

Fassung
Februar 2008

Programm

BETON Stützen

Modellstützenverfahren nach
DIN 1045-01 und
DIN V ENV 1992-1:1992-06

Programm- Beschreibung

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung der Ingenieur-Software Dlubal GmbH ist es nicht gestattet, diese Programm-Beschreibung oder Teile daraus auf jedwede Art zu vervielfältigen.

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

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

Inhalt

Seite	Inhalt	Seite	Inhalt
1.	Einleitung	4	
1.1	Über BETON Stützen	4	
1.2	Das Team	5	
2.	Installation	5	
2.1	Installationsvorgang	5	
3.	Modul BETON Stützen	5	
4.	Theoretische Grundlagen	7	
4.1	Stabilitätsnachweis	7	
4.1.1	Notwendigkeit des Nachweises	7	
4.1.2	Form des Nachweises	7	
4.1.3	Klassifizierung des Gesamtsystems	7	
4.1.4	Ermittlung des Ersatzstablänge	8	
4.1.5	Bestimmung der Schlankheit	10	
4.1.6	Stabilitätsnachweis oder Regelbemessung	10	
4.1.7	Moment nach Theorie II. Ordnung	11	
4.1.8	Planmäßige Ausmitte nach Theorie I. Ordnung	13	
4.1.9	Zusätzliche ungewollte Ausmitte e_a	14	
4.1.10	Zusätzliche Lastausmitte e_2 aus Verformungen nach Theorie II. Ordnung	14	
4.1.11	Art der Querschnittsbemessung	16	
4.2	Ablauf der Stabilitätsuntersuchung	16	
4.2.1	Teil 1: Lastunabhängige Berechnungen	20	
4.2.2	Teil 2: Bestimmen der maßgebenden Belastung	21	
4.2.3	Teil 3: Bestimmen der vorhandenen Bewehrung	26	
4.2.4	Teil 4: Bestimmen der vorhandenen Sicherheit	31	
4.3	Ablauf beim Nachweis vorhandener Bewehrung	32	
4.4	Ermittlung der vorhandenen Bewehrung	32	
4.4.1	Rechteckiger Querschnitt	33	
4.4.2	Kreisförmiger Querschnitt	38	
4.5	Brandschutznachweis	40	
4.6	Querkraftnachweis	48	
4.6.1	DIN 1045-1	48	
4.6.2	DIN V ENV 1992-1:1992-06	51	
4.6.2.1	Standardverfahren	53	
4.6.2.2	Verfahren veränderlicher Druckstrebenneigung gemäß 4.3.2.4.4	54	
4.6.3	Varianten des Querkraftnachweises	56	
4.6.4	Querkraftnachweis Rechteckquerschnitt	57	
4.6.4.1	Gerissener Querschnitt	57	
4.6.4.2	Völlig überdrückter Querschnitt	61	
4.6.5	Querkraftnachweis Kreisquerschnitt	62	
4.6.5.1	Gerissener Querschnitt	62	
4.6.5.2	Völlig überdrückter Querschnitt	65	
4.6.6	Querkraftbewehrung	66	
4.6.7	Programmablauf zur Querkraftbemessung	68	
4.7	Übergreifungsstöße	74	
4.7.1	Anschlusselemente an eine Stütze	74	
4.7.2	Gestaltung von Übergreifungsstößen	77	
5.	Arbeiten mit BETON Stützen	79	
5.1	BETON STÜTZEN starten	79	
5.2	Masken	80	
5.3	Eingabemasken	81	
5.3.1	Maske 1.1 Basisangaben	81	
5.3.2	Maske 1.2 Materialien	87	
5.3.3	Maske 3.1 Querschnitte	92	
5.3.4	Maske 1.4 Bewehrung	93	
5.3.5	Maske 1.5 Modellstützenparameter	104	
5.4	Ergebnismasken	117	
5.4.1	Maske 2.1 Nachweis	117	
5.4.2	Maske 3.1 Erforderliche Bewehrung querschnittsweise	126	
5.4.3	Maske 3.2 Erforderliche Bewehrung stabweise	131	
5.4.4	Maske 4.1 Vorhandene Längsbewehrung	132	
5.4.5	Maske 4.2 Vorhandene Bügelbewehrung	136	
6.	Ergebnisauswertung	143	
6.1	Darstellen der Ergebnisse in RSTAB	143	
6.2	Ausdrucken	147	
7.	Beispiele	153	
7.1	Randstütze	153	
7.1.1	System und Belastung	153	
7.1.2	Bemessungswerte Tragfähigkeit	154	
7.1.3	Räumliche Steifigkeit und Stabilität	158	
7.1.4	Ersatzlänge und Schlankheit	158	
7.1.5	Weitere Eingaben im Modul	160	

Inhalt

	Inhalt	Seite		Inhalt	Seite
7.1.6	Erforderliche Bewehrung	163			
7.1.7	Grenزشlankheit	165			
7.1.8	Kritische Schlankheit	166			
7.1.9	Planmäßige Ausmitte	167			
7.1.10	Ungewollte Ausmitte	168			
7.1.11	Momente nach Theorie I. Ordnung	169			
7.1.12	Zusätzliche Ausmitte und Bewehrung	170			
7.1.13	Vorhandene Bewehrung	179			
7.1.14	Vorhandene Sicherheit	180			
7.2	Schlanke Stütze	183			
7.2.1	Räumliche Steifigkeit und Stabilität	184			
7.2.2	Ersatzlänge und Schlankheit der Stütze	185			
7.2.3	Grenزشlankheit gemäß 8.6.2 (4)	187			
7.2.4	Kritische Schlankheit gemäß 8.6.3 (4)	188			
7.2.5	Planmäßige Ausmitte	189			
7.2.6	Ungewollte Ausmitte gemäß 8.6.4 (1)	189			
7.2.6.1	Momente nach Theorie I. Ordnung	189			
7.2.7	Zusätzliche Ausmitte gemäß 8.6.5 (8) und Bewehrung	190			
7.2.8	Vorhandene Bewehrung	194			
7.3	Brandschutznachweis	199			
A:	Literatur	205			

1. Einleitung

1.1 Über BETON Stützen

Sehr verehrte Anwender von BETON Stützen,

mit diesem Modul erweitern wir die RSTAB-Programmfamilie um ein weiteres leistungsstarkes Werkzeug zur Stahlbetonbemessung. In der gewohnten Art und Weise können Sie entweder Stäbe oder Stabzüge mit rechteckigem oder rundem Querschnitt aus Ihrer erzeugten Struktur auswählen und die Belastung dieser Bauteile zur Bemessung ansetzen. Sie definieren in komfortabler Art die konstruktiven Eigenschaften der Stütze und machen Vorgaben zur Bestimmung der erforderlichen Längs- und Querkraftbewehrung.

Nach dem Start der Berechnung entscheidet das Programm für Sie, welche Belastung für den Nachweis der Biege- und der Querkrafttragfähigkeit maßgebend wird. Beim Nachweis der Biegetragfähigkeit wird durch das Programm selbstständig bestimmt, ob eine Regelbemessung ausreicht oder mit den Momenten nach Theorie II. Ordnung zu bemessen ist. In beiden Fällen ist eine zweiachsige Biegebemessung möglich, für die Sie den exakten Verlauf von Dehnung und Spannung des Querschnitts räumlich dargestellt bekommen. 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.

Schließlich wird ein Bewehrungsvorschlag für die Längs- und Querkraftbewehrung unter Beachtung sämtlicher konstruktiver Vorschriften gemacht. Diese Bewehrung wird dreidimensional und in vorschriftsmäßig bemaßten Grafiken dargestellt. Sie kann nach den individuellen Benutzervorstellungen abgeändert werden.

Mit dieser veränderten Bewehrung wird dann abermals der quantitative Wert der Sicherheit gegen Biegebruch und Querkraftversagen bestimmt.

Zögern Sie bitte nicht, Ihre Hinweis und Anregungen an uns weiterzuleiten.

Viel Spaß bei der Arbeit mit BETON Stützen wünscht Ihnen

Ihr Team von Ing.-Software Dlubal GmbH

1.2 Das Team

Folgende Personen waren an der Entwicklung von **BETON Stützen** beteiligt:

- Programmkoordinierung:
Dipl.-Ing. Georg Dlubal
Dipl.-Ing.(FH) Peter Konrad, B.I.S.M.
- Programmierung:
Dipl.-Ing.(FH) Peter Konrad, B.I.S.M
Ing. Michal Balvon
- Programmkontrolle:
Dipl.-Ing.(FH) Peter Konrad, B.I.S.M
- Handbuch und Hilfesystem:
Dipl.-Ing.(FH) Peter Konrad, B.I.S.M

2. Installation

Die Systemvoraussetzung Ihres Computers entnehmen Sie bitte dem aktuellen Handbuch von RSTAB.

2.1 Installationsvorgang

Die Programmfamilie RSTAB wird auf CD geliefert. Auf dieser CD befindet sich nicht nur das Hauptprogramm RSTAB, sondern auch sämtliche zur Programmfamilie RSTAB gehörenden Zusatzprogramme, wie **BETON Stützen**. Es sind somit alle Programme auf der CD enthalten, die mit RSTAB zu tun haben.

Den Installationsvorgang entnehmen Sie bitte dem aktuellen Handbuch von RSTAB.

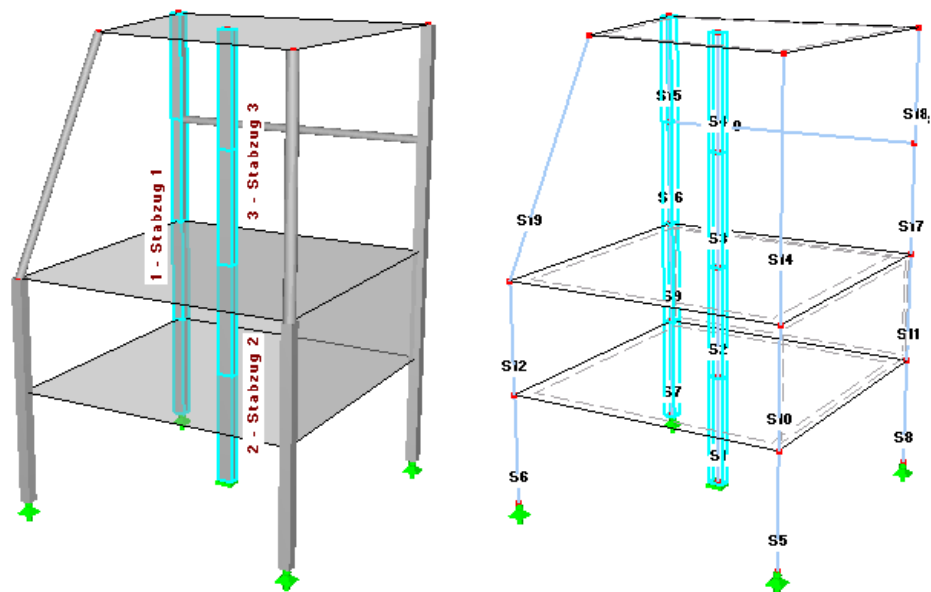
3. Modul BETON Stützen

Der Produktphilosophie der Dlubal-Software folgend, werden die Schnittgrößen ermittelt, indem ein Modell und die zugehörige Belastung im Hauptprogramm RSTAB angelegt und dieses anschließend berechnet wird. Die Bemessung der Bestandteile dieses Modells und der in ihnen aufgetretenen Schnittgrößen findet dann im entsprechenden Zusatzmodul statt. Innerhalb des Moduls müssen deshalb zunächst die folgenden beiden Fragen beantwortet werden:

- Welcher Bestandteil des Modells soll bemessen werden?
- Für welche Belastung soll dieser Bestandteil bemessen werden?

Die Bestandteile des Modells, die mit dem Modul **BETON Stützen** bemessen werden können, sind sowohl einfache **Stäbe** als auch **Stabzüge**.

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



Stäbe und Stabzüge

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, während Stabzug 2 und Stabzug 3 aus jeweils zwei einzelnen Stäben bestehen. Die Nummern dieser einzelnen Stäbe können der Drahtmodell Darstellung rechts entnommen werden.

Durch Angabe der Nummer eines Stabzuges oder eines einzelnen Stabes im Modul **BETON Stützen** kann dieser zur Bemessung bestimmt werden.

Die Belastung, für die dann eine Bemessung stattfindet, wird durch Selektion einer der zuvor definierten Lastfälle, Lastfallgruppen und Lastfallkombinationen bestimmt.

Durch die Wahl eines Stabes oder eines Stabzuges erhält das Modul **BETON Stützen** Informationen bezüglich des zu bemessenden Bauteils, die der Benutzer bereits beim Anlegen des Modells in **RSTAB** gegeben hat. Dabei ist zu beachten:

Information	Stab	Stabzug
Material	Als Materialien sind die gängigen Betone der DIN 1045-01 und der DIN V ENV 1992-1-1:1992-06 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.

4. Theoretische Grundlagen

4.1 Stabilitätsnachweis

4.1.1 Notwendigkeit des Nachweises

Bei bestimmten Bauteilen, z. B. Stützen, haben die Verformungen einen wesentlichen Einfluss auf die Größe der Schnittgrößen. Von einem wesentlichen Einfluss wird dann 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.

In einem solchen Fall reicht die Regelbemessung nicht mehr aus, es ist eine Stabilitätsuntersuchung erforderlich. Eine einfache Untersuchungsmethode ist das Modellstützenverfahren. 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 Modellstützenverfahren bietet deshalb eine gute Näherung.

4.1.2 Form des Nachweises

Beim Modellstützenverfahren 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 ganz normalen 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.

4.1.3 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 DIN 1045-01 Abs. 8.6.2(1) und DIN V ENV 1992-1:1992-06 Abs. 4.3.5.5 zu unterscheiden:

- verschiebliche Gesamtsysteme
- unverschiebliche Gesamtsysteme

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

Zulässigkeit des Modellstützenverfahrens

Bei unverschieblichen Systemen darf das Modellstützenverfahren uneingeschränkt verwendet werden.

Bei verschieblichen Systemen hingegen darf das Modellstützenverfahren nur angewendet werden, wenn die Systeme regelmäßig sind. Das heißt, die Stützen müssen übereinander angeordnet sein und in allen Geschossen gleiche Steifigkeit besitzen. Zudem darf die mittlere Schlankheit λ_m folgende Grenzwerte nicht überschreiten.

$$\lambda_m \leq \max \left\{ \begin{array}{l} 50 \\ \frac{20}{\sqrt{v_{Ed}}} \end{array} \right\} \quad (\text{DIN 1045-1, Abs. 8.6.3})$$

Genau wie die Art des Systems (verschieblich oder unverschieblich) durch den Benutzer zu entscheiden ist, muss er auch entscheiden, ob das Modellstützenverfahren in seinen Augen anwendbar ist oder nicht. Bei verschieblichen Systemen kann nicht durch das Programm kontrolliert werden, ob die Stützen übereinander verlaufen und in allen Geschossen die gleiche Steifigkeit besitzen. Auch findet sich kein Hinweis, wie die mittlere Steifigkeit zu berechnen ist.

4.1.4 Ermittlung des Ersatzstablänge

Norm	Absatz
DIN 1045.01	8.6.2 (4)
DIN V ENV 1992-1:1992-06	4.3.5.3.5 (1)

Die Länge l_0 eines Ersatzstab ermittelt sich, egal, ob dieser aus einer Einzelstütze oder einer Teilstütze eines Rahmentragwerkes ermittelt wurde, nach folgender Formel:

$$l_0 = \beta \cdot l_{col}$$

mit

β : Verhältnis der Ersatzlänge zur Stützenlänge l_{col}

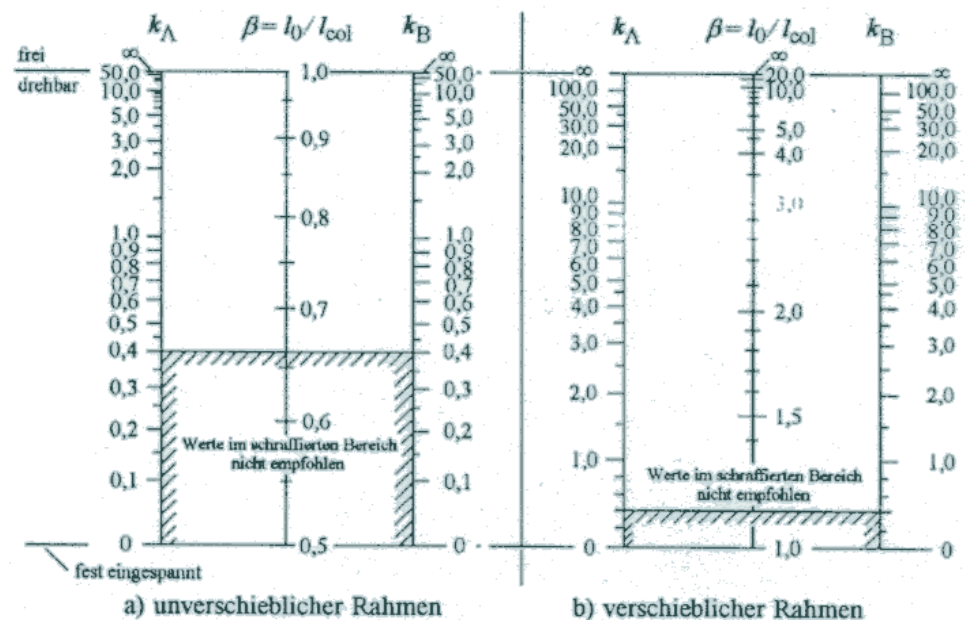
l_{col} : Länge der Schwerachse einer Stütze

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

	unverschieblich				verschieblich		
System	gelenkig 	gelenkig 	starr eingesp. 	elast. eingesp. 	frei 	starr eingesp. 	elast. eingesp.
β (theoretisch)	1,0	0,7	0,5	0,5 bis 1,0	2,0	1,0	1,0 bis ∞
β (realistisch)	1,0	0,8	0,66	0,66 bis 1,0	2,2	1,15	1,15 bis ∞

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 Diagramme an:



Die Werte k_A und k_B sind zunächst noch nach folgender Formel zu ermitteln:

$$k_A \text{ (oder } k_B) = \frac{\sum E_{cm} \cdot I_{col} / l_{col}}{\sum E_{cm} \cdot \alpha \cdot I_b / l_{eff}}$$

E_{cm} Elastizitätsmodul des Betons
 I_{col}, I_b Flächenmoment 2. Grades der Stütze bzw. des Balkens
 l_{col}, l_{eff} wirksame Stützenlänge bzw. Stützweite des Balkens
 α Beiwert zur Berücksichtigung der Einspannung am abliegenden Ende des Balkens
 $\alpha = 1,0$ bei elast. od. starrer Einspannung
 $\alpha = 0,5$ bei frei drehbarer Lagerung
 $\alpha = 0$ bei Kragbalken

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

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

Für jeder dieser Stützen und Riegel sind dem Programm bereits die Elastizitätsmoduli, 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.

4.1.5 Bestimmung der Schlankheit

Norm	Absatz
DIN 1045.01	8.6.2 (4)
DIN V ENV 1992-1:1992-06	4.3.5.3.5 (2)

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

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

mit

i : Trägheitsradius

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

4.1.6 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“ gilt und wann als „gedrunen“ findet über einen Vergleich mit der so genannten Grenzschlankheit λ_{\max} (bzw. λ_{\lim} nach DIN V ENV 1992-1:1992-06) statt. Ist die vorhandene Schlankheit kleiner als die Grenzschlankheit, so reicht die Regelbemessung aus.

Die Grenzschlankheiten ermitteln sich nach den einzelnen Normen wie folgt:

DIN 1045-1 Abs. 8.6.3 (2)	DIN V ENV 1992-1:1992-06 Abs. 4.3.5.3.5 (2)
$\lambda \leq \lambda_{\max}$	$\lambda \leq \lambda_{\lim}$
$\lambda_{\max} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{16}{\sqrt{ v_{Ed} }} \text{ für } v_{Ed} < 0.41 \\ 25 \text{ für } v_{Ed} \geq 0.41 \end{array} \right\}$ <p>mit:</p> $v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}}$ $f_{cd} = \frac{\alpha \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$	$\lambda_{\lim} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{15}{\sqrt{ v_u }} \\ 25 \end{array} \right\}$ <p>mit:</p> $v_u = \frac{N_{Sd}}{A_c \cdot f_{cd}}$ $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$

Außerdem kann der Nachweis in unverschieblich ausgesteiften Tragwerken selbst dann noch entfallen, obwohl sie schlank sind, wenn die Schlankheit die kritische Schlankheit λ_{crit} gemäß DIN 1045-01 Abs. 8.6.3 (4) bzw. DIN V ENV 1992-1:1992-06 Abs. 4.3.5.5.3 (2) nicht übersteigt und die Stütze zwischen ihren Enden nicht durch Querlasten oder Lastmomente beansprucht wird und die Längskraft über die Stützenlänge als konstant angenommen werden kann. Die kritische Schlankheit λ_{crit} ermittelt sich nach folgender Gleichung:

$$\lambda_{crit} = 25 \cdot \left(2 - \frac{e_{01}}{e_{02}} \right)$$

mit

e_{01}, e_{02} : Ausmitte der Längskraft an Stabenden bei Berechnung nach Theorie I. Ordnung

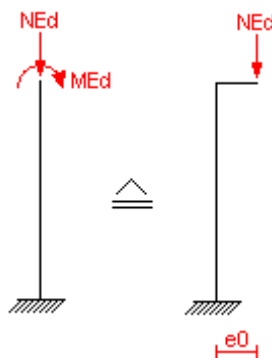
$$e_0 = \frac{|M_{Ed}|}{N_{Ed}}$$

4.1.7 Moment nach Theorie II. Ordnung

Als Modellstütze wird eine Kragstütze gewählt. Ihre Höhe l_{col} beträgt die Hälfte der zuvor ermittelten Knicklänge (Ersatzlänge).



Sie wird durch ein Biegemoment M_{Ed0} am Kopfpunkt und eine Normalkraft N_{Ed} beansprucht. 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.

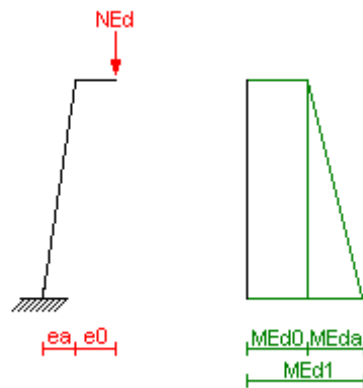
Die unvermeidliche Schiefstellung der Stütze wird durch eine Kopfauslenkung e_a berücksichtigt.



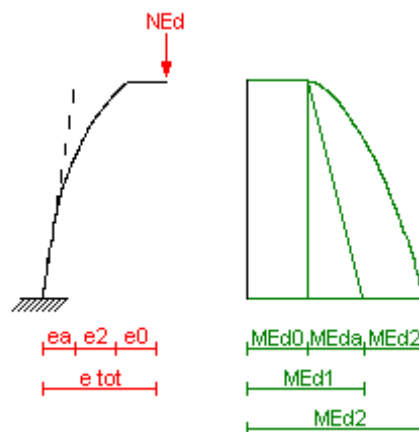
Das Biegemoment M_{Eda} , das sich aus Schiefstellung e_a ergibt, errechnet sich wie folgt:

$$M_{Eda} = N_{Ed} \cdot e_a$$

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



Die Gesamtauslenkung e_{tot} ermittelt sich also wie folgt.

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

Das Moment M_{Ed2} nach Theorie II. Ordnung wird bestimmt zu:

$$M_{Ed2} = N_{Ed} \cdot e_{tot}$$

Das Druckglied gilt als nachgewiesen, wenn für das Moment M_{Ed2} und die Normalkraft N_{Ed} am Einspannpunkt eine ausreichende Bewehrung ermittelt wurde.

4.1.8 Planmäßige Ausmitte nach Theorie I. Ordnung

Norm	Absatz
DIN 1045.01	8.6.5 (6)
DIN V ENV 1992-1:1992-06	4.3.5.6.2 (1)

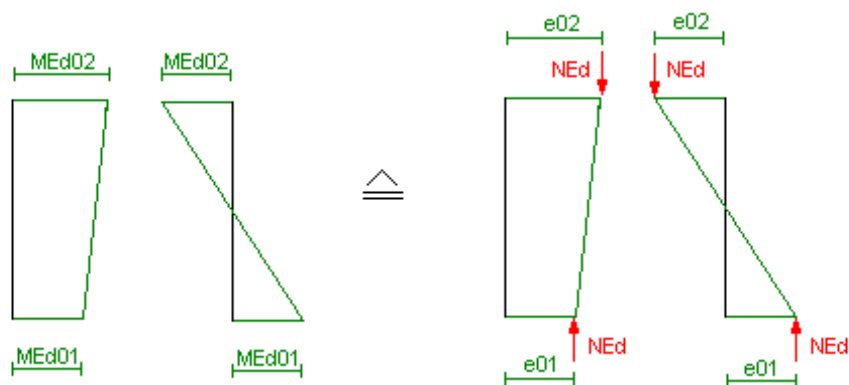
Ist der Momentenverlauf über die Stütze konstant, ...



... ermittelt sich die planmäßige Ausmitte e_0 nach folgender Gleichung:

$$e_0 = \frac{M_{Ed0}}{N_{Ed}}$$

Ist der Momentenverlauf hingegen linear veränderlich, ...



... darf eine Ersatzausmitte e_e ermittelt werden.

$$e_e = \max \left\{ \begin{array}{l} 0.6 \cdot e_{02} + 0.4 \cdot e_{01} \\ 0.4 \cdot e_{02} \end{array} \right\}$$

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

Keine Angaben wurden zu einem beispielsweise parabelförmigen Momentenverlauf gemacht. Es wird deshalb bei einem beliebigen Momentenverlauf stets mit der größten Ausmitte gerechnet. Diese Annahme ermöglicht es, in bestimmter Weise belastete Stützen nicht von der Bemessung ausschließen zu müssen.

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

4.1.9 Zusätzliche ungewollte Ausmitte e_a

Norm	Absatz
DIN 1045.01	8.6.4 (1)
DIN V ENV 1992-1:1992-06	4.3.5.3.4 (3)

Diese Ausmitte ermittelt sich nach der Formel (33) im Absatz 8.6.4 der DIN 1045-01 bzw. nach der Formel (4.61) im Absatz 4.3.5.4 der DIN V ENV 1992-1:1992-06.

$$e_a = \alpha_{a1} \cdot \frac{l_0}{2}$$

mit

l_0 : Ersatzlänge des Einzeldruckgliedes

$$l_0 = \beta \cdot l_{col}$$

mit

l_{col} : Schnittpunkte der Systemschnittlinien

α_{a1} : Ungewollte Schiefstellung

Die ungewollte Schiefstellung α_{a1} ermittelt sich nach DIN 1045-01 Abs. 7.2 (4) mit Hilfe der Formel (4) wie folgt:

$$\alpha_{a1} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{l_{col}}} \leq \frac{1}{200}$$

In DIN V ENV 1992-1:1992-06 Abs. 2.5.1.3 (4) wird die ungewollten Schiefstellung mit der gleichen Formel bestimmt: Formel (2.10). Jedoch schreibt DIN V ENV 1992-1:1992-06 eine Schiefstellung vor, die größer als 1/200 ist.

4.1.10 Zusätzliche Lastausmitte e_2 aus Verformungen nach Theorie II. Ordnung

Norm	Absatz
DIN 1045-01	8.6.5 (8)
DIN V ENV 1992-1:1992-06	4.3.5.6.3 (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_2 berücksichtigt, der später noch genauer erläutert wird.

Die Krümmung verläuft in Abhängigkeit der sich für jedes Teilstück ändernden Steifigkeiten der Stütze nach einer unbekannten 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.

$$e_2 = K_1 \cdot \frac{1}{r_0} \cdot \frac{l_0^2}{10}$$

mit

K_1 : Beiwert K_1 für den allmählichen Übergang vom verformungsunbeeinflussten zum verformungsbeeinflussten Druckglied

$$K_1 = \frac{\lambda}{10} - 2.5 \quad \text{für } 25 \leq \lambda \leq 35$$

$$K_1 = 1 \quad \text{für } \lambda > 35$$

mit

λ : Schlankheit

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

l_0 : Ersatzlänge des Einzeldruckgliedes

$$l_0 = \beta \cdot l_{\text{col}}$$

l_{col} : Schnittpunkte der Systemschnittlinien

i : Trägheitsradius

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

$\frac{1}{r_0}$: Krümmung bei symmetrischer Bewehrung beidseits im kritischen Querschnitt

$$\frac{1}{r_0} = 2 \cdot K_2 \cdot \frac{\epsilon_{yd}}{0.9 \cdot d}$$

mit

K_2 : Beiwert zur Berücksichtigung der Abnahme der Krümmung bei steigenden Längsdruckkräften – wird in der Praxis häufig auf der sicheren Seite liegend mit 1 angenommen.

$$K_2 = \frac{|N_{ud}| - |N_{Ed}|}{|N_{ud}| - |N_{bal}|} \leq 1$$

mit

N_{ud} : Bauteilwiderstand bei zentrischer Beanspruchung

Achtung:

Ermittelt sich aus der eingelegten Bewehrung, daher Iteration.

N_{Ed} : Einwirkende Normalkraft

N_{bal} : Aufnehmbare Längsdruckkraft bei größten Momententragfähigkeit des Querschnitts. Für Rechteckquerschnitte:

$$N_{ud} = -(f_{cd} \cdot A_c + f_{yd} \cdot A_s)$$

$$N_{bal} = -0.4 \cdot f_{cd} \cdot A_c$$

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

$$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

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

l_0 : Ersatzlänge des Einzeldruckgliedes

$$l_0 = \beta \cdot l_{\text{col}}$$

mit

l_{col} : Schnittpunkte der Systemschnittlinien

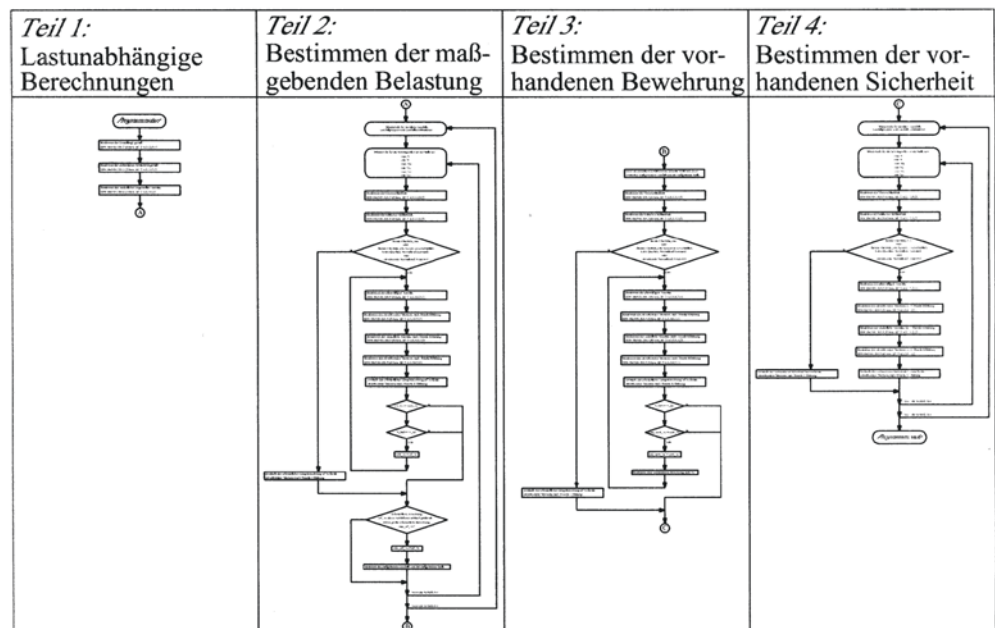
Um die näherungsweise Vergrößerung der Zusatzausmitte e_2 infolge Kriechen zu bestimmen, ist diese gemäß DAfStb.-Heft 425, 1992, 9.2.5, S. 84 mit dem Faktor $1 + M_{\text{Ed},c} / M_{\text{Ed},1}$ zu multiplizieren. Dabei ist $M_{\text{Ed},c}$ das kriecherzeugende Moment infolge quasi-ständiger Einwirkungen (= charakteristische Wert der ständigen Einwirkungen). Das Kriechen wird nur berücksichtigt, wenn es eine ungünstige Wirkung hat. Dies bedeutet, dass der Quotient aus $M_{\text{Ed},c} / M_{\text{Ed},1}$ nur dann als Summand eingeht, wenn die Summe größer als 1 wird.

4.1.11 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_a .

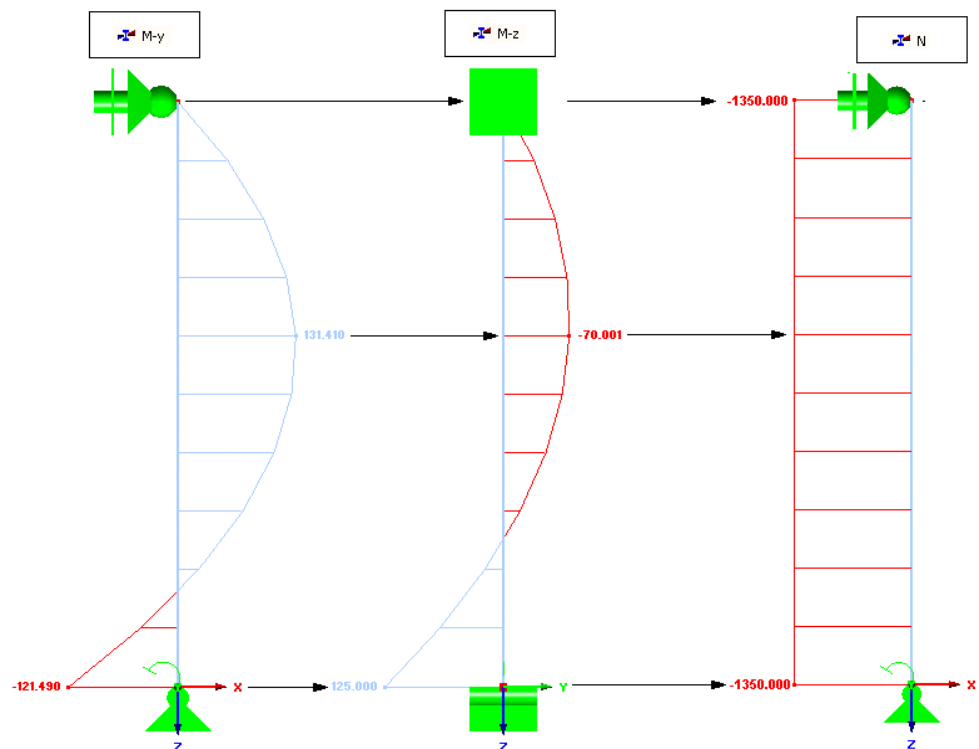
4.2 Ablauf der Stabilitätsuntersuchung

Der Programmablauf gliedert sich grob in folgende vier Teile:



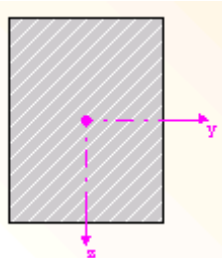
Grober Programmablauf

Bevor näher auf die einzelnen Teile eingegangen wird, ist zu klären, was in **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 solcher Schnittgrößenverlauf über die Stütze ergeben.



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_z und M_y , deren Momentenvektoren parallel zu den Achsen z und y des Stabkoordinatensystems verlaufen, zu berücksichtigen.



Achsen des Stabkoordinatensystems

Wie in vielen Untersuchungen zum Nachweis schlanker Druckglieder bestätigt, sind auch für das Modellstützenverfahren folgende Vereinfachungen zulässig:

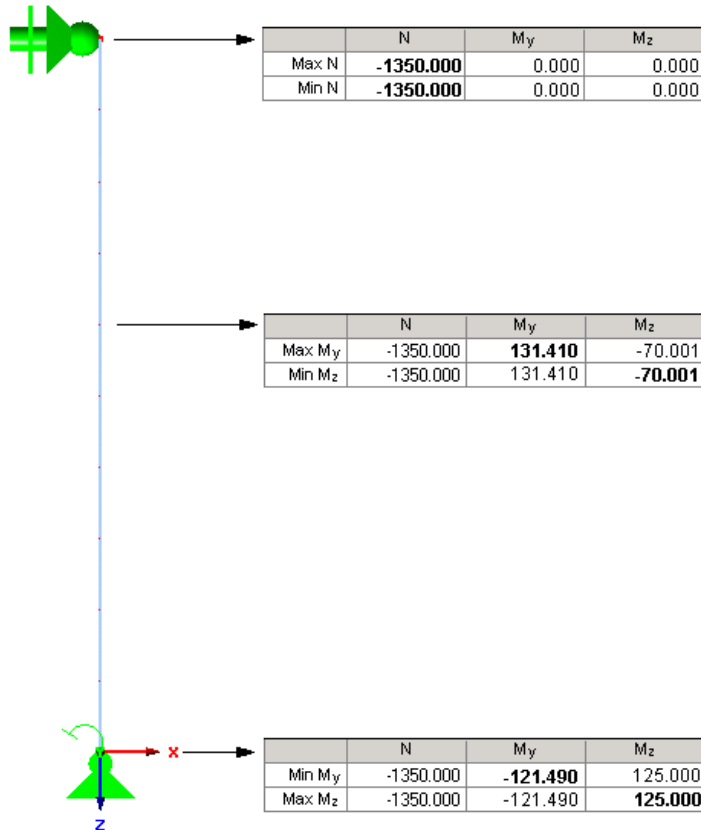
„Das Gleichgewicht wird nur im meistbeanspruchten Querschnitt betrachtet, die Verformung wird mit vereinfachten Ansätzen ermittelt, wobei der Fließzustand der Bewehrung maßgebend wird, was die Überführung des komplizierten Nachweises nach Theorie 2. Ordnung in eine einfache Querschnittsbemessung ermöglicht.“¹⁾

Aus diesem Zitat geht hervor, dass die Bemessung für die meistbeanspruchte Stelle durchzuführen ist. Entlang einer Stütze ergeben sich fünf Stellen, von denen erst über eine Bemessung entschieden werden kann, welche die meistbeanspruchte ist, da dort die größte erforderliche Bewehrung ermittelt wird. 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 sechs Stellen weist neben der extremalen Schnittgröße zugehörige Schnittgrößen auf, für die dann eine Bemessung stattfindet.

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

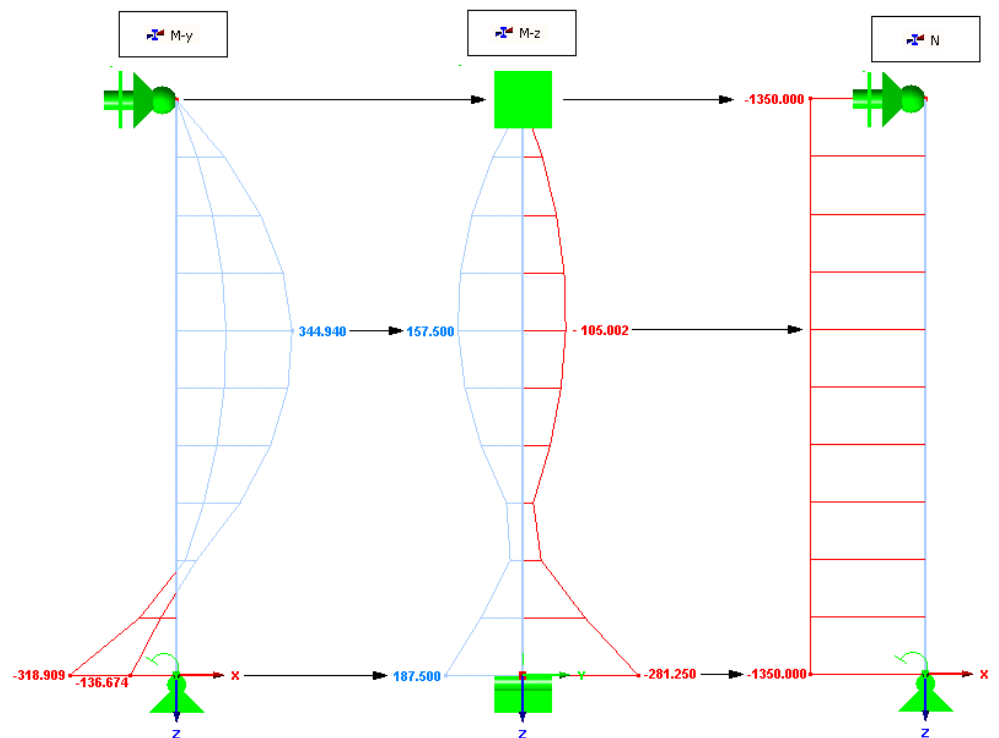


Stellen mit den maßgebenden Schnittgrößen

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

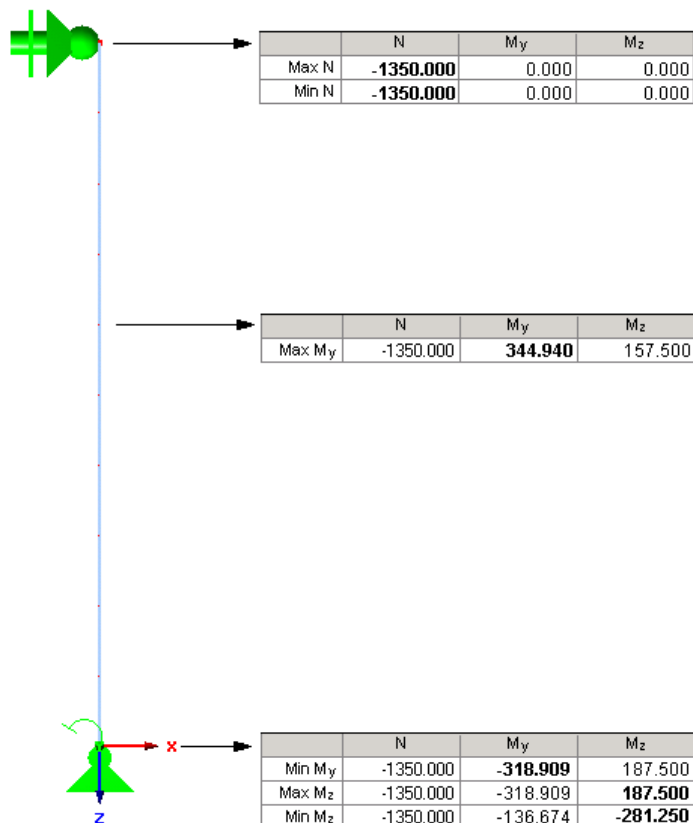
Neben einem Lastfall existieren noch Lastfallgruppen und Lastfallkombinationen. Eine Lastfallgruppe stellt nichts anderes dar als eine Überlagerung von einzelnen Lastfällen, sodass sich wiederum nur ein Schnittkräfteverlauf für jede der drei Schnittkräfte N , M_y und M_z ergibt. Es gilt deshalb das zu dem einzelnen Lastfall Gesagte.

Bei einer Lastfallkombination hingegen ergibt sich für jede Schnittgröße ein maximaler und ein minimaler Verlauf über die Stütze.



Schnittgrößenverlauf über die Stütze für eine Lastfallkombination

Jedoch können für eine Kombination wiederum die fünf Stellen bestimmt werden, für die die zwei Schnittgrößen M_y und M_z ihre maximalen und minimalen Werte annehmen und für die die Normalkraft N minimal wird.



Stellen mit den maßgebenden Schnittgrößen

Neben der Bemessung von einzelnen Stäben ist noch 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.

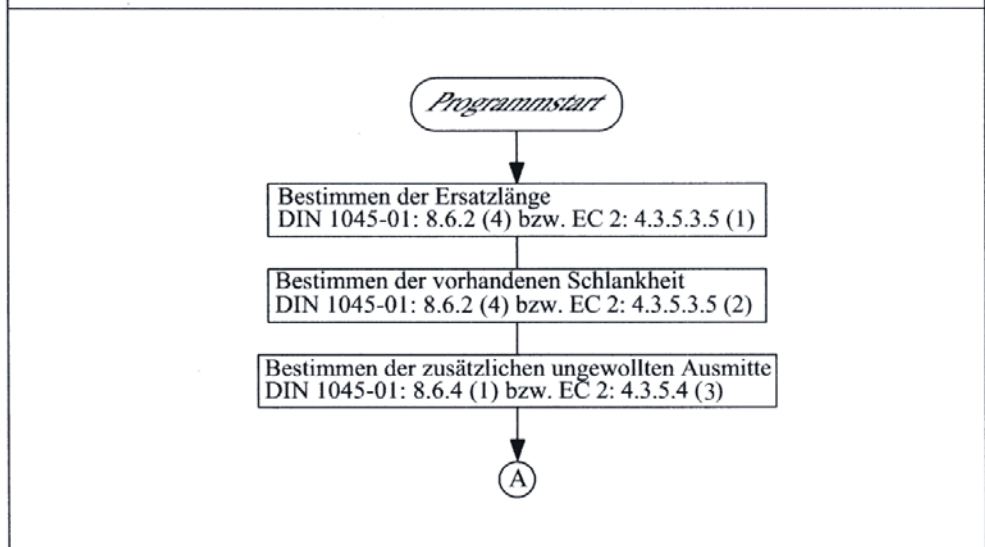
Damit steht fest, dass für jeden Lastfall, jede Lastfallgruppe und jede Lastfallkombination exakt fünf Bemessungen durchzuführen sind, unabhängig davon, ob ein einzelner Stab oder ein ganzer Stabzug als zu bemessendes Element gewählt wurde.

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

4.2.1 Teil 1: Lastunabhängige Berechnungen

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

Teil 1: Lastunabhängige Berechnungen

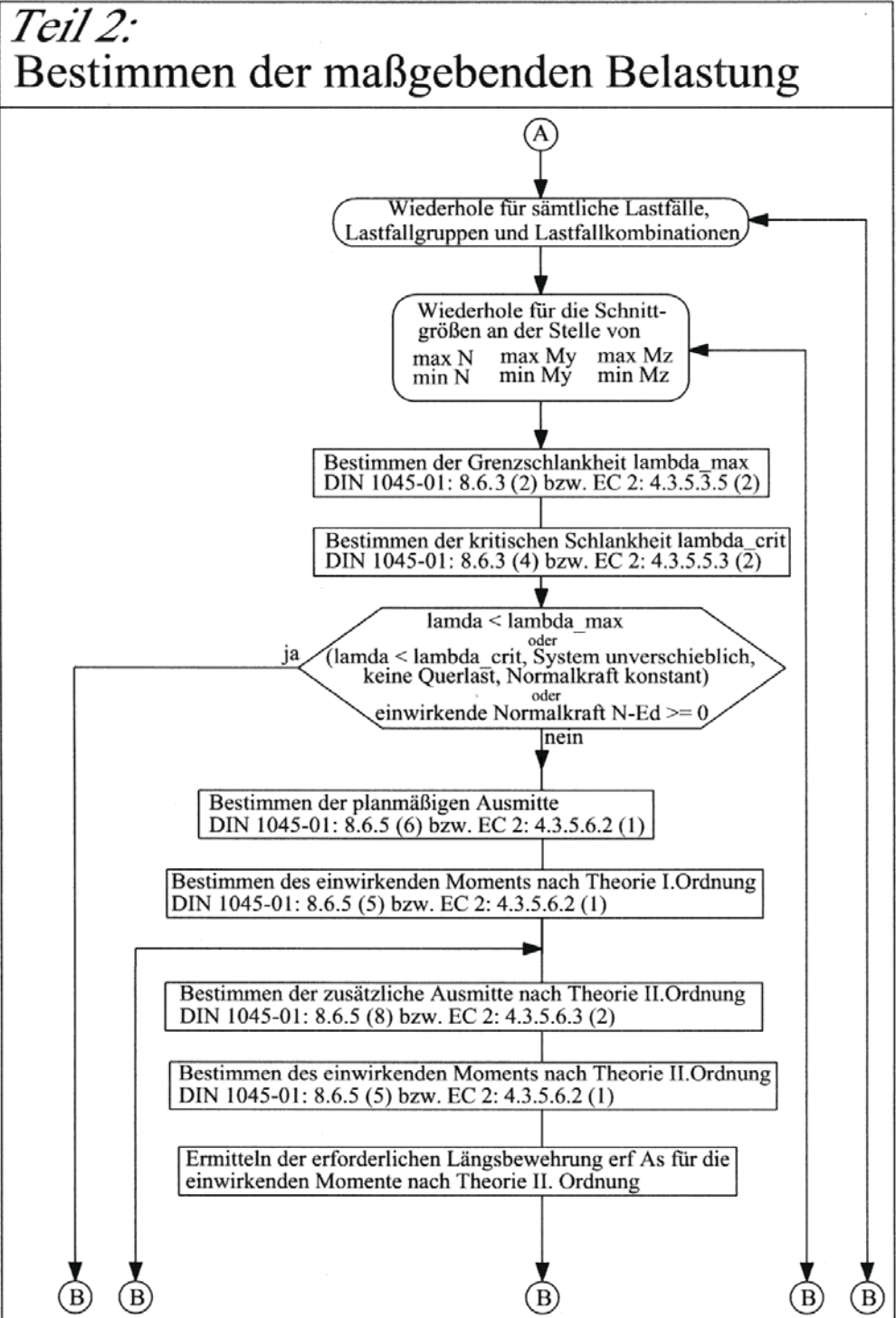


Programmablauf – Teil 1

Weitere Informationen zur Bestimmung der Ersatzlänge finden sich in Kapitel 3.1.4, zur Bestimmung der vorhandenen Schlankheit in Kapitel 3.1.5 und zur Bestimmung der zusätzlichen ungewollten Ausmitte in Kapitel 3.1.9 dieses Handbuches.

4.2.2 Teil 2: Bestimmen der maßgebenden Belastung

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



Programmablauf – Teil 2 (Abschnitt A bis B)

Für sämtliche bemessungsrelevante Stellen wird für jeden der zu bemessenden Lastfälle bzw. Lastfallgruppe oder Lastfallkombination zunächst die Grenزشlankheit λ_{\max} und die kritische Schlankheit λ_{crit} ermittelt. Wie diese beiden Vergleichsschlankheiten genau zu bestimmen sind, darüber gibt das Kapitel 3.1.6 dieses Handbuchs Auskunft. Dem gleichen Kapitel ist

auch zu entnehmen, dass keine Stabilitätsuntersuchung erforderlich wird, wenn die vorhandene Schlankheit kleiner als die Grenzschlankheit λ_{\max} ist oder die Stütze keine Querlasten erhält, einen konstanten Normalkraftverlauf besitzt, Teil eines verschieblichen Systems ist und zudem die vorhandene Schlankheit den Wert der kritische Schlankheit λ_{crit} nicht übersteigt. Eine Regelbemessung ist im Fall einer gezogenen Stütze ebenfalls anstelle einer Stabilitätsuntersuchung durchzuführen. Diese Bedingungen werden im oben aufgeführten Schaubild getrennt für die beiden Richtungen x und y zunächst geprüft. Zudem wird überprüft, ob der Benutzer eine Stabilitätsgefährdung für diese Richtungen ausgeschlossen hat. Über den linken 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 3.1.8 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.

$$M_{\text{Ed},1} = N_{\text{Ed}} \cdot (e_0 + e_a)$$

mit

N_{Ed} : Bemessungswert der aufzunehmenden Längskraft

e_0 : planmäßige Ausmitte nach Kapitel 3.1.8

e_a : zusätzliche ungewollte Lastausmitte nach Kapitel 3.1.9

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 3.1.10 genannt. Der dort erwähnte Faktor K_2 dient zu näherungsweisen Bestimmung der Krümmung $1/r$ und darf nach folgender Formel ermittelt werden.

$$K_2 = \frac{|N_{\text{ud}}| - |N_{\text{Ed}}|}{|N_{\text{ud}}| - |N_{\text{bal}}|} \leq 1$$

Dabei ist N_{ud} der Bemessungswert der Grenztragfähigkeit des Querschnitts, der nur durch zentrischen Druck beansprucht wird. Dieser hängt von der gewählten Bewehrung ab. Da jedoch im ersten Schleifendurchgang noch keine Bewehrung gewählt wurde, wird der Wert von K_2 stets auf der sicheren Seite liegend für den ersten Durchgang mit 1 angenommen.

Im jedem weiteren anschließenden Schleifendurchgang wird der Wert von N_{ud} mit der statisch erforderlichen Bewehrung des vorherigen Schleifendurchgangs ermittelt.

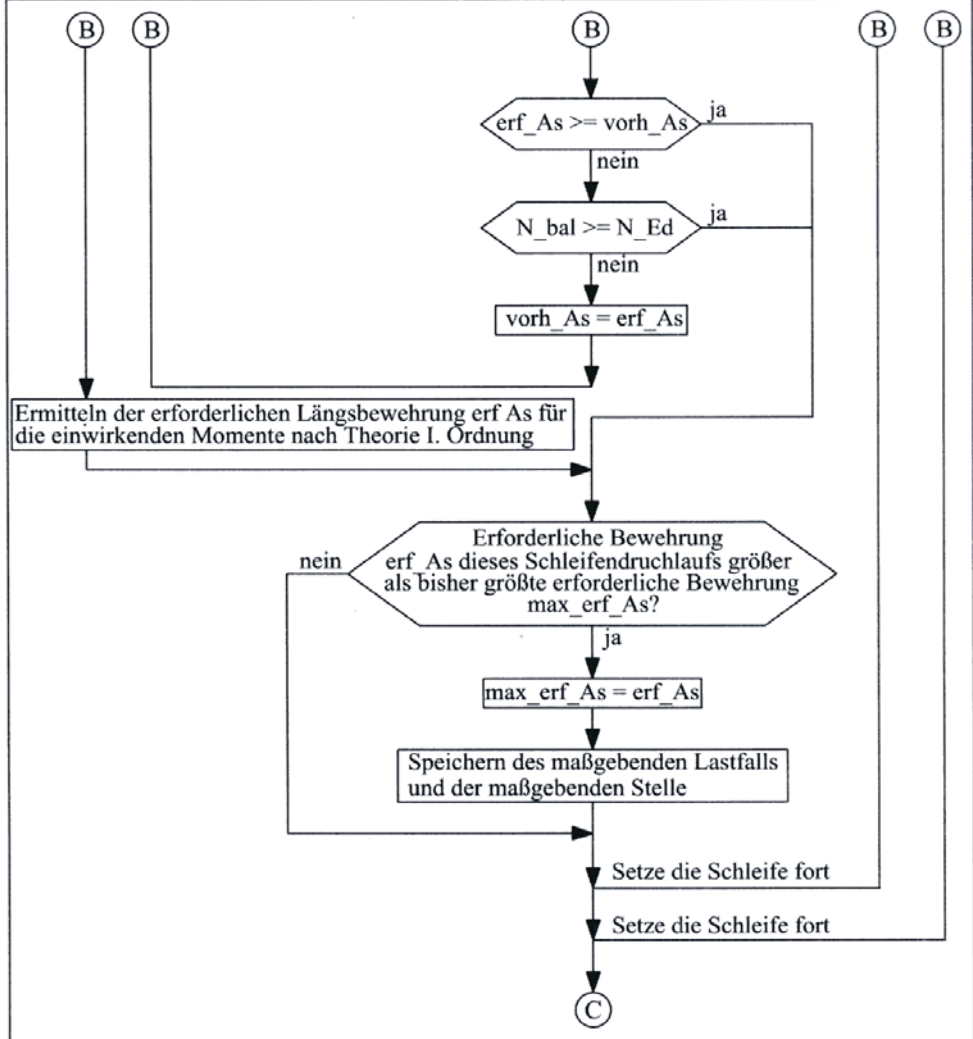
Ist die zusätzliche Lastausmitte e_2 infolge der Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung bekannt, kann im nächsten Berechnungsschritt das Moment nach Theorie II. Ordnung bestimmt werden.

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

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

Die nächste Abbildung zeigt die untere Hälfte des Programmablaufs Teil 2.

Teil 2: Bestimmen der maßgebenden Belastung



Programmablauf – Teil 2 (Abschnitt B bis C)

Der linke 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_2 nochmals vor Augen, ist zu erkennen, dass sich K_2 nur ändert, wenn der Wert der einwirkenden Normalkraft N_{Ed} größer als die aufnehmbare Längsdruckkraft bei größter Momententragfähigkeit des Querschnitts ist. Ist dies nicht der Fall, wird der Wert von K_2 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 zugetroffen haben, wird als vorhandene Bewehrung des nächsten Schleifendurchgangs die erforderliche Bewehrung dieses Durchgangs angesetzt und das Programm wird mit der Bestimmung der zusätzlichen Lastausmitte e_2 infolge der Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung über den zweiten Strang von links fortgesetzt.

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

Wurde die Schleife über eine der beiden Bedingungen verlassen, vereinigen sich ihr Strang und der linke Strang, über den eine Bewehrung für die Momente nach Theorie I. Ordnung ermittelt wurde.

In ihm wird als nächstes 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.

Zur Veranschaulichung dieses Prinzips zur Findung der maßgebenden Belastung im zweiten Teil des Programmablaufs wird als nächstes ein Zahlenbeispiel vorgestellt. Als Belastung werden zwei ausgewählte Stellen mit folgenden Schnittgrößen untersucht.

Schnittgröße	Stelle 1	Stelle 2
N	-431.00 kN	-1500.00 kN
My	87.80 kNm	-72.80 kNm
Mz	0.00 kNm	0.00 kNm

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

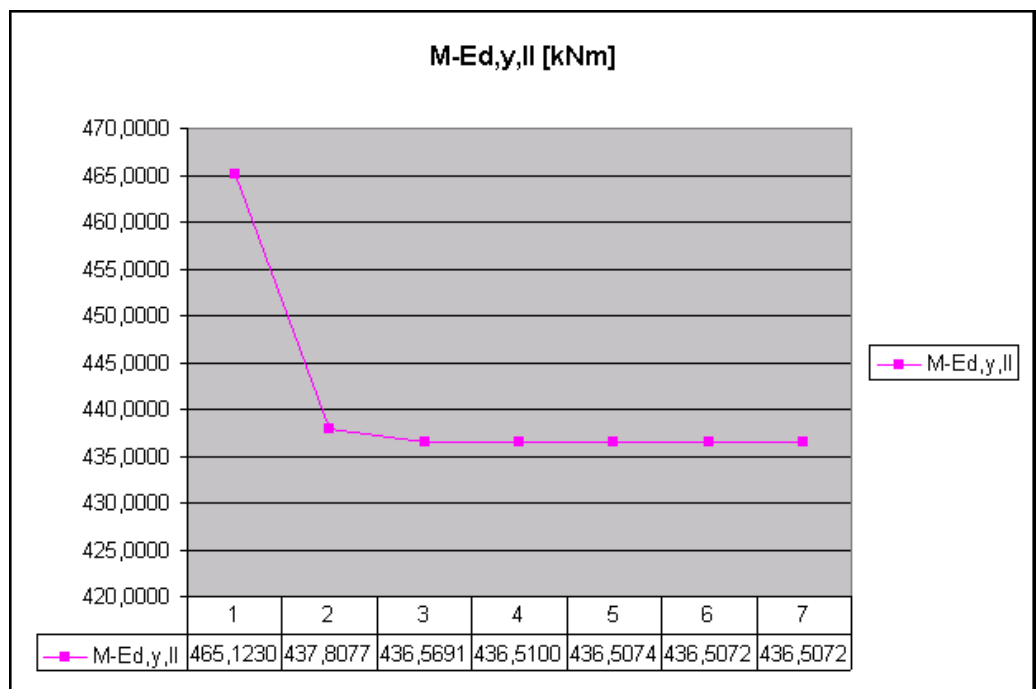
Schritt	1	2
vorh As [cm ²]		13,2460
M-Ed,y,II [kNm]	185,1569	185,1569
erf As [cm ²]	13,2460	13,2460

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

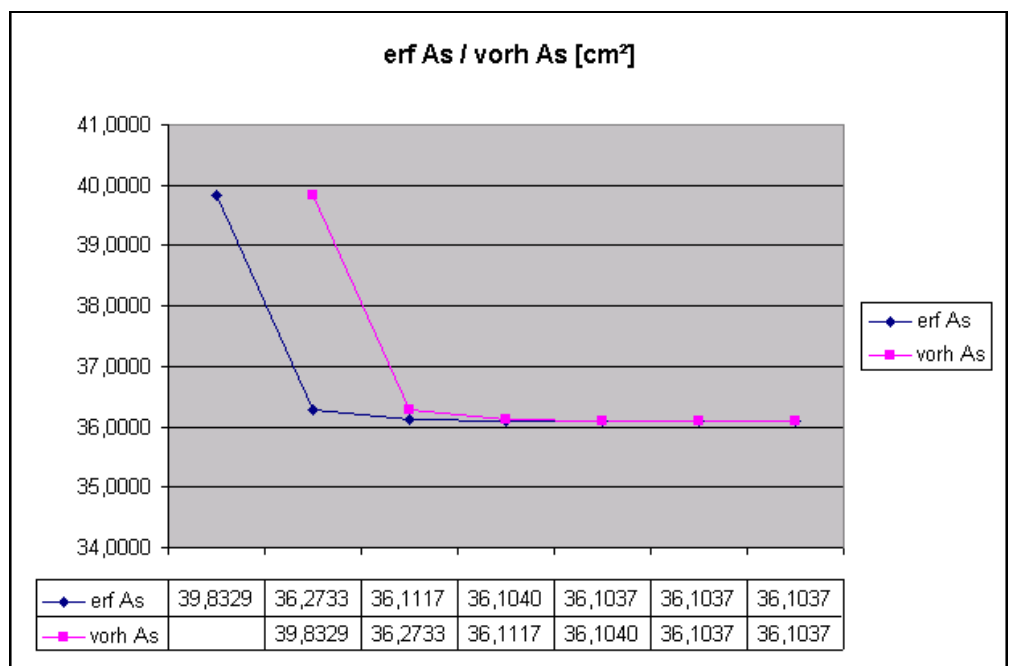
Als bisher größte Bewehrung wird der Wert 13,2460 cm² festgehalten. Die Schleife wird mit der zweiten untersuchten Stelle fortgesetzt. Hier ergeben sich sieben Schritte, bevor die Schleife durch die Erfüllung der Bedingung, dass die erforderliche Bewehrung gleich der vorhandenen Bewehrung des vorherigen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

Schritt	1	2	3	4	5	6	7
vorh As [cm ²]		39,8329	36,2733	36,1117	36,1040	36,1037	36,1037
M-Ed,y,II [kNm]	465,1230	437,8077	436,5691	436,5100	436,5074	436,5072	436,5072
erf As [cm ²]	39,8329	36,2733	36,1117	36,1040	36,1037	36,1037	36,1037

Anschaulich werden die ermittelten Werte durch einen Blick auf die folgenden Diagramme:



Verlauf des Moments nach Theorie II. Ordnung



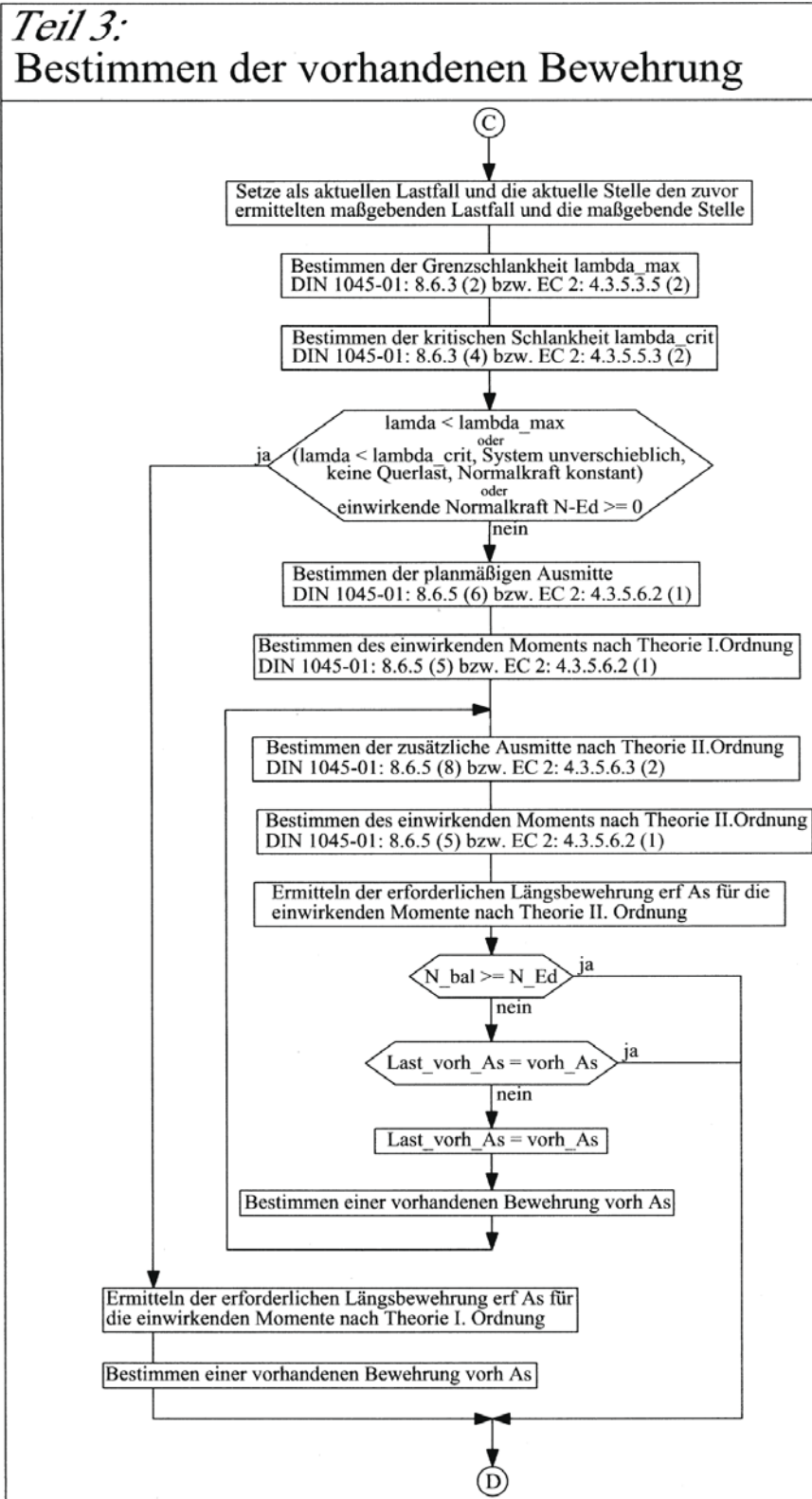
Verlauf der erforderlichen und vorhandenen Bewehrung

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

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

4.2.3 Teil 3: Bestimmen 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.



Programmablauf – Teil 3


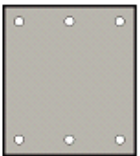
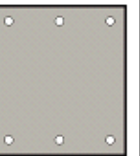


Für die Stabilitätsuntersuchung wird zunächst wieder das bewehrungsunabhängige Moment nach Theorie I. Ordnung bestimmt.

