden:

$$l_0 = 0,5l \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0,45 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{0,45 + k_2}\right)} = 0,5 \cdot 3 \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{0,33}{0,45 + 0,33}\right) \cdot \left(1 + \frac{0,1}{0,45 + 0,1}\right)} = 1,95 \text{ m}$$

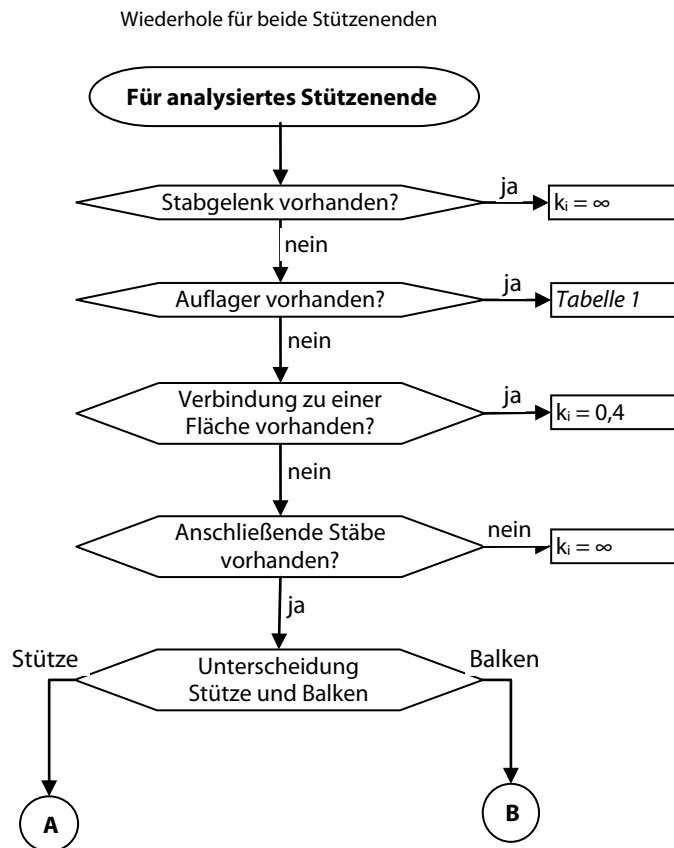
Die Ersatzlänge $l_{0,z}$ für das Knicken um die z-Achse wird analog ermittelt.

Knicklänge			
<input checked="" type="checkbox"/>	um die y-Achse		
<input checked="" type="checkbox"/>	um die z-Achse		
<input type="checkbox"/>	Knicklängenermittlung automatisch	Emit- β	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	k_A - Steifigkeit in Einspannung		
<input type="checkbox"/>	Wert manuell eingeben		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Anschließende Stütze		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Anzahl der Stäbe		0
<input type="checkbox"/>	Steifigkeit in Einspannung	k_A	0.100
<input checked="" type="checkbox"/>	k_B - Steifigkeit in Einspannung		
<input type="checkbox"/>	Wert manuell eingeben		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Anschließende Stütze		<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Stütze		
<input type="checkbox"/>	Definieren	Def-Stab	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Stab	Nr.	2
<input type="checkbox"/>	Stützenlänge	l_{col}	1.500 m
<input type="checkbox"/>	Trägheitsmoment	I_z	90000.0 cm ⁴
<input type="checkbox"/>	Elastizitätsmodul	E	33000.00 N/mm ²
<input type="checkbox"/>	Anzahl der Stäbe		2
<input checked="" type="checkbox"/>	1. Balken		
<input type="checkbox"/>	Definieren	Def-Stab	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Stab	Nr.	9
<input type="checkbox"/>	Trägerlänge	l_b	5.000 m
<input type="checkbox"/>	Trägheitsmoment	I_y	160000.0 cm ⁴
<input type="checkbox"/>	Elastizitätsmodul	E	33000.00 N/mm ²
<input checked="" type="checkbox"/>	Benutzerdefinierter Beiwert der Einspannung	def. α	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Beiwert Einspannung	α	Fest
<input checked="" type="checkbox"/>	2. Balken		
<input type="checkbox"/>	Definieren	Def-Stab	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Stab	Nr.	10
<input type="checkbox"/>	Trägerlänge	l_b	1.000 m
<input type="checkbox"/>	Trägheitsmoment	I_y	160000.0 cm ⁴
<input type="checkbox"/>	Elastizitätsmodul	E	33000.00 N/mm ²
<input checked="" type="checkbox"/>	Benutzerdefinierter Beiwert der Einspannung	def. α	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Beiwert Einspannung	α	Frei
<input type="checkbox"/>	Steifigkeit in Einspannung	k	0.469
<input type="checkbox"/>	Ermittelter Knicklängenbeiwert	β_z	1.440
<input type="checkbox"/>	Ersatzlänge	$l_{0,z}$	4.320 m

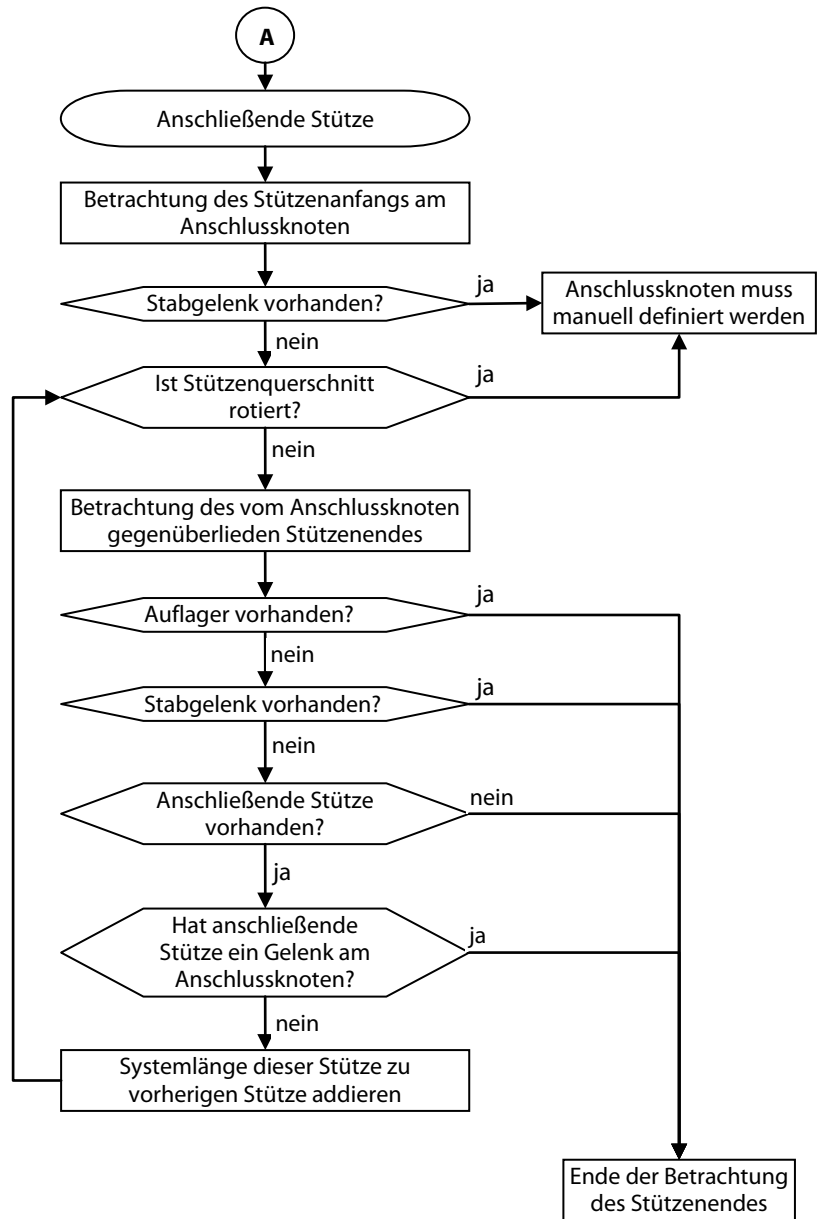
Bild 3.79: Ermittlung der Ersatzlänge $l_{0,z}$

Als Nächstes wird beschrieben, wie das Gesamtsystem bei der Auswahl der Stützen und Balken an einem Knoten der betrachteten Stütze berücksichtigt wird. Für jeden Stab vom Materialtyp „Beton“, der vertikal verläuft, werden die Knotensteifigkeiten in die Achsrichtung y und z des lokalen Stabsystems der Stütze berechnet. Die Auflager oder anschließenden Stäbe werden automatisch erkannt, wenn sie dieselbe Richtung haben wie die Achsen des lokalen Stabkoordinatensystems. Weitere Bedingungen können dem Programmablaufplan entnommen werden.

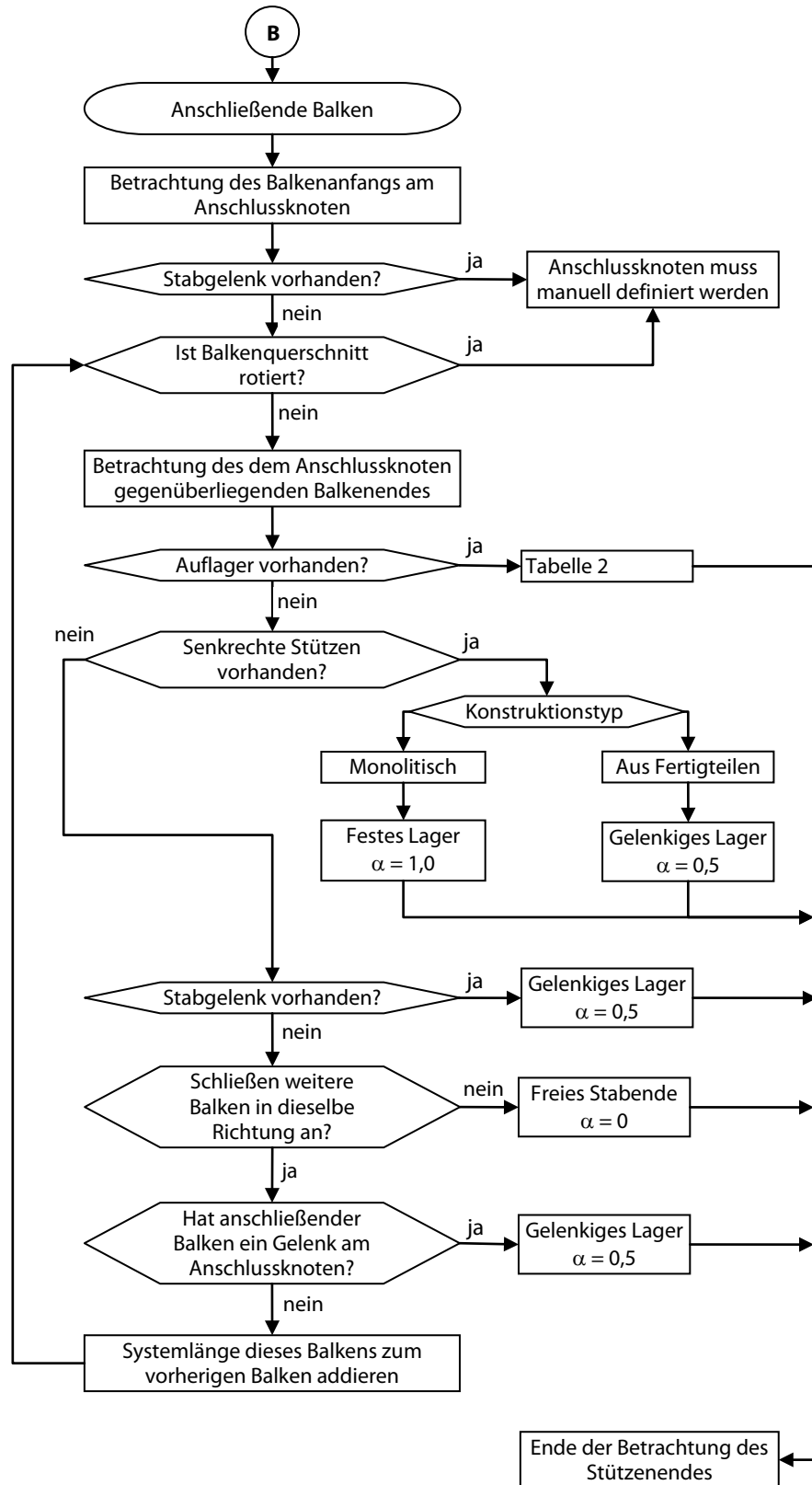
Teil 1:
Hauptstruktur zur Ermittlung der Endknotensteifigkeiten



Teil 2:
Analyse der anschließenden Stützen



**Teil 3:
Analyse der anschließenden Balken**



In nächsten zwei Tabellen ist ersichtlich, wie die Auflager hinsichtlich Lagerungsart eingeteilt werden. Diese Einteilung ist für das Modellstützenverfahren erforderlich.

Tabelle 1: Auflagereigenschaften zur Bestimmung von k_A bzw. k_B

Auflager	Fest in z-Achse	Fest in y-Achse	Fest in y- und z-Achse	Gelenk in z-Achse	Gelenk in y-Achse	Gelenk in y- und z-Achse
u_x	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig
u_y	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig
u_z	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig
φ_x	beliebig	x	x	beliebig	o	o
φ_y	x	beliebig	x	o	beliebig	o
φ_z	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig
κ_A bzw. κ_B	0,4	0,4	0,4	∞	∞	∞

x = starr oder durch Feder gelagert
o = nicht gelagert

Tabelle 2: Auflagereigenschaften zur Bestimmung von α

Auflager	Fest in z-Achse	Fest in y-Achse	Fest in y- und z-Achse	Gelenk in z-Achse	Gelenk in y-Achse	Gelenk in y- und z-Achse	Frei
u_x	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig
u_y	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig
u_z	x	x	x	x	x	x	o
φ_x	beliebig	x	x	beliebig	o	o	beliebig
φ_y	x	beliebig	x	o	beliebig	o	beliebig
φ_z	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig
α	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0

x = starr oder durch Feder gelagert
o = nicht gelagert

Es kann der Fall eintreten, dass für einige Stützen nicht automatisch die Knicklänge ermittelt werden kann. Dies sind Stützen, die entweder nicht aus Beton sind oder ein freies Ende ohne anschließende Konstruktion oder Auflager haben.

Wenn an das Stützenende mehrere Stäbe anschließen, dann sucht das Programm unter den anschließenden Stäben immer den Stab mit dem kleinsten Elastizitätsmodul und dem kleinsten Trägheitsmoment heraus, um auf der sicheren Seite zu sein.

Ob eine Stütze zu einem verschieblichen oder unverschieblichen System gehört, muss der Benutzer selbst entscheiden. Die Voreinstellung ist unverschieblich.

Unterhalb der Tabelle, die die Liste von analysierten Stützen enthält, besteht bei Stäben eine Auswahlmöglichkeit zwischen monolithischen und vorfertigten Konstruktionstypen.

Konstruktionstyp: Monolithisch Aus Fertigteilen

Bild 3.80: Konstruktionstypen (nur für Stäbe)

Diese Vorgabe beeinflusst maßgeblich die Steifigkeiten am Endknoten der anschließenden Stäbe. Wenn die *Monolithische* Konstruktion ausgewählt ist, wird die Steifigkeit der Verbindungen auf „fest“ eingestellt. Wenn die Konstruktion *Aus Fertigteilen* besteht, wird die Steifigkeit der Verbindungen auf „gelenkig“ gesetzt. Deshalb ist es wichtig zu beurteilen, ob alle Gelenke schon in der Konstruktion berücksichtigt und modelliert sind. Bei Systemen aus Fertigteilen liegen die Resultate auf der sicheren Seite.

Rechts unterhalb der Tabelle befinden sich mehrere Schaltflächen.

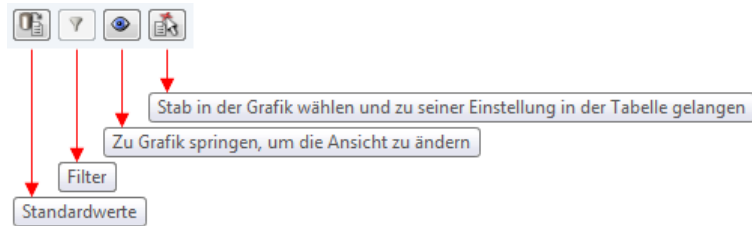


Bild 3.81: Schaltflächen

Die Schaltfläche [Standardwerte] stellt die Voreinstellung her, die dem Konstruktionsmodell in RFEM bzw. RSTAB entspricht.

Die Schaltfläche [Filter] zeigt dem Benutzer alle Stützen an, die noch definiert werden müssen. Sie werden rot dargestellt. Die nicht vollständig eingestellten Steifigkeiten können unten im Abschnitt *Einstellungen* manuell angegeben werden.

Die Schaltfläche [Ansichtsmodus] ermöglicht den Wechsel in das Arbeitsfenster von RFEM bzw. RSTAB, um z. B. die Lage einer Stütze zu überprüfen. Mit der Schaltfläche [^] kann ein Stab zur Definition der Einstellungen grafisch ausgewählt werden.

Die Mindestendknotensteifigkeiten k_A bzw. k_B werden bei automatischer Ermittlung von β nach Empfehlung der Norm auf 0,4 gesetzt. Bei der manuellen Eingabe können auch kleinere Werte als 0,4 eingegeben werden.

Im gleichen Sinn ist der Beiwert β bei verschieblichen Systemen auf 2 und bei unverschieblichen Systemen auf 1 gesetzt. Durch manuelle Eingaben können ebenfalls kleinere Werte eingegeben werden.

Der nächste Eintrag **Schlankheit** zeigt in den untergeordneten Zeilen die für beide Richtungen getrennt ermittelten Schlankheiten λ_y und λ_z an.

<input type="checkbox"/> Schlankheit			
<input type="checkbox"/> um die y-Achse			
<input type="checkbox"/> Schlankheit	λ_y		76.705
<input type="checkbox"/> Grenzschlankheit			
<input type="checkbox"/> Faktor A_y bestimmen	Bestm- A_y		<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Bestimmter Faktor A_y	Faktor- A_y		0.700
<input type="checkbox"/> Faktor B_y bestimmen	Bestm- B_y		<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Bestimmter Faktor B_y	Faktor- B_y		1.100
<input type="checkbox"/> Faktor C_y bestimmen	Bestm- C_y		<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Bestimmter Faktor C_y	Faktor- C_y		0.700
<input type="checkbox"/> um die z-Achse			
<input type="checkbox"/> Schlankheit	λ_z		107.387
<input type="checkbox"/> Grenzschlankheit			
<input type="checkbox"/> Faktor A_z bestimmen	Bestm- A_z		<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Bestimmter Faktor A_z	Faktor- A_z		0.700
<input type="checkbox"/> Faktor B_z bestimmen	Bestm- B_z		<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Bestimmter Faktor B_z	Faktor- B_z		1.100
<input type="checkbox"/> Faktor C_z bestimmen	Bestm- C_z		<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Bestimmter Faktor C_z	Faktor- C_z		0.700

Bild 3.82: Darstellung der ermittelten Schlankheit

3.4 Details

Details...

Über die Schaltfläche [Details] sind weitere Einstellungen zugänglich, die sich auf die Berechnung auswirken. Diese Schaltfläche steht in allen Eingabemasken zur Verfügung, sofern die Bemessung nach EN 1992-1-1 oder GB 50010 erfolgt.

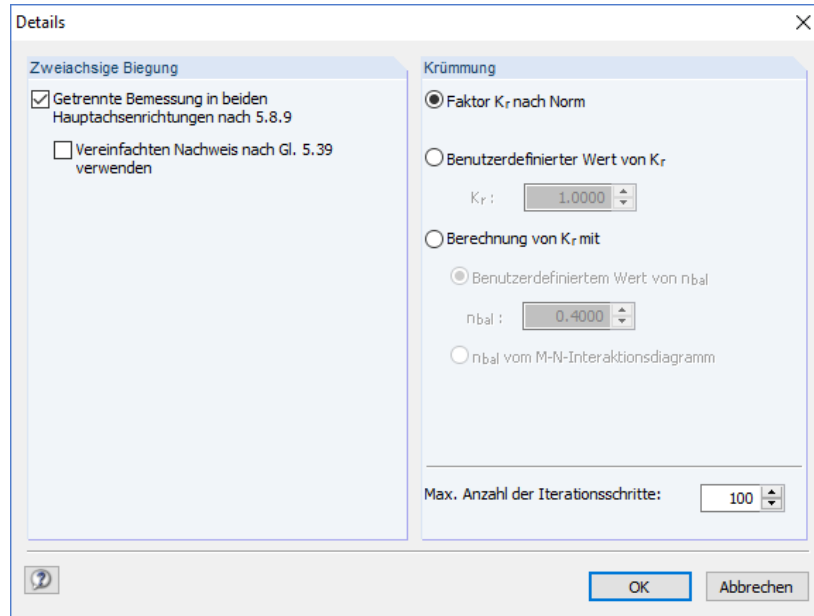


Bild 3.83: Dialog *Details* für EN 1992-1-1

Zweiachsigte Biegung

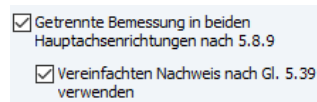
Ein zweiachsig beanspruchter Querschnitt (M_y/M_z) kann nach einem vereinfachten Verfahren separat für beide Hauptachsenrichtungen nach Abschnitt 5.8.9 bemessen werden. In diesem Fall wird überprüft, ob die Bedingungen der Gleichungen (5.38a) und (5.38b) eingehalten sind.

$$\frac{\lambda_y}{\lambda_z} \leq 2,0 \text{ und } \frac{\lambda_z}{\lambda_y} \leq 2,0 \tag{5.38a}$$

und

$$\frac{e_y / h_{eq}}{e_z / b_{eq}} \leq 0,2 \text{ oder } \frac{e_z / b_{eq}}{e_y / h_{eq}} \leq 0,2 \tag{5.38b}$$

Sind diese Voraussetzungen erfüllt, so wird die getrennte Bemessung in Richtung der Hauptachsen jeweils mit der gesamten im Querschnitt angeordneten Bewehrung durchgeführt.



Werden die Bedingungen nach (5.38) nicht erfüllt, so erlaubt die Norm alternativ den Nachweis nach Gleichung (5.39):

$$\left(\frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}} \right)^a + \left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}} \right)^a \leq 1,0 \tag{5.39}$$

Generell gilt: Bei Nichteinhaltung der Bedingungen nach (5.38) bzw. (5.39) wird eine Regelbemessung unter Berücksichtigung der beiden einwirkenden Momente M_y/M_z , durchgeführt.

Krümmung

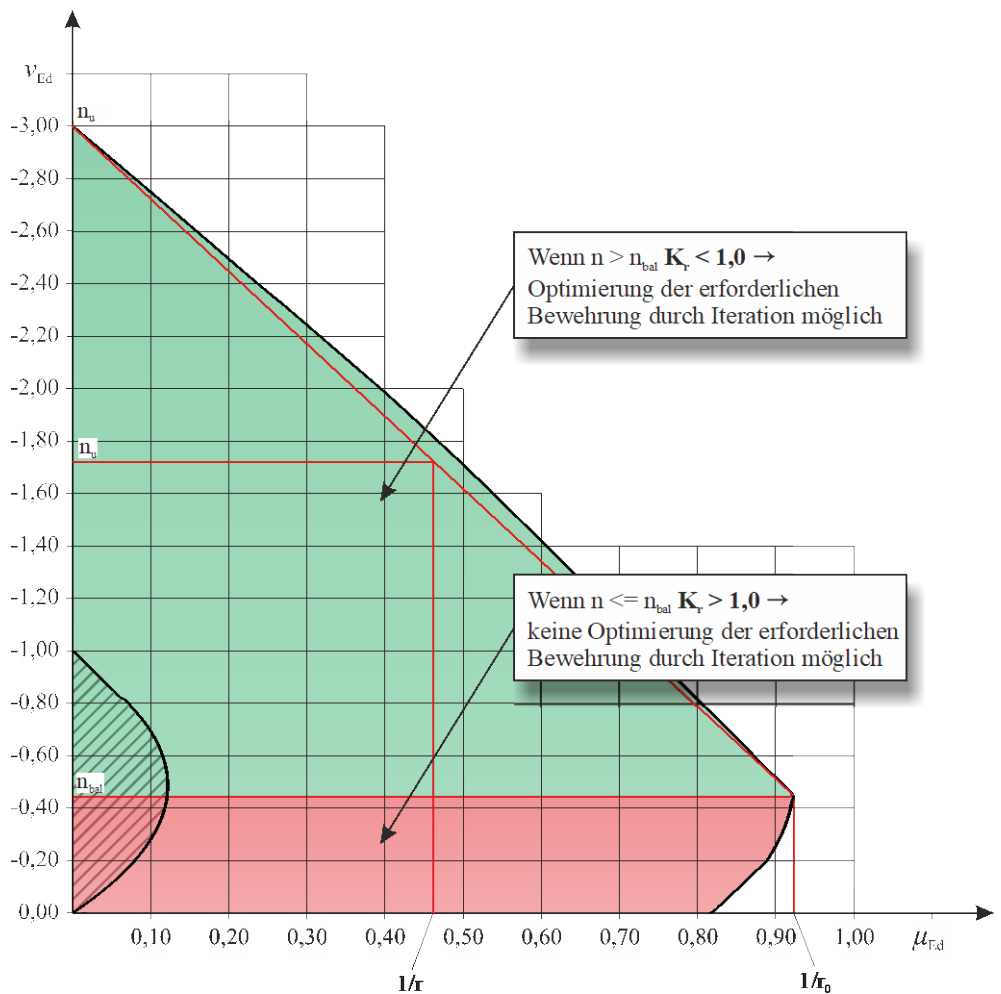
Krümmung
 Faktor K_r nach Norm

Die genäherte Ermittlung der Krümmung $1/r$ ist mit Gleichung (5.34) nach dem Verfahren mit Nennkrümmung durchzuführen (Voreinstellung). Da sich die Verkrümmung des Querschnitts in Abhängigkeit von der eingelegten Bewehrung ändert, ist die Ermittlung von K_r ein iterativer Vorgang, den das Programm automatisch ausführt. Im ersten Schritt ist die Bewehrung noch nicht bekannt. Daher wird K_r auf der sicheren Seite liegend zu 1,0 angenommen. Da die aktuelle Krümmung nie größer sein kann als die Krümmung bei maximaler Momentenbeanspruchung, ist K_r stets kleiner oder gleich 1,0.

Eine Optimierung des Werts K_r und somit die Reduzierung der Verkrümmung ist nur möglich, wenn die bezogene Normalkraft n größer ist als n_{bal} (bezogene Normalkraft bei maximaler Biegetragfähigkeit). Ist die einwirkende bezogene Normalkraft kleiner als n_{bal} (rot markierter Bereich in folgender Grafik), so ergibt sich K_r zu 1,0 und die Iteration wird nach dem ersten Schritt abgebrochen.

Ist die einwirkende bezogene Normalkraft größer als die bezogene Normalkraft bei maximaler Biegetragfähigkeit, so ist eine Optimierung über Iterationen möglich. Gerade bei stark normalkraftbeanspruchten Bauteilen kann hier eine deutliche Reduzierung der Verkrümmung und somit Optimierung der einzulegenden Längsbewehrung erfolgen.

Folgende Grafik veranschaulicht den vereinfachten Ansatz zur Ermittlung der Verkrümmung.



Benutzerdefinierter Wert von K_r

K_r :

Falls ein Ergebnis aus einem anderen Programm oder einer Handrechnung vorliegt, in dem der Wert K_r vereinfacht mit 1,0 angenommen wurde, kann K_r fest auf 1,0 gesetzt werden. Dadurch wird die Iteration deaktiviert. Die Ergebnisse von RF-/BETON Stützen sind dann vergleichbar.

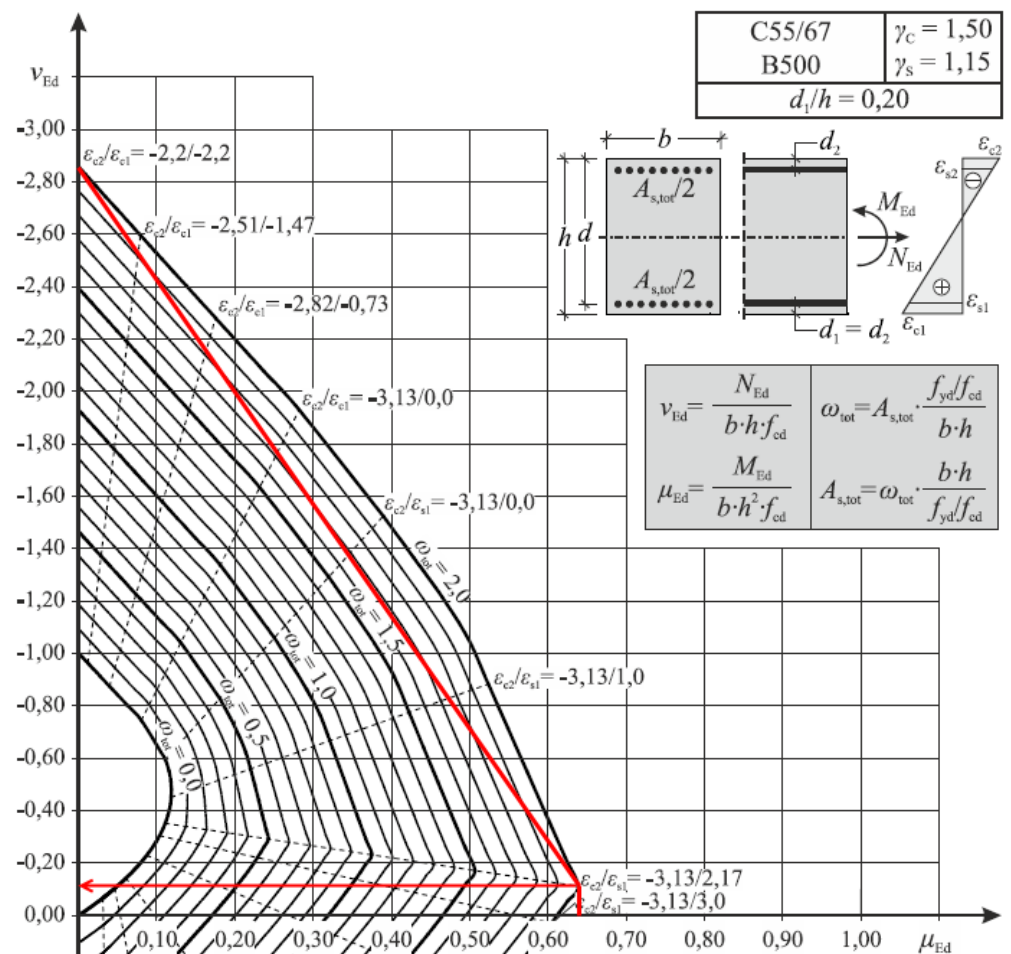
Berechnung von K_r mit

Benutzerdefiniertem Wert von n_{bal}

n_{bal} :

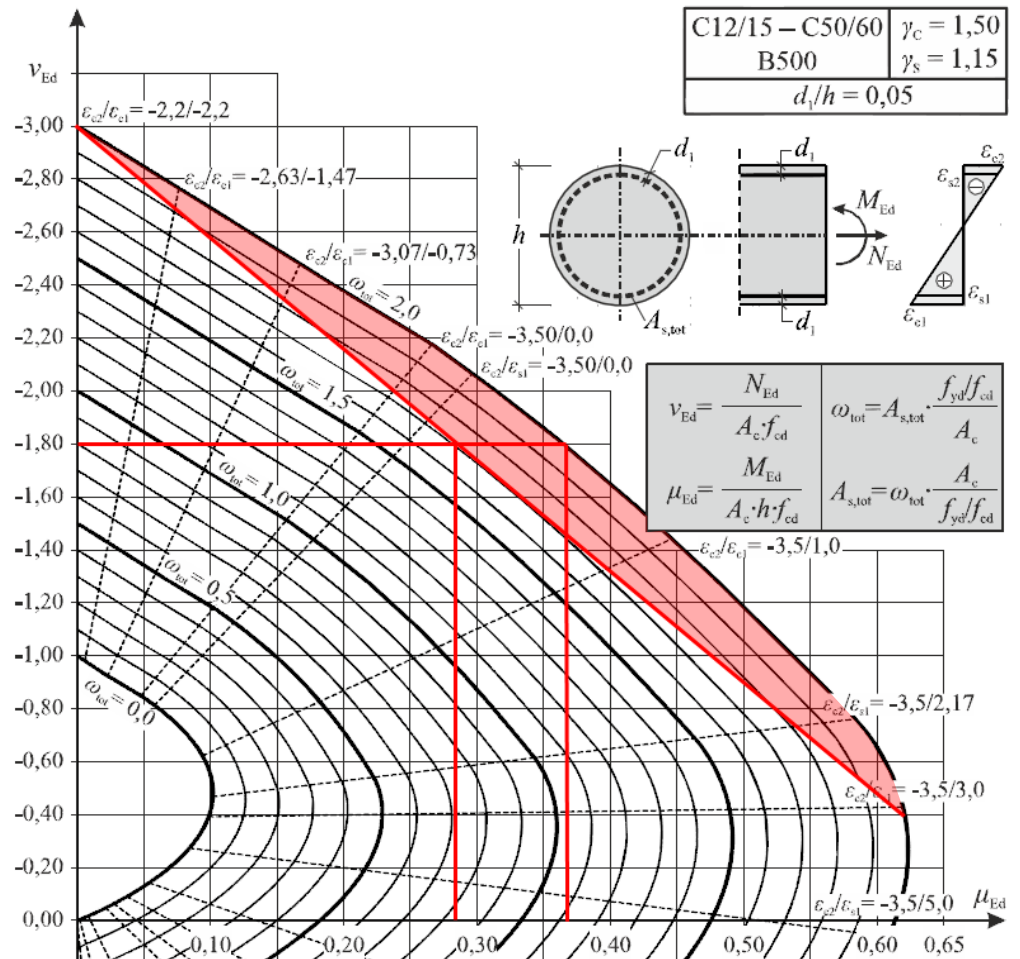
Die modifizierte Berechnung von K_r ermöglicht es, die bezogene Längskraft n_{bal} benutzerdefiniert vorzugeben. Nach Abschnitt 5.8.8.3 (3) darf für n_{bal} der Wert 0,4 verwendet werden. Dieser Wert gilt für Normalbetone (C12/15 bis C50/60) unter Annahme eines zweiseitig-symmetrisch bewehrten Rechteckquerschnitts, dessen d_1/h -Verhältnis im Bereich von 0,05 und 0,20 liegt. Andere Festigkeitsklassen, Querschnittsgeometrien bzw. d_1/h -Verhältnisse zeigen, dass der angegebene Wert für $n_{bal} = 0,4$ nicht geeignet ist und zu unwirtschaftlichen Ergebnissen führen können. Falls die Querschnittsform, das d_1/h -Verhältnis und/oder die Betonfestigkeitsklasse nicht den Voraussetzungen entspricht, ist es ratsam, die modifizierte Berechnung von K_r zu verwenden und den Wert n_{bal} manuell zu definieren.

Folgende Grafik zeigt eine Konstellation, in der der Normwert $n_{bal} = 0,4$ ungeeignet ist.



Berechnung von K_r mit
 Benutzerdefiniertem Wert von n_{bal}
 n_{bal} :
 n_{bal} vom M-N-Interaktionsdiagramm

Die letzte Möglichkeit zur Ermittlung der Krümmung stellt die genaueste Variante dar. Sie ist jedoch nicht in der Norm hinterlegt. In diesem Fall wird keine lineare Interpolation, sondern eine direkte Krümmungsberechnung durchgeführt, welche die „bauchige“ Form der Momenten-/Normalkraft-Interaktion berücksichtigt.



Betrachtet man die im Diagramm eingezeichneten Linien, wird klar, dass gerade bei allseitig bewehrten Querschnitten die Vernachlässigung bzw. der in der Norm zugrundegelegte lineare Zusammenhang auf der unsicheren Seite liegt. In der Realität wird sich ein größeres Moment bzw. eine größere Krümmung einstellen.

Der Bereich, der von der Norm nicht abgedeckt wird, ist in der Grafik rot eingefärbt.

3.5 Ergebnismasken

3.5.1 Maske 2.1 Nachweis Stäbe

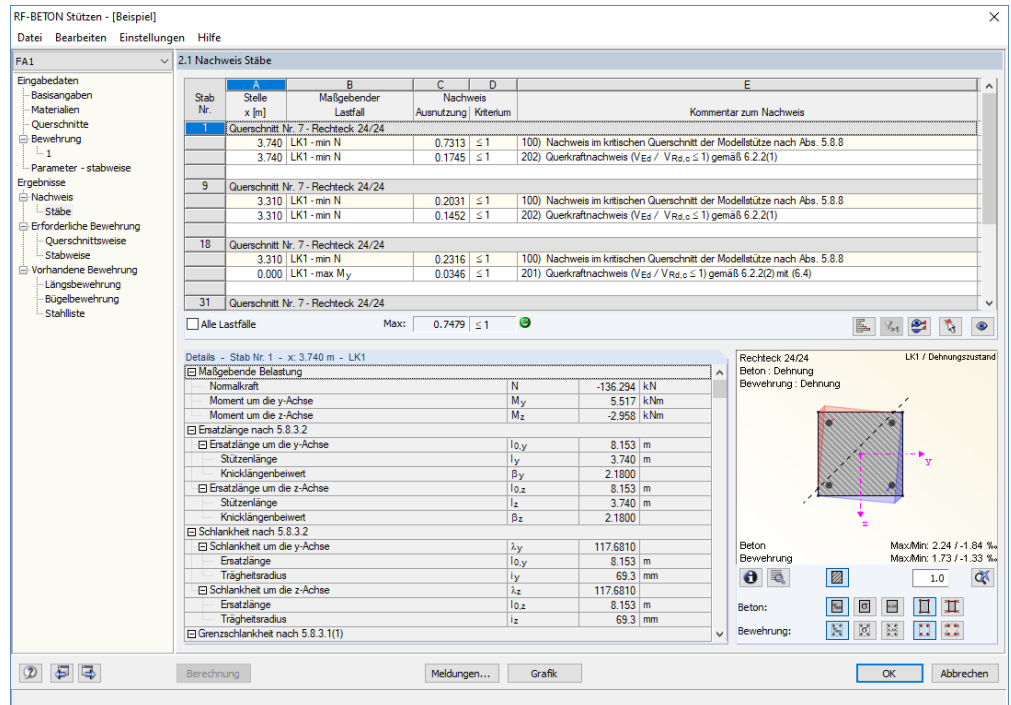


Bild 3.84: Maske 2.1 Nachweis Stäbe

Diese Maske besteht aus einer oberen Tabelle sowie einer unteren Detailtabelle und einem Grafikfenster, die sich beide verändern, sobald in der oberen Tabelle eine andere Zeile ausgewählt wird.