Anschließend taucht die Berechnung in eine Schleife ein. Die Momente nach Theorie II. Ordnung werden in jedem Schleifendurchgang mit der im vorherigen Durchgang ermittelten vorhandenen Bewehrung bestimmt. Im ersten Schleifendurchgang werden die Momente nach Theorie II. Ordnung unabhängig von der Bewehrung ermittelt ($K_2 = 1$). Hat eine veränderte vorhandene Bewehrung keinen Einfluss auf die Größe der Momente nach Theorie II. Ordnung ($N_{bal} \geq N_{Ed}$), wird die Schleife nach dem zweiten Durchgang verlassen. Gleiches geschieht, wenn sich die vorhandene Längsbewehrung nach zwei Schleifendurchgängen sich 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 nun die Bewehrung zu finden. Als mögliche Bewehrungsdurchmesser wurden vom Benutzer ausgewählt: 16, 20, 25, 26, 28 und 30.

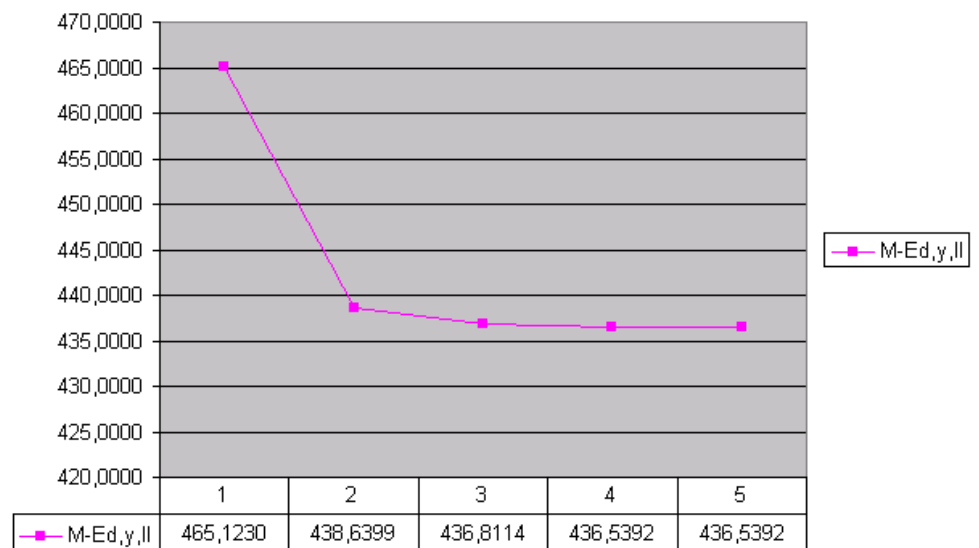
Schritt	1	2	3	4	5
vorh As [cm ²]		42,4115	36,9451	36,1911	36,1911
M-Ed,y,II [kNm]	465,1230	438,6399	436,8114	436,5392	436,5392
erf As [cm ²]	39,8329	36,3819	35,8991	34,4489	34,4489

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

Schritt	1	2	3	4	5
					
Anzahl	4	6	6	18	18
d [mm]	16	30	28	16	16

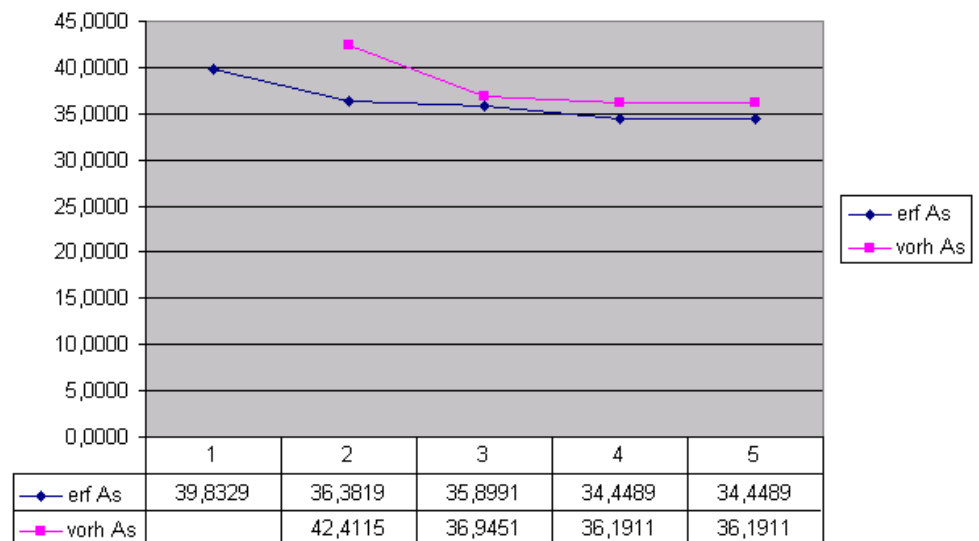
Durch diese vorhandene Bewehrung ergaben sich folgende Momente nach Theorie II. Ordnung.

M-Ed,y,II [kNm]



Verlauf des Moments nach Theorie II. Ordnung




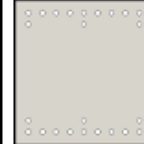
erf As / vorh As [cm²]



Verlauf der erforderlichen und vorhandenen Bewehrung

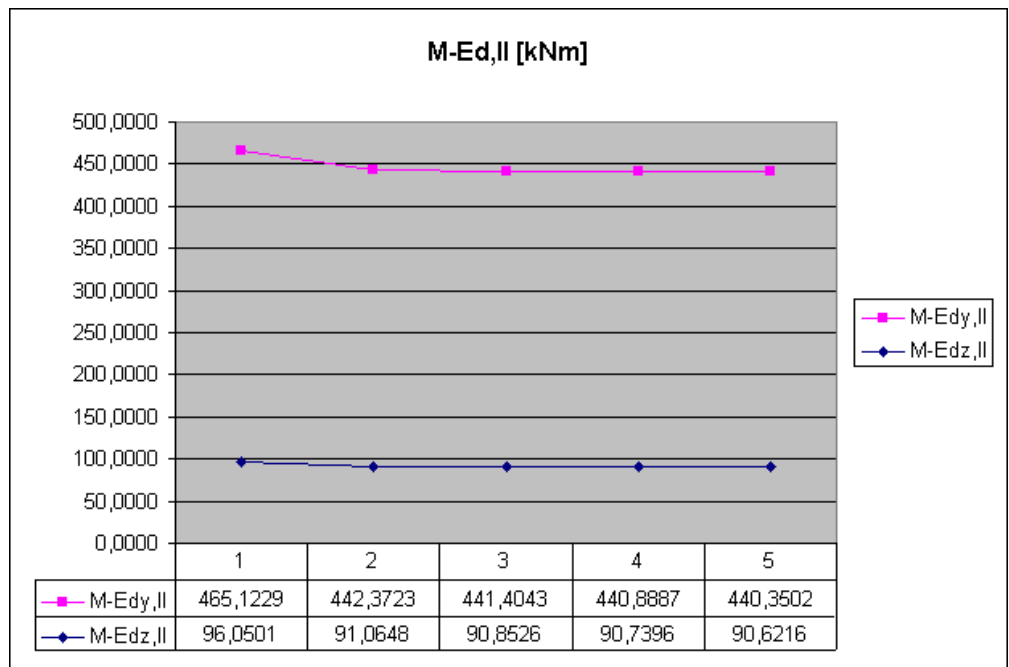
Damit steht fest, dass die Stütze eine Bewehrung von 18 Stäben (Durchmesser = 16 mm) erhält, die in der vom Benutzer vorgegebenen Art anzuordnen sind.

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.

Schritt	1	2	3	4	5
vorh As	0	56,2973	52,2761	50,2655	48,2549
M-Edy,II	-465,1229	-442,3723	-441,4043	-440,8887	-440,3502
M-Edz,II	96,0501	91,0648	90,8526	90,7396	90,6216
erf As	54,4809	51,0660	50,1228	47,8654	48,9917
					
Anzahl	x	28	26	16	24
d [mm]	x	16	16	20	16

Iterationsverlauf

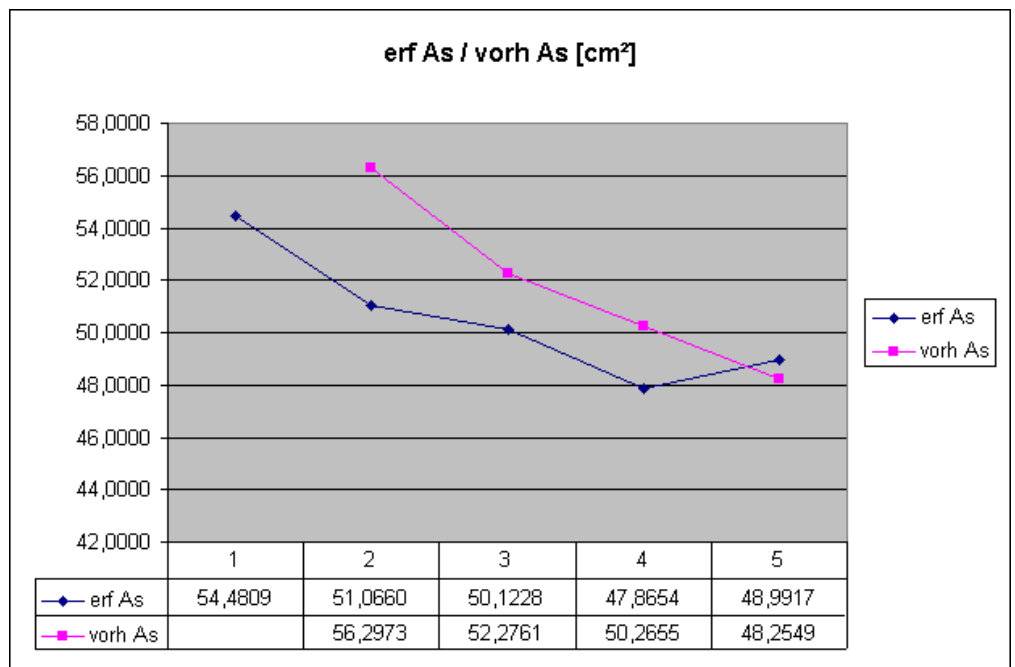
Die folgende Grafik veranschaulicht, wie die Momente nach Theorie II. Ordnung bei fallender vorhandener Bewehrung auch stetig abnehmen.



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 anschaulich die folgende Grafik:



Verlauf der erforderlichen und der vorhandenen Bewehrung

Eine Fortsetzung der Iterationen würde zu einer Schleife ohne Ende 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.

5	6	7
48,2549	49,0874	48,2549
440,3502	-440,5760	-440,3502
90,6216	90,6711	90,6216
48,9917	47,9091	48,9917
24	10	24
16	25	16

Schleife

Endlosschleife

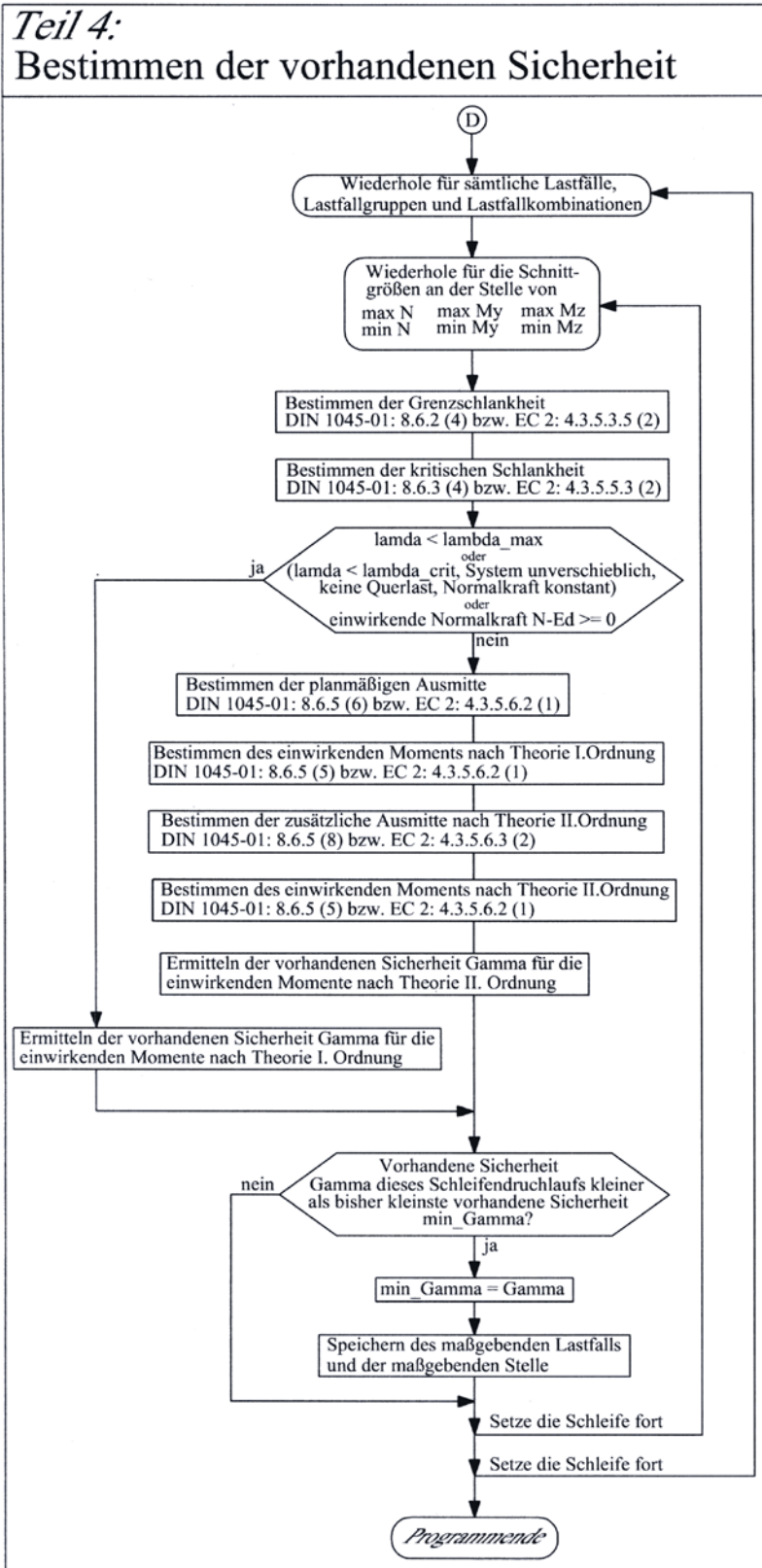
Um eine Endlosschleife zu vermeiden, wird die Iteration deshalb genau dann beendet, wenn die erforderliche Bewehrung die zu ihrer Ermittlung zu Grunde gelegte vorhandene Bewehrung zum ersten Mal überschreitet. Als Lösung wird die vorhandene Bewehrung des vorherigen Iterationsdurchgangs verwendet. Im 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 durch Wahl der entsprechenden Programmooption zugelassen hat.

Die so bewehrte Stütze ist dann auch in der Lage, die Belastungen aus den anderen Lastfällen, Lastfallgruppen und Lastfallkombinationen aufzunehmen. Welche Sicherheit dabei jeweils zustande kommen, wird im vierten Teil des Programmablaufs geklärt.

4.2.4 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.



Programmablauf – Teil 4

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.

Folgende Sicherheiten wurden für die beiden betrachteten Stellen des ersten Beispiels ermittelt.

Stelle 1	Stelle 2
2.8028	1.0234

4.3 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 Abändern 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.

Die Neuberechnung wird dann 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 deutlich 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.

4.4 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 sie in den einzelnen Normen (DIN 1045-01 Abs. 13.5.2 bzw. DIN V ENV 1992-1:1992-06 Abs. 5.4.1.2) vorgeschrieben ist:

$$\text{DIN 1045-01 : } A_{s,\min} = 0.15 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

$$\text{DIN V ENV 1992-1:1992-06 : } A_{s,\min} = \max \left\{ 0.15 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}; 0.003 \cdot A_c \right\}$$

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 Bewehrungsstäben. Bei Stützen mit kreisförmigen Querschnitt sind mindestens sechs Bewehrungsstäbe einzulegen, während bei Stützen mit Rechteckquerschnitt in jeder Ecke ein Bewehrungsstab einzulegen ist. Dabei darf der Stabdurchmesser nicht kleiner als 12 mm sein. Der maximale Abstand einzelner Bewehrungsstäbe darf nicht größer als 300 mm sein.

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

$$\text{DIN 1045-01 : } A_{s,\text{vorh}} \leq 0.09 \cdot A_c$$

$$\text{DIN V ENV 1992-1:1992-06 : } A_{s,\text{vorh}} \leq 0.08 \cdot A_c$$

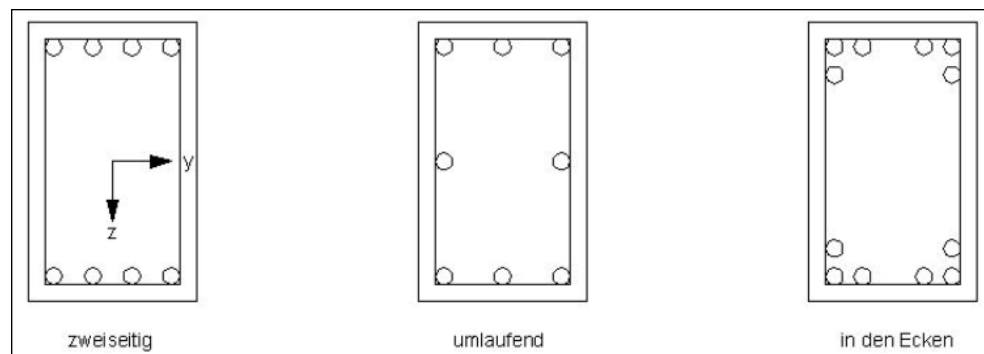
Das Programm folgt der Empfehlung aus [1], Druckglieder nur symmetrisch zu bewehren. Dafür sprechen folgende Gründe:

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

Unter diesen zuletzt genannten Prämissen kann die Anzahl und der Durchmesser der Stäbe bestimmt werden.

4.4.1 Rechteckiger Querschnitt

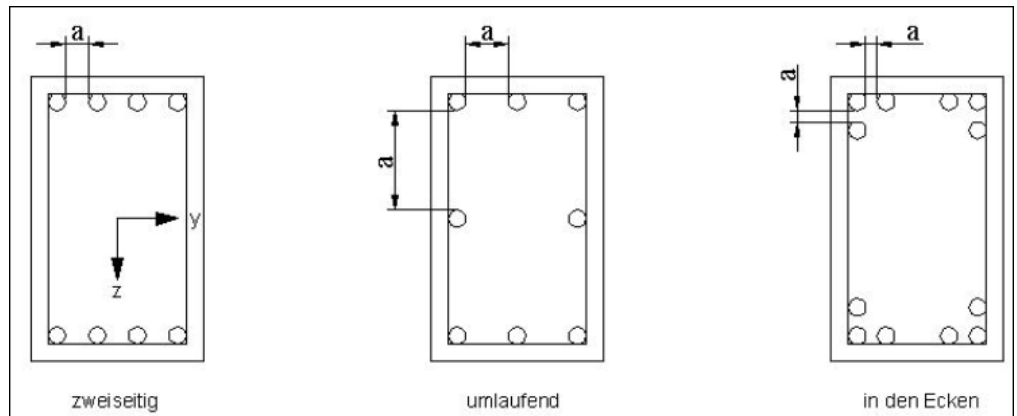
Die Anzahl an Bewehrungsstäben wird im Wesentlichen von der durch den Benutzer gewählten Anordnung der Bewehrungsstäbe beeinflusst. Zwischen folgenden Anordnungen kann für einen rechteckigen Querschnitt gewählt werden:



Anordnung der Bewehrung

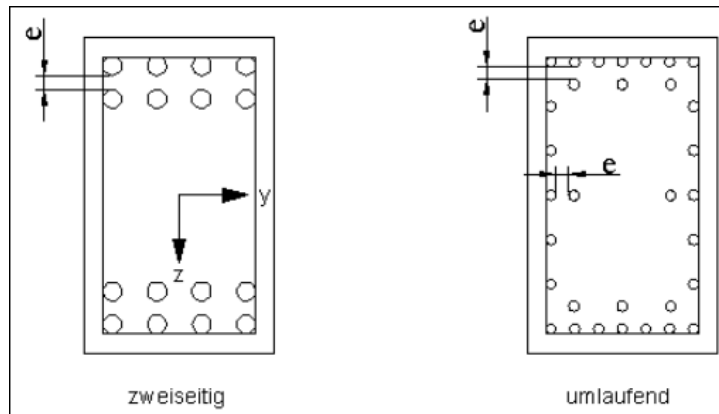
Bei zweiseitiger Bewehrung kann sich der Benutzer zudem dafür entscheiden, ob er die Bewehrung parallel zur y-Achse oder parallel zur z-Achse des Querschnittskordinatensystems verteilt sehen möchte.

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} .



Abstand a der Bewehrungsstäbe innerhalb der ersten Lage

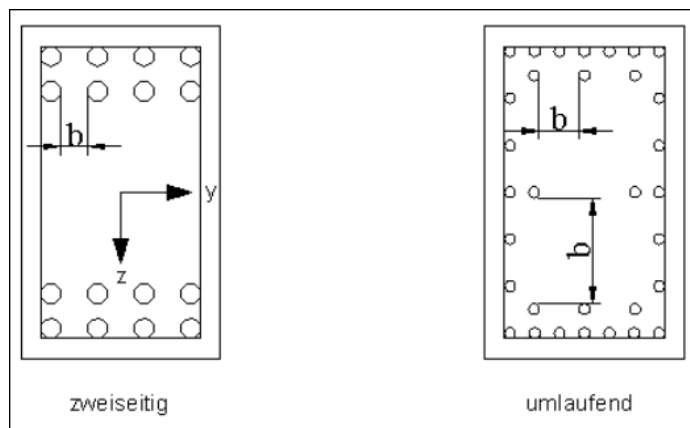
Den minimalen Abstand e_{\min} zur zweiten Lage kann der Benutzer ebenfalls vorgeben. Folgende Abstände für zweiseitige und umlaufende Bewehrung dürfen dann nicht kleiner sein als der minimale Abstand e_{\min} .



Abstand e der Bewehrungsstäbe zur zweiten Lage

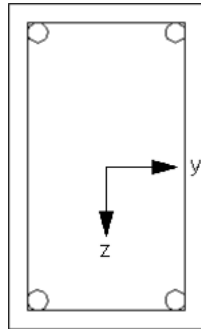
Gibt der Benutzer vor, die Bewehrung in den Ecken anzuordnen, ist eine zweite Bewehrungslage ausgeschlossen.

Den minimalen Abstand b_{\min} innerhalb der zweiten Lage kann der Benutzer ebenfalls definieren. Folgende Abstände b bei zweiseitiger und umlaufender Bewehrung dürfen dann nicht kleiner sein als dieser minimale Abstand b_{\min} .



Abstand b der Bewehrungsstäbe innerhalb der zweiten Bewehrungslage

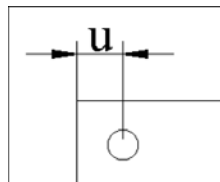
Die Lage der ersten vier Stäbe wird ...



Lage der ersten vier Bewehrungsstäbe

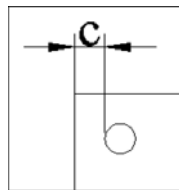
... von der definierten Betondeckung bestimmt. Es existieren im Programm zwei Möglichkeiten, die Betondeckung vorzugeben.

Zum einen als Schwerachsen-Deckung ...



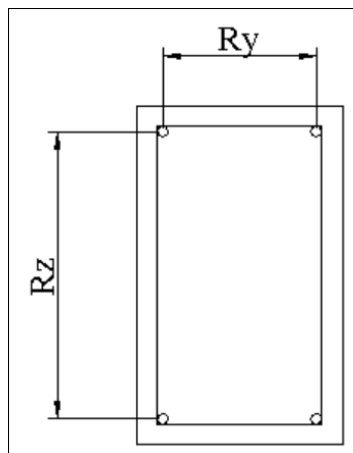
Schwerachsen-Deckung

... und zum anderen als Rand-Deckung.



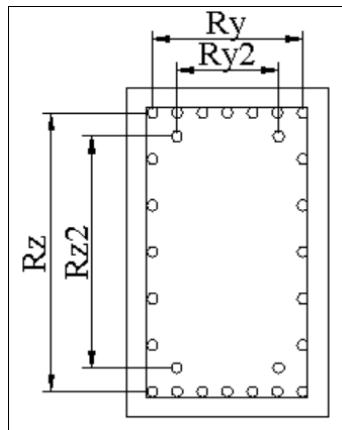
Randdeckung

Steht die Art und die Größe der Betondeckung fest, kann für jede Seite der verbleibende Bereich R_z und R_y , der mit Bewehrungsstäben gefüllt werden kann, bestimmt werden.



Bereich für weitere Bewehrungsstäbe

Bei zweilagiger Bewehrung existieren noch zusätzlich die Bereiche R_{y2} und R_{z2} .



Bereich für weitere Bewehrungsstäbe bei zweilagiger Bewehrung

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, 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.

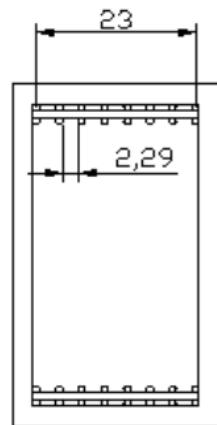
Wurde eine Routine beendet, wird mit dem nächstgrößeren Stabdurchmesser fortgefahren. Sind alle durch den Benutzer zur Verfügung gestellten Stabdurchmesser durchlaufen, werden die gespeicherten Lösungen miteinander verglichen. Diejenige Lösung, für die sich die geringste Differenz der vorhandenen Bewehrung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

Folgendes **Beispiel** soll das Auffinden des geeigneten Stabdurchmessers in geeigneter Anzahl verdeutlichen:

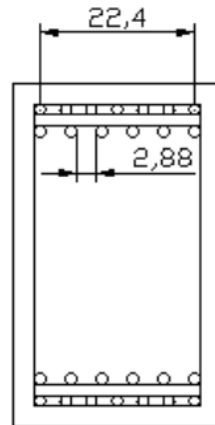
- Erforderlich sei ein Bewehrungsquerschnitt **erf** $A_s = 51.42 \text{ cm}^2$.
- Die Betondeckung soll sich auf den Rand der Bewehrung beziehen und 3 cm betragen.
- Die Mindestabstände a_{\min} , b_{\min} und e_{\min} seien jeweils 2 cm.
- Durch den Benutzer wurden die Bewehrungsstäbe $d_s = 10, 16$ und 30 mm zur Verfügung gestellt.
- Eine zweilagige Bewehrung ist zulässig.

Bei der zweiseitigen Anordnung der Bewehrung werden für die zur Verfügung gestellten Lösungen folgende Anordnungen der Bewehrungsstäbe ermittelt.

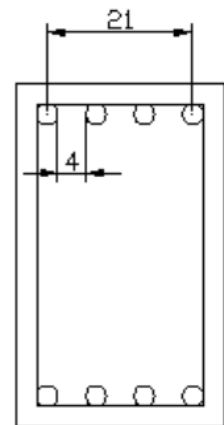
Erf $A_s = 51.42 \text{ cm}^2$



Vorh $A_s = 25.13 \text{ cm}^2$



Vorh $A_s = 52.28 \text{ cm}^2$



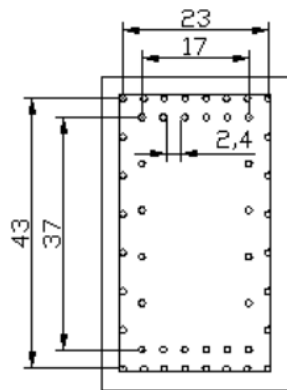
Vorh $A_s = 56.55 \text{ cm}^2$

Ermittelte Bewehrungsanordnung bei zweiseitiger Bewehrung: $\varnothing 10, 16$ und 30 mm

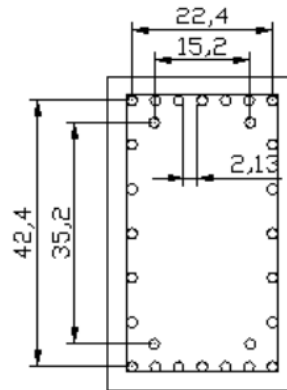
Für den Bewehrungsstabdurchmesser $d_s = 10 \text{ mm}$ kann keine Lösung gefunden werden. Die wirtschaftlichste Lösung ergibt sich für den Bewehrungsstabdurchmesser $d_s = 16 \text{ mm}$.

Gibt der Benutzer anstatt einer zweiseitigen Bewehrungsanordnung eine umlaufende Bewehrungsanordnung vor, so wird folgende Lösung ermittelt:

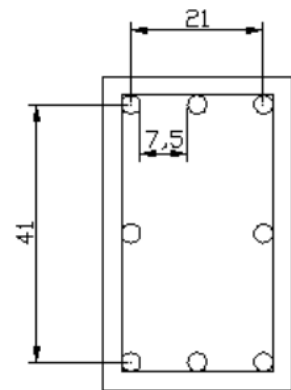
Erf $A_s = 51.42 \text{ cm}^2$



Vorh $A_s = 37.70 \text{ cm}^2$



Vorh $A_s = 56.30 \text{ cm}^2$

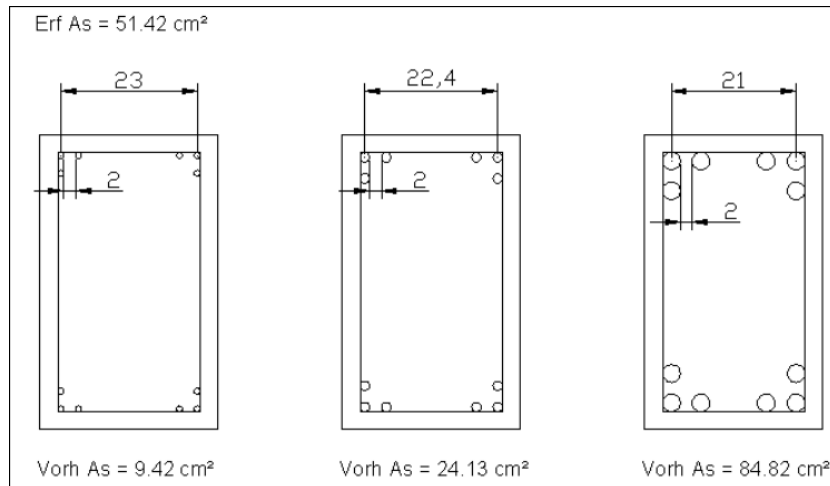


Vorh $A_s = 56.55 \text{ cm}^2$

Ermittelte Bewehrungsanordnung bei zweiseitiger Bewehrung: $\varnothing 10, 16$ und 30 mm

Auch hier liefert der Bewehrungsdurchmesser $d_s = 16 \text{ mm}$ wieder die wirtschaftlichste Lösung, allerdings ist eine zweite Bewehrungslage erforderlich. Der Benutzer erhält deshalb beide Lösungen vorgeschlagen und kann somit wählen, ob er die konstruktiv einfachere Lösung mit den größeren Bewehrungsstäben vorzieht.

Zuletzt soll noch die erforderliche Bewehrung vorgestellt werden, wenn der Benutzer ausschließlich eine Eckbewehrung vorgibt.

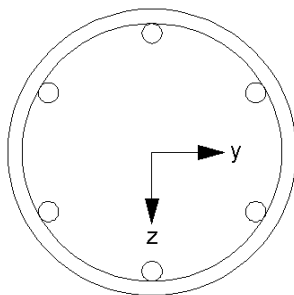


Ermittelte Bewehrungsanordnung bei Eckbewehrung: $\varnothing 10, 16$ und 30 mm

Es wird zunächst mit einem Bewehrungsstab in jeder Ecke des Querschnitts begonnen. Falls die Bewehrung nicht ausreicht, werden im minimalen Abstand der ersten Bewehrungslage pro Ecke zwei weitere Bewehrungsstäbe dazugelegt. Im obigen Beispiel findet sich für den Bewehrungsstabdurchmesser $d_s = 30 \text{ mm}$ eine – wenn auch unwirtschaftliche – Lösung. Da für eine Bewehrungsanordnung in den Ecken keine zweite Bewehrungslage vorgesehen ist, ist die maximale Anzahl für diese Anordnung zwölf Bewehrungsstäbe.

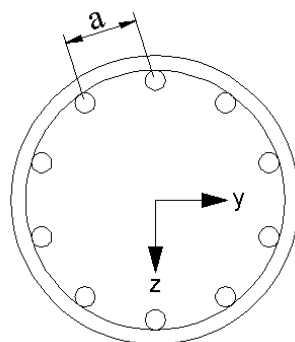
4.4.2 Kreisförmiger Querschnitt

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



Anordnung der Bewehrung

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

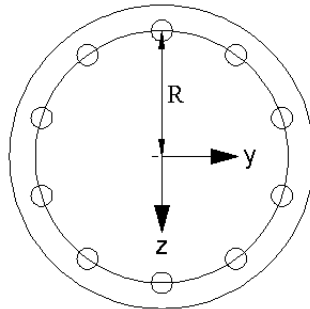


Abstand a der Bewehrungsstäbe

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 4.4.1 **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.



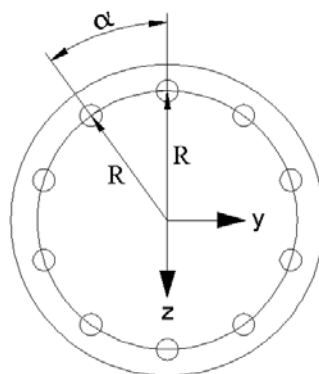
Kreis mit den Schwerpunkten der Bewehrungsstäbe

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.



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 wird mit dem nächstgrößeren Stabdurchmesser wiederholt. Ist der Abstand hingegen größer, so wird die gefundene Lösung gespeichert.

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

4.5 Brandschutznachweis

Der Brandschutznachweis ist zum Zeitpunkt der Erstellung des Handbuchs nur bei einer Stützenbemessung nach DIN 1045-01 möglich. An einem Brandschutznachweis, der bei einer Stützenbemessung nach EC2 durchgeführt werden kann, wird gearbeitet.

Da die Bemessung der Stützen nach DIN 1045-01 auf Basis von Teilsicherheitsbeiwerten beruht, muss für den Brandschutznachweis eine Norm verwendet werden, die zu einem einheitlichen Sicherheitskonzept führt. Zwar verwendet die DIN 4102-4 [2] ein globales Sicherheitskonzept, jedoch in Verbindung mit den Regelungen nach DIN 4102-22 [3] ist ein Brandschutznachweis mit jenen Schnittgrößen möglich, mit denen zuvor eine Kaltbemessung der Stütze stattgefunden hat. Dies ist deshalb möglich, da die höhere Belastung nach DIN 1045-1:2001-07 im Vergleich zur DIN 1045:1988-07 in der DIN 4102-22 durch eine Vergrößerung der vorhandenen Belastung um den Faktor α^* berücksichtigt wird. Dieses Vorgehen erlaubt die Anwendung der Bemessungstabelle für Stützen aus der DIN 4102-4. Der Nachteil allerdings ist, dass damit für viele Stützen der brandschutztechnische Nachweis bemessungsrelevant wird, wodurch die höhere Tragfähigkeit nach DIN 1045-1:2001-07 im Vergleich zu DIN 1045:1988-07 nicht ausgenutzt werden kann.

Der Brandschutznachweis nach DIN 4102 Teil 4 in Verbindung mit den Regelungen nach DIN 4102-22 besteht aus drei Einzelnachweisen, die unabhängig von einander erfüllt sein müssen.

1. Einzelnachweis:

Es ist ein Ausnutzungsfaktor α_1 zu bestimmen. Dieser Ausnutzungsfaktor α_1 darf den Wert von 1.0 nicht überschreiten. Die Bestimmung des Ausnutzungsfaktor α_1 wird im Anschluss ausführlich vorgestellt.

2. Einzelnachweis:

In Abhängigkeit dieses Ausnutzungsfaktor α_1 , der angestrebten Feuerwiderstandsklasse, der Stützenbekleidung und der Brandbeanspruchung ermittelt sich eine Mindestdicke d der Stütze aus der Tabelle 31 der DIN 4102 Teil 4.

Tabelle 31: Mindestdicke und Mindestachsabstand von Stahlbetonstützen aus Normalbeton

Zeile	Konstruktionsmerkmale ¹⁾	Feuerwiderstandsklasse-Benennung				
		F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A	F 180-A
1	Mindestquerschnittsabmessungen unbekleideter Stahlbetonstützen bei mehrseitiger Brandbeanspruchung bei einem					
1.1	Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,3$					
1.1.1	Mindestdicke d in mm	150	150	180	200	240
1.1.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	²⁾	²⁾	²⁾	40	50
1.2	Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,7$					
1.2.1	Mindestdicke d in mm	150	180	210	250	320
1.2.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	²⁾	²⁾	²⁾	40	50
1.3	Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 1,0$					
1.3.1	Mindestdicke d in mm	150	200	240	280	360
1.3.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	²⁾	²⁾	²⁾	40	50
2	Mindestquerschnittsabmessungen unbekleideter Stahlbetonstützen bei 1seitiger Brandbeanspruchung					
2.1	Mindestdicke d in mm	100	120	140	160	200
2.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	²⁾	²⁾	²⁾	45	60
3	Mindestquerschnittsabmessungen von Stahlbetonstützen mit einer Putzbekleidung nach Abschnitt 3.13.2.9					
3.1	Mindestdicke d in mm	140	140	160	220	320
3.2	Mindestachsabstand	²⁾	²⁾	²⁾	²⁾	²⁾
¹⁾ Mindestabmessungen für umschnürte Druckglieder, soweit in der Tabelle keine höheren Werte angegeben sind: F 30 $d = 240$ mm F 60 bis F 180 $d = 300$ mm ²⁾ Bezüglich c : Mindestwerte nach DIN 1045						

Tabelle 31 der DIN 4102 Teil 4

Der Nachweis besteht also darin, dass die vorhandene Dicke der Stütze größer sein muss, als die nach Tabelle 31 ermittelte Mindestdicke. Als vorhandene Dicke wird bei einer rechteckigen Stütze die kleinere Seitenabmessung verstanden, während bei einer kreisförmigen Stütze der Durchmesser die vorhandene Dicke darstellt.

3. Einzelnachweis:

Genau wie die Mindestdicke, so ermittelt sich auch der Mindestachsabstand aus der Tabelle 31. Als Achsabstand wird die Entfernung zwischen dem Schwerpunkt der äußeren Längsbewehrung und der Außenseite der Stütze verstanden. Wieder wird der vorhandene Wert mit dem Mindestwert laut Tabelle verglichen. Der Nachweis gilt als erfüllt, wenn der Achsabstand, der sich aus der durch den Benutzer vorgegebenen Betondeckung und dem vom Programm gewählten Bewehrungsdurchmesser ergab, größer als der Mindestachsabstand der Tabelle 31 ist.

Nachdem der gesamte Nachweis durch Vorstellung der 3 Einzelnachweise in groben Zügen bekannt ist, können die Feinheiten beschrieben werden.

Für den ersten Einzelnachweis, muss der Ausnutzungsfaktor α_1 bestimmt werden. Gemäß DIN 4102-22:2004-11 Abs. 3.13.2.2 ist dazu der Bemessungswert der vorhandenen Längskraft $N_{fi,d,t}$ im Brandfall nach DIN 1055-100:2001-03, 8.1, mit dem Bemessungswert der Tragfähigkeit N_{Rd} nach DIN 1045-1 ins Verhältnis zu setzen und mit α^* zu multiplizieren.

$$\alpha_1 = \frac{N_{fi,d,t}}{N_{Rd}} \cdot \alpha^*$$

Die Ermittlung der Einwirkungen im Brandfall kann zum einen nach den Kombinationsregeln für die außergewöhnliche Bemessungssituation der DIN 1055-100 erfolgen. Dies hat

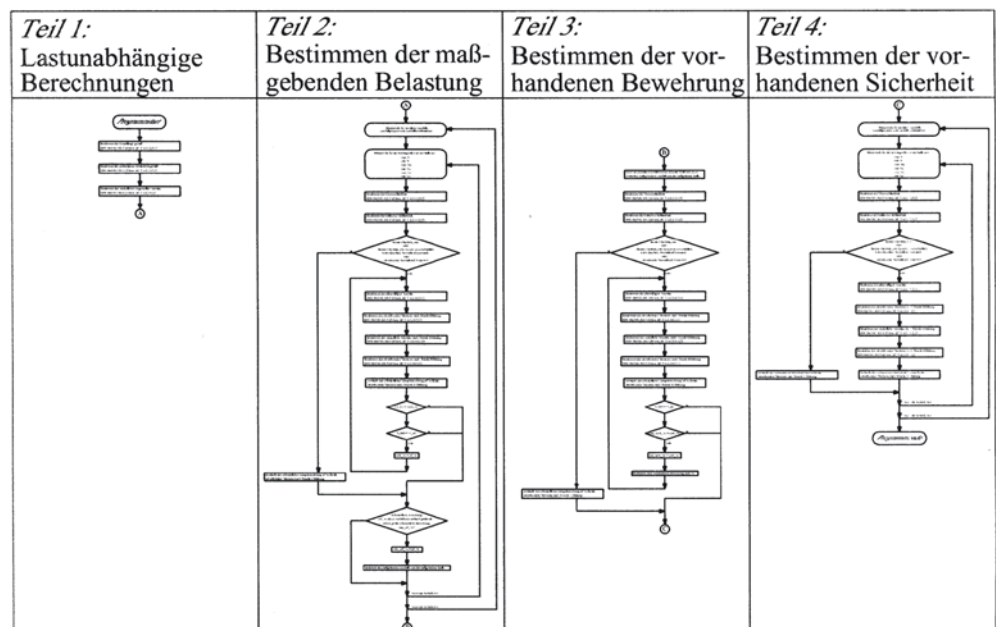
jedoch den großen Nachteil, dass der Brandschutznachweis mit eigenen Lastfallkombinationen für diese außergewöhnliche Bemessungssituation erfolgen muss. Um jetzt nicht noch zusätzliche Lastfallkombinationen anlegen zu müssen, können die Einwirkungen im Brandfall E_{dA} auch aus den 0,7-fachen Bemessungswerten der Einwirkungen E_d bei Normaltemperatur bestimmt werden.

$$E_{dA} = 0.7 \cdot E_d$$

mit:

E_d = Bemessungswert der Einwirkungen für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen für den Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit nach DIN 1055-100.

Für diese Vorgehensweise im Programm bedeutet diese Vereinfachung, dass die Schnittgrößen N , M_y und M_z , egal, ob es sich dabei um die einwirkenden Momente mit oder ohne Einfluß der Theorie II. Ordnung handelt, mit dem Faktor 0.7 zu multiplizieren sind. Dies geschieht jedoch nur an jener Stelle im Programm, an der der Bemessungswert der Tragfähigkeit N_{Rd} bestimmt wird. Hält man sich noch einmal die vier Teile für den Nachweis der Modellstütze vor Augen, ...



Grober Programmablauf

... so wird im vierten Teil die vorhandene Sicherheit bestimmt. Für den Nachweis der Modellstütze ist diese Sicherheit der Faktor, mit dem die einwirkenden Schnittgrößen bei Normaltemperatur multipliziert werden müssen, um die Bemessungswerte der Tragfähigkeit der Normalkraft und der Momente zu erhalten. Für den Brandschutznachweis hingegen sind die Bemessungswerte der Tragfähigkeit zu bestimmen, indem die Sicherheit für die 0.7-fachen einwirkenden Schnittgrößen (Schnittgrößen im Brandfall) der Modellstützenbemessung ermittelt wird.

In den beiden anderen Programmteilen 2 und 3 hingegen wird stets mit den einwirkenden Schnittgrößen bei Normaltemperatur zum einen die maßgebende Belastung bestimmt (Teil 2) bzw. die vorhandene Bewehrung ermittelt (Teil 3).

Es ist also so, dass – sofern der Benutzer sich für den Nachweis des Brandschutzes entschieden hat – die Ermittlung einer vorhandenen Bewehrung und die Bestimmung der Sicherheit dieser vorhandenen Bewehrung auf die gleiche Weise erfolgt, als wenn ein Brandschutznachweis nicht geführt wird. Allerdings wird zusätzlich die Sicherheit noch einmal für die 0.7-fachen Lasten der Normaltemperatur durchgeführt, um den Bemessungswert der Tragfähigkeit N_{Rd} zu bestimmen. Mit diesem Bemessungswert der Tragfähigkeit N_{Rd} kann dann

der Ausnutzungsfaktor α_1 bestimmt werden. Um ihn bestimmen zu können, muss zuvor der Faktor α^* gemäß Bild 15a der DIN 4102-22 ermittelt werden.

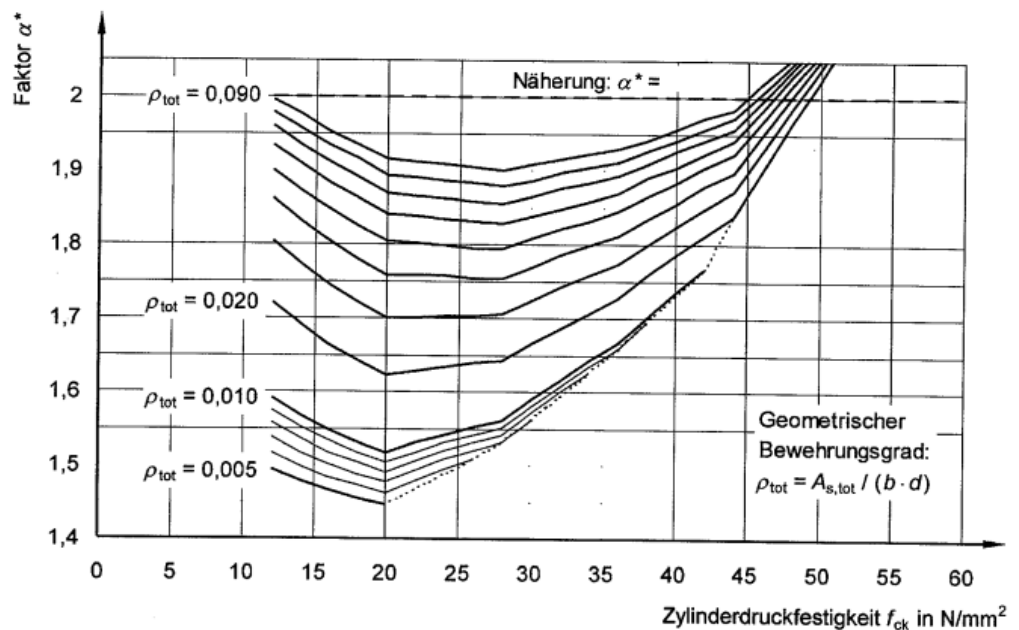


Bild 15a — Faktor α^* in Abhängigkeit der Zylinderdruckfestigkeit f_{ck} und des geometrischen Bewehrungsgrads ρ_{tot}

Bild 15a der DIN 4102-22

Es werden als Eingangsgrößen die Zylinderdruckfestigkeit f_{ck} und der geometrische Längsbewehrungsgrad ρ_{tot} benötigt. Da der geometrische Längsbewehrungsgrad ρ_{tot} erst nach dem 3. Teil des Nachweises der Modellstütze feststeht, findet der Brandschutznachweis auch ganz zum Schluss statt.

Wie immer, wenn eine erste Berechnung in einem Betonmodul gestartet wird, sucht das Programm nach einer Bewehrung, für die sämtliche Nachweise erfüllt sind. Dies ist auch für den ersten Einzelnachweis des Brandschutzes der Fall. Übersteigt der Wert von α_1 den zulässigen Wert von 1,0, gilt es den Bemessungswert der Tragfähigkeit N_{Rd} so weit zu erhöhen, bis dies nicht mehr der Fall ist. Der Bemessungswert der Tragfähigkeit N_{Rd} kann nur erhöht werden, indem die vorhandenen Längsbewehrung gesteigert wird. Zu einer gesteigerten vorhandenen Längsbewehrung gelangt das Programm, indem es den Programmteil 2 (Bestimmung der maßgebenden Belastung) und den Programmteil 3 (Ermittlung der vorhandenen Bewehrung) abermals mit einer gesteigerten Last durchführt. Dabei gilt, dass nicht nur die Normalkraft, sondern auch die Momente um die Querschnittsachsen mit dem Faktor F_{Brand} zu multiplizieren sind. Wenn hier von Schnittgrößen die Rede ist, die mit dem Faktor F_{Brand} multipliziert werden, so sind in den Programmteilen 2 und 3 stets jene Schnittgrößen zu verstehen, mit denen eine erforderliche Bewehrung bestimmt wird. Das können also zum einen die einwirkenden Schnittgrößen der linearen Statik sein, wie sie als Eingangsgrößen unmittelbar aus RSTAB kommen, wenn kein Einfluss nach Theorie II. Ordnung zu berücksichtigen ist. Sind hingegen Momente nach Theorie II. Ordnung zu bestimmen, so werden diese Momente nach Theorie II. Ordnung erhöht und nicht etwa jene RSTAB-Schnittgrößen, aus denen sie bestimmt wurden. Der Laststeigerungsfaktor F_{Brand} bestimmt sich nach folgender Formel:

$$F_{\text{Brand}} = \frac{N_{f_i,d,t}}{N_{Rd}} \cdot \alpha^*$$

Dieser Laststeigerungsfaktor F_{Brand} führt nicht zwangsläufig dazu, dass ein vorhandener Ausnutzungsgrad α_1 sehr dicht unterhalb des geforderten Wertes 1.0 ist. Dies lässt sich zum einen damit begründen, dass kein linearer Zusammenhang zwischen Last und erforderlicher Bewehrung besteht. Zum anderen natürlich auch damit, dass auf Grund der geometrischen Randbedingungen stets nur eine vorhandene Bewehrung gefunden werden kann, die mehr oder weniger die erforderliche Bewehrung übersteigt.

Diese Erhöhung der zur Bemessung verwendeten Schnittgrößen kann zu zweierlei Ergebnissen führen. Zum einen kann es gelingen, den Wert des Ausnutzungsfaktors α_1 tatsächlich unter 1.0 zu führen. Zum anderen kann es jedoch passieren, dass es zu einer Unbemessbarkeit kommt. Diese Unbemessbarkeit kann auf der einen Seite dadurch entstehen, dass mit der vorhandenen Längsbewehrung der zulässige Längsbewehrungsgrad überstiegen wird und auf der anderen Seite, dass sich keine Längsbewehrung ermitteln lässt, die geometrisch untergebracht werden kann.

Nachdem nun der erste Einzelnachweis ($\alpha_1 \leq 1.0$) erfüllt ist, wird im zweiten Einzelnachweis überprüft, ob die vorhandene Bauteildicke größer als die Mindestbauteildicke ist. Auch hier wird dann durch eine wie oben beschriebene Laststeigerung versucht, die Mindestbauteildicke laut Tabelle 31 unter die vorhandene Bauteildicke zu senken. Vorher wird durch das Programm jedoch überprüft, ob

- jener Teil der Tabelle 31 verwendet wird, im dem α_1 die Mindestquerschnittsabmessungen beeinflusst,
- eine unbedeckte Stahlbetonstütze vorliegt,
- eine mehrseitige Brandbeanspruchung auftritt,
- die kleinste mögliche Mindestabmessung dieser Feuerwiderstandsklasse überhaupt kleiner ist als die vorhandene kleinste Abmessung der Stütze ist.

Falls diese Voraussetzungen nicht gegeben ist, so findet auch keine Erhöhung der Bemessungsschnittgrößen statt, um eine größere Mindestbauteilabmessung zu erhalten.

Pro Iterationsdurchlauf wird der Laststeigerungsfaktor F_{up} um den Wert 0.1 gesteigert.

Das Programm bietet für den zweiten Einzelnachweis noch die Möglichkeit, einen vorhandenen Putz bei der Ermittlung der kleinsten Abmessung der Stütze mit anzusetzen. Der Benutzer muss dem Programm zunächst mitteilen, um welchen Putz es sich handelt. Dies geschieht, indem angegeben wird, ob es sich um Putz der Zeile 1 oder der Zeile 2 der Tabelle 32 handelt.

**Tabelle 32: Putzdicke d_1 bei bewehrten Putzen
als Ersatz für 10 mm Normalbeton von Stützen**

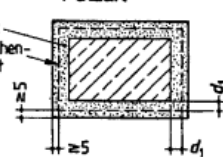
Zeile	Putzart	Erforderliche Putzdicke d_1 als Ersatz für 10 mm Normalbeton mm
		
1	Putzmörtel der Gruppe P II und P IVa bis P IVc nach DIN 18 550 Teil 2	8
2	Putz nach Abschnitt 3.1.6.5	5

Tabelle 32 der DIN 4102-22

Ist zusätzlich noch die vorhandene Putzdicke eingegeben, kann das Programm aus dieser Tabelle 32 ermittelt, um wie viele Millimeter Normalbeton die erforderliche Mindestdicke der Stütze verringert werden darf. Diese so verkleinerte Mindestdicke wird dann bei dem zweiten Einzelnachweis mit der kleinsten vorhandenen Stützenabmessung verglichen.

Für den dritten Einzelnachweis bei dem überprüft wird, ob der Mindestachsabstand u kleiner als der benutzerdefinierte Achsabstand ist, findet keine Erhöhung der Bemessungsschnittgrößen statt.

Für die Anwendung der Tabelle 31 müssen folgende Bedingungen eingehalten werden:

- **3.13.2.2** Bei planmäßig ausmittiger Beanspruchung ist für die Ermittlung von α_1 von einer konstanten Ausmitte auszugehen.
- **3.13.2.3** Die Knicklänge im Brandfall ist nach DIN 1045:1988-07, Abschnitt 17.4.2 zu bestimmen.
- **3.13.2.4** Tabelle 31 ist bei ausgesteiften Gebäuden anwendbar, sofern die Stützenenden, wie in der Praxis üblich, rotationsbehindert gelagert sind. Läuft eine Stütze über mehrere Geschosse durch, gilt der entsprechende Endquerschnitt im Brandfall ebenfalls als an seiner Rotation wirksam gehindert. Tabelle 31 darf nicht angewendet werden, wenn die Stützenenden konstruktiv als Gelenk (z. B. Auflager auf einer Zierleiste) ausgebildet sind.
- **3.13.2.5** Die Knicklänge der Stütze zur Bestimmung der zulässigen Beanspruchung nach Abschnitt 3.13.2.2 entspricht der Knicklänge bei Raumtemperatur, jedoch ist sie mindestens so groß wie die Stützenlänge zwischen den Auflagerpunkten (Geschoßhöhe)

Im Programm hat der Anwender die Möglichkeit vorzugeben, ob das System, in dem sich die zu untersuchende Stütze befindet, verschieblich ist oder nicht (siehe Kapitel 5: Arbeiten mit BETON Stützen). Dies geschieht getrennt um die Achse y und z . Erst wenn der Anwender für beide Richtungen vorgibt, dass das System unverschieblich ist, wird von einem im Sinne des Absatzes 3.13.2.4 ausgesteiften Gebäude gesprochen.

Zudem wird kontrolliert, ob sich am Ende des Stabes oder Stabzugs, den der Benutzer als zu bemessende Stütze ausgewählt hat, ein Gelenk befindet. Ist dies der Fall, so kann nicht mehr davon ausgegangen werden, dass der entsprechende Endquerschnitt im Brandfall wirksam an seiner Rotation gemäß 3.13.2.4 gehindert ist.

Eingangs dieses Kapitels wurde bereits erwähnt, dass zur Führung des Brandschutznachweises mit den Tabellenwerten nach DIN 4102-4 die vorhandene Belastung zur Bemessung nach DIN 1045-1:2001-07 mit dem Faktor α^* zu multiplizieren ist. Der Nachteil dieser Vorgehensweise ist, dass dabei zu oft die zulässige Ausnutzung des bereits gewählten Querschnittes überschritten wird.

In einem Forschungsvorhaben im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik wurden für die tabellierte brandschutztechnische Bemessung Mindestabmessungen von Stahlbetonstützen ermittelt, die an das Bemessungskonzept der DIN 1045-01 angepasst sind. Um aus dieser Tabelle die Mindestquerschnittsbreite b_{\min} und den Mindestachsabstand a entnehmen zu können, ist wieder der Lastausnutzungsfaktor α_1 zu bestimmen. Allerdings geschieht dies so, dass eine Multiplikation durch den Faktor α^* entfällt und der Ausnutzungsfaktor α_1 ausschließlich aus dem Quotienten des Bemessungswerts der vorhandenen Längskraft $N_{fi,d,t}$ im Brandfall nach DIN 1055-100:2001-03, 8.1 und dem Bemessungswert der Tragfähigkeit N_{Rd} nach DIN 1045-1 zu bilden ist.

$$\alpha_1 = \frac{N_{fi,d,t}}{N_{Rd}}$$

Die Tabelle 31, aus der dann mit diesem Ausnutzungsfaktor α_1 die Mindestquerschnittsbreite b_{\min} und den Mindestachsabstand a entnommen werden kann, ist in der Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen – Fassung Januar 2008– Anlage 3.1/10 zu finden.

Tabelle 31: Mindestdicke und Mindestachsabstand von Stahlbetonstützen aus Normalbeton

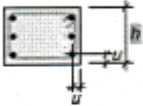

Zeile	Konstruktionsmerkmale	Feuerwiderstandsklasse – Benennung				
		R 30	R 60	R 90	R 120	R 180
	 $\max l_{col} = 6 \text{ m}$ $\min l_{col} = 2 \text{ m}$					
	 $\max l_{col} = 5 \text{ m}$ $\min l_{col} = 1,7 \text{ m}$					
1	Mindestquerschnittsabmessungen unbekleideter Stahlbetonstützen bei mehrseitiger Brandbeanspruchung bei einem					
1.1	Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,2$					
1.1.1	Stützenlänge $\min l_{col}$					
1.1.1.1	Mindestdicke h in mm	120	120	150	180	240
1.1.1.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	34	34	37	34
1.1.2	Stützenlänge $\max l_{col}$					
1.1.2.1	Mindestdicke h in mm	120	120	180	240	290
1.1.2.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	34	37	34	40
1.2	Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,5$					
1.2.1	Stützenlänge $\min l_{col}$					
1.2.1.1	Mindestdicke h in mm	120	160	200	260	350
1.2.1.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	34	34	46	40
1.2.2	Stützenlänge $\max l_{col}$					
1.2.2.1	Mindestdicke h in mm	120	180	270	300	400
1.2.2.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	37	34	40	46
1.3	Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,7$					
1.3.1	Stützenlänge $\min l_{col}$					
1.3.1.1	Mindestdicke h in mm	120	190	250	320	440
1.3.1.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	34	37	40	46
1.3.2	Stützenlänge $\max l_{col}$					
1.3.2.1	Mindestdicke h in mm	120	250	320	360	490
1.3.2.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	37	40	46	46
2	Mindestquerschnittsabmessungen unbekleideter Stahlbetonstützen mit $\max l_{col}$ bei 1-seitiger Brandbeanspruchung bei einem Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,7$					
2.1	Mindestdicke h in mm	120	120	190	200	220
2.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	34	34	34	37

Tabelle 31, Musterliste der Technischen Baubestimmungen – Fassung Januar 2008 – Anlage 3.1/10

Die Mindestquerschnittsbreiten b_{min} und die Mindestachsabstände a wurden für die Feuerwiderstandsklassen R 30, R 60, R 90, R 120 und R 180 in Abhängigkeit der Lastausnutzungsfaktoren $\alpha_1=0,2$, $\alpha_1=0,5$ und $\alpha_1=0,7$ bestimmt.

Für die Anwendung der Tabelle 31, M-Liste der Techn. Baubestimmungen, Fassung Januar 2008, Anlage 3.1/10 müssen folgende konstruktive Bedingungen (Nummerierung nach M-Liste) erfüllt werden:

- **3.13.2.1** Stahlbetonstützen aus Beton der Festigkeitsklasse $\leq C45/55$ müssen unter Beachtung der Bedingungen von Abschnitt 3.1.3.2 die in Tabelle 31 angegebenen Mindestdicken und Mindestachsabstände besitzen.
- **3.13.2.2** Der Ausnutzungsfaktor α_1 ist das Verhältnis des Bemessungswertes der vorhandenen Längskraft im Brandfall $N_{Ed,A}$ nach DIN 1055:2001-03 Abschnitt 8.1 zu dem Bemessungswert der Tragfähigkeit N_{Rd} nach DIN 1045-1. Bei planmäßig ausmittiger Beanspruchung ist für die Ermittlung von α_1 von einer konstanten Ausmitte auszugehen.
- **3.13.2.3** Tabelle 31 gilt für Stützen mit Rechteckquerschnitt und Längen zwischen den Auflagerpunkten bis 6 m und für Stützen mit Kreisquerschnitt und Längen zwischen den Auflagerpunkten bis 5 m.

- **3.13.2.4** Tabelle 31 ist bei ausgesteiften Gebäuden anwendbar, sofern die Stützenenden, wie in der Praxis üblich, rotationsbehindert gelagert sind. Läuft eine Stütze über mehrere Geschosse durch, gilt der entsprechende Endquerschnitt im Brandfall ebenfalls als an seiner Rotation wirksam gehindert. Tabelle 31 darf nicht angewendet werden, wenn die Stützenenden konstruktiv als Gelenk (z. B. auf einer Zentrierleiste) ausgebildet sind.
- **3.13.2.5** Die Ersatzlänge der Stütze zur Bestimmung der zulässigen Beanspruchung nach Abschnitt 3.13.2.2 entspricht der Ersatzlänge bei Raumtemperatur, jedoch ist sie mindestens so groß wie die Stützenlänge zwischen den Auflagerpunkten (Geschoßhöhe).
- **3.13.2.10** Die für den Kaltfall gültigen Anforderungen an die Abmessungen der Stützen, den Bewehrungsquerschnitt und die Anordnung der Bewehrung sind zu beachten.

Vom Programm wird nach der Auswahl der zu bemessenden Stütze überprüft, ob deren Systemlänge nicht 6 m bei Rechteckquerschnitten und 5 m bei Kreisquerschnitten überschreitet.

Im Programm hat der Anwender die Möglichkeit vorzugeben, ob das System, in dem sich die zu untersuchende Stütze befindet, verschieblich ist oder nicht (siehe Kapitel 5: Arbeiten mit BETON Stützen). Dies geschieht getrennt um die Achse y und z. Erst wenn der Anwender für beide Richtungen vorgibt, dass das System unverschieblich ist, wird von einem im Sinne des Absatzes 3.13.2.4 ausgesteiften Gebäude gesprochen.

Zudem wird kontrolliert, ob sich am Ende des Stabes oder Stabzugs, den der Benutzer als zu bemessende Stütze ausgewählt hat, ein Gelenk befindet. Ist dies der Fall, so kann nicht mehr davon ausgegangen werden, dass der entsprechende Endquerschnitt im Brandfall wirksam an seiner Rotation gemäß 3.13.2.4 gehindert ist.

Es obliegt dem Benutzer zu kontrollieren, ob der unter 3.13.2.5 erwähnte Punkt eingehalten ist, da im Programm die Ersatzlänge nach Benutzervorgaben ermittelt wird.

4.6 Querkraftnachweis

4.6.1 DIN 1045-1

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:

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

$V_{Rd,sy}$: 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 $V_{Rd,ctr}$, dann ist rechnerisch keine Querkraftbewehrung erforderlich und der Nachweis ist erfüllt.

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

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

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

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

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

Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung gemäß DIN 1045-01 Formel (70)

$$V_{Rd,ct} = \left[0,10 \cdot \kappa \cdot \eta_1 \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} - 0,12 \cdot \sigma_{cd} \right] \cdot d \cdot b_w$$

mit

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

$$\kappa = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad (d \text{ in mm})$$

η_1 : Beiwert für Normalbeton = 1,0

ρ_l : Längsbewehrungsgrad

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

mit A_{sl} : Fläche der Zugbewehrung, die mindestens um das Maß d über den betrachteten Querschnitt geführt und dort wirksam verankert wird

f_{ck} : Charakteristischer Wert der Betondruckfestigkeit in N/mm²

b_w : Querschnittsbreite

d : statische Nutzhöhe der Biegebewehrung im betrachteten Querschnitt in mm

$$\sigma_{cd} = \frac{N_{Ed}}{A_c}$$

mit N_{Ed} : einwirkende Normalkraft

Die Formel (70) der DIN 1045-01 hat nur Gültigkeit, wenn der Betonquerschnitt nicht völlig überdrückt oder völlig gerissen ist.