In der oberen Tabelle wird in der ersten Spalte die Nummer des Stabes angegeben, für den dann rechts mehrere Zeilen stehen. In jeder Zeile findet sich das Ergebnis eines Nachweises.

Die Anzahl der Zeilen kann sich in Abhängigkeit davon ändern, welcher Nachweis für einen Stab notwendig ist. Um welchen Nachweis es sich handelt, wird in der Spalte *Kommentar zum Nachweis* angegeben. Der Nachweis der Biegebruchsicherheit mit der vorhandenen Bewehrung ist für jeden Stab obligatorisch. Er wird im maßgebenden kritischen Querschnitt des zur Modellstütze idealisierten Stabes mit den einwirkenden Momenten nach Theorie II. Ordnung geführt. Falls keine Stabilitätsuntersuchung erforderlich ist, erfolgt der Nachweis mit den unveränderten RFEM-Schnittgrößen an der Stelle, für die sich die kleinste Sicherheit ergibt.

An welcher Stelle dieser und alle anderen Nachweise geführt wurden, findet der Anwender indirekt in der ersten Spalte der oberen Tabelle. Dort steht, welche Belastung (Lastfall, Last- oder Ergebniskombination) maßgebend sind und zudem, welche Schnittgröße für diese Belastung an der maßgebenden Stelle einen maximalen oder minimalen Wert annimmt. Die Stelle, an der die oben angeführte Schnittgröße maßgebend wird, findet der Anwender durch einen Blick in die Detailtabelle. Diese Stelle ist als Abstand x vom Stabanfang angegeben.

Die Spalten **B** und **C** der oberen Tabelle zeigen das vorhandene Nachweiskriterium, das für einen erfolgreichen Nachweis stets kleiner als 1 sein muss. Dieses Nachweiskriterium wird gebildet, indem die Beanspruchung durch die Beanspruchbarkeit geteilt wird.

Die vorhandene Sicherheit γ wird mit einer vorhandenen Bewehrung als Dividend für die erforderliche Sicherheit von 1 berechnet. Somit ergibt sich bei einer ausreichenden Sicherheit ($\gamma ≥ 1$) ebenfalls ein Nachweiskriterium, das kleiner als 1 ist.

In der oberen Tabelle finden sich weitere Zeilen für diverse Nachweise, beispielsweise die verschiedenen Querkraftnachweise an den maßgebenden Stellen. Je nach Belastung kann die Anzahl der zu führenden Nachweise und damit die Anzahl der Zeilen der oberen Tabelle variieren. Welche Nachweise geführt werden, hängt von der Norm und der Art der Belastung ab. Eine genaue Beschreibung ist im Kapitel 2 des Handbuchs zu finden.

Abhängig davon, welche Zeile in der oberen Tabelle durch Anklicken ausgewählt wird, erscheinen die Zwischenergebnisse dieses Nachweises in den *Details* unterhalb. Sie sind aufgebaut wie eine Handrechnung und zeigen so sukzessive alle Zwischenergebnisse bei der Ermittlung des Nachweiskriteriums. Da die Inhalte der Detailtabelle in den Handbuchbeispielen anschaulich dargestellt sind, werden hier nur die Haupteinträge der Zwischenergebnisse erläutert.

Wurden die Momente nach Theorie II. Ordnung für das Nachweisverfahren mit Nennkrümmung bestimmt, weisen die *Details* für den Nachweis der Biegebruchsicherheit folgende Haupteinträge auf:

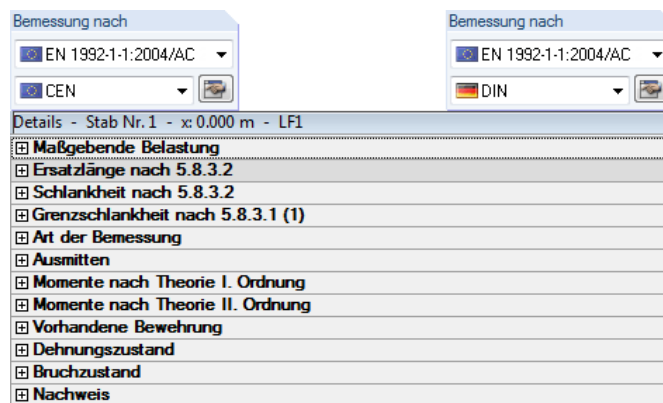


Bild 3.85: Details bei Bemessung mit Momenten nach Theorie II. Ordnung (EN und DIN EN 1992-1-1)

Wenn eine Regelbemessung ausreichend ist, verkürzen sich die *Details* um die Haupteinträge *Momente nach Theorie I. Ordnung* und *Momente nach Theorie II. Ordnung*. Die Bemessung findet dann mit den unveränderten Schnittgrößen von RFEM bzw. RSTAB statt.

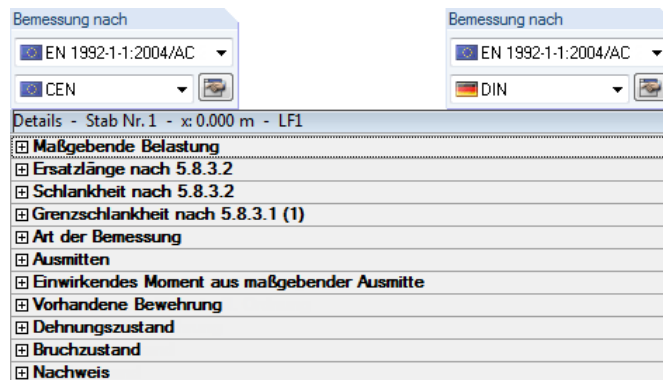


Bild 3.86: Details bei Regelbemessung

Maßgebende Belastung

Zwischenergebnisse Rechteck 300/400 - LF1			
Maßgebende Belastung			
Belastung		LF1	
Maßgebende Schnittgröße		min M_y	
An Stelle	x	0.000	m
Normalkraft	N	-875.000	kN
Moment um die y-Achse	M_y	-90.000	kNm
Moment um die z-Achse	M_z	60.000	kNm

Bild 3.87: Maßgebende Belastung

In der ersten Zeile wird der maßgebende Lastfall bzw. die maßgebende Last- oder Ergebniskombination angegeben.

Diese Belastung bewirkt entlang des Stabes einen spezifischen Verlauf der Normalkraft und der Momente sowie Querkräfte bezogen auf die lokalen Stabachsen y und z.

An einer bestimmten Stelle des Stabes erreicht der Verlauf jeder Schnittgröße ein Maximum oder ein Minimum. Diese Extremwerte werden wie im Kapitel 2 beschrieben untersucht. Die *Maßgebende Schnittgröße* kann in der zweiten Zeile abgelesen werden. Die nächste Zeile gibt dann an, in welchem Abstand vom Stabanfang dieser Extremwert auftritt. Neben der maßgebenden Schnittgröße existieren an dieser Stelle die zugehörigen Schnittgrößen, die in den weiteren Zeilen angegeben werden. Die Bemessung erfolgt mit diesen Schnittgrößen.

Ersatzlänge / Schlankheit

Die Haupteinträge *Ersatzlänge*, *Schlankheit* und *Grenzschlankheit* dienen ausschließlich der Unterscheidung, ob ein Nachweis mit den Momenten nach Theorie II. Ordnung oder eine Regelbemessung mit den Schnittgrößen aus RFEM bzw. RSTAB erfolgt.

Zwischenergebnisse Rechteck 40/45 - LK4			
Ersatzlänge nach 5.8.3.2			
Ersatzlänge um die y-Achse	$l_{0,y}$	13.020	m
Stützenlänge	l_y	6.200	m
Knicklängenbeiwert	β_y	2.100	
Ersatzlänge um die z-Achse	$l_{0,z}$	6.200	m
Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe			
Schlankheit nach 5.8.3.2			
Schlankheit um die y-Achse	λ_y	100.2280	
Ersatzlänge	$l_{0,y}$	13.020	m
Trägheitsradius	i_y	129.9	mm
Schlankheit um die z-Achse	λ_z	0.0000	
Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe			
Grenzschlankheit nach 5.8.3.1 (1)			
Parameter	ν_{Ed}	0.2068	< 0.41
Normalkraft	N	-632.850	kN
Betonquerschnitt	A_c	1800.00	cm ²
Bemessungswert der Betonfestigkeit	f_{ed}	17.00	N/mm ²
Charakteristische Betondruckfestigkeit	f_{ck}	30.00	N/mm ²
Abminderungsbeiwert	α	0.8500	
Teilsicherheitsbeiwert	γ_c	1.5000	
Streusbeiwert der Betonfestigkeit	γ_c'	1.0000	
Grenzschlankheit	λ_{max}	35.1828	

Bild 3.88: Angaben zu Ersatzlänge, Schlankheit und Grenzschlankheit nach EN 1992-1-1

Art der Bemessung

Unter diesem Eintrag wird dargestellt, ob es erforderlich ist, die Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung zu bestimmen.

Details - Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF1			
<input type="checkbox"/> Art der Bemessung			
<input type="checkbox"/> Voraussetzungen Regelbemessung nach 5.8.3.1 (1)			
<input type="checkbox"/> Voraussetzung um die y-Achse	$\lambda_y \leq \lambda_{lim,y}$	Nicht erfüllt	
<input type="checkbox"/> Vorhandene Schlankheit	λ_y	25.9808	
<input type="checkbox"/> Grenzschlankheit um die y-Achse	$\lambda_{lim,y}$	25.0000	
<input type="checkbox"/> Voraussetzung um die z-Achse	$\lambda_z \leq \lambda_{lim,z}$	Nicht erfüllt	
<input type="checkbox"/> Vorhandene Schlankheit	λ_z	34.6410	
<input type="checkbox"/> Grenzschlankheit um die z-Achse	$\lambda_{lim,z}$	25.0000	
<input type="checkbox"/> Voraussetzung für Regelbemessung erfüllt?		Nicht erfüllt	
<input type="checkbox"/> Voraussetzungen Regelbemessung nach 5.8.3.1 (1)			
<input type="checkbox"/> System unverschieblich?		Ja	
<input type="checkbox"/> Kein Lastmoment/-e am Stützenende?		Nein	
<input type="checkbox"/> Stütze nicht durch Querlast beansprucht?		Nein	
<input type="checkbox"/> Normalkraftverlauf konstant?		Nein	
<input type="checkbox"/> Normalkraft ist keine Druckkraft?		Nein	
<input type="checkbox"/> Voraussetzungen für Regelbemessung erfüllt		Nein	
<input type="checkbox"/> Knicknachweis erforderlich			

Bild 3.89: Art der Bemessung nach EN 1992-1-1

Wenn die Voraussetzungen für eine Regelbemessung um die y-Achse und um die z-Achse nicht erfüllt sind, müssen die Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung ermittelt werden.

Momente nach Theorie I. Ordnung

Ob die Voraussetzungen für eine Regelbemessung erfüllt sind, ist in der letzten Zeile des Eintrags *Art der Bemessung* ersichtlich. Ist dort ein *Nein* zu finden, lautet der nächste Haupteintrag *Momente nach Theorie I. Ordnung*.

Zwischenergebnisse Rechteck 300/400 - LF1			
<input type="checkbox"/> Momente nach Theorie I. Ordnung			
<input type="checkbox"/> Momente nach Theorie I. Ord.			
<input type="checkbox"/> Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-875.000	kN
<input type="checkbox"/> Moment um die y-Achse	$M_{Ed,1,y}$	-96.563	kNm
<input type="checkbox"/> Rechnerische Gesamtausmitte in z-Ric	$e_{calc,1,z}$	-110.4	mm
<input type="checkbox"/> Planmäßige Ausmitte	$e_{0,z}$	-102.9	mm
<input type="checkbox"/> Ausmitte durch Imperfektionen	$e_{i,z}$	-7.5	mm
<input type="checkbox"/> Moment um die z-Achse	$M_{Ed,1,z}$	66.563	kNm
<input type="checkbox"/> Rechnerische Gesamtausmitte in y-Ric	$e_{calc,1,y}$	76.1	mm
<input type="checkbox"/> Planmäßige Ausmitte	$e_{0,y}$	68.6	mm
<input type="checkbox"/> Ausmitte durch Imperfektionen	$e_{i,y}$	7.5	mm

Bild 3.90: Momente nach Theorie I. Ordnung

Die Momente nach Theorie I. Ordnung werden aus dem Produkt von Normalkraft und der planmäßigen Ausmitte plus der ungewollten Ausmitte bestimmt. Die Ermittlung dieser Exzentrizitäten wird in den folgenden Zeilen ausgewiesen.

Momente nach Theorie II. Ordnung

Zwischenergebnisse Rechteck 300/400 - LF1			
<input type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ordnung			
<input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. nach 5.8.8.2(3)			
<input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. in z-Richtung	$e_{2,z}$	-11.9	mm
<input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. in y-Richtung	$e_{2,y}$	21.9	mm
<input type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ord.			
<input type="checkbox"/> Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-875.000	kN
<input type="checkbox"/> Moment um die y-Achse	$M_{Ed,y2}$	-106.957	kNm
<input type="checkbox"/> Moment um die z-Achse	$M_{Ed,z2}$	85.723	kNm

Bild 3.91: Momente nach Theorie II. Ordnung

Die Ermittlung der *Momente nach Theorie II. Ordnung* beginnt mit der Bestimmung der Ausmitten durch Theorie II. Ordnung. In der obigen Abbildung sind nicht alle Ergebniszeilen dargestellt. In den folgenden Zeilen wird beispielsweise noch die vorhandene Bewehrung ausgegeben, die die Ausmitten nach Theorie II. Ordnung maßgebend beeinflusst.

Sind diese Ausmitten bekannt, können mithilfe der Normalkraft die Momente nach Theorie II. Ordnung um die Achsen des Stabkoordinatensystems bestimmt werden. Daraus resultieren dann die Schnittgrößen, mit denen die vorhandene Biegebruchsicherheit zu bestimmen ist.

Vorhandene Bewehrung

Um die Biegebruchsicherheit bestimmen zu können, muss zuvor eine vorhandene Längsbewehrung ermittelt werden. Diese findet sich im Haupteintrag *Vorhandene Bewehrung*.

☐ Vorhandene Bewehrung			
☐ aus Position	Nr.	1	
☐ Position statisch wirksam			Ja
☐ Bewehrungsstabdurchmesser	d_s	0.020	m
☐ Querschnittsfläche pro Bewehrungsstab	a_s	3.14	cm ²
☐ Anzahl	n_s	8	
☐ Gesamte Querschnittsfläche	vorh A_s	25.12	cm ²
☐ aus Position	Nr.	2	
☐ Position statisch wirksam			Ja
☐ Bewehrungsstabdurchmesser	d_s	0.020	m
☐ Querschnittsfläche pro Bewehrungsstab	a_s	3.14	cm ²
☐ Anzahl	n_s	2	
☐ Gesamte Querschnittsfläche	vorh A_s	6.28	cm ²
☐ Vorhandene Bewehrung	vorh A_s	31.42	cm ²

Bild 3.92: Vorhandene Bewehrung

Hier zeigt sich – nach Positionsnummern geordnet – die aktuelle Bewehrung, die nach der ersten Berechnung vom Programm vorgeschlagen wird. Sie kann bei Bedarf in Maske 3.1 *Vorhandene Längsbewehrung* angepasst werden.

Dehnungszustand

Die nächsten vier Bilder zeigen, wie sich Dehnungen und Spannungen unter den zuvor ermittelten Schnittgrößen im Beton und in der Bewehrung einstellen.

Details - Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF1

☐ Vorhandene Bewehrung

☐ Dehnungszustand

☐ Einwirkende Schnittgrößen

☐ Krümmungen

☐ Querschnittspunkte

☐ Anzahl der Querschnittspunkte	n_c	4
☐ Querschnittspunkt	Nr.	1
☐ y-Koordinate	y_c	150.0 mm
☐ z-Koordinate	z_c	250.0 mm
☐ Dehnung	ϵ_c	-0.18 ‰
☐ Spannung	σ_c	-2.91 N/mm ²
☐ Querschnittspunkt	Nr.	2
☐ Querschnittspunkt	Nr.	3
☐ Querschnittspunkt	Nr.	4

☐ Bewehrungsstäbe

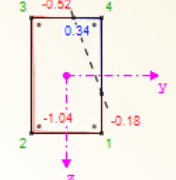
☐ Bruchzustand

☐ Nachweis

Rechteck 300/500 LF1 / Dehnungszustand

Beton : Dehnung

Bewehrung : Dehnung



Beton Max/Min: 0.34 / -1.04 ‰

Bewehrung Max/Min: 0.22 / -0.92 ‰

1.0

Beton: [Icons]

Bewehrung: [Icons]

Bild 3.93: Dehnung – Beton

Details - Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF1

☐ Vorhandene Bewehrung

☐ Dehnungszustand

☐ Einwirkende Schnittgrößen

☐ Krümmungen

☐ Querschnittspunkte

☐ Bewehrungsstäbe

☐ Anzahl der Bewehrungsstäbe	n_s	4
☐ Bewehrungsstab	Nr.	1
☐ y-Koordinate	y_s	-120.0 mm
☐ z-Koordinate	z_s	220.0 mm
☐ Dehnung	ϵ_s	-0.92 ‰
☐ Spannung	σ_s	-184.45 N/mm ²
☐ Bewehrungsstab	Nr.	2
☐ Bewehrungsstab	Nr.	3
☐ Bewehrungsstab	Nr.	4

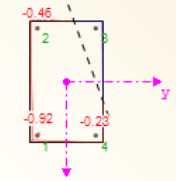
☐ Bruchzustand

☐ Nachweis

Rechteck 300/500 LF1 / Dehnungszustand

Beton : Dehnung

Bewehrung : Dehnung



Beton Max/Min: 0.34 / -1.04 ‰

Bewehrung Max/Min: 0.22 / -0.92 ‰

1.0

Beton: [Icons]

Bewehrung: [Icons]

Bild 3.94: Dehnung – Bewehrung

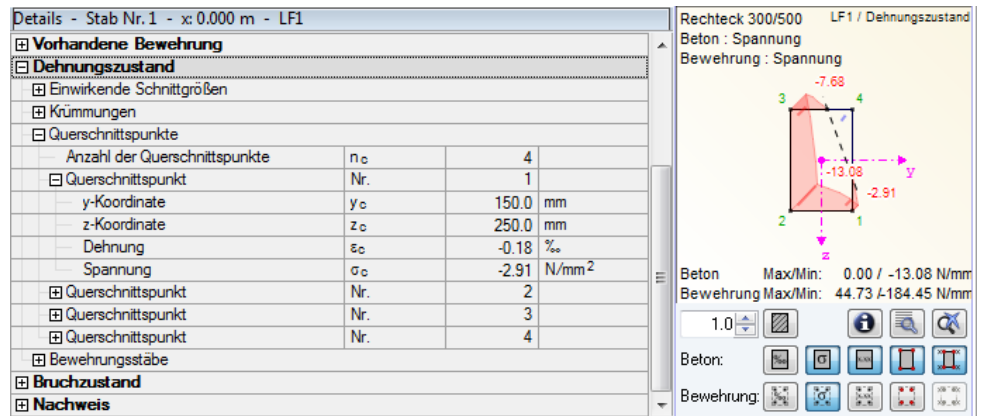


Bild 3.95: Spannung – Beton

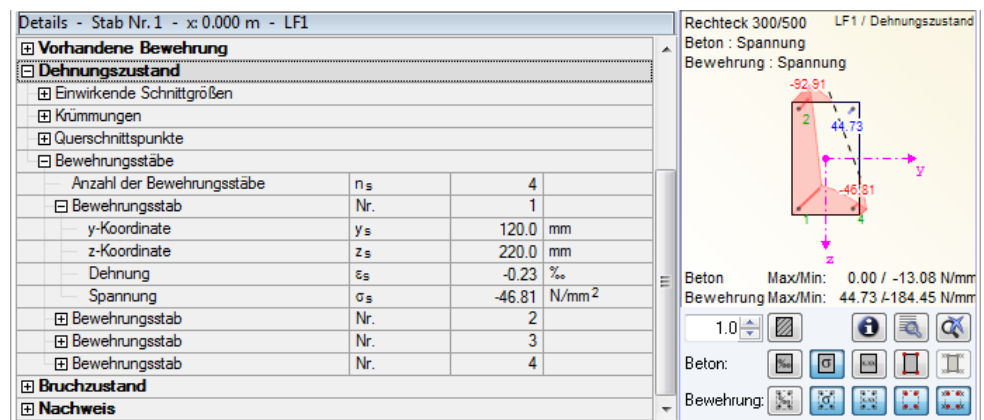


Bild 3.96: Spannung – Bewehrung

Grafik und Schaltflächen

Rechtsseitig stellt eine Grafik den Verlauf von Dehnungen und Spannungen dar. Unterhalb der Grafik befinden sich diverse Schaltflächen, mit denen die Anzeige gesteuert werden kann.

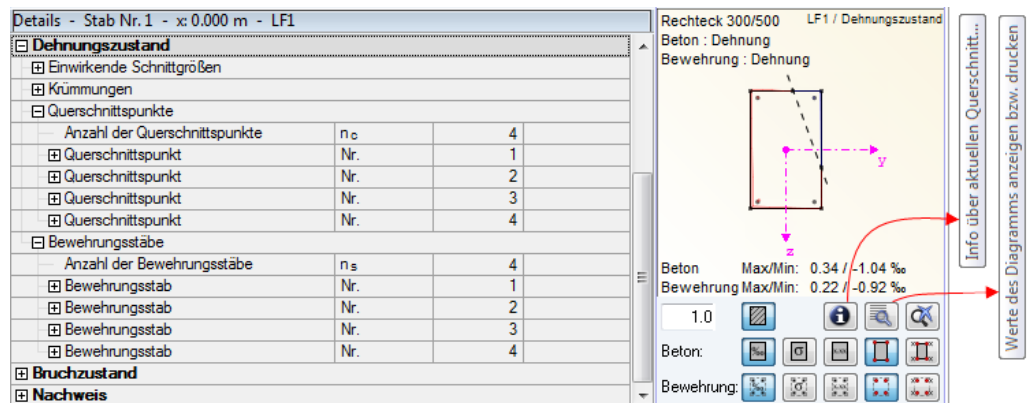


Bild 3.97: Grafikbereich mit Schaltflächen

Die Schaltflächen sind auf den folgenden Seiten näher beschrieben.



Mit der Schaltfläche [Info] können die Informationen über den Querschnitt dargestellt werden.

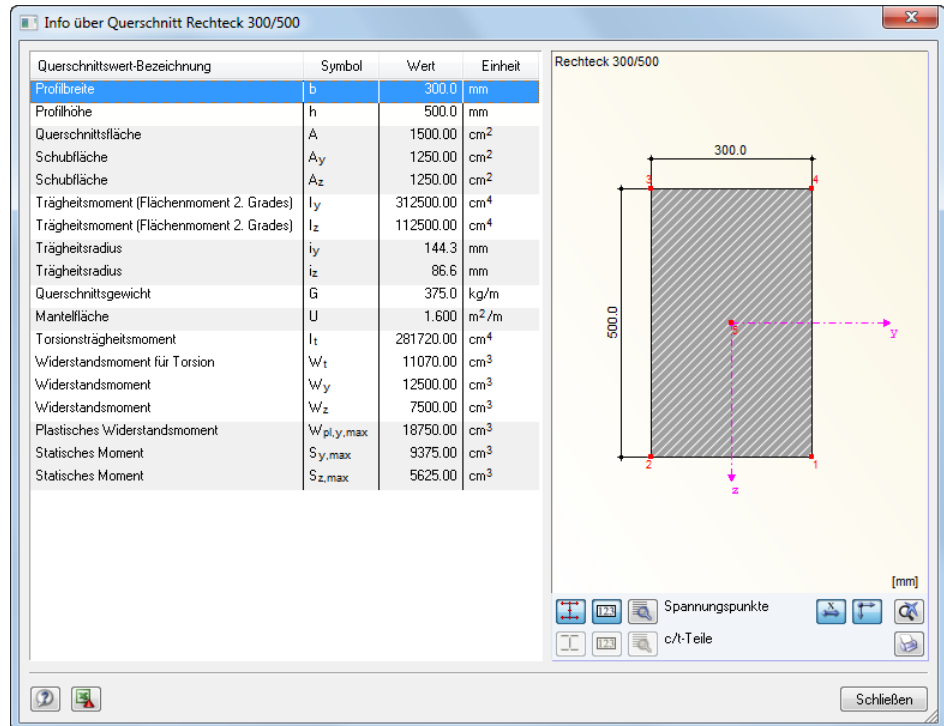


Bild 3.98: Dialog Info über aktuellen Querschnitt



Mit der Schaltfläche [Werte] werden die Werte des Diagramms dargestellt. Diese Schaltfläche öffnet ein Fenster, in dem die Werte der Dehnungen und Spannungen dargestellt werden, die im Beton und Bewehrungsstahl existieren.

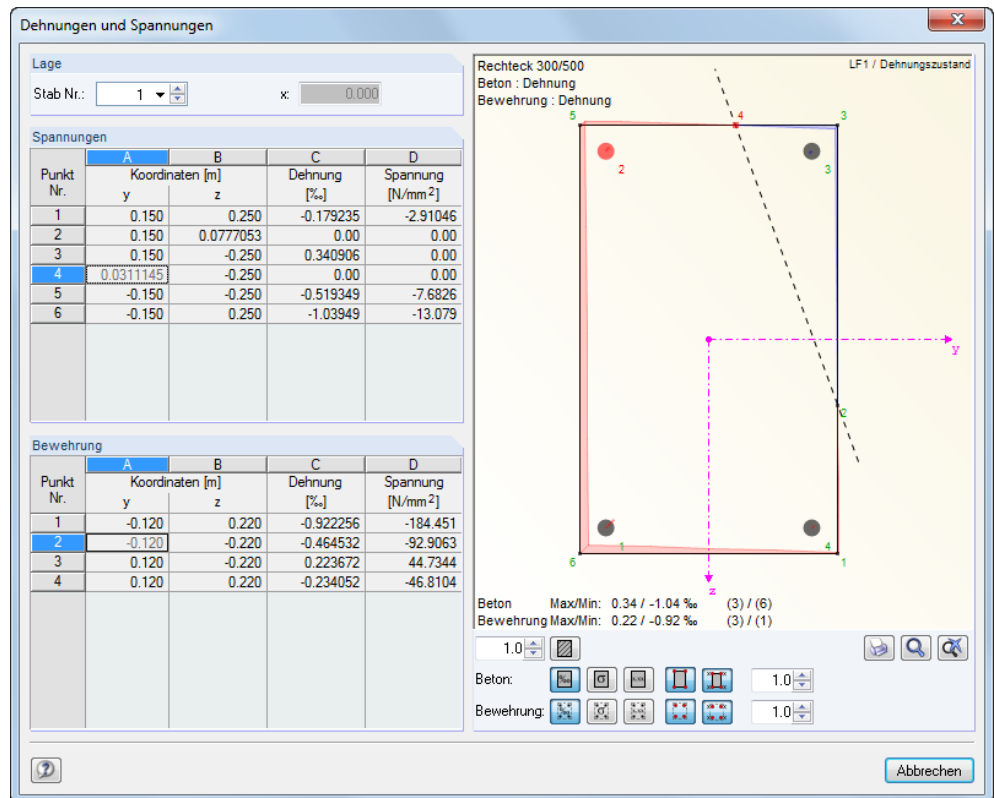


Bild 3.99: Ausgabe der Dehnungen und Spannungen

Im linken Bereich des Fensters befinden sich die Abschnitte *Stab*, *Spannungen* und *Bewehrung*; rechts werden die Ergebnisse grafisch dargestellt.

Im Abschnitt *Stab* kann der Stab ausgewählt werden, dessen Dehnungs-/Spannungsverlauf dargestellt werden soll. Im Feld *x* rechts davon wird dann die bemessungsrelevante Stelle der Stütze angezeigt.

In den Tabellen der *Spannungen* und *Bewehrung* werden die Koordinaten der Spannungs- und Bewehrungspunkte angegeben. Die Koordinaten beziehen sich auf das Stabkoordinatensystem, das in der rechtseitigen Grafik dargestellt ist.

In den Spalten C und D werden die jeweiligen Dehnungen und Spannungen aufgelistet. Deren Extremwerte sind getrennt für die Bewehrung und den Beton unterhalb der Grafik zu finden. Die Zahl in Klammern am Ende der Extremwert-Zeile bezeichnet die Nummer des Spannungs- oder Bewehrungspunktes, wie er in der Spalte Punkt-Nr. der beiden Tabellen zu finden ist.

Unterhalb des Grafikensters befinden sich diverse Schaltflächen, mit denen die Darstellung beeinflusst werden kann.

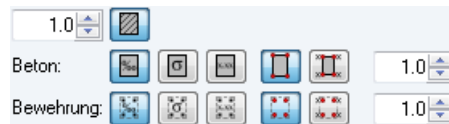


Bild 3.100: Schaltflächen zur Steuerung der grafischen Darstellung

Die Schaltflächen in der Zeile *Beton* bedeuten von links nach rechts:

- Füllung des Querschnitts ein- oder ausblenden
Für *Beton* und *Bewehrung* zusammen:
- Dehnungsdiagramm anzeigen
- Spannungsdiagramm anzeigen
- Werte des Diagramms anzeigen
- Punkte anzeigen
- Nummerierung der Punkte anzeigen

Über die Drehfeld-Schaltfläche am Ende der Zeile kann die Größe der Darstellung verändert werden.

Des Weiteren sind unterhalb der Grafik folgende Schaltflächen verfügbar:



Bild 3.101: Schaltflächen



Über die Schaltfläche [Drucken] kann ein weiterer Dialog aufgerufen werden, mit dem der Ausdruck der Spannungs-Dehnungsgrafik aus dem Modul gesteuert wird (siehe folgendes Bild).

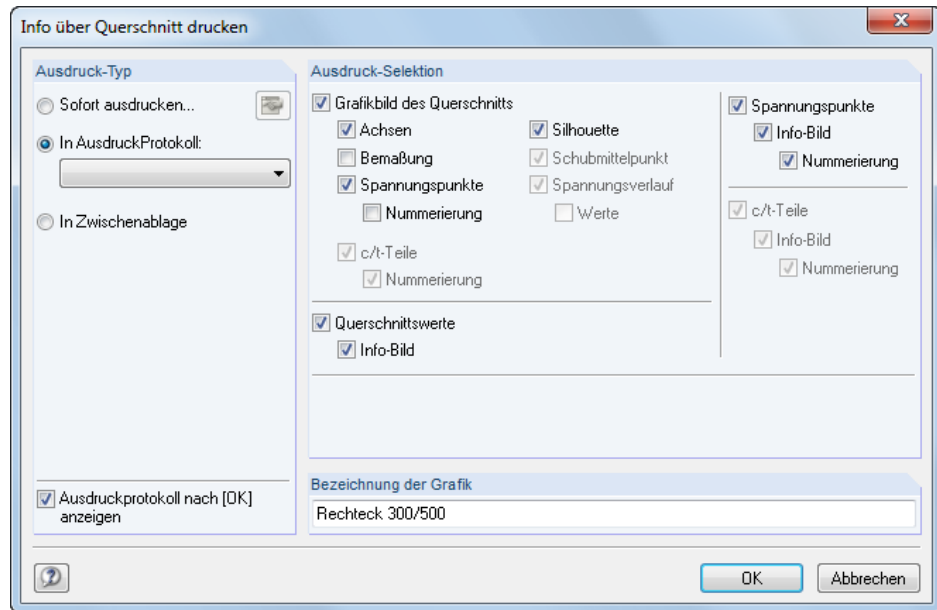


Bild 3.102: Drucken der Querschnittsdetails

Wird der Dialog mit [OK] bestätigt, erscheint das Ausdruckprotokoll mit der Grafik der Dehnungen oder Spannungen. Mit [Abbrechen] erfolgt die Rückkehr zum aufrufenden Dialog.



Mit der Schaltfläche [Zoomen] wird der Mauszeiger in eine Hand verwandelt, mit der die grafische Darstellung verschoben, vergrößert oder verkleinert werden kann.



Über die Schaltfläche [Zoom aufheben] lässt sich der ursprüngliche Zustand der Grafik nach einer Veränderung wiederherstellen.

Die zuletzt vorgestellten Schaltflächen zum Anpassen der grafischen Darstellung sind auch in Maske 2.1 *Nachweis Stäbe* verfügbar.

Bruchzustand

Im nächsten Haupteintrag *Bruchzustand* der Detailtabelle wird der Verlauf der Dehnung und der Spannung für die Bruchschnittgrößen dargestellt. Die Bruchschnittgrößen ergeben sich, indem die einwirkenden Schnittgrößen mit der ermittelten Sicherheit γ multipliziert werden.

Details - Stab Nr.1 - x: 0.000 m - LF1			
☐ Art der Bemessung			
☐ Ausmitteln			
☐ Momente nach Theorie I. Ordnung			
☐ Momente nach Theorie II. Ordnung			
☐ Vorhandene Bewehrung			
☐ Dehnungszustand			
☐ Bruchzustand			
☐ Bruchschnittgrößen			
Bruchnormalkraft	N_u	-1738.360	kN
Bruchmoment um die y-Achse	$M_{y,u}$	-101.304	kNm
Bruchmoment um die z-Achse	$M_{z,u}$	99.864	kNm
☐ Bruchkrümmungen			
Bruchkrümmung in z-Ebene	$1/f_{z,u}$	-0.004	1/m
Bruchkrümmung in y-Ebene	$1/f_{y,u}$	-0.010	1/m
☐ Querschnittspunkte			
☐ Bewehrungsstäbe			
☐ Nachweis			

Bild 3.103: Bruchzustand

Nachweis

Im letzten Haupteintrag *Nachweis* wird das Nachweiskriterium ermittelt. Dieses wird auch in der oberen Tabelle in der Zeile dieses Nachweises ausgegeben.

Details - Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF1			
<input checked="" type="checkbox"/> Momente nach Theorie I. Ordnung			
<input checked="" type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ordnung			
<input checked="" type="checkbox"/> Vorhandene Bewehrung			
<input checked="" type="checkbox"/> Dehnungszustand			
<input checked="" type="checkbox"/> Bruchzustand			
<input checked="" type="checkbox"/> Nachweis			
Erforderliche Bruchsicherheit	erf γ	1.0	
Vorhandene Bruchsicherheit	vorh γ	1.9615	
<input type="checkbox"/> Einwirkende Schnittgrößen			
— Normalkraft	N_{Ed}	-886.250	kN
— Moment um die y-Achse nach Th. II. O	$M_{Ed,y2}$	-51.647	kNm
— Moment um die z-Achse nach Th. II. O	$M_{Ed,z2}$	50.913	kNm
<input type="checkbox"/> Bruchschnittgrößen			
— Bruchnormalkraft	N_u	-1738.360	kN
— Bruchmoment um die y-Achse	$M_{y,u}$	-101.304	kNm
— Bruchmoment um die z-Achse	$M_{z,u}$	99.864	kNm
Nachweiskriterium (erf γ / vorh γ)	Kriterium	0.5098	

Bild 3.104: Nachweis

Das maximale Nachweiskriterium wird unterhalb der Tabelle 2.1 *Nachweis Stäbe* dargestellt und mit dem Grenzwert verglichen.

2.1 Nachweis Stäbe										
Stab Nr.	A		B		C		D		E	
	Stelle x [m]	Maßgebender Lastfall	Nachweis Ausnutzung						Kommentar zum Nachweis	
1	Querschnitt Nr. 1 - Rechteck 300/500									
	0.000	LF1 - min M_y	0.5098	≤ 1	100)	Nachweis im kritischen Querschnitt der Modellstütze nach Abs. 5.8.8				
	3.000	LF1 - min N	0.0800	≤ 1	201)	Querkraftnachweis ($V_{Ed} / V_{Rd,c} \leq 1$) gemäß 6.2.2 (2) mit (6.4)				
	0.000	LF1 - min M_y	0.3180	≤ 1	202)	Querkraftnachweis ($V_{Ed} / V_{Rd,c} \leq 1$) gemäß 6.2.2 (1)				

Alle Lastfälle Max: 0.5098 ≤ 1

Bild 3.105: Maximales Nachweiskriterium

Die Schaltflächen unterhalb der Tabelle sind mit folgenden Funktionen belegt:

Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Relationsbalken	Blendet die farbigen Bezugsskalen in den Ergebnismasken ein und aus
	Überschreitung	Stellt nur Zeilen dar, in denen das Nachweiskriterium größer als 1 ist
	Ergebnisverläufe	Öffnet das Diagramm <i>Ergebnisverläufe im Stab</i>
	Sichtmodus	Ermöglicht den Wechsel in das RFEM- bzw. RSTAB-Arbeitsfenster, um die Ansicht zu ändern
	Stabauswahl	Ermöglicht die grafische Auswahl eines Stabes, um dessen Ergebnisse in der Tabelle anzuzeigen

Tabelle 3.1: Schaltflächen in Ergebnismaske 2.1

Unterhalb der Tabelle befindet sich das Kontrollfeld *Alle Lastfälle*. Ist diese Option angehakt, so erscheinen in der oberen Tabelle für einen Stab nicht nur die Nachweise mit der maßgebenden Belastung, sondern alle Nachweise für jeden Lastfall bzw. jede Last- oder Ergebniskombination, die in Maske 1.1 *Basisangaben* zur Bemessung vorgegeben wurde.