Im Falle des völlig gerissenen Querschnitts ergibt sich für die Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,ct}$ 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 $V_{Rd,ct}$ 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 $V_{Rd,ct}$ ohne Querkraftbewehrung ein positiver Wert, jedoch sind die Voraussetzungen für die empirische Formel nicht mehr gegeben. Im Absatz 10.3.3 (2) der DIN 1045-01 findet sich die Formel (72) für unbewehrten Beton:

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

Damit gibt die Norm eine Formel 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 $f_{ctk;0,05} / \gamma_c$ (mit γ_c für unbewehrten Beton nach 5.3.3 (8)). Um diese Voraussetzung zu verifizieren, werden wieder die Definitionspunkte des Betonquerschnitts betrachtet. Erhält keiner von ihnen eine Zugkraft, so kommt die Formel (72) zur Anwendung.

Querkrafttragfähigkeit mit Querkraftbewehrung nach DIN 1045-01 Formel (75), (76)

Bauteile mit Winkel der Querkraftbewehrung von 90°:

$$V_{Rd,sy} = a_{sw} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \cot \vartheta \quad \text{DIN 1045-01 (75)}$$

mit

a_{sw} : Querkraftbewehrungsquerschnitt pro Meter

f_{yd} : Bemessungswert der Streckgrenze des Betonstahls

z : Hebelarm der inneren Kräfte

ϑ : Neigung der Betondruckstrebe

Diese Neigung der Betondruckstrebe darf in Abhängigkeit von der Beanspruchung innerhalb bestimmten Grenzen gewählt werden. Damit soll der Tatsache Rechnung getragen werden, dass ein Teil der Querkraft über die Rissreibung abgetragen wird und somit das Fachwerk nicht belastet. Diese Grenzen sind durch die Formel (73) der DIN 1045-01 definiert.

$$0,58 \leq \cot \vartheta \leq \frac{1,2 - 1,4 \cdot \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}}}{1 - \frac{V_{Rd,c}}{V_{Ed}}} \quad \text{DIN 1045-01 (73)}$$

$$\cot \vartheta \leq 3,0$$

mit

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

$$\sigma_{cd} = \frac{n_{\beta}}{h \cdot b_w}$$

mit

n_{β} : einwirkende Normalkraft in Richtung β der Hauptquerkraft („ N_{Ed} “)

f_{cd} : Bemessungswert der Betonfestigkeit

$$V_{Rd,c} = \beta_{ct} \cdot 0,10 \cdot \eta_1 \cdot f_{ck}^{\frac{1}{3}} \cdot \left(1 + 1,2 \cdot \frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}}\right) \cdot b_w \cdot z$$

mit

$$\beta_{ct} = 2,4$$

$$\eta_1 = 1,0$$

f_{ck} : charakteristische Betonfestigkeit

b_w : Bauteilbreite (bei Platten immer 1,00 m)

z : Hebelarm der inneren Kräfte

Die Druckstrebenneigung ϑ kann also zwischen folgenden Werten schwanken:

	Mindestneigung	Höchstneigung
ϑ	18,435°	59,886°
$\cot \vartheta$	3,00	0,58

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 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 DIN 1045-01 Formel (76)

Bauteile mit Winkel der Querkraftbewehrung von 90°:

$$V_{Rd,max} = \frac{b_w \cdot z \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}}{\cot \vartheta + \tan \vartheta} \quad \text{DIN 1045-01 (76)}$$

mit

b_w Querschnittsbreite

z Hebelarm der inneren Kräfte

α_c Abminderungsbeiwert für Druckstrebenfestigkeit

$$\alpha_c = 0.75 \cdot \eta_l$$

mit

$$\eta_l = 1,00$$

f_{cd} Bemessungswert der Betonfestigkeit

ϑ Neigung der Betondruckstrebe

α Neigung der Querkraftbewehrung

4.6.2 DIN V ENV 1992-1:1992-06

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:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd}$$

mit

V_{Sd} Bemessungswert der aufzunehmenden Querkraft

V_{Rd} Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit

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

- V_{Rd1} Bemessungswert der aufnehmbare Querkraft eines Bauteils ohne Querkraftbewehrung
- V_{Rd2} Bemessungswert der Querkraft, die ohne Versagen des Balkenstegs („Beton-druckstrebe“) aufnehmbar ist
- V_{Rd3} Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft eines Querschnitts in einem Bauteil mit Querkraftbewehrung (ohne Versagen der „Zugstrebe“ = Bewehrung)

Bleibt die einwirkende Querkraft V_{Sd} unter dem Wert von V_{Rd1} , dann ist rechnerisch keine Querkraftbewehrung erforderlich und der Nachweis ist erfüllt.

$$V_{Sd} \leq V_{Rd1}$$

Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung gemäß DIN V ENV 1992-1:1992-06, Formel (4.18)

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.2 + 40 \cdot \rho_l) + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

mit

τ_{Rd} Grundwerte der Bemessungsschubfestigkeit

f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50
τ_{Rd}	0,18	0,22	0,26	0,30	0,34	0,37	0,41	0,44	0,48

$k = 1$ bei Bauteilen, bei denen mehr als 50% der Feldbewehrung gestaffelt ist, ansonsten:

$$k = 1.6 - d \geq 1 \quad (d \text{ in m})$$

Das Programm geht von einer ungestaffelten Bewehrung der Stütze aus.

ρ_l Längsbewehrungsgrad

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0.02$$

mit

A_{sl} Fläche der Zugbewehrung, die mindestens um das Maß $d + l_{b,net}$ über den betrachteten Querschnitt geführt wird

b_w Querschnittsbreite

d statische Nutzhöhe der Biegebewehrung im betrachteten Querschnitt in mm

$$\sigma_{cd} = \frac{N_{Sd}}{A_c}$$

N_{Sd} einwirkende Normalkraft in Richtung der Hauptquerkraft

Die Formel (4.18) des EC 2 zur Bestimmung der Querkrafttragfähigkeit V_{Rd1} ohne Querkraftbewehrung hat nur Gültigkeit, sofern der Betonquerschnitt nicht völlig gerissen ist.

Im Falle des völlig gerissenen Querschnitts ergibt sich für die Querkrafttragfähigkeit V_{Rd1} ein negativer Wert. Im Programm wird zudem zusätzlich kontrolliert, ob es einen Definitionspunkt des Betonquerschnitts gibt, der Druck erhält. Sollte sich keiner finden oder einer finden und die Querkrafttragfähigkeit V_{Rd1} ohne Querkraftbewehrung trotzdem negativ werden, wird das Programm mit einer Fehlermeldung der Unbemessbarkeit abgebrochen.

Im Falle des völlig überdrückten Querschnitts ergibt sich für die Querkrafttragfähigkeit V_{Rd1} ohne Querkraftbewehrung ein positiver Wert, auch wenn keine Längsbewehrung angesetzt werden kann, da sich kein Bewehrungsstab ermitteln lässt, der Zugkräfte erhält. Die Formel (4.18) zur Ermittlung der Querkraftfähigkeit ohne Querkraftbewehrung unterscheidet sich dadurch maßgeblich von der Formel (70) der DIN 1045-01, die keine Anwendbarkeit für völlig überdrückte Querschnitte besitzt.

Da sich im EC2 kein Pendant zur Formel (72) (Absatz 10.3.3 (2) der DIN 1045-01) findet, mit der die Querkrafttragfähigkeit von ungerissenem Beton ermittelt werden kann, wird auch bei einem völlig überdrückten Querschnitt die Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung nicht ermittelt und stattdessen eine Meldung der Unbemessbarkeit ausgegeben.

Ist die aufnehmbare Querkraft V_{Rd1} eines Bauteils ohne Querkraftbewehrung jedoch nicht ausreichend, müssen die Bemessungswiderstände V_{Rd2} zum Nachweis der „Druckstrebe“ und V_{Rd3} zum Nachweis der „Zugstrebe“ ermittelt werden. Dafür stehen zwei Verfahren zur Verfügung:

- Standardverfahren gemäß Abs. 4.3.2.4.3
- Verfahren der veränderlichen Druckstrebenneigung gemäß Abs. 4.3.2.4.4

Im Programm entscheidet der Benutzer, welches Verfahren er verwenden möchte.

4.6.2.1 Standardverfahren

Beim Standardverfahren wird für den Nachweis der Druckstrebe ein Neigungswinkel von 45° zugrunde gelegt. Die Tragfähigkeit V_{Rd3} der Zugstrebe ergibt sich aus dem auf den Beton entfallenden Anteil V_{cd} und aus dem auf die Querkraftbewehrung entfallenden Anteil V_{wd} der Querkrafttragfähigkeit.

Bemessungswiderstand V_{Rd2} der Betondruckstrebe gemäß (4.25)

$$V_{Rd2} = 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0.9 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$$

mit

$$v = 0.7 - \frac{f_{ck}}{200} \geq 0.5 \quad (f_{ck} \text{ in N/mm}^2) \quad \text{für Beton C} \leq \text{C 50/60}$$

$$v = 0.45 \quad \text{für Beton C 55/65}$$

$$v = 0.40 \quad \text{für Beton C 60/70}$$

α Winkel zwischen Querkraftbewehrung und Bauteilachse – im Programm wird immer von einer lotrechten Bewehrung ausgegangen, sodass $\cot \alpha$ zu Null wird.

f_{cd} Bemessungswert der Betonfestigkeit

b_w Bauteilbreite

d statische Höhe der Stütze

Bemessungswiderstand V_{Rd3} der Zugstrebe gemäß (4.22)

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd}$$

mit

V_{cd} Querkrafttragfähigkeit, die auf den Beton entfällt: $V_{cd} = V_{Rd1}$

V_{wd} Querkrafttragfähigkeit, die auf die Querkraftbewehrung entfällt

$$V_{wd} = a_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot 0.9 \cdot d$$

a_{sw} Querschnitt der Querkraftbewehrung je Längeneinheit

f_{ywd} Bemessungswert der Stahlfestigkeit der Schubbewehrung

4.6.2.2 Verfahren veränderlicher Druckstrebenneigung gemäß 4.3.2.4.4

Der Nachweis der Druckstrebe ist mit einem gewählten Neigungswinkel ϑ zu führen. Beim Nachweis der „Zugstrebe“ wird nur der auf die Querkraftbewehrung entfallende Anteil der Tragfähigkeit angesetzt unter Berücksichtigung der Neigung ϑ der „Druckstrebe“.

Bemessungswiderstand V_{Rd2} der Betondruckstrebe gemäß (4.26)

$$V_{Rd2} = b_w \cdot z \cdot v \cdot \frac{f_{cd}}{\cot \vartheta + \tan \vartheta}$$

mit

b_w Bauteilbreite

z innerer Hebelarm

$$v = 0.7 - \frac{f_{ck}}{200} \geq 0.5 \quad (f_{ck} \text{ in N/mm}^2) \quad \text{für Beton C} \leq \text{C 50/60}$$

$$v = 0.45 \quad \text{für Beton C 55/65}$$

$$v = 0.40 \quad \text{für Beton C 60/70}$$

f_{cd} Bemessungswert der Betonfestigkeit

ϑ Neigungswinkel der Betondruckstrebe

Die Neigung der Betondruckstrebe ist gemäß 4.3.2.4.4 (1) begrenzt. Es gilt:

$$0.4 \leq \cot \vartheta \leq 2.5 \quad \text{bei nicht gestaffelter Längsbewehrung}$$

$$21.81^\circ \leq \vartheta \leq 68.20^\circ$$

$$0.5 \leq \cot \vartheta \leq 2.0 \quad \text{bei gestaffelter Längsbewehrung}$$

$$26.57^\circ \leq \vartheta \leq 63.43^\circ$$

Im Programm wird eine nicht gestaffelte Bewehrung vorausgesetzt.

Bemessungswiderstand V_{Rd3} der Zugstrebe gemäß (4.27)

$$V_{Rd3} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \vartheta$$

mit

A_{sw} Querschnitt eines Bügels

s Abstand der Bügel

z Hebelarm z der inneren Kräfte

f_{ywd} Bemessungswert der Stahlfestigkeit der Querkraftbewehrung

ϑ Neigungswinkel der Betondruckstrebe

Allerdings muss folgende Bedingung eingehalten werden:

$$\frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{b_w \cdot s} \leq \frac{v \cdot f_{cd}}{2}$$

mit

$$v = 0.7 - \frac{f_{ck}}{200} \geq 0.5 \quad (f_{ck} \text{ in N/mm}^2) \quad \text{für Beton C} \leq \text{C 50/60}$$

$$v = 0.45 \quad \text{für Beton C 55/65}$$

$$v = 0.40 \quad \text{für Beton C 60/70}$$

f_{cd} Bemessungswert der Betonfestigkeit

b_w Bauteilbreite

Liegt die einwirkende Querkraft V_{Sd} über dem Wert von V_{Rd1} , so ist also eine Querkraftbewehrung vorzusehen. Außerdem ist die Querkrafttragfähigkeit V_{Rd2} der Betondruckstrebe nachzuweisen. Die Querkrafttragfähigkeit V_{Rd3} der Bewehrung muss die gesamte Querkraft V_{Sd} aufnehmen.

$$V_{Sd} \leq V_{Rd2}$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd3}$$

Nachdem die beiden Verfahren der DIN V ENV 1992-1:1992-06 zu Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit V_{Rd2} und V_{Rd3} vorgestellt wurden, kann die Bedeutung folgender zwei Programmoptionen zur Wahl des Bemessungsverfahrens noch einmal näher beleuchtet werden.

Wählt der Benutzer das **Standardverfahren**, so wird gemäß Abs. 4.3.2.4.3 der DIN V ENV 1992-1:1992-06 mit einer Druckstrebenneigung $\vartheta = 45^\circ$ bemessen. Bei der Wahl der zweiten Option wird nach dem Verfahren der **veränderlichen Druckstrebenneigung** gemäß 4.3.2.4.4 der DIN V ENV 1992-1:1992-06 bemessen. Der Benutzer kann hier die Ober- und die Untergrenzen der Druckstrebenneigung definieren. Diese dürfen jedoch nicht die zulässigen Grenzen gemäß 4.3.2.4.4 (1) über- bzw. unterschreiten. Für die Bemessung wird deshalb die kleinste der beiden Neigungen aus Mindestneigung laut Norm und benutzerdefinierter Mindestneigung bestimmt. Mit der minimalen Druckstrebenneigung wird dann die Querkrafttragfähigkeit V_{Rd2} der Betondruckstrebe bestimmt. Ist sie größer als die einwirkende Querkraft V_{Sd} , wurde die Neigung ϑ der Druckstrebe gefunden, die zur wirtschaftlichsten Querkraftbewehrung führt. Ansonsten wird diese Druckstrebenneigung so lange erhöht, bis gilt:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd2}$$

Allerdings besteht auch die Möglichkeit, dass der Benutzer eine maximal zulässige Druckstrebenneigung eingibt, die kleiner ist als die Mindestdruckstrebenneigung nach Norm. In diesem Fall beendet das Programm die Bemessung mit einer Fehlermeldung.

4.6.3 Varianten des Querkraftnachweises

Die zuletzt für die beiden Normen 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 $V_{Rd,ct}$ bzw. V_{Rd1} 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	DIN 1045-01		DIN V ENV 1992-1:1992-06	
	Einachsig	Zweiachsig	Einachsig	Zweiachsig
Querschnitt komplett aufgerissen	<i>Keine Bemessung möglich</i>	<i>Keine Bemessung möglich</i>	<i>Keine Bemessung möglich</i>	<i>Keine Bemessung möglich</i>
Negative Querkraft- tragfähigkeit	<i>Keine Bemessung möglich</i>	<i>Keine Bemessung möglich</i>	<i>Keine Bemessung möglich</i>	<i>Keine Bemessung möglich</i>
Querschnitt völlig überdrückt	Nachweis: $V_{Rd,ct} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,ct}$ nach (72) in 10.3.3 (2)	Nachweis: zul $\tau \geq \text{vorh } \tau$ zul τ abgeleitet von (72) in 10.3.3 (2)	Nachweis: $V_{Rd1} \geq V_{Sd}$ V_{Rd1} nach (4.18) in 4.3.2.3	<i>Keine Bemessung möglich, da d und bw nicht ermittelbar</i>
Querschnitt normal aufgerissen (keine Querkraft- bewehrung)	Nachweis: $V_{Rd,ct} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,ct}$ nach (70) in 10.3.3 (1)	Nachweis: $V_{Rd,ct} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,ct}$ nach (70) in 10.3.3 (1) bw und d ermitteln	Nachweis: $V_{Rd1} \geq V_{Sd}$ V_{Rd1} nach (4.18) in 4.3.2.3	Nachweis: $V_{Rd1} \geq V_{Sd}$ V_{Rd1} nach (4.18) in 4.3.2.3 bw und d ermitteln
Querschnitt normal aufgerissen (Querkraft- bewehrung)	Nachweis: $V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,ct}$ nach (76) in 10.3.4 (6) $V_{Rd,sy} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,ct}$ nach (75) in 10.3.4 (4) $z = 0,9 d$	Nachweis: $V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,ct}$ nach (76) in 10.3.4 (6) $V_{Rd,sy} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,ct}$ nach (75) in 10.3.4 (4) z und bw ermitteln	Nachweis: $V_{Rd2} \geq V_{Sd}$ V_{Rd2} nach (4.25) oder (4.26) $V_{Rd3} \geq V_{Sd}$ V_{Rd3} nach (4.22) oder (4.27) $z = 0,9 d$	Nachweis: $V_{Rd2} \geq V_{Sd}$ V_{Rd2} nach (4.25) oder (4.26) $V_{Rd3} \geq V_{Sd}$ V_{Rd3} nach (4.22) oder (4.27) z und bw ermitteln

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} bzw. V_{Sd} gebildet wird. Die folgende Tabelle zeigt einen Überblick über die Formen des Querkraftnachweises für den **kreisförmigen** Querschnitt.

Verformung bzw. Belastung des Querschnitts	DIN 1045-01	DIN V ENV 1992-1:1992-06
	Ein- oder zweiachsig	Ein- oder zweiachsig
Querschnitt komplett aufgerissen	<i>Keine Bemessung möglich</i>	<i>Keine Bemessung möglich</i>
Negative Querkraft- tragfähigkeit	<i>Keine Bemessung möglich</i>	<i>Keine Bemessung möglich</i>
Querschnitt völlig überdrückt	Nachweis: zul $\tau \geq \text{vorh } \tau$ zul τ abgeleitet von (72) in 10.3.3 (2)	<i>Keine Bemessung möglich, da d und bw nicht ermittelbar</i>
Querschnitt normal aufgerissen (Keine Querkraft- bewehrung)	Nachweis: $V_{Rd,ct} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,ct}$ nach (70) in 10.3.3 (1) bw und d ermitteln	Nachweis: $V_{Rd1} \geq V_{Sd}$ V_{Rd1} nach (4.18) in 4.3.2.3 bw und d ermitteln
Querschnitt normal aufgerissen (Querkraft- bewehrung)	Nachweis: $V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,ct}$ nach (76) in 10.3.4 (6) $V_{Rd,sy} \geq V_{Ed}$ $V_{Rd,ct}$ nach (75) in 10.3.4 (4) z und bw ermitteln	Nachweis: $V_{Rd2} \geq V_{Sd}$ V_{Rd2} nach (4.25) oder (4.26) $V_{Rd3} \geq V_{Sd}$ V_{Rd3} nach (4.22) oder (4.27) z und bw ermitteln

4.6.4 Querkraftnachweis Rechteckquerschnitt

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

4.6.4.1 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.

Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung

$$V_{Rd,ct} = \left[0,10 \cdot \kappa \cdot \eta_1 \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} - 0,12 \cdot \sigma_{cd} \right] \cdot d \cdot b_w$$

Formel (70) der DIN 1045-01

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_l) + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot d \cdot b_w$$

Formel (4.18) der DIN V ENV 1992-1:1992-06

Querkrafttragfähigkeit der Betondruckstrebe

$$V_{Rd,max} = \frac{b_w \cdot z \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}}{\cot \vartheta + \tan \vartheta}$$

Formel (76) der DIN 1045-01

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$$

Formel (4.25) der DIN V ENV 1992-1:1992-06, Standardverfahren

$$V_{Rd2} = b_w \cdot z \cdot v \cdot \frac{f_{cd}}{\cot \vartheta + \tan \vartheta}$$

Formel (4.26) der DIN V ENV 1992-1:1992-06, Verfahren veränderlicher Druckstrebenneigung

Querkrafttragfähigkeit der Zugstrebe

$$V_{Rd,sy} = a_{sw} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \cot \vartheta$$

Formel (75) der DIN 1045-01

$$V_{Rd3} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_l) + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot d \cdot b_w + a_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot 0,9 \cdot d$$

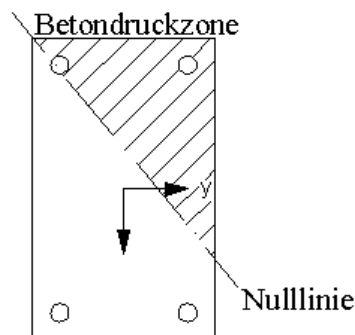
Formel (4.22) der DIN V ENV 1992-1:1992-06, Standardverfahren

$$V_{Rd3} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \vartheta$$

Formel (4.27) des EC2, Verfahren veränderlicher Druckstrebenneigung

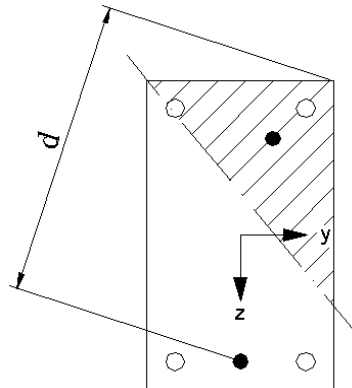
In allen aufgeführten Formeln tauchen die Längen Nutzhöhe d , Bauteilbreite b_w und der Hebelarm z auf. Diese sind jedoch nicht so offensichtliche Größen wie bei einem einachsig beanspruchten Rechteckquerschnitt.

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:



Rechteckquerschnitt unter zweiachsiger Biegung

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



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.

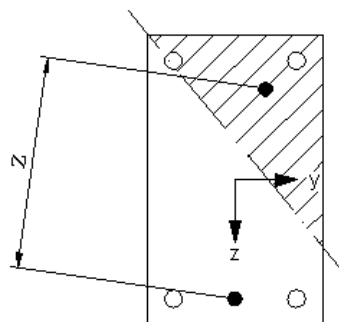
Die Kraft in einem Bewehrungsstab wird mit $F_{st,i}$ bezeichnet. Der Index „i“ steht für die Nummer des betrachteten Bewehrungsstabes. Demzufolge werden die Koordinaten eines Bewehrungsstabes mit $y_{st,i}$ und $z_{st,i}$ bezeichnet. Die Schwerpunktslage der Zugkräfte aller gezogenen Bewehrungsstäbe 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 Beispiel des oben abgebildeten Rechteckquerschnitts stellt der Hebelarm z die Verbindung zwischen der Stelle der resultierenden Betondruckkraft und der Schwerpunktslage der Zugkräfte aller gezogenen Bewehrungsstäbe dar.



Hebelarm der inneren Kräfte

Um die Lage der resultierenden Betondruckkraft F_c zu bestimmen, ist zunächst diese Kraft F_c mithilfe der in der Bewehrungsstäben vorhandenen Zug- und Druckkräfte 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 ermitteln:

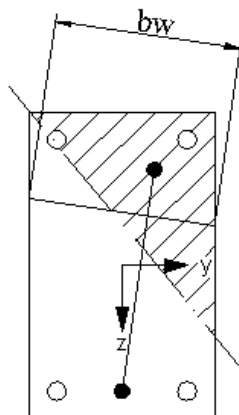
$$y_c = \frac{M_z - \sum_{i=0}^n y_{sc,i} \cdot F_{sc,i}}{F_c}$$

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

Schließlich kann der Hebelarm z bestimmt 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.



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.

4.6.4.2 Völlig überdrückter Querschnitt

Bemessung nach DIN 1045-01

Im Falle des völlig überdrückten Querschnitts ergibt sich zwar für die Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,ct}$ ohne Querkraftbewehrung ein positiver Wert, jedoch sind die Voraussetzungen für die empirische Formel nicht mehr gegeben. Im Absatz 10.3.3 (2) der DIN 1045-01 findet sich die Formel (72) für unbewehrten Beton.

$$V_{Rd,ct} = \frac{l \cdot b_w}{S} \cdot \sqrt{\left(\frac{f_{ctk;0.05}}{\gamma_c}\right)^2 - \alpha_l \cdot \sigma_{cd} \cdot \frac{f_{ctk;0.05}}{\gamma_c}}$$

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 $f_{ctk;0.05} / \gamma_c$ (mit γ_c für unbewehrten Beton nach 5.3.3 (8)). Um diese Voraussetzung zu verifizieren, werden wieder die Definitionspunkte des Betonquerschnitts betrachtet. Erhält keiner von ihnen eine Zugkraft, so kommt die Formel (72) zur Anwendung.

Allerdings muss sie modifiziert werden, um für die zweiachsige Querkraftbeanspruchung anwendbar zu sein. Ersetzt man in der obigen Formel die Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,ct}$ durch den Betrag der einwirkenden Querkraft V_{Ed} und stellt die Gleichung wie folgt um ...

$$\frac{|V_{Ed}| \cdot S}{l \cdot b_w} \leq \sqrt{\left(\frac{f_{ctk;0.05}}{\gamma_c}\right)^2 - \alpha_l \cdot \sigma_{cd} \cdot \frac{f_{ctk;0.05}}{\gamma_c}}$$

... so ergibt sich auf der linken Seite der Gleichung eine Schubspannung, während auf der rechten Seite die zulässige Schubspannung zu finden ist.

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.

$$\frac{|V_{Ed,z}| \cdot S_y}{I_y \cdot y} + \frac{|V_{Ed,y}| \cdot S_z}{I_z \cdot z} \leq \sqrt{\left(\frac{f_{ctk;0.05}}{\gamma_c}\right)^2 - \alpha_l \cdot \sigma_{cd} \cdot \frac{f_{ctk;0.05}}{\gamma_c}}$$

Führt man für die beiden Seiten der Gleichung die Variablen vorh τ und zul τ ein, so erhält man folgende Gleichungen:

$$\text{vorh } \tau = \frac{|V_{Ed,z}| \cdot S_y}{I_y \cdot y} + \frac{|V_{Ed,y}| \cdot S_z}{I_z \cdot z}$$

$$\text{zul } \tau = \sqrt{\left(\frac{f_{ctk;0.05}}{\gamma_c}\right)^2 - \alpha_l \cdot \sigma_{cd} \cdot \frac{f_{ctk;0.05}}{\gamma_c}}$$

Kreisquerschnitt

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

$$\text{vorh } \tau = \frac{|V_{Ed,z}| \cdot S_y}{I_y \cdot d} + \frac{|V_{Ed,y}| \cdot S_z}{I_z \cdot d}$$

Die zulässige Schubspannung zul τ ist identisch 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:

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

Bemessung nach DIN V ENV 1992-1:1992-06

In DIN V ENV 1992-1:1992-06 findet sich im Gegensatz zur DIN 1045-01 keine Formel zur Bestimmung der Querkrafttragfähigkeit für unbewehrten Beton. Ein völlig überdrückter und in beide Achsenrichtungen querkraftbeanspruchter Querschnitt wird deshalb bei einer Bemessung nach der DIN V ENV 1992-1:1992-06 als unbemessbar eingestuft.

4.6.5 Querkraftnachweis Kreisquerschnitt

4.6.5.1 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 Formeln zur Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit gehen von einem rechteckförmigen Querschnitt aus.

Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung

$$V_{Rd,ct} = \left[0,10 \cdot \kappa \cdot \eta_1 \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} - 0,12 \cdot \sigma_{cd} \right] \cdot d \cdot b_w$$

Formel (70) der DIN 1045-01

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_l) + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot d \cdot b_w$$

Formel (4.18) der DIN V ENV 1992-1:1992-06

Querkrafttragfähigkeit der Betondruckstrebe

$$V_{Rd,max} = \frac{b_w \cdot z \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}}{\cot \vartheta + \tan \vartheta}$$

Formel (76) der DIN 1045-01

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$$

Formel (4.25) der DIN V ENV 1992-1:1992-06, Standardverfahren

$$V_{Rd2} = b_w \cdot z \cdot v \cdot \frac{f_{cd}}{\cot \vartheta + \tan \vartheta}$$

Formel (4.26) der DIN V ENV 1992-1:1992-06, Verfahren veränderlicher Druckstrebenneigung

Querkrafttragfähigkeit der Zugstrebe

$$V_{Rd,sy} = a_{sw} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \cot \vartheta$$

Formel (75) der DIN 1045-01

$$V_{Rd3} = \left[\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.2 + 40 \cdot \rho_l) + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot d \cdot b_w + a_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot 0.9 \cdot d$$

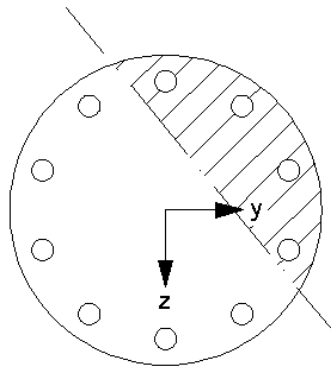
Formel 4.22 der DIN V ENV 1992-1:1992-06, Standardverfahren

$$V_{Rd3} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \vartheta$$

Formel (4.27) der DIN V ENV 1992-1:1992-06, Verfahren veränderlicher Druckstrebenneigung

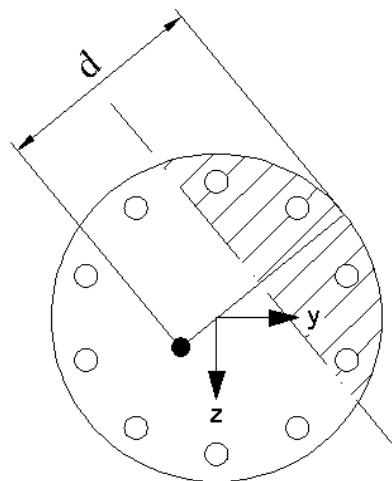
In allen aufgeführten Formeln tauchen die Längen Nutzhöhe d , Bauteilbreite b_w und der Hebelarm z auf. Diese müssen zur Verwendung der Formeln zunächst für den Kreisquerschnitt ermittelt werden.

Exemplarisch wird folgender Verlauf der Betondruckzone im Querschnitt angenommen:



Kreisquerschnitt mit Betondruckzone

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



Statische Nutzhöhe

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

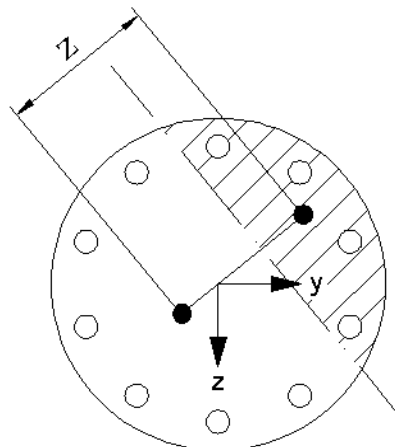
Die Kraft in einem Bewehrungsstab wird mit $F_{st,i}$ bezeichnet. Der Index „i“ steht für die Nummer des betrachteten Bewehrungsstabs. Demzufolge werden die Koordinaten eines Bewehrungsstabes mit $y_{st,i}$ und $z_{st,i}$ bezeichnet. Die Schwerpunktslage der Zugkräfte aller gezogenen Bewehrungsstäbe 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 obige Beispiel des Kreisquerschnitts stellt der Hebelarm z die Verbindung zwischen der Stelle der resultierenden Betondruckkraft und der Schwerpunktslage der Zugkräfte aller gezogenen Bewehrungsstäbe dar.



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.

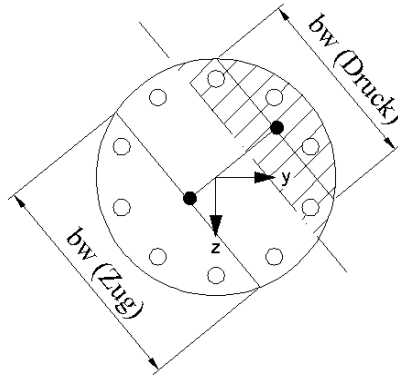
$$y_c = \frac{M_z - \sum_{i=0}^n y_{st,i} \cdot F_{st,i}}{F_c}$$

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

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.



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.

4.6.5.2 Völlig überdrückter Querschnitt

Bemessung nach DIN 1045-01

Im Falle des völlig überdrückten Querschnitts ergibt sich zwar für die Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,ct}$ ohne Querkraftbewehrung ein positiver Wert, jedoch sind die Voraussetzungen für die empirische Formel nicht mehr gegeben. Im Absatz 10.3.3 (2) der DIN 1045-01 findet sich die Formel (72) für unbewehrten Beton.

$$V_{Rd,ct} = \frac{l \cdot b_w}{S} \cdot \sqrt{\left(\frac{f_{ctk;0.05}}{\gamma_c}\right)^2 - \alpha_l \cdot \sigma_{cd} \cdot \frac{f_{ctk;0.05}}{\gamma_c}}$$

Damit gibt die Norm eine Formel 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 (mit γ_c für unbewehrten Beton nach 5.3.3 (8)). Um diese Voraussetzung zu verifizieren, werden wieder die Definitionspunkte des Betonquerschnitts betrachtet. Erhält keiner von ihnen eine Zugkraft, so kommt die Formel (72) zur Anwendung.

Bemessung nach DIN V ENV 1992-1:1992-06

In DIN V ENV 1992-1:1992-06 findet sich im Gegensatz zur DIN 1045-01 keine Formel zur Bestimmung der Querkrafttragfähigkeit für unbewehrten Beton. Ein völlig überdrückter und in beide Achsrichtungen querkraftbeanspruchter Querschnitt wird deshalb bei der Bemessung nach DIN V ENV 1992-1:1992-06 als **unbemessbar** eingestuft.

4.6.6 Querkraftbewehrung

Die Längsbewehrung von Stützen muss durch Querbewehrung umschlossen werden. Es gelten gemäß DIN 1045-01, Abs. 13.5.3 (1) bzw. DIN V ENV 1992-1:1992-06, Abs. 5.4.1.2.2(1) hinsichtlich des Minstdurchmessers dieser Querbewehrung folgende Bedingungen:

- Größer als ein Viertel des Stabdurchmessers der vorhandenen Längsbewehrung
- $\geq 6 \text{ mm}$

Werden als Längsbewehrung Stabdurchmesser größer 28 mm benutzt, ist als Minstdurchmesser der Bügelbewehrung 12 mm zu verwenden (DIN 1045-01, Abs. 13.5.3 (2)).

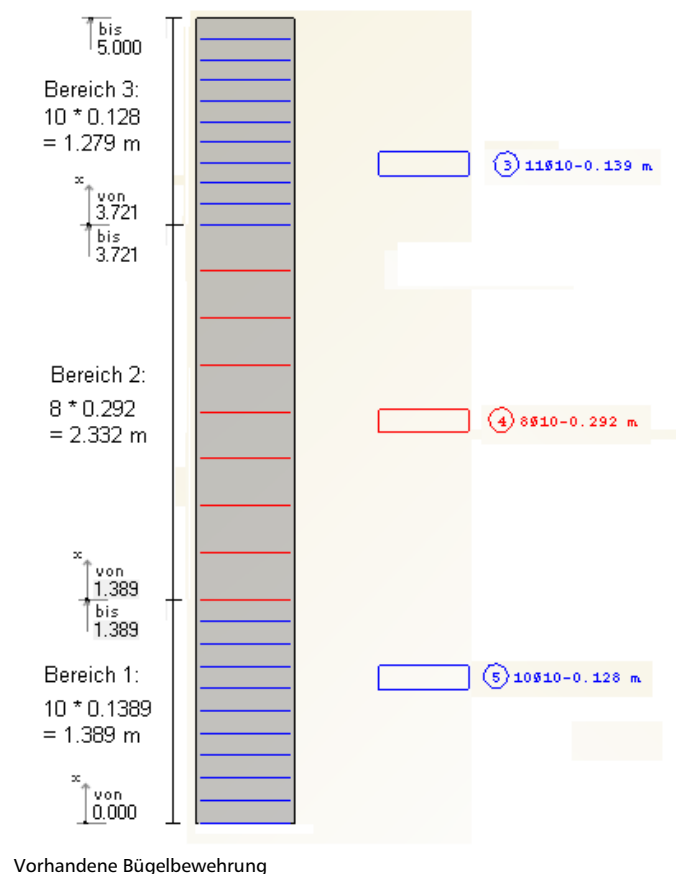
Hinsichtlich der Bügelabstände schreiben DIN 1045-01, Abs. 13.5.3 (4) bzw. DIN V ENV 1992-1:1992-06, Abs. 5.4.1.2.2(3) vor, dass Bügelabstände nicht größer sein dürfen als

- der 12-fache Wert des Stabdurchmessers der vorhandenen Längsbewehrung,
- die kleinste Seitenlänge einer rechteckigen Stütze oder der Durchmesser einer runden Stütze bzw.
- 300 mm.

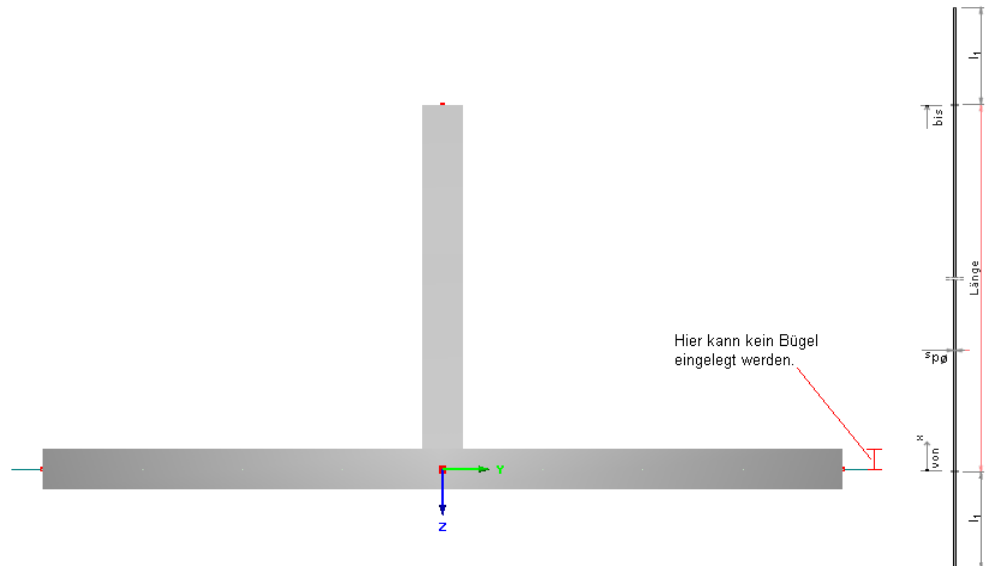
Dem nachfolgenden Absatz der DIN 1045-01 bzw. DIN V ENV 1992-1:1992-06 ist zu entnehmen, dass diese Abstände über und unter Balken oder Platten über eine Höhe gleich der größeren Abmessung des Stützenquerschnitts mit dem Faktor 0,6 abzumindern sind.

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 Bereiche zu verringern.

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

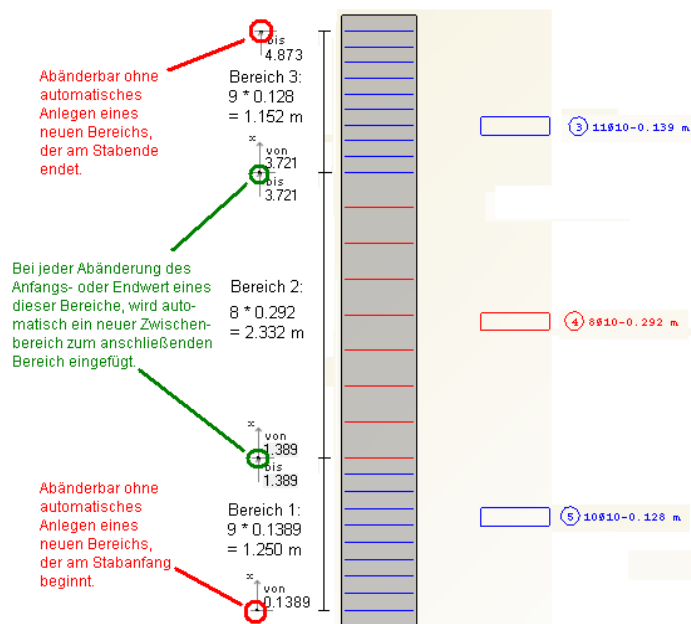


Ein Bereich ist durch einen x-Wert für den Beginn und einen x-Wert für das Ende gekennzeichnet. Jeder Bereich beginnt mit einem Bügel und endet mit einem Abstand. Schließt an diesen Bereich ein weiterer Bereich an, beginnt dieser wieder mit einem Bügel. Schließt kein weiterer Bereich an, endet dieser 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.



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 eben 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.



Veränderte Bereichsanfänge und Bereichsende

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 Auflagernähe durch die konstruktiven Vorschriften der DIN 1045-01 und der DIN V ENV 1992-1:1992-06 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 Formeln (76) und (77) der DIN 1045-01 sowie die Formeln (4.26) und (4.27) der DIN V ENV 1992-1:1992-06 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 zudem 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.

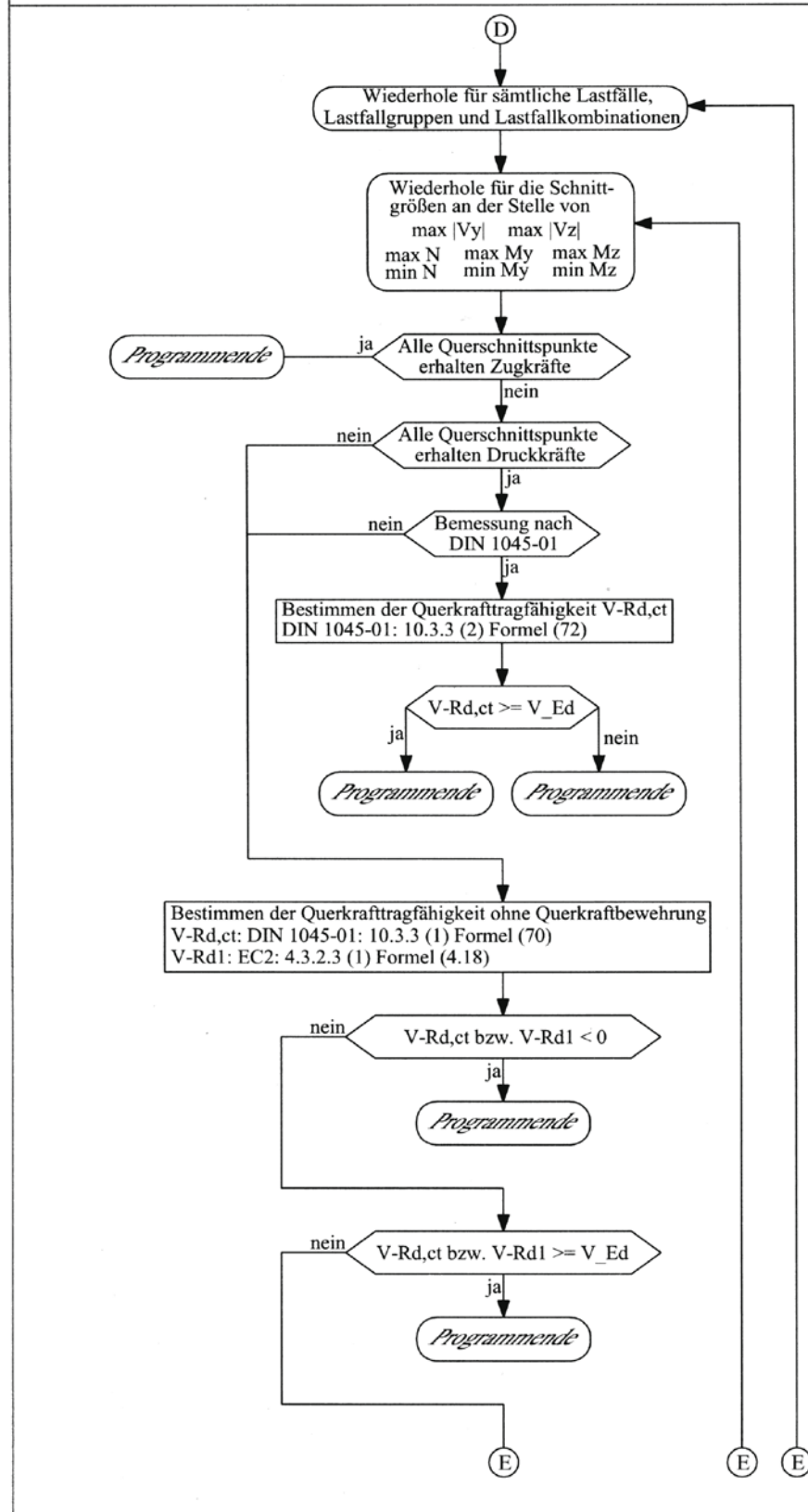
Die Bemessung findet mit den Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung statt.

4.6.7 Programmablauf zur Querkraftbemessung

Nachdem die zu verwendeten Formeln und Schnittgrößen vorgestellt wurden, soll abschließend noch 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 dann darüber, ob das Programm bereits aufgrund einer Unbemessbarkeit abgebrochen wird oder wie die Querkrafttragfähigkeit zu bestimmen ist.

Teil 5.1: Bestimmen der Querkrafttragfähigkeit



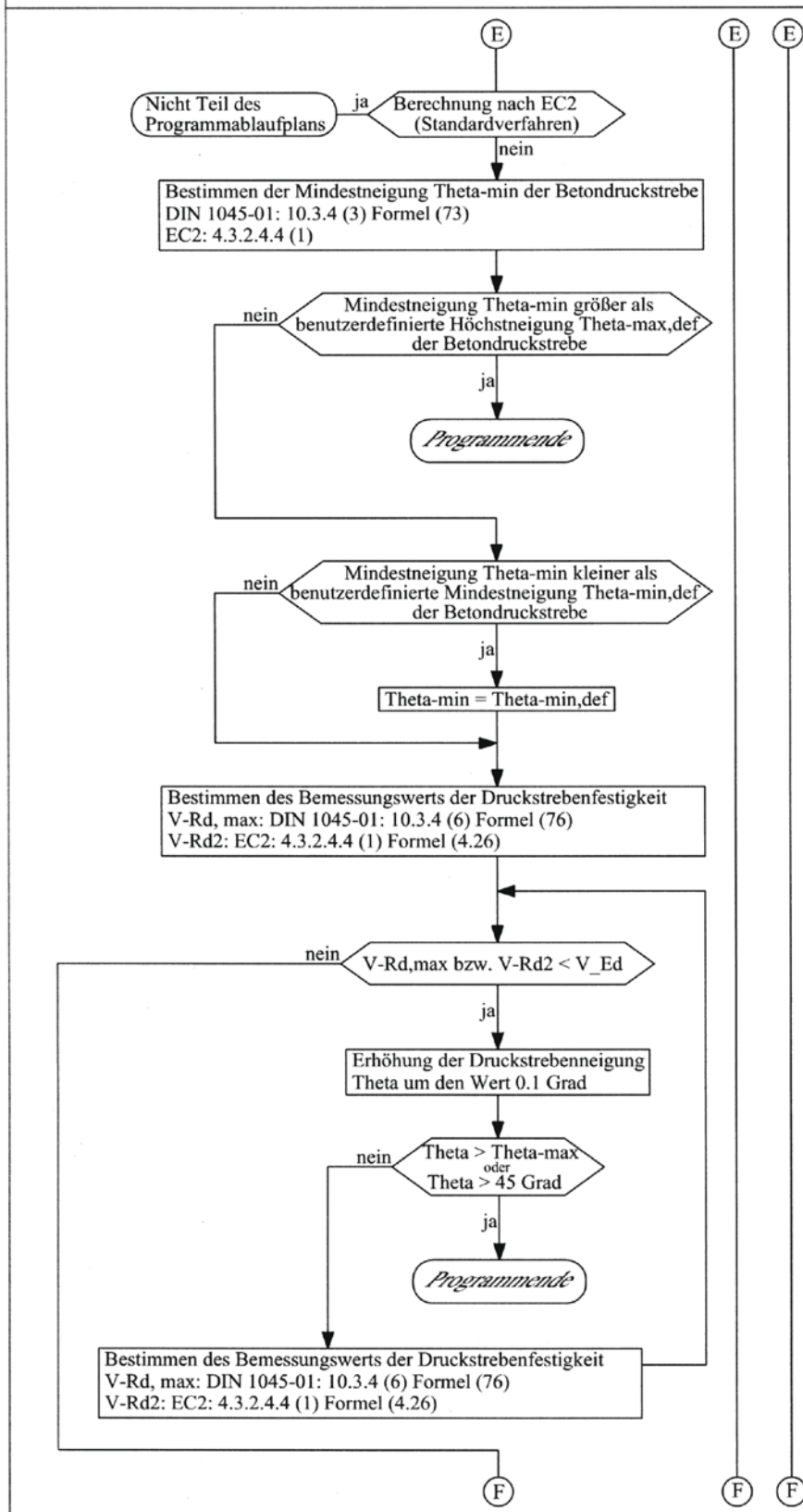
Programmablauf – Teil 5.1

Ist der Querschnitt völlig gerissen, dann wird das Programm hier beendet. Bei völlig überdrücktem Querschnitt wird nur bei Berechnung nach der DIN 1045-01 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 Normen 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.

Der zweite Teil des Programmablaufplans zur Querkraftbemessung trifft für den DIN V ENV 1992-1:1992-06 nur dann zu, wenn der Benutzer sich entschieden hat, nach dem Verfahren der veränderlichen Druckstrebenneigungen vorzugehen. Zunächst werden die Grenzen dieser veränderlichen Druckstrebenneigung bestimmt. Diese werden dann mit den vom Benutzer vorgegebenen Neigungsgrenzen verglichen.

Teil 5.2: Bestimmen der Querkrafttragfähigkeit

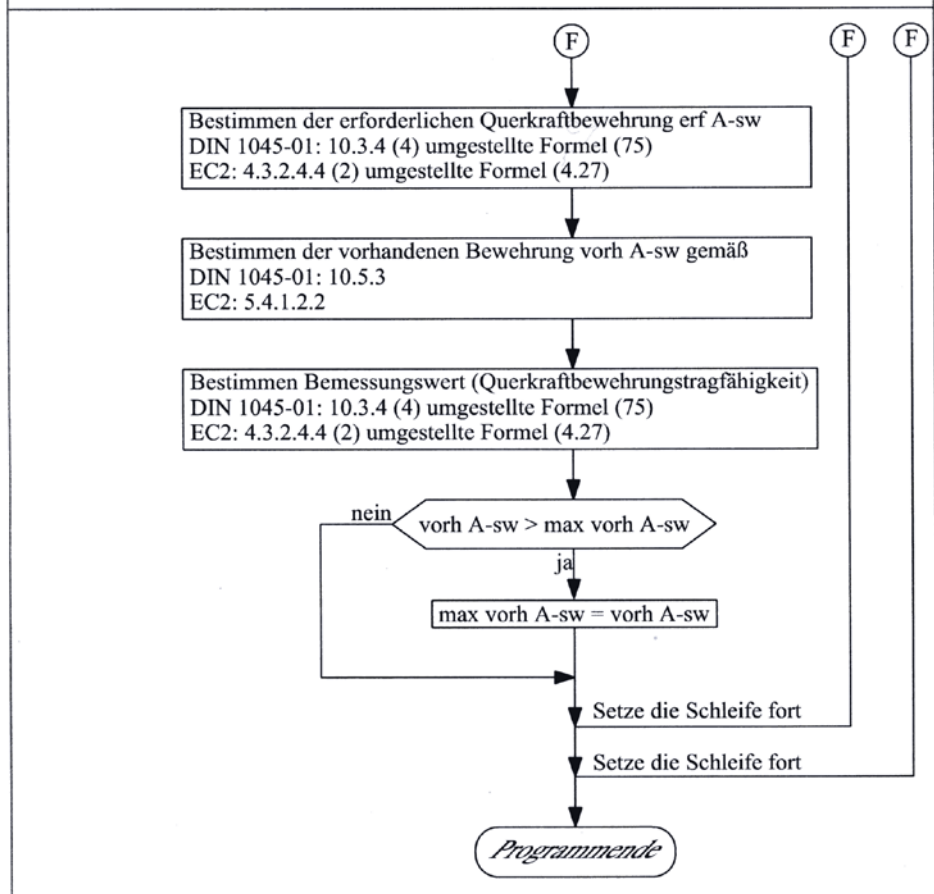


Programmablauf – Teil 5.2

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.

Teil 5.3: Bestimmen der Querkrafttragfähigkeit



Programmablauf – Teil 5.3

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 maßgebenden Stelle zur Bemessung der Querkrafttragfähigkeit mit Querkraftbewehrung hin. Für sie werden vom Programm zwei Nachweiskriterien ausgegeben.

Nachweiskriterium 1:

$$\text{Nachweiskriterium} = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \quad (\text{DIN 1045-01})$$

$$\text{Nachweiskriterium} = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd2}} \quad (\text{DIN V ENV 1992-1:1992-06})$$

Nachweiskriterium 2:

$$\text{Nachweiskriterium} = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,sy}} \quad (\text{DIN 1045-01})$$

$$\text{Nachweiskriterium} = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd3}} \quad (\text{DIN V ENV 1992-1:1992-06})$$

Sowohl in der DIN 1045-01 als auch in DIN V ENV 1992-1:1992-06 wird nur das Kriterium für die Stelle der maßgebenden Querkraft ohne Querkraftbewehrung ausgegeben, wenn im kompletten Stab nur eine Mindestquerkraftbewehrung erforderlich war.

$$\text{Nachweiskriterium} = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,ct}} \quad (\text{DIN 1045-01})$$

$$\text{Nachweiskriterium} = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd1}} \quad (\text{DIN V ENV 1992-1:1992-06})$$

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

$$\text{Nachweiskriterium} = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,ct}} = \max \left\{ \frac{V_y}{V_{Rd,ct,y}}; \frac{V_z}{V_{Rd,ct,z}} \right\} \quad (\text{DIN 1045-01})$$

$$\text{Nachweiskriterium} = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd1}} = \max \left\{ \frac{V_y}{V_{Rd1,y}}; \frac{V_z}{V_{Rd1,z}} \right\} \quad (\text{DIN V ENV 1992-1:1992-06})$$

Nur für die DIN 1045-01 alleine besteht die Möglichkeit, dass neben der Ausgabe der bisher vorgestellten Nachweiskriterien das folgende Nachweiskriterium für den Querkraftnachweis des völlig überdrückten Querschnitts ausgegeben wird:

$$\text{Nachweiskriterium} = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,ct}} \quad (\text{DIN 1045-01})$$

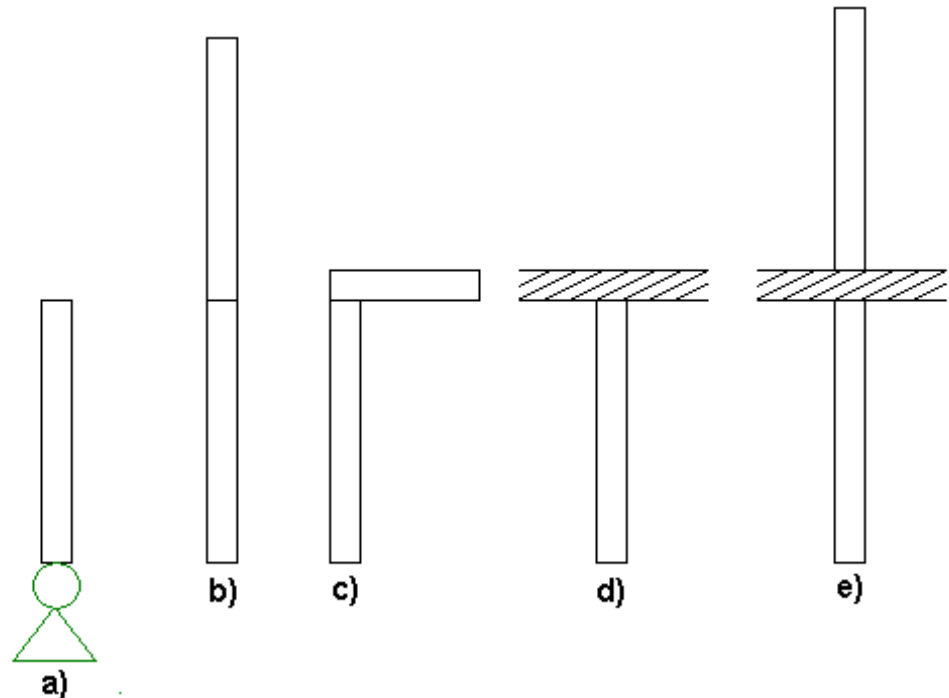
Der Wert $V_{Rd,ct}$ wird mit der Formel (72) der DIN 1045-01 bestimmt. Auch hier kommt es wieder zu einer getrennten Betrachtung der Querkräfte in y- und in z-Richtung.

$$\text{Nachweiskriterium} = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,ct}} = \max \left\{ \frac{V_y}{V_{Rd,ct,y}}; \frac{V_z}{V_{Rd,ct,z}} \right\} \quad (\text{DIN 1045-01})$$

4.7 Übergreifungsstöße

4.7.1 Anschlusselemente an eine Stütze

Im RSTAB können Stützen an verschiedene Elemente anschließen. Die folgende Abbildung veranschaulicht diese Elemente.



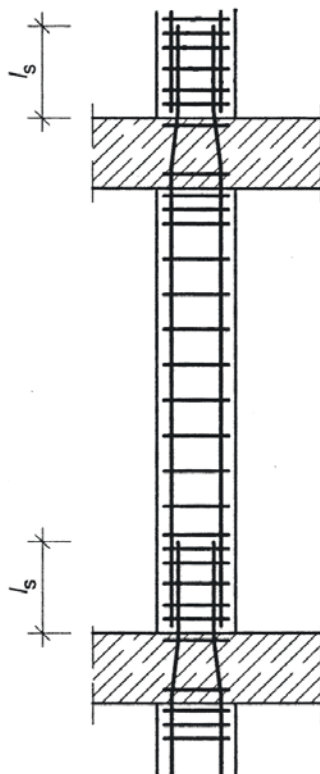
a = Auflager, b = Weiterführende Stütze, c = Riegel, d = Platte, e = Platte und weiterführende Stütze

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 gemäß DIN 1045-01 und DIN V ENV 1992-1:1992-06 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_s verlängert. Die Ermittlung dieser Übergreifungslänge wird im Anschluss vorgestellt.

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

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



Übergreifungslänge l_s

Die Übergreifungslänge l_s wird aus der erforderlichen Verankerungslänge $l_{b,net}$ gemäß DIN 1045-01 Abs. 12.6.2 (3) ermittelt. Diese bestimmt sich zu:

$$l_{b,net} = \alpha_a \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,eff}}{A_{s,vorh}} \geq l_{b,min}$$

mit

α_a Beiwert zur Berücksichtigung der Wirksamkeit der Verankerungslänge nach Tabelle 26 der DIN 1045-01. Für ein gerades Stabende beträgt dieser Wert (unabhängig davon, ob es sich um einen Zug- oder Druckstab handelt) 1,0.

l_b Grundmaß der Verankerungslänge nach DIN 1045-01, Abs. 12.6.2 (2)

$$l_b = \frac{d_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}}$$

mit

d_s Stabdurchmesser

f_{yd} Bemessungswert der Streckgrenze des Betonstahls

f_{bd} Bemessungswerte der Verbundspannung für Betonstahl bei guten Verbundbedingungen (wie für Stützen stets angenommen)

$$f_{bd} = 2.25 \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c}$$

mit

$f_{ctk;0,05}$ charakteristischer Wert der zentrischen Betonzugfestigkeit (5%-Quantil)

γ_c Teilsicherheitsbeiwert für Beton

$A_{s, \text{erf}}$ erforderliche Bewehrung an der maßgebende Stützenstelle, ggf. ermittelt für die Momente nach Theorie II. Ordnung aus dem Modellstützenverfahren

$A_{s, \text{vorh}}$ gewählte vorhandene Bewehrung, die konstant über die ganze Stütze läuft

$l_{b, \text{min}}$ Mindestwert der Verankerungslänge

$$l_{b, \text{min}} = 0.3 \cdot \alpha_a \cdot l_b \quad \text{für die Verankerung von Zugstäben}$$

$$l_{b, \text{min}} = 0.6 \cdot \alpha_a \cdot l_b \quad \text{für die Verankerung von Druckstäben}$$

$$l_{b, \text{min}} \geq 10 \cdot d_s$$

Um einer Verwechslung auf der Baustelle vorzubeugen, werden die Mindestwerte der Verankerungslänge von Druckstäben gewählt. Diese dürften bei einer Stütze auch den Großteil der Bewehrungsstäbe ausmachen.

Ist die erforderlichen Verankerungslänge $l_{b, \text{net}}$ bestimmt, kann die Übergreifungslänge l_s gemäß DIN 1045-01, Abs. 12.8.2 (1) ermittelt werden:

$$l_s = l_{b, \text{net}} \cdot \alpha_1 \geq l_{s, \text{min}}$$

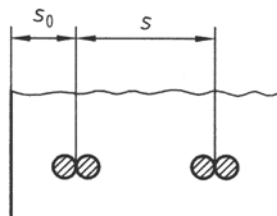
mit

$l_{b, \text{net}}$ erforderliche Verankerungslänge gemäß DIN 1045-01 Abs. 12.6.2 (3)

α_1 Beiwert der Übergreifungslänge nach DIN 1045-01, Tabelle 27. Unter der Prämisse, keinen Unterschied zwischen einem Zug- und einem Druckstoß zu machen, sind folgende Beiwerte α_1 zu verwenden:

Stab- durchmesser	Anteil der ohne Längsversatz gestoßenen Stäbe am Querschnitt einer Bewehrungslage	
	$\leq 30\%$	$> 30\%$
$d_s < 16 \text{ mm}$	1,2 ^{a)}	1,4 ^{a)}
$d_s \geq 16 \text{ mm}$	1,4 ^{a)}	2,0 ^{b)}
a) Falls $s \geq 10d_s$ und $s_0 \geq 5d_s$ gilt $\alpha_1 = 1,0$		
b) Falls $s \geq 10d_s$ und $s_0 \geq 5d_s$ gilt $\alpha_1 = 1,4$		

Der Abstand s stellt das lichte Maß zweier benachbarter Stoßachsen dar, s_0 den Abstand der Stoßachse zum Bauteilrand.



Abstände s und s_0

Der Anteil der ohne Längsversatz gestoßenen Stäbe am Querschnitt einer Bewehrungslage ist durch den Benutzer zu definieren. Standardmäßig wird von einem 100%-igen Stoß ausgegangen.

$l_{s, \min}$ Mindestwert der Übergreifungslänge

$$l_{s, \min} = 0,3 \cdot \alpha_a \cdot \alpha_l \cdot l_b$$

$$l_{s, \min} \geq 15 \cdot d_s$$

$$l_{s, \min} \geq 200 \text{ mm}$$

mit

α_a Beiwert zur Berücksichtigung der Wirksamkeit der Verankerungslänge nach DIN 1045-01, Tabelle 26. Für ein gerades Stabende ist $\alpha_a = 1,0$ (unabhängig davon, ob es sich um einen Zug- oder Druckstab handelt).

α_l Beiwert der Übergreifungslänge nach Tabelle 27 der DIN 1045-01

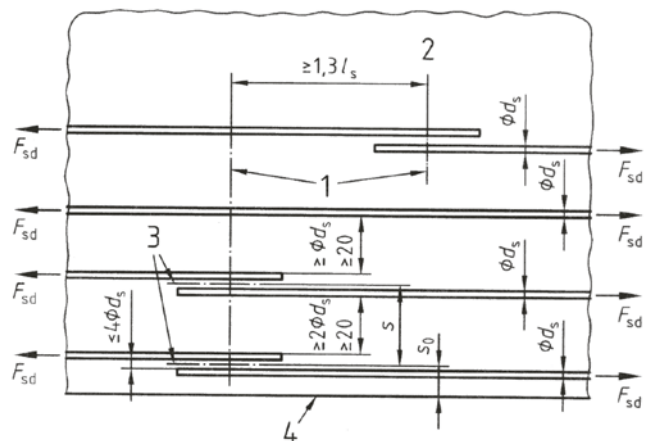
l_b Grundmaß der Verankerungslänge nach DIN 1045-01 Abs. 12.6.2 (2)

4.7.2 Gestaltung von Übergreifungsstößen

Im Hinblick auf die konstruktive Gestaltung von Übergreifungsstößen existieren in der DIN 1045-01 folgende Vorschriften:

Legende

- 1 Stoßmitten
- 2 Längsversatz zweier Stöße
- 3 Stoßachsen
- 4 Bauteilrand



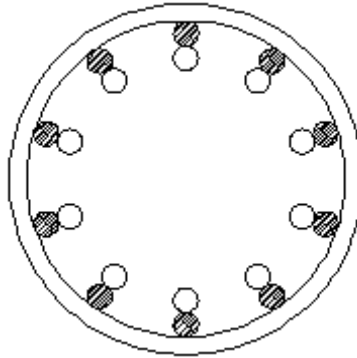
Gestaltung von Übergreifungsstößen

Der lichte Abstand zwischen Stäben, die nicht gestoßen sind, darf den Wert von 20 mm bzw. den Stabdurchmesser nicht unterschreiten. Der Abstand zweier gestoßener Bewehrungsstäbe darf nicht größer als das Vierfache des Stabdurchmessers 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:

- 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

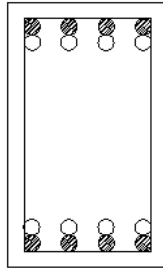
Der Durchmesser und die Anzahl der Bewehrungsstäbe können in beiden Stützen unterschiedlich sein. Nachdem die Koordinaten der abgekröpften Bewehrungsstäbe bestimmt sind, ist zu kontrollieren, ob sich im Umkreis von weniger als $4d_s$ eines jeden dieser Stäbe mindestens ein Bewehrungsstab der anschließenden 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.

Folgende Ausbildung von Übergreifungsstößen sind denkbar.

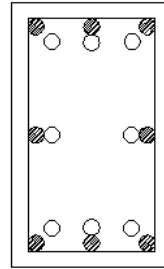


Übergreifungsstoß für runden Stützenquerschnitt

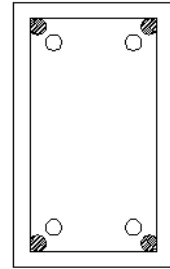
Bei runden Stützenquerschnitten ist ein Übergreifungsstoß uneingeschränkt möglich. Bei rechteckigen Querschnitten entscheidet die Anordnung der Bewehrung darüber, ob ein Übergreifungsstoß zulässig ist.



zweiseitig



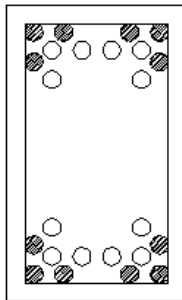
umlaufend



in den Ecken

Übergreifungsstöße bei rechteckigem Stützenquerschnitt

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 eine Betonverdichtung nicht mehr zulässt.



in den Ecken

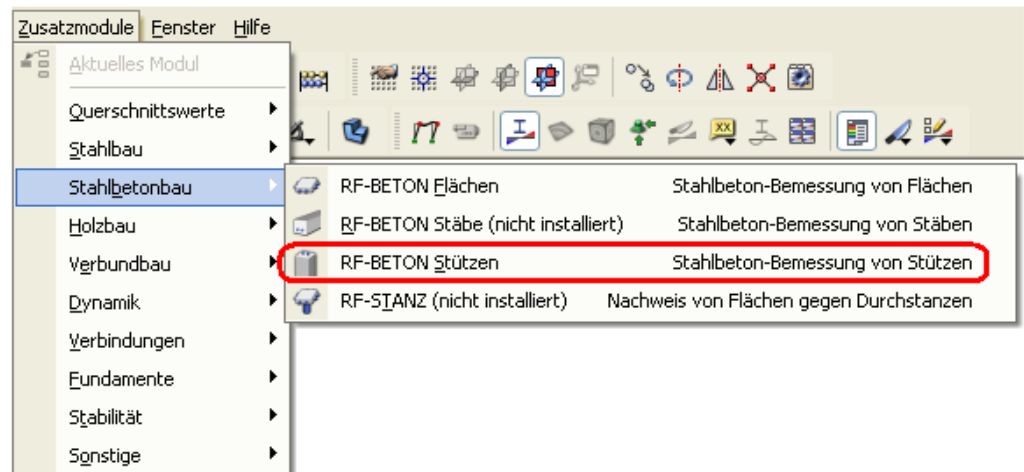
Kein Übergreifungsstoß bei konzentrierter Eckbewehrung

5. Arbeiten mit BETON Stützen

5.1 BETON STÜTZEN starten

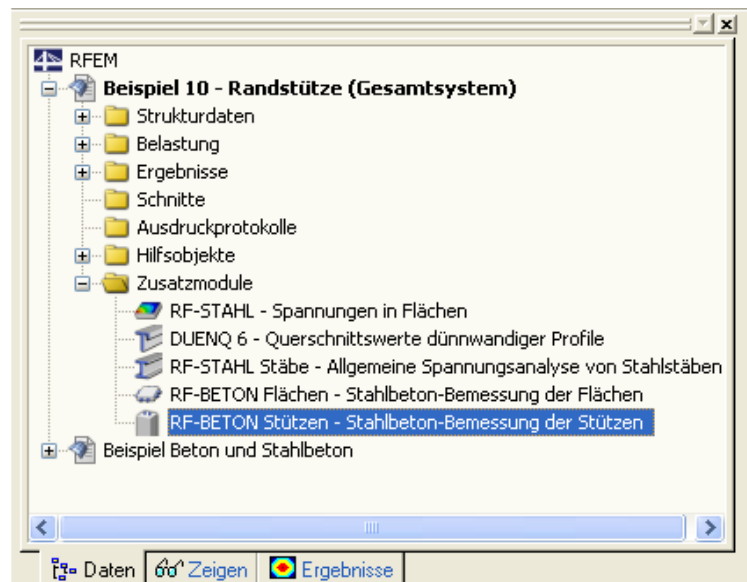
Das Zusatzmodul BETON Stützen kann gestartet werden über Menü

Zusatzmodule → Stahlbetonbau → BETON Stützen.



Starten von BETON Stützen über das Menü *Zusatzmodule*

Alternativ kann das Zusatzmodul im *Daten*-Navigator durch einen Doppelklick mit der linken Maustaste auf **BETON Stützen** geöffnet werden.



Start von BETON Stützen über den *Daten*-Navigator

5.2 Masken

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



Eingabemasken im Navigator

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

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.



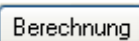
Button [Hilfe]

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



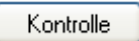
Vorherige Maske – Nächste Maske

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



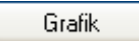
Button [Berechnung]

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



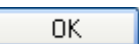
Button [Kontrolle]

Die Programmeingaben werden auf ihre Plausibilität hin untersucht.



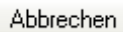
Button [Grafik]

Mit der Schaltfläche [Grafik] kann in die grafische Ergebnisanzeige gewechselt werden. Es wird automatisch der aktuelle **BETON Stützen**-Fall eingestellt. Weitere Informationen zu den Themen Ergebnisanzeige und -ausgabe finden Sie im Kapitel 6 dieses Handbuches.



Button [OK]

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

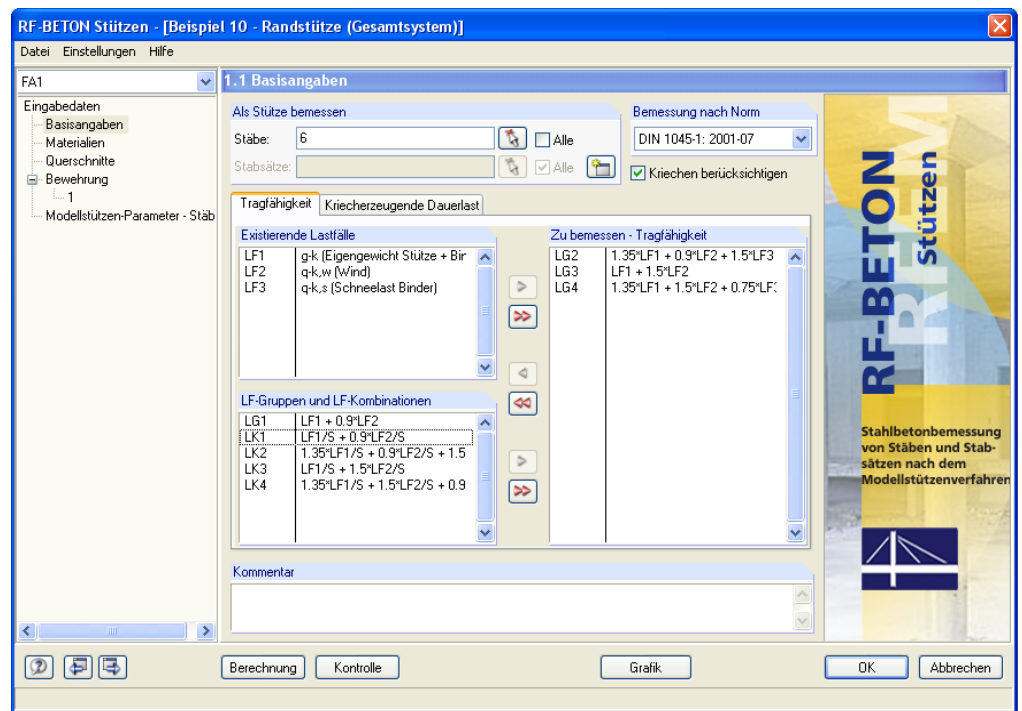


Button [Abbrechen]

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

5.3 Eingabemasken

5.3.1 Maske 1.1 *Basisangaben*

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

 Maske 1.1 *Basisangaben*, Register *Tragfähigkeit*

In dieser Maske befinden sich Listen der existierenden Lastfälle (LF), Lastfallgruppen (LG) und -kombinationen (LK). Die Lastfälle, Lastfallgruppen bzw kombinationen, nach denen die Bemessung erfolgen soll, werden durch Anklicken markiert und mit der Schaltfläche [►] in die rechte Liste gebracht.



Button [Selektiertes übernehmen]

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



Button [Alles übernehmen]

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



Buttons [Selektiertes zurücksetzen] und [Alles zurücksetzen]

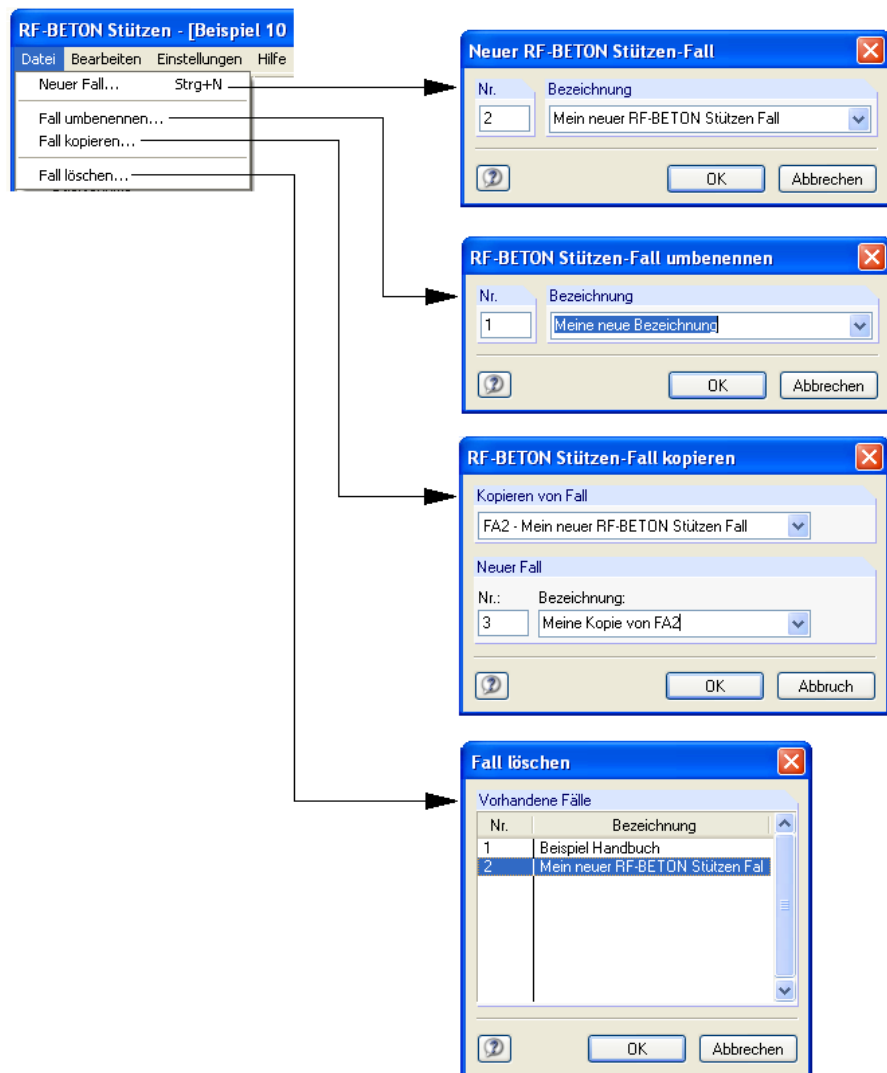
Im Textfeld **Kommentar** kann jeder Bemessungsfall mit Anmerkungen versehen werden.

Kommentar

Mein Kommentar

Eingabe eines Kommentars

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



Verwalten der Bemessungsfälle

Datei → Neuer Fall ...

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

Neuer RF-BETON Stützen-Fall

Nr.: 2 Bezeichnung: Mein neuer RF-BETON Stützen Fall

OK Abbrechen

Neuer 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 Bemessungsfalls 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.

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.

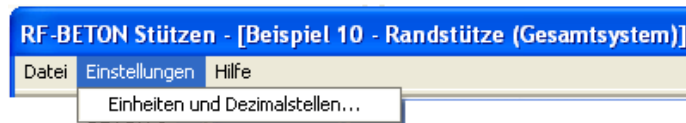
BETON Stützen-Fall kopieren

Datei → Fall löschen ...

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

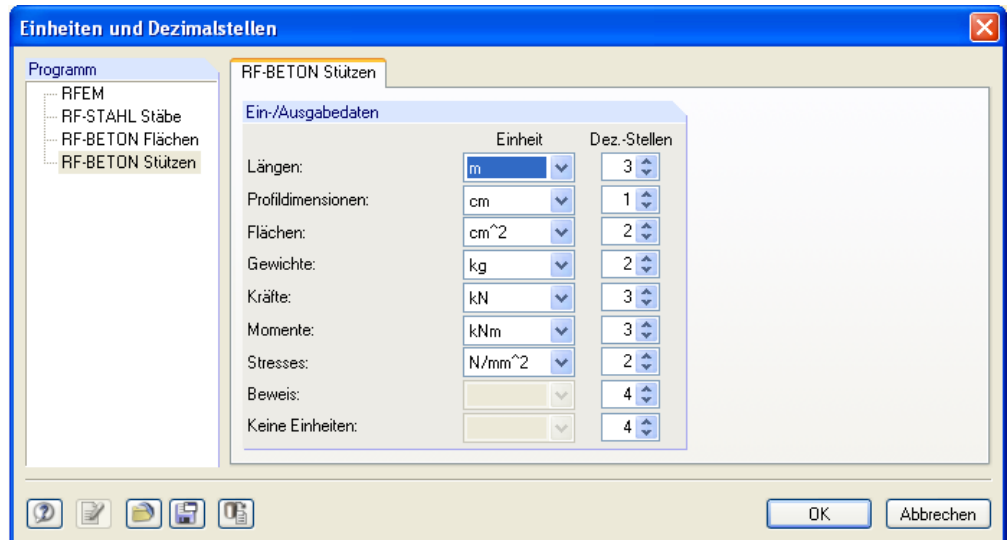
BETON Stützen-Fall löschen

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



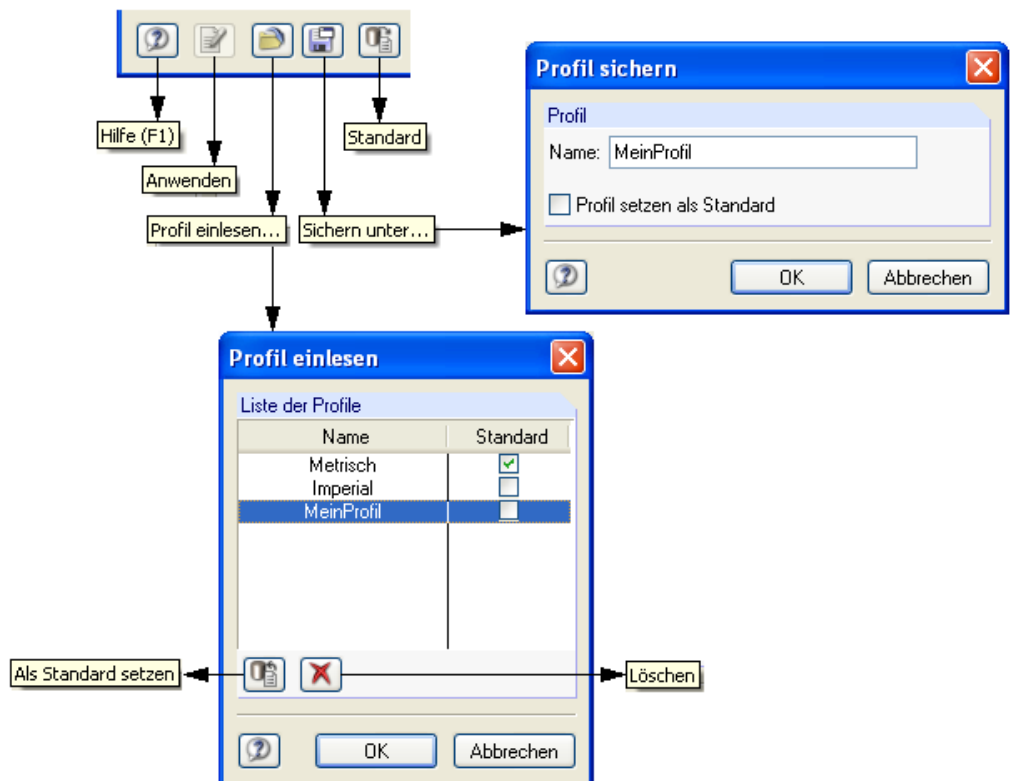
Aufruf des Dialogs

... werden die Einheiten für die Bemessung festgelegt.



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.



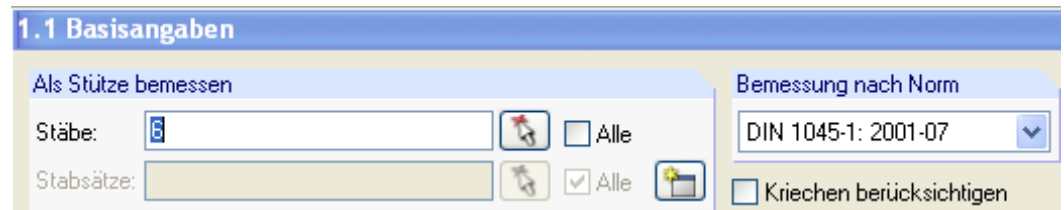
Verwaltung der Einheiten

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



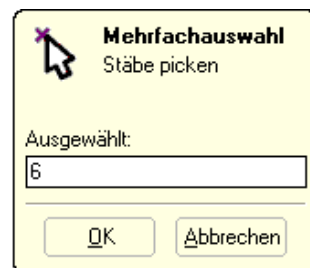
Menüpunkt [Hilfe]

Im Abschnitt **Als Stütze bemessen** der Maske 1.1 **Basisangaben** wählt der Benutzer zunächst jene Elemente der RSTAB-Struktur aus, die er mit dem Modellstützenverfahren bemessen möchte.



Auswahl zu bemessenden Stützen

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



Dialog zur Auswahl der Stäbe

In diesem Dialog erscheinen die Nummern der ausgewählten 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.

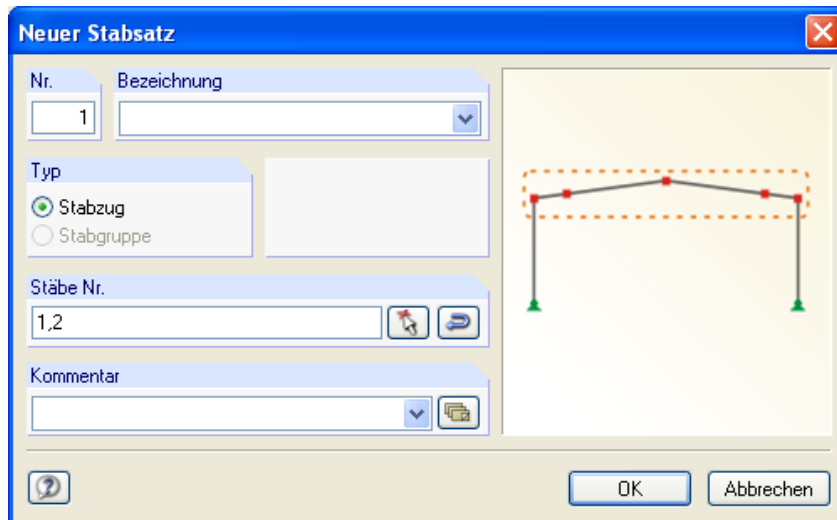
Im Modul BETON Stützen kann der Dialog zum Anlegen eines neuen Stabsatzes über folgende Schaltfläche gestartet werden:



Neuen Stabsatz anlegen...

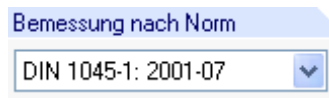
Schaltfläche zum Anlegen eines neuen Stabsatzes

Es erscheint der aus RSTAB bekannte Dialog:



Dialog zum Anlegen eines neuen Stabsatzes

In Maske 1.1 **Basisangaben** wird im Abschnitt **Bemessung nach Norm** zudem die Norm festgelegt, nach der bemessen werden soll:



Auswahl der Norm für die Bemessung

Zudem kann in diesem Abschnitt das Kontrollfeld **Kriechen und Schwinden berücksichtigen** aktiviert werden, sofern diese Einflüsse bemessungsrelevant sind.

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

Diese näherungsweise Vergrößerung der Zusatzausmitte e_2 infolge Kriechen ist gemäß DAfStb.-Heft 425, 1992, 9.2.5, S.84 so zu bestimmen, dass die vorhandene Ausmitte e_2 nach Theorie II. Ordnung mit dem Faktor $(1 + M_{Ed,c} / M_{Ed,1})$ multipliziert wird. Das Moment $M_{Ed,c}$ kommt eben aus jenen Lasten, die im zweiten Register **Kriecherzeugende Dauerlast** der Maske 1.1 ausgewählt werden. Sie werden als ständig wirkend angenommen und ihr Einfluss wird nacheinander überprüft.

Maske 1.1 *Basisangaben*, Register *Kriecherzeugende Dauerlast*

5.3.2 Maske 1.2 *Materialien*

Maske 1.2 *Materialien*

In dieser Maske werden die Materialdaten der zu bemessenden Stäbe dargestellt. Die Maske ist zweigeteilt. Im oberen Teil werden die Werkstoffe für den Beton und den Bewehrungsstahl festgelegt. Die Betonfestigkeitsklassen werden von RSTAB übernommen, können hier jedoch auch geändert werden.



Beton-Bibliothek...

Beton-Bibliothek

Mit der Schaltfläche [Beton-Bibliothek] unterhalb der Spalte **Beton-Festigkeitsklasse** kann die Auswahl der Betonsorte getätigt werden. Es erscheint folgender Dialog:

Material aus Bibliothek übernehmen

Filter

Material-Kategorie:
Beton

Norm-Gruppe:
DIN

Norm:
DIN 1045-1: 2001-07

☐ Nur Favoriten anzeigen

Material zum Übernehmen		
Beton C12/15		DIN 1045-1: 2001-07
Beton C16/20		DIN 1045-1: 2001-07
Beton C20/25		DIN 1045-1: 2001-07
Beton C25/30		DIN 1045-1: 2001-07
Beton C30/37		DIN 1045-1: 2001-07
Beton C35/45		DIN 1045-1: 2001-07
Beton C40/50		DIN 1045-1: 2001-07
Beton C45/55		DIN 1045-1: 2001-07
Beton C50/60		DIN 1045-1: 2001-07
Beton C55/67		DIN 1045-1: 2001-07
Beton C60/75		DIN 1045-1: 2001-07
Beton C70/85		DIN 1045-1: 2001-07
Beton C80/95		DIN 1045-1: 2001-07
Beton C90/105		DIN 1045-1: 2001-07
Beton C100/115		DIN 1045-1: 2001-07

Materialkennwerte Beton C30/37 | DIN 1045-1: 2001-07

☒ **RFEM-Relevante**

Elastizitätsmodul	E	2830.00	kN/cm ²
Schubmodul	G	1500.00	kN/cm ²
Poissonsche Zahl (Querdehnzahl)	μ	0.200	
Spezifisches Gewicht	γ	25.00	kN/m ³
Temperaturdehnzahl (Wärmedehnzahl)	α	1.0000E-05	1/°C
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	1.00	

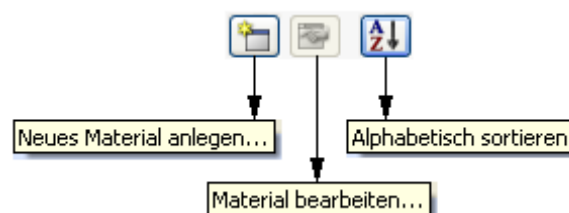
☐ **Bemessungs-Relevante**

Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit	f_{ck}	3.00	kN/cm ²
Charakteristische Würfeldruckfestigkeit	$f_{ck,cube}$	3.70	kN/cm ²
Grenzwert der charakteristischen Zugfestigkeit	f_{ctk}	0.20	kN/cm ²
Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit	f_{cm}	3.80	kN/cm ²
Mittelwert der zentrischen Zugfestigkeit	f_{ctm}	0.29	kN/cm ²
5%-Quantil der zentrischen Zugfestigkeit	$f_{ctk;0,05}$	0.20	kN/cm ²
95%-Quantil der zentrischen Zugfestigkeit	$f_{ctk;0,95}$	0.38	kN/cm ²

OK Abbrechen

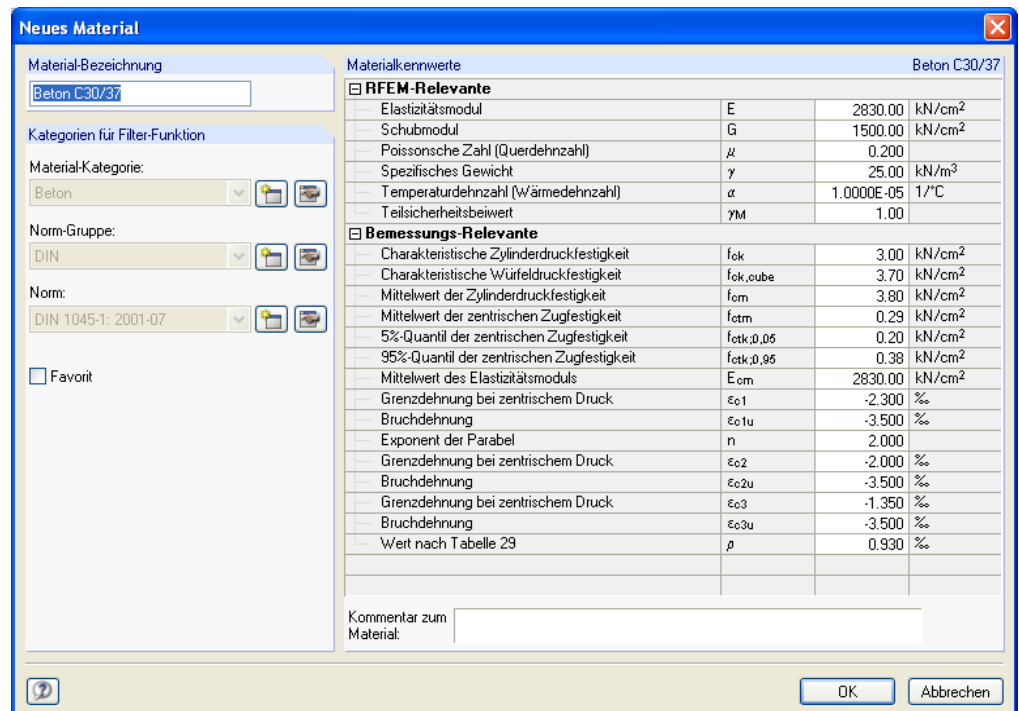
Beton-Bibliothek

Dieser Dialog besteht aus drei Bereichen. Links befinden sich so genannte **Filter**, die aber bei der Nutzung dieser Bibliothek über das Modul nicht verfügbar sind, da aufgrund bereits getätigter Eingaben die gewünschten Materialien angezeigt werden. Im Abschnitt **Material zum Übernehmen** werden alle Materialien gelistet, von denen eines durch Anklicken ausgewählt werden kann. Die Tabelle im unteren Abschnitt **Materialkennwerte** gibt Aufschluss über sämtliche Eigenschaften des Materials, die für die RSTAB-Berechnung und für die Bemessung relevant sind.



Materialbibliothek: Schaltflächen

Über die Schaltfläche [Neues Material anlegen ...] kann ein eigener Beton definiert werden. Es erscheint folgender Dialog.



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 Stahlsorte erfolgt analog zu der der Betonfestigkeitsklasse. Mit der Schaltfläche [Betonstahl-Bibliothek] wird diese Bibliothek aufgerufen.



Betonstahl-Bibliothek...

Betonstahl-Bibliothek

Es erscheint folgender Dialog:

Material aus Bibliothek übernehmen

Filter

Material-Kategorie:
Betonstahl

Norm-Gruppe:
DIN

Norm:
DIN 1045-1: 2001-07

☐ Nur Favoriten anzeigen

Material zum Übernehmen

BSt 500 S (A)	DIN 1045-1: 2001-07
BSt 500 M (A)	DIN 1045-1: 2001-07
BSt 500 S (B)	DIN 1045-1: 2001-07
BSt 500 M (B)	DIN 1045-1: 2001-07

Materialkennwerte BSt 500 S (B) | DIN 1045-1: 2001-07

☒ **RFEM-Relevante**

Elastizitätsmodul	E	20000.00	kN/cm ²
Schubmodul	G	7700.00	kN/cm ²
Poissonsche Zahl (Querdehnzahl)	μ	0.300	
Spezifisches Gewicht	γ	78.50	kN/m ³
Temperaturdehnzahl (Wärmedehnzahl)	α	1.0000E-05	1/°C
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	1.00	

☒ **Bemessungs-Relevante**

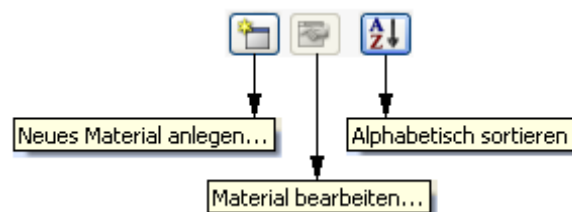
Elastizitätsmodul	E_s	20000.00	kN/cm ²
Charakteristische Zugfestigkeit	f_{tk}	54.00	kN/cm ²
Grenzdehnung	ϵ_{uk}	50.000	%
Charakteristische Streckgrenze	f_{yk}	50.00	kN/cm ²

Hohe Duktilität.

OK Abbrechen

Betonstahl-Bibliothek

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



Betonstahlbibliothek: Schaltflächen

Es erscheint folgender Dialog:

Neues Material

Material-Bezeichnung:

Kategorien für Filter-Funktion

Material-Kategorie:

Norm-Gruppe:

Norm:

☐ Favorit

Materialkennwerte BSt 500 S (B)

RFEM-Relevante			
Elastizitätsmodul	E	20000.00	kN/cm ²
Schubmodul	G	7700.00	kN/cm ²
Poissonsche Zahl (Querdehnzahl)	μ	0.300	
Spezifisches Gewicht	γ	78.50	kN/m ³
Temperaturdehnzahl (Wärmedehnzahl)	α	1.0000E-05	1/°C
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	1.00	

Bemessungs-Relevante			
Elastizitätsmodul	E_s	20000.00	kN/cm ²
Charakteristische Zugfestigkeit	f_{tk}	54.00	kN/cm ²
Grenzdehnung	ϵ_{uk}	50.000	‰
Charakteristische Streckgrenze	f_{yk}	50.00	kN/cm ²

Kommentar zum Material:

Material-Kennwerte

Die Vorgehensweise ist identisch wie beim Beton.

Im unteren Teil der Maske 1.2 befindet sich ein Detailfenster mit den Eigenschaften des Betons und des Betonstahls, die in der oberen Tabelle ausgewählt wurden.

RF-BETON Stützen - [Beispiel 10 - Randstütze (Gesamtsystem)]

Datei Bearbeiten Einstellungen Hilfe

FA1 - Beispiel Handbuch

1.2 Materialien

Material Nr.	Material-Bezeichnung	Beton-Festigkeitsklasse	Betonstahl	Anmerkung	Kommentar
2	Beton C30/37	BSt 500 S (B)			

Material-Kennwerte

Beton-Festigkeitsklasse: Beton C30/37

Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit	f_{ck}	30.00	N/mm ²
Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit	f_{cm}	38.00	N/mm ²
Mittelwert der zentrischen Zugfestigkeit	f_{ctm}	2.90	N/mm ²
5%-Quantil der zentrischen Zugfestigkeit	$f_{ctk,0.05}$	2.00	N/mm ²
95%-Quantil der zentrischen Zugfestigkeit	$f_{ctk,0.95}$	3.80	N/mm ²
Mittelwert des E-Moduls	E_{cm}	28300.00	N/mm ²

Charakteristische Dehnungen für nichtlineare Berechnungen

Dehnung beim Erreichen der maximalen Beton	ϵ_{c1}	-2.30	‰
Rechnerische Bruchdehnung des Betons	ϵ_{c1u}	-3.50	‰

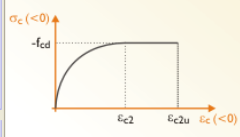
Charakteristische Dehnungen für Parabel-Rechteck-Diagramm

Dehnung beim Erreichen der maximalen Beton	ϵ_{c2}	-2.00	‰
Rechnerische Bruchdehnung des Betons	ϵ_{c2u}	-3.50	‰
Exponent der Parabel	N	2.000	

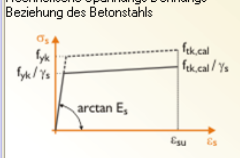
Betonstahl: BSt 500 S (B)

Elastizitätsmodul	E_s	200000.00	N/mm ²
Charakteristischer Wert der Streckgrenze	f_{yk}	500.00	N/mm ²

Rechnerische Spannungs-Dehnungs-Beziehung des Betons



Rechnerische Spannungs-Dehnungs-Beziehung des Betonstahls



Material Nr. 2 angewendet in Querschnitte:

Stäbe:

Stabsätze:

Σ-Länge: [m]

Σ-Gewicht: [kg]

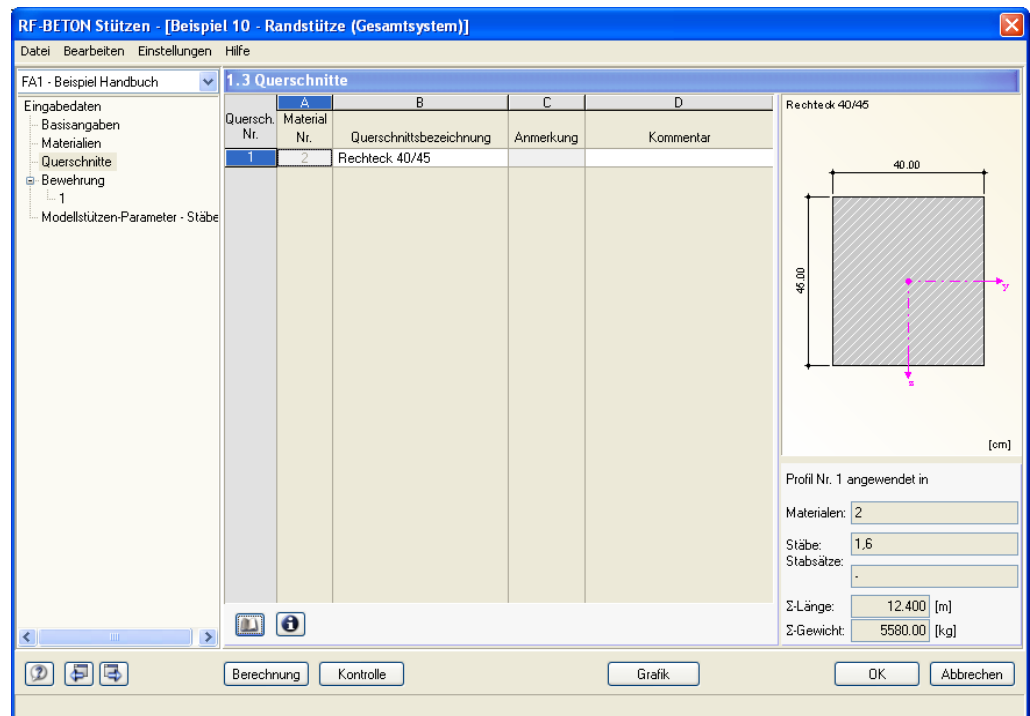
Maske 1.2 **Materialien**

Rechts wird dem Benutzer angezeigt, für welche Stäbe bzw. welche Querschnitte dieses Material verwendet wird.



In dieser Maske können zwar die Materialwerte geändert werden, aber die Bemessung erfolgt mit den Schnittgrößen, die mit den in RSTAB definierten Steifigkeiten ermittelt wurden. Wenn im Modul BETON Stützen die Steifigkeiten geändert werden und es sich um ein statisch unbestimmtes System handelt, so müssen zur genauen Bemessung die geänderten Materialdaten auch in RSTAB geändert und nochmals eine Bemessung durchgeführt werden.

5.3.3 Maske 3.1 Querschnitte



Maske 1.3 *Querschnitte*

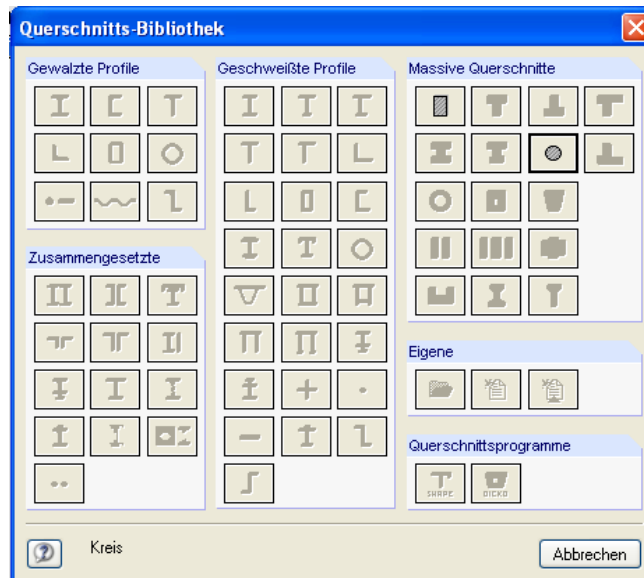
In dieser Maske werden alle Querschnitte aufgelistet, aus denen die Stäbe und Stabsätze bestehen, die zuvor in der Maske 1.1 **Basisangaben** zur Bemessung ausgewählt wurden.

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



Schaltfläche [Querschnittsbibliothek]

Nach einem Klick auf diese Schaltfläche erscheint die Querschnittsbibliothek von RSTAB.



Querschnittbibliothek

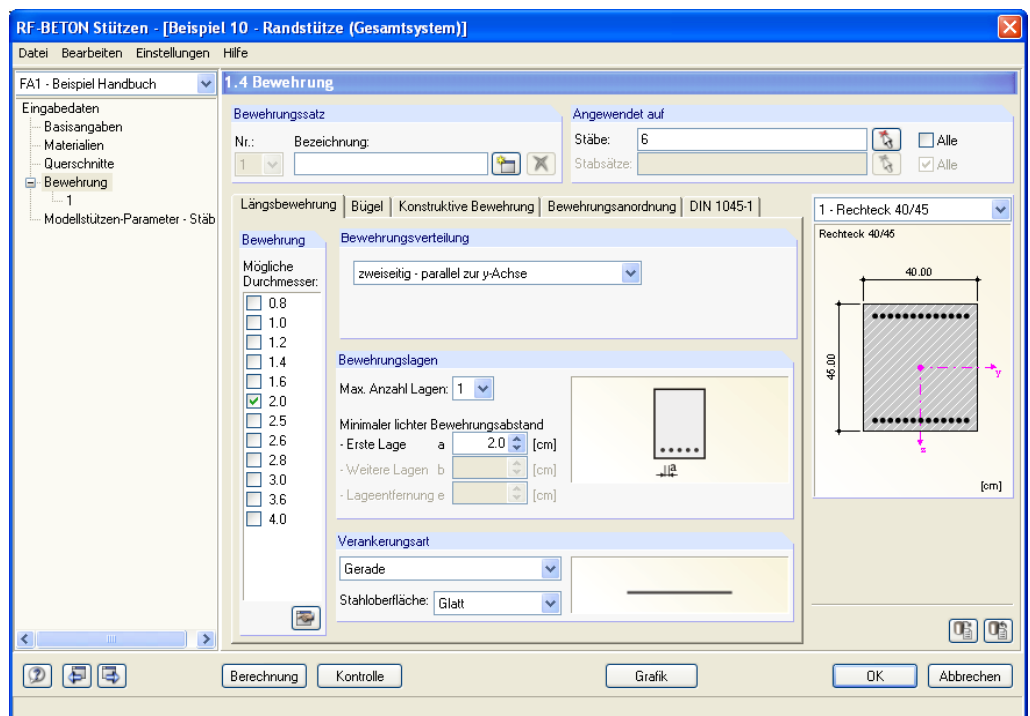
Allerdings sind nur jene Querschnitte verfügbar, die auch vom Modul **BETON Stützen** berechenbar sind. Dies sind zum Zeitpunkt der Handbucheerstellung Kreis- und Rechteckquerschnitte.

Auf der rechten Seite der Maske 1.3 **Querschnitte** wird in einer Grafik der aktuell gewählte Querschnitt dargestellt. Unterhalb dieser Grafik ist die Zuordnung dieses Querschnittes zu bestimmten Materialien und Stäben ersichtlich.



Eine Querschnittsänderung in dieser Maske führt nicht automatisch zu einer Änderung der Querschnitte innerhalb von RSTAB.



5.3.4 Maske 1.4 Bewehrung

Maske 1.4 **Bewehrung**, Register **Längsbewehrung**

In dieser Maske werden in den fünf Registern **Längsbewehrung**, **Bügel**, **Konstruktive Bewehrung**, **Bewehrungsanordnung** und **Norm** verschiedene Angaben zur Bewehrung erfasst. Die Angaben sind für verschiedene Stäbe bzw. 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 solcher Bewehrungssatz wird im Abschnitt **Bewehrungssatz** durch eine Nummer und eine vom Benutzer gewählte Bezeichnung definiert.


Bewehrungssatz


Nr.: Bezeichnung:  

Abschnitt **Bewehrungssatz**

Für welche Stäbe oder Stabsätze dieser Bewehrungssatz gültig ist, wird rechts daneben im Abschnitt **Angewendet auf** festgelegt.

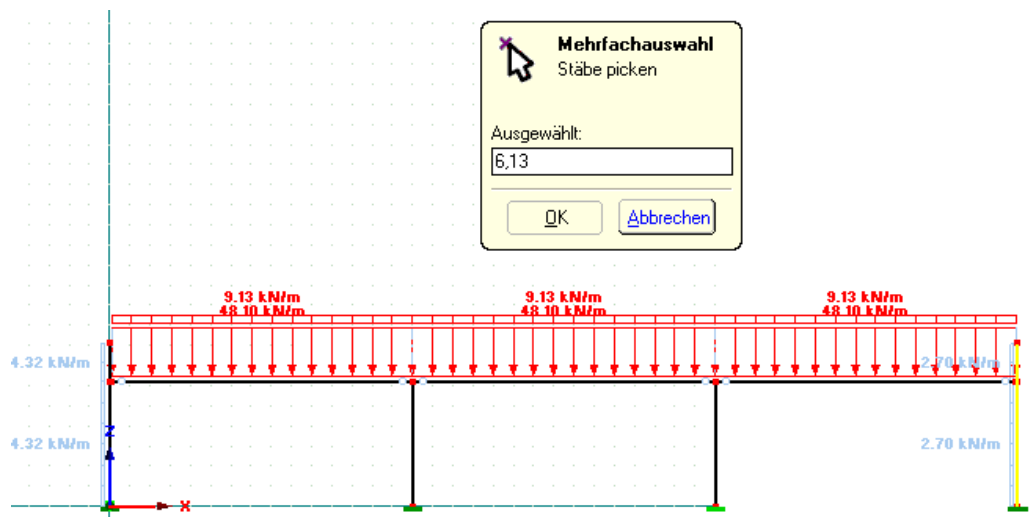
Angewendet auf

Stäbe:  ☐ Alle

Stabsätze:  ☒ Alle

Abschnitt **Angewendet auf**

Die Nummern der Stäbe oder Stabsätze können in die Eingabefelder eingetragen oder auch über die Schaltfläche [Pick] grafisch ausgewählt werden. Es erscheint das Arbeitsfenster von RSTAB, in dem man dann die gewünschten Stäbe oder Stabsätze per Mausklick festlegt.



Auswählen der Stäbe im RSTAB-Arbeitsfenster

Ein Bewehrungssatz kann auch auf alle Stäbe bzw. Stabsätze angewendet werden. Dies wird dadurch erreicht, dass im Abschnitt **Angewendet auf** ein Haken vor [Alle] gesetzt ist. 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.

Entfernt der Benutzer den Haken vor dem Kontrollfeld **Alle**, ...

Bewehrungssatz angewendet auf bestimmte Flächen

... so wird die Schaltfläche [Neuer Bewehrungssatz] zugänglich.

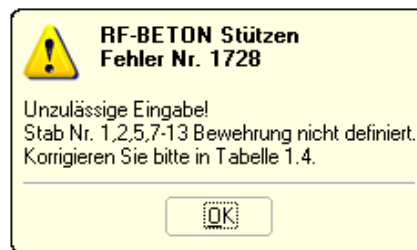
Ein bereits definierter Bewehrungssatz kann über folgende Schaltfläche wieder gelöscht werden:



Bewehrungssatz löschen

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 einem neuen Bewehrungssatz zugeordnet werden. Anderenfalls erscheint im Programm folgende Fehlermeldung:



Programminweis

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

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 kann der aktuelle Bewehrungssatz dann über die fünf Register **Längsbewehrung**, **Bügel**, **Konstruktive Bewehrung**, **Bewehrungsanordnung** und **Norm** definiert werden.

Längsbewehrung



Längsbewehrung | Bügel | Konstruktive Bewehrung | Bewehrungsanordnung | DIN 1045-1

Bewehrung
 Mögliche Durchmesser:
☐ 0.8
☐ 1.0
☐ 1.2
☐ 1.4
☐ 1.6
☒ 2.0
☐ 2.5
☐ 2.6
☐ 2.8
☐ 3.0
☐ 3.6
☐ 4.0

Bewehrungsverteilung
 zweiseitig - parallel zur y-Achse

Bewehrungslagen
 Max. Anzahl Lagen: 1
 Minimaler lichter Bewehrungsabstand
 - Erste Lage a 2.0 [cm]
 - Weitere Lagen b [cm]
 - Lageentfernung e [cm]

Verankerungsart
 Gerade
 Stahloberfläche: Glatt

Register *Längsbewehrung*

Im Abschnitt **Bewehrung** sind verschiedene Bewehrungsdurchmesser untereinander angeordnet, die für die Längsbewehrung infrage kommen. Durch Aktivieren der Kontrollfelder 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:

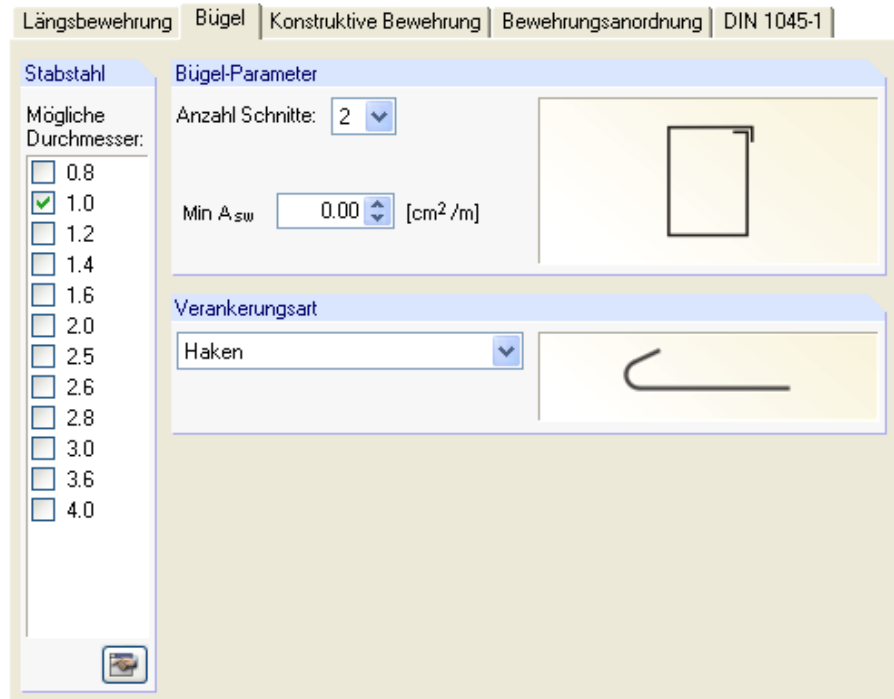
- zweiseitig - parallel zur y-Achse
- zweiseitig - parallel zur z-Achse
- nur in den Ecken
- gleichmäßig umlaufend

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

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

Bügel

In diesem Register werden die Angaben zur Querkraftbewehrung vorgenommen.



Register *Bügel*

Die für die Bemessung infrage kommenden Stabdurchmesser der Bügelbewehrung werden im Abschnitt **Stabstahl** wie im Register **Längsbewehrung** festgelegt.

Im Abschnitt **Bügel-Parameter** kann die **Anzahl der Schnitte** sowie eine Mindestquerkraftbewehrung **Min A_{sw}** 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**, die für die Ermittlung der Verankerungslängen bedeutsam werden. In der kleinen Grafik rechts daneben wird die jeweilige Verankerungsart veranschaulicht. Auf die geometrische Form kann der Benutzer in Maske 4.2 **Vorhandene Bügelbewehrung** noch Einfluss nehmen.

Konstruktive Bewehrung

Längsbewehrung | Bügel | Konstruktive Bewehrung | Bewehrungsanordnung | DIN 1045-1 | < >

Konstruktive Bewehrung

☒ Keine konstruktive Bewehrung ermitteln
☐ Definieren

Max. Bewehrungsabstand [cm]

☒ Stabdurchmesser gleich statisch erforderlicher Bewehrung

d-s: [cm]

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. Ist das Auswahlfeld **Keine** aktiv, so wird der Wert der Norm verwendet. Durch Anklicken der Option **Benutzerdefiniert** kann der maximal zulässig Abstand manuell vorgegeben werden.

Im Anschluss kann noch festgelegt werden, ob für die konstruktive Bewehrung der gleiche Stabdurchmesser verwendet werden soll, den das Programm für die statisch erforderliche Bewehrung verwendet. Wird der Haken im Kontrollfeld entfernt, kann ein bestimmter Stabdurchmesser für die konstruktive Bewehrung vorgegeben werden.

Bewehrungsanordnung

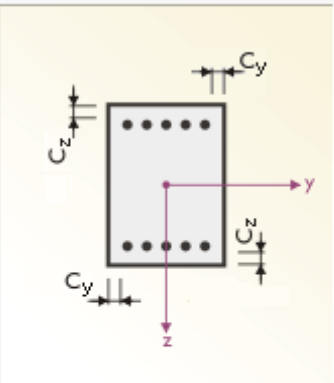
Längsbewehrung | Bügel | Konstruktive Bewehrung | **Bewehrungsanordnung** | DIN 1045-1 | < >

Betondeckung

☒ Achsmaß-Deckung
 C_y : 3.0 [cm]
 C_z : 3.0 [cm]

☐ Randmaß-Deckung
 C_y : 2.0 [cm]
 C_z : 2.0 [cm]

Stabdurchmesser zur Vorbemessung: 2.0 [cm]



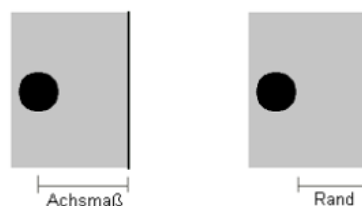
Einstellungen

Zu berücksichtigende Schnittgrößen bei der Bemessung:

<input checked="" type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> M _T
<input checked="" type="checkbox"/> V _y	<input checked="" type="checkbox"/> M _y
<input checked="" type="checkbox"/> V _z	<input checked="" type="checkbox"/> M _z

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 eine verschiedene Betondeckungen möglich, die in den Eingabefeldern C_y und C_z festgelegt werden. Einem Kreisquerschnitt hingegen wird nur eine Betondeckung zugewiesen. Abhängig von dem aktiven Auswahlfeld im Abschnitt **Betondeckung** beziehen sich die Deckungen auf die **Achse** oder den **Rand** der Bewehrung.



Art der Betondeckung

Ist die Option **Randmaß-Deckung** aktiv, ist in einem separaten Eingabefeld festzulegen, welcher **Stabdurchmesser zur Vorbemessung** angenommen werden soll. Damit wird die Lage der Bewehrungsschwerpunkte bestimmt.

Betondeckung

☐ Achsmaß-Deckung

C_y : 3.0 [cm]

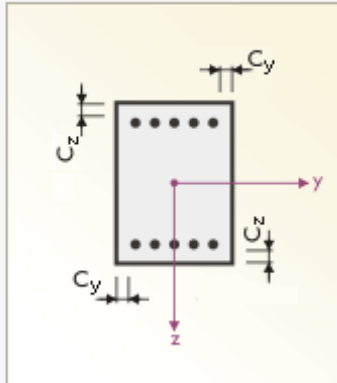
C_z : 3.0 [cm]

☒ Randmaß-Deckung

C_y : 2.0 [cm]

C_z : 2.0 [cm]

Stabdurchmesser zur Vorbemessung: 2.0 [cm]



Angabe des Stabdurchmessers zur Vorbemessung

Der Abschnitt **Einstellungen** des Registers steuert, welche Schnittgrößen bei der Bemessung berücksichtigt werden. Das Deaktivieren einer Komponente sollte in Ausnahmefällen und mit Vorsicht erfolgen.

Norm

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

DIN 1045-1

Bügel | Konstruktive Bewehrung | Bewehrungsanordnung | **DIN 1045-1** | Brandschutz

Bewehrungsgrad

☐ Max. Längsbewehrungsgrad gemäß Norm

Definiere Max A_s : 8.00 [%]

☒ Min. Längsbewehrungsgrad gemäß Norm

Definiere Min A_s : 0.00 [%]

Querkraftbewehrung

Bemessungsverfahren nach 10.3.4:

Neigung der Betonstrebe

- Minimum: 18.435 [°]

- Maximum: 59.886 [°]

Beiwerte

Teilsicherheitsbeiwert nach Tabelle 2:

- für Beton: γ_c : 1.500

- für Bewehrung: γ_s : 1.150

Teilsicherheitsbeiwert nach 5.3.3 (8):

- für nicht bewehrten Stahl γ_c : 1.800

Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung von Langzeitwirkungen nach 9.1.6 (2) α : 0.850

Register **DIN 1045-1**

Im Abschnitt **Bewehrungsgrad** wird festgelegt, ob die maximalen und minimalen Bewehrungsgrade der jeweiligen Norm verwendet werden sollen. Alternativ kann ein benutzerdefinierter Höchst- oder Mindestbewehrungsgrad angegeben werden.

DIN 1045-1 schreibt folgende Mindestbewehrung vor:

$$A_{s,min} = 0.15 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

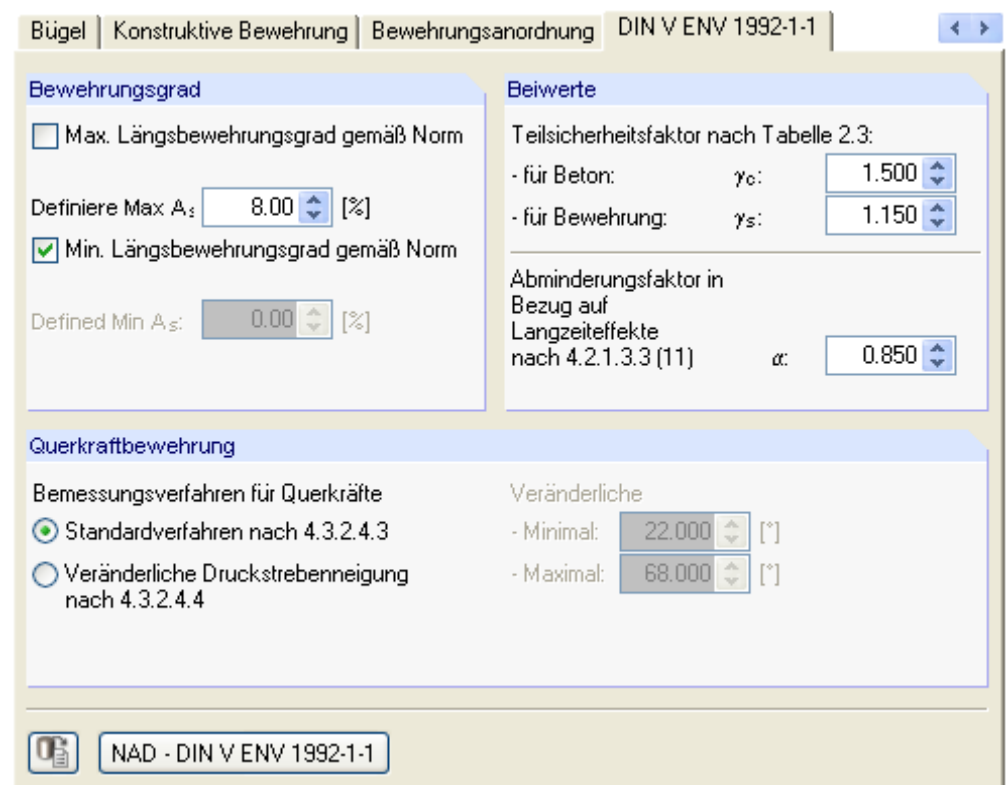
Die Maximalbewehrung darf auch im Bereich von Stößen nicht größer sein als:

$$A_{s,vorh} \leq 0.09 \cdot A_c$$

Im Abschnitt **Querkraftbewehrung** kann eine Unter- und Obergrenze für den Druckstrebenwinkel definiert werden. Das Modul ermittelt dann die Schnittmenge aus diesem benutzerdefinierten Bereich und dem Bereich, der sich aus der Norm ergibt. Sollte die benutzerdefinierte minimale Druckstrebenneigung jedoch größer sein als die maximale Druckstrebenneigung nach Norm, wird eine Unbemessbarkeit ausgegeben.

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

DIN V ENV 1992-1-1



Register **DIN V ENV 1992-1-1**

Im Abschnitt **Bewehrungsgrad** wird festgelegt, ob die maximalen und minimalen Bewehrungsgrade der jeweiligen Norm verwendet werden sollen. Alternativ kann ein benutzerdefinierter Höchst- oder Mindestbewehrungsgrad angegeben werden.

DIN V ENV 1992-1:1992-06 schreibt folgende Mindestbewehrung vor:

$$A_{s,min} = \max \left\{ 0.15 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}; 0.003 \cdot A_c \right\}$$

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

$$A_{s,vorh} \leq 0.08 \cdot A_c$$

Im Abschnitt **Querkraftbewehrung** kann sich der Benutzer zwischen den beiden Bemessungsverfahren der DIN V ENV 1992-1:1992-06 für den Querkraftnachweis entscheiden.

Beim Verfahren der **Veränderlichen Druckstrebenneigung** kann eine Unter- und Obergrenze für den Druckstrebenwinkel definiert werden. Das Modul ermittelt dann die Schnittmenge aus diesem benutzerdefinierten Bereich und dem Bereich, der sich aus der Norm ergibt. Sollte die benutzerdefinierte minimale Druckstrebenneigung jedoch größer sein als die maximale Druckstrebenneigung nach Norm, wird eine Unbemessbarkeit ausgegeben.

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

Brandschutz



Register **Brandschutz**

In diesem Register befindet sich als erstes Steuerelement das Kontrollfeld **Brandschutznachweis führen**. Nur wenn dort ein Haken durch Anklicken mit der linken Maustaste gesetzt ist, sind alle weiteren Steuerelemente dieses Registers verfügbar. Wenn nicht, wird kein Brandschutznachweis geführt.

Unterhalb folgen zwei Auswahlfelder, über die entschieden werden kann, mit Hilfe welcher Tabelle die Mindestquerschnittsbreite und die Mindestachsdeckung zu bestimmen sind. Das erste Auswahlfeld steht für die Verwendung der Tabelle 31 aus der DIN 4102-4. Das zweite Auswahlfeld hingegen ist zu aktivieren, wenn mit den Werten der Tabelle 31 aus der DIN 4102-22 (Musterliste der Technischen Baubestimmungen, Fassung September 2006, Anlage 3.1/10) verglichen werden soll.

Entscheidet sich der Benutzer für die erste Option, so sind verschiedenen Schaltflächen unterhalb dieser Option verfügbar. Dies ist zum einen die Liste, aus der die angestrebte Feuerwiderstandsklasse ausgewählt werden kann. Durch Aktivieren des Kontrollfeldes **Putzdicke anrechnen** wird dem Programm mitgeteilt, dass ein vorhandener Putz angesetzt werden darf, um die Mindestdicke des Querschnitts zu reduzieren. Dabei muss es sich um einen Putz der Tabelle 32 der DIN 4102-4 handeln.

**Tabelle 32: Putzdicke d_1 bei bewehrten Putzen
als Ersatz für 10 mm Normalbeton von Stützen**

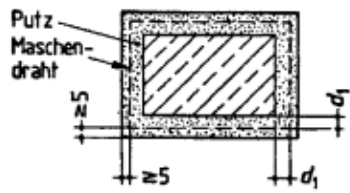
Zeile	Putzart	Erforderliche Putzdicke d_1 als Ersatz für 10 mm Normalbeton
		mm
1	Putzmörtel der Gruppe P II und P IVa bis P IVc nach DIN 18 550 Teil 2	8
2	Putz nach Abschnitt 3.1.6.5	5

Tabelle 32 der DIN 4102-4

Um welchen Putz es sich handelt, entscheidet der Benutzer durch Aktivieren des Auswahl-feldes **gem. Zeile 1** oder des Auswahl-feldes **gem. Zeile 2**. Die Bezeichnung der Auswahl-felder entspricht dieser Zeilennummerierung in der oben abgebildeten Tabelle.

Abschließend muss noch die vorhandene Putzstärke in die rechtseitige Liste eingetragen werden. Das Programm ermittelt aus der gewählten Putzart und der Putzstärke dann, um wie viele Millimeter Normalbeton die aus der Tabelle 31 ermittelte Mindestdicke durch den vorhandenen Putz abgemindert werden darf.

Angemerkt sei an dieser Stelle, dass – sofern der Benutzer sich dafür entschieden hat, einen Putz anzusetzen – die Mindestdicke und das Mindestachsmaß der Betondeckung stets für eine bekleidete Stütze aus der Tabelle 31 ermittelt werden.

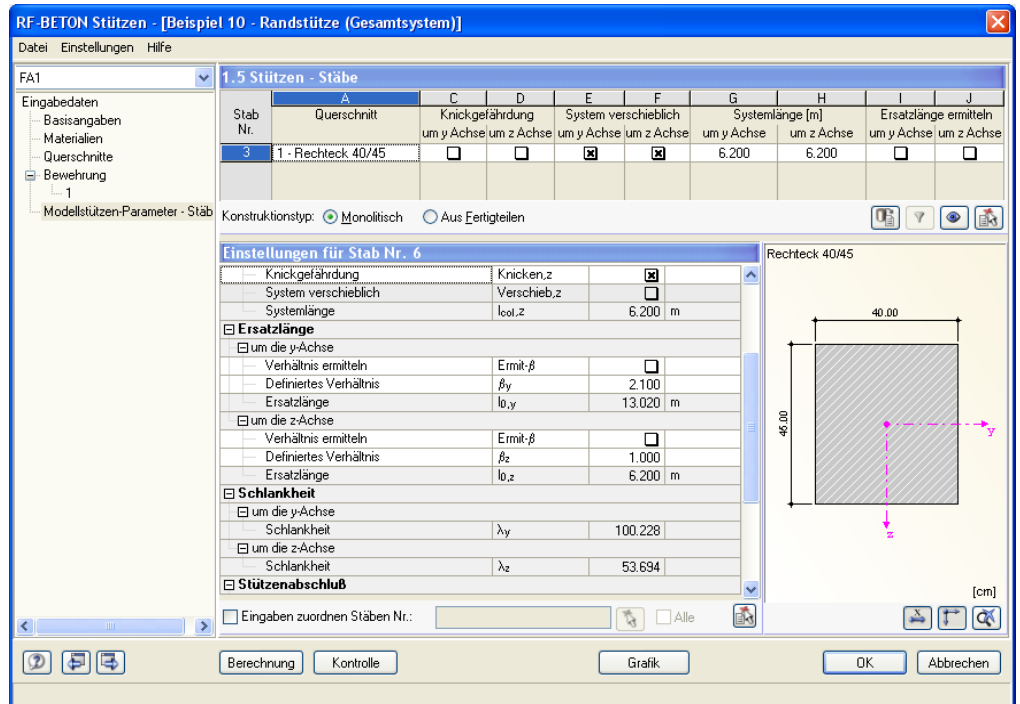
Bei der zweiten Option, den Brandschutznachweis zu führen, existiert die Möglichkeit nicht, einen vorhandenen Putz zu berücksichtigen. Ist das Auswahl-feld **mit Tabelle 31 aus der DIN 4102-22, Musterliste der technischen Baubestimmungen** aktiviert, braucht der Benutzer hier lediglich die gewünschte Feuerwiderstandsklasse aus der entsprechenden Liste auswählen.

Im Register **Brandschutz** können links unten Vorgaben gemacht werden, wie die Belastung im Brandfall zu ermitteln ist. Wie im Theorieteil bereits erwähnt, ist ein Brandschutz nur zusammen mit der Bemessung nach dem Modellstützenverfahren möglich, da die Einwirkungen für den Brandschutznachweis aus den Einwirkungen für das Modellstützenverfahren durch Multiplikation mit Faktor_A ermittelt werden. Durch die beiden Auswahl-felder im unteren linken Bereich dieses Registers kann der Benutzer nun entscheiden, ob er durch Wahl des ersten Auswahl-feldes diesen Faktor_A auf den empfohlenen Wert von 0.7 setzen oder durch Wahl des zweiten Auswahl-feldes im nun verfügbaren Textfeld selbst definieren möchte.

Unterhalb dieser beiden Auswahl-felder befindet sich das Kontrollfeld **Längsbewehrung für den Brandschutznachweis auslegen**. Ist es angehakt, so wird wie im Theorieteil beschrieben und im weiteren durch ein Beispiel belegt die Belastung und damit die Bewehrung weiter gesteigert, bis der Brandschutznachweis entweder erfüllt oder keine Bewehrung mehr gefunden werden kann.