3.5.2 Maske 3.1 Erforderliche Bewehrung querschnittsweise

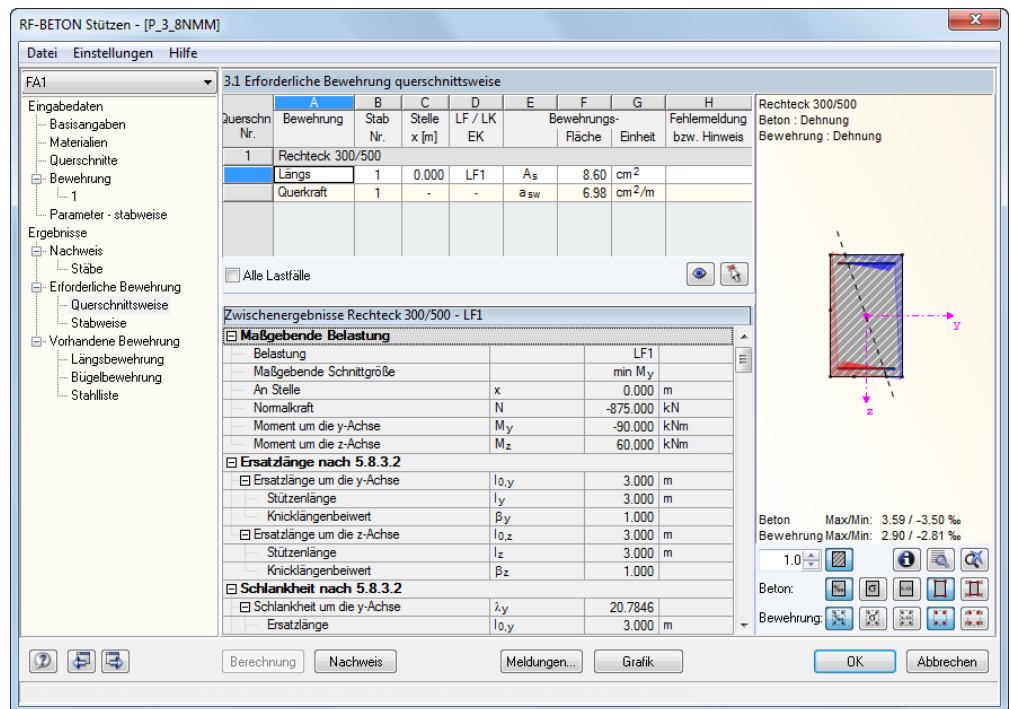


Bild 3.106: Maske 3.1 Erforderliche Bewehrung querschnittsweise

Im Aufbau ist diese Maske identisch mit der folgenden Maske 3.2 *Erforderliche Bewehrung stabweise*. In der oberen Tabelle wird die erforderliche Längsbewehrung A_s sowie die erforderliche Querkraftbewehrung a_{sw} ausgegeben. Alle Zwischenergebnisse zu ihrer Bestimmung sind in der Detailtabelle unterhalb einsehbar, wenn die entsprechende Zeile in der oberen Tabelle ausgewählt wird.

Die obere Tabelle gibt in der ersten Spalte die Nummer des betrachteten Querschnitts an. Rechts daneben ist die Querschnittsbezeichnung zu finden. Die Spalte **A** gibt Aufschluss, ob es sich in dieser Zeile um die erforderliche Längs- oder Querkraftbewehrung handelt.

3.1 Erforderliche Bewehrung querschnittsweise							
Querschn Nr.	A	B	C	D	E	G	H
	Bewehrung	Stab Nr.	Stelle x [m]	LF / LK EK	Bewehrungs- Fläche Einheit		Fehlemeldung bzw. Hinweis
1	Rechteck 300/500						
	Längs	1	0.000	LF1	A_s	8.60 cm ²	28)
	Querkraft	1	-	-	a_{sw}	6.98 cm ² /m	

Bild 3.107: Obere Tabelle

In Spalte **B** wird die Nummer des Stabes angegeben, der diesen Querschnitt verwendet. Es folgen in Spalte **C** die bemessungsrelevante x-Stelle und in Spalte **D** die maßgebende Belastung. Die erforderliche Bewehrungsfläche findet sich in Spalte **F**. In der letzten Spalte **H** kann die Nummer eines Hinweises angezeigt werden. Dieser Programmhinweis ist in der Statuszeile der Maske näher erläutert.

Die Details zur Ermittlung der erforderlichen Längsbewehrung A_s unterscheiden sich bis zum Eintrag *Momente nach Theorie II. Ordnung* nicht von den Details zur Ermittlung der vorhandenen Sicherheit in Maske 2.1 *Nachweis Stäbe* (gleiche Belastung vorausgesetzt).

2.1 Nachweis Stäbe

Stab Nr.	Stelle x [m]	Maßgebender Lastfall	C	D	Nachweis	Kommentar
1	Querschnitt Nr. 1 - Rechteck 300/500					
	0.000	LF1 - min M _y	0.9377	≤ 1	100	Nachweis im kritischen Querschnitt
	3.000	LF1 - min N	0.1609	≤ 1	201	Querkraftnachweis (V _{Ed} / V _{Rd})
	0.000	LF1 - min M _y	0.4113	≤ 1	202	Querkraftnachweis (V _{Ed} / V _{Rd})

Alle Lastfälle Max: 0.9377 ≤ 1

Details - Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF1

- Maßgebende Belastung
- Ersatzlänge nach 5.8.3.2
- Schlankheit nach 5.8.3.2
- Grenzschlankheit nach 5.8.3.1 (1)
- Art der Bemessung
- Ausmitten
- Momente nach Theorie I. Ordnung
- Momente nach Theorie II. Ordnung
 - Ausmitte durch Th. II. Ord. nach 5.8.8.2(3)

e _{2,z}	0.0	mm
e _{2,y}	18.4	mm
k _{1,y}	0.0000	
λ _z	34.6410	
1/r _y	0.020	1/m
 - Schlankheit um die z-Achse
 - Krümmung in y-Ebene
 - Gewählter Beiwert (Normalkraft)
 - Errechneter Beiwert (Normalkraft)
 - Grenztragfähigkeit
 - Verhältnis
 - Vorhandene Bewehrung
 - Aus Position
 - Bemessungswert Streckg
 - Querschnittsfläche
 - Bemessungswert der Betc
 - Relative Normalkraft
 - Aufnehmbare Normalkraft (Bieg)
 - Gewählter Beiwert (Kriechen)
 - Krümmung in y-Ebene
 - Knicklänge
 - Beiwert(Krümmungsverlauf)
- Momente nach Theorie II. Ord.
- Vorhandene Bewehrung
- Dehnungszustand
- Bruchzustand
- Nachweis

3.1 Erforderliche Bewehrung querschnittsweise

Querschn Nr.	Bewehrung	Stab Nr.	Stelle x [m]	D	LF / LK EK	E	F	G	H
1	Rechteck 300/500								
	Längs	1	0.000	LF1	A _s	8.60	cm ²	28)	
	Querkraft	1	-	-	a _{sw}	6.98	cm ² /m		

Alle Lastfälle

Zwischenergebnisse Rechteck 300/500 - LF1

- Maßgebende Belastung
- Ersatzlänge nach 5.8.3.2
- Schlankheit nach 5.8.3.2
- Grenzschlankheit nach 5.8.3.1 (1)
- Art der Bemessung
- Ausmitten
- Momente nach Theorie I. Ordnung
- Momente nach Theorie II. Ordnung
 - Ausmitte durch Th. II. Ord. nach 5.8.8.2(3)

e _{2,z}	0.0	mm
e _{2,y}	19.9	mm
k _{1,y}	0.0000	
λ _z	34.6410	
1/r _y	0.022	1/m
 - Schlankheit um die z-Achse
 - Krümmung in y-Ebene
 - Gewählter Beiwert (Normalkraft)
 - Errechneter Beiwert (Normalkraft)
 - Grenztragfähigkeit
 - Verhältnis
 - Vorhandene Bewehrung
 - Als vorhandene Bewehrung wurde die erforderliche Bewehrung ange
 - Bemessungswert Streckg
 - Querschnittsfläche
 - Bemessungswert der Betc
 - Relative Normalkraft
 - Aufnehmbare Normalkraft (Bieg)
 - Gewählter Beiwert (Kriechen)
 - Krümmung in y-Ebene
 - Knicklänge
 - Beiwert(Krümmungsverlauf)
- Momente nach Theorie II. Ord.
- Statisch erforderliche Bewehrung
- Mindestbewehrung nach Norm
- Erforderliche Bewehrung

Bild 3.108: Vergleich der Details

Während bei der Ermittlung der Grenzschlankheit λ_{lim} und der Momente nach Theorie II. Ordnung in den Details der Maske 2.1 die tatsächliche zuvor ermittelte Bewehrung angesetzt wird, wird in den Details der Maske 3.1 die statisch erforderliche Bewehrung verwendet.

Danach nehmen die Detailtabellen der beiden Ausgabemasken unterschiedliche Verläufe. In der Detailtabelle der Maske 3.1 wird mit den Momenten nach Theorie II. Ordnung oder den einwirkenden Schnittgrößen aus RFEM bzw. RSTAB die statisch erforderliche Bewehrung ermittelt. Dies geschieht unter dem Haupteintrag *Statisch erforderliche Bewehrung*. Dieser gibt in den einzelnen Zeilen die Dehnungen und Spannungen in den Spannungs- und Bewehrungspunkten an, die sich bei der Bemessung ergeben.

Die Bewehrungspunkte sind die angenommenen Lagen der Schwerpunkte der später eingelegten Bewehrungsstäbe. Diese angenommene Lage wird maßgeblich von der Benutzervorgabe in Maske 1.3 *Bewehrung* beeinflusst (siehe folgendes Bild).

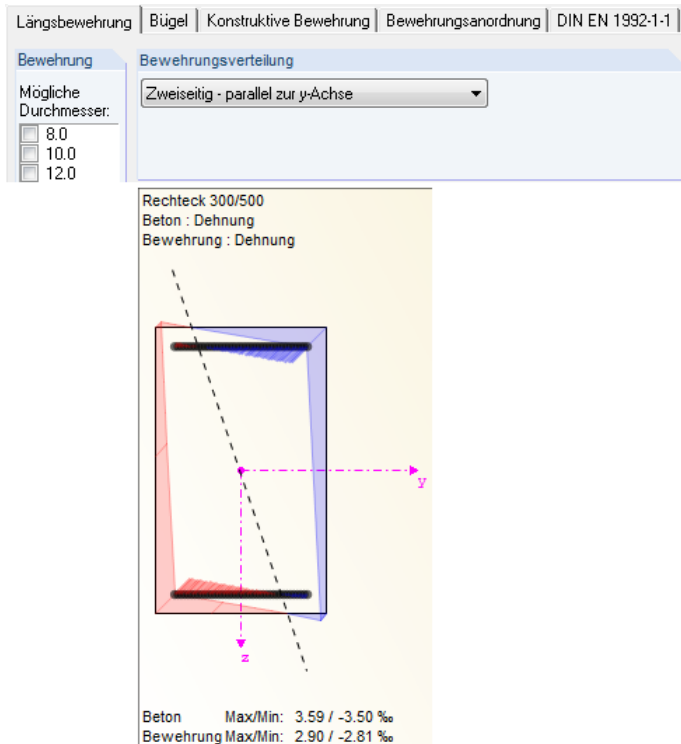


Bild 3.109: Anordnung der Bewehrungspunkte

Zur Betrachtung der Spannungen und Dehnungen in tabellarischer Form stehen die gleichen Möglichkeiten zur Verfügung wie in Maske 2.1 *Nachweise Stäbe*.

Nach der Ermittlung der statisch erforderlichen Bewehrung erfolgt unter dem Haupteintrag *Mindestbewehrung* die Bestimmung dieser Mindestbewehrung. Wie groß diese ausfällt, hängt von den Benutzervorgaben in Maske 1.4 *Bewehrung*, Register „Norm“ ab.

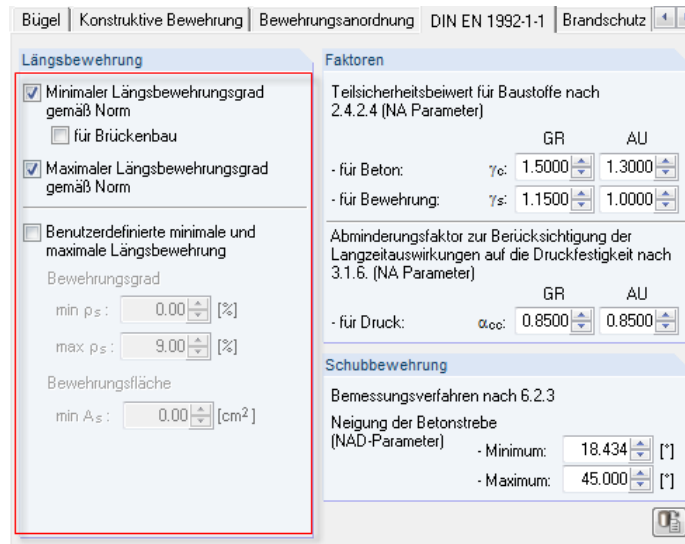


Bild 3.110: Festlegen der Mindestbewehrung in Maske 1.4

Werden die Kontrollfelder im markierten Bereich angehakt, so wird die Mindestbewehrung mit den einwirkenden Schnittgrößen nach folgenden Formeln der einzelnen Normen bestimmt.

DIN EN 1992-1-1 schreibt für die Stütze folgende Mindestbewehrung vor:

$$A_{s,min} = \max (0,10 N_{ed} / f_{yd} , 0,002A_c) \quad 9.5.2(2)$$

EN 1992-1-1 schreibt folgende Mindestbewehrung vor:

$$A_{s,min} = 0,15 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

Je nach Norm erscheinen in der Detailtabelle folgende Zwischenergebnisse zur Bestimmung der Mindestbewehrung:

☐ Mindestbewehrung nach Norm			
<input type="checkbox"/>	Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-875.000 kN
<input type="checkbox"/>	Bemessungswert Streckgrenze	f_{yd}	434.78 N/mm ²
<input type="checkbox"/>	Mindestbewehrung	erf $A_{s,min,1}$	3.02 cm ²

Bild 3.111: Mindestbewehrung nach DIN EN 1992-1-1

☐ Mindestbewehrung nach Norm			
☐ Erste Mindestbewehrung			
<input type="checkbox"/>	Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-875.000 kN
<input type="checkbox"/>	Bemessungswert Streckgrenze	f_{yd}	434.78 N/mm ²
<input type="checkbox"/>	Mindestbewehrung	erf $A_{s,min,1}$	2.01 cm ²
☐ Zweite Mindestbewehrung			
<input type="checkbox"/>	Betonquerschnitt	A_c	1500.00 cm ²
<input type="checkbox"/>	Mindestbewehrung	erf $A_{s,min,2}$	3.00 cm ²
<input type="checkbox"/>	Mindestbewehrung	erf $A_{s,min}$	3.00 cm ²

Bild 3.112: Mindestbewehrung nach EN 1992-1-1

Zudem besteht die Möglichkeit, den Mindestbewehrungsgrad benutzerdefiniert vorzugeben. Die so ermittelte Mindestbewehrung erscheint dann ebenfalls in den Details.

☐ Mindestbewehrungsgrad durch den Benutzer definiert			
<input type="checkbox"/>	Betonquerschnitt	A_c	1500.00 cm ²
<input type="checkbox"/>	Mindestbewehrungsgrad	Min A_s	0.30 %
<input type="checkbox"/>	Querschnittsfläche	erf $A_{s,min}$	4.50 cm ²

Bild 3.113: Benutzerdefinierte Mindestbewehrung

Unter dem letzten Haupteintrag *Erforderliche Bewehrung* der Detailtabelle wird abgewogen, welche die größere Bewehrung aus statisch erforderlicher Bewehrung und Mindestbewehrung ist. Die größere der beiden Bewehrungen wird dann als erforderliche Bewehrung in der entsprechenden Zeile der oberen Tabelle ausgegeben.

☐ Erforderliche Bewehrung			
<input type="checkbox"/>	Statisch erforderliche Bewehrung	erf $A_{s,stat}$	5.65 cm ²
<input type="checkbox"/>	Benutzerdefinierte Mindestbewehrung	erf $A_{s,mindef}$	4.50 cm ²
<input type="checkbox"/>	Erforderliche Bewehrung	erf A_s	5.65 cm ²

Bild 3.114: Erforderliche Bewehrung

Auch in Maske 3.1 *Erforderliche Bewehrung querschnittsweise* steht das Kontrollfeld *Alle Lastfälle* zur Verfügung. Wird dieses angehakt, so erscheint in der oberen Tabelle die erforderliche Bewehrung für jeden Lastfall bzw. jede Kombination. Sie ist nach Querschnitten geordnet.

3.1 Erforderliche Bewehrung querschnittsweise							
Querschn Nr.	A Bewehrung	B Stab Nr.	C Stelle x [m]	D LF / LK EK	E		H Fehlermeldung bzw. Hinweis
					Bewehrungs- Fläche	Einheit	
1	Rechteck 40/45						
	Längs	1	6.200	LK2	A_s	30.78 cm ²	
	Querkraft	1	-	-	a_{sw}	4.19 cm ² /m	
1	Rechteck 40/45						
	Längs	1	0.000	LK3	A_s	15.21 cm ²	
	Querkraft	1	-	-	a_{sw}	4.19 cm ² /m	
1	Rechteck 40/45						
	Längs	1	0.000	LK4	A_s	27.08 cm ²	
	Querkraft	1	-	-	a_{sw}	4.19 cm ² /m	



Alle Lastfälle  

Bild 3.115: Anzeigen der Ergebnisse für Alle Lastfälle

Die im Bild oben dargestellte Tabelle zeigt, dass ein Rechteckquerschnitt untersucht wurde. Der Querschnitt *Rechteck 40/45* wird im Stab Nr. 1 verwendet. Dies wird in Spalte **B** ersichtlich. Zur Bemessung wurden in Maske *1.1 Basisangaben* die Lastkombinationen LK2, LK3 und LK4 ausgewählt.

Für jede der drei Lastkombinationen wird eine Zeile mit der jeweils erforderlichen Bewehrung ausgegeben. Diese Bewehrung ist in Spalte **F** zu finden. In diesem Beispiel ist gut zu erkennen, welche Belastung tatsächlich zur höchsten Bewehrung führt und somit maßgebend ist.

Zum Vergleich wird nur die Bewehrung für die maßgebende Belastung dargestellt, indem das Häkchen im Kontrollfeld *Alle Lastfälle* entfernt wird:

3.1 Erforderliche Bewehrung querschnittsweise

Querschn. Nr.	A	B	C	D	E	F	G	H
	Bewehrung	Stab Nr.	Stelle x [m]	LF / LK EK		Bewehrungs- Fläche	Einheit	Fehlemeldung bzw. Hinweis
1	Rechteck 40/45							
	Längs	1	6.200	LK2	A _s	30.78	cm ²	
	Querkraft	1	-	-	a _{sw}	4.19	cm ² /m	

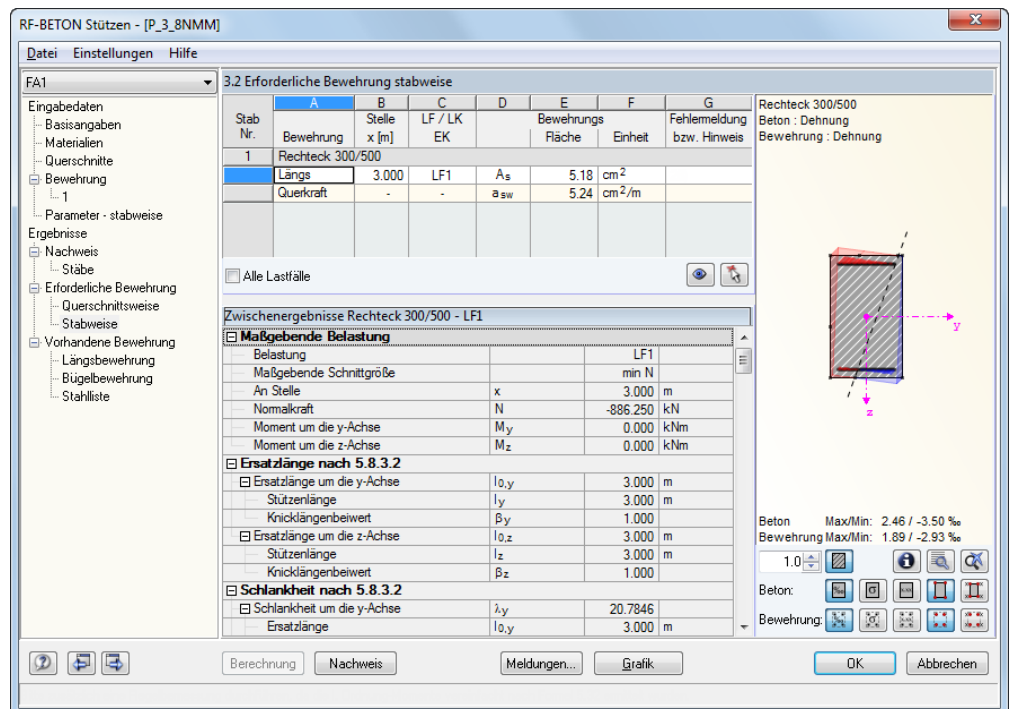
Alle Lastfälle

Bild 3.116: Darstellung der maßgebenden Belastung

Die Bemessungsdetails der erforderlichen Querkraftbewehrung können in gleicher Weise in der Detailtabelle unterhalb kontrolliert werden. Eine ausführliche Beschreibung der Querkraftnachweise für die unterschiedlichen Normen finden Sie im Kapitel 2.6 ab Seite 43.

3.5.3 Maske 3.2 Erforderliche Bewehrung stabweise

Diese Maske unterscheidet sich nur dadurch von der vorherigen Maske, dass in der Spalte links anstelle der Querschnittsnummer die Nummer des Stabes angegeben ist. Auf gleicher Höhe erscheint die Bezeichnung des für diesen Stab verwendeten Querschnitts. Ansonsten sind in jeder Zeile die im vorherigen Kapitel 3.5.2 beschriebenen Angaben zu finden.



RF-BETON Stützen - [P_3_8NMM]

3.2 Erforderliche Bewehrung stabweise

Stab Nr.	A	B	C	D	E	F	G
	Bewehrung	Stelle x [m]	LF / LK EK		Bewehrungs- Fläche	Einheit	Fehlemeldung bzw. Hinweis
1	Rechteck 300/500						
	Längs	3.000	LF1	A _s	5.18	cm ²	
	Querkraft	-	-	a _{sw}	5.24	cm ² /m	

Alle Lastfälle

Zwischenergebnisse Rechteck 300/500 - LF1

Maßgebende Belastung

Belastung		LF1
Maßgebende Schnittgröße		min N
An Stelle	x	3.000 m
Normalkraft	N	-886.250 kN
Moment um die y-Achse	M _y	0.000 kNm
Moment um die z-Achse	M _z	0.000 kNm

Ersatzlänge nach 5.8.3.2

Ersatzlänge um die y-Achse	l _{0,y}	3.000 m
Stützenlänge	l _y	3.000 m
Knicklängenbeiwert	β _y	1.000
Ersatzlänge um die z-Achse	l _{0,z}	3.000 m
Stützenlänge	l _z	3.000 m
Knicklängenbeiwert	β _z	1.000

Schlankheit nach 5.8.3.2

Schlankheit um die y-Achse	λ _y	20.7846
Ersatzlänge	l _{0,y}	3.000 m

Rechteck 300/500
Beton : Dehnung
Bewehrung : Dehnung

Beton Max/Min: 2.46 / -3.50 ‰
Bewehrung Max/Min: 1.89 / -2.93 ‰

1.0

Beton: [Buttons]
Bewehrung: [Buttons]

Berechnung Nachweis Meldungen... Grafik OK Abbrechen

Bild 3.117: Maske 3.2 Erforderliche Bewehrung stabweise

3.5.4 Maske 4.1 Vorhandene Längsbewehrung

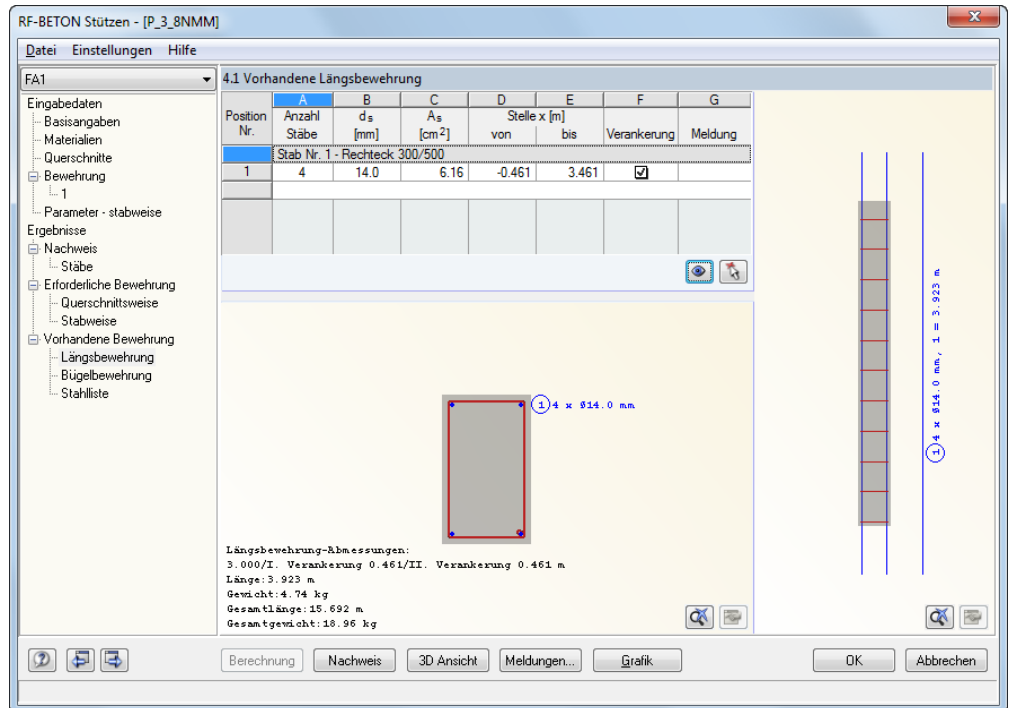


Bild 3.118: Maske 4.1 Vorhandene Längsbewehrung

Diese Maske enthält einen Vorschlag, wie die erforderliche Bewehrung als Längsbewehrung in den Stützen realisiert werden kann. In einer Tabelle werden für jeden Stab die erforderlichen „Positionen“ angegeben. Eine durchgehende, eingefärbte Zeile enthält die Nummer des Stabes und den verwendeten Querschnitt. Unterhalb dieser Zeile befinden sich dann die zugehörigen Positionen dieses Stabes.



Die vom Programm vorgeschlagene Längsbewehrung kann bei Bedarf angepasst werden.

Die Positionsnummer befindet sich in der ersten, grau hinterlegten Spalte dieser Tabelle. Die Spalte **A** gibt Auskunft über die Anzahl der Stäbe, die diese Position enthält. Klickt man in eine Zelle dieser Spalte, so erscheint eine Schaltfläche mit drei Punkten.

Position Nr.	A Anzahl Stäbe	B d _s [mm]	C A _s [cm ²]	D Stelle x [m] von	E bis	F Verankerung	G Meldung
Stab Nr. 1 - Rechteck 300/500							
1	4	14.0	6.16	-0.461	3.461	<input checked="" type="checkbox"/>	

Bild 3.119: Anzahl der Stäbe einer Position

Klickt man auf diese Schaltfläche, so öffnet sich der Dialog *Längsbewehrung bearbeiten*. Dieser Dialog wird auf der nächsten Seite vorgestellt.

Die Spalte **B** enthält in jeder Zelle eine Liste, aus der ein anderer Stabdurchmesser d_s für die aktuelle Position ausgewählt werden kann (siehe folgendes Bild).

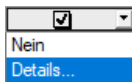
4.1 Vorhandene Längsbewehrung

Position Nr.	A Anzahl Stäbe	B d _s [mm]	C A _s [cm ²]	D Stelle x [m]		E Verankerung	F Meldung
				von	bis		
Stab Nr. 1 - Rechteck 300/500							
1	4	14.0	6.16	-0.461	3.461	<input checked="" type="checkbox"/>	

Bild 3.120: Ändern des Stabdurchmessers einer Position

Die Ausgabe der Spalten C und D ist unveränderbar. Dort finden sich die Stellen x als Längen der Bewehrung, die sich aus der Verankerung ergeben. Sie sind auf den Stützenanfang bezogen.

Das Kontrollfeld in Spalte E steuert, ob eine *Verankerung* der Längsbewehrung berücksichtigt werden soll. Diese Option ist für den Bewehrungsvorschlag voreingestellt. Beim Klick auf die Schaltfläche [▼] erscheint die links dargestellte Liste. Über den Eintrag *Details* kann der Dialog *Längsbewehrung bearbeiten* aufgerufen werden, der u. a. die Angaben zu den Verankerungen verwaltet.



Längsbewehrung bearbeiten | Stab Nr. 1, Position Nr. 1

Nachweis Bewehrungsstäbe statisch wirksam

Durchmesser der Bewehrung D: 14.0 [mm]

Lage und Länge

x von: 0.000 [m] Länge ohne Verankerung: 3.000 [m]
 bis: 3.000 [m] Länge mit Verankerung: 3.923 [m]
 Länge: 3.000 [m] Gesamtlänge: 15.692 [m]

Verankerungen

Anfang: Gerade | Verbund: gut | Verankerter Anteil: 100.00 [%]
 Ende: Gerade | Verbund: gut | Verankerter Anteil: 100.00 [%]

Verankerungslänge: I-1: 0.461 | I-2: 0.000 | Gesamt: 0.461 [m] | Biegerollendurchmesser d-br: 0.000 [m]

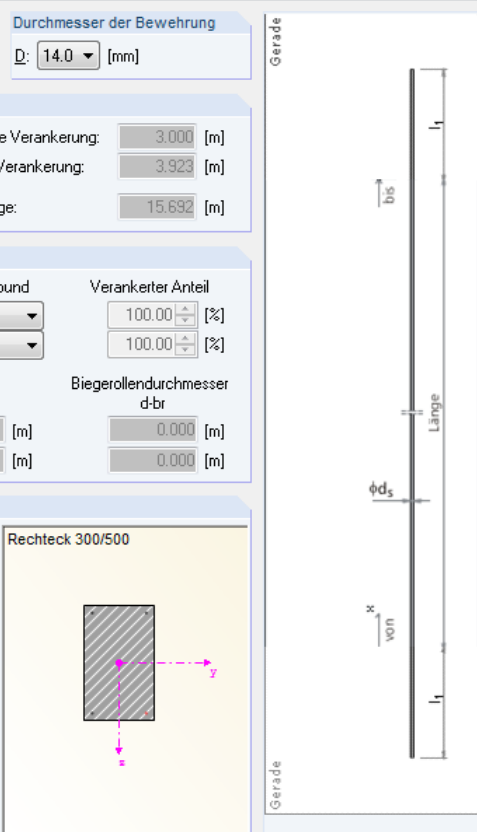
Lage des Bewehrungsstabes

Anzahl: 4

Stabkoordinaten und Hakendrehung:

Nr.	A Koordinaten		C Hakendrehung β [°]
	y [mm]	z [mm]	
1	116.0	216.0	-90.000
2	116.0	-216.0	-90.000
3	-116.0	-216.0	90.000
4	-116.0	216.0	90.000

Rechteck 300/500



OK | Abbrechen

Bild 3.121: Dialog *Längsbewehrung bearbeiten*

Im Abschnitt *Durchmesser der Bewehrung* befindet sich eine Liste, über die ein anderer Durchmesser für die Bewehrungsstäbe dieser Position bestimmt werden kann. Diese Eingabe ist identisch mit der Auswahl in Spalte **B** der Maske *4.1 Vorhandene Längsbewehrung*.

Während des Auslegungsprozesses wird neben der statisch erforderlichen Bewehrung oft noch eine konstruktive Zwischenbewehrung ermittelt, um den Abstand zwischen den einzelnen Bewehrungsstäben nicht größer als zulässig werden zu lassen. Für den Nachweis der Biegebruchsicherheit in Maske *2.1 Nachweis Stäbe* wird diese konstruktive Bewehrung vom Programm automatisch mit angesetzt. Es können aber auch bestimmte Positionen für den Nachweis der vorhandenen Sicherheit deaktiviert werden, indem der Haken im Kontrollfeld *Bewehrungsstäbe statisch wirksam* entfernt wird.

Um die Änderungen wirksam werden zu lassen, ist der Dialog mit [OK] zu bestätigen. Dabei erscheint folgende Meldung:

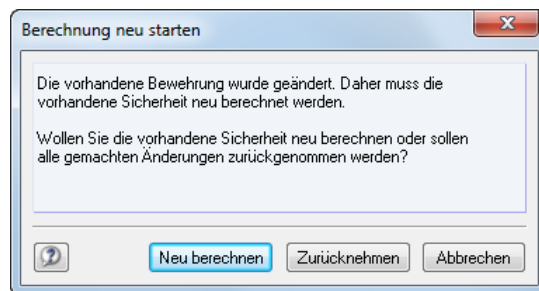


Bild 3.122: Dialog *Berechnung neu starten*

Mit [Neu berechnen] werden sämtliche Nachweise der Maske *2.1 Nachweise Stäbe* erneut mit der geänderten Längsbewehrung (und der vorhandenen Querkraftbewehrung der Maske *4.2 Vorhandene Querkraftbewehrung*) geführt.

Über [Zurücknehmen] werden alle Veränderungen, die im Dialog *Längsbewehrung bearbeiten* vorgenommen wurden, zurückgesetzt.

Mit [Abbrechen] erscheint die Maske *4.1 Vorhandene Längsbewehrung* erneut. Alle Eingaben im Dialog *Längsbewehrung bearbeiten* sind unverändert vorhanden.

Im Dialog *Längsbewehrung bearbeiten* ist noch der Abschnitt **Verankerungen** zu erläutern.

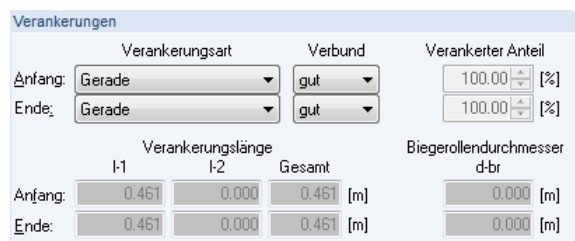


Bild 3.123: Abschnitt *Verankerungen*

Es stehen zwei identische Listen zur Bestimmung der Verankerungsart jeweils für den Stützenanfang und das Stützenende zur Verfügung:

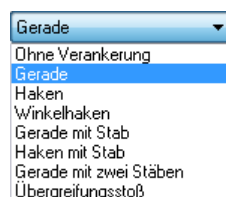


Bild 3.124: Verankerungsart

Je nach gewählter Verankerungsart werden die erforderlichen Längen $l-1$, $l-2$ und $l-3$ der Verankerungen in den grau unterlegten Textfeldern ausgegeben. Die Verankerung wird zudem zur besseren Verständlichkeit in der rechtseitigen Grafik dargestellt.

Ferner kann in diesem Dialog die Lage der vorhandenen Bewehrungsstäbe angepasst werden. Im Abschnitt **Lage des Bewehrungsstabes** können in einer Tabelle die y - und z -Koordinaten eines jeden Bewehrungsstabes sowie dessen Drehung um die Längsachse geändert werden.

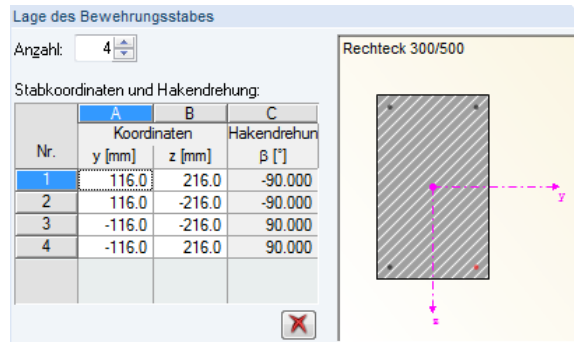


Bild 3.125: Abschnitt *Lage des Bewehrungsstabes*

Rechts neben der Tabelle befindet sich eine interaktive Grafik. Jeder Bewehrungsstab, dessen Zeile durch Anklicken in der Tabelle markiert wird, wird in der Grafik rot hervorgehoben.