Die letzten Einstellungen in diesem Register können im Abschnitt **Randbedingungen** rechts unten gemacht werden. Über verschiedene Auswahl-felder kann dort entschieden werden, ob die Stütze von allen Seiten einer **Brandbeanspruchung** ausgesetzt ist.

5.3.5 Maske 1.5 Modellstützenparameter



Maske 1.5 Modellstützenparameter

Diese Maske ist für Eingaben vorgesehen, die speziell das Modellstützenverfahren betreffen. Es existieren zwei Varianten der Maske – je nachdem, ob Stäbe oder Stabsätze zur Bemessung vorgesehen sind.

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

Stab Nr.	A	C	D	E	F	G	H	I	J
	Querschnitt	Knickgefährdung um y Achse	Knickgefährdung um z Achse	Systemverschieblich um y Achse	Systemverschieblich um z Achse	Systemlänge [m] um y Achse	Systemlänge [m] um z Achse	Ersatzlänge ermitteln um y Achse	Ersatzlänge ermitteln um z Achse
3	1 - Rechteck 40/45	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	6.200	6.200	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Obere Tabelle der Maske 1.5 Modellstützenparameter

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

Sollen die Schnittgrößen beispielsweise nicht automatisch aus RSTAB übernommen werden, so wird das Kontrollfeld in Spalte B aktiviert. Die Detailtabelle ändert sich dann so, dass die Normalkraft N sowie die Momente M_y und M_z eingegeben werden können. Zudem kann der **Momentenverlauf** aus einer Auswahlliste gewählt werden. Im Falle eines linearen Verlaufes sind die Momente am Anfang und Ende der Stütze einzugeben.

Analog sind die weiteren Einstellungsmöglichkeiten der oberen Tabelle mit der unteren Detailtabelle gekoppelt. Im Folgenden werden deshalb nur die Eingabemöglichkeiten der Detailtabelle beschrieben, die die Systemparameter betreffen (Spalten C bis J der oberen Tabelle).

Einstellungen für Stab Nr. 6

Querschnitt		1 - Rechteck 40/45	
<input type="checkbox"/> Allgemeine Eigenschaften			
<input type="checkbox"/> um die y-Achse			
<input type="checkbox"/> Knickgefährdung	Knicken,y	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> System verschieblich	Verschieb,y	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Systemlänge	l _{01,y}	6.200	m
<input type="checkbox"/> um die z-Achse			
<input type="checkbox"/> Knickgefährdung	Knicken,z	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> System verschieblich	Verschieb,z	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Systemlänge	l _{01,z}	6.200	m
<input type="checkbox"/> Ersatzlänge			

Systemparameter

Es wird getrennt um die **y-Achse** und **z-Achse** festgelegt, 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, die sich unter dem Eintrag **System** in der Detailtabelle befinden, abgeschlossen. In diesem Zusammenhang soll kurz das Prinzip der Informationsverdichtung beschrieben 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 [+]. Indem Sie das Minus mit der linken Maustaste anklicken, können Sie Zeilen aller tieferen Ebenen ausblenden. Ein Plus hingegen verrät, 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 auf die beschriebene Art in der obersten Ebene den Eintrag **Allgemeine Eigenschaften**, so richtet sich das Augenmerk auf den anschließenden Eintrag **Ersatzlänge**.

Einstellungen für Stab Nr. 6

Querschnitt		1 - Rechteck 40/45	
<input checked="" type="checkbox"/> Allgemeine Eigenschaften			
<input type="checkbox"/> Ersatzlänge			
<input type="checkbox"/> um die y-Achse			
<input type="checkbox"/> Verhältnis ermitteln	Ermitt- β	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Definiertes Verhältnis	β_y	2.100	
<input type="checkbox"/> Ersatzlänge	l _{0,y}	13.020	m
<input type="checkbox"/> um die z-Achse			
<input type="checkbox"/> Verhältnis ermitteln	Ermitt- β	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Definiertes Verhältnis	β_z	1.000	
<input type="checkbox"/> Ersatzlänge	l _{0,z}	6.200	m

Ersatzlänge

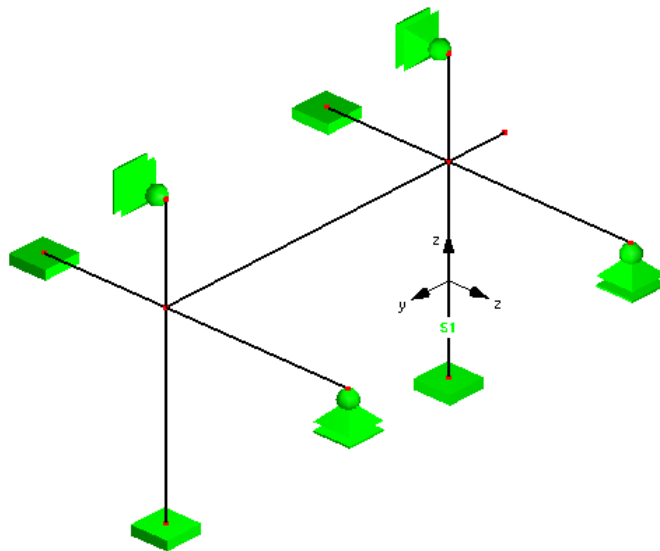
Es bestehen im Programm zwei Möglichkeiten, die Ersatzlänge zu bestimmen. Die erste Möglichkeit ist in der obigen Abbildung dargestellt. Der Benutzer kann getrennt für die beiden Stabachsenrichtungen y und z das Verhältnis β definieren. Das Programm errechnet dann die Ersatzlänge.

Die zweite Möglichkeit besteht darin, das Verhältnis β durch das Programm bestimmen zu lassen. Hierzu ist das Kontrollfeld in der Zeile **Verhältnis ermitteln** zu aktivieren. Die Detailtabelle erfährt dann folgende Veränderung:

Ersatzlänge			
um die y-Achse			
<input type="checkbox"/> Verhältnis ermitteln	Ermitt- β	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> k_A - Steifigkeit in Einspannung			
<input checked="" type="checkbox"/> k_B - Steifigkeit in Einspannung			
Ermitteltes Verhältnis	β_y	2.000	
Ersatzlänge	$l_{0,y}$	12.400	m
um die z-Achse			
<input type="checkbox"/> Verhältnis ermitteln	Ermitt- β	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Definiertes Verhältnis	β_z	1.000	
Ersatzlänge	$l_{0,z}$	6.200	m

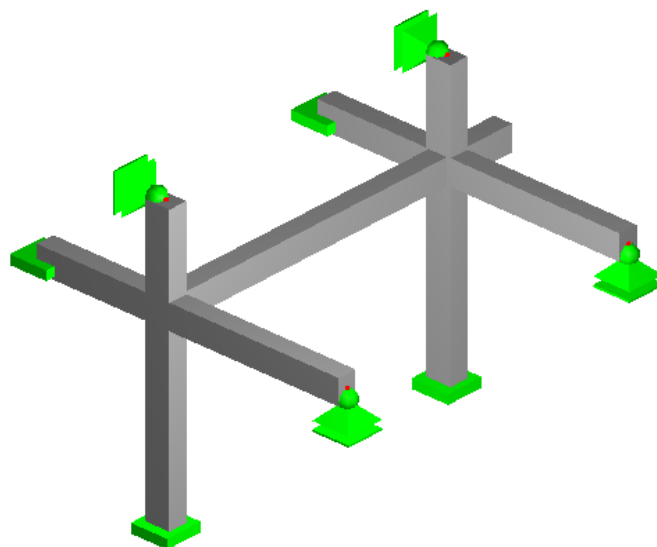
Verhältnis β ermitteln

Anhand des folgenden Beispiels wird die Ermittlung des Verhältnisses β erläutert.



Betrachtete Struktur

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



Gerenderte Darstellung der Stütze

In Maske 1.5 **Modellstützen-Parameter** werden folgende Angaben zum **System** gemacht:

□ Allgemeine Eigenschaften			
□ um die y-Achse			
<input type="checkbox"/>	Knickgefährdung	Knicken,y	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	System verschieblich	Verschieb,y	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Systemlänge	l _{001,y}	3.000 m
□ um die z-Achse			
<input type="checkbox"/>	Knickgefährdung	Knicken,z	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	System verschieblich	Verschieb,z	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Systemlänge	l _{001,z}	3.000 m

Angaben zum System

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

□ Ersatzlänge			
□ um die y-Achse			
<input type="checkbox"/>	Verhältnis ermitteln	Ermitt-β	<input checked="" type="checkbox"/>

Vorgaben zur Ermittlung des Verhältnisses β

Unter den nun erscheinenden Einträgen k_A und k_B können Angaben zu den am Stützenanfang und -ende anschließenden Balken und Stützen getätigt werden. Betrachtet man die nächsttiefere Ebenen von k_A und k_B , so ist zu erkennen, dass dort Eingabemöglichkeiten bestehen, die anschließenden Riegel und Stützen auszuwählen.

□ Ersatzlänge			
□ um die y-Achse			
<input type="checkbox"/>	Verhältnis ermitteln	Ermitt-β	<input checked="" type="checkbox"/>
□ k_A - Steifigkeit in Einspannung			
<input type="checkbox"/>	Wert manual eingeben		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Anschließende Stütze		<input checked="" type="checkbox"/>
□ Stütze			
<input type="checkbox"/>	Definieren	Def-Stab	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Stab	Nr.	
<input type="checkbox"/>	Systemlänge	l ₀₀₁	0.000 m
<input type="checkbox"/>	Trägheitsmoment	I _y	0.0 cm ⁴
<input type="checkbox"/>	E-Modul	E	0.00 N/mm ²
<input type="checkbox"/>	Anzahl der Stäbe		1
□ 1. Balken			
<input type="checkbox"/>	Definieren	Def-Stab	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Stab	Nr.	
<input type="checkbox"/>	Systemlänge	l _b	0.000 m

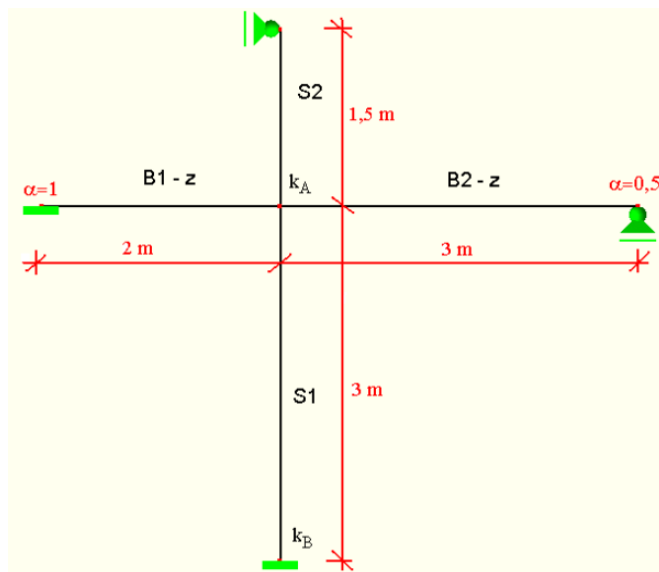
Eingabe unter k_A

Klickt man beispielsweise in die Zelle, die dafür vorgesehen ist, die Stabnummer der Stütze einzutragen, erscheint eine Schaltfläche mit drei kleinen Punkten. Über diese kann in den Arbeitsbereich von RSTAB gewechselt werden, um den entsprechenden Stab auszuwählen. Systemlänge, Trägheitsmoment und E-Modul werden dann automatisch in die anschließenden Zeilen übernommen.

Ersatzlänge			
<input checked="" type="checkbox"/> um die y-Achse			
<input type="checkbox"/> Verhältnis ermitteln	Ermit- β	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> k_A - Steifigkeit in Einspannung			
<input type="checkbox"/> Wert manual eingeben		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Anschließende Stütze		<input checked="" type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> Stütze			
<input type="checkbox"/> Definieren	Def-col	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Stab	Nr.	4	
<input type="checkbox"/> Systemlänge	l_{col}	1.500	m
<input type="checkbox"/> Trägheitsmoment	I_y	90000.0	cm ⁴
<input type="checkbox"/> E-Modul	E	32000.00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Anzahl der Stäbe		2	
<input checked="" type="checkbox"/> 1. Balken			
<input type="checkbox"/> Definieren	Def-col	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Stab	Nr.	3	
<input type="checkbox"/> Systemlänge	l_b	2.000	m
<input type="checkbox"/> Trägheitsmoment	I_y	90000.0	cm ⁴
<input type="checkbox"/> E-Modul	E	32000.00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Beiwert Einspannung	α	1.000	
<input checked="" type="checkbox"/> 2. Balken			
<input type="checkbox"/> Definieren	Def-col	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Stab	Nr.	2	
<input type="checkbox"/> Systemlänge	l_b	3.000	m
<input type="checkbox"/> Trägheitsmoment	I_y	90000.0	cm ⁴
<input type="checkbox"/> E-Modul	E	32000.00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Beiwert Einspannung	α	0.500	
<input type="checkbox"/> Steifigkeit in Einspannung	k_A	1.500	
<input checked="" type="checkbox"/> k_B - Steifigkeit in Einspannung			
<input type="checkbox"/> Wert manual eingeben		<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Steifigkeit in Einspannung	k_B	0.000	
<input type="checkbox"/> Ermitteltes Verhältnis	β_y	0.660	
<input type="checkbox"/> Ersatzlänge	$l_{0,y}$	1.980	m

Bestimmen der Ersatzlänge

Diese Eingaben entsprechen den Eigenschaften der im System existierenden Stäbe.



System um die y-Achse

Damit kann k_A durch das Programm ermittelt werden. Dieser wird zusätzlich durch eine Handrechnung überprüft.

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

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

mit

$\alpha_1 = 1,0$ das abliegende Ende ist starr eingespannt

$\alpha_2 = 0,5$ das abliegende Ende ist frei drehbar gelagert

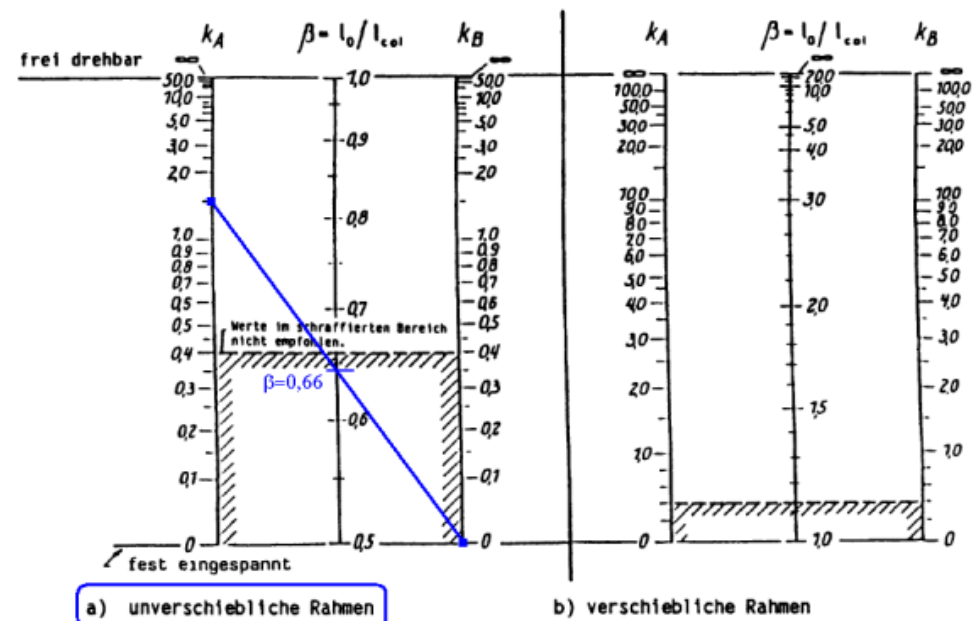
Am Auflager der Stütze S1 liegt keine Einspannung vor. Es wird deshalb im Programm die Möglichkeit genutzt, den Wert von k_B zu definieren und ihn dann zu Null zu setzen.

Ersatzlänge			
<input type="checkbox"/> um die y-Achse			
Verhältnis ermitteln	Ermitt- β	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> k_A - Steifigkeit in Einspannung			
<input type="checkbox"/> k_B - Steifigkeit in Einspannung			
Wert manual eingeben		<input checked="" type="checkbox"/>	
Steifigkeit in Einspannung	k_B		0.000
Ermitteltes Verhältnis	β_y		0.660
Ersatzlänge	$l_{0,y}$		1.980 m
<input type="checkbox"/> um die z-Achse			

Definieren des Wertes für k_B

In der obigen Abbildung ist zu sehen, welches Verhältnis $\beta_y = 0,66$ das Programm aus den Werten $k_A = 1,5$ und $k_B = 0,0$ ermittelt.

Dies wird anhand des Nomogramms für unverschiebliche Systeme überprüft.



Grafische Ermittlung von β_y

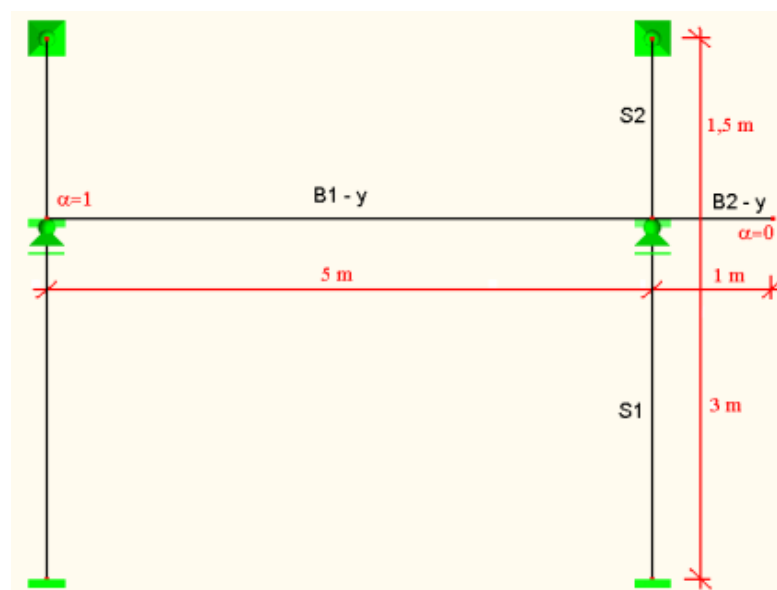
$$l_{col,y} = 3 \text{ m}$$

$$l_{0,y} = l_{col,y} \cdot \beta_y = 3 \cdot 0,66 = 1,98 \text{ m}$$

Um die z-Achse wird zusätzlich die Ersatzlänge $l_{0,z}$ ermittelt.

<input type="checkbox"/> um die z-Achse			
<input type="checkbox"/> Verhältnis ermitteln	Ermit- β	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> k_A - Steifigkeit in Einspannung			
<input type="checkbox"/> Wert manual 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.	4	
<input type="checkbox"/> Systemlänge	$l_{0,01}$	1.500	m
<input type="checkbox"/> Trägheitsmoment	I_z	160000.0	cm ⁴
<input type="checkbox"/> E-Modul	E	32000.00	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.	10	
<input type="checkbox"/> Systemlänge	l_b	5.000	m
<input type="checkbox"/> Trägheitsmoment	I_y	160000.0	cm ⁴
<input type="checkbox"/> E-Modul	E	32000.00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Benutzerdefiniert Beiwert Einspar	def. α	<input type="checkbox"/>	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Beiwert Einspannung	α	Fest	
<input type="checkbox"/> 2. Balken			
<input type="checkbox"/> Definieren	Def-Stab	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Stab	Nr.	12	
<input type="checkbox"/> Systemlänge	l_b	1.000	m
<input type="checkbox"/> Trägheitsmoment	I_y	160000.0	cm ⁴
<input type="checkbox"/> E-Modul	E	32000.00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Benutzerdefiniert Beiwert Einspar	def. α	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Beiwert Einspannung	α	Frei	
<input type="checkbox"/> Steifigkeit in Einspannung	k_A	5.000	
<input type="checkbox"/> k_B - Steifigkeit in Einspannung			
<input type="checkbox"/> Ermittelter Verhältnis	β_z	1.490	
<input type="checkbox"/> Ersatzlänge	$l_{0,z}$	4.470	m

Ermittlung der Ersatzlänge $l_{0,z}$



System um die z-Achse

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

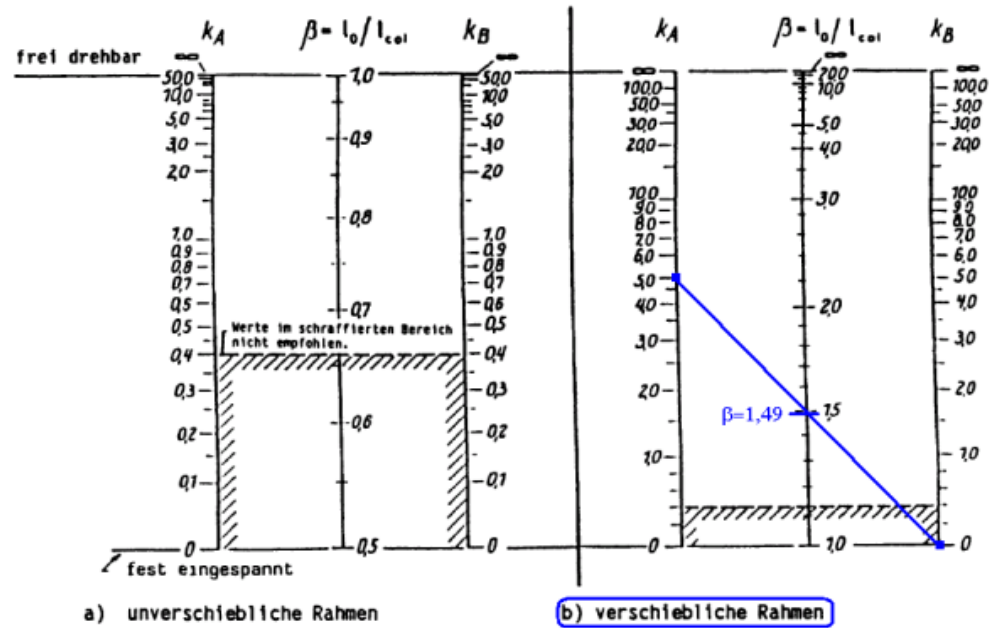
$$= \frac{32000 \cdot 90000 / 3 + 32000 \cdot 90000 / 1,5}{32000 \cdot 1 \cdot 90000 / 5 + 32000 \cdot 0 \cdot 90000 / 1} = 5$$

mit

$\alpha_1 = 1,0$ das abliegende Ende ist starr eingespannt

$\alpha_2 = 0$ Kragbalken

$k_B = 0$



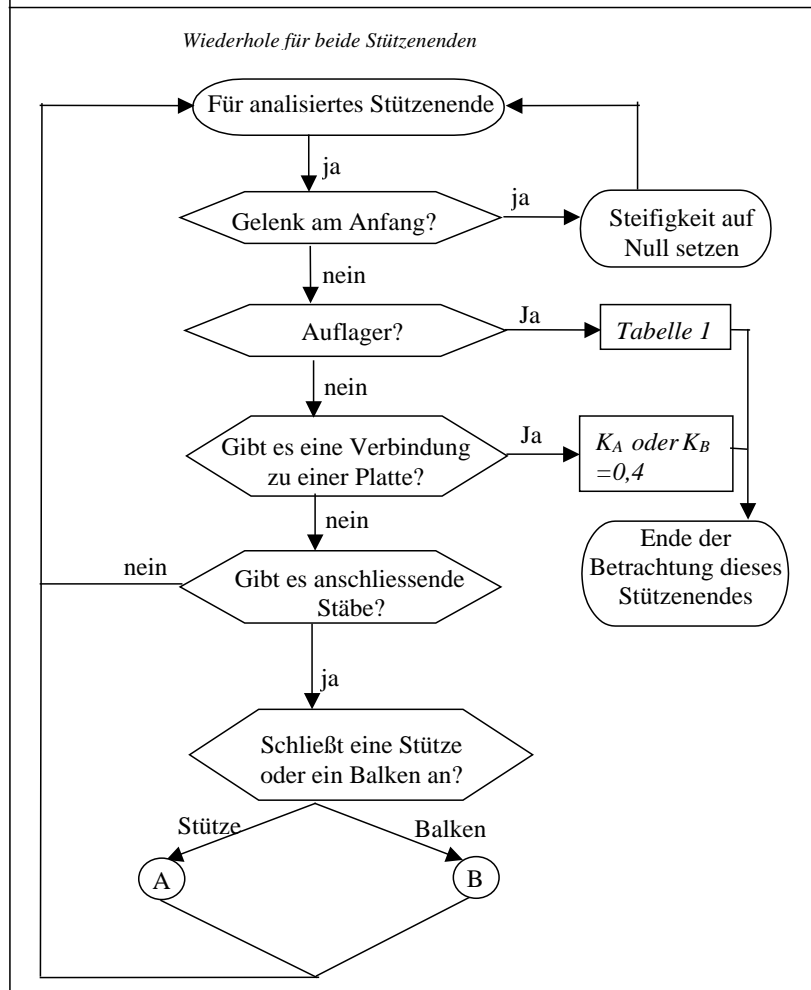
Grafische Ermittlung von β_2

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

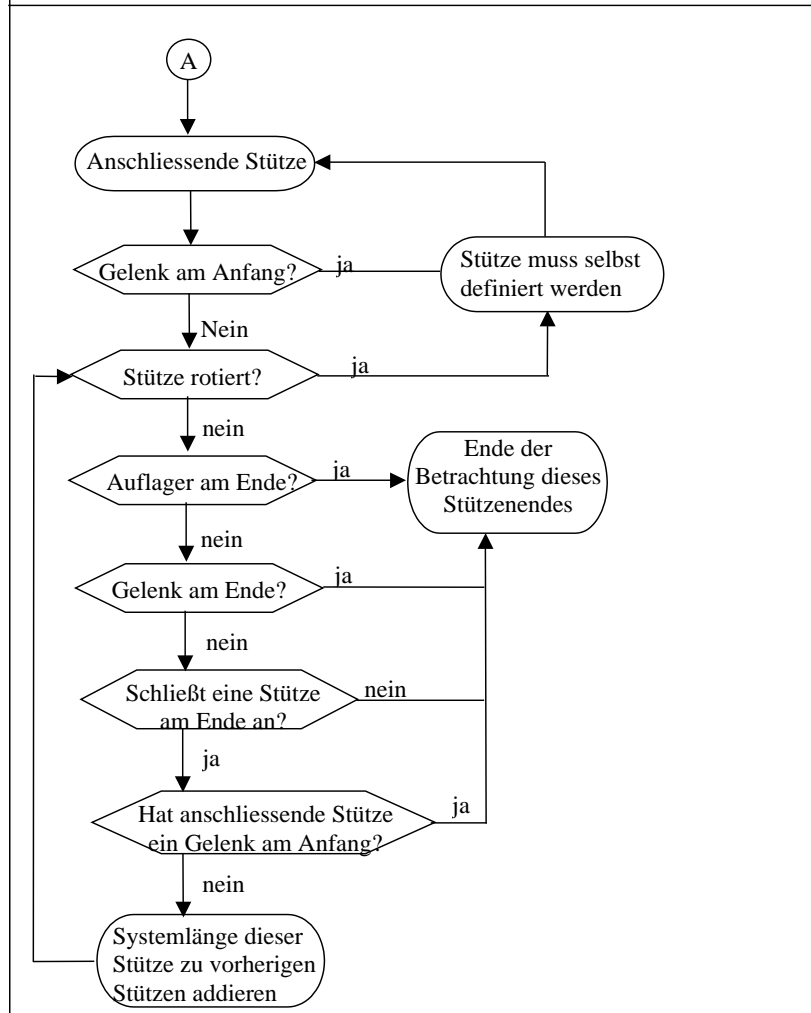
$$l_{0,z} = l_{col,z} \cdot \beta_z = 3 \cdot 1,49 = 4,47 \text{ m}$$

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 Auflagern oder anschließende Stäbe werden dann automatisch erkannt, wenn sie dieselbe Richtung haben, wie die Achsen des lokalen Stabkoordinatensystems. Weitere Bedingungen können dem Programmablaufplan entnommen werden.

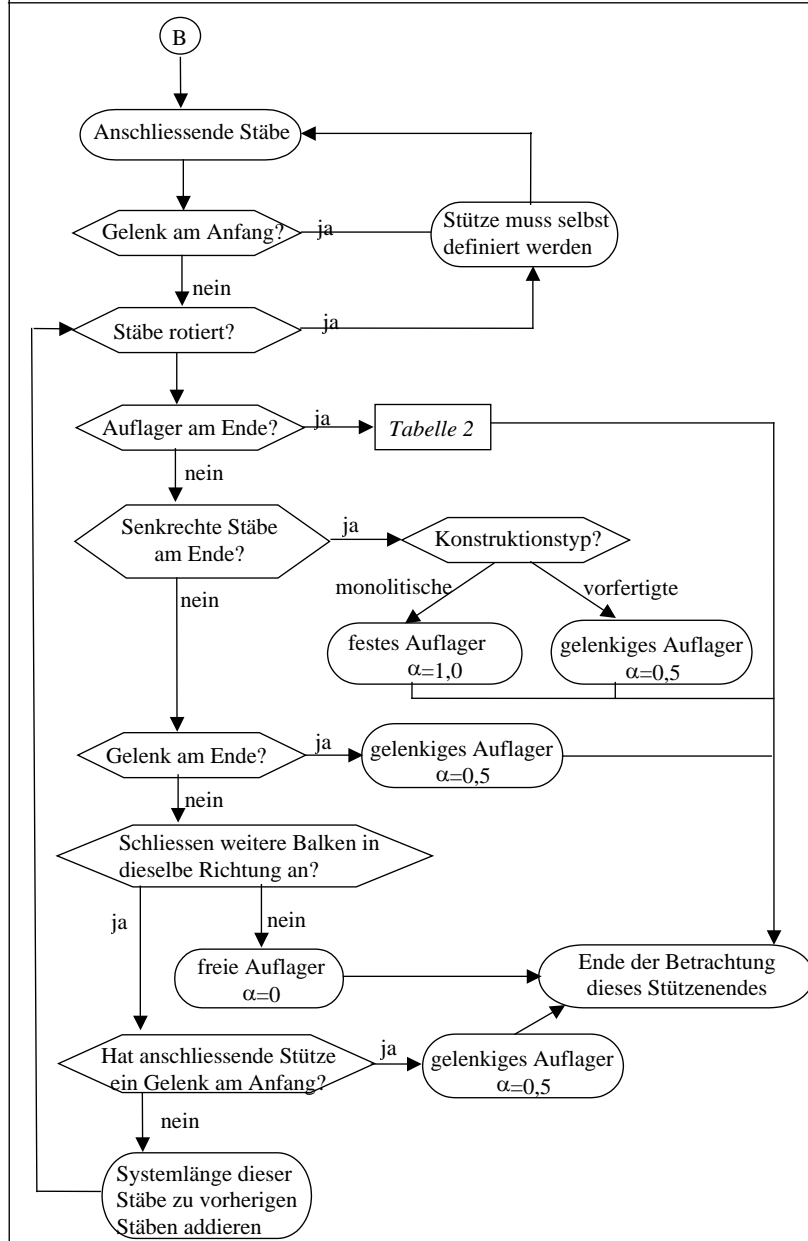
Teil 1: Hauptstruktur zur Ermittlung der Endknotensteifigkeiten



Teil 2:
Analyse der anschliessenden Stützen



Teil 3: Analyse der anschliessenden Stäben



In nächsten zwei Tabellen kann man sehen, 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
Ux	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig
Uy	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig
Uz	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	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

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
Ux	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig
Uy	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig
Uz	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 passieren, dass für einige Stützen nicht automatisch die Knicklänge ermittelt werden kann. Das sind solche Stützen, die entweder nicht aus Beton sind oder ein freies Ende ohne anschließende Konstruktion oder Auflager haben.

Schließen an das Stützenende mehrere Stäbe an, so 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 die Wahlmöglichkeit zwischen monolithischen und vorfertigten Systemen.

Konstruktionstyp: ☒ Monolithische Konstruktion ☐ Konstruktion aus Fertigteilen

Wahl des Konstruktionstyps

Diese Option beeinflusst maßgeblich die Steifigkeiten am Endknoten der anschließenden Stäbe. Wenn die **Monolithische Konstruktion** ausgewählt ist, so wird die Steifigkeit der Verbindungen auf „fest“ eingestellt. Wenn die **Konstruktion aus Fertigteilen** ausgewählt ist, dann wird die Steifigkeit der Verbindungen auf „gelenkig“ eingestellt. 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.

Auf rechten Seite finden sich die Schaltflächen [Standardwerte] und [Filter] einstellen.



Schaltflächen [Standardwerte] und [Filter]

Mit der ersten Schaltfläche kann man die Voreinstellung bekommen, die dem Konstruktionsmodell in RSTAB entspricht. Die Schaltfläche [Filter] zeigt dem Benutzer alle Stützen, die noch definiert werden müssen. Solche Stützen sind mit roter Farbe gefärbt, und die nicht vollständig eingestellten Steifigkeiten können unten in der Tabelle manuell eingegeben 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 Werten eingegeben werden.

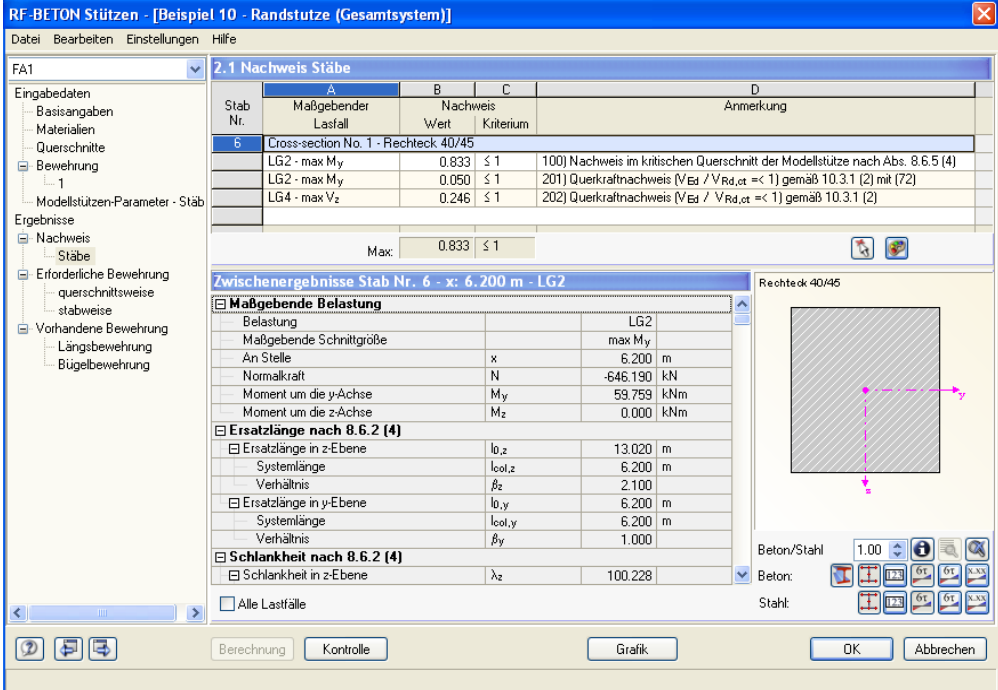
Der anschließende Eintrag **Schlankheit** zeigt in den untergeordneten Zeilen die für beide Richtungen getrennt ermittelten Schlankheiten λ_y und λ_z an.

☐ Schlankheit			
☐ um die y-Achse			
Schlankheit	λ_y	100.228	
☐ um die z-Achse			
Schlankheit	λ_z	53.694	

Darstellung der ermittelten Schlankheit

5.4 Ergebnismasken

5.4.1 Maske 2.1 *Nachweis*



Maske 2.1 *Nachweis*

Diese Maske besteht aus einer oberen Tabelle sowie einer unteren Detailtabelle und einem Grafikenfenster, die sich beide verändern, sobald in der oberen Tabelle eine bestimmte 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 **Anmerkung** 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 RSTAB-Schnittgrößen an der Stelle, für die sich die kleinste Sicherheit ergibt.

An welcher Stelle dieser und alle anderen Nachweis geführt wurden, findet der Anwender indirekt in der ersten Spalte der oberen Tabelle. Dort steht, welche Belastung (Lastfall, Lastfallgruppe oder -kombination) 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 bei einem 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.

Im Falle der ersten Zeile der oberen Tabelle wird die ermittelte Sicherheit γ mit einer vorhandenen Bewehrung als Dividend für die erforderliche Sicherheit von 1 genommen. Somit ergibt sich bei einer ausreichenden Sicherheit ($\gamma \geq 1$) 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 genauere Beschreibung ist im Kapitel 4 dieses Handbuches zu finden.

Abhängig davon, welche Zeile der oberen Tabelle durch Anklicken ausgewählt wurde, erscheinen in der Detailtabelle die Zwischenergebnisse dieses Nachweises. Sie sind aufgebaut wie eine Handrechnung und zeigen somit chronologisch alle Zwischenergebnisse zur Ermittlung des Nachweiskriteriums. Da die Inhalte der Detailtabelle in den Beispielen des Handbuches anschaulich dargestellt werden, werden in diesem Handbuchkapitel nur die Haupteinträge der Zwischenergebnisse erläutert.

Wurden die Momente nach Theorie II. Ordnung für das Modellstützenverfahren bestimmt, besitzen die Details für den Nachweis der Biegebruchsicherheit folgende Haupteinträge:

Bemessung nach Norm	Bemessung nach Norm
DIN 1045-1: 2001-07	DIN V ENV 1992-1-1: 1992-06
Zwischenergebnisse Stab Nr. 6 - x: 6.200 m - LG2	Zwischenergebnisse Stab Nr. 6 - x: 6.200 m - LG2
<input checked="" type="checkbox"/> Maßgebende Belastung	<input checked="" type="checkbox"/> Maßgebende Belastung
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge nach 8.6.2 (4)	<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge nach 4.3.5.3.5 (1)
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit nach 8.6.2 (4)	<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit nach 4.3.5.3.5 (2)
<input checked="" type="checkbox"/> Grenzschlankheit nach 8.6.3 (2)	<input checked="" type="checkbox"/> Grenzschlankheit nach 4.3.5.3.5 (2)
<input checked="" type="checkbox"/> Kritische Schlankheit nach 8.6.3 (4)	<input checked="" type="checkbox"/> Kritische Schlankheit nach 4.3.5.3.5 (2)
<input checked="" type="checkbox"/> Bemessungstyp	<input checked="" type="checkbox"/> Bemessungstyp
<input checked="" type="checkbox"/> Momente nach Theorie I. Ordnung	<input checked="" type="checkbox"/> Momente nach Theorie I. Ordnung
<input checked="" type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ordnung	<input checked="" type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ordnung
<input checked="" type="checkbox"/> Vorhandene Bewehrung	<input checked="" type="checkbox"/> Vorhandene Bewehrung
<input checked="" type="checkbox"/> Dehnungszustand	<input checked="" type="checkbox"/> Dehnungszustand
<input checked="" type="checkbox"/> Bruchzustand	<input checked="" type="checkbox"/> Bruchzustand
<input checked="" type="checkbox"/> Nachweis	<input checked="" type="checkbox"/> Nachweis

Details für die Bemessung mit Momenten nach Theorie II. Ordnung (DIN 1045-1 und DIN V ENV 1992-1:1992-06)

Ist eine Regelbemessung ausreichend, 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 RSTAB statt.

Bemessung nach Norm	Bemessung nach Norm
DIN 1045-1: 2001-07	DIN V ENV 1992-1-1: 1992-06
Zwischenergebnisse Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF1	Zwischenergebnisse Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF1
<input checked="" type="checkbox"/> Maßgebende Belastung	<input checked="" type="checkbox"/> Maßgebende Belastung
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge nach 8.6.2 (4)	<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge nach 4.3.5.3.5 (1)
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit nach 8.6.2 (4)	<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit nach 4.3.5.3.5 (2)
<input checked="" type="checkbox"/> Grenzschlankheit nach 8.6.3 (2)	<input checked="" type="checkbox"/> Grenzschlankheit nach 4.3.5.3.5 (2)
<input checked="" type="checkbox"/> Kritische Schlankheit nach 8.6.3 (4)	<input checked="" type="checkbox"/> Kritische Schlankheit nach 4.3.5.3.5 (2)
<input checked="" type="checkbox"/> Bemessungstyp	<input checked="" type="checkbox"/> Bemessungstyp
<input checked="" type="checkbox"/> Vorhandene Bewehrung	<input checked="" type="checkbox"/> Vorhandene Bewehrung
<input checked="" type="checkbox"/> Dehnungszustand	<input checked="" type="checkbox"/> Dehnungszustand
<input checked="" type="checkbox"/> Bruchzustand	<input checked="" type="checkbox"/> Bruchzustand
<input checked="" type="checkbox"/> Nachweis	<input checked="" type="checkbox"/> Nachweis

Details für die Regelbemessung

Maßgebende Belastung

Zwischenergebnisse Stab Nr. 6 - x: 0.000 m - LG4			
<input checked="" type="checkbox"/> Maßgebende Belastung			
<input type="checkbox"/> Belastung		LG4	
<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

Maßgebende Belastung

In der ersten Zeile wird der maßgebende Lastfall, die maßgebende Lastfallgruppe oder die maßgebende Lastfallkombination angegeben.

Diese **Belastung** bewirkt entlang des Stabes einen bestimmten 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 4 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 es 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**, **Grenzschlankheit** und **Kritische Schlankheit** dienen ausschließlich zur Unterscheidung, ob ein Nachweis mit den Momenten nach Theorie II. Ordnung oder eine Regelbemessung mit den Schnittgrößen aus RSTAB stattfindet.

Art der Bemessung

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

<input type="checkbox"/> Art der Bemessung			
<input type="checkbox"/> Voraussetzungen Regelbemessung nach 4.3.5.3.5 (2)			
<input type="checkbox"/> Voraussetzung um die y-Achse	$\lambda_y \leq \lambda_{max}$	Nicht erfüllt	
<input type="checkbox"/> Vorhandene Schlankheit	λ_y	100.228	
<input type="checkbox"/> Grenzschlankheit	λ_{max}	32.984	
<input type="checkbox"/> Voraussetzung um die z-Achse	$\lambda_z \leq \lambda_{max}$	Nicht erfüllt	
<input type="checkbox"/> Vorhandene Schlankheit	λ_z	53.694	
<input type="checkbox"/> Grenzschlankheit	λ_{max}	32.984	
<input type="checkbox"/> Voraussetzung für Regelbemessung erfüllt		Nicht erfüllt	
<input type="checkbox"/> Voraussetzungen Regelbemessung nach 4.3.5.5.3 (2)			
<input type="checkbox"/> System unverschieblich?		Nein	
<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	

Festlegen der Art der Bemessung nach DIN 1045-01

Es sind drei Gründe möglich, dass eine Regelbemessung ausreichend ist: Nach DIN 1045-01 sind das die Voraussetzungen nach 4.3.5.3.5 (2), die Voraussetzung nach 4.3.5.5.3 (2) oder falls die Normalkraft keine Druckkraft ist.

Hinreichend ist, wenn eine dieser Voraussetzungen erfüllt ist. Die Zeilen mit den zwei erstgenannten Voraussetzungen zeigen auf den nächsten Darstellungsebenen übersichtlich, ob diese Voraussetzungen als erfüllt angesehen werden können.

Momente nach Theorie I. Ordnung

Ob die Voraussetzungen für eine Regelbemessung erfüllt sind, wird 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 Stab Nr. 6 - x: 0.000 m - LG4

☐ Momente nach Theorie I. Ordnung			
☐ Planmäßige Ausmitte nach 8.6.5 (6)			
☐ Zweiachsige Ausmitte?		Nein	
☒ Planmäßige Ausmitte in z-Richtung	$e_{0,z}$	-15.4	cm
☒ Planmäßige Ausmitte in y-Richtung	$e_{0,y}$	0.0	cm
☐ Ungewollte Ausmitte nach 4.3.5.6.2 (1)			
☒ Ungewollte Ausmitte in z-Richtung	$e_{a,z}$	-3.3	cm
☒ Ungewollte Ausmitte in y-Richtung	$e_{a,y}$	1.5	cm
☐ Momente nach Theorie I. Ord.			
☐ Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-632.850	kN
☐ Moment um die y-Achse	$M_{Ed,1,y}$	-117.776	kNm
☐ Ausmitte in z-Richtung	$e_{1,z}$	-18.6	cm
☐ Planmäßige Ausmitte	$e_{0,z}$	-15.4	cm
☐ Ungewollte Ausmitte	$e_{a,z}$	-3.3	cm
☐ Moment um die z-Achse	$M_{Ed,1,z}$	9.809	kNm
☐ Ausmitte in y-Richtung	$e_{1,y}$	1.5	cm
☐ Planmäßige Ausmitte	$e_{0,y}$	0.0	cm
☐ Ungewollte Ausmitte	$e_{a,y}$	1.5	cm

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. Der Haupteintrag **Momente nach Theorie I. Ordnung** wird mit der Ausgabe dieser Momente abgeschlossen.

Momente nach Theorie II. Ordnung

☐ Momente nach Theorie II. Ordnung			
☐ Ausmitte durch Th. II. Ord. nach 8.6.5 (8)			
☒ Ausmitte durch Th. II. Ord. in z-Richtung	$e_{2,z}$	20.0	cm
☐ Kriechauswirkungen berücksichtigen?		Ja	
☒ Ausmitte durch Th. II. Ord. (Kriechen) in z-	$e_{2,c,z}$	30.4	cm
☒ Ausmitte durch Th. II. Ord. in y-Richtung	$e_{2,y}$	5.2	cm
☐ Kriechauswirkungen berücksichtigen?		Ja	
☒ Ausmitte durch Th. II. Ord. (Kriechen) in y-	$e_{2,c,y}$	5.2	cm
☐ Momente nach Theorie II. Ord. (Kriechen)			
☐ Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-646.190	kN
☒ Moment um die y-Achse	$M_{Ed,y2}$	273.008	kNm
☒ Moment um die z-Achse	$M_{Ed,z2}$	41.378	kNm

Momente nach Theorie II. Ordnung

Die Ermittlung beginnt mit der Bestimmung der Ausmitten durch Theorie II. Ordnung, ggf. unter Berücksichtigung der Auswirkungen infolge Kriechens. In der obigen Abbildung werden 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.

Damit sind die Schnittgrößen bekannt, 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				
<input checked="" type="checkbox"/> aus Position	Nr.	1		
<input type="checkbox"/> Position statisch wirksam		Ja		
<input type="checkbox"/> Bewehrungsstabdurchmesser	d_s	0.020	m	
<input type="checkbox"/> Querschnittsfläche pro Bewehrungsstab	a_s	3.14	cm ²	
<input type="checkbox"/> Anzahl	n_s	8		
<input type="checkbox"/> Gesamte Querschnittsfläche	vorh A_s	25.12	cm ²	
<input checked="" type="checkbox"/> aus Position	Nr.	2		
<input type="checkbox"/> Position statisch wirksam		Ja		
<input type="checkbox"/> Bewehrungsstabdurchmesser	d_s	0.020	m	
<input type="checkbox"/> Querschnittsfläche pro Bewehrungsstab	a_s	3.14	cm ²	
<input type="checkbox"/> Anzahl	n_s	2		
<input type="checkbox"/> Gesamte Querschnittsfläche	vorh A_s	6.28	cm ²	
<input type="checkbox"/> Vorhandene Bewehrung	vorh A_s	31.42	cm ²	

Vorhandene Bewehrung

Hier zeigt sich – nach Positionsnummern geordnet – die aktuelle Bewehrung, die nach der ersten Berechnung vom Programm vorgeschlagen wird und durch den Benutzer in Maske 3.1 **Vorhandene Längsbewehrung** verändert werden kann.

Dehnungszustand

Die nächsten beiden Haupteinträge zeigen, wie sich Spannungen und Dehnungen unter den zuvor ermittelten Schnittgrößen im Beton und in dieser Bewehrung einstellen.

Zwischenergebnisse Stab Nr. 6 - x: 6.200 m - LG2

☒ **Dehnungszustand**

☐ Einwirkende Schnittgrößen

Normalkraft	N_{Ed}	-646.190	kN
Moment um die y-Achse nach Th. II. Ord.	$M_{Ed,y2}$	273.008	kNm
Moment um die z-Achse nach Th. II. Ord.	$M_{Ed,z2}$	41.378	kNm

☒ Krümmungen

κ_y	-0.0012	1/m
κ_z	0.0001	1/m

☒ Querschnittspunkte

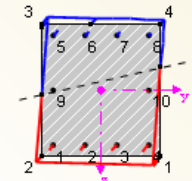
y_s	-5.3	cm
z_s	18.5	cm

☒ Bewehrungsstäbe

Anzahl der Bewehrungsstäbe	n_s	10
<input checked="" type="checkbox"/> Bewehrungsstab	Nr.	1
<input type="checkbox"/> Bewehrungsstab	Nr.	2
<input type="checkbox"/> y-Koordinate	y_s	-5.3
<input type="checkbox"/> z-Koordinate	z_s	18.5
<input type="checkbox"/> Dehnung	ϵ_s	1.78
<input type="checkbox"/> Spannung	σ_s	355.90
<input type="checkbox"/> Bewehrungsstab	Nr.	3


☐ Alle Lastfälle


Rechteck 40/45
Beton: Dehnung, Bewehrung: Dehnung
x = 6.200 m



Bewehrung: Max = 2.22[‰] (4) Min = -1.68[‰]
Beton: Max = 2.65[‰] (1) Min = -2.12[‰] (5)

Beton/Stahl: 1.00

Beton: 

Stahl: 

Dehnungszustand

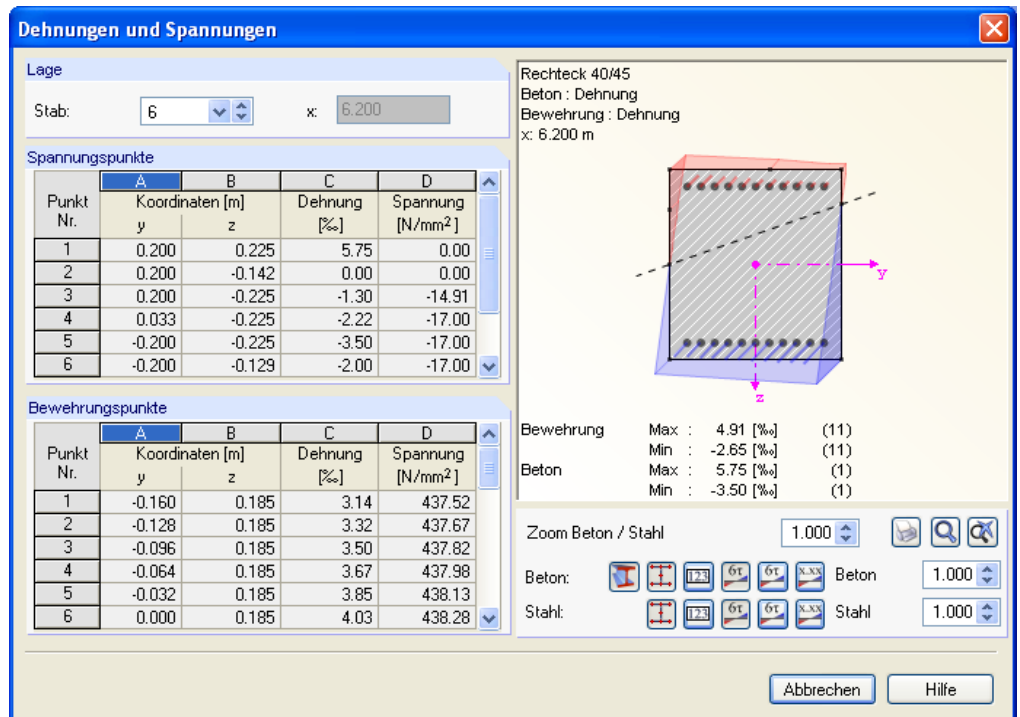
Rechtsseitig stellt eine Grafik den Verlauf von Dehnungen und Spannungen dar. Unterhalb der Grafik finden sich diverse Schaltflächen, mit denen die Anzeige gesteuert werden kann.

Mit der Schaltfläche mit dem Drehfeld kann die Darstellung von Spannungen und Dehnungen vergrößert bzw. verkleinert werden. Die Schaltfläche daneben liefert Informationen zum Querschnitt. Es folgt die Schaltfläche, die einen Dialog öffnet, in dem in zwei Tabellen getrennt für Stahl und Beton die Werte der Dehnungen und Spannungen übersichtlich dargestellt werden.

Beton / Stahl: 1.00

☒ 

Stahl: 



Dialog zur Darstellung der Dehnungen und Spannungen

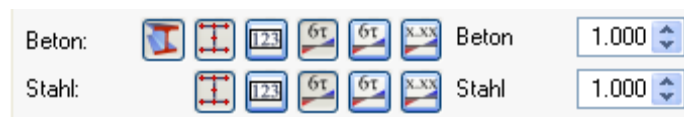
Auf der linken Seite dieses Dialogs finden sich die Abschnitte **Stab**, **Spannungspunkte** und **Bewehrungspunkte**.

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

In den zwei Tabellen unterhalb werden die **Koordinaten** der Spannungs- und Bewehrungspunkte angegeben. Diese Koordinaten beziehen sich auf das Stab-Koordinatensystem, 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 jeder Zeile ist die Nummer des Spannungs- oder Bewehrungspunktes, wie er in der Spalte **Punkt-Nr.** der beiden Tabellen zu finden ist.

Unterhalb des Grafikfenster befinden sich verschiedene Schaltflächen, mit denen die Darstellung beeinflusst werden kann.



Schaltflächen zur Beeinflussung der grafischen Darstellung

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

- Füllung des Querschnitts ein- oder ausblenden
- Spannungspunkte ein- und ausblenden
- Nummerierung der Querschnittspunkte anzeigen
- Dehnung des Betons anzeigen
- Spannungsverlauf des Beton anzeigen
- Werte für Dehnung oder Spannung des Betons anzeigen

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

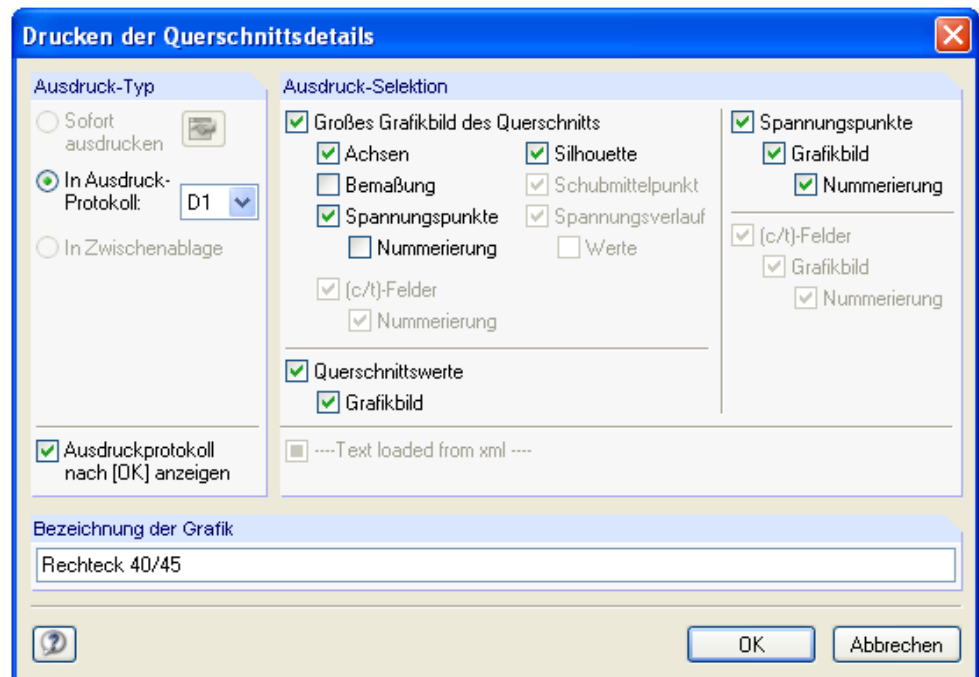
Die Schaltfläche der Zeile **Stahl** sind mit den gleichen Funktionen belegt.

Folgende Schaltflächen befinden sich noch in diesem Dialog:



Schaltflächen

Über die erste Schaltfläche [Drucken] kann ein weiterer Dialog aufgerufen werden, mit dem der Ausdruck der Spannungs-Dehnungsgrafik direkt aus dem Modul gesteuert wird.



Drucken der Querschnittsdetails

Wird dieser Dialog mit [OK] bestätigt, erscheint das Ausdruckprotokoll mit der grafischen Darstellung der Dehnungen oder Spannungen. Mit [Abbrechen] kehrt man zum aufrufen- den Dialog zurück.

Mit der mittleren der drei Schaltflächen ...



Schaltflächen

... wird der Mauszeiger in eine Hand verwandelt, mit der die grafische Darstellung dann verschoben bzw. vergrößert oder verkleinert werden kann.

Über die letzte Schaltfläche kann der Benutzer den ursprünglichen Zustand der Grafik nach einer Veränderung wieder herstellen.

Die zuletzt vorgestellten Schaltflächen zur Veränderung der grafischen Darstellung finden sich auch in der Maske 2.1 **Nachweis Stäbe**, von der aus dieser Dialog ebenfalls aufgerufen werden kann.

Bruchzustand

Der nächster Haupteintrag der Detailtabelle lautet **Bruchzustand**. Hier 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.

Zwischenergebnisse Stab Nr. 6 - x: 0.000 m - LG2			
+ Momente nach Theorie II. Ordnung			
+ Vorhandene Bewehrung			
+ Dehnungszustand			
+ Bruchzustand			
- Nachweis			
Erforderliche Bruchsicherheit	erf γ	1.0	
Vorhandene Bruchsicherheit	vorh γ	1.234	
- Einwirkende Schnittgrößen			
Normalkraft	N_{Ed}	-683.860	kN
Moment um die y-Achse	$M_{Ed,y}$	-226.971	kNm
Moment um die z-Achse	$M_{Ed,z}$	43.790	kNm
- Bruchschnittgrößen			
Bruchnormalkraft	N_u	-844.081	kN
Bruchmoment um die y-Achse	$M_{y,u}$	-280.145	kNm
Bruchmoment um die z-Achse	$M_{z,u}$	54.046	kNm
Nachweiskriterium (erf γ / vorh γ)	Kriterium	0.810	

Bruchzustand

Nachweis

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

Zwischenergebnisse Stab Nr. 6 - x: 0.000 m - LG2			
+ Momente nach Theorie II. Ordnung			
+ Vorhandene Bewehrung			
+ Dehnungszustand			
+ Bruchzustand			
- Nachweis			
Erforderliche Bruchsicherheit	erf γ	1.0	
Vorhandene Bruchsicherheit	vorh γ	1.234	
- Einwirkende Schnittgrößen			
Normalkraft	N_{Ed}	-683.860	kN
Moment um die y-Achse	$M_{Ed,y}$	-226.971	kNm
Moment um die z-Achse	$M_{Ed,z}$	43.790	kNm
- Bruchschnittgrößen			
Bruchnormalkraft	N_u	-844.081	kN
Bruchmoment um die y-Achse	$M_{y,u}$	-280.145	kNm
Bruchmoment um die z-Achse	$M_{z,u}$	54.046	kNm
Nachweiskriterium (erf γ / vorh γ)	Kriterium	0.810	

Nachweis

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

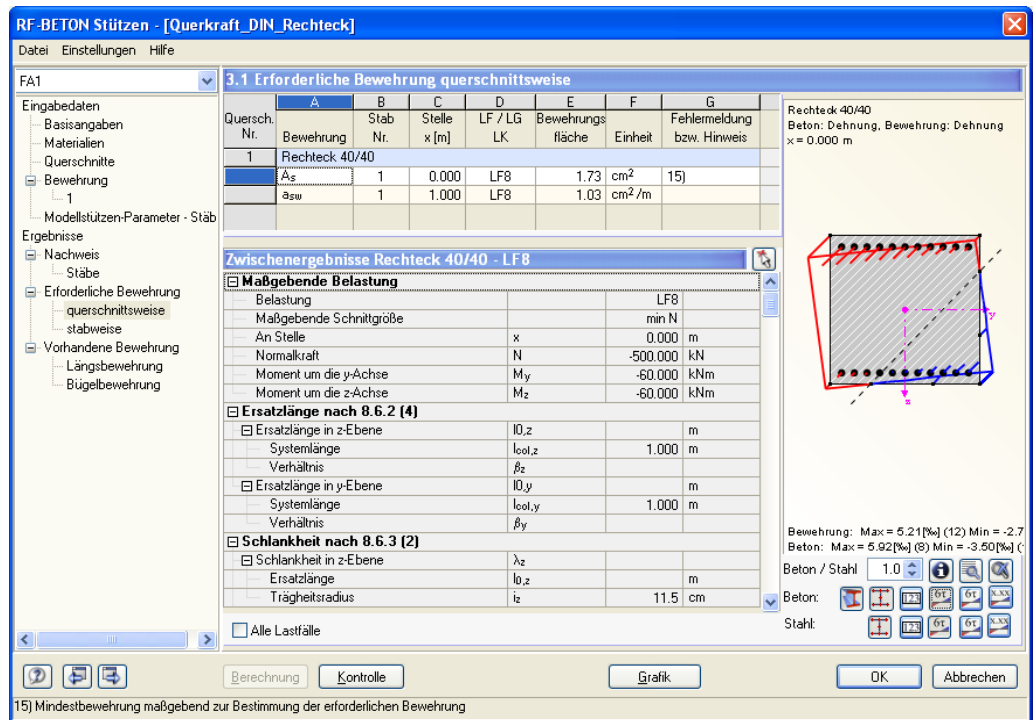
Maximales Nachweiskriterium

Unterhalb der Detailtabelle befindet sich das Kontrollfeld **Alle Lastfälle**.

Kontrollfeld **Alle Lastfälle**

Programm BETON Stützen © 2008 Ingenieur-Software Dlubal GmbH

5.4.2 Maske 3.1 Erforderliche Bewehrung querschnittsweise



3.1 Erforderliche Bewehrung querschnittsweise

Quersch. Nr.	A	B	C	D	E	F	G
	Bewehrung	Stab Nr.	Stelle x [m]	LF / LG LK	Bewehrungsfläche	Einheit	Fehlermeldung bzw. Hinweis
1	Rechteck 40/40						
	A_s	1	0.000	LF8	1.73	cm ²	15)
	a_{sw}	1	1.000	LF8	1.03	cm ² /m	

Zwischenergebnisse Rechteck 40/40 - LF8

Maßgebende Belastung

Belastung	LF8
Maßgebende Schnittgröße	min N
An Stelle	x
Normalkraft	N
Moment um die y-Achse	M_y
Moment um die z-Achse	M_z

Ersatzlänge nach 8.6.2 (4)

Ersatzlänge in z-Ebene	$l_{0,z}$	m
Systemlänge	$l_{0,z}$	1.000 m
Verhältnis	β_z	
Ersatzlänge in y-Ebene	$l_{0,y}$	m
Systemlänge	$l_{0,y}$	1.000 m
Verhältnis	β_y	

Schlankheit nach 8.6.3 (2)


Schlankheit in z-Ebene	λ_z	
Ersatzlänge	$l_{0,z}$	m
Trägheitsradius	i_z	11.5 cm

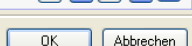
☐ Alle Lastfälle

Rechteck 40/40
Beton: Dehnung, Bewehrung: Dehnung
 $x = 0.000$ m

Bewehrung: Max = 5.21‰ (12) Min = -2.7
Beton: Max = 5.92‰ (8) Min = -3.50‰ (1)

Beton / Stahl 1.0

Beton: 

Stahl: 

Buttons: Berechnung, Kontrolle, Grafik, OK, Abbrechen

15) Mindestbewehrung maßgebend zur Bestimmung der erforderlichen Bewehrung

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 werden die erforderliche Längsbewehrung A_s sowie die erforderliche Querkraftbewehrung a_{sw} ausgegeben. Alle Zwischenergebnisse zu ihrer Bestimmung erhält der Benutzer in der Detailtabelle unterhalb, wenn er die entsprechende Zeile in der oberen Tabelle auswählt.