3.5.5 Maske 4.2 Vorhandene Bügelbewehrung

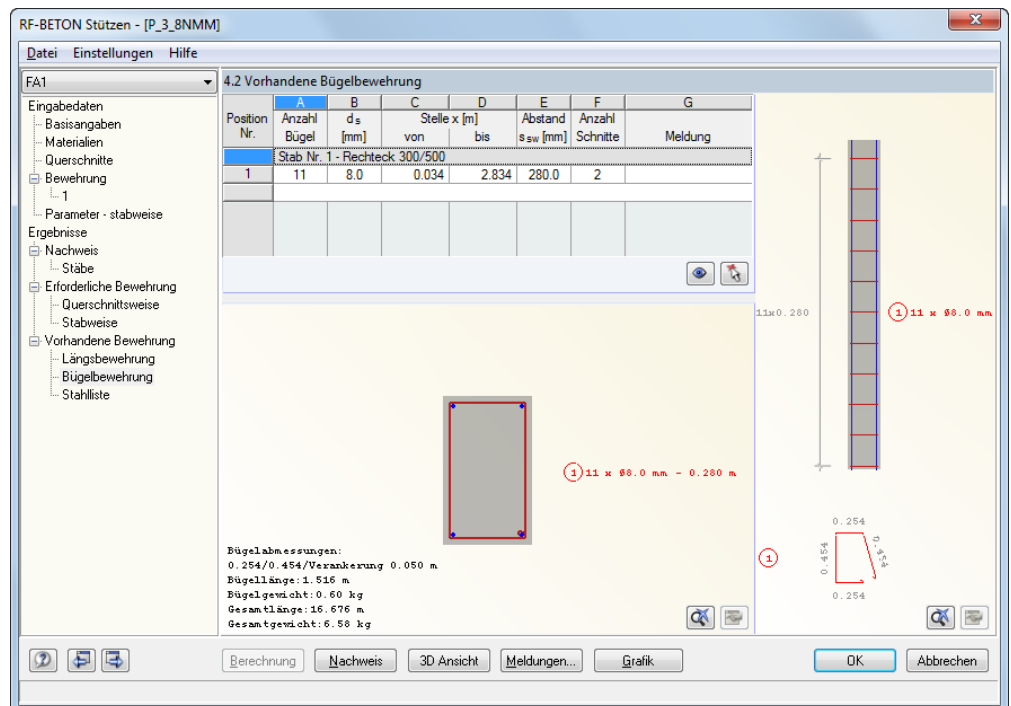


Bild 3.126: Maske 4.2 *Vorhandene Bügelbewehrung*

In einer Tabelle werden für jeden Stab zeilenweise Positionen der Bügelbewehrung ausgegeben.

Eine *Position* wird durch die Anzahl der Bügel (Spalte A), den Bügeldurchmesser d_s (Spalte B), den Bügelabstand s_{sw} (Spalte E) und die Schnittigkeit (Spalte F) definiert.

Besondere Bedeutung kommen den Spalten **C** und **D** *Stelle x* zu. In Spalte D wird der Abstand des ersten Bügels vom Stützenanfang in Metern angegeben. In Spalte E findet sich die x -Stelle

des letzten Bügels. Die Stellen x beziehen sich auf die x -Achse des lokalen Stabkoordinatensystems, das an einem Knoten des Stabes seinen Anfang hat.

Die Bügelanordnung lässt sich anhand eines Beispiels erklären.

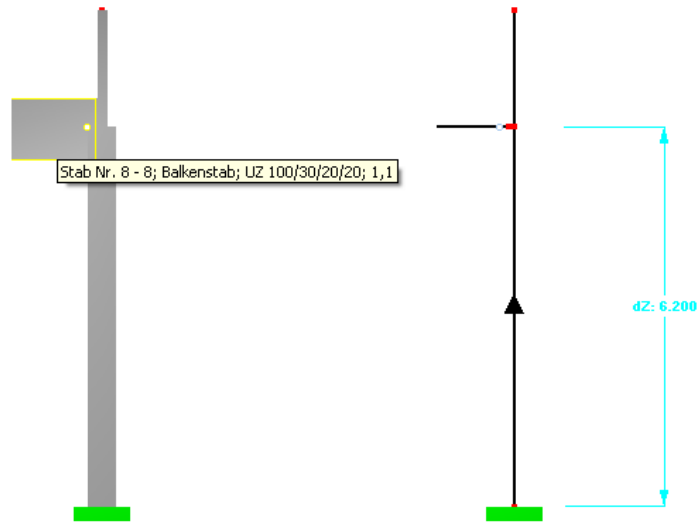


Bild 3.127: Darstellung einer Stütze im Rendering und im Schwerelinienmodell

An die zur Bemessung ausgewählte Stütze schließt links ein Balken an. Bügel werden deshalb nur vom Stützenanfang (Auflager) bis zur Unterkante des Balkens geführt. Der Balken besitzt eine Höhe von 100 cm. Bügel sind demnach auf einer effektiven Länge von 5,70 m zu verteilen. Diese Länge ergibt sich, indem von der Systemlänge der Stütze (6,20 m) die halbe Balkenhöhe (0,50 m) abgezogen wird.

Beginnend am Stützenanfang (Auflager) werden die Bügel im maximal zulässigen Abstand angeordnet. Der erste Bügel wird dabei in einem Abstand positioniert, der der größten seitlichen Betondeckung entspricht.

Nun werden nacheinander weitere Bügel im gleichen Abstand angeordnet, bis die zuvor ermittelte effektive Länge von 5,70 m überschritten wird. Da der letzte Bügel nicht möglich ist, wird dieser dann wieder zurückgenommen. Es ergibt sich folgende Bügelverteilung:

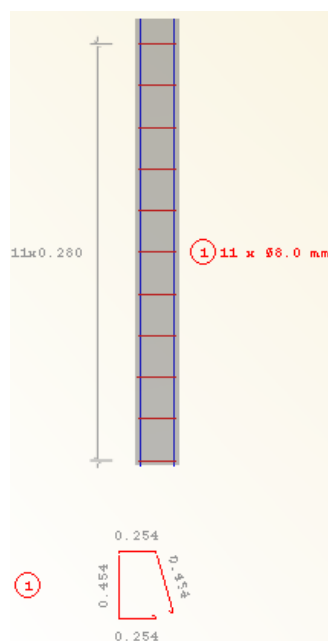


Bild 3.128: Darstellung der Bügelverteilung

Die Bügelverteilung kann bereits bei der Eingabe in Maske 1.5 Stützenparameter - stabweise beeinflusst werden.

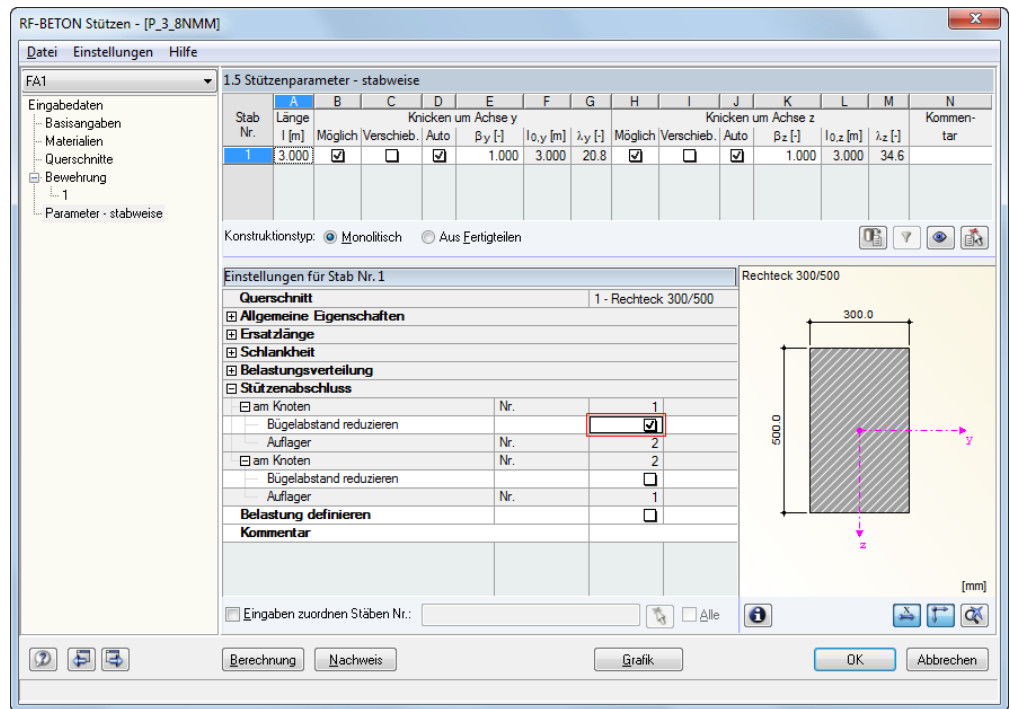


Bild 3.129: Maske 1.5 Stützenparameter - stabweise

Wird wie im Bild oben gezeigt für einen Stab am Stützenabschluss (Knoten) die Option *Bügelabstand reduzieren* aktiviert, so wird auf einer bestimmten Länge an dieser Stabseite der zuvor ermittelte Bügelabstand mit dem Faktor 0,6 multipliziert. Damit erhält die Bügelbewehrung eine zusätzliche Position mit reduziertem Abstand im auflagnahen Bereich:

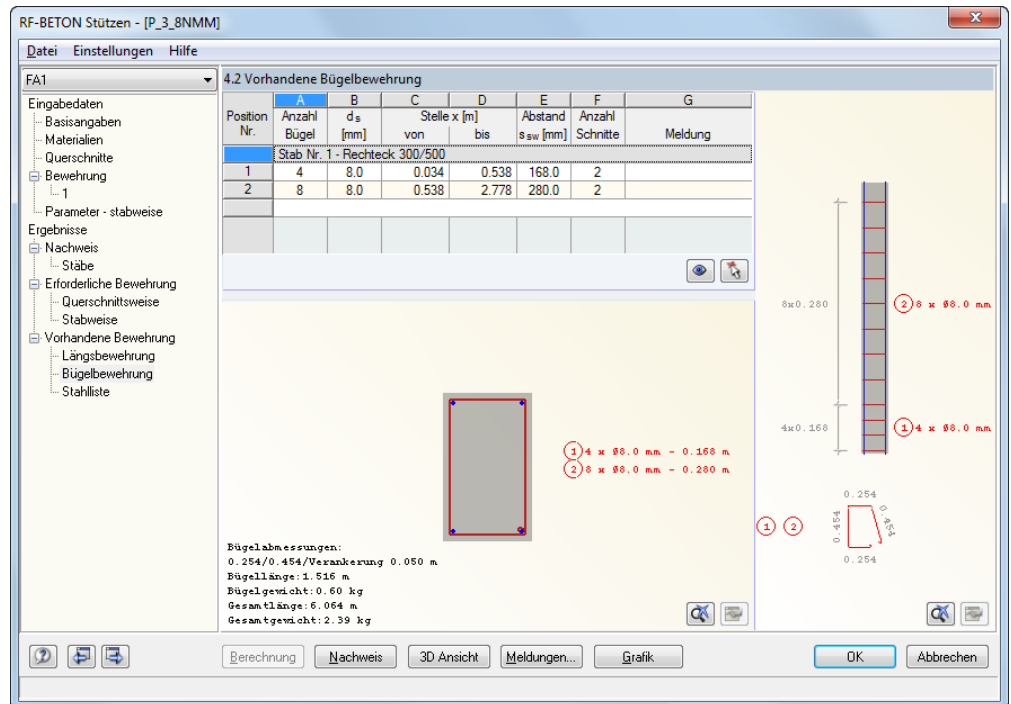


Bild 3.130: Maske 4.1 Vorhandene Bügelbewehrung

In den Spalten D und E ist zu sehen, dass das Ende des Verlegebereichs für Position 1 an derselben Stelle x ist wie der Anfang des Verlegebereichs der Position 2.

4.2 Vorhandene Bügelbewehrung				
Position Nr.	A Anzahl Bügel	B d _s [mm]	C Stelle x [m] von	D Stelle x [m] bis
Stab Nr. 1 - Rechteck 300/500				
1	4	8.0	0.034	0.538
2	8	8.0	0.538	2.778

Bild 3.131: Anfang und Ende des Verlegebereichs

Ändert man nun das Ende des Verlegebereichs der Position 2 von 2,778 m auf 2,00 m (ergibt umgerechnet 1,938 m), so wird der restliche Bereich mit einer weiteren Position gefüllt. In Spalte G wird die Meldung 29 angezeigt, dass die vorhandene Bewehrung geändert wurde.

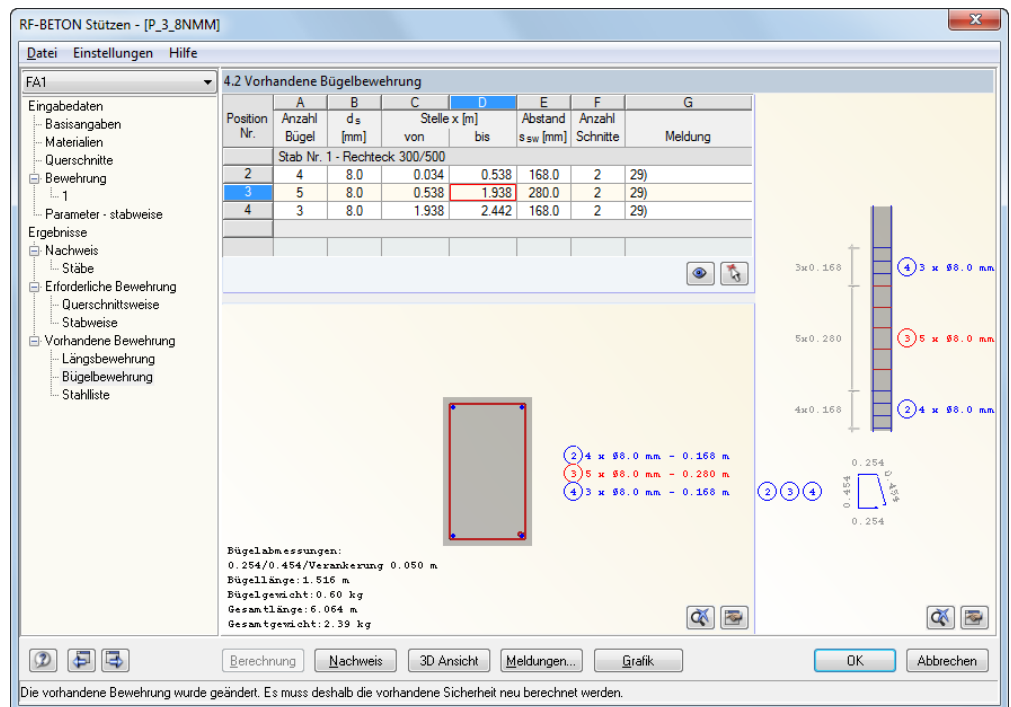


Bild 3.132: Maske 4.2 Vorhandene Bügelbewehrung

Über die Schaltfläche [Bearbeiten] ist es möglich, verschiedene Veränderungen einer Position vornehmen.



Bild 3.133: Schaltfläche [Bearbeiten]

Es erscheint der Dialog *Bügelbewehrung bearbeiten*, in dem der Abstand, der Durchmesser und die Schnitte der aktuellen Position angepasst werden können (siehe folgendes Bild).

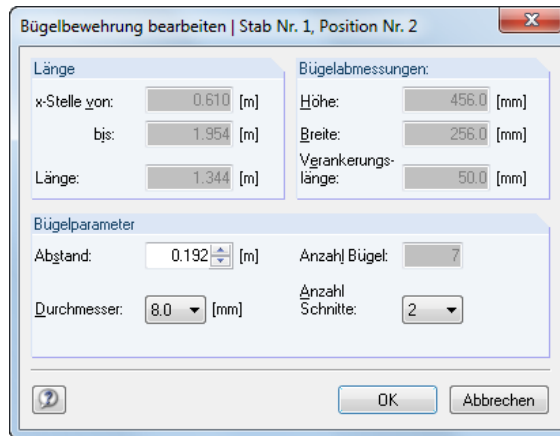


Bild 3.134: Dialog *Bügelbewehrung bearbeiten*

3D Ansicht

In den Masken 4.1 *Vorhandene Längsbewehrung* und 4.2 *Vorhandene Bügelbewehrung* wird am unteren Rand die Schaltfläche [3D Ansicht] angeboten. Sie ruft ein neues Fenster auf, in dem die Längs- und Querkraftbewehrung in dreidimensionaler Darstellung zu sehen sind.

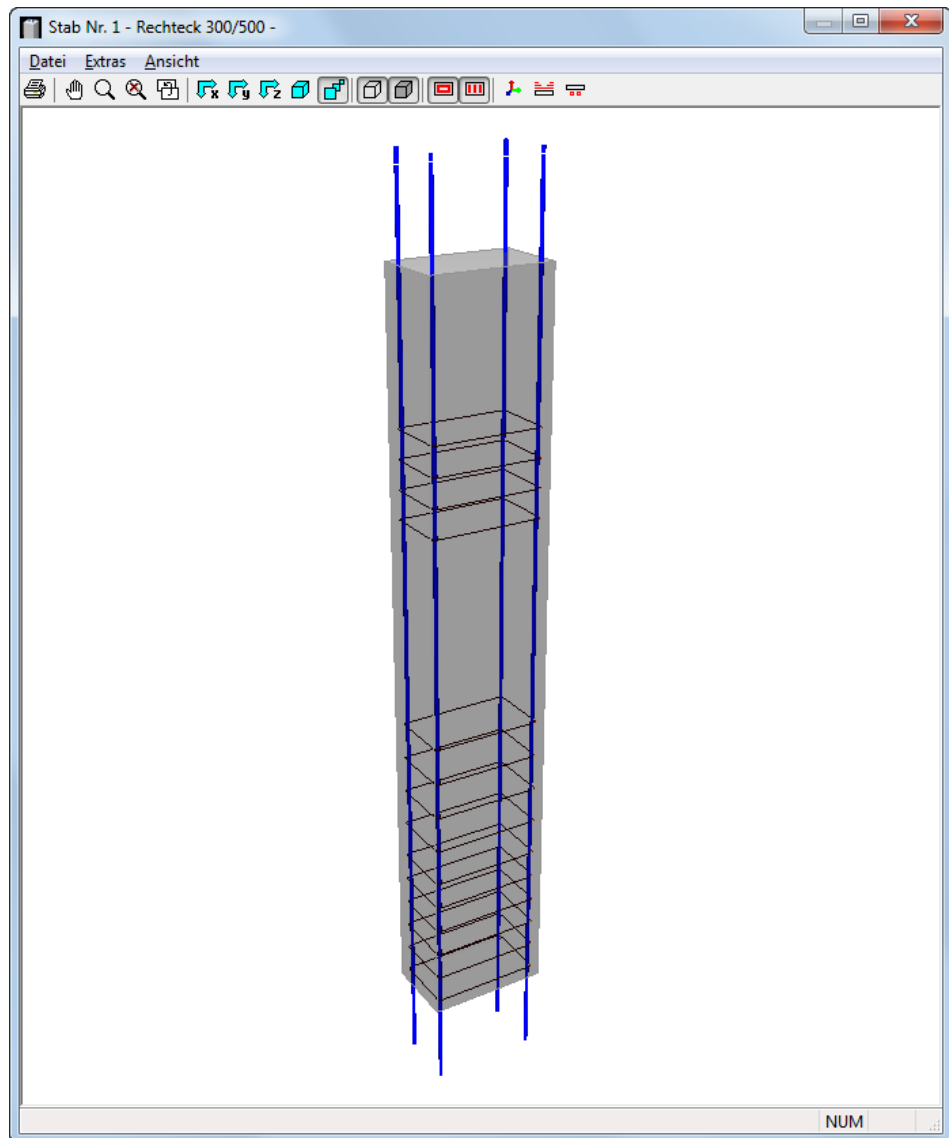


Bild 3.135: 3D-Ansicht der Bewehrung

Mit den Schaltflächen in der Symbolleiste kann die Grafik angepasst werden. Deren Funktion ist im Bild 3.138 kurz erklärt.

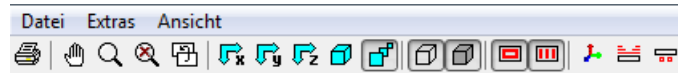


Bild 3.136: Schaltflächen

Über die Schaltfläche [Drucken] wird der Dialog *Grafikausdruck* aufgerufen:

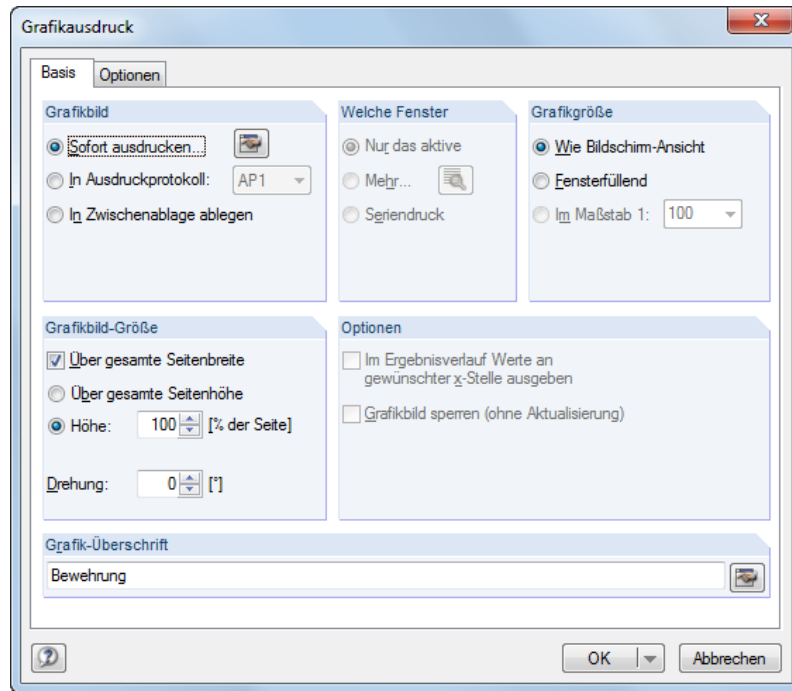


Bild 3.137: Dialog *Grafikausdruck*

Dieser Dialog ist aus RFEM bzw. RSTAB bekannt. Mit den beiden Möglichkeiten im Abschnitt *Grafikbild* kann festgelegt werden, ob die 3D-Grafik sofort ausgedruckt oder in das Ausdruckprotokoll übernommen werden soll.

Für jede Schaltfläche zur Steuerung der 3D-Ansicht gibt es eine kontextsensitive Hilfe. Sie erscheint, wenn man mit der Maus eine Weile über einer Schaltfläche verweilt.

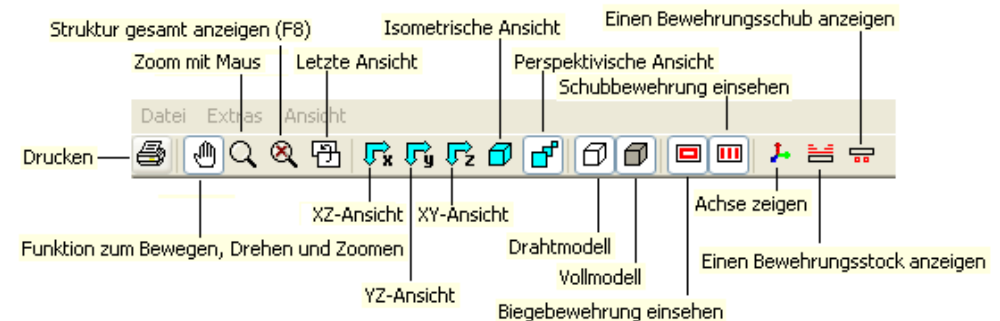


Bild 3.138: Funktion der Schaltflächen (kontextsensitive Hilfe)

Am einfachsten probiert man diese Schaltflächen aus und beobachtet die Veränderungen in der grafischen Darstellung.

4. Ergebnisauswertung

4.1 Ergebnisdarstellung in RFEM/RSTAB

Um die Ergebnisse im Arbeitsfenster von RFEM bzw. RSTAB an den Stützen darzustellen, muss zunächst in der Liste der Bemessungsfall von **RF-/BETON Stützen** ausgewählt werden.

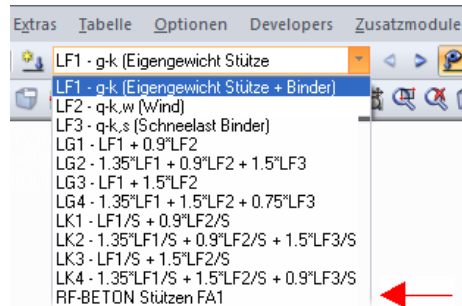


Bild 4.1: Bemessungsfall von RF-BETON Stützen in RFEM auswählen

Zudem ist sicherzustellen, dass im *Zeigen*-Navigator ein Haken zur Darstellung der Ergebnisse und somit des *Ergebnisse*-Navigators gesetzt ist.

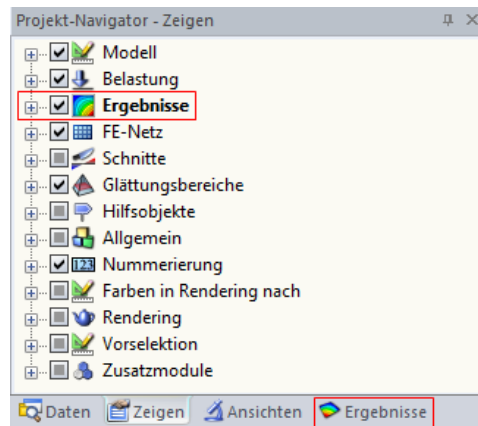


Bild 4.2: Darstellen der Ergebnisse

Anschließend ist der *Ergebnisse*-Navigator zu aktivieren.

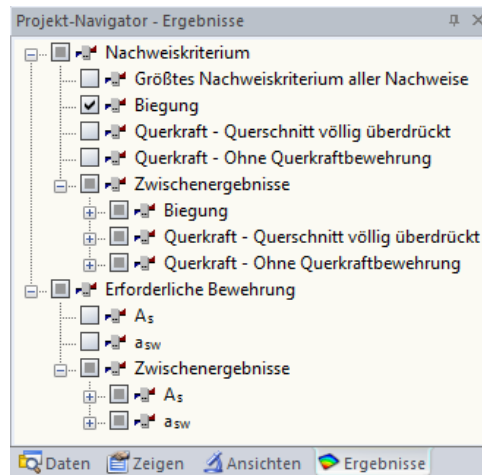


Bild 4.3: *Ergebnisse*-Navigator

Auf den obersten Darstellungsebenen dieses Navigators existieren die Haupteinträge *Nachweiskriterium* und *Erforderliche Bewehrung*.

Unter dem Eintrag *Nachweiskriterium* finden sich die Ergebnisse der beiden Ausgabemasken *2.1 Nachweis Stäbe* bzw. *2.2 Nachweis Stabsätze*.

Der Haupteintrag *Erforderliche Bewehrung* enthält die Ergebnisse der Ausgabemasken *3.1 Erforderliche Bewehrung querschnittsweise* bzw. *3.2 Erforderliche Bewehrung stabweise*.

Auf der nächsten Darstellungsebene sind zunächst die einzelnen Nachweise aufgeführt. Wird eines der Kontrollfelder aktiviert, so erscheint das Nachweiskriterium dieses Nachweises für die zur Bemessung ausgewählten Stützen.

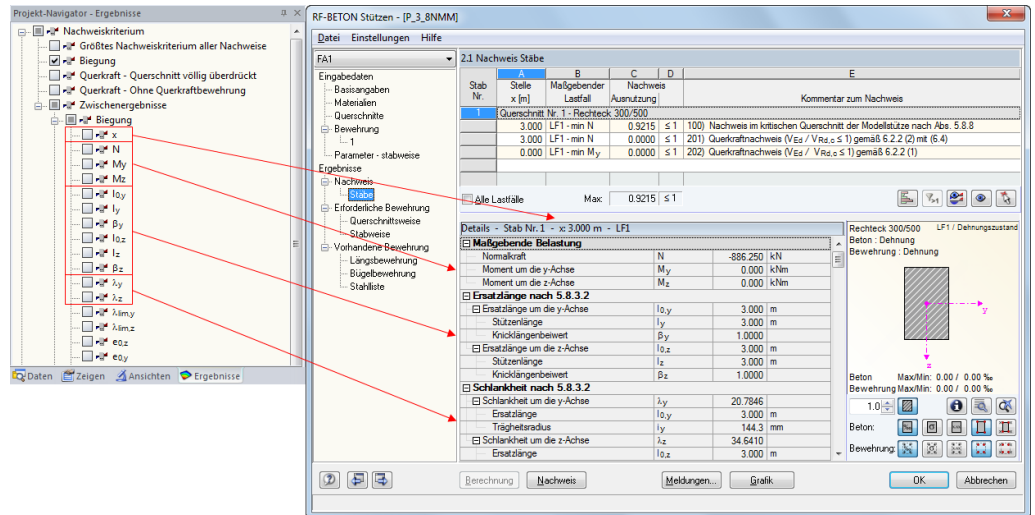


Bild 4.4: Darstellung des Nachweiskriteriums und der Zwischenergebnisse

Unter dem Eintrag *Zwischenergebnisse* finden sich getrennt für die einzelnen Nachweise die gleichen Werte wie in der Detailtabelle des jeweiligen Nachweises.

In der RFEM- bzw. RSTAB-Grafik wird der ausgewählte Wert – z. B. das Nachweiskriterium für die Biegebruchsicherheit – als einzelner Strich senkrecht zur Stütze an jeder Stelle dargestellt, an der der Nachweis geführt wurde.

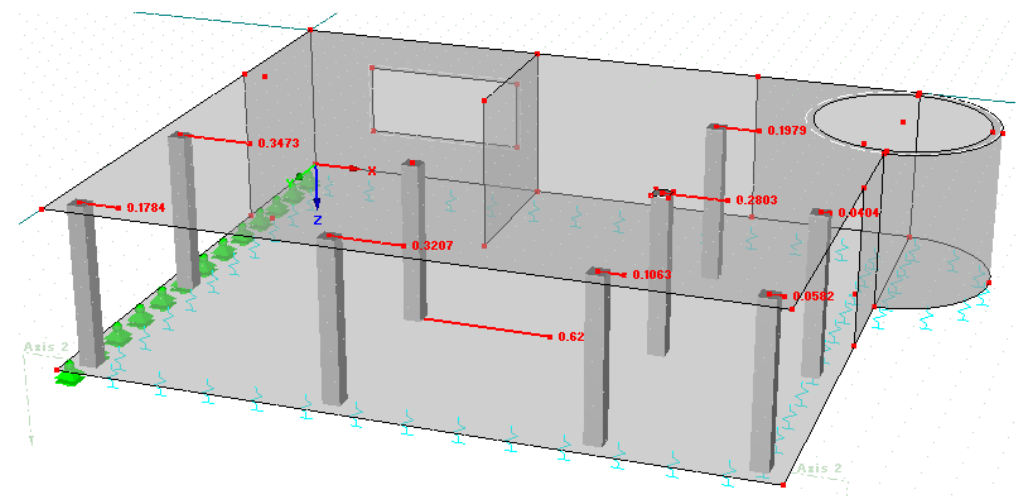


Bild 4.5: Darstellung des Nachweiskriteriums

Es können auch mehrere Ergebnisarten im Arbeitsbereich von RFEM dargestellt werden. Dem Ergebnis, das man im Navigator durch Anhaken zur Darstellung auswählt, wird dann im *Panel* eine Farbe zugeordnet.

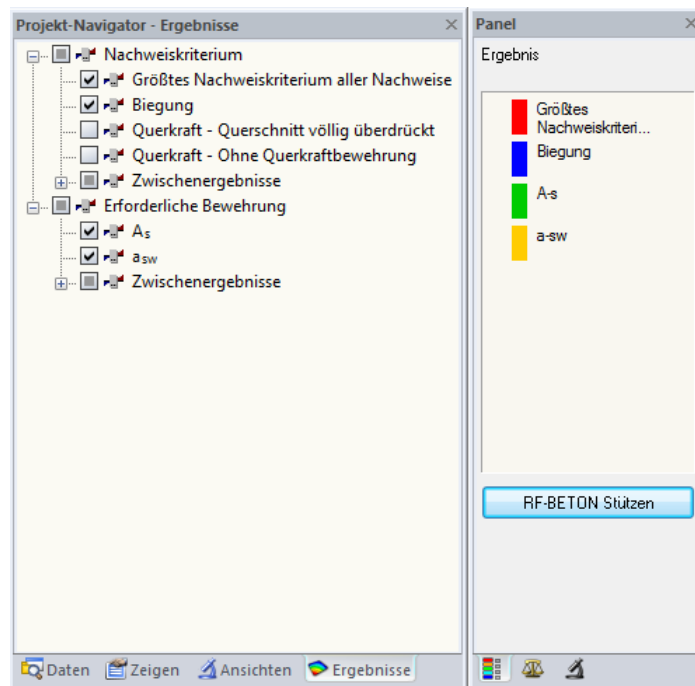


Bild 4.6: Zusammenhang zwischen *Ergebnisse*-Navigator und *Panel*

Gleichzeitig können bis zu acht verschiedene Werte als farbliche Verläufe angezeigt werden. Im mittleren Register des Steuerpanels ist für die Stabverläufe ein Drehfeld verfügbar.

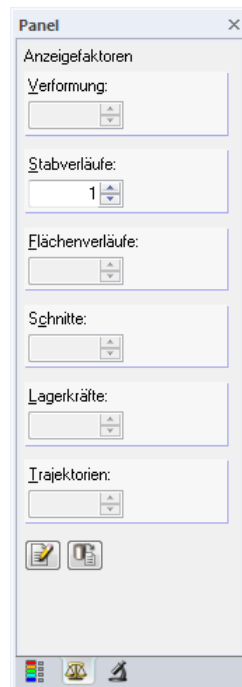


Bild 4.7: Steuerpanel-Register *Anzeigefaktoren*

Damit kann die Skalierung des grafischen Werteverlaufs angepasst werden.

Im letzten Register des Steuerpanels besteht die Möglichkeit, die Anzahl der dargestellten Stäbe zu reduzieren.

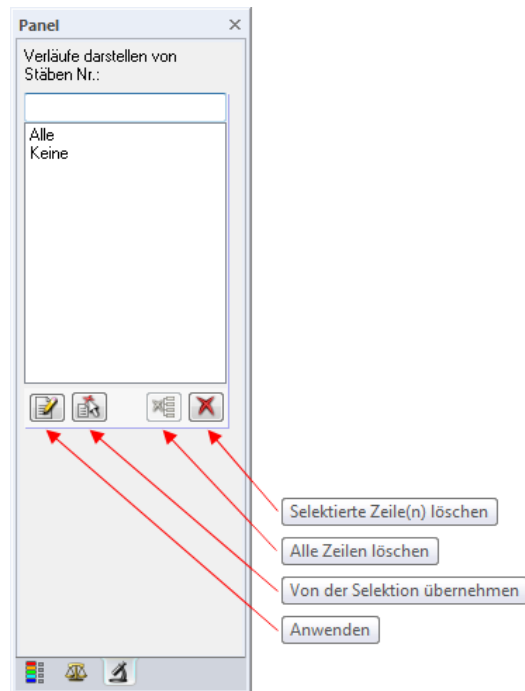


Bild 4.8: Steuerpanel-Register *Filter*

In das Textfeld oberhalb der Liste können die Nummern der Stäbe eingetragen werden, deren Ergebnisverläufe angezeigt werden sollen. Diese Vorgabe wird mit der Schaltfläche [Anwenden] wirksam. Damit werden die ausgewählten Stäbe auch in die Liste der übrigen Selektionen übernommen. Es werden ausschließlich die Ergebnisverläufe an diesen Stützen dargestellt.

Sind im Arbeitsfenster von RFEM bzw. RSTAB bereits eine oder mehrere Stützen selektiert, so können diese mit der Schaltfläche [Von der Selektion übernehmen] ebenfalls in die Liste übernommen werden.

Mit den Schaltflächen [Markierte Zeile(n) löschen] und [Alle Zeilen löschen] können eine, beliebig viele bzw. alle vom Benutzer angelegten Zeilen gelöscht werden.

4.2 Ausdruck

Es gibt drei Möglichkeiten, das Ausdruckprotokoll zu öffnen:

- Schaltfläche [Aktives Ausdruckprotokoll] in der Symbolleiste

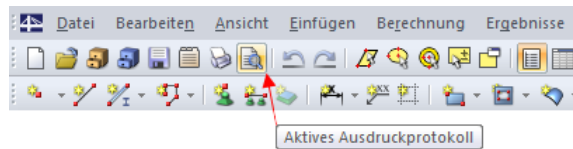


Bild 4.9: Schaltfläche [Aktives Ausdruckprotokoll]

- Menü **Datei** → **Ausdruckprotokoll öffnen**

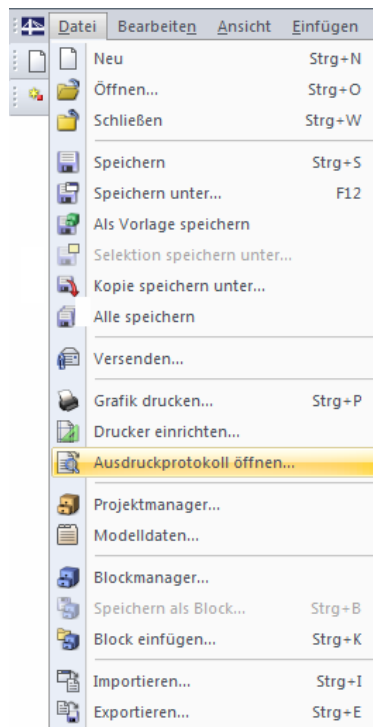


Bild 4.10: Datei → Ausdruckprotokoll öffnen

- Kontextmenü *Ausdruckprotokolle* im *Daten-Navigator*

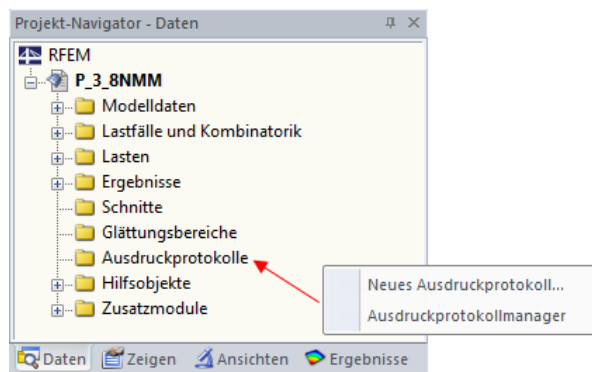


Bild 4.11: Kontextmenü im *Daten-Navigator*

Dieses Kontextmenü wird durch einen Klick mit der rechten Maustaste auf den Eintrag *Ausdruckprotokolle* aktiviert.

Es erscheint folgender Dialog:

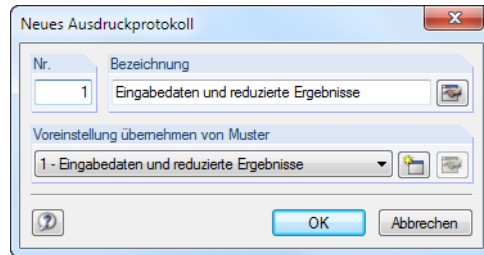


Bild 4.12: Dialog *Neues Ausdruckprotokoll*

Die Nummer des Protokolls wird automatisch vergeben, kann aber im Eingabefeld *Nr.* geändert werden. Im Eingabefeld *Bezeichnung* lässt sich ein Name für das Protokoll angeben, der die Auswahl in den Listen erleichtert. Diese Bezeichnung erscheint nicht im Ausdruck.

Aus der Liste unter *Voreinstellung übernehmen von Muster* kann ein bestimmtes Musterprotokoll als Vorlage gewählt werden. Die Beschreibung der Musterprotokolle finden Sie im Kapitel 10.1.7 des RFEM-bzw. RSTAB-Handbuchs.

Nach [OK] erscheint die Vorschau auf den zu erwartenden Ausdruck. Das Ausdruckprotokoll enthält sämtliche Ein- und Ausgabedaten, wie sie auch im Modul zu finden sind. Es ist wie in folgender Abbildung dargestellt aufgebaut.

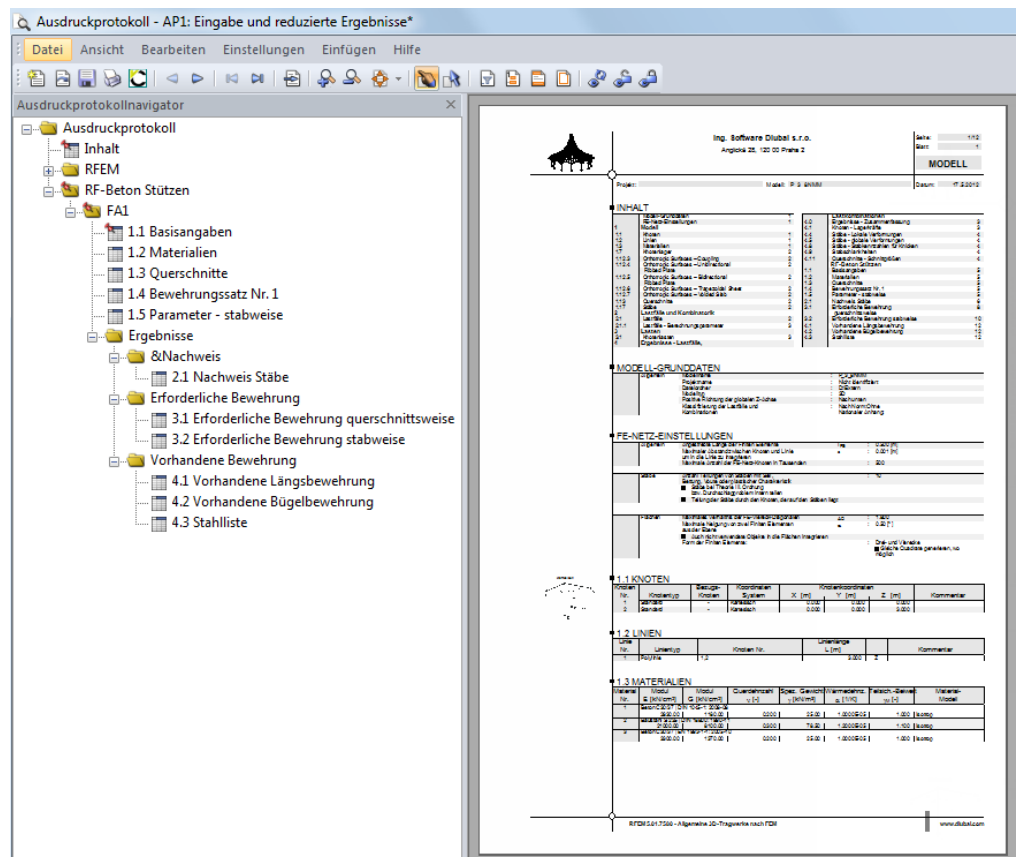


Bild 4.13: RFEM-Ausdruckprotokoll mit Daten von RF-BETON Stützen

Die allgemeine Funktionsweise des Ausdruckprotokolls ist im Kapitel 10 des Handbuchs von RFEM bzw. RSTAB beschrieben. Hier sei nur die Selektion der zu druckenden Daten erläutert, die über die Schaltfläche [Themen für Ausdruckprotokoll wählen] erreicht werden kann:

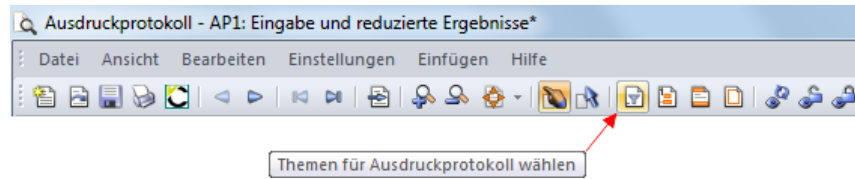


Bild 4.14: Schaltfläche [Themen für Ausdruckprotokoll wählen]

Im Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion* ist in der linken Spalte das Modul RF-/BETON Stützen auszuwählen, um dessen Ein- bzw. Ausgabedaten für den Ausdruck aufzubereiten.

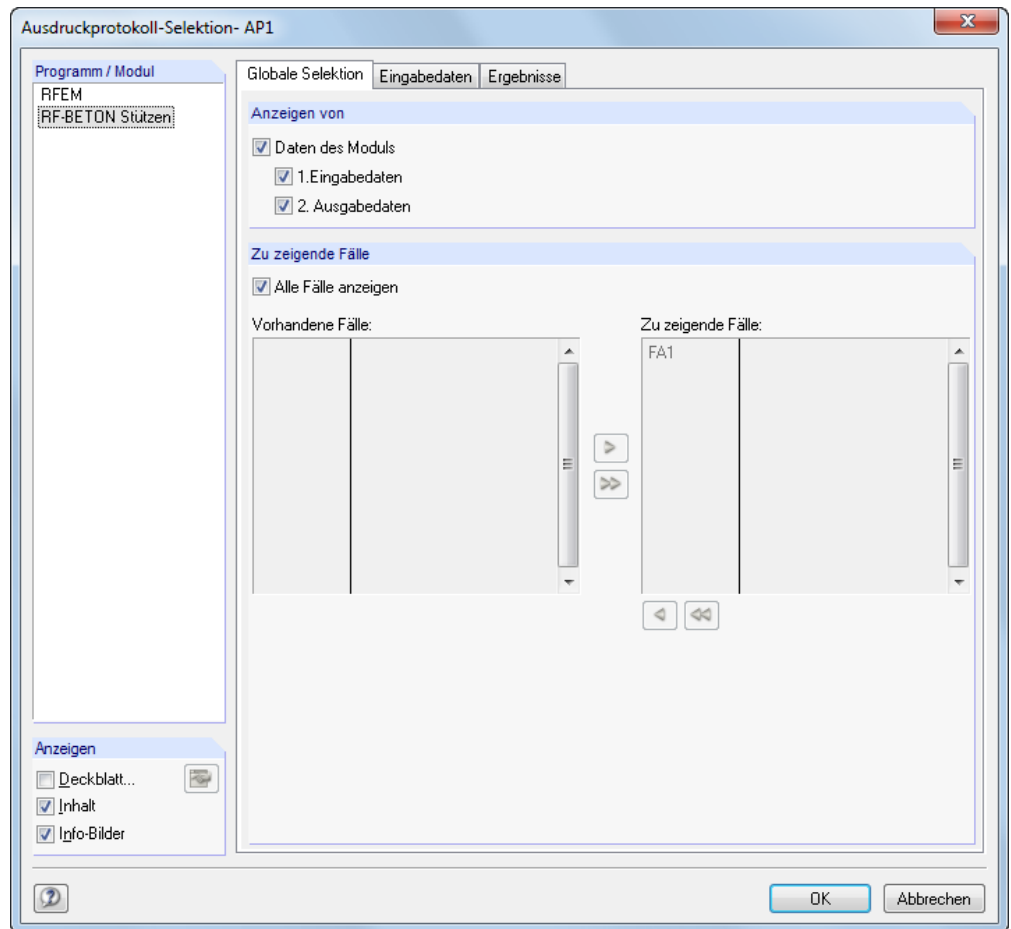


Bild 4.15: Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion*, Register *Globale Selektion*

Für das Modul RF-/BETON Stützen stehen drei Register zur Verfügung.

Im oben abgebildeten Register **Globale Selektion** finden sich im Bereich *Anzeigen von* drei Kontrollfelder. Wird das Häkchen von *Daten des Moduls* entfernt, so erscheinen keine Daten von RF-/BETON Stützen im Ausdruckprotokoll.

Sollen nur die Eingabedaten bzw. nur die Ausgabedaten ausgegeben werden, so sind die Kontrollfelder *Ergebnisse* bzw. *Eingabedaten* zu deaktivieren.

Im Abschnitt *Zu zeigende Fälle* können die Daten jener Bemessungsfälle ausgewählt werden, die im Ausdruck erscheinen sollen. Ist das Häkchen im Kontrollfeld *Alle Fälle anzeigen* gesetzt, so ist ein Verschieben der vorhandenen Bemessungsfälle von der linken Tabelle nach rechts in

die Tabelle der darzustellenden Bemessungsfälle nicht möglich. Erst nach dem Entfernen des Häkchens können Bemessungsfälle mit den Schaltflächen [▶] und [▶▶] übertragen werden.

Das Register **Eingabedaten** bietet die in folgendem Bild dargestellten Auswahlmöglichkeiten:

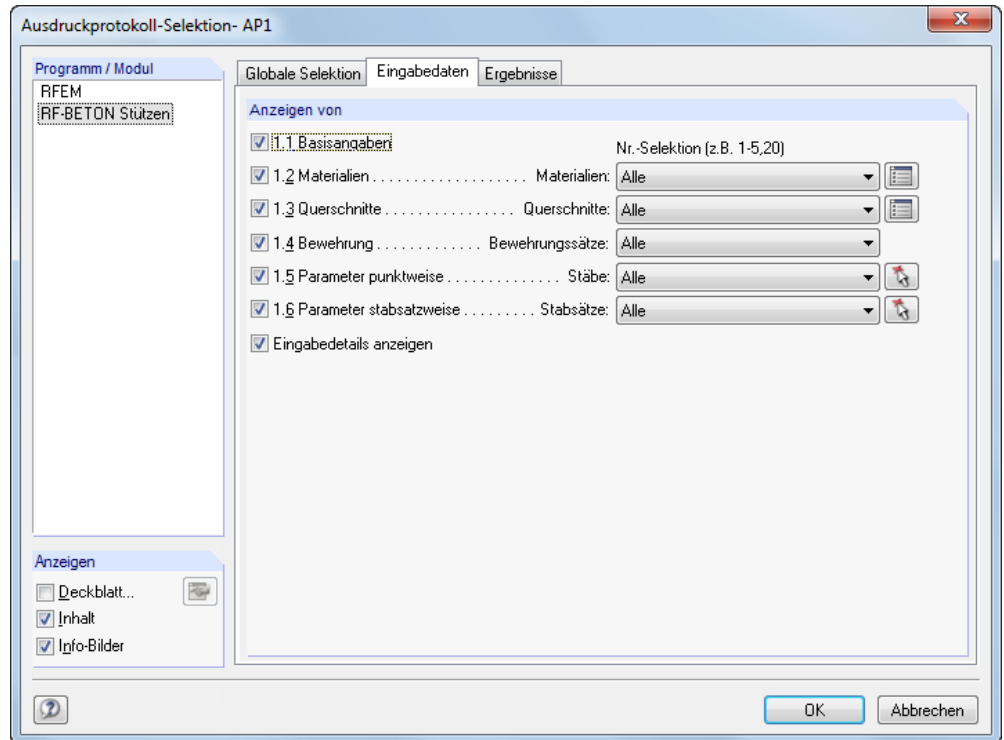


Bild 4.16: Dialog Ausdruckprotokoll-Selektion, Register Eingabedaten

Anhand der Kontrollfelder kann festgelegt werden, welche Eingabedaten aus den einzelnen Masken im Ausdruckprotokoll erscheinen.

Jede der Eingabemasken enthält wiederum Datensätze, die durch Nummern identifiziert sind. So werden beispielsweise in Maske 1.2 *Material* verschiedene Materialien geführt, die durch die Materialnummer bestimmbar sind. Die Materialnummer kann im Eingabefeld der entsprechenden Zeile eingetragen oder ausgewählt werden. Damit erscheinen nur die Materialien mit dieser Nummer im Ausdruckprotokoll.

Gleiches gilt für die Auswahl von Querschnittsnummern, den Nummern von Bewehrungsstäben sowie den Nummern von Stäben und Stabsätzen. Stäbe oder Stabsätze können über die Schaltfläche [↗] auch grafisch im Arbeitsfenster von RFEM bzw. RSTAB ausgewählt werden.

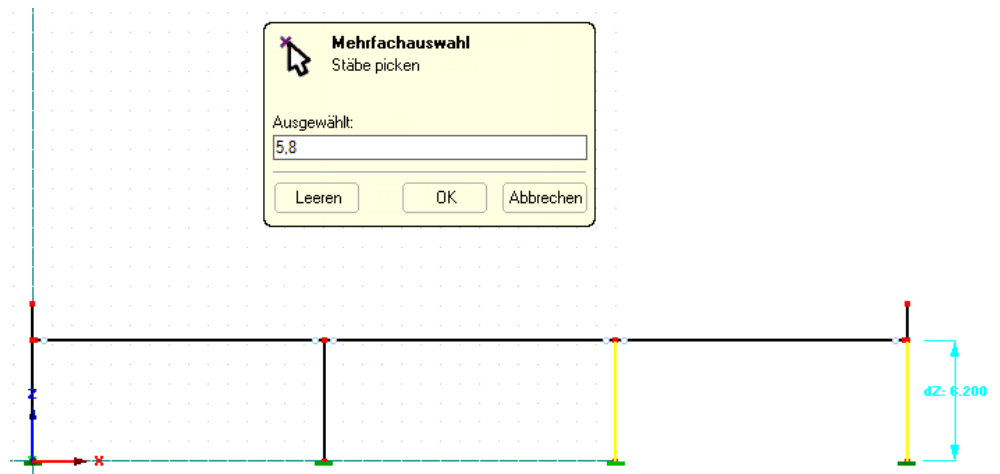


Bild 4.17: Grafische Auswahl von Stäben für Ausdruckprotokoll

Die selektierten Stäbe werden im *Mehrfachauswahl*-Fenster angegeben. Im Modell sind sie in der Selektionsfarbe dargestellt. Nach [OK] werden die Nummern in das Eingabefeld des Dialogs *Ausdruckprotokoll-Selektion* übernommen.

Im Register **Ergebnisse** lassen sich die Bemessungsergebnisse für den Ausdruck auswählen.

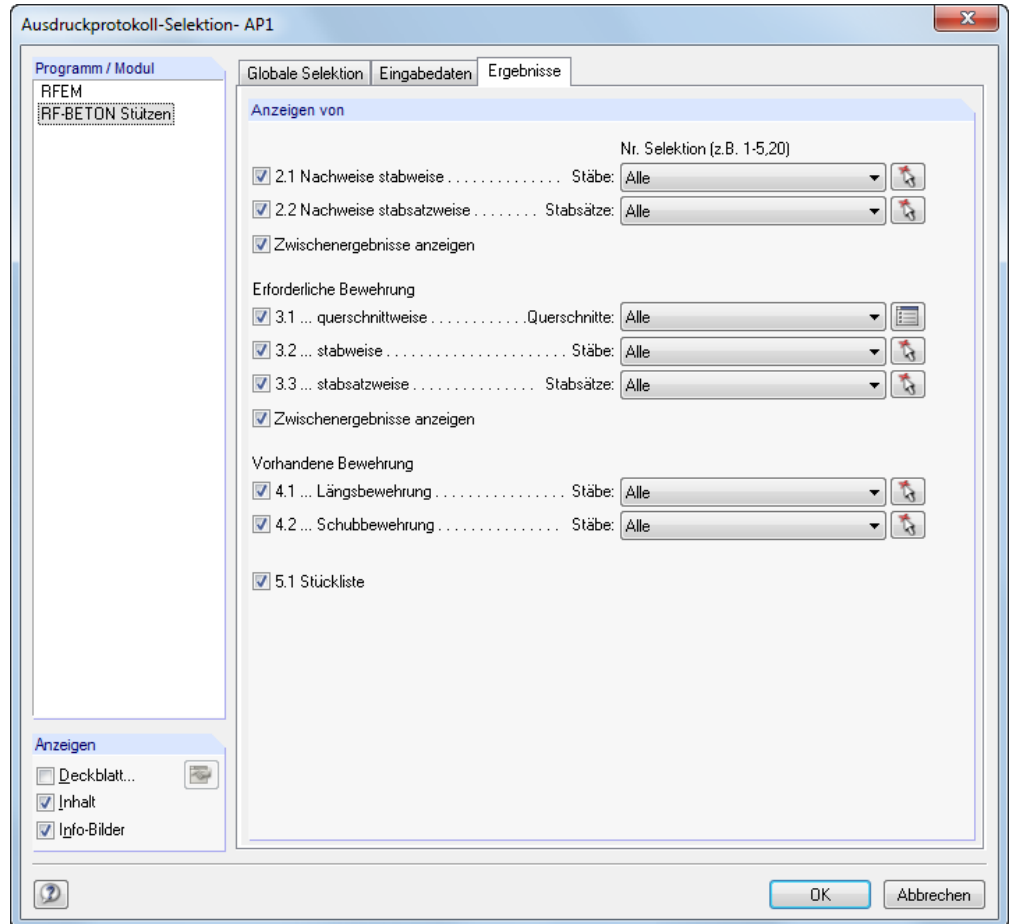


Bild 4.18: Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion*, Register *Ergebnisse*

Jede mit einem Kontrollfeld versehene Zeile repräsentiert eine Ausgabemaske. Wird der Haken von einem Kontrollfeld entfernt, so erscheinen von dieser Maske keine Daten im Ausdruck.

Die Ergebnisse sind stab-, stabsatz- oder querschnittsweise organisiert. Durch Eingabe der Stab-, Stabsatz- oder Querschnittsnummer(n) im jeweiligen Eingabefeld am Zeilenende lassen sich die Ergebnisse weiter reduzieren.

Die Schaltfläche [↗] ermöglicht die oben beschriebene grafische Auswahl von Stäben oder Stabsätzen im Arbeitsfenster von RFEM bzw. RSTAB.

5. Beispiele

5.1 Randstütze

5.1.1 System und Belastung

Untersucht wird eine Stütze nach DIN EN 1992-1-1, die Teil des folgenden Systems ist (vgl. [4], Seite 10-2).

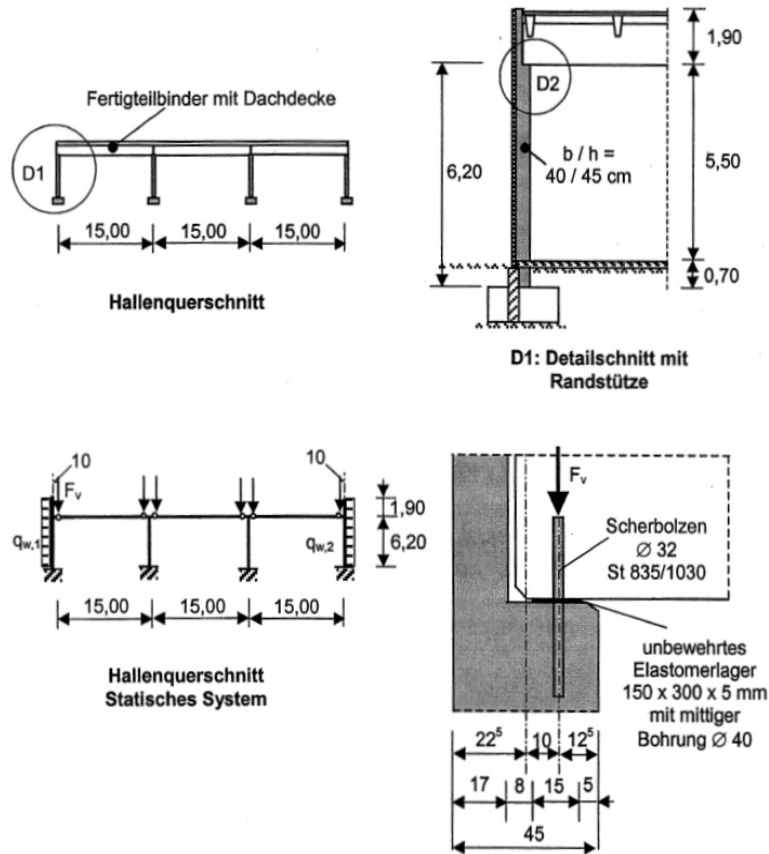


Bild 5.1: System nach [4]

In RFEM bzw. RSTAB werden drei Lastfälle mit folgenden Lasten definiert:

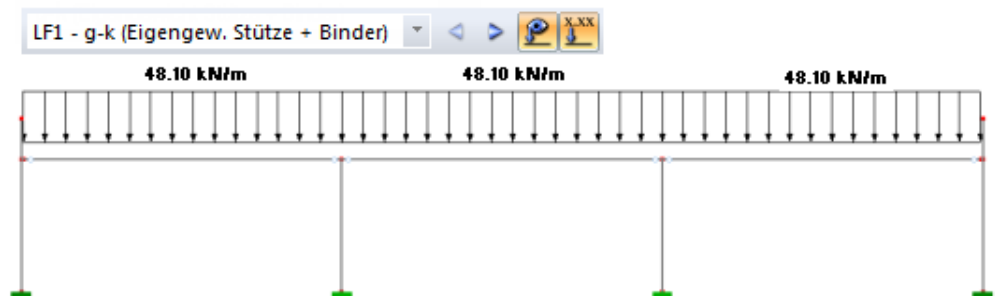


Bild 5.2: Lastfall 1: g-k (Eigengewicht Stütze + Binder)

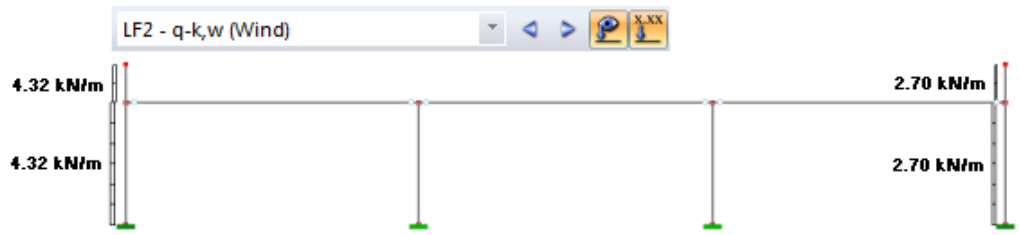


Bild 5.3: Lastfall 2: q-k,w (Wind)

Winddruck und Windsog werden abweichend zur Literatur in einem Lastfall zusammengefasst.

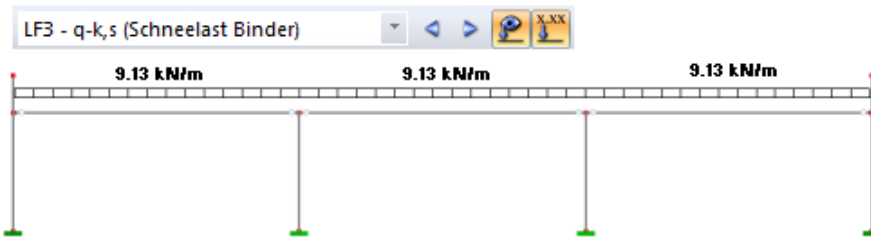


Bild 5.4: Lastfall 3: q-k,s (Schneelast Binder)

5.1.2 Bemessungswerte Tragfähigkeit

Die Teilsicherheitsbeiwerte in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit sind wie folgt:

Einwirkungen	günstig	ungünstig
ständige	$\gamma_G = 1,0$	$\gamma_G = 1,35$
veränderliche	$\gamma_Q = 0$	$\gamma_Q = 1,50$

Die Kombinationsbeiwerte in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit betragen:

Einwirkungen	günstig	ungünstig
Ständige und veränderliche	$\psi_{0,i} = 0,5$	$\psi_{0,i} = 0,6$

Die allgemeine Grundkombination formuliert sich zu:

$$G_d + Q_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Wie in der verwendeten Literatur ersichtlich, ergibt sich der maßgebende Schnittgrößenverlauf an der Stütze, die Windsog erhält. Zur Ermittlung dieses maßgebenden Schnittgrößenverlaufs werden die Lastkombinationen LK1, LK2, LK3 und LK4 gebildet.

Für diese Lastkombinationen ergeben sich verschiedene Verläufe der Schnittgrößen N und M_y entlang der Stütze. Wie im Kapitel 2.2 des Handbuchs beschrieben, findet eine Bemessung für die Stellen der minimalen Normalkraft N, des maximalen Biegemoments M_y und des minimalen Biegemoments M_y statt.

Bei den zur Bemessung ausgewählten Lastkombinationen LK2, LK3 und LK4 werden deshalb im folgenden Abschnitt die zu untersuchenden Stellen mit einem Pfeil markiert.

1. Grundkombination: Leiteinwirkung Schneelast $q_{k,s}$

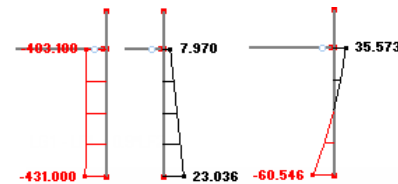
Günstig:

$$g_d = \gamma_G \cdot g_k = 1,0 \cdot g_k$$

$$q_{d,s} = \gamma_{Q,1} \cdot q_{k,s} = 0,0 \cdot q_{k,s} = 0$$

$$q_{d,w} = \sum \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot q_{k,w} = 1,50 \cdot 0,6 \cdot q_{k,w} = 0,9 \cdot q_{k,w}$$

Für die erzeugte Lastkombination LK1 ergibt sich folgender Schnittgrößenverlauf:



4.6 Stäbe - Schnittgrößen

LK1 - LF1 + 0.9*LF2

Stab Nr.	A Knoten Nr.	B Stelle x [m]	C Kräfte [kN]		E Momente [kNm] My	
			N	Vz		
6	6	0.000	-431.000	23.036	-60.546	1 - Rechteck 40/45
	7	6.200	-403.100	7.970	35.573	
	Max N	6.200	-403.100	7.970	35.573	
	Min N	0.000	-431.000	23.036	-60.546	
	Max Vz	0.000	-431.000	23.036	-60.546	
	Min Vz	6.200	-403.100	7.970	35.573	
	Max My	6.200	-403.100	7.970	35.573	
	Min My	0.000	-431.000	23.036	-60.546	

Gesamt | Knoten - Lagerkräfte | Knoten - Verformungen | Stäbe - Lokale Verformungen | Stäbe - Globale Verformungen | Stäbe - Schnittgrößen

Diese Stellen der Stütze werden vom Programm untersucht

Bild 5.5: Ergebnisse LK1

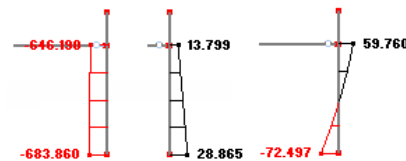
Ungünstig:

$$g_d = \gamma_G \cdot g_k = 1,5 \cdot g_k$$

$$q_{d,s} = \gamma_{Q,1} \cdot q_{k,s} = 1,50 \cdot q_{k,s} = 1,50 \cdot q_{k,s}$$

$$q_{d,w} = \sum \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot q_{k,w} = 1,50 \cdot 0,6 \cdot q_{k,w} = 0,9 \cdot q_{k,w}$$

Für die erzeugte Lastkombination LK2 ergibt sich folgender Schnittgrößenverlauf:



4.6 Stäbe - Schnittgrößen

LK2: 1.35*LF1 + 0.9*LF2 + 1.5*LF3

Stab Nr.	A Knoten Nr.	B Stelle x [m]	C Kräfte [kN]		E Momente [kNm] My	
			N	Vz		
6	6	0.000	-683.860	28.865	-72.497	1 - Rechteck 40/45
	7	6.200	-646.190	13.799	59.759	
	Max N	6.200	-646.190	13.799	59.759	
	Min N	0.000	-683.860	28.865	-72.497	
	Max Vz	0.000	-683.860	28.865	-72.497	
	Min Vz	6.200	-646.190	13.799	59.759	
	Max My	6.200	-646.190	13.799	59.759	
	Min My	0.000	-683.860	28.865	-72.497	

Gesamt | Knoten - Lagerkräfte | Knoten - Verformungen | Stäbe - Lokale Verformungen | Stäbe - Globale Verformungen | Stäbe - Schnittgrößen

Diese Stellen der Stütze werden vom Programm untersucht

Bild 5.6: Ergebnisse LK2

2. Grundkombination: Leiteinwirkung Wind

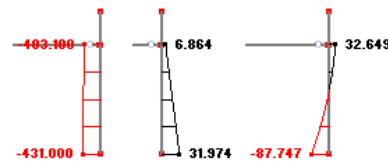
Günstig:

$$g_d = \gamma_G \cdot g_k = 1,0 \cdot g_k$$

$$q_{d,w} = \gamma_{Q,1} \cdot q_{k,w} = 1,50 \cdot q_{k,w} = 1,5 \cdot q_{k,w}$$

$$q_{d,s} = \sum \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot q_{k,s} = 0,0 \cdot 0,5 \cdot q_{k,s} = 0,0$$

Für die erzeugte Lastkombination LK3 ergibt sich folgender Schnittgrößenverlauf:



4.6 Stäbe - Schnittgrößen

LK3 - LF1 + 1.5*LF2

Stab Nr.	Knoten Nr.	Stelle x [m]	Kräfte [kN]		Momente [kNm]	
			N	Vz		
6	6	0.000	-431.000	31.974	-87.747	1 - Rechteck 40/45
	7	6.200	-403.100	6.864	32.649	
	Max N	6.200	-403.100	6.864	32.649	
	Min N	0.000	-431.000	31.974	-87.747	
	Max Vz	0.000	-431.000	31.974	-87.747	
	Min Vz	6.200	-403.100	6.864	32.649	
	Max My	6.200	-403.100	6.864	32.649	
	Min My	0.000	-431.000	31.974	-87.747	

Gesamt | Knoten - Lagerkräfte | Knoten - Verformungen | Stäbe - Lokale Verformungen | Stäbe - Globale Verformungen | Stäbe - Schnittgrößen

Diese Stellen der Stütze werden vom Programm untersucht

Bild 5.7: Ergebnisse LK3

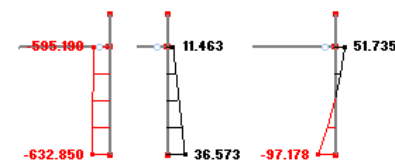
Ungünstig:

$$g_d = \gamma_G \cdot g_k = 1,35 \cdot g_k$$

$$q_{d,w} = \gamma_{Q,1} \cdot q_{k,w} = 1,50 \cdot q_{k,w} = 1,5 \cdot q_{k,w}$$

$$q_{d,s} = \sum \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot q_{k,s} = 1,5 \cdot 0,5 \cdot q_{k,s} = 0,75 \cdot q_{k,s}$$

Für die erzeugte Lastkombination LK4 ergibt sich folgender Schnittgrößenverlauf:



4.6 Stäbe - Schnittgrößen

LK4: 1.35*LF1 + 1.5*LF2 + 0.75*LF3

Stab Nr.	Knoten Nr.	Stelle x [m]	Kräfte [kN]		Momente [kNm]	
			N	Vz		
6	6	0.000	-632.850	36.573	-97.177	1 - Rechteck 40/45
	7	6.200	-595.190	11.463	51.734	
	Max N	6.200	-595.190	11.463	51.734	
	Min N	0.000	-632.850	36.573	-97.177	
	Max Vz	0.000	-632.850	36.573	-97.177	
	Min Vz	6.200	-595.190	11.463	51.734	
	Max My	6.200	-595.190	11.463	51.734	
	Min My	0.000	-632.850	36.573	-97.177	

Gesamt | Knoten - Lagerkräfte | Knoten - Verformungen | Stäbe - Lokale Verformungen | Stäbe - Globale Verformungen | Stäbe - Schnittgrößen

Diese Stellen der Stütze werden vom Programm untersucht

Bild 5.8: Ergebnisse LK4



Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass beim Anlegen der einzelnen Lastkombinationen die *Berechnungstheorie* zur Schnittgrößenermittlung nach **Theorie I. Ordnung** gewählt wird!

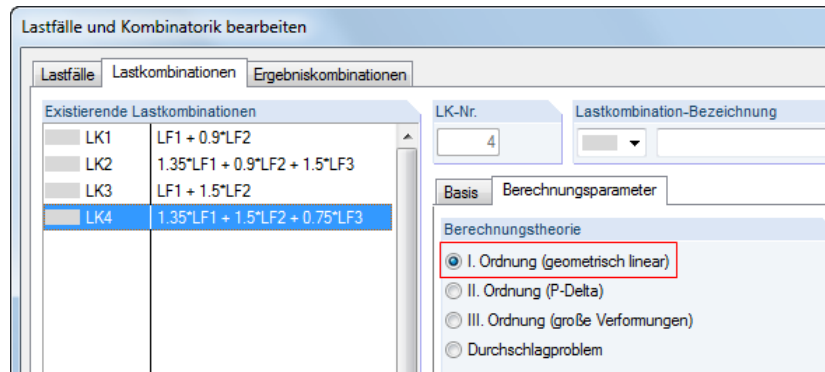


Bild 5.9: Berechnungsparameter für LK – Berechnung nach *Theorie I. Ordnung*

Damit sind die zu bemessenden Lastkombinationen LK2, LK3 und LK4 vorgestellt. Im Gegensatz zum Literaturbeispiel wird nicht nur der Einspannpunkt der Stütze untersucht, an dem die Schnittgrößen N und M_y minimal werden, sondern auch die Stelle des maximalen Moments M_y am Stützenkopf. Welchen Einfluss die systematische Untersuchung der Stellen mit maximalen und minimalen Schnittgrößen auf den Gesamtnachweis der Stütze hat, soll nun durch einen Vergleich mit dem Literaturbeispiel herausgearbeitet werden.

Kriechverformungen müssen bei der Bemessung von schlanken Druckgliedern berücksichtigt werden, wenn sie die Standsicherheit des Tragwerks ungünstig beeinflussen. Daher ist das kriecherzeugende Moment infolge quasi-ständiger Einwirkungen (= charakteristischer Wert der ständigen Einwirkung g_k) am Fuß der Windsogstütze zu bestimmen. Es ergibt sich zu:

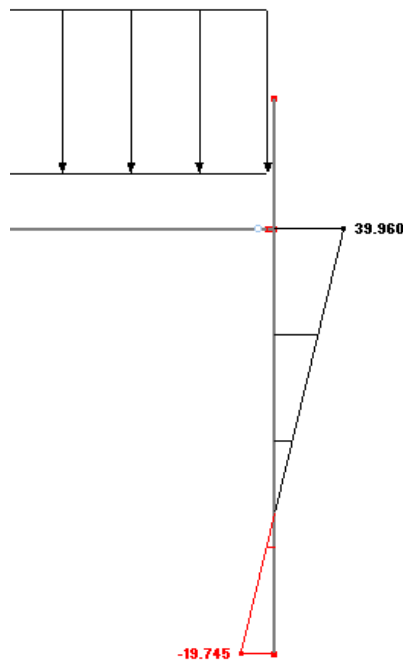


Bild 5.10: Kriecherzeugendes Moment aus LF1

5.1.3 Räumliche Steifigkeit und Stabilität

Die Hallenlängsrichtung verläuft in die y-Achse, die Hallenquerrichtung in die z-Achse der Stütze. Die Stabilität in Hallenlängsrichtung ist durch andere Bauteile gesichert.

Damit kann die Stütze um die Achse y (d. h. in Achse z = Hallenquerrichtung) knicken, aber nicht um die Achse z (d. h. in Achse y = Hallenlängsrichtung).

In Maske 1.5 Stützenparameter - stabweise sind daher folgende Einstellungen für die jeweilige Richtung zu treffen:

Stab Nr.	A		B		C		D		E		F		G		H		I		J		K		L		M		N	
	Länge l [m]	Möglich	Verschieb.	Auto	Knicken um Achse y	β_y [-]	$l_{0,y}$ [m]	λ_y [-]	Möglich	Verschieb.	Auto	Knicken um Achse z	β_z [-]	$l_{0,z}$ [m]	λ_z [-]	Kommentar												
6	6.200	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2.100	13.020	100.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		-	-	-													

Bild 5.11: Eingabe in Maske 1.5 Stützenparameter - stabweise

5.1.4 Ersatzlänge und Schlankheit

Die Ersatzlänge und Schlankheit werden getrennt für jede Achse der Stütze bestimmt.

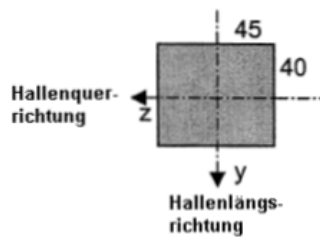


Bild 5.12: Achsen der Stütze

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, zeigt im Gegensatz zur Literatur der Index im Programm stets die Richtung an, in die ein mögliches Ausknicken der Stütze untersucht wird.