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							
Quersch. Nr.	A	B	C	D	E	F	G
	Bewehrung	Stab Nr.	Stelle x [m]	LF / LG LK	Bewehrungsfläche	Einheit	Fehlermeldung bzw. Hinweis
1	Rechteck 40/45						
	A_s	1	6.200	LG2	2.23	cm ²	15)
1	Rechteck 40/45						
	A_s	6	6.200	LG2	21.41	cm ²	

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 [E]. In der letzten Spalte [G] kann die Nummer eines Hinweises angezeigt werden. Dieser Programmhinweis ist in der Statuszeile dieser 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					3.1 Erforderliche Bewehrung querschnittsweise							
Stab Nr.	A	B	C		Quersch. Nr.	A	B	C	D	E	F	G
	Maßgebender Lastfall	Wert	Nachweis Kriterium			Bewehrung	Stab Nr.	Stelle x [m]	LF / LG LK	Bewehrungsfläche	Einheit	Fehlermeldung bzw. Hinweis
6	Cross-section No. 1 - Rechteck 40/45				1	Rechteck 40/45						
	LG2 - max M_y	0.833	≤ 1	100) Nachweis im kritischen Quersc		A_s	6	6.200	LG2	21.41	cm ²	
	LG2 - min N	0.105	≤ 1	201) Querkraftnachweis $[V_{Ed} / V_{Rd}]$								
	LG2 - max V_z	0.187	≤ 1	202) Querkraftnachweis $[V_{Ed} / V_{Rd}]$								
	Max:	0.833	≤ 1									
Zwischenergebnisse Stab Nr. 6 - x: 6.200 m - LG2					Zwischenergebnisse Rechteck 40/45 - LG2							
<input type="checkbox"/> Maßgebende Belastung <input type="checkbox"/> Ersatzlänge nach 8.6.2 (4) <input type="checkbox"/> Schlankheit nach 8.6.2 (2) <input type="checkbox"/> Grenzschlankheit nach 8.6.3 (2) <input type="checkbox"/> Kritische Schlankheit nach 8.6.3 (4) <input type="checkbox"/> Bemessungstyp <input type="checkbox"/> Momente nach Theorie I. Ordnung <input type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ordnung <input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. nach 8.6.5 (8)					<input type="checkbox"/> Maßgebende Belastung <input type="checkbox"/> Ersatzlänge nach 8.6.2 (4) <input type="checkbox"/> Schlankheit nach 8.6.3 (2) <input type="checkbox"/> Grenzschlankheit nach 8.6.2 (4) <input type="checkbox"/> Kritische Schlankheit nach 8.6.3 (4) <input type="checkbox"/> Art der Bemessung <input type="checkbox"/> Momente nach Theorie I. Ordnung <input type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ordnung <input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. nach 8.6.5 (8)							
<input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. in z-Richtung <input type="checkbox"/> Beiweit Schlankheit um die y-Achse <input type="checkbox"/> Krümmung in z-Ebene <input type="checkbox"/> Errechneter Beiweit <input type="checkbox"/> Grenzttragfähigkeit Bemessungswert der Betonfestig Querschnittsfläche Bemessungswert Streckgrenze <input type="checkbox"/> Vorhandene Bewehrung <input type="checkbox"/> aus Position <input type="checkbox"/> aus Position Einwirkende Normalkraft Aufnehmbare Normalkraft (Momen Gewählter Beiweit <input type="checkbox"/> Dehnung (Streckgrenze) Statische Höhe Ersatzlänge um die y-Achse Kriechauswirkungen berücksichtigen? <input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. (Kriechen) in z <input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. in y-Richtung <input type="checkbox"/> Kriechauswirkungen berücksichtigen? <input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. (Kriechen) in y <input type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ord. (Kriechen)					<input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. in z-Richtung <input type="checkbox"/> Beiweit Schlankheit um die y-Achse <input type="checkbox"/> Krümmung in z-Ebene <input type="checkbox"/> Errechneter Beiweit <input type="checkbox"/> Grenzttragfähigkeit Bemessungswert der Betonfestig Querschnittsfläche Bemessungswert Streckgrenze <input type="checkbox"/> Vorhandene Bewehrung <input type="checkbox"/> Als vorhandene Bewehrung wurde die erforderliche Bewehrung angesetzt Einwirkende Normalkraft Aufnehmbare Normalkraft (Momen Gewählter Beiweit <input type="checkbox"/> Dehnung (Streckgrenze) Statische Höhe Ersatzlänge um die y-Achse Kriechauswirkungen berücksichtigen? <input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. (Kriechen) in z <input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. in y-Richtung <input type="checkbox"/> Kriechauswirkungen berücksichtigen? <input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. (Kriechen) in y <input type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ord. (Kriechen)							
	$e_{2,z}$	20.0	cm			$e_{2,z}$	20.0	cm				
	$k_{1,z}$	1.000				$k_{1,z}$	1.000					
	$\lambda_{y,z}$	13.020				$\lambda_{y,z}$	13.020					
	$1/f_{0,z}$	0.012	1/m			$1/f_{0,z}$	0.012	1/m				
	$k_{2,z}$	1.180				$k_{2,z}$	1.209					
	N_{ud}	-4425.910	kN			N_{ud}	-3990.760	kN				
	f_{cd}	17.00	N/mm ²			f_{cd}	17.00	N/mm ²				
	A_c	1800.00	cm ²			A_c	1800.00	cm ²				
	f_{yd}	434.78	N/mm ²			f_{yd}	434.78	N/mm ²				
	vorh A_s	31.42	cm ²			vorh A_s	21.41	cm ²				
	Nr.	1										
	Nr.	2										
	N_{Ed}	-646.190	kN			N_{Ed}	-646.190	kN				
	N_{bal}	-1224.000	kN			N_{bal}	-1224.000	kN				
	gew $k_{2,z}$	1.000				gew $k_{2,z}$	1.000					
	ϵ_{yd}	2.17	‰			ϵ_{yd}	2.17	‰				
	d_z	41.0	cm			d_z	41.0	cm				
	$l_{0,y}$	13.020	m			$l_{0,y}$	6.200	m				
		Ja					Ja					
	$e_{2,z,z}$	30.4	cm			$e_{2,z,z}$	30.4	cm				
	$e_{2,y}$	5.2	cm			$e_{2,y}$	5.2	cm				
		Ja					Ja					
	$e_{2,e,y}$	5.2	cm			$e_{2,e,y}$	5.2	cm				
	<input type="checkbox"/> Vorhandene Bewehrung					<input type="checkbox"/> Statisch erforderliche Bewehrung					<input type="checkbox"/> Mindestbewehrung	
	<input type="checkbox"/> Dehnungszustand					<input type="checkbox"/> Erforderliche Bewehrung						
	<input type="checkbox"/> Bruchzustand											
	<input type="checkbox"/> Nachweis											

Vergleich der Details

Während bei der Ermittlung 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 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.

Längsbewehrung | Bügel | Konstruktive Bewehrung | Bewehrungsanordnung | DIN 1045-1

Bewehrung | **Bewehrungsverteilung**

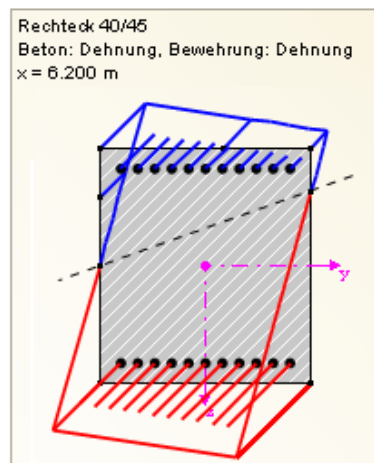
Mögliche Durchmesser:

☐ 0.8

☐ 1.0

☐ 1.2

zweiseitig - parallel zur y-Achse



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, gibt der Benutzer im „Norm“-Register der Maske 1.4 **Bewehrung** vor:

Bügel | Konstruktive Bewehrung | Bewehrungsanordnung | DIN 1045-1 | Brandschutz

Bewehrungsgrad

☐ Max. Längsbewehrungsgrad gemäß Norm

Definiere Max A_s : 8.00 [%]

☐ Min. Längsbewehrungsgrad gemäß Norm

Definiere Min A_s : 0.00 [%]

Querkraftbewehrung

Bemessungsverfahren nach 10.3.4:

Neigung der Betonstrebe

- Minimum: 18.500 [°]

- Maximum: 60.000 [°]

Beiwerte

Teilsicherheitsbeiwert nach Tabelle 2:

- für Beton: γ_c : 1.5000

- für Bewehrung: γ_s : 1.1500

Teilsicherheitsbeiwert nach 5.3.3 (8):

- für nicht bewehrten Beton: γ_c : 1.8000

Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung von Langzeitwirkungen nach 9.1.6 (2): α : 0.8500

Festlegen der Mindestbewehrung

Wird das Kontrollfeld im markierten Bereich angehakt, so wird die Mindestbewehrung mit den einwirkenden Schnittgrößen nach folgenden Formeln der einzelnen Normen bestimmt:

$$\text{DIN 1045-01:} \quad A_{s,\min} = 0.15 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

$$\text{DIN V ENV 1992-1:1992-06:} \quad A_{s,\min} = \max \left\{ 0.15 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}; 0.003 \cdot A_c \right\}$$

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

☐ Mindestbewehrung nach Norm			
<input type="checkbox"/> Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-646.190	kN
<input type="checkbox"/> Bemessungswert Streckgrenze	f_{yd}	434.78	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Mindestbewehrung	erf $A_{s,\min}$	2.23	cm ²

Mindestbewehrung nach DIN 1045-01

☐ Mindestbewehrung nach Norm			
☐ Erste Mindestbewehrung			
<input type="checkbox"/> Einwirkende Normalkraft	N_{sd}	-646.190	kN
<input type="checkbox"/> Bemessungswert Streckgrenze	f_{yd}	434.78	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Mindestbewehrung	erf $A_{s,\min,1}$	2.23	cm ²
☐ Zweite Mindestbewehrung			
<input type="checkbox"/> Betonquerschnitt	A_c	1800.00	cm ²
<input type="checkbox"/> Mindestbewehrung	erf $A_{s,\min,2}$	5.40	cm ²
<input type="checkbox"/> Mindestbewehrung	erf $A_{s,\min}$	5.40	cm ²

Mindestbewehrung nach DIN V ENV 1992-1:1992-06

Zudem hat der Benutzer auch noch die Möglichkeit, einen eigenen Mindestbewehrungsgrad zu definieren. Die so ermittelte Mindestbewehrung erscheint dann ebenfalls in den Details.

☐ Mindestbewehrungsgrad durch den Benutzer definiert			
<input type="checkbox"/> Betonquerschnitt	A_c	1800.00	cm ²
<input type="checkbox"/> Mindestbewehrungsgrad	Min A_s	0.50	%
<input type="checkbox"/> Querschnittsfläche	erf $A_{s,\min}$	9.00	cm ²

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 $A_{s,\text{stat}}$	21.41	cm ²
<input type="checkbox"/> Mindestbewehrung	erf $A_{s,\min}$	2.23	cm ²
<input type="checkbox"/> Benutzerdefinierte Mindestbewehrung	erf $A_{s,\text{mindef}}$	9.00	cm ²
<input type="checkbox"/> Erforderliche Bewehrung	erf A_s	21.41	cm ²

Erforderliche Bewehrung

Auch in der Maske 3.1 **Erforderliche Bewehrung querschnittsweise** steht das Kontrollfeld **Alle Lastfälle** zur Verfügung. Wird dieses angehakt, so erscheint in der oberen Tabelle für jeden Lastfall querschnittsweise die erforderliche Bewehrung.

3.1 Erforderliche Bewehrung querschnittsweise

Quersch. Nr.	A	B	C	D	E	F	G
	Bewehrung	Stab Nr.	Stelle x [m]	LF / LG LK	Bewehrungs fläche	Einheit	Fehlermeldung bzw. Hinweis
6	Kreis 50						
	A _s	1	6.200	LG2	2.23	cm ²	15)
6	Kreis 50						
	A _s	1	0.000	LG3	1.50	cm ²	15)
6	Kreis 50						
	A _s	1	6.200	LG4	2.05	cm ²	15)
1	Rechteck 40/45						
	A _s	6	0.000	LG2	2.36	cm ²	15)
1	Rechteck 40/45						
	A _s	6	0.000	LG3	5.31	cm ²	
1	Rechteck 40/45						
	A _s	6	0.000	LG4	5.62	cm ²	

Anzeigen der Ergebnisse aller berechneten Lastfallgruppen

Die oben abgebildete Tabelle zeigt, dass vom Programm ein Kreis- und ein Rechteckquerschnitt untersucht wurden. Der Querschnitt „Kreis 50“ wird im Stab Nr. 1 verwendet, der Querschnitt „Rechteck 40/45“ im Stab Nr. 6. Dies wird in Spalte [B] ersichtlich. Zur Bemessung wurden in Maske 1.1 **Basisangaben** die Lastfallgruppen LG2, LG3 und LG4 ausgewählt.

Für jede der drei Lastfallgruppen wird eine Zeile mit der jeweils erforderlichen Bewehrung ausgegeben. Diese Bewehrung ist in Spalte [E] zu finden.

Hier ist nun 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

Quersch. Nr.	A	B	C	D	E	F	G
	Bewehrung	Stab Nr.	Stelle x [m]	LF / LG LK	Bewehrungs fläche	Einheit	Fehlermeldung bzw. Hinweis
6	Kreis 50						
	A _s	1	6.200	LG2	2.23	cm ²	15)
1	Rechteck 40/45						
	A _s	6	0.000	LG4	5.62	cm ²	

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 4.6 ab Seite 48.

5.4.3 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 5.4.2 beschriebenen Angaben zu finden.

RF-BETON Stützen - [Beispiel 10 - Randstütze (Gesamtsystem)]

Datei Einstellungen Hilfe

FA1

3.2 Erforderliche Bewehrung stabweise

Stab Nr.	A	B	C	D	E	F	G
	Bewehrung	Stelle x [m]	LF / LG LK		Bewehrungs Fläche	Einheit	Fehlermeldung bzw. Hinweis
6	Rechteck 40/45						
	Länge	6.200	LG2	A _s	21.41	cm ²	
	Querkraft	-	-	a _{zw}	6.54	cm ² /m	

Rechteck 40/45
 Beton : Dehnung
 Bewehrung : Dehnung
 x: 6.200 m

Zwischenergebnisse Rechteck 40/45 - LG2

Maßgebende Belastung

Belastung		LG2
Maßgebende Schnittgröße		max M _y
An Stelle	x	6.200 m
Normalkraft	N	-646.190 kN
Moment um die y-Achse	M _y	59.759 kNm
Moment um die z-Achse	M _z	0.000 kNm

Ersatzlänge nach 8.6.2 (4)

Ersatzlänge um die y-Achse	l _{0,y}	13.020 m
Systemlänge	l _{01,y}	6.200 m
Verhältnis	β _y	2.100
Ersatzlänge um die z-Achse	l _{0,z}	6.200 m
Systemlänge	l _{01,z}	6.200 m
Verhältnis	β _z	1.000



Schlankheit nach 8.6.3 (2)

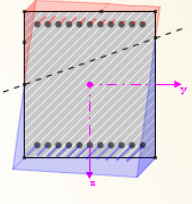
Schlankheit um die y-Achse	λ _y	100.228
Ersatzlänge	l _{0,y}	13.020 m
Trägheitsradius	i _y	13.0 cm

☐ Alle Lastfälle

Berechnung Kontrolle Grafik OK Abbrechen

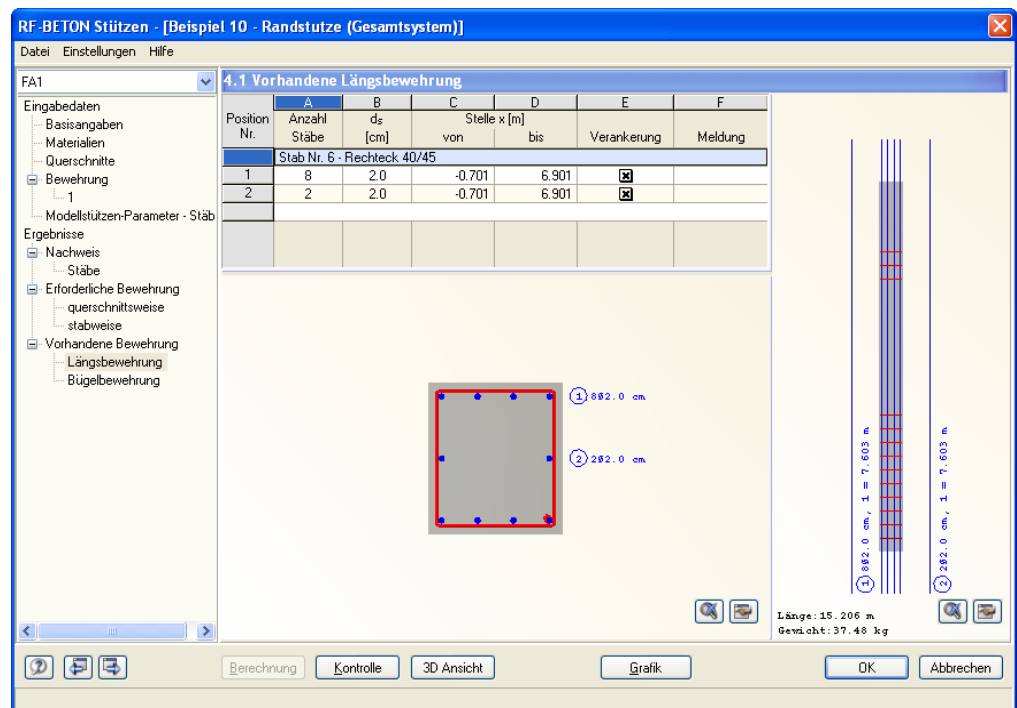
Bewehrung Max : 4.91 [%]
 Min : -2.65 [%]
 Beton Max : 5.75 [%]
 Min : -3.50 [%]
 Beton / Stahl 1.00

Beton: 
 Stahl: 



Maske 3.2 Erforderliche Bewehrung stabweise

5.4.4 Maske 4.1 Vorhandene Längsbewehrung



Maske 4.1 *Vorhandene Längsbewehrung*

In dieser Maske kann die vom Programm ermittelte Längsbewehrung verändert werden. 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 Positionsnummer befindet sich in der ersten, grau hinterlegten Spalte dieser Tabelle. In der Spalte [A] schließt sich die Anzahl der Stäbe an, die diese Position enthält. Klickt man in eine Zelle dieser Spalte, so erscheint eine Schaltfläche mit drei Punkten.

4.1 Vorhandene Längsbewehrung						
Position Nr.	A	B	C		E	F
	Anzahl Stäbe	d_s [cm]	Stelle x [m]		Verankerung	Meldung
			von	bis		
Stab Nr. 6 - Rechteck 40/45						
1	8 ...	2.0	-0.701	6.901	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	2	2.0	-0.701	6.901	<input checked="" type="checkbox"/>	

Vorhandene Positionen einer Stütze

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

Die Spalte [B] enthält in jeder Zelle eine Liste, aus der ein anderer Stabdurchmesser d_s für die aktuelle Position ausgewählt werden kann.

4.1 Vorhandene Längsbewehrung						
Position Nr.	A	B	C		E	F
	Anzahl Stäbe	d_s [cm]	Stelle x [m] von	bis	Verankerung	Meldung
Stab Nr. 6 - Rechteck 40/45						
1	8	2.0	-0.701	6.901	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	2	0.8	-0.701	6.901	<input checked="" type="checkbox"/>	
		1.0				
		1.2				
		1.4				
		1.6				
		2.0				
		2.5				
		2.6				
		2.8				

Ändern des Stabdurchmessers einer Position

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

In der vorletzten Spalte [E] **Verankerung** ist ein Kontrollfeld zu finden. Beim Aktivieren mit der linken Maustaste erscheint der bereits erwähnte Dialog **Längsbewehrung bearbeiten**.

Längsbewehrung bearbeiten | Stab Nr. 6, Position Nr. 1

Nachweis
☒ Bewehrungsstäbe statisch wirksam

Durchmesser für Bewehrung
D: 2.0 [cm]

Bewehrungsanfang / -ende
x-Stelle von: 0.000 [m] Länge ohne Verankerung: 6.200 [m]
bis: 6.200 [m] Länge mit Verankerung: 7.953 [m]
Länge: 6.200 [m] Gesamtlänge: 13.628 [m]

Verankerungen

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

Verankerungslänge:			Biegerollendurchmesser
I-1	I-2	gesamt	d-br
Anfang: 0.877	0.000	0.877 [m]	0.000 [m]
Ende: 0.877	0.000	0.877 [m]	0.000 [m]

Position der Bewehrungsstäbe
Anzahl: 8

Nr.	Koordinaten		Hakendrehung
	y [cm]	z [cm]	β [°]
1	16.0	18.5	-90.000
2	5.3	18.5	180.000
3	-5.3	18.5	180.000
4	-16.0	18.5	90.000
5	16.0	-18.5	-90.000
6	5.3	-18.5	0.000

Rechteck 40/45

Gerade

Gerade

OK

Abbrechen

Dialog zum Bearbeiten der vorhandenen Längsbewehrung

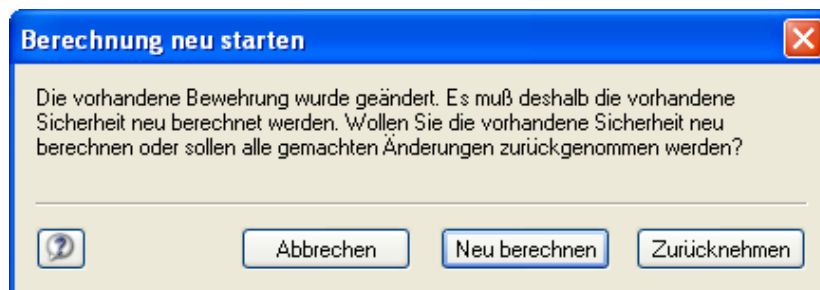
Im Abschnitt **Stützenanfang/-ende** links oben können die x-Stellen für den Stützenanfang und das Stützenende über zwei Drehfelder verändert werden.

Im Abschnitt **Durchmesser für 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. Der Benutzer kann aber auch bestimmte Positionen für den Nachweis der vorhandenen Sicherheit deaktivieren, indem er den Haken im Kontrollfeld **Bewehrungsstäbe statisch wirksam** entfernt.

Um die Änderungen wirksam werden zu lassen, ist mit [OK] zu bestätigen, um zur aufrufenen Maske 4.1 **Vorhandene Längsbewehrung** zurückzukehren.

Wird nun versucht, diese Maske zu verlassen, erscheint folgende Meldung:



Dialog *Berechnung neu starten*

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

Über [Zurücknehmen] werden sämtliche Veränderungen, die im Dialog **Längsbewehrung bearbeiten** gemacht wurden, zurückgenommen.

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

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

Verankerungen

Verankerungsart		Verbund	
Start:	Ohne Verankerung	mäßig	
Ende:	Ohne Verankerung	mäßig	

Länge der Verankerung				Biegerollendurchmesser d-br
I-1	I-2	I-3	gesamt	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 [m]
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 [m]
Gesamtlänge:			49.600 [m]	Gesamtgewicht: 122.26 [kg]

Abschnitt *Verankerungen*

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

Ohne Verankerung ▼

- Ohne Verankerung
- Gerade
- Haken
- Winkelhaken
- Gerade mit Stab
- Haken mit Stab
- Gerade mit zwei Stäben
- Übergreifungsstoß

Verankerungsart

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

Letztendlich kann sich in diesem Dialog die Lage der vorhandenen Bewehrungsstäbe angepasst werden. Im Abschnitt **Position der Bewehrungsstäbe** können in einer Tabelle die y- und z-Koordinaten eines jeden einzelnen Bewehrungsstabes sowie seine Drehung um die Längsachse abgeändert werden.

Position der Bewehrungsstäbe

Anzahl: 8

Stab-Koordinaten und Hakenverdrehung:

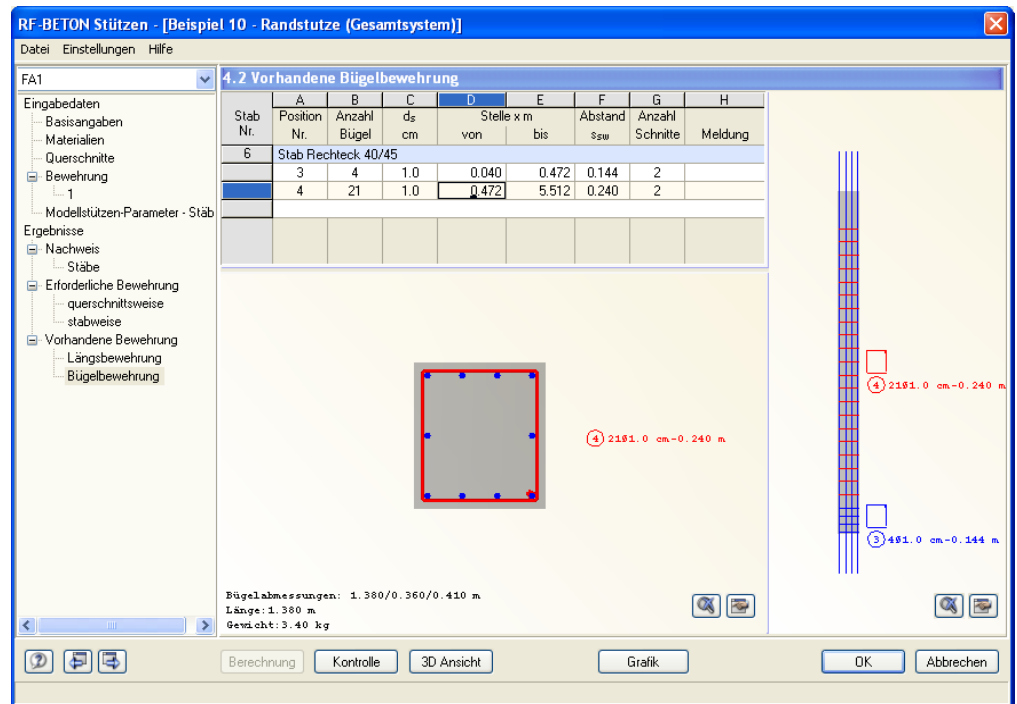
Nr.	Koordinaten		Hakendrehung
	y [cm]	z [cm]	β [°]
1	16.0	18.5	0.000
2	5.3	18.5	0.000
3	-5.3	18.5	0.000
4	-16.0	18.5	0.000
5	16.0	-18.5	0.000
6	5.3	-18.5	0.000

Rechteck 40/45

Abschnitt **Position der Bewehrungsstäbe**

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.

5.4.5 Maske 4.2 Vorhandene Bügelbewehrung



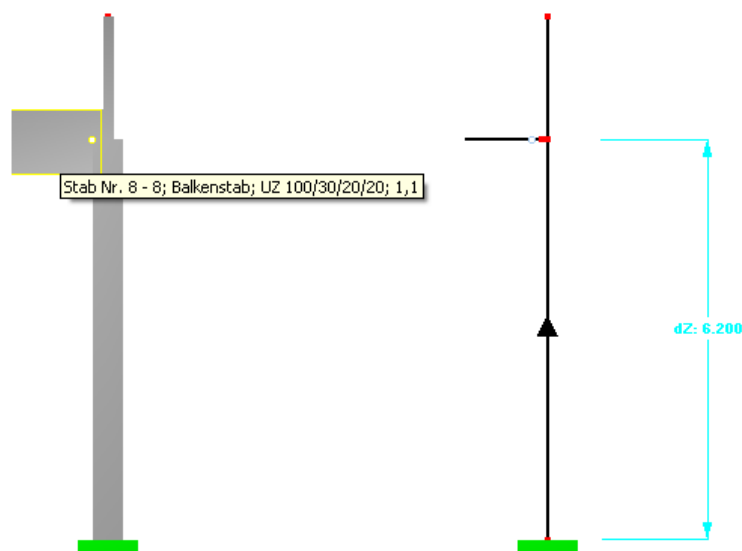
Maske 4.2 Vorhandene Bügelbewehrung

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

Eine Position wird durch die Anzahl der Bügel (Spalte [B]), durch den Bügeldurchmesser d_s (Spalte [C]), den Bügelabstand s_{sw} (Spalte [F]) und die Schnittigkeit (Spalte [G]) definiert.

Besondere Bedeutung kommen den Spalten [D] und [E] **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.

Diese Bügelanordnung lässt sich anhand folgenden Beispiels erklären.

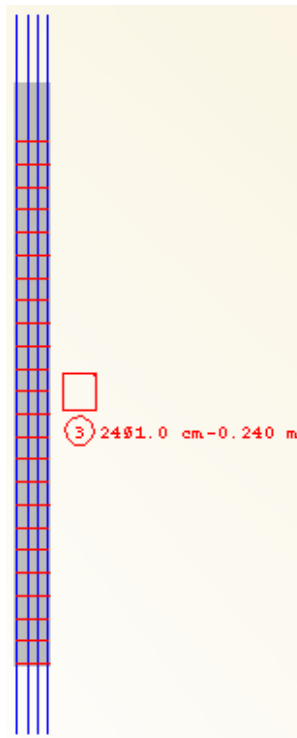


Darstellung einer Stütze im Rendering und im Schwerelinienmodell

An die zur Bemessung ausgewählte Stütze schließt links ein Balken an. Bügel werden deshalb nur vom Stützenanfang (Auflager) bis zur Unterkante der 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 kommt dabei in einem Abstand zum Liegen, 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 dies nicht sein kann, wird der letzte Bügel wieder zurückgenommen. Es ergibt sich folgende Bügelverteilung:



Darstellung der Bügelverteilung

Auf die Bügelverteilung kann bereits in der Eingabemaske 1.5 *Modellstützen-Parameter* Einfluss genommen werden.

RF-BETON Stützen - [Brandschutz_Alex]

FA1

Eingabedaten

- Basisangaben
- Materialien
- Querschnitte
- Bewehrung
 - 1
- Stützen - Stäbe

1.5 Stützen - Stäbe

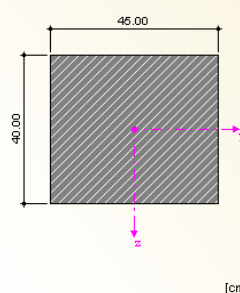
Stab Nr.	Querschnitt	Knickgefährdung um y Achse	Knickgefährdung um z Achse	System verschieblich um y Achse	System verschieblich um z Achse	Systemlänge (m) um y Achse	Systemlänge (m) um z Achse	Ersatzlänge ermitteln um y Achse	Ersatzlänge ermitteln um z Achse
3	1 - Rechteck 45/40	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6.200	6.200	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Konstruktionstyp: ☒ Monolithisch ☐ Aus Fertigteilen

Einstellungen für Stab Nr. 3

Ermitteltes Verhältnis	β_z	1.490
Ersatzlänge	$l_{0,z}$	4.470 m
Slankheit		
<input type="checkbox"/> um die y-Achse	λ_y	100.228
<input type="checkbox"/> um die z-Achse	λ_z	53.694
Stützenabschluss		
<input type="checkbox"/> am Knoten	Nr.	6
<input type="checkbox"/> Bügelabstand reduzieren		<input checked="" type="checkbox"/>
Auflager	Nr.	2
<input type="checkbox"/> am Knoten	Nr.	7
<input type="checkbox"/> Bügelabstand reduzieren		<input type="checkbox"/>
Stab	Nr.	13
<input type="checkbox"/> Stab	Nr.	7
Stabhöhe	h	100.000 cm
Kommentar		
<input type="checkbox"/> Eingaben zuordnen Stäben Nr.:		

Rechteck 45/40



[cm]

Berechnung Kontrolle Grafik OK Abbrechen

Maske 1.5 Modellstützen-Parameter

Wird in der oben abgebildeten Tabelle für den entsprechenden Stab am 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. Dies funktioniert aber nur, wenn sich die vorhandene Bewehrung aus der Mindestbewehrung ergeben hat.

Damit erhält die Bügelbewehrung eine zusätzliche Position im auflagernahen Bereich:

RF-BETON Stützen - [Beispiel 10 - Randstütze (Gesamtsystem)]

FA1

Eingabedaten

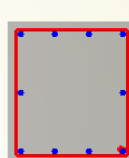
- Basisangaben
- Materialien
- Querschnitte
- Bewehrung
 - 1
- Modellstützen-Parameter - Stab

Ergebnisse

- Nachweis
 - Stäbe
- Erforderliche Bewehrung
 - querschnittsweise
 - stabweise
- Vorhandene Bewehrung
 - Längsbewehrung
 - Bügelbewehrung

4.2 Vorhandene Bügelbewehrung

Stab Nr.	Position Nr.	Anzahl Bügel	d_z cm	Stelle x m von	Stelle x m bis	Abstand s_{Bw}	Anzahl Schnitte	Meldung
6	3	4	1.0	0.040	0.472	0.144	2	
	4	21	1.0	0.472	5.512	0.240	2	



Bügelabmessungen: 1.380/0.360/0.410 m
Länge: 1.380 m
Gewicht: 3.40 kg

Berechnung Kontrolle 3D Ansicht Grafik OK Abbrechen

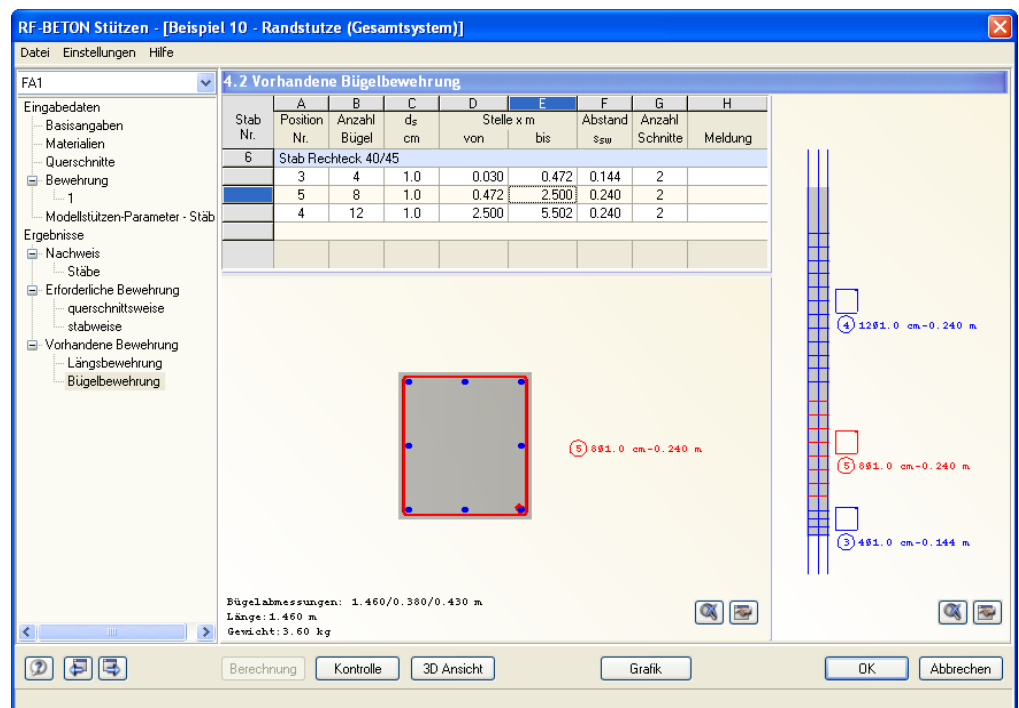
Maske 4.1 Vorhandene Bügelbewehrung

In den Spalten [D] und [E] ist zu sehen, dass das Ende des Verlegebereichs für Position 3 an der selben **Stelle x** ist wie der Anfang des Verlegebereichs der Position 4.

D	E
Stelle x m	
von	bis
0.040	0.472
0.472	5.512

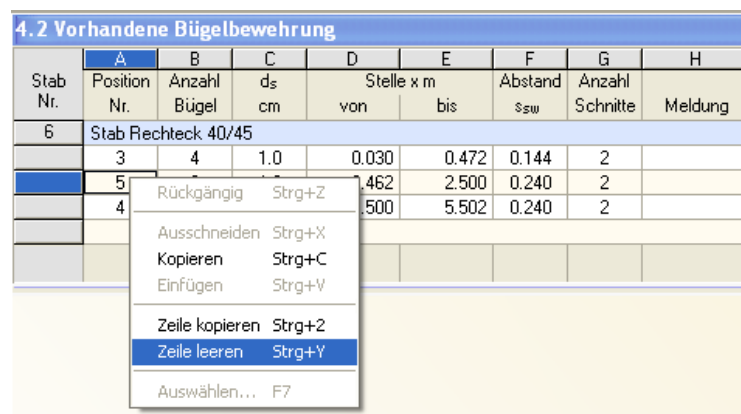
Anfang und Ende des Verlegebereichs

Ändert man nun den Anfang des Verlegebereichs der Position 4 von 0.472 auf 2.50 ab, so wird der Zwischenbereich mit einer weiteren Position (Nr. 5) gefüllt.



Maske 4.2 **Vorhandene Bügelbewehrung**

Um diese Änderung wieder rückgängig zu machen, kann man beispielsweise mit der rechten Maustaste in diese Zeile klicken und das Kontextmenü aufrufen.



Kontextmenü zum Entfernen einer Position

Mit der Option **Zeile leeren** verschwindet die Position 5 wieder und der Verlegebereich der Position 3 grenzt wieder an die Position 4.

Über die Schaltfläche [Bearbeiten] kann der Benutzer verschiedene Veränderungen einer Position vornehmen.



Schaltfläche [Bearbeiten]

Im folgenden Dialog können nicht nur die **x-Stellen**, sondern auch **Abstand**, **Durchmesser** und **Schnitte** der gewählten Bügelbewehrung angepasst werden.

Bügelbewehrung bearbeiten | Stab Nr. 6, Position Nr. 3

Bereich		Bügelabmessungen	
x-Stelle von:	0.000 [m]	Anfang	Ende
bis	6.200 [m]	Höhe:	43.0 43.0 [cm]
Länge:	6.200 [m]	Breite:	38.0 38.0 [cm]
		Haken:	41.3 [cm]

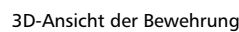
Bügel-Parameter

Abstand:	0.144 [m]	Anzahl:	4
Durchmesser	1.0 [cm]	Gesamtgewicht:	3.60 [kg]
Schnitte:	2		

OK Abbrechen

Dialog *Bügelbewehrung bearbeiten*

In jeder der Ausgabemasken 4.1 und 4.2 **Vorhandene Bewehrung** wird am unteren Rand die Schaltfläche [3D Ansicht] angeboten. Über diese wird ein neues Fenster aufgerufen, in dem Längs- und Querkraftbewehrung in dreidimensionaler Darstellung zu sehen sind.



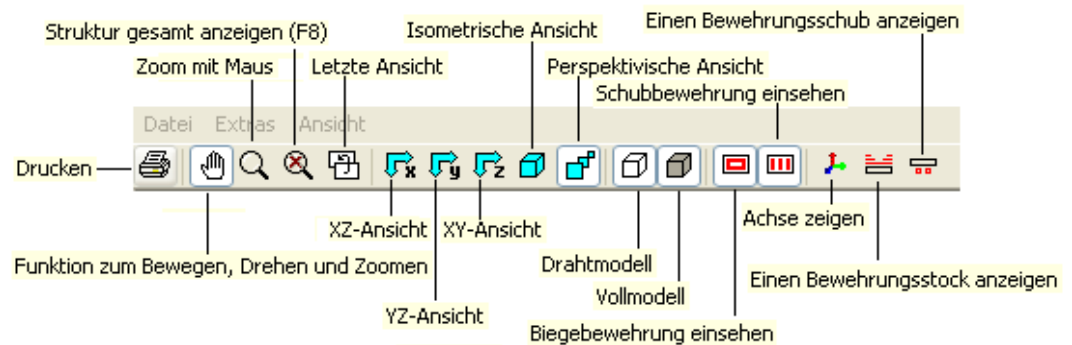
Datei Extras Ansicht

Über die Schaltfläche [Drucken] wird folgender Dialog aufgerufen:



Da dieser Standarddialog aus RSTAB bekannt ist, wird nur auf die beiden Möglichkeiten im Abschnitt **Grafikbild** links oben hingewiesen. Hier kann man entscheiden, ob die 3D-Grafik sofort ausgedruckt oder ins Ausdruckprotokoll übernommen werden soll.

Für jede der Schaltflächen im 3D-Ansichtfenster gibt es eine kontextsensitive Hilfe, die erscheint, wenn man mit der Maus eine Weile über einer Schaltfläche verweilt.



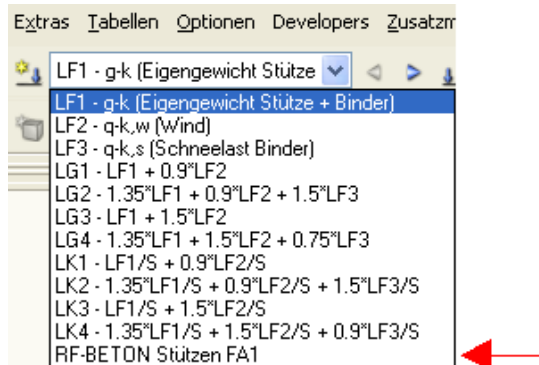
Kontextsensitive Hilfe

Am einfachsten probiert man diese Schaltflächen aus und beobachtet die Veränderungen in der grafischen Darstellung.

6. Ergebnisauswertung

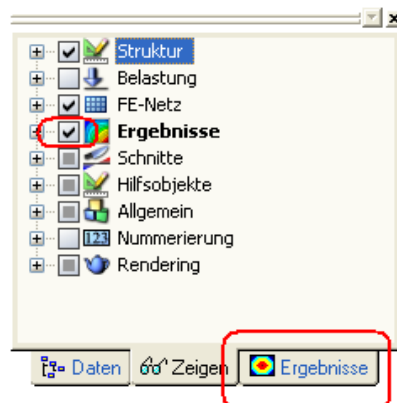
6.1 Darstellen der Ergebnisse in RSTAB

Um die Ergebnisse als Verlauf über den ausgewählten Stützen darzustellen, muss zunächst aus der Liste der Bemessungsfall aus **BETON Stützen** ausgewählt werden.



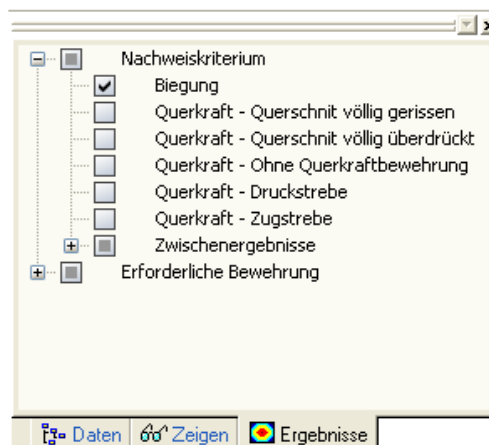
Auswahl des Bemessungsfalls von BETON Stützen

Zudem ist sicherzustellen, dass im **Zeigen**-Navigator ein Haken zur Darstellung der Ergebnisse und somit des **Ergebnisse**-Navigators gesetzt ist.



Darstellen der Ergebnisse

Anschließend ist der **Ergebnisse**-Navigator zu aktivieren.



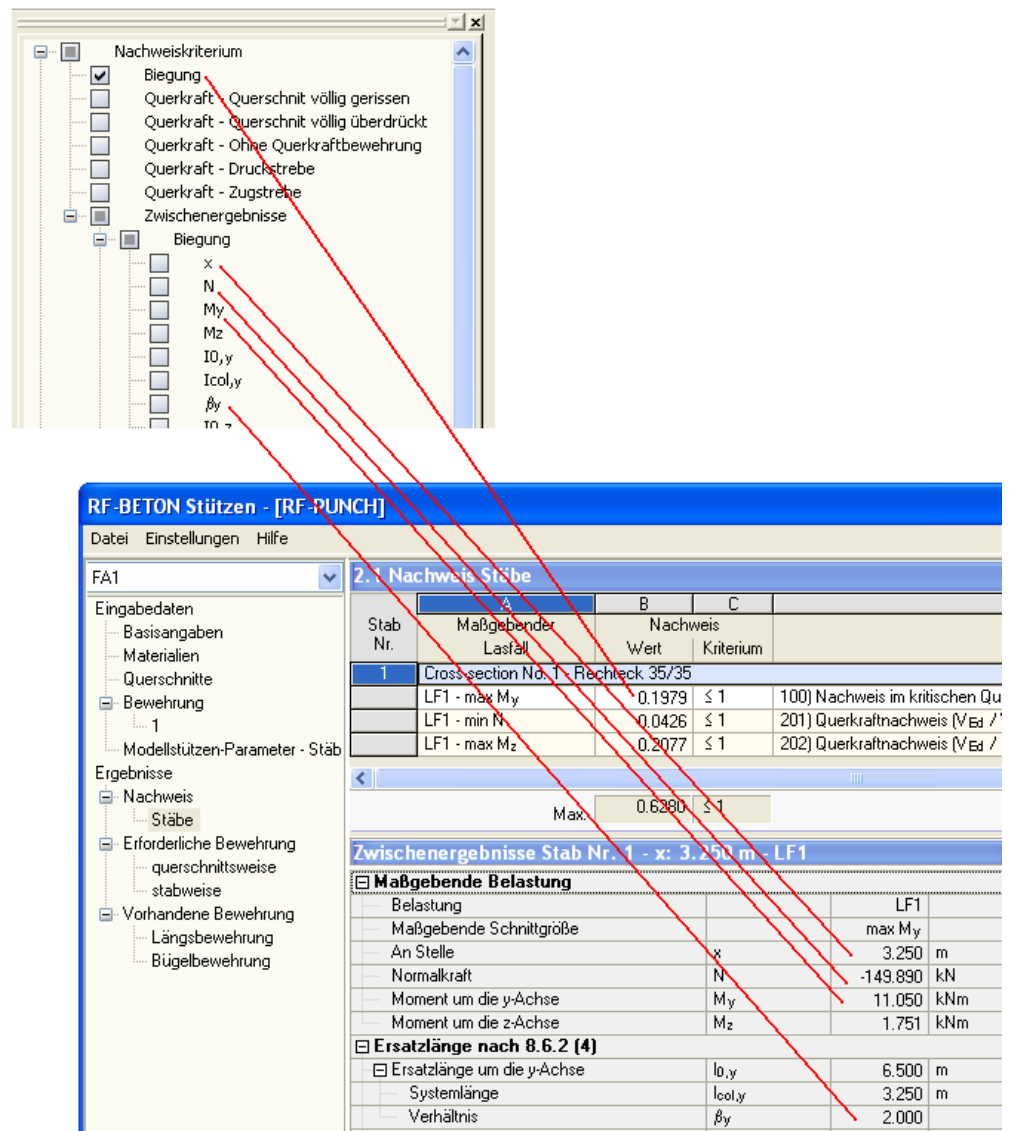
Ergebnisse-Navigator

Auf den obersten Darstellungsebenen dieses Navigators existieren die Haupteinträge **Nachweiskriterium** und **Erforderliche Bewehrung**.

Unter dem **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.



Nachweiskriterium

- ☒ Biegung
 - ☐ Querkraft - Querschnitt völlig gerissen
 - ☐ Querkraft - Querschnitt völlig überdrückt
 - ☐ Querkraft - Ohne Querkraftbewehrung
 - ☐ Querkraft - Druckstrebe
 - ☐ Querkraft - Zugstrebe
 - ☐ Zwischenergebnisse
 - ☐ Biegung
 - ☐ x
 - ☐ N
 - ☐ My
 - ☐ Mz
 - ☐ I_{0,y}
 - ☐ I_{col,y}
 - ☐ β_y
 - ☐ η₀

RF-BETON Stützen - [RF-PUNCH]

Datei Einstellungen Hilfe

FA1

Eingabedaten

- Basisangaben
- Materialien
- Querschnitte
- ☒ Bewehrung
 - 1
 - Modellstützen-Parameter - Stab

Ergebnisse

- ☒ Nachweis
 - ☒ Stäbe
- ☒ Erforderliche Bewehrung
 - ☐ querschnittsweise
 - ☐ stabweise
- ☒ Vorhandene Bewehrung
 - ☐ Längsbewehrung
 - ☐ Bügelbewehrung

2.1 Nachweis Stäbe

Stab Nr.	Maßgebender Lastfall	B	Nachweis Wert	C	Kriterium
1	Cross section No. 1 - Rechteck 35/35				
	LF1 - max My		0.1979	≤ 1	100) Nachweis im kritischen Qu
	LF1 - min N		0.0426	≤ 1	201) Querkraftnachweis (V _{Ed} /
	LF1 - max Mz		0.2077	≤ 1	202) Querkraftnachweis (V _{Ed} /

Max. 0.6280 ≤ 1

Zwischenergebnisse Stab Nr. 1 - x: 3.250 m - LF1

☒ **Maßgebende Belastung**

Belastung		LF1
Maßgebende Schnittgröße		max My
An Stelle	x	3.250 m
Normalkraft	N	-149.890 kN
Moment um die y-Achse	M _y	11.050 kNm
Moment um die z-Achse	M _z	1.751 kNm

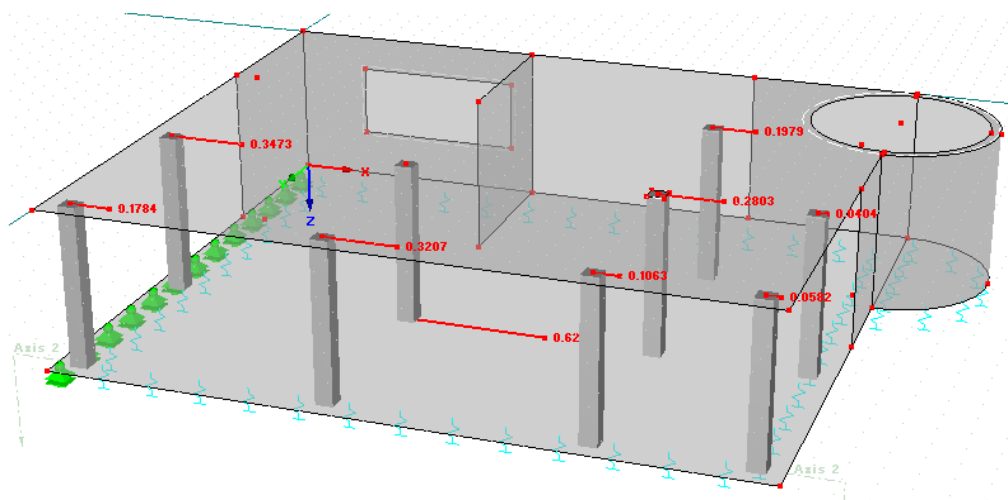
☒ **Ersatzlänge nach 8.6.2 (4)**

Ersatzlänge um die y-Achse	l _{0,y}	6.500 m
Systemlänge	l _{00,y}	3.250 m
Verhältnis	β _y	2.000

Darstellung des Nachweiskriteriums und der Zwischenergebnisse

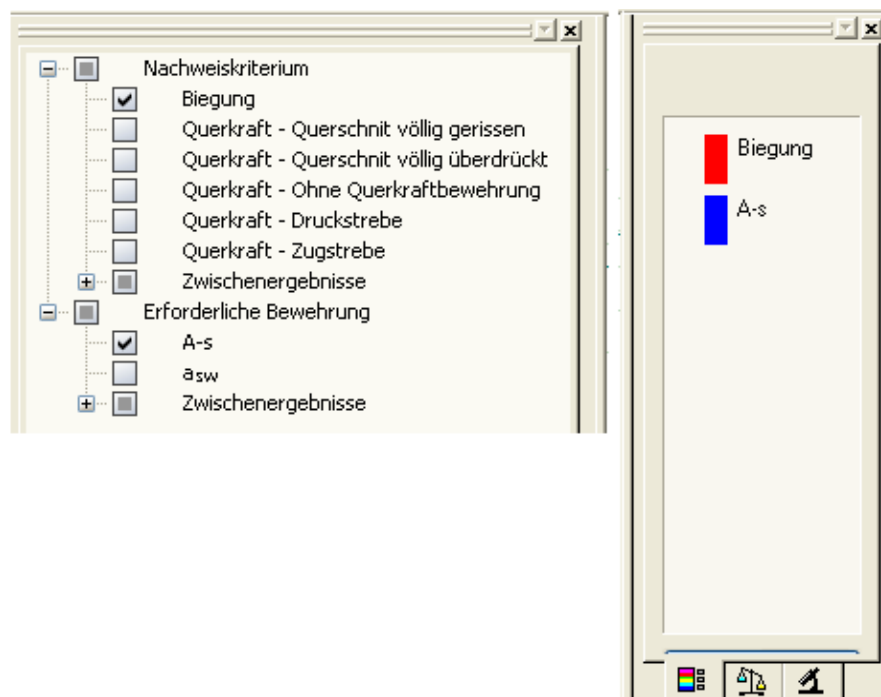
Unter dem Eintrag **Zwischenergebnisse** finden sich getrennt für die einzelnen Nachweise die gleichen Werte wie in der Detailtabelle des jeweiligen Nachweises.

In der 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.



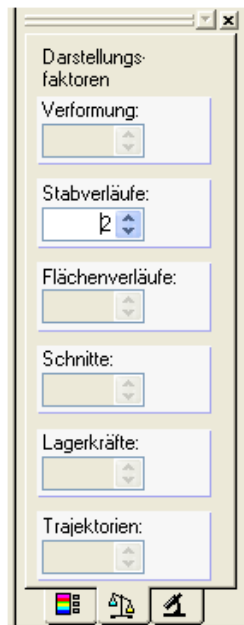
Darstellung des Nachweiskriteriums

Es können auch mehrere Ergebnisarten im Arbeitsbereich von RSTAB dargestellt werden. Dem Ergebnis, das man im Navigator durch Anhaken zur Darstellung auswählt, wird dann im Steuerpanel eine Farbe zugeordnet.



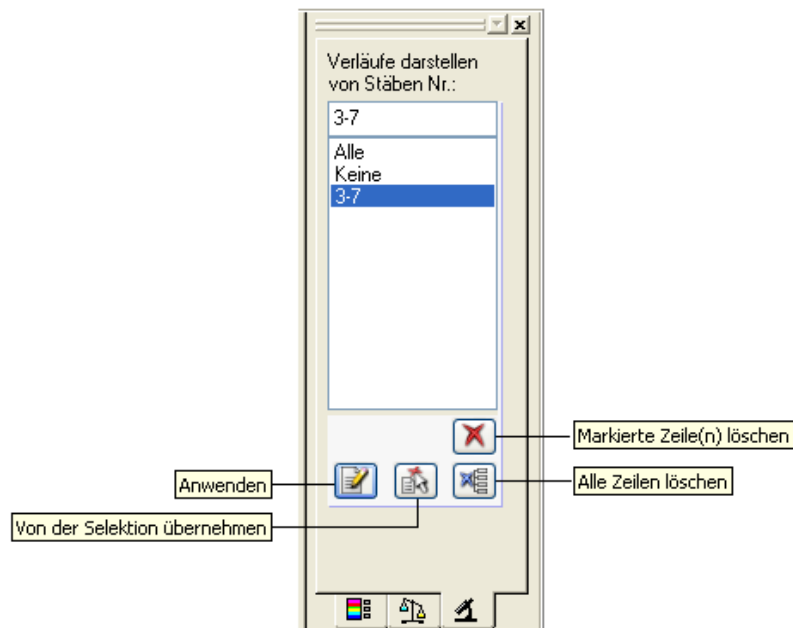
Zusammenhang zwischen *Ergebnisse*-Navigator und Steuerpanel

Gleichzeitig können bis zu acht verschiedene Werte als farbliche Verläufe angezeigt werden. Im mittleren Register des Steuerpanels ist für die **Stabverläufe** ein Drehfeld verfügbar.

Steuerpanel: Register **Faktoren**

Hier kann die Skalierung des grafischen Werteverlaufs angepasst werden.

Im letzten Register des Steuerpanels besteht die Möglichkeit, die Anzahl der dargestellten Stäbe zu reduzieren.

Steuerpanel: Register **Filter**

In das Textfeld am Kopf der Liste können die Nummern der Stäbe eingetragen werden, deren Ergebnisverläufe angezeigt werden sollen. Diese Vorgabe wird über [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 Arbeitsbereich von RSTAB bereits eine oder mehrere Stützen selektiert, so können diese über [Von der Selektion übernehmen] ebenfalls in die Liste übernommen werden.

Mit [Markierte Zeile(n) löschen] und [Alle Zeilen löschen] können eine, beliebig viele bzw. alle vom Benutzer angelegten Zeilen gelöscht werden.

6.2 Ausdrucken

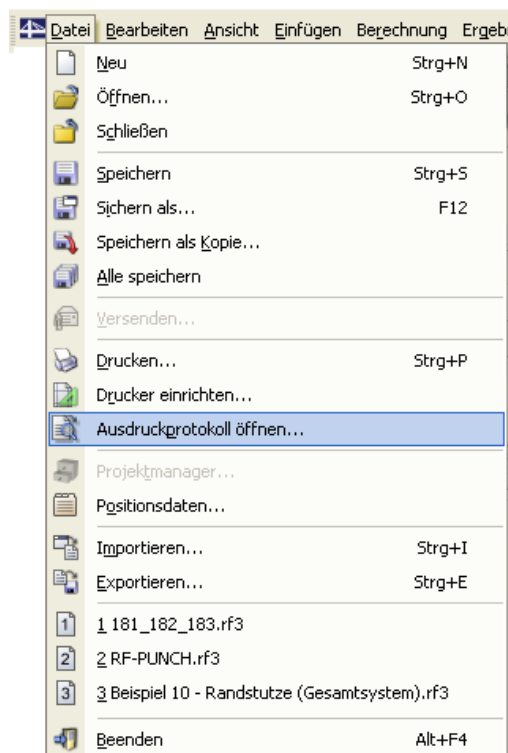
Es gibt drei Möglichkeiten, das Ausdruckprotokoll zu öffnen:

- Schaltfläche [Aktives Ausdruckprotokoll] in der Symbolleiste



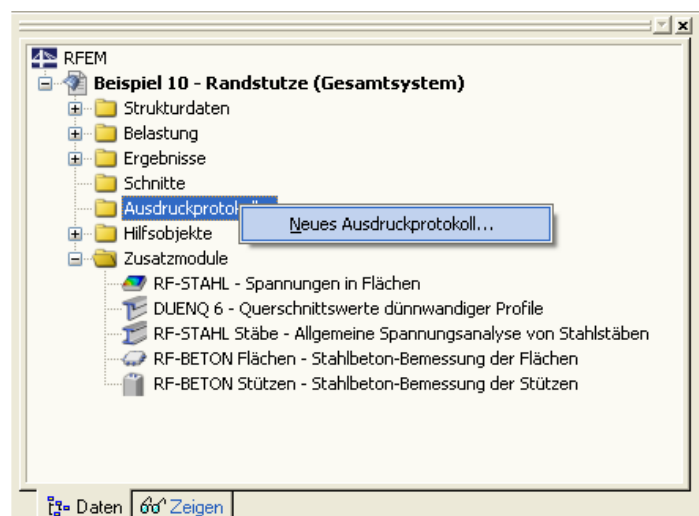
Schaltfläche [Aktives Ausdruckprotokoll]

- Menü **Datei** → **Ausdruckprotokoll öffnen**



Datei → Ausdruckprotokoll öffnen

- Kontextmenü **Ausdruckprotokoll** im **Daten-Navigator**



Kontextmenü im **Daten-Navigator**

Dieses Kontextmenü wird durch einen Klick mit der rechten Maustaste auf den Eintrag **Ausdruckprotokoll** aktiviert. Über die Schaltfläche [Neues Ausdruckprotokoll] wird der folgende Dialog aufgerufen:

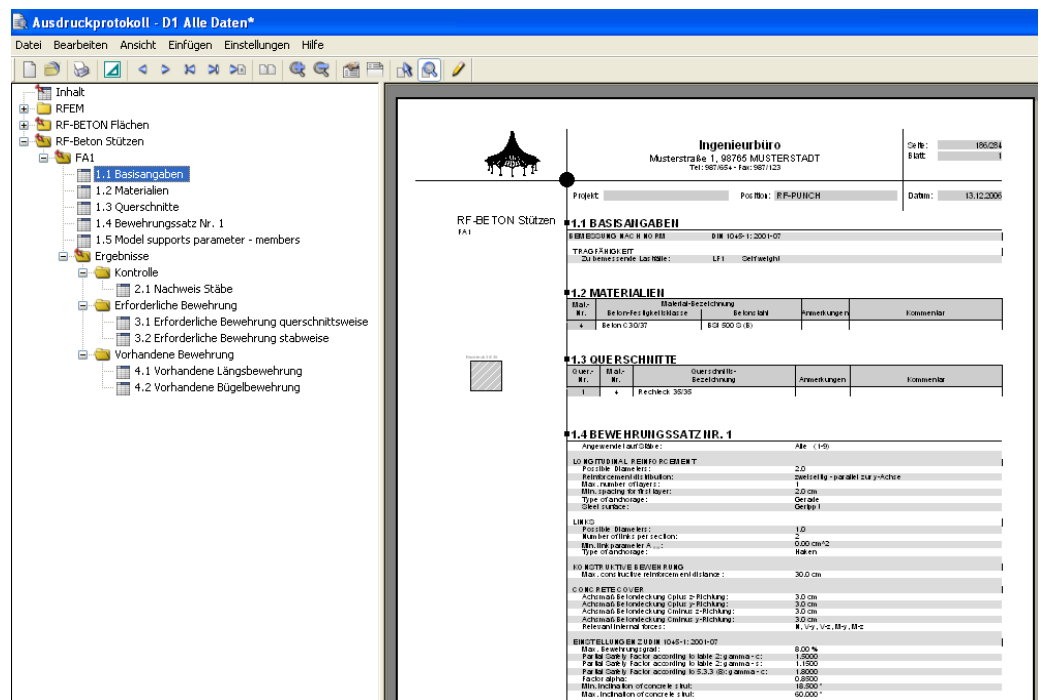


Dialog **Neues Ausdruckprotokoll**

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.

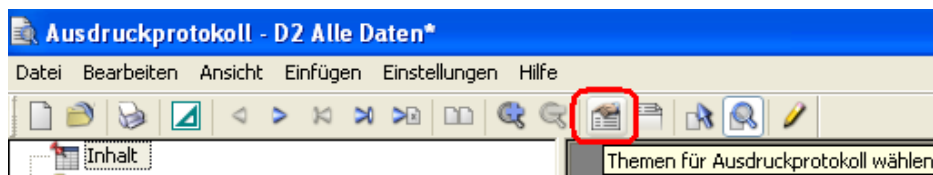
Aus der Liste unter **Voreinstellung übernehmen von Muster** kann ein bestimmtes Musterprotokoll als Vorlage gewählt werden. Die Beschreibung dieser Musterprotokolle finden Sie im RSTAB-Handbuch.

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 wird gemäß folgender Abbildung auf dem Bildschirm dargestellt.



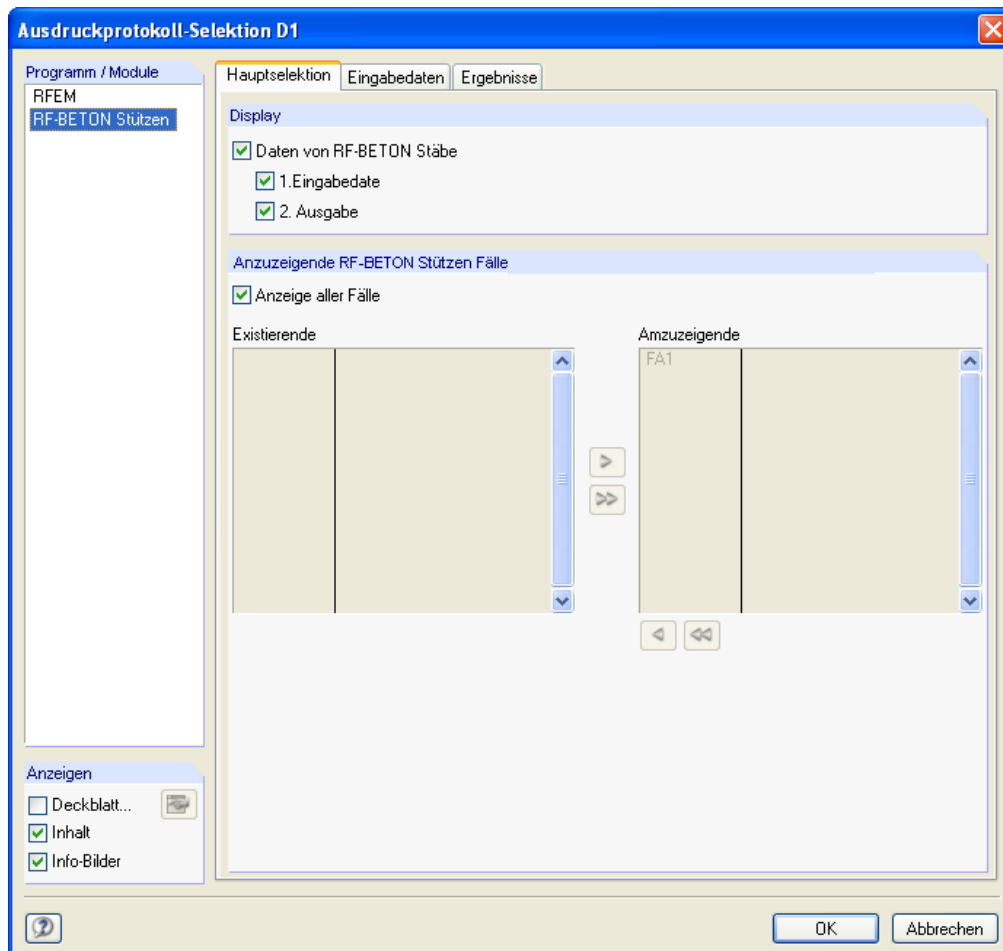
Ausdruckprotokoll

Die allgemeine Funktionsweise dieses Ausdruckprotokolls ist dem Handbuch von RSTAB zu entnehmen. An dieser Stelle sei nur auf die Selektion der zu druckenden Daten hingewiesen, die über die Schaltfläche [Themen für Ausdruckprotokoll wählen] erreicht werden kann:



Schaltfläche [Themen für Ausdruckprotokoll wählen]

Im sich öffnenden Dialog **Ausdruckprotokoll-Selektion** muss auf der linken Seite zunächst das Modul ausgewählt werden, dessen Ein- bzw. Ausgabedaten ausgedruckt werden sollen.



Dialog **Ausdruckprotokoll-Selektion**, Register **Hauptselektion**

Für das Modul **BETON Stützen** werden die drei Register **Hauptselektion**, **Eingabedaten** und **Ergebnisse** angeboten.

Im oben abgebildeten Register **Hauptselektion** finden sich im Bereich **Anzeigen von** drei Kontrollfelder. Wird das Häkchen von **BETON Stützen - Daten** entfernt, so erscheinen keinerlei Daten aus diesem Modul 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 BETON Stützen - Fälle** kann der Benutzer die Ergebnisse jener Bemessungsfälle auswählen, die er in den Ausdruck aufnehmen möchte.