Ersatzlänge für Biegung um die y-Achse (in z-Richtung = Hallenquerrichtung)

Der Ersatzlängenbeiwert wird in der angegebenen Literatur für eine elastisch eingespannte Kragstütze auf $\beta_z = 2,1$ geschätzt. Dieser Wert ist unter dem Haupteintrag *Ersatzlänge* um die y-Achse in der Zeile *Definierter Knicklängenbeiwert* einzugeben.

Querschnitt		1 - Rechteck 40/45	
<input checked="" type="checkbox"/> Allgemeine Eigenschaften			
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge			
<input type="checkbox"/> um die y-Achse			
<input type="checkbox"/> Knicklängenmittlung automatisch	Ermitt.- β	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Definierter Knicklängenbeiwert	β_y	2.100	
Ersatzlänge	$l_{0,y}$	13.020	m

Bild 5.13: Ersatzlänge für Biegung um die y-Achse (in Hallenquerrichtung)

Die Systemlänge $l_{col,y}$ für das Ausknicken entspricht hier der Stützenlänge $l_{col} = 6,20$ m zwischen den idealisierten Einspannstellen.

Damit kann die Ersatzlänge $l_{0,y}$ für das Knicken um die y-Achse wie folgt bestimmt werden:

$$l_{0,y} = \beta_y \cdot l_{col,y} = 2,1 \cdot 6,20 \text{ m} = 13,02 \text{ m}$$

Die zugehörige Schlankheit λ_y um y-Achse bestimmt sich dann zu:

$$\lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{1302}{12,99} = 100,23$$

Dieser Wert ist auch in der Detailtabelle der Ausgabemasken zu finden.

<input checked="" type="checkbox"/> Maßgebende Belastung			
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge nach 5.8.3.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit nach 5.8.3.2			
<input type="checkbox"/> Schlankheit um die y-Achse	λ_y	100.2280	
Ersatzlänge	$l_{0,y}$	13.020	m
Trägheitsradius	i_y	129.9	mm

Bild 5.14: Schlankheit für Knicken um die y-Achse (in Hallenquerrichtung)

Ersatzlänge für Biegung um die z-Achse (in y-Richtung = Hallenlängsrichtung)

Eine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung wird nicht durchgeführt.

Querschnitt 1 - Rechteck 40/45			
<input checked="" type="checkbox"/> Allgemeine Eigenschaften			
<input checked="" type="checkbox"/> um die y-Achse			
<input checked="" type="checkbox"/> um die z-Achse			
<input type="checkbox"/> Knicken möglich	Knicken.z		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> System verschieblich	Verschieb.z		<input type="checkbox"/>

Bild 5.15: Einstellungen für Biegung um die z-Achse (in Hallenlängsrichtung)

<input checked="" type="checkbox"/> Maßgebende Belastung			
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge nach 5.8.3.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge um die y-Achse	$l_{0,y}$	13.020	m
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge um die z-Achse	$l_{0,z}$	6.200	m
Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe			
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit nach 5.8.3.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit um die y-Achse	λ_y	100.2280	
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit um die z-Achse	λ_z	0.0000	
Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe			

Bild 5.16: Keine Stabilitätsuntersuchung um die z-Achse (in Hallenlängsrichtung)

5.1.5 Weitere Eingaben im Modul

Um die Eingabe zu vervollständigen, werden noch die Auswahl der Belastung und die Vorgaben zur Bewehrung dargestellt.

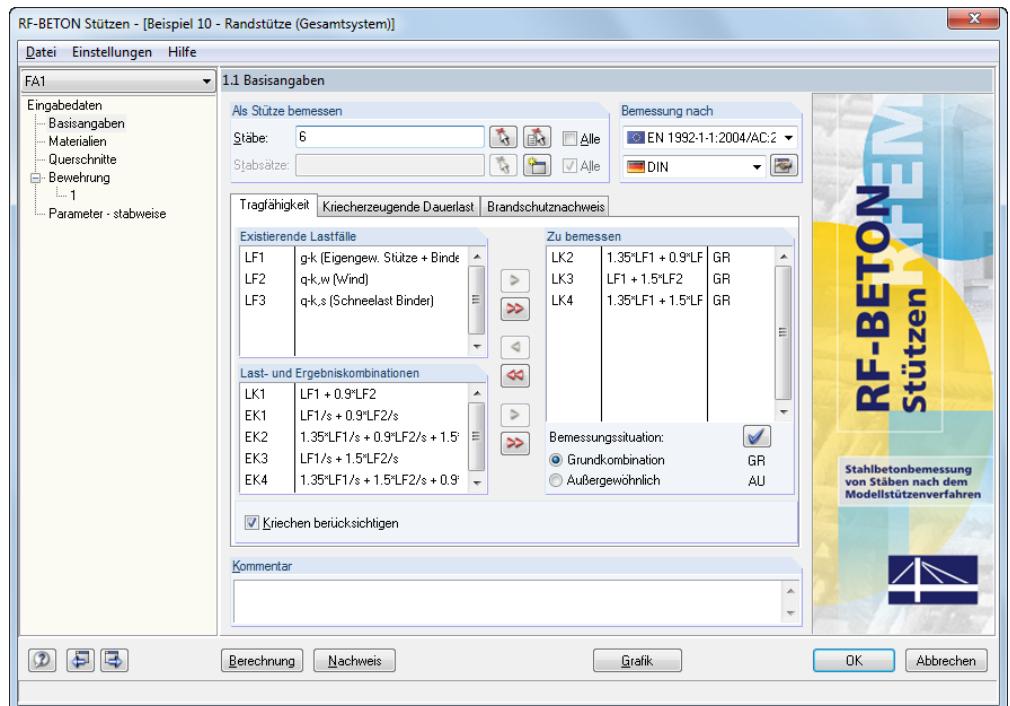


Bild 5.17: Auswahl der Belastung in Maske 1.1 Basisangaben, Register Tragfähigkeit

Die im Register *Tragfähigkeit* ausgewählten Lastkombinationen werden zunächst einzeln untersucht. Für die maßgebende Lastkombination wird dann die Bewehrung ermittelt. Mit dieser Bewehrung wiederum wird für alle hier ausgewählten Lasten die vorhandene Sicherheit bestimmt. Für die Belastung, für die sich die geringste Sicherheit ergibt, wird dann der vollständige Nachweis ausgegeben.

Im Register *Kriecherzeugende Dauerlast* der Maske *1.1 Basisangaben* wird die Belastung festgelegt, die zu einer kriecherzeugenden Dauerlast führt. Von diesen Lasten wird angenommen, dass zwar jede für sich ständig wirkt, jedoch keine von ihnen gleichzeitig. Es wird also für jede dieser Belastungen untersucht, ob sie zusammen mit den ausgewählten Lasten für die Tragfähigkeit zu der größten Bewehrung führt.

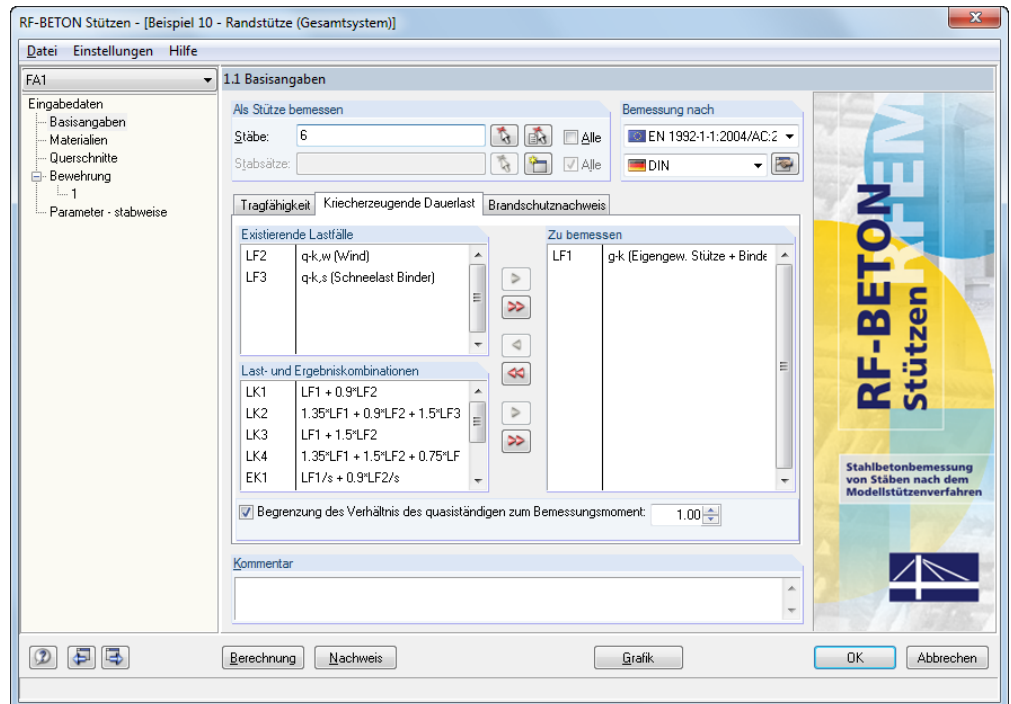


Bild 5.18: Auswahl der Belastung in Maske *1.1 Basisangaben*, Register *Kriecherzeugende Dauerlast*

Die Materialien (Beton C30/37, B 500 S(B)) wurden bereits in RFEM bzw. RSTAB beim Anlegen des Modells definiert. Sie werden für die Bemessung der Stütze automatisch in das Modul übernommen.

In Maske 1.4 *Bewehrung* sind die möglichen Stabdurchmesser für die *Längsbewehrung* anzugeben. Für das Beispiel werden Stäbe mit Durchmesser 16 mm vorgegeben.

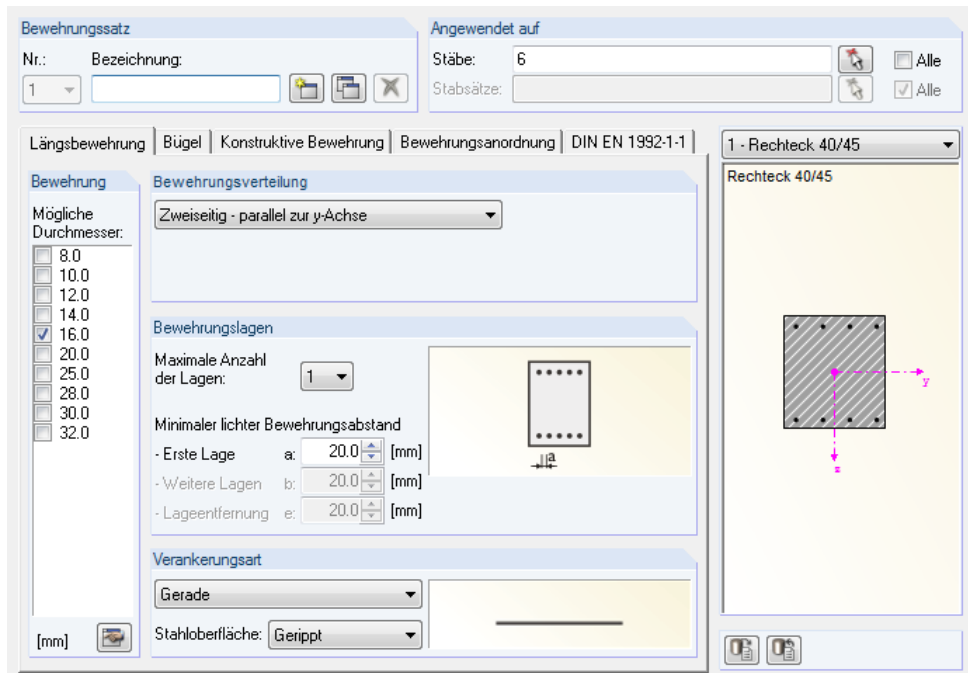


Bild 5.19: Vorgaben zur Bewehrung in Maske 1.4 *Bewehrung*, Register *Längsbewehrung*

Im Register *Längsbewehrung* ist ferner festzulegen, wie die Bewehrung anzuordnen ist, wie viele Bewehrungslagen maximal möglich sind und wie die Bewehrungsstäbe zu verankern sind.

Im nächsten Register *Bügel* werden die Durchmesser der Bügel mit 10 mm vorgegeben.

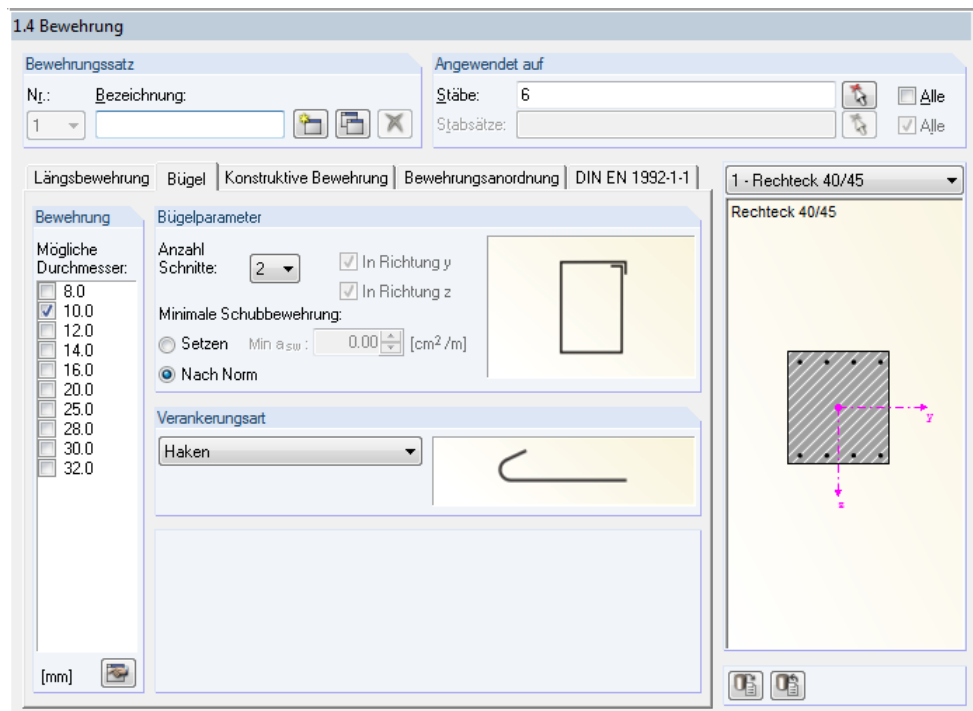


Bild 5.20: Vorgaben zu den Bügeln in Maske 1.4 *Bewehrung*, Register *Bügel*

Im Register *Konstruktive Bewehrung* wird festgelegt, dass der maximale Abstand zwischen zwei Bewehrungsstäben 300 mm nicht überschreiten darf.

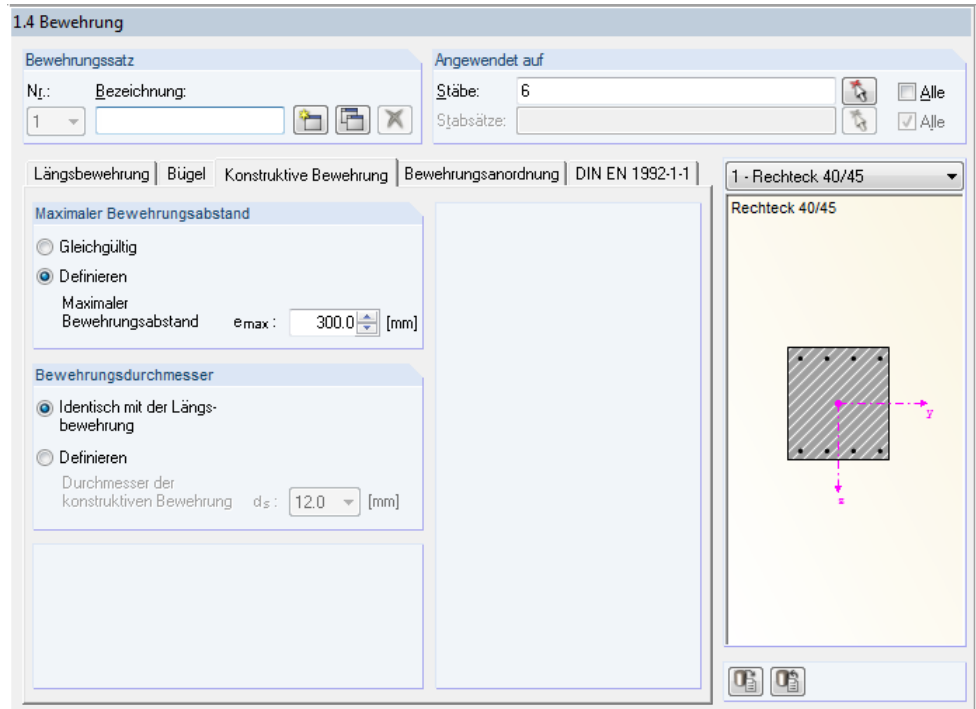


Bild 5.21: Konstruktive Vorgaben in Maske 1.4 Bewehrung, Register *Konstruktive Bewehrung*

Ergibt sich geometrisch ein größerer Abstand als 300 mm, so sieht das Programm einen Zwischenstab vor. Im Register *Konstruktive Bewehrung* wird zudem festgelegt, dass der Zwischenstab den gleichen Durchmesser besitzen soll wie die statisch erforderliche Bewehrung.

Die Betondeckung wird im Register *Bewehrungsanordnung* der Maske 1.4 mit einem Achsmaß von 38 mm festgelegt.

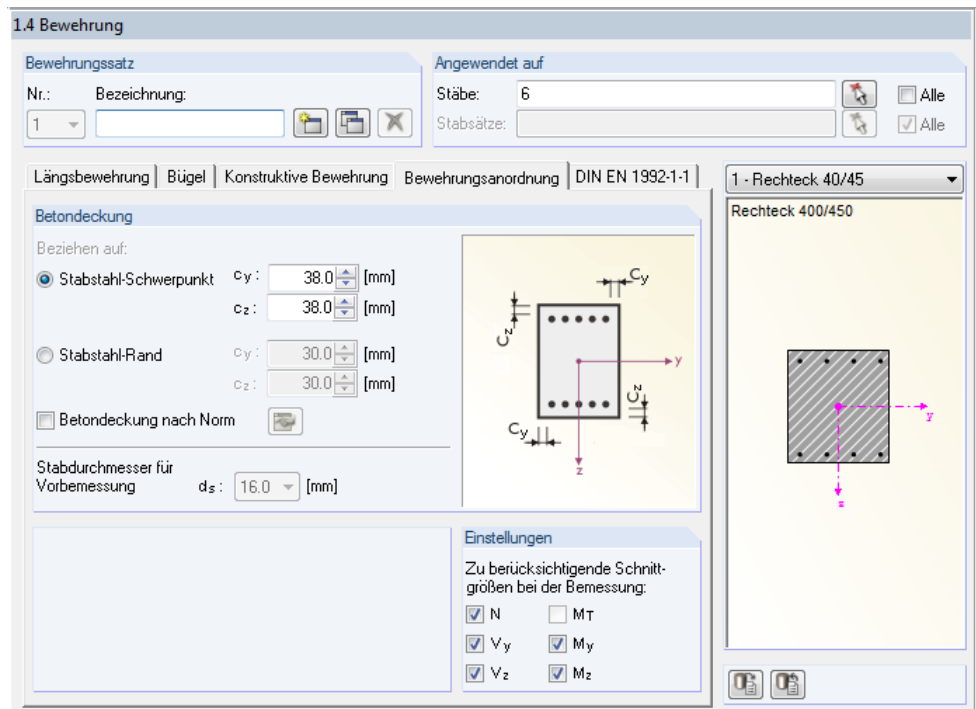


Bild 5.22: Angaben zur Betondeckung in Maske 1.4 Bewehrung, Register *Bewehrungsanordnung*

5.1.6 Erforderliche Bewehrung

Mit den oben gezeigten Eingaben kann die Berechnung gestartet werden.

Das Programm überprüft, ob eine Regelbemessung ausreichend ist oder ob eine Stabilitätsuntersuchung vorgenommen werden muss. Danach wird die erforderliche Bewehrung ermittelt, die in den Masken 3.1 *Erforderliche Bewehrung querschnittsweise* und 3.2 *Erforderliche Bewehrung stabweise* in den oberen Tabellen ausgegeben wird.

3.1 Erforderliche Bewehrung querschnittsweise								
Quersch. Nr.	A Bewehrung	B Stab Nr.	C Stelle x [m]	D LF / LK EK	E	F Bewehrungs- Fläche	G Einheit	H Fehlermeldung bzw. Hinweis
1	Rechteck 40/45							
	Längs	6	0.000	LK4	A_s	15.54	cm ²	
	Querkraft	6	-	-	a_{sw}	8.18	cm ² /m	

Alle Lastfälle

Bild 5.23: Maske 3.1 *Erforderliche Bewehrung querschnittsweise*

Die vom Programm ermittelte Längsbewehrung A_s von 15,54 cm² unterscheidet sich vom Wert 16,20 cm² des Literaturbeispiels. Die Ursache für diesen Unterschied ist der Wert ω_{tot} , der in der Literatur etwas ungenau aus dem Diagramm mit 0,23 abgelesen wurde.

In der unteren Tabelle *Zwischenergebnisse* finden sich sämtliche Zwischenschritte. Diese Detailtabelle beginnt mit der Benennung der maßgebenden Belastung.

Zwischenergebnisse Rechteck 40/45 - LK4		
<input checked="" type="checkbox"/> Maßgebende Belastung		
<input type="checkbox"/> Belastung		LK4
<input type="checkbox"/> Maßgebende Schnittgröße		min N
<input type="checkbox"/> An Stelle	x	0.000 m
<input type="checkbox"/> Normalkraft	N	-632.850 kN
<input type="checkbox"/> Moment um die y-Achse	M_y	-97.177 kNm
<input type="checkbox"/> Moment um die z-Achse	M_z	0.000 kNm
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge nach 5.8.3.2		
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit nach 5.8.3.2		
<input checked="" type="checkbox"/> Grenzschlankheit nach 5.8.3.1 (1)		
<input checked="" type="checkbox"/> Art der Bemessung		
<input checked="" type="checkbox"/> Ausmitteln		
<input checked="" type="checkbox"/> Momente nach Theorie I. Ordnung		
<input checked="" type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ordnung		
<input checked="" type="checkbox"/> Statisch erforderliche Bewehrung		
<input checked="" type="checkbox"/> Mindestbewehrung nach Norm		
<input checked="" type="checkbox"/> Erforderliche Bewehrung		

Bild 5.24: Tabelle *Zwischenergebnisse* zur Ermittlung der erforderlichen Bewehrung

Die maßgebende Belastung stellt wie im Literaturbeispiel die Lastkombination LK 4 dar. Dort wird mit den Werten $N = -633$ kN und $M_y = 100$ kNm gerechnet.

Wenn das Kontrollfeld *Alle Lastfälle* unterhalb der Tabelle aktiviert wird, wird erkennbar, dass sich für die LK4 eine größere Bewehrung ergibt als für die übrigen Lastkombinationen.

Alle Lastfälle

Bild 5.25: Anzeige der Bemessungsergebnisse für sämtliche Belastungen

Die obere Tabelle weist dann für alle Belastungen die jeweils erforderliche Bewehrung aus (siehe folgendes Bild).

3.1 Erforderliche Bewehrung querschnittsweise								
Quersch. Nr.	A Bewehrung	B Stab Nr.	C Stelle x [m]	D LF / LK EK	E	F Bewehrungs- Fläche	G Einheit	H Fehlermeldung bzw. Hinweis
1	Rechteck 40/45							
	Längs	6	0.000	LK2	A_s	13.17	cm ²	
	Querkraft	6	-	-	a_{sw}	8.18	cm ² /m	
1	Rechteck 40/45							
	Längs	6	0.000	LK3	A_s	12.41	cm ²	
	Querkraft	6	-	-	a_{sw}	8.18	cm ² /m	
1	Rechteck 40/45							
	Längs	6	0.000	LK4	A_s	15.54	cm ²	
	Querkraft	6	-	-	a_{sw}	8.18	cm ² /m	



Alle Lastfälle  

Bild 5.26: Erforderliche Bewehrung für sämtliche Belastungen

Zum Vergleich sind in [4] für LK2 $A_s = 13,4 \text{ cm}^2$, für LK3 $A_s = 12,7 \text{ cm}^2$ und für LK4 $A_s = 16,2 \text{ cm}^2$ angegeben.

Die Ersatzlängen und Schlankheiten, wie sie durch die Eingabe in Maske 1.5 *Stützenparameter* bestimmt wurden, finden sich für die vollständige Bemessungsausgabe auch unter den entsprechenden Haupteinträgen in den Zwischenergebnissen.

Zwischenergebnisse Rechteck 40/45 - LK4		
<input checked="" type="checkbox"/> Maßgebende Belastung		
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge nach 5.8.3.2		
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge um die y-Achse	$l_{0,y}$	13.020 m
<input type="checkbox"/> Stützenlänge	l_y	6.200 m
<input type="checkbox"/> Knicklängenbeiwert	β_y	2.100
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge um die z-Achse	$l_{0,z}$	6.200 m
<input type="checkbox"/> Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe		
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit nach 5.8.3.2		
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit um die y-Achse	λ_y	100.2280
<input type="checkbox"/> Ersatzlänge	$l_{0,y}$	13.020 m
<input type="checkbox"/> Trägheitsradius	i_y	129.9 mm
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit um die z-Achse	λ_z	0.0000
<input type="checkbox"/> Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe		

Bild 5.27: Ersatzlänge und Schlankheit

5.1.7 Grenzschlankheit

Die Schnittgrößen der minimalen Normalkraft haben folgende *Zwischenergebnisse* bei der Bestimmung der Grenzschlankheit:

Zwischenergebnisse Rechteck 40/45 - LK2			
<input checked="" type="checkbox"/> Grenzschlankheit nach 5.8.3.1 (1)			
<input type="checkbox"/> Bezogene Normalkraft	n	0.2235	< 0.41
Normalkraft	N	-683.860	kN
Betonquerschnitt	A _c	1800.00	cm ²
<input type="checkbox"/> Bemessungswert der Betonfestigkeit	f _{ed}	17.00	N/mm ²
Charakteristische Betondruckfestigkeit	f _{ck}	30.00	N/mm ²
Abminderungsbeiwert	α	0.8500	
Teilsicherheitsbeiwert	γ _c	1.5000	
Streuungsbeiwert der Betonfestigkeit	γ _{c'}	1.0000	
Grenzschlankheit	λ _{max}	33.8452	
Zwischenergebnisse Rechteck 40/45 - LK3			
<input checked="" type="checkbox"/> Grenzschlankheit nach 5.8.3.1 (1)			
<input type="checkbox"/> Bezogene Normalkraft	n	0.1408	< 0.41
Normalkraft	N	-431.000	kN
Betonquerschnitt	A _c	1800.00	cm ²
<input type="checkbox"/> Bemessungswert der Betonfestigkeit	f _{ed}	17.00	N/mm ²
Charakteristische Betondruckfestigkeit	f _{ck}	30.00	N/mm ²
Abminderungsbeiwert	α	0.8500	
Teilsicherheitsbeiwert	γ _c	1.5000	
Streuungsbeiwert der Betonfestigkeit	γ _{c'}	1.0000	
Grenzschlankheit	λ _{max}	42.6326	
Zwischenergebnisse Rechteck 40/45 - LK4			
<input checked="" type="checkbox"/> Grenzschlankheit nach 5.8.3.1 (1)			
<input type="checkbox"/> Bezogene Normalkraft	n	0.2068	< 0.41
Normalkraft	N	-632.850	kN
Betonquerschnitt	A _c	1800.00	cm ²
<input type="checkbox"/> Bemessungswert der Betonfestigkeit	f _{ed}	17.00	N/mm ²
Charakteristische Betondruckfestigkeit	f _{ck}	30.00	N/mm ²
Abminderungsbeiwert	α	0.8500	
Teilsicherheitsbeiwert	γ _c	1.5000	
Streuungsbeiwert der Betonfestigkeit	γ _{c'}	1.0000	
Grenzschlankheit	λ _{max}	35.1828	

Bild 5.28: Grenzschlankheiten für LK2 bis LK4

Die Schlankheit λ_y um y-Achse ist mit 100,23 größer als die lastfallbezogenen Grenzschlankheiten. Daher ist gemäß 8.6.2 (4) für jede der vorgestellten Belastungen eine Stabilitätsuntersuchung durchzuführen.

Zwischenergebnisse Rechteck 40/45 - LK4			
<input checked="" type="checkbox"/> Art der Bemessung			
<input type="checkbox"/> Voraussetzungen Regelbemessung nach 5.8.3.1 (1)			
<input type="checkbox"/> Voraussetzung um die y-Achse	λ _y ≤ λ _{lim,y}	100.2280	Nicht erfüllt
Vorhandene Schlankheit	λ _y	100.2280	
Grenzschlankheit um die y-Achse	λ _{lim,y}	35.1828	
<input type="checkbox"/> Voraussetzung um die z-Achse	λ _z ≤ λ _{lim,z}		Erfüllt
Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe			
Voraussetzung für Regelbemessung erfüllt?			Nicht erfüllt
<input checked="" type="checkbox"/> Voraussetzungen Regelbemessung nach 5.8.3.1 (1)			
Normalkraft ist keine Druckkraft?			Nein
Voraussetzungen für Regelbemessung erfüllt?			Nein
Knicknachweis erforderlich			

Bild 5.29: Art der Bemessung

5.1.8 Ausmitten

Die planmäßige Ausmitte, die Ausmitte durch Imperfektion und die Mindestausmitte wurden gemäß DIN EN 1992-1-1 berechnet. Sie sind bei den *Zwischenergebnissen* dargestellt.

Ausmitten			
Planmäßige Ausmitte nach 5.8.8.2			
Planmäßige Ausmitte in z-Richtung			
Momentenverlauf über die Stütze	Verlauf M_y	Beliebig	
Moment um die y-Achse	M_y	-97.177	kNm
Absolute Normalkraft	N	632.850	kN
Planmäßige Ausmitte in y-Richtung			
	$e_{0,y}$	0.0	mm
Ausmitte durch Imperfektionen gemäß 5.2			
Ausmitte durch Imperfektionen in z-Ebene			
Neigung	$e_{i,z}$	-26.1	mm
Grundwert der Neigung	$\theta_{i,z}$	0.0040	
Grundwert der Neigung	θ_0	0.0040	
Stützenlänge	l_y	6.200	m
Abminderungsbeiwert für Stützenanzahl	α_m	1.0000	
Stütze wird laut Benutzervorgabe wie eine Einzelstütze nachgewiesen.			
Knicklänge	$l_{0,y}$	13.020	m
Ausmitte durch Imperfektionen in y-Ebene			
	$e_{i,y}$	0.0	mm
Mindestausmitte gemäß 6.1 (4)			
Mindestausmitte in z-Richtung			
Bauteilhöhe	$e_{min,z}$	-20.0	mm
Mindestwert der Mindestausmitte	$h_{w,z}$	450.0	mm
	$e_{20\text{ mm},z}$	20.0	mm
Mindestausmitte in y-Richtung			
	$e_{min,y}$	0.0	mm

Bild 5.30: Ausmitten für LK4

Mit den beiden Ausmitten können die Momente nach Theorie I. Ordnung bestimmt werden.

5.1.9 Momente nach Theorie I. Ordnung

Schnittgrößen der minimalen Normalkraft am Stützenfuß (Stelle $x = 0,00\text{ m}$)

Das Moment nach Theorie I. Ordnung um die y-Achse durch Ausmitten in z-Richtung (Hallenquerrichtung) ist jeweils:

	LK2	LK3	LK4
N_{Ed}	-683,860 kN	-431,000 kN	-632,850 kN
$e_{0,z}$	-10,60 cm	-20,36 cm	-15,36 cm
$e_{i,z}$	-2,61 cm		
$M_{Ed,1,y}$	-90,37 kNm	-99,02 kNm	-113,72 kNm

Für die Schnittgrößen der minimalen Normalkraft in der LK4 werden an der maßgebenden Stelle am Stützenfuß folgende *Zwischenergebnisse* ausgewiesen:

Zwischenergebnisse Rechteck 40/45 - LK4			
Momente nach Theorie I. Ordnung			
Momente nach Theorie I. Ord.			
Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-632.850	kN
Moment um die y-Achse	$M_{Ed,1,y}$	-113.723	kNm
Rechnerische Gesamtausmitte in z-Richtung			
Planmäßige Ausmitte	$e_{calc,1,z}$	-179.7	mm
Ausmitte durch Imperfektionen	$e_{0,z}$	-153.6	mm
	$e_{i,z}$	-26.1	mm
Moment um die z-Achse	$M_{Ed,1,z}$	0.000	kNm
Keine Knickgefährdung laut Benutzervorgabe			

Bild 5.31: Momente nach Theorie I. Ordnung für LK4

5.1.10 Momente nach Theorie II. Ordnung

Schnittgrößen der minimalen Normalkraft am Stützenfuß (Stelle $x = 0,00$ m)

Das Moment nach Theorie II. Ordnung um die y-Achse durch Ausmitten in z-Richtung (Hallenquerrichtung) ist jeweils:

	LK2	LK3	LK4
N_{Ed}	-683,860 kN	-431,000 kN	-632,850 kN
$e_{2,tot,z}$	-33,09 cm	-42,85 cm	-37,85 cm
$M_{Ed,y2}$	-226,308 kNm	-184,686 kNm	-239,52 kNm

Für die Schnittgrößen der minimalen Normalkraft in der LK4 werden an der maßgebenden Stelle am Stützenfuß folgende *Zwischenergebnisse* ausgewiesen:

Zwischenergebnisse Rechteck 40/45 - LK4			
<input checked="" type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ordnung			
<input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. nach 5.8.8.2(3)			
<input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. in z-Richtung	$e_{2,z}$	-198.8	mm
<input type="checkbox"/> Beiwert			
Schlankeheit um die y-Achse	$k_{1,z}$	0.0000	
Krümmung in z-Ebene	λ_y	100.2280	
<input type="checkbox"/> Krümmung in z-Ebene	$1/r_z$	0.012	1/m
<input type="checkbox"/> Gewählter Beiwert (Normalkraft)			
Errechneter Beiwert (Normalkraft)	gew $K_{r,z}$	1.0000	
Grenztragfähigkeit	$K_{r,z}$	1.2354	
Verhältnis	n_u	1.2208	
Verhältnis	ω	0.2208	
<input type="checkbox"/> Vorhandene Bewehrung			
vorh A_s		15.54	cm ²
Bemessungswert Streckgrenze	f_{yd}	434.78	N/mm ²
Querschnittsfläche	A_c	1800.00	cm ²
Bemessungswert der Betonfestigkeit	f_{cd}	17.00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Relative Normalkraft			
Aufnehmbare Normalkraft (Biegung)	n_{bal}	-0.4000	
Gewählter Beiwert (Kriechen)	gew $K_{\phi,z}$	1.0000	
<input type="checkbox"/> Krümmung in z-Ebene			
Knicklänge	$l_{0,y}$	13.020	m
Beiwert(Krümmungsverlauf)	c	9.8696	
<input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. in y-Richtung	$e_{2,y}$	0.0	mm
<input checked="" type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ord.			

Bild 5.32: Ausmitte nach Theorie II. Ordnung in z-Richtung (LK4)

Zwischenergebnisse Rechteck 40/45 - LK4			
<input checked="" type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ordnung			
<input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. nach 5.8.8.2(3)			
<input type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ord.			
Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-632.850	kN
Moment um die y-Achse	$M_{Ed,y2}$	-239.515	kNm
<input type="checkbox"/> Gesamtausmitte in z-Richtung			
Ausmitte durch Th. II. Ord.	$e_{2,tot,z}$	-378.5	mm
Ausmitte (Th. I. Ord.) in z-Richtung	$e_{2,z}$	-198.8	mm
Mindestausmitte in z-Richtung	$e_{1,z}$	-179.7	mm
Mindestausmitte in z-Richtung	$e_{min,z}$	-20.0	mm
Moment um die z-Achse	$M_{Ed,z2}$	0.000	kNm

Bild 5.33: Momente nach Theorie II. Ordnung in z-Richtung (LK4)

5.1.11 Statisch erforderliche Bewehrung

Zwischenergebnisse Rechteck 40/45 - LK4			
Statisch erforderliche Bewehrung			
Einwirkende Schnittgrößen			
Normalkraft	N_{Ed}	-632.850	kN
Moment um die y-Achse nach Th. II. Ord.	$M_{Ed,y2}$	-239.515	kNm
Moment um die z-Achse nach Th. II. Ord.	$M_{Ed,z2}$	0.000	kNm
Krümmungen			
Querschnittspunkte			
Bewehrungsstäbe			
Statisch erforderliche Bewehrung	erf $A_{s,stat}$	15.54	cm ²
Mindestbewehrung nach Norm			
Erste Mindestbewehrung			
Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-632.850	kN
Bemessungswert Streckgrenze	f_{yd}	434.78	N/mm ²
Mindestbewehrung	erf $A_{s,min,1}$	2.18	cm ²
Zweite Mindestbewehrung			
Betonquerschnitt	A_c	1800.00	cm ²
Mindestbewehrung	erf $A_{s,min,2}$	5.40	cm ²
Mindestbewehrung	erf $A_{s,min}$	5.40	cm ²
Erforderliche Bewehrung			
Statisch erforderliche Bewehrung	erf $A_{s,stat}$	15.54	cm ²
Mindestbewehrung	erf $A_{s,min}$	5.40	cm ²
Erforderliche Bewehrung	erf A_s	15.54	cm ²

Bild 5.34: Zwischenergebnisse

Als *Statisch erforderliche Bewehrung* wird erf $A_{s,stat} = 15,54 \text{ cm}^2$ ausgegeben.