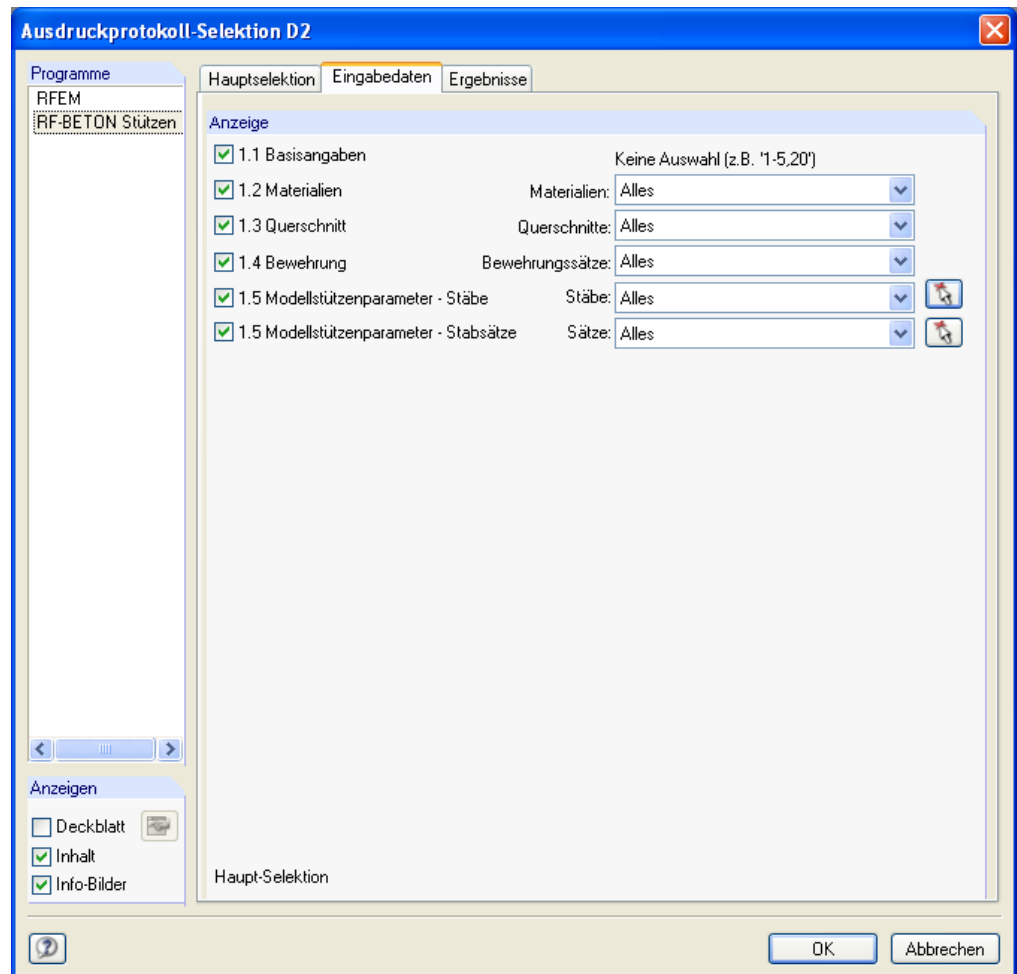
Wird ein Häkchen in das Kontrollfeld **Alle Fälle anzeigen** gesetzt, ist ein Verschieben der vorhandenen Bemessungsfälle aus der linken Tabelle nach rechts in die Tabelle der zur Anzeige

ausgewählten Bemessungsfälle nicht möglich. Anderenfalls können über diese beiden Schaltflächen ein oder mehrere Bemessungsfälle zur Darstellung ausgewählt werden.



Zuweisen von Bemessungsfällen

Wechselt man in das Register **Eingabedaten**, so zeigt sich der Dialog **Ausdruckprotokoll-Selektion** gemäß folgender Abbildung.

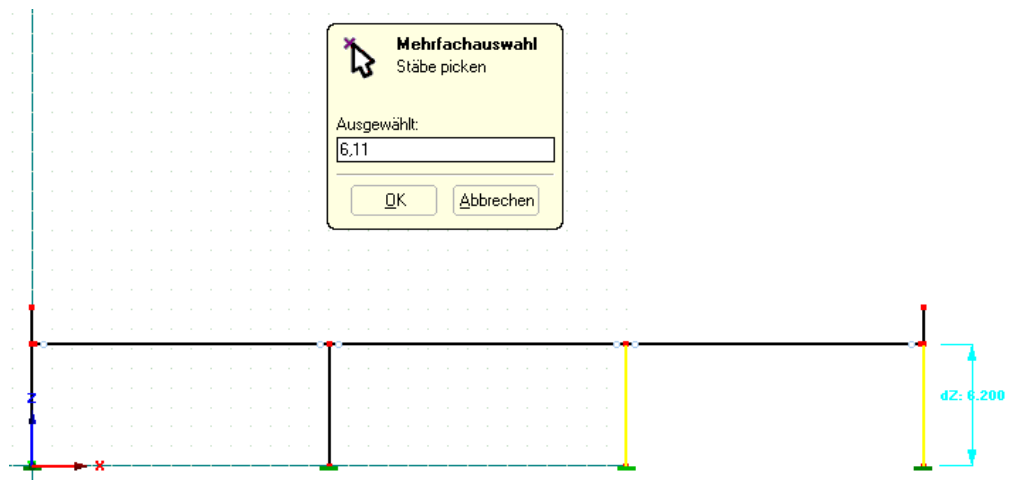


Dialog **Ausdruckprotokoll-Selektion**, Register **Eingabedaten**

In diesem Register wird auf der linken Seite über diverse Kontrollfelder entschieden, welche Eingabedaten aus den einzelnen Masken im Ausdruckprotokoll erscheinen sollen.

Jede der Eingabemasken enthält wiederum Datensätze, die durch eine Nummer identifiziert werden können. So werden beispielsweise in Maske 1.2 **Material** verschiedene Materialien angeführt, die durch die Materialnummer bestimmbar sind. Diese Materialnummer(-n) kann im Eingabefeld der gleichen Zeile eingetragen oder ausgewählt werden. Dadurch erscheinen nur die Materialien mit dieser Nummer im Ausdruckprotokoll.

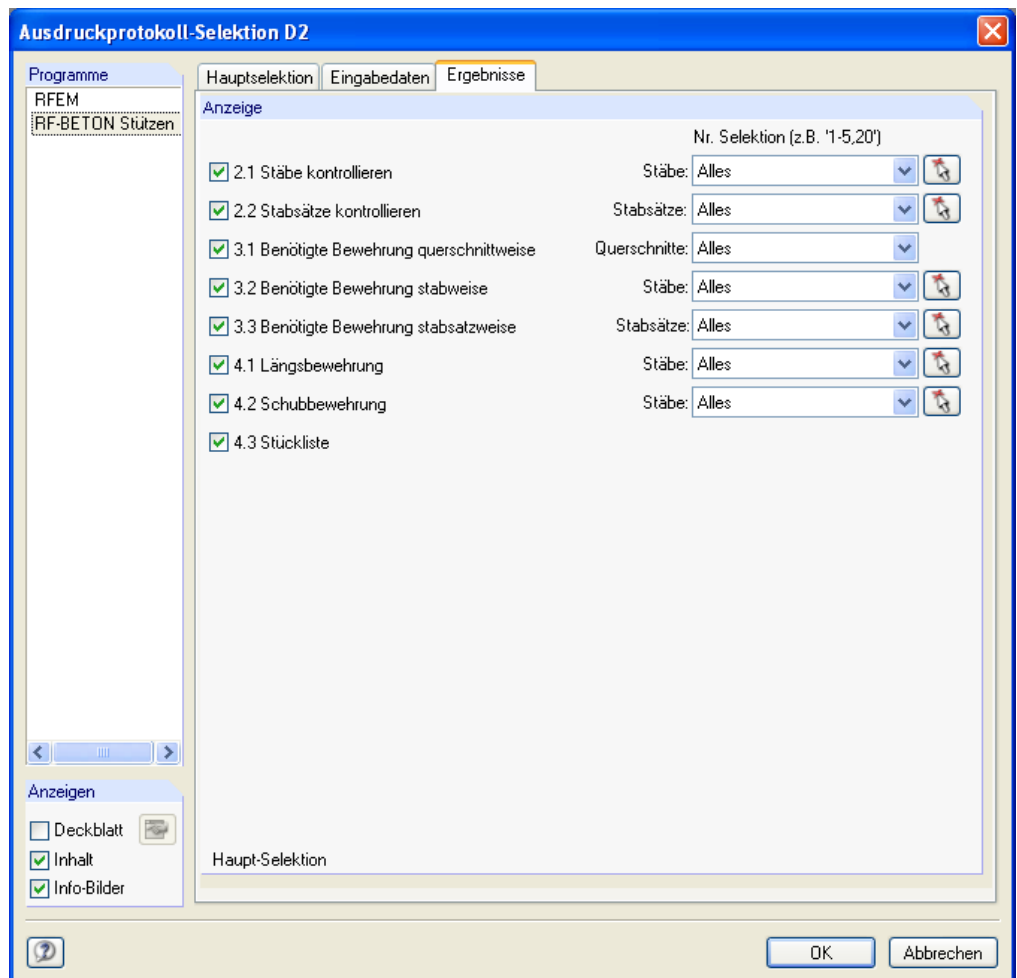
Gleiches gilt für die Auswahl von Querschnittsnummern, den Nummern von Bewehrungssätzen sowie den Nummern von Stäben und Stabsätzen. Stäbe oder Stabsätze können zudem über die [Pick]-Funktion grafisch im Arbeitsbereich von RSTAB ausgewählt werden.



Auswahl der Stäbe für das Ausdruckprotokoll

Die selektierten Stäbe erscheinen zunächst im oben abgebildeten Dialog. Zudem sind sie in der Struktur gelb dargestellt. Nach [OK] werden die Nummer in das Eingabefeld des Dialogs **Ausdruckprotokoll-Selektion** übernommen.

Im letzten Register **Ergebnisse** des Dialogs **Ausdruckprotokoll-Selektion** können Angaben zur Ausgabe der Bemessungsergebnisse gemacht werden.

Dialog **Ausdruckprotokoll-Selektion**, Register **Ergebnisse**

Die Ausgabesteuerung funktioniert so, dass jede mit einem Kontrollfeld versehene Zeile für eine Ausgabemaske steht. Entfernt man den Haken im Kontrollfeld, so erscheint von dieser Ausgabemaske nichts im Ausdruckprotokoll.

Die Ergebnisse sind stab-, stabsatz- oder querschnittsweise präsentiert. Durch Eingabe der Stab-, Stabsatz- oder Querschnittsnummer(n) in das jeweilige Eingabefeld am Zeilenende können die Ergebnisse weiter reduziert werden.

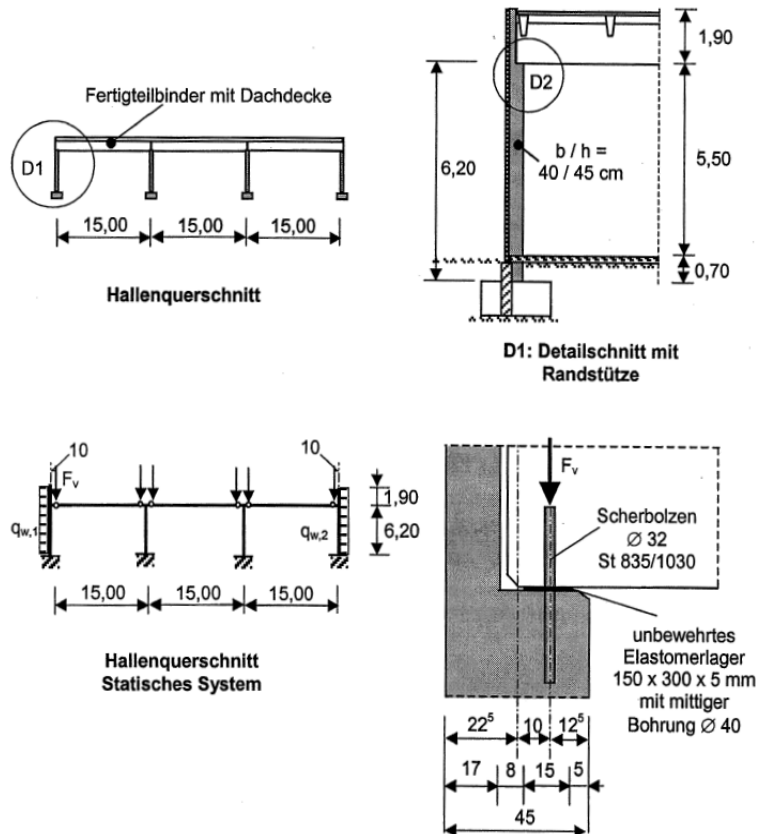
Die Schaltfläche [Pick] ermöglicht die oben beschriebene grafische Auswahl bestimmter Stäbe oder Stabsätze anstatt der Angabe ihrer Nummer.

7. Beispiele

7.1 Randstütze

7.1.1 System und Belastung

Untersucht wird eine Stütze nach DIN 1045-01, die Teil des folgenden Systems ist (vgl. [4], Seite 10-1).

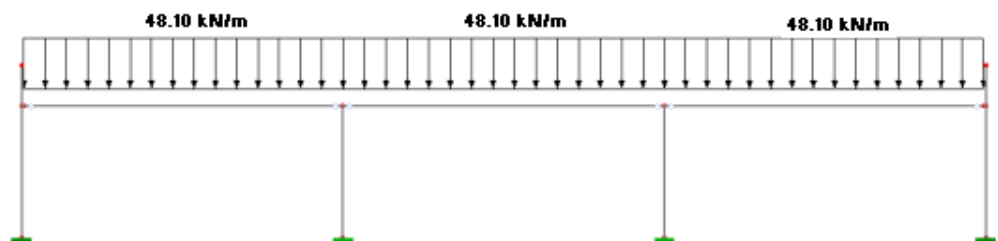


System

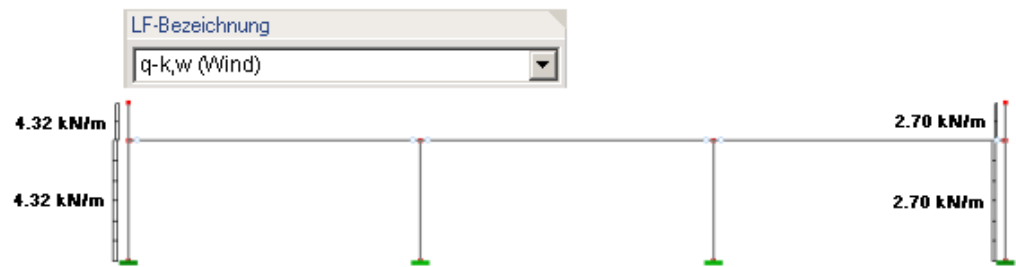
Es wurden folgenden Lasten in RSTAB generiert:

LF-Bezeichnung

g-k (Eigengewicht Stütze + Binder)

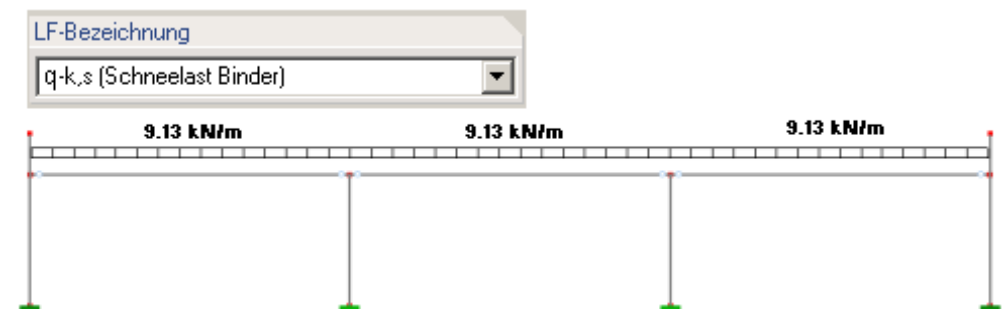


Lastfall 1: g-k (Eigengewicht Stütze + Binder)



Lastfall 2: q-k,w (Wind)

Winddruck und Windsog wurden abweichend zur angegebenen Literatur zu einem Lastfall zusammengefasst.



Lastfall 3: q-k,s (Schneelast Binder)

7.1.2 Bemessungswerte Tragfähigkeit

Die Teilsicherheitsbeiwerte in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit betragen:

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 folgende Lastfallgruppen LG1, LG2, LG3 und LG4 gebildet.

Für diese Lastfallgruppen ergeben sich verschiedene Verläufe der Schnittgrößen N und M_y entlang der Stütze. Wie im Theorieteil 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 Lastfallgruppen LG2, LG3 und LG4 werden deshalb im folgenden Abschnitt die zu untersuchenden Stellen mit einem Pfeil markiert.

1. Grundkombination: Leiteinwirkung Schneelast $q_{k,s}$

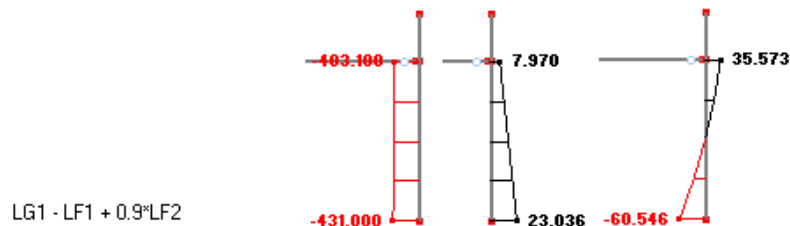
Günstig:

$$g_d = \gamma_G \cdot g_k = 1.0 \cdot g_k$$

$$q_{d,s} = \gamma_{Q,1} \cdot q_{k,s} = 0.0 \cdot q_{k,s} = 0$$

$$q_{d,w} = \sum \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot q_{k,w} = 1.50 \cdot 0.6 \cdot q_{k,w} = 0.9 \cdot q_{k,w}$$

Für die in RSTAB gebildete Lastfallgruppe LG1 ergibt sich folgender Schnittgrößenverlauf:



Stab Nr.	A Knoten Nr.	B Stelle x [m]	C Kräfte [kN]		E Momente [kNm] My
			N	Vz	
6	6	0.000	-431.000	9.630	-19.745
	7	6.200	-403.100	9.630	39.959
	MAX N	6.200	-403.100	9.630	39.959
	MIN N	0.000	-431.000	9.630	-19.745
	MAX Vz	0.000	-431.000	9.630	-19.745
	MIN Vz	0.000	-431.000	9.630	-19.745
	MAX My	6.200	-403.100	9.630	39.959
	MIN My	0.000	-431.000	9.630	-19.745

Ergebnisse LG1

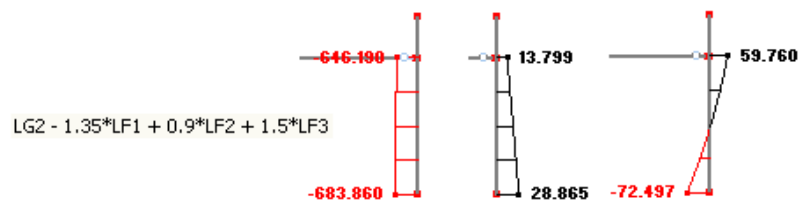
Ungünstig:

$$g_d = \gamma_G \cdot g_k = 1.5 \cdot g_k$$

$$q_{d,s} = \gamma_{Q,1} \cdot q_{k,s} = 1.50 \cdot q_{k,s} = 1.50 \cdot q_{k,s}$$

$$q_{d,w} = \sum \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot q_{k,w} = 1.50 \cdot 0.6 \cdot q_{k,w} = 0.9 \cdot q_{k,w}$$

Für die in RSTAB gebildete Lastfallgruppe LG2 ergibt sich folgender Schnittgrößenverlauf:



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
	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

Diese Stellen der Stütze werden vom Programm untersucht

Ergebnisse LG2

2. Grundkombination: Leiteinwirkung Wind

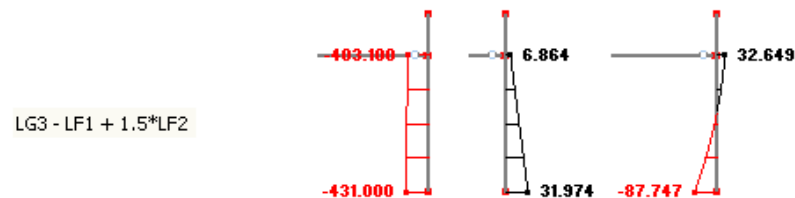
Günstig:

$$g_d = \gamma_G \cdot g_k = 1.0 \cdot g_k$$

$$q_{d,w} = \gamma_{Q,1} \cdot q_{k,w} = 1.50 \cdot q_{k,w} = 1.5 \cdot q_{k,w}$$

$$q_{d,s} = \sum \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot q_{k,s} = 0.0 \cdot 0.5 \cdot q_{k,s} = 0.0$$

Für die in RSTAB gebildete Lastfallgruppe LG3 ergibt sich folgender Schnittgrößenverlauf:



Stab Nr.	A	B	C		D	E
	Knoten Nr.	Stelle x [m]	Kräfte [kN]		Momente [kNm]	
			N	V _z	M _y	
6	6	0.000	-431.000	31.974	-87.747	
	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 V _z	0.000	-431.000	31.974	-87.747	
	MIN V _z	6.200	-403.100	6.864	32.649	
	MAX M _y	6.200	-403.100	6.864	32.649	
	MIN M _y	0.000	-431.000	31.974	-87.747	

Diese Stellen der Stütze werden vom Programm untersucht

Ergebnisse LG3

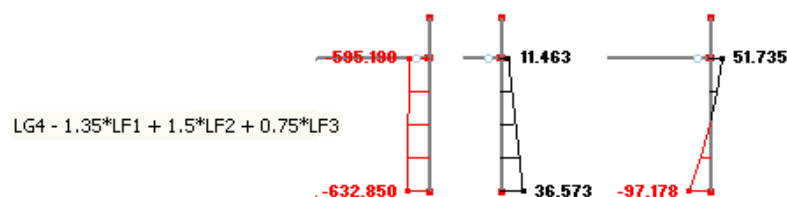
Ungünstig:

$$g_d = \gamma_G \cdot g_k = 1.35 \cdot g_k$$

$$q_{d,w} = \gamma_{Q,1} \cdot q_{k,w} = 1.50 \cdot q_{k,w} = 1.5 \cdot q_{k,w}$$

$$q_{d,s} = \sum \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot q_{k,s} = 1.5 \cdot 0.5 \cdot q_{k,s} = 0.75 \cdot q_{k,s}$$

Für die in RSTAB gebildete Lastfallgruppe LG4 ergibt sich folgender Schnittgrößenverlauf:

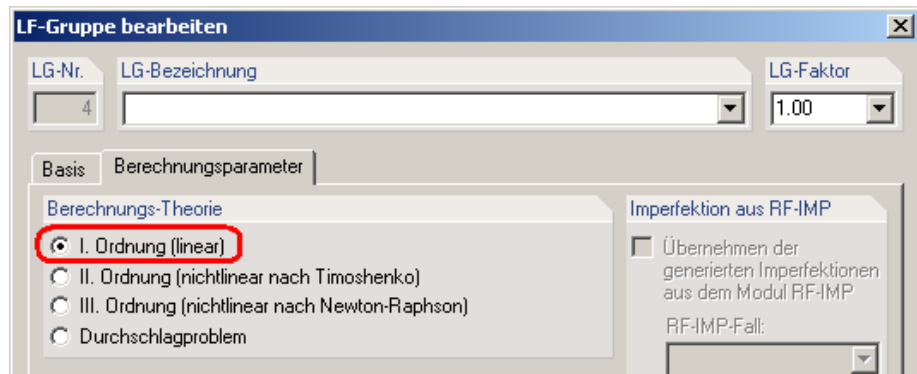


Stab Nr.	A	B	C		D	E
	Knoten Nr.	Stelle x [m]	Kräfte [kN]		Momente [kNm]	
			N	V _z	M _y	
6	6	0.000	-632.850	36.573	-97.177	
	7	6.200	-595.190	11.463	51.734	
	MAX N	6.200	-595.190	11.463	51.734	
	MIN N	0.000	-632.850	36.573	-97.177	
	MAX V _z	0.000	-632.850	36.573	-97.177	
	MIN V _z	6.200	-595.190	11.463	51.734	
	MAX M _y	6.200	-595.190	11.463	51.734	
	MIN M _y	0.000	-632.850	36.573	-97.177	

Diese Stellen der Stütze werden vom Programm untersucht

Ergebnisse LG4

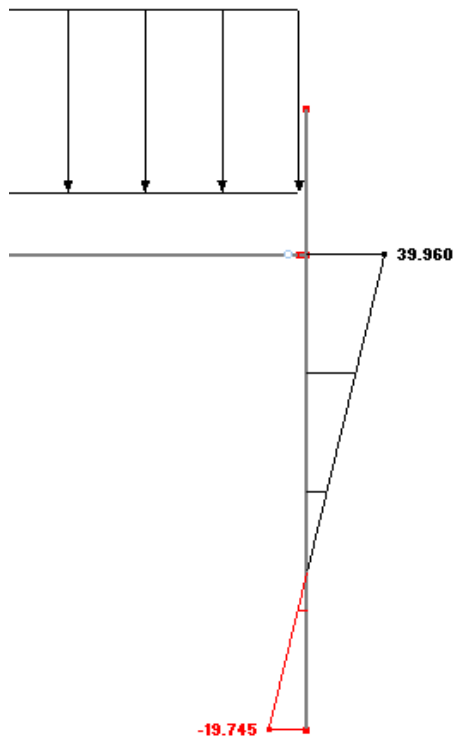
Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass beim Anlegen der Lastfallgruppe darauf geachtet wird, die Option zur Ermittlung der Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung zu wählen.



Berechnungsparameter – Berechnung nach Theorie I. Ordnung

Damit sind die zu bemessenden Lastfallgruppen LG2, LG3 und LG4 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:



Kriecherzeugendes Moment aus LF1

7.1.3 Räumliche Steifigkeit und Stabilität

Die Stabilität in Hallenlängsrichtung ist durch andere Bauteile gesichert. In Hallenquerrichtung handelt es sich um ein verschiebliches Tragwerk im Sinne von DIN 1045-01, 8.6.2 (1).

Die Hallenlängsrichtung verläuft um die z-Achse und die Hallenquerrichtung um die y-Achse der betrachteten Stütze.

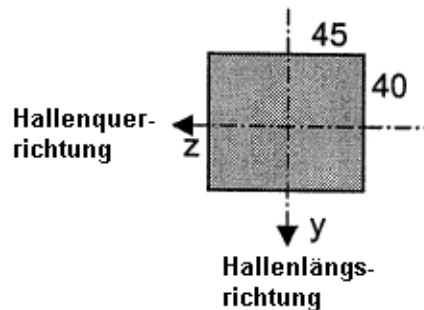
Deshalb werden in der Eingabemaske 1.5 **Modellstützen-Parameter** in folgender Tabelle unter dem Haupteintrag **System** für die jeweilige Richtung folgende Einstellungen getätigt:

Einstellungen für Stab Nr. 6				
Querschnitt			1 - Rechteck 40/45	
<input checked="" type="checkbox"/> Allgemeine Eigenschaften				
<input type="checkbox"/> um die y-Achse				
<input type="checkbox"/>	Knickgefährdung	Knicken,y	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	System verschieblich	Verschieb,y	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	Systemlänge	l _{01,y}	6,200	m
<input type="checkbox"/> um die z-Achse				
<input type="checkbox"/>	Knickgefährdung	Knicken,z	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	System verschieblich	Verschieb,z	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	Systemlänge	l _{01,z}	6,200	m
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge				

Einstellungen zum System

7.1.4 Ersatzlänge und Schlankheit

Ersatzlänge und Schlankheit werden getrennt für die beiden Achsen der Stütze bestimmt.



Achsen der Stütze

Im Gegensatz zur angegebenen Literatur zeigt 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 **Definiertes Verhältnis** einzugeben.

<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge				
<input checked="" type="checkbox"/> um die y-Achse				
<input type="checkbox"/> Verhältnis ermitteln	Ermitt.- β	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> Definiertes Verhältnis	β_y	2.100		
<input type="checkbox"/> Ersatzlänge	l _{0,y}	13.020	m	

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:

$$\lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{1302}{12.99} = 100.08$$

Sie ist auch in der Detailtabelle der Ausgabemasken zu finden.

☐ Schlankheit nach 8.6.2 (4)			
<input 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	13.0	cm
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit um die z-Achse	λ_z	53.6936	

Schlankheit für Knicken um die y-Achse (in Hallenquerrichtung)

Ersatzlänge für Biegung um die z-Achse (in y-Richtung = Hallenlängsrichtung)

Der Ersatzlängenbeiwert eines oben und unten gelenkig gelagerten Stab wird zu $\beta_y = 1.0$ angenommen. Dieser Wert ist unter dem Haupteintrag **Ersatzlänge** um die **z-Achse** in der Zeile **Definiertes Verhältnis** einzugeben.

☐ Ersatzlänge			
<input checked="" type="checkbox"/> um die y-Achse			
<input type="checkbox"/> um die z-Achse			
<input type="checkbox"/> Verhältnis ermitteln	Ermitt- β	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Definiertes Verhältnis	β_z	1.000	
<input type="checkbox"/> Ersatzlänge	$l_{0,z}$	6.200	m

Ersatzlänge für Biegung um die z-Achse (in Hallenlängsrichtung)

Die Systemlänge $l_{col,z}$ für das Ausknicken entspricht hier der Stützenlänge $l_{col} = 6.20$ m.

Damit kann die Ersatzlänge $l_{0,z}$ für das Knicken um die z-Achse wie folgt bestimmt werden:

$$l_{0,z} = \beta_z \cdot l_{col,z} = 1.0 \cdot 6.20 \text{ m} = 6.20 \text{ m}$$

Die zugehörige Schlankheit λ_z um z-Achse bestimmt sich dann zu:

$$\lambda_z = \frac{l_{0,z}}{i_z} = \frac{620}{11.55} = 53.68$$

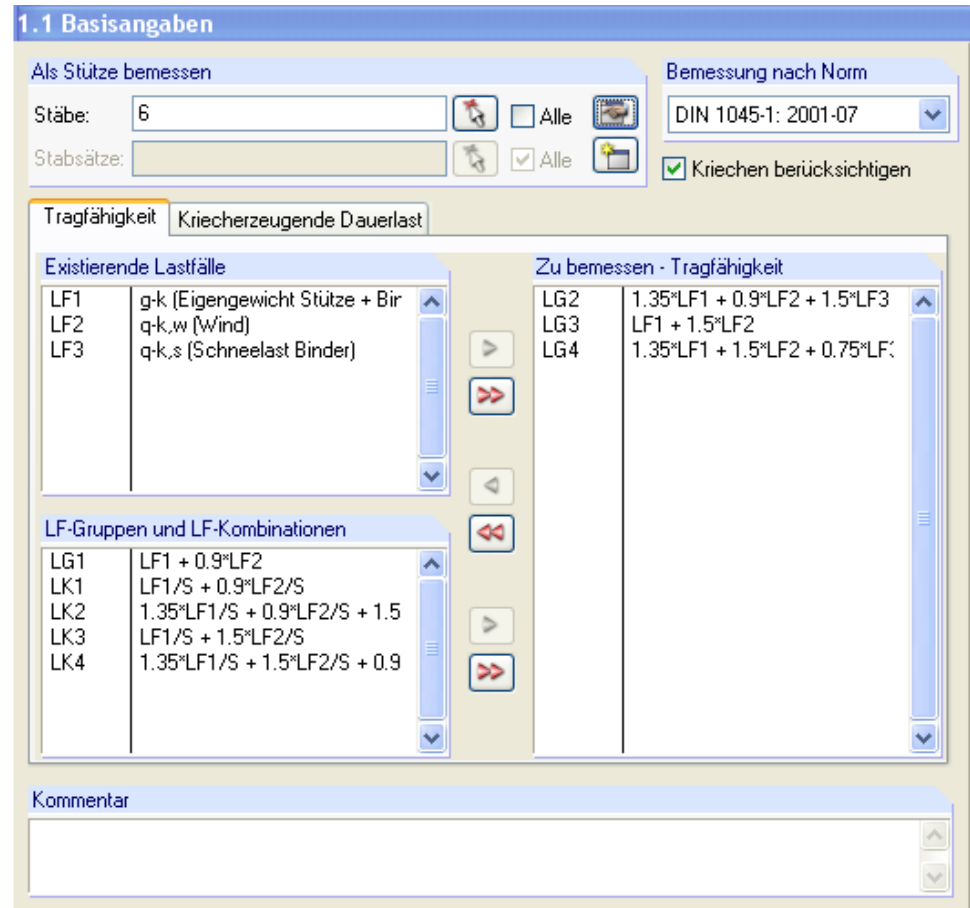
Sie ist auch in der Detailtabelle der Ausgabemasken zu finden.

☐ Schlankheit nach 8.6.2 (4)			
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit um die y-Achse	λ_y	100.2280	
<input type="checkbox"/> Schlankheit um die z-Achse	λ_z	53.6936	
<input type="checkbox"/> Ersatzlänge	$l_{0,z}$	6.200	m
<input type="checkbox"/> Trägheitsradius	i_z	11.5	cm

Schlankheit für Knicken um die z-Achse (in Hallenlängsrichtung)


7.1.5 Weitere Eingaben im Modul


Um die Eingabe zu vervollständigen, werden noch die Auswahl der Belastung und die Vorgaben zur Bewehrung dargestellt.



1.1 Basisangaben

Als Stütze bemessen

Stäbe: 6 ☐ Alle ☐ 

Stabsätze: ☐ Alle ☐ 

Bemessung nach Norm

DIN 1045-1: 2001-07 ☐ Kriechen berücksichtigen

Tragfähigkeit **Kriecherzeugende Dauerlast**

Existierende Lastfälle

LF1	g-k (Eigengewicht Stütze + Bir)
LF2	q-k,w (Wind)
LF3	q-k,s (Schneelast Binder)

Zu bemessen - Tragfähigkeit

LG2	$1.35 \cdot LF1 + 0.9 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF3$
LG3	$LF1 + 1.5 \cdot LF2$
LG4	$1.35 \cdot LF1 + 1.5 \cdot LF2 + 0.75 \cdot LF3$

LF-Gruppen und LF-Kombinationen

LG1	$LF1 + 0.9 \cdot LF2$
LK1	$LF1/S + 0.9 \cdot LF2/S$
LK2	$1.35 \cdot LF1/S + 0.9 \cdot LF2/S + 1.5$
LK3	$LF1/S + 1.5 \cdot LF2/S$
LK4	$1.35 \cdot LF1/S + 1.5 \cdot LF2/S + 0.9$

Kommentar



Auswahl der Belastung in Maske 1.1 **Basisangaben**, Register **Tragfähigkeit**



Die im Register **Tragfähigkeit** ausgewählten Lastfallgruppen werden zunächst einzeln untersucht. Für die maßgebende Lastfallgruppe 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 zweiten Register **Kriecherzeugende Dauerlast** der Maske 1.1 **Basisangaben** wird die Belastung ausgewählt, die zu einer kriecherzeugenden Dauerlast führt. Von den dort ausgewählten 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.


1.1 Basisangaben

Als Stütze bemessen

Stäbe: 6  ☐ Alle 

Stabsätze:  ☒ Alle 

Bemessung nach Norm

DIN 1045-1: 2001-07 

☒ Kriechen berücksichtigen

Tragfähigkeit **Kriecherzeugende Dauerlast**

Existierende Lastfälle

LF2	q-k,w (Wind)
LF3	q-k,s (Schneelast Binder)

Kriecherzeugende Dauerlast

LF1	g-k (Eigengewicht Stütze + Bir)
-----	---------------------------------

LF-Gruppen und LF-Kombinationen

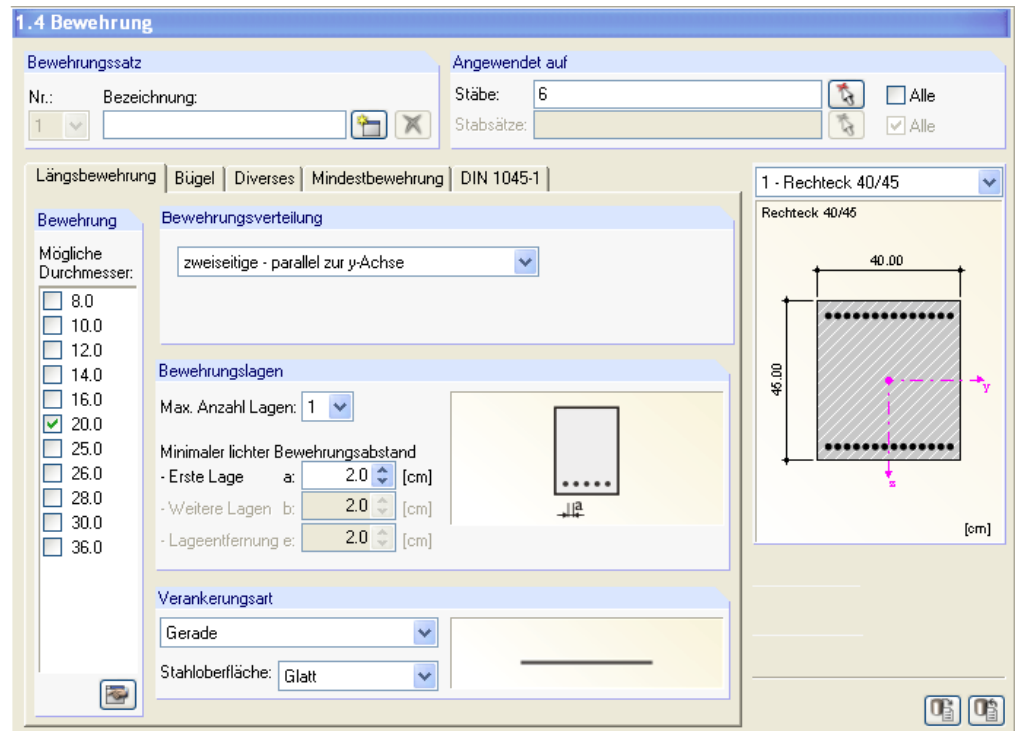
LG1	LF1 + 0.9*LF2
LG2	1.35*LF1 + 0.9*LF2 + 1.5*LF3
LG3	LF1 + 1.5*LF2
LG4	1.35*LF1 + 1.5*LF2 + 0.75*LF3
LK1	LF1/S + 0.9*LF2/S
LK2	1.35*LF1/S + 0.9*LF2/S + 1.5
LK3	LF1/S + 1.5*LF2/S
LK4	1.35*LF1/S + 1.5*LF2/S + 0.9

Kommentar

Auswahl der Belastung in Maske 1.1 **Basisangaben**, Register **Kriecherzeugende Dauerlast**

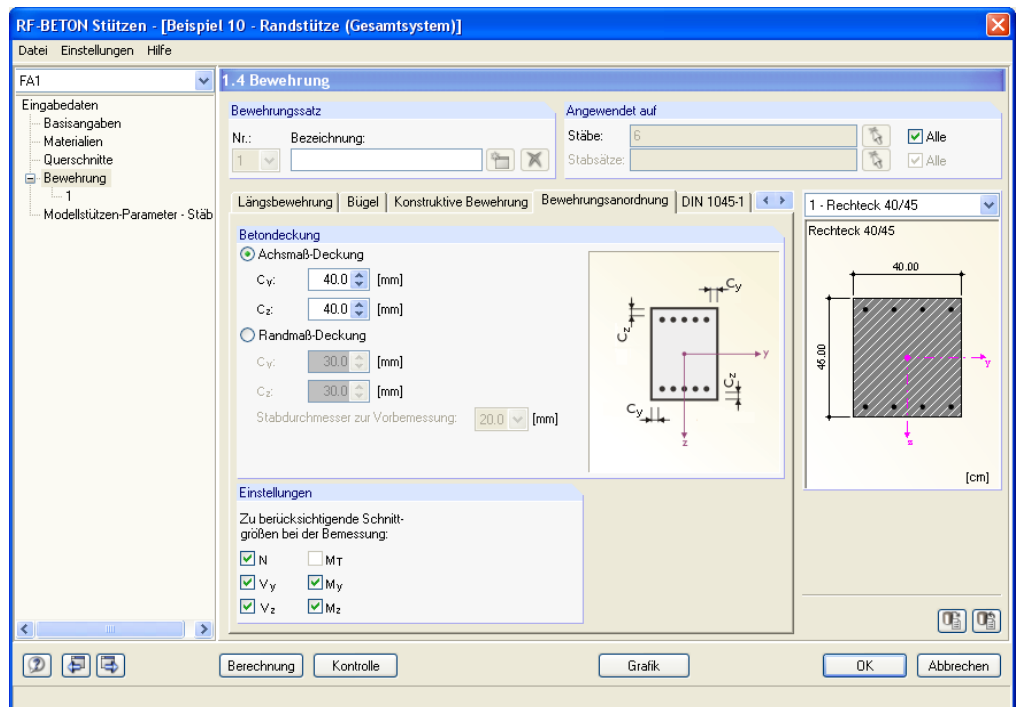
Die Materialien (C30/37, Bst 500S) wurden bereits in RSTAB beim Anlegen der Struktur definiert. Sie werden wie auch die Abmessungen der Stütze durch die Auswahl des Stabes Nr. 6 automatisch mit in das Modul übernommen.

In BETON Stützen sind noch die verfügbaren Stabdurchmesser für die Längsbewehrung anzugeben.

Auswahl der Bewehrung in Maske 1.4 **Bewehrung**, Register **Längsbewehrung**

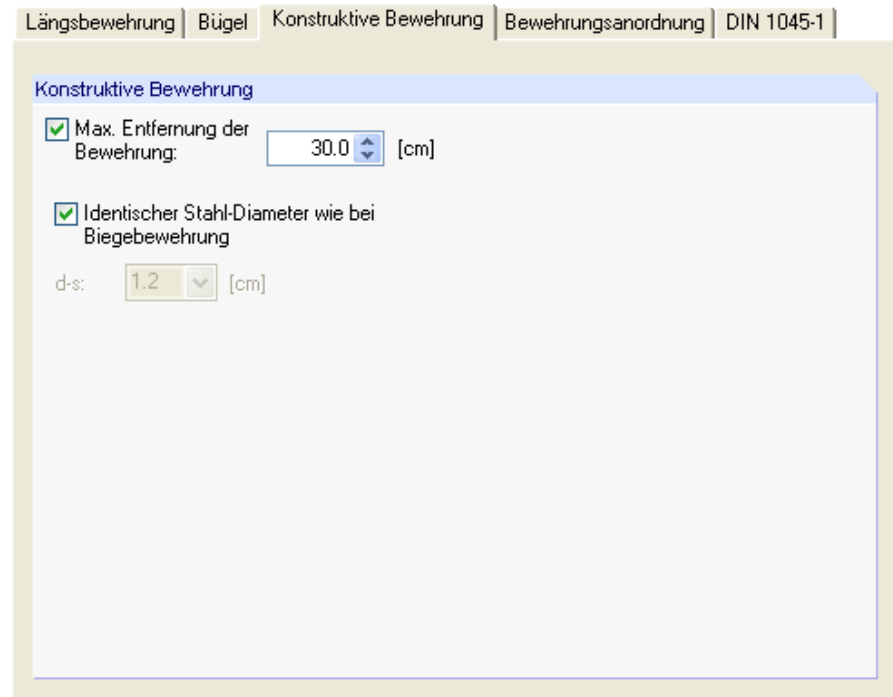
Im Register **Längsbewehrung** der Maske 1.4 **Bewehrung** gibt der Benutzer zudem vor, wie die Bewehrung anzuordnen ist, wie viele Bewehrungslagen maximal möglich sind und wie die Bewehrungsstäbe zu verankern sind.

Die Betondeckung wird im Register **Bewehrungsanordnung** dieser Maske vorgegeben.

Auswahl der Betondeckung in Maske 1.4 **Bewehrung**, Register **Bewehrungsanordnung**

Damit wird die gleiche **Achismaßdeckung** von 4.0 cm wie im Literaturbeispiel erreicht.

Im Register **Konstruktive Bewehrung** wird noch vorgegeben, dass der maximale Abstand von zwei Bewehrungsstäben 30 cm nicht überschreiten darf.



The screenshot shows the 'Konstruktive Bewehrung' (Constructive Reinforcement) dialog box. It has tabs for 'Längsbewehrung', 'Bügel', 'Konstruktive Bewehrung', 'Bewehrungsanordnung', and 'DIN 1045-1'. The 'Konstruktive Bewehrung' tab is active. It contains two checked options: 'Max. Entfernung der Bewehrung:' with a value of 30.0 [cm] and 'Identischer Stahl-Diameter wie bei Biegebewehrung'. Below these, 'd-s:' is set to 1.2 [cm].

Konstruktive Benutzervorgaben in Maske 1.4 **Bewehrung**, Register **Konstruktive Bewehrung**

Ergibt sich geometrisch ein größerer Abstand als 30 cm, so sieht das Programm einen Zwischenstab vor. Im Register **Konstruktive Bewehrung** wird zudem festgelegt, dass dieser Zwischenstab den gleichen Durchmesser besitzen soll wie die statisch erforderliche Bewehrung.

7.1.6 Erforderliche Bewehrung

Damit sind die Eingaben für dieses Beispiel vollständig und die Berechnung kann gestartet werden.

Das Programm überprüft zunächst, ob eine Regelbemessung ausreichend ist oder ob eine Stabilitätsuntersuchung vorgenommen werden muss. Danach wird die erforderliche Bewehrung ermittelt, die dann 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								
Querschn Nr.	A Bewehrung	B Stab Nr.	C Stelle x [m]	D LF / LG LK	Bewehrungs- Fläche		G Einheit	H Fehlermeldung bzw. Hinweis
1	Rechteck 40/45							
	Längs	6	6.200	LG2	A _s	21.41	cm ²	

Erforderliche Bewehrung querschnittsweise

Die vom Programm ermittelte Längsbewehrung A_s von 21,49 cm² unterscheidet sich vom Wert 20,40 cm² des Literaturbeispiels. Die Ursache für diesen Unterschied findet sich durch einen Blick auf die Detailergebnisse zur Ermittlung dieser erforderlichen Bewehrung.

In der unteren Tabelle **Zwischenergebnisse** finden sich sämtliche Zwischenschritte. Diese Detailtabelle beginnt mit der Benennung der maßgebenden Belastung.

Zwischenergebnisse Rechteck 40/45 - LG2

Maßgebende Belastung

Belastung		LG2	
Maßgebende Schnittgröße		max M_y	
An Stelle	x	6.200	m
Normalkraft	N	-646.190	kN
Moment um die y-Achse	M_y	59.759	kNm
Moment um die z-Achse	M_z	0.000	kNm

Ersatzlänge nach 8.6.2 (4)

Schlankheit nach 8.6.3 (2)

Grenzschlankheit nach 8.6.2 (4)

Kritische Schlankheit nach 8.6.3 (4)

Art der Bemessung

Momente nach Theorie I. Ordnung

Momente nach Theorie II. Ordnung

Statisch erforderliche Bewehrung

Mindestbewehrung

Erforderliche Bewehrung

Tabelle **Zwischenergebnisse** zur Ermittlung der erforderlichen Bewehrung

Die maßgebende Belastung stellt nicht wie im Literaturbeispiel die Lastfallgruppe LG 4 dar, sondern die Lastfallgruppe LG 2. Den Zwischenergebnisse ist weiterhin zu entnehmen, dass die untersuchten Schnittgrößen an jener Stelle auftreten, an der das Moment M_y maximal wird. Diese Stelle liegt mit $x = 6.200$ m am Stützenkopf.

Es wird erkennbar, dass sich für die LG 2 am Stützenkopf eine größere Bewehrung ergibt als für die LG 4 am Stützeinspannpunkt, wenn folgendes Kontrollfeld am unteren Rand der Maske aktiviert wird:

☒ Alle Lastfälle

Anzeige der Bemessungsergebnisse für sämtliche Belastungen

Die obere Tabelle weist dann für alle Belastungen die jeweils erforderliche Bewehrung aus.

3.2 Erforderliche Bewehrung stabweise

Stab Nr.	A	B	C	D	E	F
	Bewehrung	Stelle x [m]	LF / LG LK	Bewehrungsfläche	Einheit	Fehlermeldung bzw. Hinweis
6	Rechteck 40/45					
	A_s	6.200	LG2	21.41	cm ²	
6	Rechteck 40/45					
	A_s	0.000	LG3	15.42	cm ²	
6	Rechteck 40/45					
	A_s	0.000	LG4	20.18	cm ²	

Erforderliche Bewehrung für sämtliche Belastungen

Weshalb sich die größte Bewehrung für die LG2 am Stützenkopf ergibt, wird später erläutert. Unabhängig von der Belastung ermitteln sich die Ersatzlängen und Schlankheiten.

Die Ersatzlängen und Schlankheiten, wie sie bereits durch die Vorgaben in der Eingabemaske 1.5 **Modellstützenparameter** bestimmt wurden, finden sich für die vollständige Bemessungsausgabe auch unter den entsprechenden Haupteinträgen in diesen Zwischenergebnissen.

Ersatzlänge nach 8.6.2 (4)			
Ersatzlänge um die y-Achse			
Systemlänge	$l_{0,y}$	13.020	m
Verhältnis	β_y	2.100	
Ersatzlänge um die z-Achse			
Systemlänge	$l_{0,z}$	6.200	m
Verhältnis	β_z	1.000	
Schlankheit nach 8.6.2 (4)			
Schlankheit um die y-Achse			
Ersatzlänge	$l_{0,y}$	13.020	m
Trägheitsradius	i_y	13.0	cm
Schlankheit um die z-Achse			
Ersatzlänge	$l_{0,z}$	6.200	m
Trägheitsradius	i_z	11.5	cm

Ersatzlänge und Schlankheit

7.1.7 Grenzschlankheit

Zur Bestimmung der Grenzschlankheit gemäß DIN 1045-01, 8.6.2 (4) muss die bezogene Druckkraft ermittelt werden. Hierzu werden folgende Formeln verwendet:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}}$$

mit $A_c = y \cdot z = 40 \cdot 45 = 1800 \text{ cm}^2$

$$f_{cd} = \frac{\alpha \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0.85 \cdot 3.0}{1.5} = 1.7 \text{ kN/cm}^2$$

$$\lambda_{max} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{16}{\sqrt{|v_{Ed}|}} \text{ für } |v_{Ed}| < 0.41 \\ 25 \text{ für } |v_{Ed}| \geq 0.41 \end{array} \right\}$$

Wie zu Beginn dieses Beispiels erwähnt, werden die Stellen der Stütze untersucht, an der die Normalkraft minimal und das Moment M_y minimal bzw. maximal werden. Im vorliegenden Beispiel sind die Schnittgrößen für die minimale Normalkraft gleich den Schnittgrößen für das minimale Moment M_y . Es werden deshalb nur die Stellen der minimalen Normalkraft N und des maximalen Moments M_y dargestellt.

Schnittgrößen der minimalen Normalkraft am Stützenfuß (Stelle $x = 0.00 \text{ m}$)

	LG2	LG3	LG4
$N_{Ed} \text{ [kN]}$	-683.860	-431.000	-632.850
$ v_{Ed} $	0.2235	0.1409	0.2068
	<0.41	<0.41	<0.41
λ_{max}	33.8452	42.6326	35.1828

Schnittgrößen des maximalen Moments am Stützenkopf (Stelle $x = 6.20 \text{ m}$)

	LG2	LG3	LG4
$N_{Ed} \text{ [kN]}$	-646.190	-403.100	-695.190
$ v_{Ed} $	0.2112	0.1317	0.1945
	<0.41	<0.41	<0.41
λ_{max}	34.81777	44.0833	36.2788

Die Details zeigen in Maske 3.1 **Erforderliche Bewehrung querschnittsweise** z. B. für die LG4 und für die Schnittgrößen der minimalen Normalkraft folgende Zwischenergebnisse bei der Bestimmung der Grenzschlankheit:

Grenzschlankheit nach 8.6.2 (4)			
Parameter	ν_{Ed}	0.207	< 0.41
Normalkraft	N	-632.850	kN
Betonquerschnitt	A_c	1800.00	cm ²
Bemessungswert Betonfestigkeit	f_{ed}	17.00	N/mm ²
Charakteristische Druckfestigkeit	f_{ck}	30.00	N/mm ²
Abminderungsbeiwert	α	0.850	
Teilsicherheitsbeiwert	γ_c	1.500	
Grenzschlankheit	λ_{max}	35.183	

Grenzschlankheit für LG4

Da sowohl die Schlankheit λ_y um y-Achse mit 100.08 als auch die Schlankheit λ_z um z-Achse mit 53.68 größer sind als die lastfallbezogenen Grenzschlankheiten, ist gemäß 8.6.2 (4) sowohl um y- als auch um z-Achse für jede der vorgestellten Belastungen eine Stabilitätsuntersuchung durchzuführen.

7.1.8 Kritische Schlankheit

Selbst für schlanke Stützen könnte der Nachweis in unverschieblich ausgesteiften Tragwerken entfallen, wenn die kritische Schlankheit λ_{crit} gemäß DIN 1045-01, 8.6.3 (4) nicht überschritten ist und die Stütze zwischen ihren Enden nicht durch Querlasten oder Lastmomente beansprucht wird. Zudem muss ein konstanter Längskraftverlauf über die Stützenlänge vorliegen.

Es wird die kritische Schlankheit dennoch nicht für das Ausknicken der Stütze um z-Achse (Hallenlängsrichtung) ermittelt, weil

- durch die exakte Erfassung des Stützeineigengewichts nicht von einem konstanten Normalkraftverlauf ausgegangen wird und
- eine Querkraft und eine Momentenbelastung zwar nur für das Ausknicken in um die y-Achse (Hallenquerrichtung) vorliegen, dies aber ebenfalls als fehlende Voraussetzung für Abs. 8.6.3 (4) der DIN 1045-01 gewertet wird.

Die Ermittlung der kritischen Schlankheit wird deshalb nur zur vollständigen Darstellung der Details für die Schnittgrößen der minimalen Normalkraft der LG4 aufgeführt.

Kritische Schlankheit nach 8.6.3 (4)			
Kritische Schlankheit um die y-Achse	$\lambda_{crit,y}$	0.000	
Momentenverlauf über die Stütze	Verlauf M_y	Beliebig	
Keine Ermittlung für beliebigen Momentenverlauf			
Kritische Schlankheit um die z-Achse	$\lambda_{crit,z}$	25.000	
Momentenverlauf über die Stütze	Verlauf M_z	konstant	
Erste Ausmitte der Längskraft	$e_{01,y}$	0.0	cm
Moment um die z-Achse	M_z	0.000	kNm
Normalkraft	N	-646.190	kN
Zweite Ausmitte der Längskraft	$e_{02,y}$	0.0	cm
Moment um die z-Achse	M_z	0.000	kNm
Normalkraft	N	-646.190	kN

Ermittlung der kritischen Schlankheit

Schließlich kann abgewogen werden, ob eine Untersuchung nach Theorie II. Ordnung oder eine Regelbemessung vorzunehmen ist. Die Details zeigen z. B. für die LG4, welche Voraussetzungen für eine Regelbemessung zunächst zu untersuchen sind.

Art der Bemessung			
Voraussetzungen Regelbemessung nach 8.6.3 (2)			
Voraussetzung um die y-Achse	$\lambda_y \leq \lambda_{max}$	Nicht erfüllt	
Vorhandene Schlankheit	λ_y	100.228	
Grenzschlankheit	λ_{max}	35.183	
Voraussetzung um die z-Achse	$\lambda_z \leq \lambda_{max}$	Nicht erfüllt	
Vorhandene Schlankheit	λ_z	53.694	
Grenzschlankheit	λ_{max}	35.183	
Voraussetzung für Regelbemessung erfüllt		Nicht erfüllt	
Voraussetzungen Regelbemessung nach 8.6.3 (4)			
System unverschieblich?		Nein	
Kein Lastmoment/-e am Stützenende?		Nein	
Stütze nicht durch Querlast beansprucht?		Nein	
Normalkraftverlauf konstant?		Nein	
Normalkraft ist keine Druckkraft?		Nein	
Voraussetzungen für Regelbemessung erfüllt		Nein	

Überprüfen der Voraussetzung für eine Regelbemessung

Unter dem Eintrag **Voraussetzungen Regelbemessung nach 8.6.3 (2)** wird getrennt für die beiden Richtungen untersucht, ob die vorhandenen Schlankheiten kleiner als die Grenzschlankheiten sind. Für beide Richtungen ist dies nicht der Fall.

Unter **Voraussetzungen Regelbemessung nach 8.6.3 (4)** wird überprüft, ob die Voraussetzungen von System und Belastung gegeben sind für einen Vergleich von vorhandener mit kritischer Schlankheit. Da sich in mehreren Zeilen „nein“ findet, ist eine Regelbemessung gemäß 8.6.3 (4) auszuschließen.

Die letzte Möglichkeit für eine Regelbemessung wäre eine Stütze, die nur durch Zugkraft beansprucht ist. Aber die vorletzte Zeile der oben abgebildeten Details zeigt, dass diese Voraussetzung ebenfalls nicht gegeben ist.

Da die Voraussetzungen für eine Regelbemessung nicht gegeben sind, zeigt die Tabelle in der letzten Zeile des Haupteintrags **Art der Bemessung** folgerichtig ein „nein“.

7.1.9 Planmäßige Ausmitte

In DIN 1045-01, 8.6.5 (6) werden keine Angaben zu einem beispielsweise parabelförmigen Momentenverlauf gemacht. Es wird deshalb bei einem beliebigen Momentenverlauf stets mit der größten Ausmitte gerechnet.

$$e_0 = \frac{M}{N}$$

Planmäßige Ausmitte in z-Richtung (Hallenquerrichtung)

Schnittgrößen der minimalen Normalkraft am Stützenfuß (Stelle $x = 0.00$ m)

	LG2	LG3	LG4
N_{Ed} [kN]	-683.860	-431.000	-632.850
M_y [kNm]	-72.497	-87.747	-97.178
$e_{0,z}$ [cm]	-10.60	-20.36	-15.36

Schnittgrößen des maximalen Moments M_y am Stützenkopf (Stelle $x = 6.20$ m)

	LG2	LG3	LG4
N_{Ed} [kN]	-646.190	-403.100	-695.190
M_y [kNm]	59.759	32.649	51.735
$e_{0,z}$ [cm]	9.25	8.10	8.69

Die planmäßige Ausmitte in y-Richtung (Hallenlängsrichtung) ist Null, da das Moment M_z Null ist.

Die Zwischenergebnisse bestätigen die ermittelten planmäßigen Ausmitten z. B. für die LG4 im Falle der Schnittgrößen der minimalen Normalkraft.

☐ Momente nach Theorie I. Ordnung			
☐ Planmäßige Ausmitte nach 8.6.5 (6)			
☐ Zweiachsige Ausmitte?		Nein	
☐ Planmäßige Ausmitte in z-Richtung	$e_{0,z}$	-15.4	cm
☐ 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	cm
☐ Momentenverlauf über die Stütze	Verlauf M_z	konstant	
☐ Moment um die z-Achse	M_z	0.000	kNm
☐ Absolute Normalkraft	$ N $	632.850	kN

Planmäßige Ausmitte für die LG4

7.1.10 Ungewollte Ausmitte

Die ungewollte Schiefstellung α_{a1} ermittelt sich nach DIN 1045-01 Abs. 7.2 (4) mit der Formel (4) wie folgt:

$$\alpha_{a1} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{l_{col}}} \leq \frac{1}{200}$$

$$\alpha_{a1} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{6.2}} = \frac{1}{249} \leq \frac{1}{200}$$

Die Ausmitte für die einzelnen Richtungen ermittelt sich nach Absatz 8.6.4, Formel (33):

$$e_a = \alpha_{a1} \cdot \frac{l_0}{2}$$

Richtung	in z-Richtung (um die y-Achse)	in y-Richtung (um die z-Achse)
Ersatzlänge l_0	13.02 m	6.20 m
Ausmitte e_a	2.61 cm	1.25 cm

Diese ungewollten Ausmitten e_a finden sich auch in den Zwischenergebnissen.

☐ Momente nach Theorie I. Ordnung			
☐ Planmäßige Ausmitte nach 8.6.5 (6)			
☐ Ungewollte Ausmitte nach 8.6.4 (1)			
☐ Ungewollte Ausmitte in z-Richtung	$e_{a,z}$	-2.6	cm
☐ Ungewollte Schiefstellung	$\alpha_{a1,z}$	0.004	
☐ Ersatzlänge in z-Ebene	$l_{0,z}$	6.200	m
☐ Ungewollte Ausmitte in y-Richtung	$e_{a,y}$	1.2	cm
☐ Ungewollte Schiefstellung	$\alpha_{a1,y}$	0.004	
☐ Ersatzlänge in y-Ebene	$l_{0,y}$	6.200	m

Ungewollte Ausmitte

Das Vorzeichen der ungewollten Ausmitte in z-Richtung unterscheidet sich von dem zuvor ermittelten Wert. Im Programm wird das Vorzeichen der ungewollten Ausmitte stets dem Vorzeichen der planmäßigen Ausmitte angepasst, um so auf der sicheren Seite liegend auch für die größte denkbare Beanspruchung zu bemessen.

Mit beiden Ausmitten können die Momente nach Theorie I. Ordnung bestimmt werden.

7.1.11 Momente nach Theorie I. Ordnung

Die Momente nach Theorie I. Ordnung ermitteln sich auf folgende Weise.

$$M_{Ed,1} = N_{Ed} \cdot (e_a + e_0)$$

Schnittgrößen der minimalen Normalkraft am Stützenfuß (Stelle $x = 0.00$ m)

Moment nach Theorie I. Ordnung um die y-Achse durch Ausmitten in z-Richtung (Hallenquerrichtung)

	LG2	LG3	LG4
N_{Ed}	-683.860 kN	-431.000 kN	-632.850 kN
$e_{0,z}$	-10.60 cm	-20.36 cm	-15.36 cm
$e_{a,z}$	-2.61 cm		
$M_{Ed,1,y}$	-90.37 kNm	-99.02 kNm	-113.72 kNm

Moment nach Theorie I. Ordnung um die z-Achse durch Ausmitten in y-Richtung (Hallenquerrichtung)

	LG2	LG3	LG4
N_{Ed}	-683.860 kN	-431.000 kN	-632.850 kN
$e_{0,y}$	0.00 cm		
$e_{a,y}$	1.25 cm		
$M_{Ed,1,z}$	8.51 kNm	5.36 kNm	7.88 kNm

Schnittgrößen des maximalen Moments am Stützenkopf (Stelle $x = 6.20$ m)

Moment nach Theorie I. Ordnung um die y-Achse durch Ausmitten in z-Richtung (Hallenquerrichtung)

	LG2	LG3	LG4
N_{Ed}	-646.190	-403.100	-695.190
$e_{0,z}$	9.26 cm	8.10 cm	8.69 cm
$e_{a,z}$	2.61 cm		
$M_{Ed,1,y}$	76.65 kNm	43.19 kNm	67.30 kNm

Moment nach Theorie I. Ordnung um die z-Achse durch Ausmitten in y-Richtung (Hallenquerrichtung)

	LG2	LG3	LG4
N_{Ed}	-646.190	-403.100	-695.190
$e_{0,y}$	0.00		
$e_{a,y}$	1.25 cm		
$M_{Ed,1,z}$	8.05 kNm	5.02 kNm	7.41 kNm

Für die Schnittgrößen der minimalen Normalkraft in der LG4 beispielsweise werden an der maßgebenden Stelle am Stützenfuß folgende Details ausgewiesen:

☐ Momente nach Theorie I. Ordnung			
☑ Planmäßige Ausmitte nach 8.6.5 (6)			
☑ Ungewollte Ausmitte nach 8.6.4 (1)			
☐ Momente nach Theorie I. Ord.			
Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-632.850	kN
☐ Moment um die y-Achse	$M_{Ed,1,y}$	-113.723	kN
☐ Ausmitte in z-Richtung	$e_{1,z}$	-18.0	cm
Planmäßige Ausmitte	$e_{0,z}$	-15.4	cm
Ungewollte Ausmitte	$e_{a,z}$	-2.6	cm
☐ Moment um die z-Achse	$M_{Ed,1,z}$	7.879	kN
☐ Ausmitte in y-Richtung	$e_{1,y}$	1.2	cm
Planmäßige Ausmitte	$e_{0,y}$	0.0	cm
Ungewollte Ausmitte	$e_{a,y}$	1.2	cm

Momente nach Theorie I. Ordnung für die LG4

7.1.12 Zusätzliche Ausmitte und Bewehrung

Es schließt sich die Ermittlung der zusätzlichen Ausmitte gemäß DIN 1045-01, 8.6.5 (8) sowie der maßgebenden erforderlichen Bewehrung an.

Der Beiwert K_2 zur Berücksichtigung der Abnahme der Krümmung bei steigenden Längsdruckkräften wird zunächst auf der sicheren Seite liegend mit 1.0 angenommen, da die einzulegende Bewehrung noch nicht bekannt ist und somit die Grenztragfähigkeit N_{ud} bei zentrischem Druck nicht ermittelt werden kann.