5.1.12 Vorhandene Bewehrung

Der gesamte Bewehrungsquerschnitt darf gemäß DIN EN 1045-01, Abs. 9.5.2 (3) den maximal zulässigen Wert von $0,09 A_c$ nicht überschreiten:

$$A_{s,max} = 0,09 \cdot A_c = 0,09 \cdot 1800 \text{ cm}^2 = 162 \text{ cm}^2$$

Durch die Benutzervorgabe wurde ausschließlich der Bewehrungsstahl mit Durchmesser von 16 mm zugelassen, um die gleichen Ergebnisse wie im Literaturbeispiel zu erhalten.

Mit diesen Bewehrungsstählen sucht das Programm die wirtschaftlichste Lösung. Es gilt, dass der vorhandene Bewehrungsquerschnitt möglichst nahe, jedoch größer dem erforderlichen Bewehrungsquerschnitt von $15,54 \text{ cm}^2$ ist.

Es werden pro Seite parallel zur y-Achse des Querschnitts in Hallenlängsrichtung vier Bewehrungsstäbe mit Stabdurchmesser 16 mm angeordnet.

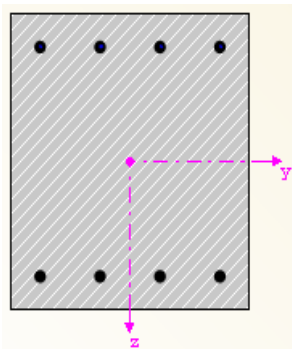


Bild 5.35: Gewählte Längsbewehrung

Dem Absatz 9.5.2 (4) der DIN EN 1992-1-1 ist zu entnehmen, dass bei polygonal umrandeten Querschnitten der maximale Längsstababstand nicht größer als 300 mm sein darf. Deshalb muss an den beiden Seiten parallel zur z-Achse ein konstruktiver Zwischenstab eingefügt werden, der mindestens den Durchmesser 12 mm haben muss. Da dieser Durchmesser jedoch nicht zur Verfügung gestellt wurde, wird ein Stab ebenfalls mit Durchmesser 16 mm angesetzt.

Der maximale Abstand wurde in Maske 1.4 Konstruktive Bewehrung auf 300 mm eingestellt.

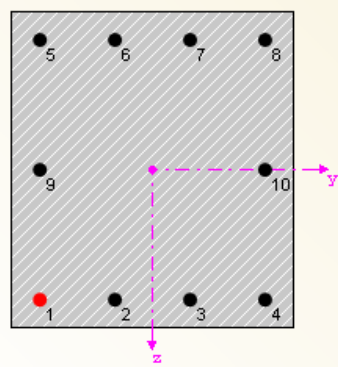


Bild 5.36: Gewählte Längsbewehrung mit konstruktiver Bewehrung

Die konstruktive Bewehrung wird bei der Bestimmung der vorhandenen Sicherheit berücksichtigt.

5.1.13 Vorhandene Sicherheit

In Maske 2.1 Nachweis Stäbe ergibt sich für die LK4 folgende vorhandene Bruchsicherheit:

	LK4
γ	1,1128

Ein anderer Wert der Sicherheit ergibt sich, wenn in Maske 4.1 Vorhandene Längsbewehrung die vorhandene Längsbewehrung verändert wird.

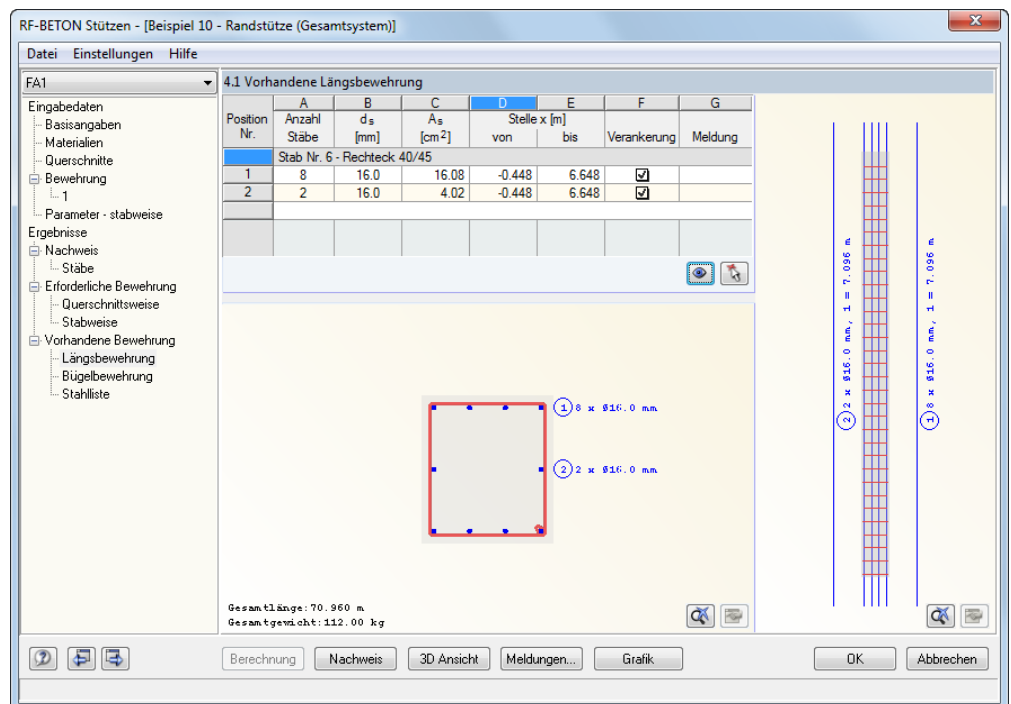


Bild 5.37: Maske 4.1 Vorhandene Längsbewehrung

Die obere Tabelle zeigt zwei Positionen für die Stütze an: Position 1 ist die statisch erforderliche Bewehrung, Position 2 die konstruktive Bewehrung. Letztere ist erforderlich, damit der Abstand zwischen zwei Bewehrungsstäben nicht größer als 300 mm wird. Die Position 2 wird durch Anklicken mit der linken Maustaste markiert. Dann wird die Schaltfläche zum Bearbeiten dieser Position gedrückt (siehe folgendes Bild).

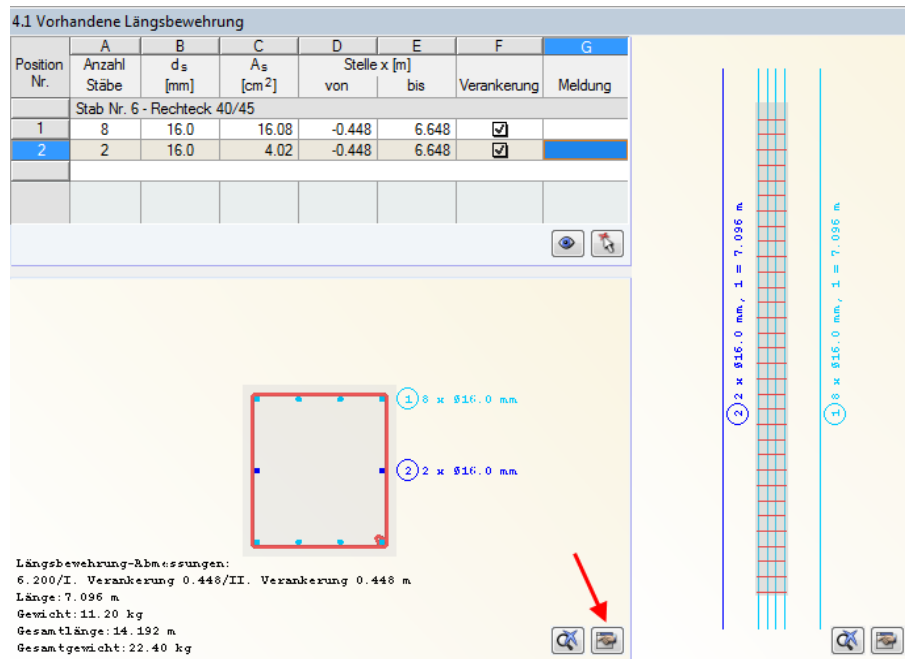


Bild 5.38: Ändern einer Position über Schaltfläche [Bearbeiten]

Es erscheint folgender Dialog.

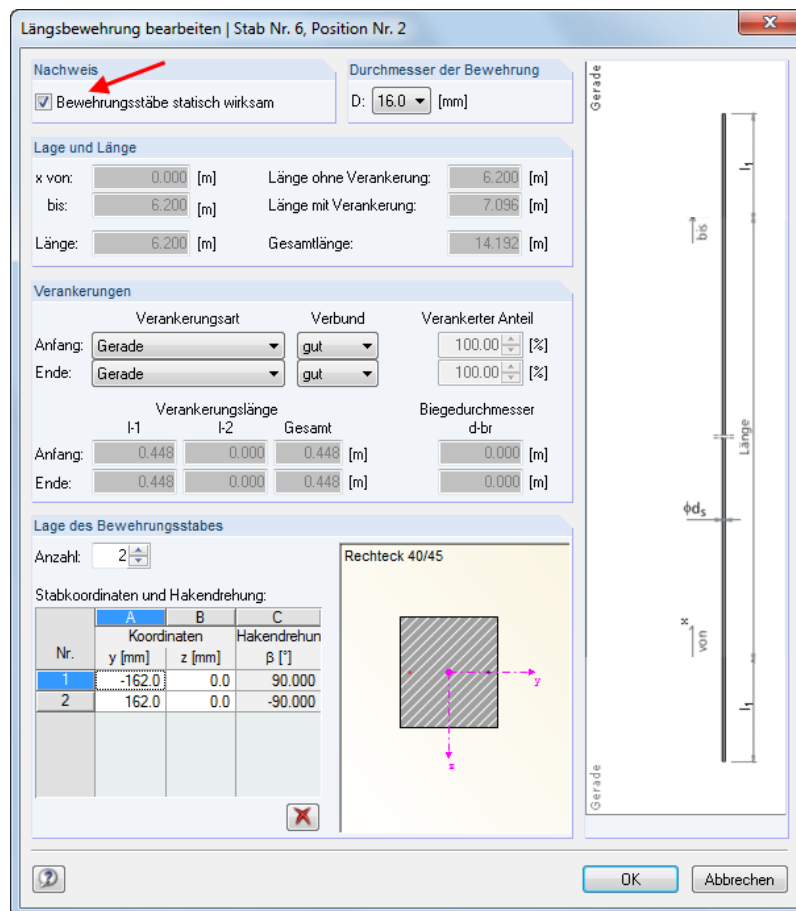


Bild 5.39: Dialog Längsbewehrung bearbeiten

Das Kontrollfeld *Bewehrungsstäbe statisch wirksam* im Abschnitt *Nachweis* wird durch Entfernen des Häkchens deaktiviert und der Dialog dann über [OK] verlassen.

Es erscheint folgender Dialog:

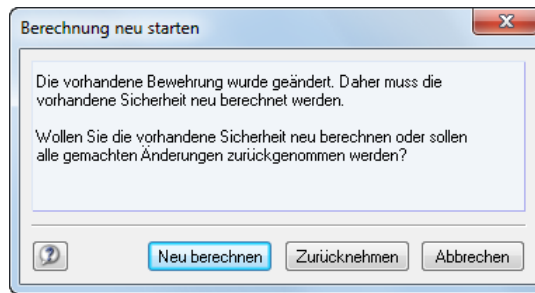


Bild 5.40: Dialog *Berechnung erneut starten*

Über die Schaltfläche [Neu berechnen] wird die Berechnung neu gestartet. Anschließend kann man die veränderten Sicherheiten in Maske 2.1 *Nachweis Stäbe* ablesen.

Für die LK4 ergibt sich nun ohne die konstruktive Bewehrung eine reduzierte Sicherheit:

	LK4
γ	1,0278

5.2 Schlanke Stütze

Um das in [4] nach nichtlinearem Verfahren vorgestellte Beispiel nachrechnen zu können, muss zunächst in RFEM bzw. RSTAB folgendes Modell erzeugt werden.

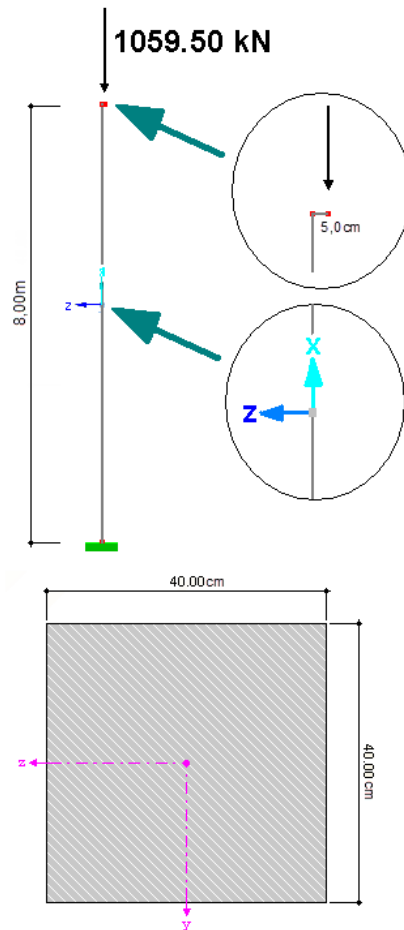


Bild 5.41: Modell zum Beispiel

Ein eingespannter Stab erhält am Ende seines waagrechten Schenkels (Länge 5 cm) die vorgegebene Last von 1059,50 kN. Da der waagrechte Schenkel in z-Richtung des Stabkoordinatensystems des lotrechten Stabes läuft, ergibt sich ein konstanter Verlauf des Moments um die y-Achse von $-52,975$ kNm. Auch der Normkraftverlauf ist mit $-1059,500$ kN konstant (siehe folgendes Bild).

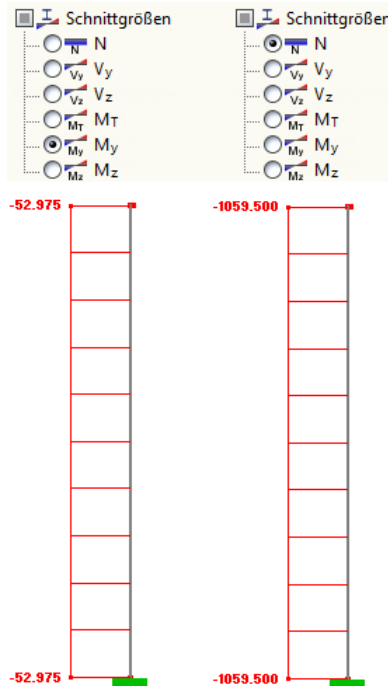


Bild 5.42: Verläufe des Moments M_y und der Normalkraft N

5.2.1 Räumliche Steifigkeit und Stabilität

Um die gleichen Ergebnisse wie in der Literatur zu erhalten, wird um die z-Achse des Querschnitts eine Stabilitätsuntersuchung durch Benutzervorgabe ausgeschlossen.

Einstellungen für Stab Nr. 1			
Querschnitt		1 - Rechteck 400/400	
<input checked="" type="checkbox"/> Allgemeine Eigenschaften			
<input type="checkbox"/> um die y-Achse			
<input type="checkbox"/> Knicken möglich	Knicken,y	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> System verschieblich	Verschieb,y	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Stützenlänge	l_y	8.000	m
<input type="checkbox"/> um die z-Achse			
<input type="checkbox"/> Knicken möglich	Knicken,z	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> System verschieblich	Verschieb,z	<input type="checkbox"/>	

Bild 5.43: Vorgabe der knickgefährdeten Richtungen in Maske 1.5

Wie die obige Abbildung zeigt, wird um die y-Achse vorgegeben, dass das System innerhalb dieser Richtung verschieblich ist. Die Systemlänge $l_{col,y}$ für diese Richtung wird vom Programm automatisch aus der Länge des definierten Stabes Nr. 1 ermittelt.

5.2.2 Ersatzlänge und Schlankheit der Stütze

Der Ersatzlängenbeiwert wird für einen einseitig eingespannten Stab zu $\beta = 2,0$ angenommen. Dieser Wert ist unter **Ersatzlänge** → **um die y-Achse** → **Definierter Knicklängenbeiwert** anzugeben.

Einstellungen für Stab Nr. 1			
Querschnitt		1 - Rechteck 400/400	
<input checked="" type="checkbox"/> Allgemeine Eigenschaften			
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge			
<input type="checkbox"/> um die y-Achse			
<input type="checkbox"/> Knicklängenmittlung automatisch	Ermitt- β	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Definiertes Knicklängenbeiwert	β_y	2.000	
<input type="checkbox"/> Ersatzlänge	$l_{0,y}$	16.000	m

Bild 5.44: Ersatzlänge

Die Systemlänge $l_{col,y}$ für Ausknicken um y-Achse entspricht der Stützenlänge $l_{col} = 8,0$ m.

Damit kann die Ersatzlänge $l_{0,y}$ für das Knicken um die y-Achse wie folgt bestimmt werden:

$$l_{0,y} = \beta \cdot l_{col,y} = 2,0 \cdot 8,0 \text{ m} = 16,0 \text{ m}$$

Die zugehörige Schlankheit λ_y um die y-Achse bestimmt sich dann zu:

$$\lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{16000}{115,47} = 138,564$$

Der Wert $\lambda_y = 138,564$ ist unter dem Eintrag *Schlankheit* ausgewiesen.

Einstellungen für Stab Nr. 1		
Querschnitt	1 - Rechteck 400/400	
☐ Allgemeine Eigenschaften		
☐ Ersatzlänge		
☐ Schlankheit		
☐ um die y-Achse		
Schlankheit	λ_y	138.564
☐ Grenzschlankheit		

Bild 5.45: Schlankheit λ_y

Der Vollständigkeit halber werden vor der Berechnung die übrigen Eingaben vorgestellt. In Maske 2.1 *Materialien* findet sich der aus RFEM bzw. RSTAB übernommene Beton. Dazu wird ein passender Bewehrungsstahl ausgesucht.

1.2 Materialien				
Material Nr.	A	B	C	D
	Material-Bezeichnung		Anmerkung	Kommentar
	Beton-Festigkeitsklasse	Betonstahl		
1	Beton C20/25	B 500 S (B)		

Bild 5.46: Maske 1.2 *Materialien*

In Maske 1.4 *Bewehrung* werden folgende Stabdurchmesser für die *Längsbewehrung* zugelassen:

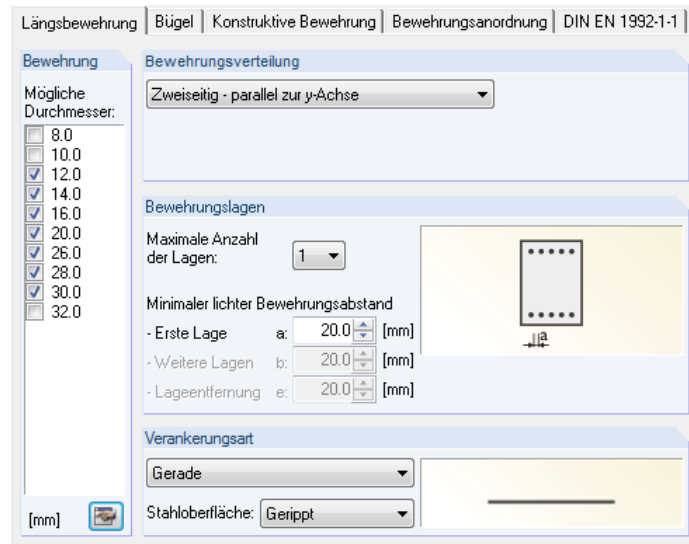


Bild 5.47: Maske 1.4 *Bewehrung*, Register *Längsbewehrung*

Im Register *Bewehrungsanordnung* wird das gleiche Achsmaß der Betondeckung vorgeben wie im Literaturbeispiel.

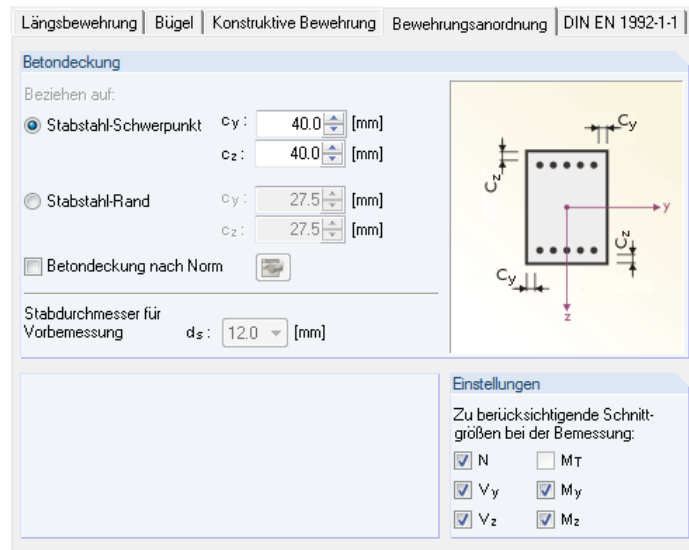


Bild 5.48: Maske 1.4 Bewehrung, Register *Bewehrungsanordnung*

Damit sind alle relevanten Eingaben vorgestellt.

Bei der Berechnung wird zunächst überprüft, ob eine Regelbemessung ausreichend ist oder ob eine Stabilitätsuntersuchung vorgenommen werden muss.

5.2.3 Grenzschlankheit gemäß 5.8.3.1 (1)

Zunächst muss für die Belastung eine erforderliche Bewehrung bestimmt werden. Diese ergibt sich in den Ausgabemasken 3.1 *Erforderliche Bewehrung querschnittsweise* und 3.2 *Erforderliche Bewehrung stabweise* zu 51,34 cm²/m.

3.1 Erforderliche Bewehrung querschnittsweise								
Quersch. Nr.	A	B	C	D	E	F	G	H
	Bewehrung	Stab Nr.	Stelle x [m]	LF / LK EK		Bewehrungs-Fläche	Einheit	Fehlermeldung bzw. Hinweis
1	Rechteck 400/400							
	Längs	1	0.000	LF1	A _s	51.34	cm ²	

Bild 5.49: Erforderliche Bewehrung

Die Ausgabe der Zwischenergebnisse beginnt mit folgenden drei Überpunkten:

Details - Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF1			
Maßgebende Belastung			
Normalkraft	N	-1059.500	kN
Moment um die y-Achse	M _y	-52.975	kNm
Moment um die z-Achse	M _z	0.000	kNm
Ersatzlänge nach 5.8.3.2			
Ersatzlänge um die y-Achse	l _{0,y}	16.000	m
Stützenlänge	l _y	8.000	m
Knicklängenbeiwert	β _y	2.0000	
Ersatzlänge um die z-Achse	l _{0,z}	8.000	m
Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe			
Schlankheit nach 5.8.3.2			
Schlankheit um die y-Achse	λ _y	138.5640	
Ersatzlänge	l _{0,y}	16.000	m
Trägheitsradius	i _y	115.5	mm
Schlankheit um die z-Achse	λ _z	0.0000	
Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe			

Bild 5.50: Darstellung der Zwischenergebnisse

Um die Grenzschlankheit ermitteln zu können, muss die bezogene Druckkraft bestimmt werden. Hierzu werden folgende Gleichungen verwendet:

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}}$$

mit :

$$A_c = y \cdot z = 40 \cdot 40 = 1600 \text{ cm}^2$$

$$f_{cd} = \frac{\alpha \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,85 \cdot 2,0}{1,5} = 1,133 \text{ kN/cm}^2$$

$$n = \frac{|N_{Ed}|}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{|1059,5|}{1600 \cdot 1,133} = 0,584 > 0,41$$

$$\lambda_{lim} = 25 \text{ für } |n| > 0,41$$

Im Programm finden sich diese Parameter unter dem Punkt *Grenzschlankheit nach 5.8.3.1 (1)*.

Details - Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF1			
<input checked="" type="checkbox"/> Maßgebende Belastung			
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge nach 5.8.3.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit nach 5.8.3.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Grenzschlankheit nach 5.8.3.1 (1)			
<input type="checkbox"/> Bezogene Normalkraft	n	0.5843	> 0.41
<input type="checkbox"/> Normalkraft	N _{Ed}	-1059.500	kN
<input type="checkbox"/> Betonquerschnitt	A _c	1600.00	cm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Bemessungswert der Betonfestigkeit	f _{cd}	11.33	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Charakteristische Betondruckfestigkeit	f _{ck}	20.00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Abminderungsbeiwert	α	0.8500	
<input type="checkbox"/> Teilsicherheitsbeiwert	γ _c	1.5000	
<input type="checkbox"/> Grenzschlankheit um die y-Achse	λ _{lim,y}	25.0000	
<input type="checkbox"/> Grenzschlankheit um die z-Achse	λ _{lim,z}	25.0000	

Bild 5.51: Grenzschlankheit nach 5.8.3.1 (1)

Die Schlankheit λ_y um die y-Achse ist mit 138,564 größer als die Grenzschlankheit von 25. Somit müssen gemäß Abs. 5.8.3.1(1) die Auswirkungen nach Theorie II.Ordnung berücksichtigt werden.

Details - Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF1			
<input checked="" type="checkbox"/> Maßgebende Belastung			
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge nach 5.8.3.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit nach 5.8.3.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Grenzschlankheit nach 5.8.3.1 (1)			
<input checked="" type="checkbox"/> Art der Bemessung			
<input type="checkbox"/> Voraussetzungen Regelbemessung nach 5.8.3.1 (1)			
<input type="checkbox"/> Voraussetzung um die y-Achse	λ _y ≤ λ _{lim,y}		Nicht erfüllt
<input type="checkbox"/> Vorhandene Schlankheit	λ _y	138.5640	
<input type="checkbox"/> Grenzschlankheit um die y-Achse	λ _{lim,y}	25.0000	
<input type="checkbox"/> Voraussetzung um die z-Achse	λ _z ≤ λ _{lim,z}		Erfüllt
<input type="checkbox"/> Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe			
<input type="checkbox"/> Voraussetzung für Regelbemessung erfüllt?			Nicht erfüllt
<input type="checkbox"/> Voraussetzungen Regelbemessung nach 5.8.3.1 (1)			
<input type="checkbox"/> System unverschieblich?			Nein
<input type="checkbox"/> Kein Lastmoment/-e am Stützenende?			Nein
<input type="checkbox"/> Stütze nicht durch Querlast beansprucht?			Ja
<input type="checkbox"/> Normalkraftverlauf konstant?			Ja
<input type="checkbox"/> Normalkraft ist keine Druckkraft?			Nein
<input type="checkbox"/> Voraussetzungen für Regelbemessung erfüllt?			Nein
<input type="checkbox"/> Knicknachweis erforderlich			

Bild 5.52: Art der Bemessung

5.2.4 Planmäßige Ausmitte gemäß 5.8.8.2

Die planmäßige Ausmitte gemäß DIN EN 1992-1-1 bestimmt sich zu:

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{-52,97 \text{ kNm}}{-1059,50 \text{ kN}} = 0,05 \text{ m}$$

Details - Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF1			
<input checked="" type="checkbox"/> Maßgebende Belastung			
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge nach 5.8.3.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit nach 5.8.3.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Grenzschlankheit nach 5.8.3.1 (1)			
<input checked="" type="checkbox"/> Art der Bemessung			
<input checked="" type="checkbox"/> Ausmitten			
<input checked="" type="checkbox"/> Planmäßige Ausmitte nach 5.8.8.2			
<input checked="" type="checkbox"/>	Planmäßige Ausmitte in z-Richtung	$e_{0,z}$	-50.0 mm
<input type="checkbox"/>	Momentenverlauf über die Stütze	Verlauf M_y	Konstant
<input type="checkbox"/>	Moment um die y-Achse	M_y	-52.975 kNm
<input type="checkbox"/>	Absolute Normalkraft	NI	1059.500 kN
<input checked="" type="checkbox"/>	Planmäßige Ausmitte in y-Richtung	$e_{0,y}$	0.0 mm
<input type="checkbox"/>	Momentenverlauf über die Stütze	Verlauf M_z	Konstant
<input type="checkbox"/>	Moment um die z-Achse	M_z	0.000 kNm
<input type="checkbox"/>	Absolute Normalkraft	NI	1059.500 kN

Bild 5.53: Planmäßige Ausmitte nach 5.8.8.2

5.2.5 Ausmitte durch Imperfektionen gemäß 5.2

Die Imperfektionen dürfen als Schiefstellung nach 5.2 (5) berechnet werden.

$$\theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_n \cdot \alpha_m = 1/200 \cdot 2/\sqrt{8} \cdot \sqrt{(0,5 \cdot (1+1/1))} = 0,003536$$

$$e_i = l \cdot \theta_i = 8000 \cdot 0,003536 = 28,3 \text{ mm}$$

Details - Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF1			
<input checked="" type="checkbox"/> Maßgebende Belastung			
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge nach 5.8.3.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit nach 5.8.3.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Grenzschlankheit nach 5.8.3.1 (1)			
<input checked="" type="checkbox"/> Art der Bemessung			
<input checked="" type="checkbox"/> Ausmitten			
<input checked="" type="checkbox"/> Planmäßige Ausmitte nach 5.8.8.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Ausmitte durch Imperfektionen gemäß 5.2			
<input checked="" type="checkbox"/>	Ausmitte durch Imperfektionen in z-Ebene	$e_{i,z}$	-28.3 mm
<input checked="" type="checkbox"/>	Neigung	$\theta_{i,z}$	0.0035
<input type="checkbox"/>	Grundwert der Neigung	θ_0	0.0035
<input type="checkbox"/>	Stützenlänge	l_y	8.000 m
<input checked="" type="checkbox"/>	Abminderungsbeiwert für Stützenanzahl	α_m	1.0000
<input type="checkbox"/>	Stütze wird laut Benutzervorgabe wie eine Einzelstütze nachgewiesen.		
<input type="checkbox"/>	Knicklänge	$l_{0,y}$	16.000 m
<input checked="" type="checkbox"/>	Ausmitte durch Imperfektionen in y-Ebene	$e_{i,y}$	0.0 mm
<input type="checkbox"/>	Keine Ausmitte durch Imperfektionen, da keine Knickgefährdung laut Benutzervorgabe		

Bild 5.54: Ausmitte durch Imperfektionen nach 5.2

5.2.6 Mindestausmitte gemäß 6.1 (4)

Für Querschnitte mit Drucknormalkraft ist in der Regel eine Mindestausmitte von $e_{min} = h / 30 \geq 20 \text{ mm}$ anzusetzen (mit h als Querschnittshöhe):

$$e_{min} = 400 / 30 = 13,33 \text{ mm} \Rightarrow 20 \text{ mm}$$

Details - Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF1			
<input checked="" type="checkbox"/> Maßgebende Belastung			
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge nach 5.8.3.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit nach 5.8.3.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Grenzschlankheit nach 5.8.3.1 (1)			
<input checked="" type="checkbox"/> Art der Bemessung			
<input checked="" type="checkbox"/> Ausmitten			
<input type="checkbox"/> Planmäßige Ausmitte nach 5.8.8.2			
<input type="checkbox"/> Ausmitte durch Imperfektionen gemäß 5.2			
<input type="checkbox"/> Mindestausmitte gemäß 6.1 (4)			
<input type="checkbox"/> Mindestausmitte in z-Richtung	$e_{min,z}$	-20.0	mm
Bauteilhöhe	$h_{w,z}$	400.0	mm
Mindestwert der Mindestausmitte	$e_{20 \text{ mm},z}$	20.0	mm
<input type="checkbox"/> Mindestausmitte in y-Richtung	$e_{min,y}$	0.0	mm
Kein Ansatz der Mindestausmitte, da keine Knickgefährdung laut Benutzervorgabe.			

Bild 5.55: Mindestausmitte nach 6.1 (4)

5.2.7 Momente nach Theorie I. Ordnung

Die Momente nach Theorie I. Ordnung ermitteln sich auf folgende Weise:

$$M_{Ed,1} = N_{Ed} \cdot (e_{0,z} + e_{i,z}) = -1059,50 \cdot (0,05 + 0,0283) = -82,94 \text{ kNm}$$

Details - Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF1			
<input checked="" type="checkbox"/> Maßgebende Belastung			
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge nach 5.8.3.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit nach 5.8.3.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Grenzschlankheit nach 5.8.3.1 (1)			
<input checked="" type="checkbox"/> Art der Bemessung			
<input checked="" type="checkbox"/> Ausmitten			
<input checked="" type="checkbox"/> Momente nach Theorie I. Ordnung			
<input type="checkbox"/> Momente nach Theorie I. Ord.			
Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-1059.500	kN
<input type="checkbox"/> Moment um die y-Achse	$M_{Ed,1,y}$	-82.942	kNm
<input type="checkbox"/> Rechnerische Gesamtausmitte in z-Richtung	$e_{calc,1,z}$	-78.3	mm
Planmäßige Ausmitte	$e_{0,z}$	-50.0	mm
Ausmitte durch Imperfektionen	$e_{i,z}$	-28.3	mm
<input type="checkbox"/> Moment um die z-Achse	$M_{Ed,1,z}$	0.000	kNm
Keine Knickgefährdung laut Benutzervorgabe			

Bild 5.56: Momente nach Theorie I. Ordnung

5.2.8 Momente nach Theorie II. Ordnung

Das Moment M_2 nach Theorie II. Ordnung nach 5.8.8.2 (3) lautet:

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2$$

mit :

- N_{Ed} Bemessungswert der Normalkraft
- e_2 Verformung (= weitere Exzentrizität, die durch die Belastung verursacht wird)
 $e_2 = (1/r) \cdot (l_0)^2 / c$
- $1/r$ Krümmung
- l_0 Knicklänge
- c Beiwert, der vom Krümmungsverlauf abhängt = π^2

Bei Bauteilen mit konstanten symmetrischen Querschnitten (einschließlich Bewehrung) darf die Krümmung nach 5.8.8.3 (1) wie folgt ermittelt werden:

$$1/r = K_r \cdot K_\varphi \cdot 1/r_0$$

$$K_r = (n_u - n) / (n_u - n_{bal}) \quad \text{Beiwert in Abhängigkeit von der Normalkraft nach 5.8.8.3}$$

$$n = N_{Ed} / (A_e \cdot f_{cd}) = 1059,500 / (1600 \cdot 11,33) \cdot 100 = 0,5843 \quad \text{Bezogene Normalkraft}$$

$$\omega = A_s \cdot f_{yd} / (A_c \cdot f_{cd}) = 63,71 \cdot 434,78 / (1600 \cdot 11,33) = 1,5280$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 1,5280 = 2,5280$$

$$n_{bal} = 0,4$$

$$K_r = (n_u - n) / (n_u - n_{bal}) = (2,5280 - 0,5843) / (2,5280 - 0,4) = 0,9134 \leq 1,00$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} \quad \text{Beiwert zur Berücksichtigung des Kriechens nach 5.8.8.3(4)}$$

$$\beta = 0,35 + f_{ck} / 200 - \lambda / 150 = 0,35 + 20 / 200 - 138,564 / 150 = -0,474$$

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \cdot M_{0Eqp} / M_{0Ed} \quad \text{Effektive Kriechzahl nach 5.8.4}$$

$$\varphi(\infty, t_0) \quad \text{Endkriechzahl gemäß 3.1.4 gemäß Vorgabe in Maske 1.3 Querschnitte}$$

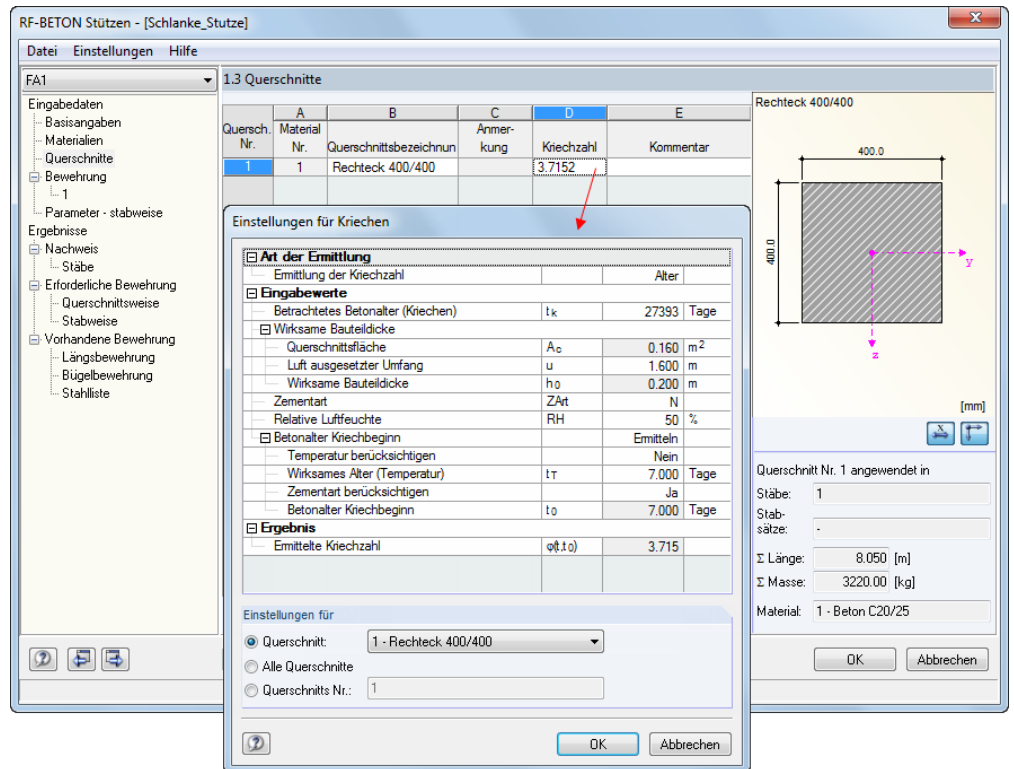


Bild 5.57: Ermittlung der Kriechzahl in Maske 1.3

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \cdot M_{0Eqp} / M_{0Ed} = 3,7152 \cdot 82,942 / 82,942 = 3,7152$$

Dabei ist M_{0Eqp} das Biegemoment nach Theorie I. Ordnung unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination, M_{0Ed} das Biegemoment nach Theorie I. Ordnung unter der Bemessungseinwirkungskombination. Das Verhältnis kann in Maske 1.1 Basisangaben, Register Kriecherzeugende Dauerlast mit 1,00 begrenzt werden.

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1 + (-0,474) \cdot 3,7152 = -0,449 \geq 1,0$$

$$1/r_0 = \varepsilon_{yd} / (0,45 \cdot d) = 2,17 / (0,45 \cdot 360) = 0,013 \text{ 1/m}$$

$$1/r = K_r \cdot K_\varphi \cdot 1/r_0 = 0,9134 \cdot 1,0 \cdot 0,013 = 0,012$$

Die zusätzliche Lastausmitte e_2 infolge der Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung ermittelt sich dann wie folgt:

$$e_2 = (1/r) \cdot (l_0)^2 / c = 0,012 \cdot 16^2 / \pi^2 = 0,3138\text{m}$$

Sind die Ausmitten infolge Theorie II. Ordnung bekannt, können die Momente nach Theorie II. Ordnung bestimmt werden zu:

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 1059,5 \cdot 0,3138 = 332,47 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,2} = N_{Ed} \cdot (e_0 + e_1 + e_2) = 1059,5 \cdot (0,050 + 0,0283 + 0,3138) = 415,389 \text{ kNm}$$

Details - Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF1			
<input checked="" type="checkbox"/> Maßgebende Belastung			
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge nach 5.8.3.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit nach 5.8.3.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Grenzschlankheit nach 5.8.3.1 (1)			
<input checked="" type="checkbox"/> Art der Bemessung			
<input checked="" type="checkbox"/> Ausmitten			
<input checked="" type="checkbox"/> Momente nach Theorie I. Ordnung			
<input checked="" type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ordnung			
<input checked="" type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. nach 5.8.8.2(3)			
<input checked="" type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. in z-Richtung	$e_{2,z}$	-313.8	mm
<input checked="" type="checkbox"/> Krümmung in z-Ebene	$1/r_z$	0.012	1/m
<input checked="" type="checkbox"/> Gewählter Beiwert (Normalkraft)	gew $K_{r,z}$	0.9134	
<input checked="" type="checkbox"/> Errechneter Beiwert (Normalkraft)	$K_{r,z}$	0.9134	
<input checked="" type="checkbox"/> Grenztragfähigkeit	n_u	2.5276	
<input checked="" type="checkbox"/> Verhältnis	ω	1.5276	
<input checked="" type="checkbox"/> Bezogene Normalkraft	n	-0.5843	
<input checked="" type="checkbox"/> Aufnehmbare Normalkraft (Biegung)	n_{bal}	-0.4000	
<input checked="" type="checkbox"/> Gewählter Beiwert (Kriechen)	gew $K_{\phi,z}$	1.0000	
<input checked="" type="checkbox"/> Errechneter Beiwert (Kriechen)	$K_{\phi,z}$	-0.7601	
<input checked="" type="checkbox"/> Krümmung in z-Ebene	$1/r_{0,z}$	0.013	1/m
<input checked="" type="checkbox"/> Dehnung (Streckgrenze)	ϵ_{yd}	2.17	‰
<input checked="" type="checkbox"/> Bemessungswert Streckgrenze	f_{yd}	434.78	N/mm ²
<input checked="" type="checkbox"/> E-Modul	E_s	200000.00	N/mm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Statische Höhe	d_z	360.0	mm
<input checked="" type="checkbox"/> Knicklänge	$l_{0,y}$	16.000	m
<input checked="" type="checkbox"/> Beiwert (Krümmungsverlauf)	c	9.8696	
<input checked="" type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. in y-Richtung	$e_{2,y}$	0.0	mm
Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe			
<input checked="" type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ord.			
<input checked="" type="checkbox"/> Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-1059.500	kN
<input checked="" type="checkbox"/> Moment um die y-Achse	$M_{Ed,y2}$	-415.389	kNm
<input checked="" type="checkbox"/> Gesamtausmitte in z-Richtung	$e_{2,tot,z}$	-392.1	mm
<input checked="" type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord.	$e_{2,z}$	-313.8	mm
<input checked="" type="checkbox"/> Ausmitte (Th. I. Ord.) in z-Richtung	$e_{1,z}$	-78.3	mm
<input checked="" type="checkbox"/> Planmäßige Ausmitte	$e_{0,z}$	-50.0	mm
<input checked="" type="checkbox"/> Ausmitte durch Imperfektionen	$e_{i,z}$	-28.3	mm
<input checked="" type="checkbox"/> Mindestausmitte in z-Richtung	$e_{min,z}$	-20.0	mm
<input checked="" type="checkbox"/> Moment um die z-Achse	$M_{Ed,z2}$	0.000	kNm

Bild 5.58: Momente nach Theorie II. Ordnung

Für dieses einwirkende Moment nach Theorie II. Ordnung findet zusammen mit der einwirkenden Normalkraft eine erste Bemessung statt. Im weiteren Programmablauf wird die erforderliche Bewehrung für jede abermalige Bemessung als vorhandene Bewehrung angesetzt. Dann wird nochmals das einwirkende Moment nach Theorie II. gefunden. Für dieses Moment wird erneut eine erforderliche Bewehrung bestimmt, die dann wieder als vorhandene Bewehrung zur Ermittlung eines neuen Moments nach Theorie II. Ordnung angesetzt wird. Dieses Wechselspiel zwischen vorhandener Bewehrung und Moment nach Theorie II. Ordnung wird so lange fortgesetzt, bis sich das Moment nicht mehr wesentlich ändert.

In unserem Fall wird das Moment von 415,389 kNm zu 412,565 kNm geändert. Dieser Wert wird zusammen mit der Normalkraft von 1059,50 kN für die Bemessung verwendet.

Zwischenergebnisse Rechteck 400/400 - LF1			
<input checked="" type="checkbox"/> Maßgebende Belastung			
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge nach 5.8.3.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit nach 5.8.3.2			
<input checked="" type="checkbox"/> Grenzlankheit nach 5.8.3.1 (1)			
<input checked="" type="checkbox"/> Art der Bemessung			
<input checked="" type="checkbox"/> Ausmitten			
<input checked="" type="checkbox"/> Momente nach Theorie I. Ordnung			
<input checked="" type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ordnung			
<input checked="" type="checkbox"/> Statisch erforderliche Bewehrung			
<input type="checkbox"/> Einwirkende Schnittgrößen			
<input type="checkbox"/> Normalkraft	N_{Ed}	-1059.50	kN
<input type="checkbox"/> Moment um die y-Achse nach Th. II. Ord. (Kriechen)	$M_{Ed,y2}$	-412.565	kNm
<input type="checkbox"/> Moment um die z-Achse nach Th. II. Ord. (Kriechen)	$M_{Ed,z2}$	0.000	kNm
<input type="checkbox"/> Krümmungen			
<input type="checkbox"/> Krümmung in z-Ebene	$1/r_z$	-0.015	1/m
<input type="checkbox"/> Krümmung in y-Ebene	$1/r_y$	0.000	1/m
<input checked="" type="checkbox"/> Querschnittspunkte			
<input checked="" type="checkbox"/> Bewehrungsstäbe			
<input type="checkbox"/> Statisch erforderliche Bewehrung	erf $A_{s,stat}$	51.34	cm ²

Bild 5.59: Statisch erforderliche Bewehrung

Unter dem Überpunkt *Querschnittspunkte* befinden sich für jeden in der rechtseitigen Grafik dargestellten Punkt die Betondehnungen und -spannungen.

<input type="checkbox"/> Querschnittspunkte			
<input type="checkbox"/> Anzahl der Querschnittspunkte	n_c	4	
<input type="checkbox"/> Querschnittspunkt			
<input type="checkbox"/> y-Koordinate	y_c	20.0	cm
<input type="checkbox"/> z-Koordinate	z_c	20.0	cm
<input type="checkbox"/> Dehnung	ϵ_c	-3.50	‰
<input type="checkbox"/> Spannung	σ_c	-11.33	N/mm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Querschnittspunkt			
<input checked="" type="checkbox"/> Querschnittspunkt	Nr.	3	
<input checked="" type="checkbox"/> Querschnittspunkt	Nr.	4	

Bild 5.60: Spannungen und Dehnungen der einzelnen Querschnittspunkte

Analog dazu befinden sich unter dem Überpunkt *Bewehrungsstäbe* die Koordinaten der einzelnen Bewehrungsstäbe sowie die in ihnen vorherrschenden Dehnungen und Spannungen.

<input type="checkbox"/> Bewehrungsstäbe			
<input type="checkbox"/> Anzahl der Bewehrungsstäbe	n_s	22	
<input type="checkbox"/> Bewehrungsstab			
<input type="checkbox"/> y-Koordinate	y_s	-16.0	cm
<input type="checkbox"/> z-Koordinate	z_s	16.0	cm
<input type="checkbox"/> Dehnung	ϵ_s	-2.91	‰
<input type="checkbox"/> Spannung	σ_s	-434.78	N/mm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Bewehrungsstab			
<input checked="" type="checkbox"/> Bewehrungsstab	Nr.	2	

Bild 5.61: Spannungen und Dehnungen der einzelnen Bewehrungsstäbe

Sowohl Dehnungen als auch Spannungen werden gemeinsam für Beton und Bewehrung im Grafikenfenster auf der rechten Seite dargestellt. Diese Darstellung kann mit den Schaltflächen unterhalb des Grafikenfensters angepasst werden. Es kann auch ein eigener Dialog aufgerufen werden, der die Dehnungen und Spannungen übersichtlich in zwei Tabellen für Beton und Stahl zeigt (siehe folgendes Bild).

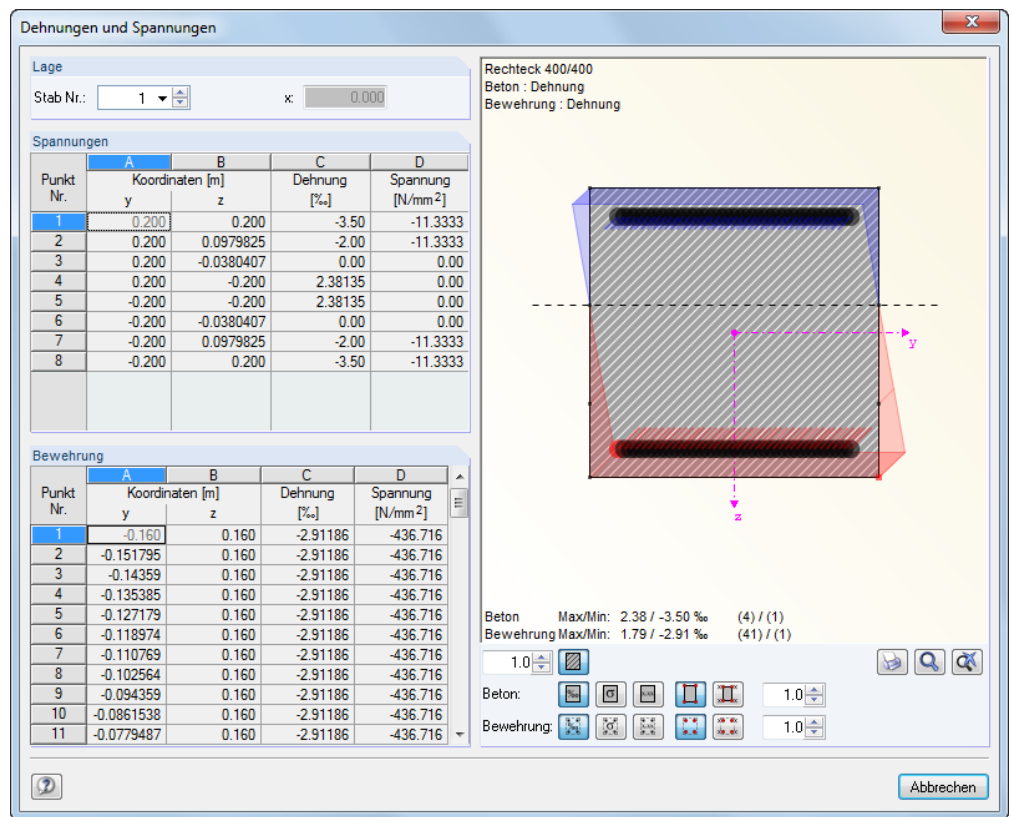


Bild 5.62: Darstellung der Dehnungen und Spannungen von Beton und Bewehrung

Den Abschluss der Zwischenergebnisse in Maske 3.1 *Erforderliche Bewehrung querschnittsweise* bilden zum einen der Überpunkt zur Ermittlung der *Mindestbewehrung nach Norm* und zum anderen der Überpunkt für die *Erforderliche Bewehrung*, die sich als größere Bewehrung aus der statisch erforderlichen Bewehrung und der Mindestbewehrung ergibt.

Zwischenergebnisse Rechteck 400/400 - LF1		
<input checked="" type="checkbox"/>	Maßgebende Belastung	
<input checked="" type="checkbox"/>	Ersatzlänge nach 5.8.3.2	
<input checked="" type="checkbox"/>	Schlankheit nach 5.8.3.2	
<input checked="" type="checkbox"/>	Grenzschlankheit nach 5.8.3.1 (1)	
<input checked="" type="checkbox"/>	Art der Bemessung	
<input checked="" type="checkbox"/>	Ausmitteln	
<input checked="" type="checkbox"/>	Momente nach Theorie I. Ordnung	
<input checked="" type="checkbox"/>	Momente nach Theorie II. Ordnung	
<input checked="" type="checkbox"/>	Statisch erforderliche Bewehrung	
<input checked="" type="checkbox"/>	Mindestbewehrung nach Norm	
<input type="checkbox"/>	Einwirkende Normalkraft	N _{Ed} -1059.500 kN
<input type="checkbox"/>	Bemessungswert Streckgrenze	f _{yd} 434.78 N/mm ²
<input type="checkbox"/>	Mindestbewehrung	erf A _{s,min,1} 3.66 cm ²
<input checked="" type="checkbox"/>	Erforderliche Bewehrung	
<input type="checkbox"/>	Statisch erforderliche Bewehrung	erf A _{s,stat} 51.34 cm ²
<input type="checkbox"/>	Mindestbewehrung	erf A _{s,min} 3.66 cm ²
<input type="checkbox"/>	Erforderliche Bewehrung	erf A _s 51.34 cm ²

Bild 5.63: Überpunkte *Mindestbewehrung nach Norm* und *Erforderliche Bewehrung*

Die Mindestbewehrung bestimmt sich nach DIN EN 1992-1-1 gemäß 9.5.2 (2) wie folgt:

$$A_{s,min} = 0,15 \cdot \frac{|N_{Ed}|}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{|-1059,50|}{43,478} = 3,66 \text{ cm}^2$$

5.2.9 Vorhandene Bewehrung

Der gesamte Bewehrungsquerschnitt darf gemäß DIN EN 1992-1-1, Abs. 9.5.2 (3) den Maximalwert von $0,09 A_c$ nicht überschreiten:

$$A_{s,max} = 0,09 \cdot A_c = 0,09 \cdot 1600 \text{ cm}^2 = 162 \text{ cm}^2$$

Für die Bewehrungsausführung werden folgende Bewehrungsstahl-Durchmesser vorgegeben: 12, 14, 16, 20, 26, 28 und 30 mm (siehe Bild 5.47, Seite 163). Das Programm untersucht, mit welchem dieser Durchmesser die wirtschaftlichste Lösung möglich ist: Der vorhandene Bewehrungsquerschnitt soll möglichst nahe, jedoch größer dem erforderlichen Bewehrungsquerschnitt sein.

Für diese Bewehrung wird eine vorhandene Bruchsicherheit von 1,1094 errechnet.

Details - Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF1			
<input checked="" type="checkbox"/> Momente nach Theorie I. Ordnung			
<input checked="" type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ordnung			
<input checked="" type="checkbox"/> Vorhandene Bewehrung			
<input checked="" type="checkbox"/> Dehnungszustand			
<input checked="" type="checkbox"/> Bruchzustand			
<input checked="" type="checkbox"/> Nachweis			
Erforderliche Bruchsicherheit	erf γ	1.0	
<input checked="" type="checkbox"/> Vorhandene Bruchsicherheit	vorh γ	1.1094	
<input checked="" type="checkbox"/> Einwirkende Schnittgrößen			
Normalkraft	N_{Ed}	-1059.500	kN
Moment um die y-Achse nach Th. II. O	$M_{Ed,y2}$	-417.074	kNm
Moment um die z-Achse nach Th. II. O	$M_{Ed,z2}$	0.000	kNm
<input checked="" type="checkbox"/> Bruchschnittgrößen			
Bruchnormalkraft	N_u	-1175.360	kN
Bruchmoment um die y-Achse	$M_{y,u}$	-462.695	kNm
Bruchmoment um die z-Achse	$M_{z,u}$	0.000	kNm
Nachweiskriterium (erf γ / vorh γ)	Kriterium	0.9014	

Rechteck 400/400 LF1 / Dehnungszustand

Beton : Dehnung

Bewehrung : Dehnung

Beton Max/Min: 2.23 / -2.80 ‰

Bewehrung Max/Min: 1.73 / -2.30 ‰

1.0

Beton:

Bewehrung:

Bild 5.64: Vorhandene Bruchsicherheit

Das Programm schlägt fünf Bewehrungsstäbe mit Durchmesser 26 mm vor, die für jede Seite parallel zur y-Achse des Querschnitts anzuordnen sind.

4.1 Vorhandene Längsbewehrung								
Position Nr.	A	B	C	D		E	F	G
	Anzahl Stäbe	d_s [mm]	A_s [cm ²]	von	bis	Verankerung	Meldung	
Stab Nr. 1 - Rechteck 400/400								
1	10	26.0	53.09	-1.012	9.012	<input checked="" type="checkbox"/>		
2	2	26.0	10.62	-1.012	9.012	<input checked="" type="checkbox"/>		

1) 10 x 26.0 mm

2) 2 x 26.0 mm

Gesamtlänge: 120.291 m
Gesamtgewicht: 501.35 kg

Bild 5.65: Längsbewehrung der Stütze

Über den Dialog *Längsbewehrung bearbeiten* kann die konstruktive Bewehrung als statisch nicht wirksam definiert werden.

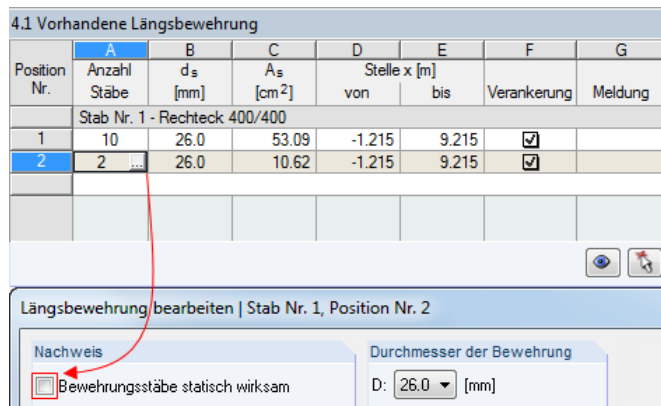


Bild 5.66: Statische Wirksamkeit der konstruktiven Bewehrung ausschalten

Um die Änderungen für die vorhandene Sicherheit zu erfassen, ist die Berechnung erneut zu starten. Ohne Berücksichtigung der konstruktiven Bewehrung verringert sich die vorhandene Sicherheit von 1,1094 auf 1,0247.

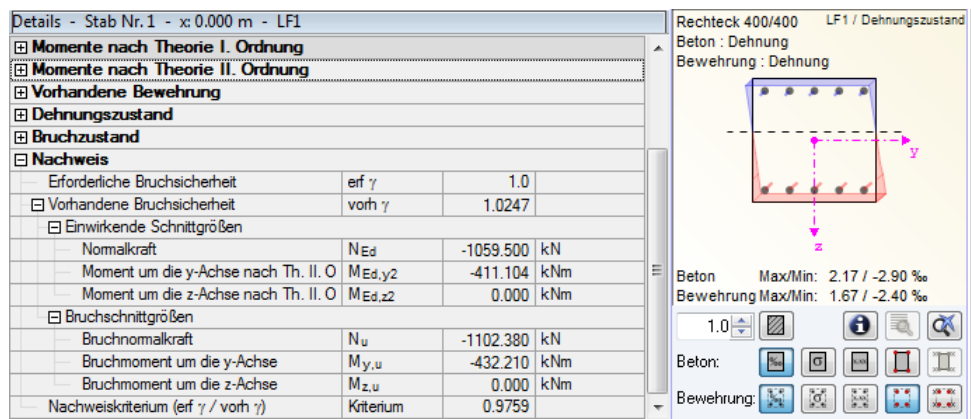


Bild 5.67: Vorhandene Bruchsicherheit ohne konstruktive Bewehrung

Inwieweit eine veränderte vorhandene Längsbewehrung Einfluss auf die Sicherheit hat, zeigt sich an verschiedenen Stellen in den *Zwischenergebnissen*. Zuerst wirkt sich eine veränderte vorhandene Längsbewehrung das einwirkende Moment nach Theorie II. Ordnung aus.

Welche Bewehrung statisch wirksam ist, findet sich in den Details an folgenden Stellen.

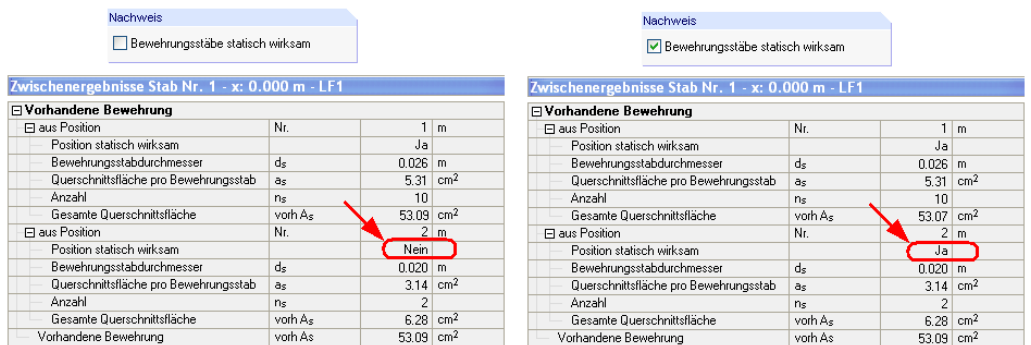


Bild 5.68: Überprüfen der statischen Wirksamkeit einer Position

Bei der Darstellung der Spannungen und Verformungen in Tabelle und Grafik werden auch nur jene Bewehrungsstäbe dargestellt, die statisch wirksam sind.

5.3 Brandschutznachweis

Eine vierseitig brandbeanspruchte Stütze nach dem Beispiel 10 in [3] wird für die Brandschutzklasse R30 untersucht. Im Modul RF-/BETON Stützen sind in Maske 1.4 Bewehrung folgende Angaben zum Brandschutz zu treffen:

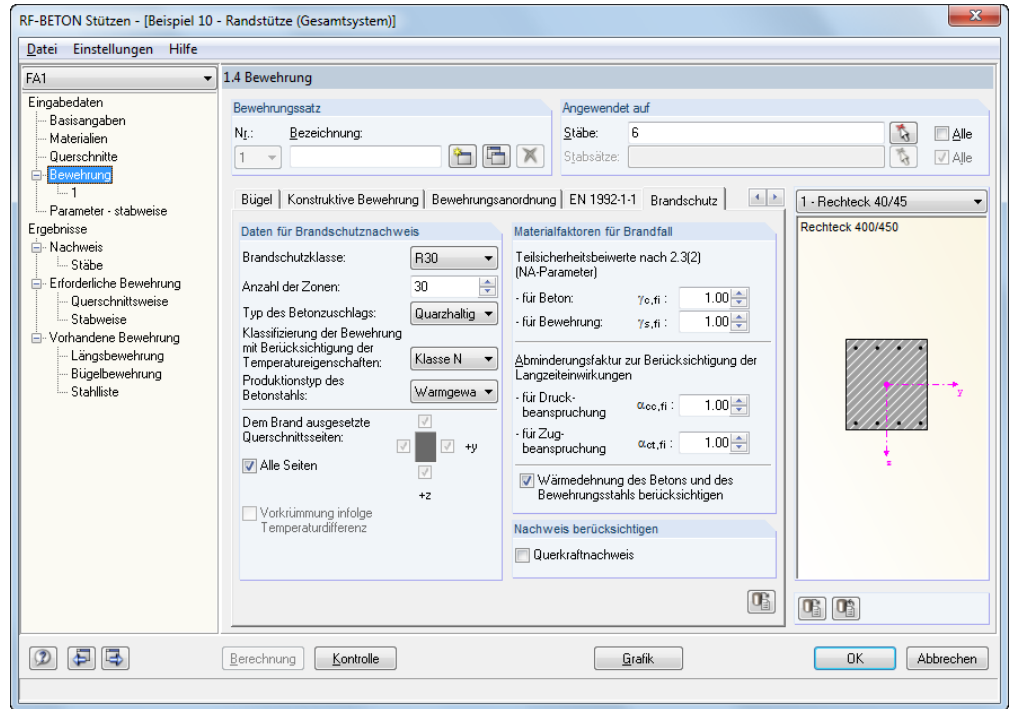


Bild 5.69: Maske 1.4 Bewehrung, Register Brandschutz

Nach der [Berechnung] erscheinen in Maske 2.1 Nachweis Stäbe folgende Ergebnisse:

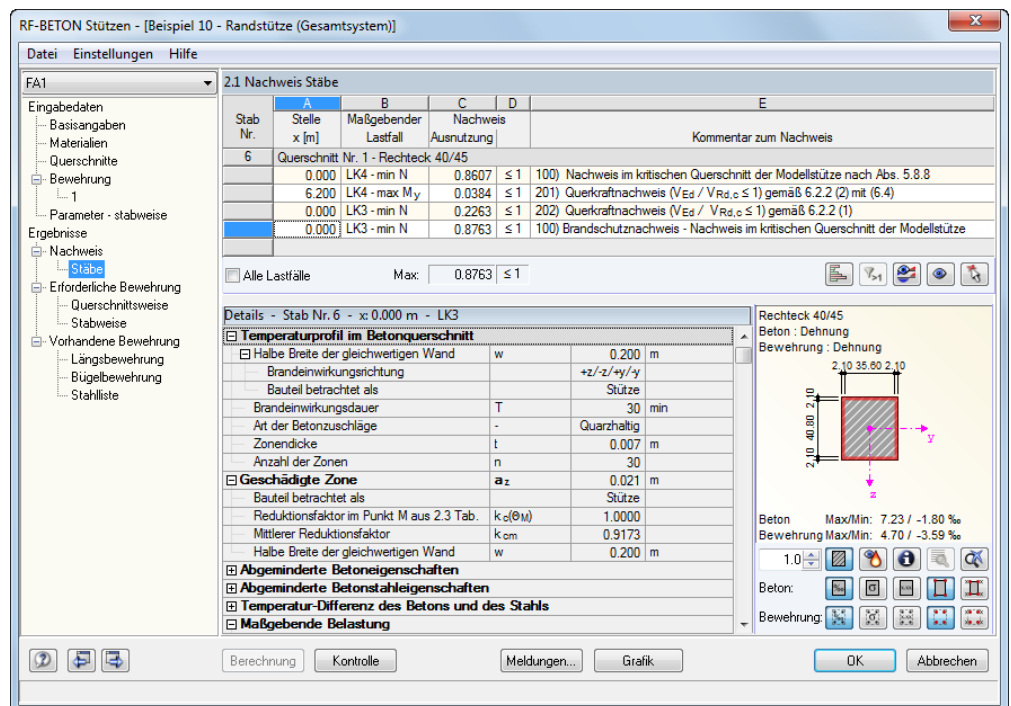


Bild 5.70: Maske 2.1 Nachweis Stäbe

Für den Querschnitt werden die maßgebenden Sicherheiten ausgegeben, die bei der Brandschutzbemessung ermittelt wurden. Sie resultieren aus den eingegebenen Parametern für die Brandnachweise, der vorhandenen Bewehrung und den Schnittgrößen der Einwirkungen.

Es wird jeweils die x-Stelle im Stab angegeben, die für die Brandschutzbemessung maßgebend ist. Für die tabellarische Ausgabe werden diese RFEM- bzw. RSTAB-Stabstellen x herangezogen:

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

In der Spalte *Maßgebender Lastfall* werden die Nummern der Lastfälle, Last- oder Ergebniskombinationen angegeben, die für die jeweiligen Nachweise maßgebend sind.

Die Spalte *Ausnutzung* gibt Auskunft über die kleinsten Sicherheitsfaktoren γ einer jeden Nachweisart. Ist die Sicherheit kleiner als 1, so ist der Brandschutznachweis erfüllt.

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

Details - Stab Nr. 6 - x: 0.000 m - LK3			
Temperaturprofil im Betonquerschnitt			
<input type="checkbox"/> Halbe Breite der gleichwertigen Wand	w		0.200 m
Brandeinwirkungsrichtung			+z/-z/+y/-y
<input type="checkbox"/> Bauteil betrachtet als			Stütze
Brandeinwirkungsdauer	T		30 min
Art der Betonzuschläge	-		Quarzhaltig
Zonendicke	t		0.007 m
Anzahl der Zonen	n		30
Geschädigte Zone			
<input type="checkbox"/> Bauteil betrachtet als			Stütze
Reduktionsfaktor im Punkt M aus 2.3 Tab.	$k_{c(\theta_M)}$		1.0000
Mittlerer Reduktionsfaktor	k_{om}		0.9173
Halbe Breite der gleichwertigen Wand	w		0.200 m
Abgeminderte Betoneigenschaften			
Abgeminderte Betonstahleigenschaften			
Temperatur-Differenz des Betons und des Stahls			

Bild 5.71: Angaben zu Temperaturprofil und für Geschädigte Zone



Das Temperaturprofil und die geschädigte Zone werden auch mit Bemaßungen grafisch dargestellt. Die detaillierten Werte der einzelnen Zonen sind über die Schaltfläche [Temperaturprofil] einsehbar.

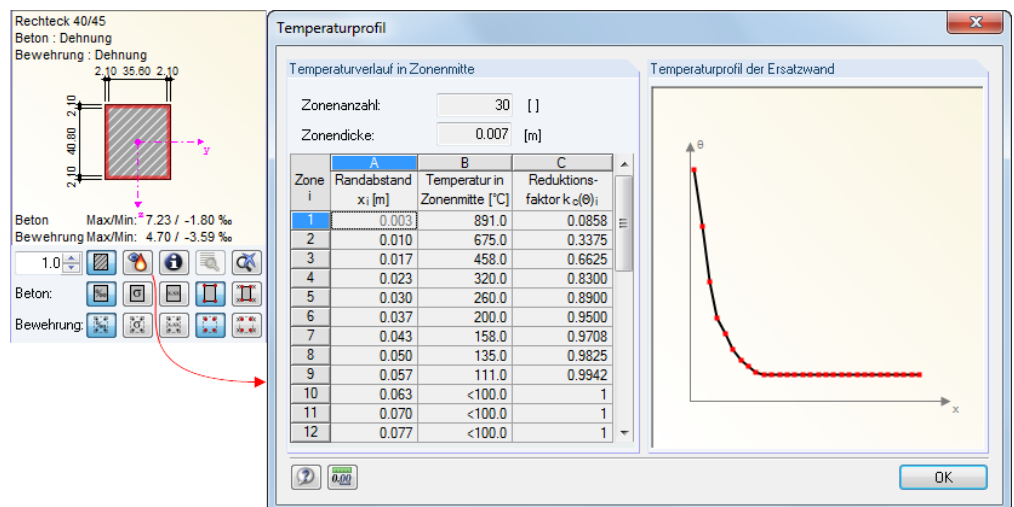


Bild 5.72: Temperaturprofil und geschädigte Zone - Grafik

Eine Tabelle gibt den *Temperaturverlauf in Zonenmitte* an. Grafisch wird das *Temperaturprofil der Ersatzwand* gemäß EN 1992-1-2, Anhang A dargestellt.

Für die Berechnung werden die abgeminderten Eigenschaften für Beton und Stahl benutzt.

Details - Stab Nr. 6 - x: 0.000 m - LK3			
Temperaturprofil im Betonquerschnitt			
Geschädigte Zone	a_z	0.021	m
Abgeminderte Betoneigenschaften			
Abgeminderte Betondruckfestigkeit	$f_{ck}(\theta)$	30.000	N/mm ²
Temperatur am Punkt M aus 2.3 Tab.	θ_M	100	°C
Reduktionsfaktor für Betondruckfestigkeit	$k_{c,0}(\theta_M)$	1.0000	
Abgeminderte Betonzugfestigkeit	$f_{ct,t}(\theta)$	2.900	N/mm ²
Reduktionsfaktor für Betondruckfestigkeit	$k_{c,0}(\theta_M)$	1.0000	
Reduktionsfaktor für Betonzugfestigkeit	$k_{c,t}(\theta_M)$	1000.0000	
Abgeminderter E-Modul	$E_{cd}(\theta)$	28300.000	N/mm ²
Temperatur am Punkt M aus 2.3 Tab.	θ_M	100	°C
Reduktionsfaktor für Betondruckfestigkeit	$k_{c,0}(\theta_M)$	1.0000	
Abgeminderte Betonstahleigenschaften			
Temperatur-Differenz des Betons und des Stahls			

Bild 5.73: Abgeminderte Betoneigenschaften

Details - Stab Nr. 6 - x: 0.000 m - LK3			
Abgeminderte Betoneigenschaften			
Abgeminderte Betonstahleigenschaften			
Abgemind. Zugfestigkeit der Bewehrung	$f_{sy,t}(\theta)$	401.000	N/mm ²
Temperatur in Bewehrungsstabmitte	θ_s	298	°C
Betonstahldehnung bei Temperatur θ	$\epsilon_{s,fi}$	0.250	%
Reduktionsfaktor für die Zugfestigkeit	$k_{s,t}(\theta)$	0.8020	
Verwendete Kurve von Bild 4.2		3.0000	
Abgeminderter E-Modul der Zugbewehrung	$E_{sy,t}(\theta)$	160400.000	N/mm ²
Temperatur in Bewehrungsstabmitte	θ_s	298	°C
Betonstahldehnung bei Temperatur θ	$\epsilon_{s,fi}$	0.250	%
Reduktionsfaktor für E-Modul	$E_{sy,\theta} / E_s$	0.8020	
Abgemind. Druckfestigkeit der Bewehrung	$f_{sy,c}(\theta)$	401.000	N/mm ²
Temperatur in Bewehrungsstabmitte	θ_s	298	°C
Reduktionsfaktor für die Druckfestigkeit	$k_{s,c}(\theta)$	0.8020	
Verwendete Kurve von Bild 4.2		3.0000	
Abgeminderter E-Modul der Druckbewehrung	$E_{sy,c}(\theta)$	160400.000	N/mm ²
Temperatur in Bewehrungsstabmitte	θ_s	298	°C
Reduktionsfaktor für E-Modul	$E_{sy,\theta} / E_s$	0.8020	
Abgemind. Stahlzugfestigkeit der Schubbewehrung	$f_{sy,sw,t}(\theta)$	412.000	N/mm ²
Referenztemperatur	$\theta_{P,sw}$	480	°C
Reduktionsfaktor für die Zugfestigkeit	$k_{s,sw}(\theta)$	0.8240	
Verwendete Kurve von Bild 4.2		3.0000	

Bild 5.74: Abgeminderte Betonstahleigenschaften

Details - Stab Nr. 6 - x: 0.000 m - LK3			
Temperaturprofil im Betonquerschnitt			
Geschädigte Zone	a_z	0.021	m
Abgeminderte Betoneigenschaften			
Abgeminderte Betonstahleigenschaften			
Temperatur-Differenz des Betons und des Stahls			
Längenänderung des Betons	$\epsilon_{c,fi}$	0.153	%
Mittelwert der Betontemperatur	θ_c	176	°C
Art der Betonzuschläge	-	Quarzhaltig	
Längenänderung der Bewehrung	$\epsilon_{s,fi}$	0.369	%
Temperatur in Bewehrungsstabmitte	θ_s	298	°C
Maßgebende Belastung			

Bild 5.75: Temperatur-Differenz des Betons und des Stahls

Am Ende der *Details* werden alle Eingangswerte der Nachweise angegeben. Die vorhandenen Sicherheiten werden aus dem Verhältnis von Bruchschnittgröße im Brandfall zu einwirkender Schnittgröße gebildet. Das *Nachweiskriterium* zeigt, dass der Nachweis erfüllt ist.

Details - Stab Nr. 6 - x: 0.000 m - LK3			
Nachweis			
Erforderliche Bruchsicherheit	erf γ	1.0	
Vorhandene Bruchsicherheit	vorh γ	1.1411	
Einwirkende Schnittgrößen			
Normalkraft	N_{Ed}	-431.000	kN
Moment um die y-Achse nach Th. II. O	$M_{Ed,y2}$	-202.890	kNm
Moment um die z-Achse nach Th. II. O	$M_{Ed,z2}$	8.620	kNm
Bruchschnittgrößen			
Bruchnormalkraft	N_u	-491.828	kN
Bruchmoment um die y-Achse	$M_{y,u}$	-231.522	kNm
Bruchmoment um die z-Achse	$M_{z,u}$	9.836	kNm
Nachweiskriterium (erf γ / vorh γ)	Kriterium	0.8763	

Bild 5.76: Nachweis

A: Literatur

- [1] DIN EN 1992-1-1:2005 + AC:2010 : Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1 : Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau. 2005
- [2] DIN EN 1992-1-2:2005: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall. Oktober 2006
- [3] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.: Beispiele zur Bemessung nach Eurocode 2, Band 1: Hochbau. Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2011
- [4] KLEINSCHMITT, J.: Die Berechnung von Stahlbetonstützen nach DIN 1045-1 mit nichtlinearen Verfahren. Beton- und Stahlbetonbau 2/2005, Ernst & Sohn Verlag, Berlin.
- [5] 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