Die Krümmung $\frac{1}{r_0}$ bestimmt sich somit nach folgender Formel:

$$\frac{1}{r_0} = 2 \cdot K_2 \cdot \frac{\varepsilon_{yd}}{0.9 \cdot d}$$

mit $\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 2.17 \text{ ‰}$

Die zusätzliche Lastausmitte e_2 infolge der Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung ermittelt sich dann nach folgender Formel.

$$e_2 = K_1 \cdot \frac{1}{r_0} \cdot \frac{l_0^2}{10}$$

mit K_1 : Beiwert K_1 für den allmählichen Übergang vom verformungsunbeeinflussten zum verformungsbeeinflussten Druckglied

$$K_1 = 1 \text{ für } \lambda > 35$$

Ausmitte infolge Theorie II. Ordnung in z-Richtung (Hallenquerrichtung)

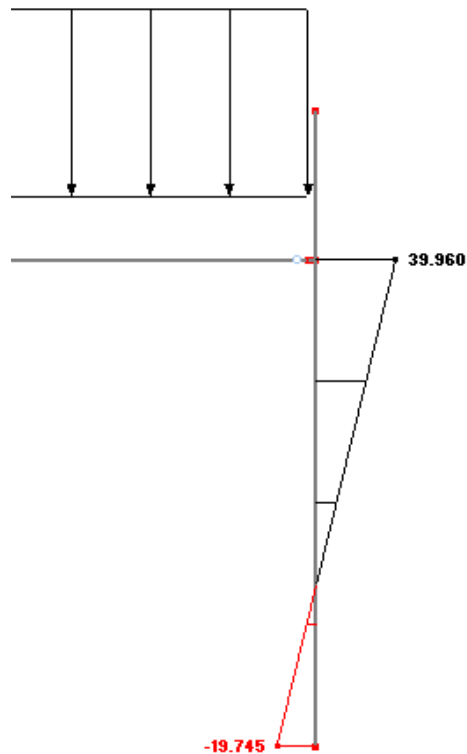
	LG2	LG3	LG4
d_z	41.00 cm		
K_2	1.0		
$1/r_0$	0.0134192		
K_1	1.0		
$e_{2,z}$	-19.97 cm		

Ausmitte infolge Theorie II. Ordnung in y-Richtung (Hallenlängsrichtung)

	LG2	LG3	LG4
d_z	36.00 cm		
K_2	1.0		
$1/r_0$	0.0117827		
K_1	1.0		
$e_{2,z}$	5.16 cm		

Um die näherungsweise Vergrößerung der Zusatzausmitte e_2 infolge Kriechen zu bestimmen, ist diese gemäß DAfStb.-Heft 425, 1992, 9.2.5, S. 84 mit dem Faktor $1 + M_{Ed,c} / M_{Ed,1}$ zu multiplizieren.

$M_{Ed,c}$ ist das kriecherzeugende Moment infolge quasi-ständiger Einwirkungen (charakteristischer Wert der ständigen Einwirkungen). Am Stützenfuß beträgt $M_{Ed,c} = -19.745$ kNm, am Stützenkopf ist $M_{Ed,c} = 39.960$ kNm.



Verlauf des Moments durch die kriecherzeugende Dauerlast

Das Kriechen wird nur berücksichtigt, wenn es eine ungünstige Wirkung hat. Dies bedeutet, dass der Quotient aus $M_{Ed,c} / M_{Ed,1}$ nur dann als Summand eingeht, wenn die Summe größer als 1 wird.

Schnittgrößen der minimalen Normalkraft am Stützenfuß (Stelle $x = 0.00$ m)

Ausmitte infolge Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der Kriechauswirkung in z-Richtung (Hallenquerrichtung)

	LG2	LG3	LG4
d_z	41.00 cm		
K_2	1.0		
$1/r_0$	0.0134192		
K_1	1.0		
$e_{2,z}$	-19.97 cm		
$M_{Ed,c}$	-19.745 kNm		
$M_{Ed,1,y}$	-90.37 kNm	-99.02 kNm	-113.72 kNm
$e_{2,c,z}$	-24.34 cm	-23.96 cm	-23.44 cm

Schnittgrößen des maximalen Moments am Stützenkopf (Stelle $x = 6.20$ m)

Ausmitte infolge Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der Kriechauswirkung in z-Richtung (Hallenquerrichtung)

	LG2	LG3	LG4
d_z	41.00 cm		
K_2	1.0		
$1/r_0$	0.0134192		
K_1	1.0		
$e_{2,z}$	-19.97 cm		
$M_{Ed,c}$	39.960 kNm		
$M_{Ed,1,y}$	76.65 kNm	43.19 kNm	67.30 kNm
$e_{2,c,z}$	30.39 cm	38.45 cm	31.83 cm

Für die Hallenlängsrichtung (Richtung der y-Achse der Stütze) existiert kein kriecherzeugendes Moment. Die Ausmitten infolge Theorie II. Ordnung bleibt somit unverändert.

Sind die Ausmitten infolge Theorie II. Ordnung (gegebenenfalls unter Berücksichtigung von Kriechen) bekannt, können die Momente nach Theorie II. Ordnung bestimmt werden zu:

$$M_{Ed,2,c} = N_{Ed} \cdot (e_a + e_0 + e_{2,c})$$

Schnittgrößen der minimalen Normalkraft am Stützenfuß (Stelle $x = 0.00$ m)

Momente um die y-Achse infolge Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung des Kriechens

	LG2	LG3	LG4
N_{Ed}	-683.860 kN	-431.000 kN	-632.850 kN
$e_{0,z}$	-10.60 cm	-20.36 cm	-15.36 cm
$e_{a,z}$	-2.61 cm		
$e_{2,c,z}$	-24.34 cm	-23.96 cm	-23.44 cm
$M_{2,c,y}$	-256.81 kNm	-202.27 kNm	-262.08 kNm

Momente um die z-Achse infolge Theorie II. Ordnung

	LG2	LG3	LG4
N_{Ed}	-683.860 kN	-431.000 kN	-632.850 kN
$e_{0,y}$	0.00 cm		
$e_{a,y}$	1.25 cm		
$e_{2,cy}$	5.16 cm		
$M_{2,cz}$	43.79 kNm	27.60 kNm	40.52 kNm

Schnittgrößen des maximalen Moments am Stützenkopf (Stelle $x = 6.20$ m)

Momente um die y-Achse infolge Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung des Kriechens

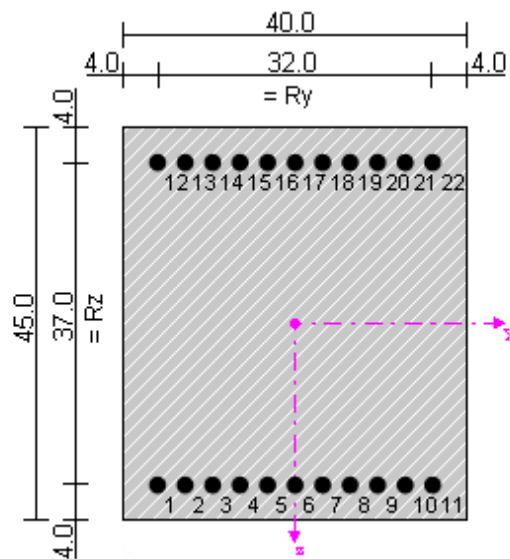
	LG2	LG3	LG4
N_{Ed}	-646.190	-403.100	-595.190
$e_{0,z}$	9.26 cm	8.10 cm	8.69 cm
$e_{a,z}$	2.61 cm		
$e_{2,c,z}$	30.39 cm	38.45 cm	31.83 cm
$M_{2,c,y}$	273.01 kNm	198.20 kNm	256.77 kNm

Momente um die z-Achse infolge Theorie II. Ordnung

	LG2	LG3	LG4
N_{Ed}	-646.190	-403.100	-595.190
$e_{0,y}$	0.00		
$e_{a,y}$	1.25 cm		
$e_{2,cy}$	5.16 cm		
$M_{2,cz}$	41.38 kNm	25.81 kNm	38.11 kNm

Für die so ermittelten Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung wird nun eine erforderliche Bewehrung bestimmt. Dazu werden vom Programm sogenannte **Bemessungspunkte** eingeführt. An diesen Stellen wird die spätere Lage der Bewehrungsstäbe angenommen.

Die äußerste Lage eines Bewehrungsstabes ergibt sich durch das ermittelte Achsmaß der Betondeckung. Da im Beispiel ein Achsmaß von 4 cm in jede Richtung der Querschnittsachse vorgegeben und auch so im Programm eingeben wurde, können die Bemessungspunkte auf diesen Längen an der Außenseite der Stütze verteilt werden.



Anordnung der Bewehrungspunkte

Zieht man von der Seitenlänge parallel zur y-Achse jeweils das Achsmaß der Betondeckung ab, so verbleibt die restliche Seitenlänge R_y . Innerhalb dieser restlichen Seitenlänge R_y kann dann der frei gewählte Wert von zehn Bemessungspunkten verteilt werden. Für die Bemessungspunkte an der Seite parallel zur z-Achse würde genauso vorgegangen, wenn man vorgegeben hätte, dass auch hier Bewehrungsstäbe anzuordnen wären. Es würden ebenfalls zehn Bemessungspunkte vorgesehen werden.

Bei dieser Anordnung der Bemessungspunkte ergibt sich folgende Bewehrung.

Schnittgrößen der minimalen Normalkraft am Stützenfuß (Stelle $x = 0.00$ m)

	LG2	LG3	LG4
N_{Ed}	-683.860 kN	-431.000 kN	-632.850 kN
$M_{2,,c,y}$	-256.81 kNm	-202.27 kNm	-262.08 kNm
$M_{2,,c,z}$	43.79 kNm	27.60 kNm	40.52 kNm
erf A_s	19.13 cm ²	15.62 cm ²	20.26 cm ²

Schnittgrößen des maximalen Moments am Stützenkopf (Stelle $x = 6.20$ m)

	LG2	LG3	LG4
N_{Ed}	-646.190	-403.100	-595.190
$M_{2,,c,y}$	273.01 kNm	198.20 kNm	256.77 kNm
$M_{2,,c,z}$	41.38 kNm	25.81 kNm	38.11 kNm
erf A_s	21.49 cm ²	15.50 cm ²	20.03 cm ²

Vergleicht man die oberen beiden Tabellen, so geht eindeutig hervor, dass sich unter dem Einfluss des Kriechens am Stützenkopf für die LG2 eine größere erforderliche Bewehrung ergibt als wie im Literaturbeispiel angegeben am Stützenfuß für die LG4.

Die Bestimmung der maßgebenden Belastung ist jedoch noch nicht abgeschlossen, da der Faktor K_2 auf der sicheren Seite liegend mit 1.0 angenommen wurde.

Das Programm geht nun davon aus, dass die vorhandene Bewehrung gleich der erforderlichen Bewehrung ist. Der Bauteilwiderstand N_{ud} bei zentrischer Beanspruchung kann somit ermittelt werden zu:

$$N_{ud} = -(f_{cd} \cdot A_c + f_{yd} \cdot A_s)$$

$$\text{mit } f_{cd} = \frac{\alpha \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0.85 \cdot 3.0}{1.5} = 1.7 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_c = y \cdot z = 40 \cdot 45 = 1800 \text{ cm}^2$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 43.5 \text{ kN/cm}^2$$

Die Grenztragfähigkeit N_{bal} bei größter Momententragfähigkeit ermittelt sich zu:

$$N_{bal} = -0.4 \cdot f_{cd} \cdot A_c$$

Damit kann der Beiwert K_2 zur Berücksichtigung der Abnahme der Krümmung bei steigenden Längsdruckkräften wie folgt ermittelt werden:

$$K_2 = \frac{|N_{ud}| - |N_{Ed}|}{|N_{ud}| - |N_{bal}|} \leq 1$$

Schnittgrößen der minimalen Normalkraft am Stützenfuß (Stelle $x = 0.00 \text{ m}$)

	LG2	LG3	LG4
N_{Ed}	-683.860 kN	-431.000 kN	-632.850 kN
erf A_s	19.13 cm ²	15.62 cm ²	20.34 cm ²
K_2	1.20	1.32	1.22

Schnittgrößen des maximalen Moments am Stützenkopf (Stelle $x = 6.20 \text{ m}$)

	LG2	LG3	LG4
N_{Ed}	-646.190	-403.100	-595.190
erf A_s	21.49 cm ²	15.50 cm ²	20.03 cm ²
K_2	1.21	1.33	1.23

Da der Wert von K_2 maximal 1.0 betragen darf, werden die Beiwerte K_2 jeder Lastfallgruppe auf den Wert 1.0 gesetzt. Somit bleiben die Schnittgrößen und auch die ermittelte Bewehrung unverändert und es ist die erforderliche Bewehrung der untersuchten Lastfallgruppen gefunden.

Um abschließend einen Vergleich zwischen dem Literaturbeispiel und den Zwischenergebnissen des Programms zu führen, werden die Details für die Schnittgrößen der minimalen Normalkraft in der LG4 betrachtet. Diese beginnen mit der Ermittlung der Ausmitte durch Theorie II. Ordnung in z-Richtung:

☐ Momente nach Theorie II. Ordnung			
☐ Ausmitte durch Th. II. Ord. nach 8.6.5 (8)			
☐ Ausmitte durch Th. II. Ord. in z-Richtung	$e_{2,z}$	-20.0	cm
☐ Beiwert	$k_{1,z}$	1.000	
☐ Schlankheit um die y-Achse	λ_y	13.020	
☐ Krümmung in z-Ebene	$1/r_{0,z}$	0.012	1/m
☐ Errechneter Beiwert	$k_{2,z}$	1.218	
☐ Grenztragfähigkeit	N_{ud}	-3937.51	kN
☐ Bemessungswert der Betonfestigkeit	f_{cd}	17.00	N/mm ²
☐ Querschnittsfläche	A_c	1800.00	cm ²
☐ Bemessungswert Streckgrenze	f_{yd}	434.78	N/mm ²
☐ Vorhandene Bewehrung	vorh A:	20.18	cm ²
☐ Als vorhandene Bewehrung wurde die erforderliche Bewehrung angesetzt			
☐ Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-632.850	kN
☐ Aufnehmbare Normalkraft (Moment)	N_{bal}	-1224.00	kN
☐ Gewählter Beiwert	gew k_2	1.000	
☐ Dehnung (Streckgrenze)	ϵ_{yd}	2.17	‰
☐ Bemessungswert Streckgrenze	f_{yd}	434.78	N/mm ²
☐ E-Modul	E_s	200000.0	N/mm ²
☐ Statische Höhe	d_z	41.0	cm
☐ Ersatzlänge um die y-Achse	$l_{0,y}$	13.020	m
☐ Kriechauswirkungen berücksichtigen?		Ja	
☐ Ausmitte durch Th. II. Ord. (Kriechen) in z-Richtung	$e_{2,c,z}$	-23.4	cm
☐ Ausmitte durch Th. II. Ord. in z-Richtung	$e_{2,z}$	-20.0	cm
☐ Faktor (DAfStb.-Heft 425, 9.2.5, S.84)	$Fak_{c,z}$	1.174	
☐ Moment (quasi-ständige Einwirkung)	$M_{y,c}$	-19.745	kNm
☐ Belastung		LF1	
☐ Moment um die y-Achse (Th. I. Ord.)	$M_{Ed,y1}$	-113.723	kNm
☐ Ausmitte durch Th. II. Ord. in y-Richtung	$e_{2,y}$	5.2	cm
☐ Kriechauswirkungen berücksichtigen?		Ja	
☐ Ausmitte durch Th. II. Ord. (Kriechen) in y-Richtung	$e_{2,c,y}$	5.2	cm
☐ Momente nach Theorie II. Ord. (Kriechen)			

Ausmitte durch Theorie II. Ordnung in z-Richtung (LG4)

Es schließt die Ermittlung der Ausmitte durch Theorie II. Ordnung in y-Richtung an.

☐ Momente nach Theorie II. Ordnung			
☐ Ausmitte durch Th. II. Ord. nach 8.6.5 (8)			
☐ Ausmitte durch Th. II. Ord. in z-Richtung	$e_{2,z}$	-20.0	cm
Kriechauswirkungen berücksichtigen?		Ja	
☐ Ausmitte durch Th. II. Ord. (Kriechen) in z-Richtung	$e_{2,c,z}$	-23.4	cm
☐ Ausmitte durch Th. II. Ord. in y-Richtung	$e_{2,y}$	5.2	cm
☐ Beiwert	$k_{1,y}$	1.000	
Schlankheit um die z-Achse	λ_z	6.200	
☐ Krümmung in y-Ebene	$1/r_{0,y}$	0.013	1/m
☐ Errechneter Beiwert	$k_{2,y}$	1.218	
☐ Grenztragfähigkeit	N_{ud}	-3937.510	kN
Bemessungswert der Betonfestigkeit	f_{cd}	17.00	N/mm ²
Querschnittsfläche	A_c	1800.00	cm ²
Bemessungswert Streckgrenze	f_{yd}	434.78	N/mm ²
☐ Vorhandene Bewehrung	$vorh A_s$	20.18	cm ²
Als vorhandene Bewehrung wurde die erforderliche Bewehrung angesetzt			
Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-632.850	kN
Aufnehmbare Normalkraft (Moment)	N_{bal}	-1224.000	kN
Gewählter Beiwert	$gew k_{2,y}$	1.000	
☐ Dehnung (Streckgrenze)	ε_{yd}	2.17	‰
Bemessungswert Streckgrenze	f_{yd}	434.78	N/mm ²
E-Modul	E_s	200000.0	N/mm ²
Statische Höhe	d_y	36.0	cm
Ersatzlänge um die z-Achse	$l_{0,z}$	6.200	m
Kriechauswirkungen berücksichtigen?		Ja	
☐ Ausmitte durch Th. II. Ord. (Kriechen) in y-Richtung	$e_{2,c,y}$	5.2	cm
Ausmitte durch Th. II. Ord. in y-Richtung	$e_{2,y}$	5.2	cm
☐ Faktor (DAfStb.-Heft 425, 9.2.5, S.84)	$Fak_{c,y}$	1.000	
☐ Moment (quasi-ständige Einwirkung)	$M_{z,c}$	0.000	kNm
Belastung		LF1	
Moment um die z-Achse (Th. I. Ord.)	$M_{Ed,z1}$	7.879	kNm
☐ Momente nach Theorie II. Ord. (Kriechen)			

Ausmitte durch Theorie II. Ordnung in y-Richtung (LG4)

Sind die Ausmitten durch Theorie II. Ordnung bekannt, wird als nächstes die Bestimmung der Momente nach Theorie II. Ordnung dargestellt.

☐ Momente nach Theorie II. Ordnung			
☐ Ausmitte durch Th. II. Ord. nach 8.6.5 (8)			
☐ Momente nach Theorie II. Ord. (Kriechen)			
Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-632.850	kN
☐ Moment um die y-Achse	$M_{Ed,y2}$	-262.076	kNm
☐ Ausmitte (Th. I. Ord.) in z-Richtung	$e_{1,z}$	-18.0	cm
Planmäßige Ausmitte	$e_{0,z}$	-2.6	cm
Ungewollte Ausmitte	$e_{a,z}$	-15.4	cm
Ausmitte durch Th. II. Ord. (Kriechen)	$e_{2,z}$	-23.4	cm
☐ Moment um die z-Achse	$M_{Ed,z2}$	40.524	kNm
☐ Ausmitte (Th. I. Ord.) in y-Richtung	$e_{1,y}$	1.2	cm
Planmäßige Ausmitte	$e_{0,y}$	1.2	cm
Ungewollte Ausmitte	$e_{a,y}$	0.0	cm
Ausmitte durch Th. II. Ord. (Kriechen)	$e_{2,y}$	5.2	cm

Momente nach Theorie II. Ordnung (LG4)

Als maßgebende Belastung hat sich aufgrund des Einflusses von Kriechen und Schwinden die Lastfallgruppe **LG2** herausgestellt. Aus ihr ergeben sich die angeführten Momente $M_{Ed,y2}$ und $M_{Ed,z2}$ und eine daraus resultierende statisch erforderliche Bewehrung von 21.49 cm². Diese statisch erforderliche Bewehrung ist auch größer als die Mindestbewehrung.

Gemäß DIN 1045-01, 13.5.2 ist eine Mindestbewehrung in Abhängigkeit von der einwirkenden Normalkraft N_{Ed} mithilfe dieser Formel zu ermitteln:

$$A_{s,max} = \frac{0.15 \cdot |N_{Ed}|}{f_{yd}}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 43.5 \text{ kN/cm}^2$$

	LG2	LG3	LG4
N_{Ed}	-646.190 kN	-431.000 kN	-632.850 kN
$A_{s,min}$	2.23 cm ²	1.49 cm ²	2.18 cm ²

Für die Lastfallgruppe LG2 ergibt sich die größte Mindestbewehrung von 2.23 cm².

Die folgende Abbildung zeigt den Weg zur Bestimmung der erforderlichen Bewehrung von 21.49 cm².

3.1 Erforderliche Bewehrung querschnittsweise

Quersch. Nr.	A Bewehrung	B Stab Nr.	C Stelle x [m]	D LF / LG LK	E Bewehrungs fläche	F Einheit	G Fehlermeldung bzw. Hinweis
1	Rechteck 40/45						
	A_s	6	6.200	LG2	21.41	cm ²	

Zwischenergebnisse Rechteck 40/45 - LG2

- ☒ **Maßgebende Belastung**
- ☒ **Ersatzlänge nach 8.6.2 (4)**
- ☒ **Schlankheit nach 8.6.3 (2)**
- ☒ **Grenzschlankheit nach 8.6.2 (4)**
- ☒ **Kritische Schlankheit nach 8.6.3 (4)**
- ☒ **Art der Bemessung**
- ☒ **Momente nach Theorie I. Ordnung**
- ☒ **Momente nach Theorie II. Ordnung**
- ☒ **Statisch erforderliche Bewehrung**
 - ☐ Einwirkende Schnittgrößen

Normalkraft	N_{Ed}	-646.190	kN
Moment um die y-Achse nach Th. II. Ord. I	$M_{Ed,y2}$	273.008	kNm
Moment um die z-Achse nach Th. II. Ord. I	$M_{Ed,z2}$	41.378	kNm
 - ☒ Krümmungen
 - ☒ Querschnittspunkte
 - ☒ Bewehrungsstäbe

Statisch erforderliche Bewehrung	erf $A_{s,stat}$	21.41	cm ²
----------------------------------	------------------	-------	-----------------
- ☒ **Mindestbewehrung**

Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-646.190	kN
Bemessungswert Streckgrenze	f_{yd}	434.78	N/mm ²
Mindestbewehrung	erf $A_{s,min}$	2.23	cm ²
- ☒ **Erforderliche Bewehrung**

Statisch erforderliche Bewehrung	erf $A_{s,stat}$	21.41	cm ²
Mindestbewehrung	erf $A_{s,min}$	2.23	cm ²
Mindestbewehrung	erf A_s	21.41	cm ²

Für diese **Erforderliche Bewehrung** ist nun eine **Vorhandene Bewehrung** zu finden.

7.1.13 Vorhandene Bewehrung

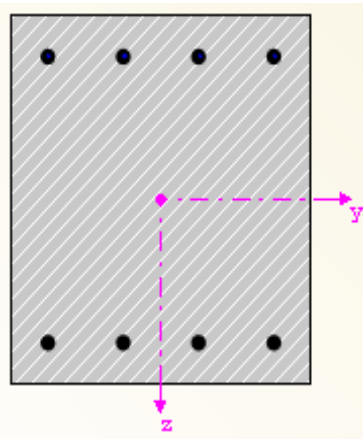
Der gesamte Bewehrungsquerschnitt darf gemäß DIN 1045-01, 13.5.2 (2) den maximal zulässigen Wert von $0.009 A_c$ nicht überschreiten. Dies sind

$$A_{s,max} = 0.09 \cdot A_c = 0.09 \cdot 1800 \text{ cm}^2 = 162 \text{ cm}^2$$

Durch die Benutzervorgabe wurde ausschließlich der Bewehrungsstahl mit Durchmesser von 20 mm zur Verfügung gestellt, um so die gleichen Ergebnisse wie im verwendeten Literaturbeispiel zu erhalten.

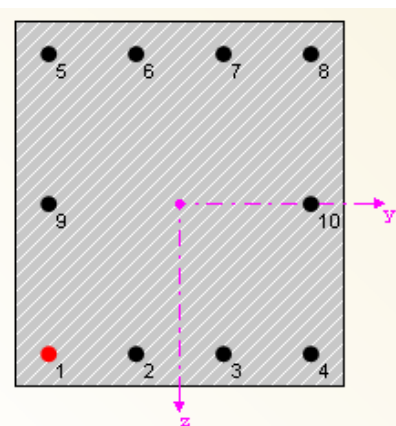
Aus diesen Bewehrungsstählen sucht das Programm nun die wirtschaftlichste Lösung, für die gilt, dass der vorhandene Bewehrungsquerschnitt möglichst nahe, jedoch größer dem erforderlichen Bewehrungsquerschnitt von 21.49 cm^2 ist.

Es werden deshalb pro Seite parallel zur y-Achse des Querschnitts in Hallenlängsrichtung vier Bewehrungsstäbe mit Stabdurchmesser 20 mm angeordnet.



Gewählte Längsbewehrung

Dem Absatz 13.5.1 (3) der DIN 1045-01 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 ebenfalls ein Stab mit Durchmesser 20 mm gewählt.



Gewählte Längsbewehrung mit konstruktiver Bewehrung

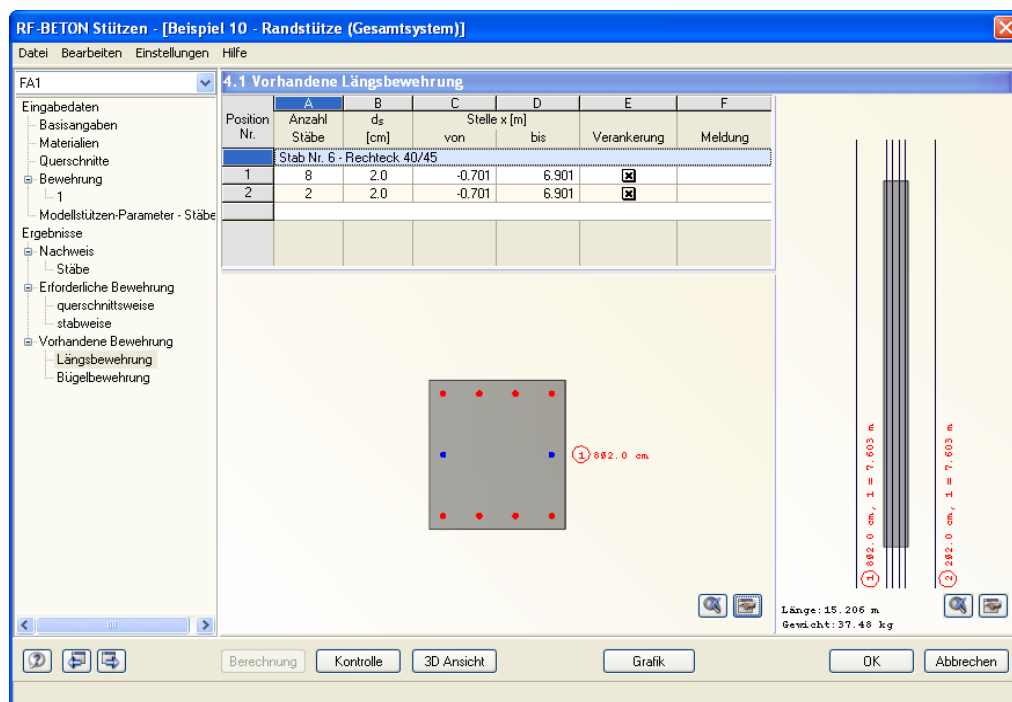
Diese konstruktive Bewehrung wird bei der Bestimmung der vorhandenen Sicherheit mit angesetzt.

7.1.14 Vorhandene Sicherheit

Für die einzelnen Lastfallgruppen ergeben sich ohne die konstruktive Bewehrung folgende Sicherheiten:

	LG2	LG3	LG4
γ	1.22886	1.52472	1.19392

Zu einer anderen Sicherheit kann der Benutzer gelangen, wenn er die vorhandene Längsbewehrung in Maske 4.1 **Vorhandene Längsbewehrung** verändert.

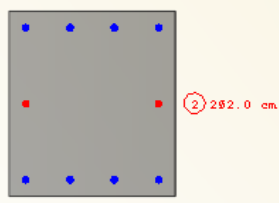



Maske 4.1: **Vorhandene Längsbewehrung**

Die obere Tabelle zeigt für die Stütze zwei Positionen. Die eine ist die statisch erforderliche Bewehrung (Position 1), die andere (Position 2) die konstruktive Bewehrung, die erforderlich ist, damit der Abstand zwischen zwei Bewehrungsstäben nicht größer als 30 cm wird. Diese Position 2 wird durch Anklicken mit der linken Maustaste markiert. Dann wird die Schaltfläche zur Bearbeitung dieser Position gedrückt.

4.1 Vorhandene Längsbewehrung

Position Nr.	A	B	C		D	E	F
	Anzahl Stäbe	d_s [cm]	Stelle x [m]		Verankerung	Meldung	
			von	bis			
Stab Nr. 6 - Rechteck 40/45							
1	8	2.0	-0.701	6.901	<input checked="" type="checkbox"/>		
2	2	2.0	-0.701	6.901	<input checked="" type="checkbox"/>		





Verändern einer bestimmten Position über Schaltfläche [Bearbeiten]

Es erscheint folgender Dialog.

Längsbewehrung bearbeiten | Stab Nr. 6, Position Nr. 1

Nachweis: ☒ Bewehrungsstäbe statisch wirksam

Durchmesser für Bewehrung: D: 20.0 [mm]

Bewehrungsanfang / -ende

x-Stelle von: 0.000 [m] Länge ohne Verankerung: 6.200 [m]
 bis: 6.200 [m] Länge mit Verankerung: 7.182 [m]
 Länge: 6.200 [m] Gesamtlänge: 57.456 [m]

Verankerungen

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

Verankerungslänge:

I-1		I-2		gesamt	Biegerollendurchmesser d-br
Anfang:	0.491	0.000	0.491	[m]	0.000 [m]
Ende:	0.491	0.000	0.491	[m]	0.000 [m]

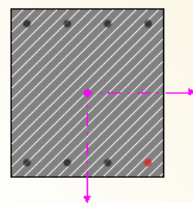
Position der Bewehrungsstäbe

Anzahl: 8

Stabkoordinaten und Hakendrehung:

Nr.	Koordinaten		Hakendrehung β [°]
	y [mm]	z [mm]	
1	160.0	185.0	-90.000
2	53.3	185.0	180.000
3	-53.3	185.0	180.000
4	-160.0	185.0	90.000
5	160.0	-185.0	-90.000
6	53.3	-185.0	0.000

Rechteck 40/45



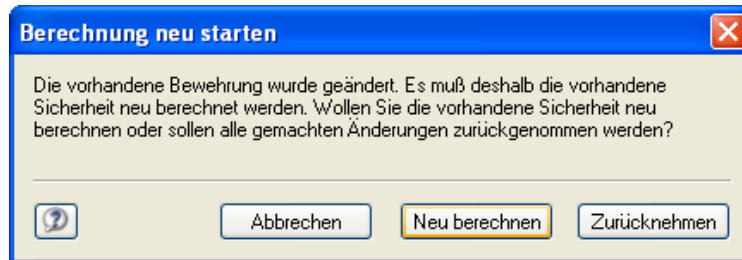
Gerade

Gerade

OK Abbrechen

Dialog zur Bearbeitung der Längsbewehrung

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:



Dialog *Berechnung erneut starten*

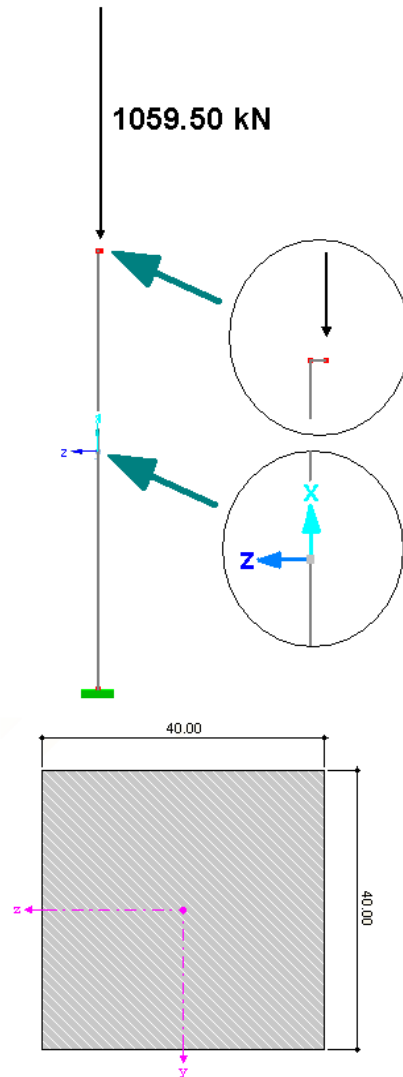
Über die Schaltfläche [Neu berechnen] wird die Berechnung neu gestartet. Anschließend kann man die veränderten Sicherheiten in der Maske 2.1 **Nachweis Stäbe** betrachten.

Für die einzelnen Lastfallgruppen ergeben sich ohne die konstruktive Bewehrung folgende Sicherheiten:

	LG2	LG3	LG4
γ	1.18273	1.44148	1.14407

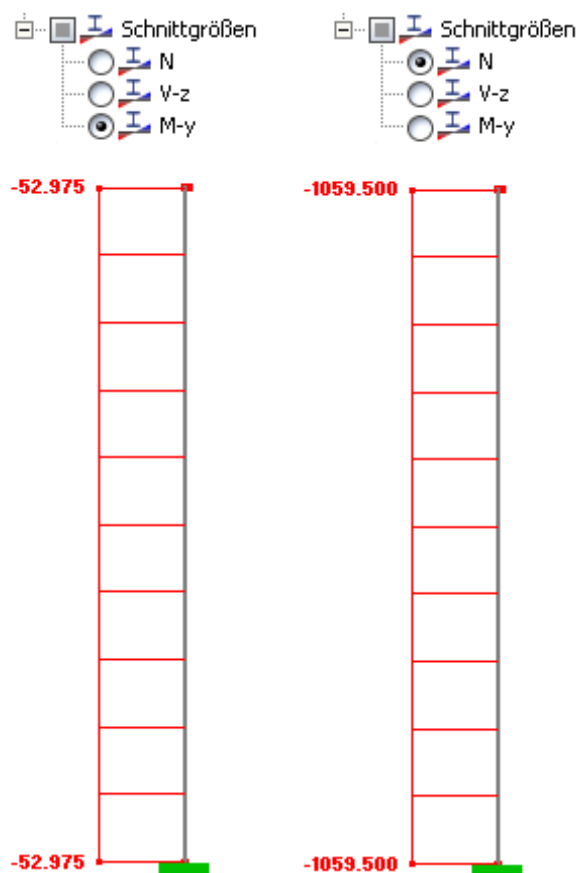
7.2 Schlanke Stütze

Um das in [2] nach nichtlinearem Verfahren vorgestellte Beispiel nachrechnen zu können, muss zunächst in RSTAB folgendes System erzeugt werden.



System zum Beispiel

Ein eingespannter Winkel 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.



Verlauf des Moments M-y und der Normalkraft N

7.2.1 Räumliche Steifigkeit und Stabilität

Um die gleichen Ergebnisse zu erhalten, wird um die z-Achse des Querschnitts eine Stabilitätsuntersuchung durch Benutzervorgabe ausgeschlossen.

Einstellungen für Stab Nr. 1			
Querschnitt		1 - Rechteck 40/40	
⊕ Allgemeine Eigenschaften			
<input type="checkbox"/> um die y-Achse			
<input type="checkbox"/> Knickgefährdung	Knicken,y	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> System verschieblich	Verschieb,y	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Systemlänge	lcol,y	8.000	m
<input type="checkbox"/> um die z-Achse			
<input type="checkbox"/> Knickgefährdung	Knicken,z	<input type="checkbox"/>	

Bestimmen der knickgefährdeten Richtungen

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.

7.2.2 Ersatzlänge und Schlankheit der Stütze

Der Ersatzlängenbeiwert wird für einen einseitig eingespannten Stab zu $\beta = 2.0$ angenommen. Dieser Wert ist unter dem Punkt [Ersatzlänge] → [um die y-Achse] → [Definiertes Verhältnis] einzugeben.

Querschnitt		1 - Rechteck 40/40	
⊕ Allgemeine Eigenschaften			
⊖ Ersatzlänge			
⊖ um die y-Achse			
Verhältnis ermitteln	Ermit- β	<input type="checkbox"/>	
Definiertes Verhältnis	β_y	2.000	
Ersatzlänge	$l_{0,y}$	16.000	

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 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 y-Achse bestimmt sich dann zu:

$$\lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{1600}{11.55} = 138,53$$

Die gleiche Schlankheit $\lambda_y = 138,53$ wird unter folgendem Punkt vom Programm ausgegeben.

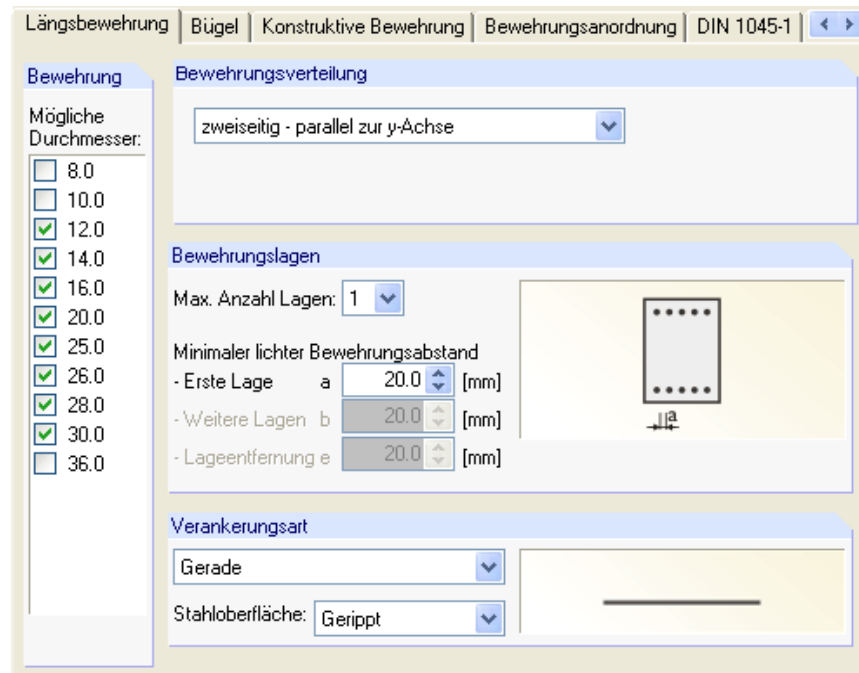
Querschnitt		1 · Rechteck 40/40	
⊕ Allgemeine Eigenschaften			
⊕ Ersatzlänge			
⊖ Schlankheit			
⊖ um die y-Achse			
Schlankheit		λ_y	138.564

Bevor die Berechnung gestartet wird, werden zur Vervollständigung sämtliche andere Eingaben dargestellt. In Maske [2.1 Material] zeigen sich der aus RSTAB übernommene Beton. Dazu wird eine passender Bewehrungsstahl ausgesucht.

1.2 Materialien				
Material Nr.	A	B	C	D
	Material-Bezeichnung	Material-Bezeichnung	Anmerkung	Kommentar
1	Beton C20/25	BSt 500 S (B)		

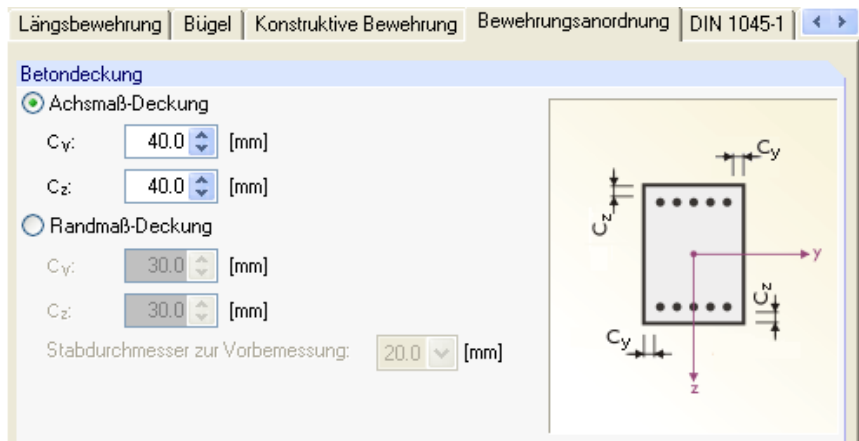
Gewählte Materialien

Im Register **Längsbewehrung** der Maske 1.4 **Bewehrung** werden dem Programm folgende Bewehrungsstabdurchmesser zur Verfügung gestellt.



Register **Längsbewehrung**

Im Register **Bewehrungsanordnung** wird das gleiche Achsmaß der Betondeckung vorgeben wie im verwendeten Literaturbeispiel.



Register **Bewehrungsanordnung**

Damit sind alle relevanten Eingaben vorgestellt und die Berechnung kann gestartet werden. Das Programm überprüft zunächst, ob eine Regelbemessung ausreichend ist oder eine Stabilitätsuntersuchung vorgenommen werden muss.

7.2.3 Grenzschlankheit gemäß 8.6.2 (4)

Zunächst muss vom Programm für die Belastung eine erforderliche Bewehrung bestimmt werden. Diese erforderliche Bewehrung ergibt sich in den Ausgabemasken 3.1 *Erforderliche Bewehrung querschnittsweise* und 3.1 *Erforderliche Bewehrung stabweise* zu 50.27 cm²/m.

3.1 Erforderliche Bewehrung querschnittsweise							
Quersch. Nr.	A	B	C	D	E	F	G
	Bewehrung	Stab Nr.	Stelle x [m]	LF / LG LK	Bewehrungs- fläche	Einheit	Fehlermeldung bzw. Hinweis
1	Rechteck 40/40						
	A _s	1	0.000	LF1	50.27	cm ²	

Erforderliche Bewehrung

Die Ausgabe der Zwischenergebnisse beginnt mit folgenden drei Überpunkten:

Details - Stab Nr. 3 - x: 0.000 m - LF3			
<input checked="" type="checkbox"/> Maßgebende Belastung			
<input type="checkbox"/> Normalkraft	N	-1059.500	kN
<input type="checkbox"/> Moment um die y-Achse	M _y	-52.975	kNm
<input type="checkbox"/> Moment um die z-Achse	M _z	0.000	kNm
<input checked="" type="checkbox"/> Ersatzlänge nach 8.6.2 (4)			
<input type="checkbox"/> Ersatzlänge um die y-Achse	l _{0,y}	16.000	m
<input type="checkbox"/> Systemlänge	l _{col,y}	8.000	m
<input type="checkbox"/> Verhältnis	β _y	2.000	
<input type="checkbox"/> Ersatzlänge um die z-Achse	l _{0,z}	0.000	m
<input type="checkbox"/> Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe			
<input checked="" type="checkbox"/> Schlankheit nach 8.6.2 (4)			
<input type="checkbox"/> Schlankheit um die y-Achse	λ _y	138.564	
<input type="checkbox"/> Ersatzlänge	l _{0,y}	16.000	m
<input type="checkbox"/> Trägheitsradius	i _y	11.5	cm
<input type="checkbox"/> Schlankheit um die z-Achse	λ _z	0.000	
<input type="checkbox"/> Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe			

Darstellung der Zwischenergebnisse

Um nun die Grenzschlankheit ermitteln zu können, muss die bezogenen Druckkraft bestimmt werden. Dazu werden folgende Formeln verwendet.

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}}$$

mit :

$$A_c = y \cdot z = 40 \cdot 40 = 1600 \text{ cm}^2$$

$$f_{cd} = \frac{\alpha \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0.85 \cdot 2.0}{1.5} = 1.133 \text{ kN/cm}^2$$

$$v_{Ed} = \frac{|N_{Ed}|}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{|1059.5|}{1600 \cdot 1.133} = 0.584 > 0.41$$

$$\lambda_{\max} = 25 \text{ für } |v_{Ed}| > 0.41$$

Im Programm finden sich diese Parameter unter dem Punkt *Grenzschlankheit nach 8.6.2 (4)*.

⊕ Maßgebende Belastung			
⊕ Ersatzlänge nach 8.6.2 (4)			
⊕ Schlankheit nach 8.6.3 (2)			
⊖ Grenzschlankheit nach 8.6.2 (4)			
<input type="checkbox"/> Parameter	ν_{Ed}	0.584	≥ 0.41
<input type="checkbox"/> Normalkraft	N	-1059.500	kN
<input type="checkbox"/> Betonquerschnitt	A_c	1600.00	cm ²
<input type="checkbox"/> Bemessungswert der Betonfestigkeit	f_{cd}	11.33	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Charakteristische Druckfestigkeit	f_{ck}	20.00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Abminderungsbeiwert	α	0.850	m
<input type="checkbox"/> Teilsicherheitsbeiwert	γ_c	1.500	m
<input type="checkbox"/> Grenzschlankheit	λ_{max}	25.000	m

Grenzschlankheit nach 8.6.2 (4)

Da die Schlankheit λ_y um y-Achse mit 138.53 größer als die lastfallbezogene Grenzschlankheit ist, ist gemäß Abs. 8.6.2 (4) um y-Achse eine Stabilitätsuntersuchung durchzuführen.

7.2.4 Kritische Schlankheit gemäß 8.6.3 (4)

Außerdem kann der Nachweis in unverschieblich ausgesteiften Tragwerken selbst dann noch entfallen, obwohl sie schlank sind, wenn die Schlankheit die kritische Schlankheit λ_{crit} gemäß DIN 1045-01 Abs. 8.6.3 (4) nicht übersteigt und die Stütze zwischen ihren Enden nicht durch Querlasten oder Lastmomente beansprucht wird und die Längskraft über die Stützenlänge als konstant angenommen werden kann.

Die kritische Schlankheit λ_{crit} ermittelt sich nach folgender Gleichung:

$$\lambda_{crit} = 25 \cdot \left(2 - \frac{e_{01}}{e_{02}} \right) = 25 \cdot \left(2 - \frac{0.05}{0.05} \right) = 25$$

mit:

e_{01}, e_{02} = Ausmitte der Längskraft an den Stabenden bei Berechnung nach Theorie I. Ordnung

$$e_0 = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{-52.975}{-1059.500} = 0.05\text{m}$$

Da der Momentenverlauf über die Stütze konstant ist, ergibt sich die kritische Schlankheit zu:

$$\lambda_{crit} = 25$$

Damit wird eine Stabilitätsuntersuchung zwingend erforderlich.

⊖ Kritische Schlankheit nach 8.6.3 (4)			
<input type="checkbox"/> Kritische Schlankheit um die y-Achse	$\lambda_{crit,y}$	25.000	
<input type="checkbox"/> Momentenverlauf über die Stütze	Verlauf M_y	Konstant	
<input type="checkbox"/> Erste Ausmitte der Längskraft	$e_{01,z}$	5.0	cm
<input type="checkbox"/> Moment um die y-Achse	M_y	-52.975	kNm
<input type="checkbox"/> Normalkraft	N	-1059.500	kN
<input type="checkbox"/> Zweite Ausmitte der Längskraft	$e_{02,z}$	5.0	cm
<input type="checkbox"/> Moment um die y-Achse	M_y	-52.975	kNm
<input type="checkbox"/> Normalkraft	N	-1059.500	kN
<input type="checkbox"/> Kritische Schlankheit um die z-Achse	$\lambda_{crit,z}$	25.000	
Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe			

Kritische Schlankheit nach 8.6.3 (4)

7.2.5 Planmäßige Ausmitte

Die planmäßige Ausmitte gemäß DIN 1045-01, 8.6.5 (6) bestimmt sich zu:

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{-5297 \text{ kNcm}}{-1059.50 \text{ kN}} = 5.0 \text{ cm}$$

☐ Momente nach Theorie I. Ordnung			
☐ Planmäßige Ausmitte nach 8.6.5 (6)			
☐ Zweiachsige Ausmitte?		Nein	
☐ Planmäßige Ausmitte in z-Richtung	$e_{0,z}$	-5.0	cm
☐ Momentenverlauf über die Stütze	Verlauf M_y	konstant	
☐ Moment um die y-Achse	M_y	-52.975	kNm
☐ Absolute Normalkraft	$ N $	1059.500	kN
☐ Planmäßige Ausmitte in y-Richtung	$e_{0,y}$	0.0	cm
☐ Momentenverlauf über die Stütze	Verlauf M_z	konstant	
☐ Moment um die z-Achse	M_z	0.000	kNm
☐ Absolute Normalkraft	$ N $	1059.500	kN

Planmäßige Ausmitte nach 8.6.5 (6)

7.2.6 Ungewollte Ausmitte gemäß 8.6.4 (1)

Die ungewollte Schiefstellung α_{a1} ermittelt sich nach der DIN 1045-01 Abs. 7.2 (4) mit Hilfe der Formel (4) wie folgt:

$$\alpha_{a1} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{l_{col}}} \leq \frac{1}{200}$$

$$\alpha_{a1} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{8.0}} = \frac{1}{282.8} = 0.003535 \leq \frac{1}{200}$$

Die Ausmitte ermittelt sich nach der Formel (33) im Absatz 8.6.4 der DIN 1045-01.

$$e_a = \alpha_{a1} \cdot \frac{l_0}{2} = 0.003535 \cdot \frac{800}{2} = 2.83 \text{ cm}$$

☐ Momente nach Theorie I. Ordnung			
☐ Planmäßige Ausmitte			
☐ Ungewollte Ausmitte nach 8.6.4 (1)			
☐ Ungewollte Ausmitte in z-Richtung	$e_{a,z}$	-2.8	cm
☐ Ungewollte Schiefstellung	$\alpha_{a1,z}$	0.0035	
☐ Ersatzlänge um die y-Achse	$l_{0,y}$	8.000	m
☐ Ungewollte Ausmitte in y-Richtung	$e_{a,y}$	0.0	cm
Keine ungewollte Ausmitte, da keine Knickgefährdung laut Benutzervorgabe			

Ungewollte Ausmitte nach 8.6.4 (1)

7.2.6.1 Momente nach Theorie I. Ordnung

Die Momente nach Theorie I. Ordnung ermitteln sich auf folgende Weise.

$$M_{Ed1} = N_{Ed} \cdot (e_a + e_0) = -1059.50 \cdot (0.0283 + 0.05) = -82.93 \text{ kNm}$$

☐ Momente nach Theorie I. Ordnung			
☐ Planmäßige Ausmitte nach 8.6.5 (6)			
☐ Ungewollte Ausmitte nach 8.6.4 (1)			
☐ Momente nach Theorie I. Ord.			
☐ Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-1059.500	kN
☐ Moment um die y-Achse	$M_{Ed,1,y}$	-82.942	kNm
☐ Ausmitte in z-Richtung	$e_{1,z}$	-7.8	cm
☐ Planmäßige Ausmitte	$e_{0,z}$	-5.0	cm
☐ Ungewollte Ausmitte	$e_{a,z}$	-2.8	cm
☐ Moment um die z-Achse	$M_{Ed,1,z}$	0.000	kNm
Keine Knickgefährdung laut Benutzervorgabe			

Momente nach Theorie I. Ordnung

7.2.7 Zusätzliche Ausmitte gemäß 8.6.5 (8) und Bewehrung

Beiwert k_2 zur Berücksichtigung der Abnahme der Krümmung bei steigenden Längsdruckkräften wird zunächst auf der sicheren Seite liegend mit 1 angenommen, da noch keine vorhandene Bewehrung vorliegt und somit die Grenztragfähigkeit N_{ud} bei zentrischem Druck nicht ermittelt werden kann.

Die Krümmung $\frac{1}{r_0}$ bestimmt sich somit nach folgender Formel.

$$\frac{1}{r_0} = 2 \cdot K_2 \cdot \frac{\varepsilon_{yd}}{0.9 \cdot d} = 2 \cdot 1.0 \cdot \frac{2.17}{0.9 \cdot 36} = 0.01342 \frac{1}{m}$$

mit:

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 2.17 \text{ ‰}$$

Die zusätzliche Lastausmitte e_2 infolge der Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung ermittelt sich dann nach folgender Formel.

$$e_2 = K_1 \cdot \frac{1}{r_0} \cdot \frac{l_0^2}{10} = 1.0 \cdot 0.01342 \cdot \frac{8.0^2}{10} = -34.35 \text{ cm}$$

mit:

K_1 = Beiwert K_1 für den allmählichen Übergang vom verformungsunbeeinflussten zum verformungsbeeinflussten Druckglied

$$K_1 = 1 \quad \text{für} \quad \text{für } \lambda > 35$$

Für die Stütze existiert kein kriecherzeugendes Moment. Die Ausmitten infolge Theorie II. Ordnung bleibt somit unverändert.

Sind die Ausmitten infolge Theorie II. Ordnung bekannt, können die Momente nach Theorie II. Ordnung bestimmt werden zu:

$$M_{Ed,2,c} = N_{Ed} \cdot (e_a + e_0 + e_{2,c})$$

$$= -1059.50 \cdot (-0.02828 - 0.05 - 0.3435) = -446.91 \text{ kNm}$$

Für dieses einwirkende Moment nach Theorie II. Ordnung findet zusammen mit der einwirkenden Normalkraft $N_{Ed} = -1059.50 \text{ kN}$ eine erste Bemessung statt, die eine erforderliche Bewehrung von $\text{erf } A_s = 55.69 \text{ cm}^2$ liefert.

Im weiteren Programmablauf wird die erforderliche Bewehrung für jede abermalige Bemessung als vorhandene Bewehrung angesetzt.

Der Bauteilwiderstand N_{ud} bei zentrischer Beanspruchung kann somit ermittelt werden zu:

$$N_{ud} = -(f_{cd} \cdot A_c + f_{yd} \cdot A_s) = -(1.133 \cdot 1600 + 43.5 \cdot 55.69) = -4247.69 \text{ kN}$$

mit :

$$f_{cd} = \frac{\alpha \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0.85 \cdot 2.0}{1.5} = 1.133 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_c = y \cdot z = 40 \cdot 40 = 1600 \text{ cm}^2$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 43.5 \text{ kN/cm}^2$$

Die Grenztragfähigkeit N_{bal} bei größter Momententragfähigkeit ermittelt sich zu:

$$N_{bal} = -0.4 \cdot f_{cd} \cdot A_c = -0.4 \cdot 1.133 \cdot 1600 = -725.33 \text{ kN}$$

Damit kann der Beiwert K_2 zur Berücksichtigung der Abnahme der Krümmung bei steigenden Längsdruckkräften ermittelt werden zu:

$$K_2 = \frac{|-4247,34| - |-1059,50|}{|-4247,34| - |-725,33|} = 0,905$$

Und somit kann erneut die Krümmung $\frac{1}{r_0}$ nach folgender Formel bestimmt werden.

$$\frac{1}{r_0} = 2 \cdot K_2 \cdot \frac{\varepsilon_{yd}}{0,9 \cdot d} = 2 \cdot 0,905 \cdot \frac{2,17}{0,9 \cdot 36} = 0,01214 \frac{1}{m}$$

mit:

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 2,17 \text{ ‰}$$

Die zusätzliche Lastausmitte e_2 infolge der Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung ermittelt sich nun nach folgender Formel.

$$e_2 = K_1 \cdot \frac{1}{r_0} \cdot \frac{l_0^2}{10} = 1,0 \cdot 0,01215 \cdot \frac{8,0^2}{10} = -31,08 \text{ cm}$$

mit:

K_1 = Beiwert K_1 für den allmählichen Übergang vom verformungsunbeeinflussten zum verformungsbeeinflussten Druckglied

$$K_1 = 1 \quad \text{für} \quad \text{für } \lambda > 35$$

Sind die Ausmitten infolge Theorie II. Ordnung unter Ansatz einer vorhandenen Bewehrung bekannt, können abermals die Momente nach Theorie II. Ordnung bestimmt werden zu:

$$M_{Ed,2,c} = N_{Ed} \cdot (e_a + e_0 + e_{2,c})$$

$$= -1059,50 \cdot (-0,02828 - 0,05 - 0,3108) = -412,256 \text{ kNm}$$

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.

Bemessung	1	2	3	4	5	6	7
vorh A_s	0.00	55.6912	50.6383	50.3002	50.2760	50.2743	50.2743
K_2	1.00	0.905	0.900	0.898	0.898	0.898	0.898
$M_{Ed,II}$	-446.91	-412.256	-409.942	-409.764	-409.276	-409.763	-409.763
erf A_s	55.6912	50.6383	50.3002	50.2760	50.2743	50.2743	50.2743

Die obige Tabelle zeigt, dass für die vorhandene Bewehrung nach dem siebten Iterationsdurchgang sich die Momente nach Theorie II. Ordnung nicht mehr ändern und für die erforderliche Bewehrung dieses Iterationsdurchgangs eine vorhandene Bewehrung gefunden werden muss.

Im Programm werden die Zwischenergebnisse zur Bestimmung der erforderlichen Bewehrung erf $A_s = 50,27 \text{ cm}^2$ durch folgenden Teil der Details in der Maske 3.1 **Erforderliche Bewehrung querschnittsweise** dargestellt.

☐ Momente nach Theorie II. Ordnung			
☐ Ausmitte durch Th. II. Ord. nach 8.6.5 (8)			
☐ Ausmitte durch Th. II. Ord. in z-Richtung	$e_{2,z}$	-30.8	cm
☐ Beiwert	$k_{1,z}$	1.000	m
☐ Schlankheit um die y-Achse	λ_y	16.000	m
☐ Krümmung in z-Ebene	$1/r_{0,z}$	0.012	1/m
☐ Errechneter Beiwert	$k_{2,z}$	0.898	m
☐ Grenztragfähigkeit	N_{ud}	-3999.170	kN
☐ Bemessungswert der Betonfestig	f_{cd}	11.33	N/mm ²
☐ Querschnittsfläche	A_c	1600.00	cm ²
☐ Bemessungswert Streckgrenze	f_{yd}	434.78	N/mm ²
☐ Vorhandene Bewehrung	$vorh A_s$	50.27	cm ²
☐ Als vorhandene Bewehrung wurde die erforderliche Bewehrung angesetzt			
☐ Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-1059.500	kN
☐ Aufnehmbare Normalkraft (Moment)	N_{bal}	-725.334	kN
☐ Gewählter Beiwert	$gew k_{2,z}$	0.898	m
☐ Dehnung (Streckgrenze)	ε_{yd}	2.17	‰
☐ Bemessungswert Streckgrenze	f_{yd}	434.78	N/mm ²
☐ E-Modul	E_s	200000.00	N/mm ²
☐ Statische Höhe	d_z	36.0	cm
☐ Ersatzlänge um die y-Achse	$l_{0,y}$	16.000	m
☐ Kriechauswirkungen berücksichtigen?			
☐ Ausmitte durch Th. II. Ord. in y-Richtung			
☐ Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe			
☐ Momente nach Theorie II. Ord.			
☐ Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-1059.500	kN
☐ Moment um die y-Achse	$M_{Ed,y2}$	-409.763	kNm
☐ Ausmitte (Th. I. Ord.) in z-Richtung	$e_{1,z}$	-7.8	cm
☐ Planmäßige Ausmitte	$e_{0,z}$	-2.8	cm
☐ Ungewollte Ausmitte	$e_{a,z}$	-5.0	cm
☐ Ausmitte durch Th. II. Ord.	$e_{2,z}$	-30.8	cm
☐ Moment um die z-Achse	$M_{Ed,z2}$	0.000	kNm
☐ Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe			

Momente nach Theorie II. Ordnung

Mit den sich ergebenden Schnittgrößen $N_{Ed} = -1059.500$ kN und $M_{Ed,y2} = -409.832$ kNm wird dann eine Bemessung durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Bemessung befinden sich in folgendem Abschnitt der Details.

☐ Statisch erforderliche Bewehrung			
☐ Einwirkende Schnittgrößen			
☐ Normalkraft	N_{Ed}	-1059.500	kN
☐ Moment um die y-Achse	$M_{Ed,y}$	-52.975	kNm
☐ Moment um die z-Achse	$M_{Ed,z}$	0.000	kNm
☐ Krümmungen			
☐ Krümmung in z-Ebene	$1/r_z$	0.000	1/m
☐ Krümmung in y-Ebene	$1/r_y$	0.000	1/m
☐ Querschnittspunkte			
☐ Bewehrungsstäbe			
☐ Statisch erforderliche Bewehrung	$erf A_{s,stat}$	50.27	cm ²

Statisch erforderliche Bewehrung

Unter dem Überpunkt **Querschnittspunkte** befinden sich für jeden in der rechtseitigen Grafik dargestellten Punkt die Betondehnungen und -spannungen.

☐ Querschnittspunkte				
Anzahl der Querschnittspunkte	n_c	4		
☐ Querschnittspunkt	Nr.	1		
y-Koordinate	y_c	20.0	cm	
z-Koordinate	z_c	20.0	cm	
Dehnung	ϵ_c	-3.50	‰	
Spannung	σ_c	-11.33	N/mm ²	
⊕ Querschnittspunkt	Nr.	2		
⊕ Querschnittspunkt	Nr.	3		
⊕ Querschnittspunkt	Nr.	4		

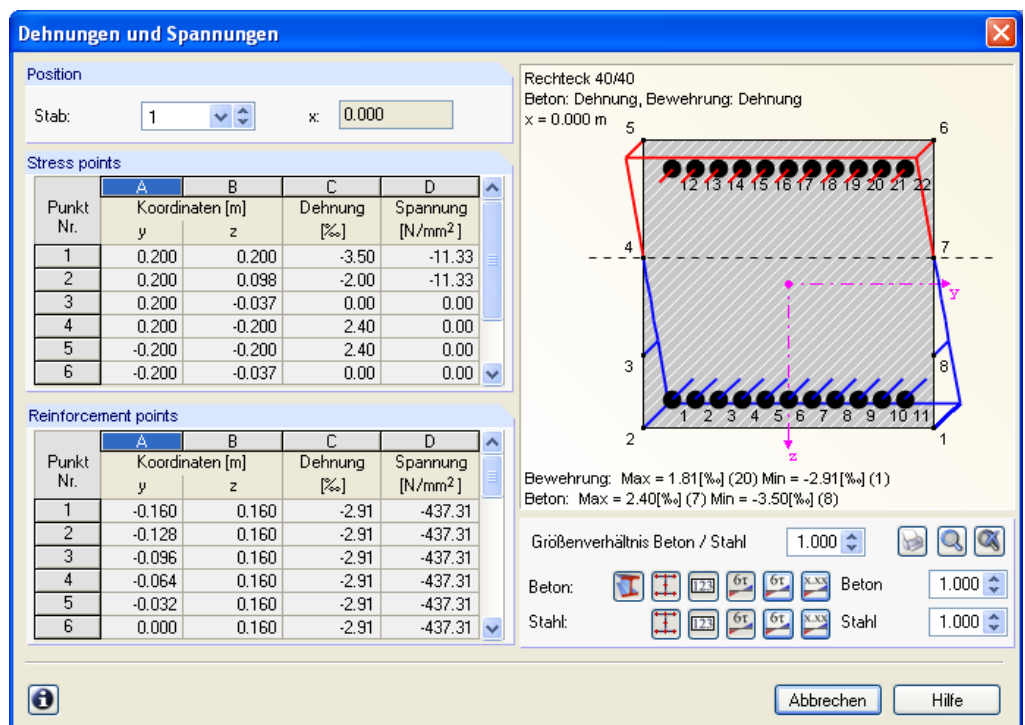
Spannungen und Dehnungen der einzelnen Querschnittspunkte

Analog dazu befinden sich unter dem Überpunkt **Bewehrungsstäbe** die Koordinaten der einzelnen Bewehrungsstäbe sowie die in ihnen vorherrschenden Dehnungen und Spannungen.

☐ Bewehrungsstäbe				
Anzahl der Bewehrungsstäbe	n_s	22		
☐ Bewehrungsstab	Nr.	1		
y-Koordinate	y_s	-16.0	cm	
z-Koordinate	z_s	16.0	cm	
Dehnung	ϵ_s	-2.91	‰	
Spannung	σ_s	-434.78	N/mm ²	
⊕ Bewehrungsstab	Nr.	2		

Spannungen und Dehnungen der einzelnen Bewehrungsstäbe

Sowohl Dehnungen als auch Spannungen werden gemeinsam für Beton und Bewehrung im Grafikfenster auf der rechten Seite dargestellt. Diese Darstellung kann durch eine Vielzahl von Schaltflächen unterhalb des Grafikfensters verändert werden. Es kann auch ein eigener Dialog aufgerufen werden, der die Dehnungen und Spannungen übersichtlich in zwei Tabellen für Beton und Stahl zeigt.



Darstellung der Dehnungen von Beton und Bewehrung

Den Abschluss der Details in Maske 3.1 **Erforderliche Bewehrung querschnittsweise** bilden zum einen der Überpunkt zur Ermittlung der **Mindestbewehrung** 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 40/40 - LF1			
+ Maßgebende Belastung			
+ Ersatzlänge nach 8.6.2 (4)			
+ Schlankheit nach 8.6.3 (2)			
+ Grenzschlankheit nach 8.6.2 (4)			
+ Kritische Schlankheit nach 8.6.3 (4)			
+ Art der Bemessung			
+ Momente nach Theorie I. Ordnung			
+ Momente nach Theorie II. Ordnung			
+ Statisch erforderliche Bewehrung			
+ Mindestbewehrung			
Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-1059.500	kN
Bemessungswert Streckgrenze	f_{yd}	434.78	N/mm ²
Mindestbewehrung	$erf \bar{A}_{s,min}$	3.66	cm ²
+ Erforderliche Bewehrung			
Statisch erforderliche Bewehrung	$erf \bar{A}_{s,stat}$	50.27	cm ²
Mindestbewehrung	$erf \bar{A}_{s,min}$	3.66	cm ²
Erforderliche Bewehrung	$erf \bar{A}_s$	50.27	cm ²

Überpunkte **Mindestbewehrung** und **Erforderliche Bewehrung**

Die Mindestbewehrung bestimmt sich nach der DIN 1045-01 Abs. 13.5.2 wie folgt:

$$DIN 1045-01: A_{s,min} = 0.15 \cdot \frac{|N_{Ed}|}{f_{yd}} = 0.15 \cdot \frac{|-1059.50|}{43.478} = 3.66 \text{ cm}^2$$

7.2.8 Vorhandene Bewehrung

Der gesamte Bewehrungsquerschnitt darf gemäß DIN 1045-01 Abs. 13.5.2 (2) den maximal Wert von $0.009 A_c$ nicht überschreiten. Dies sind

$$A_{s,max} = 0.09 \cdot A_c = 0.09 \cdot 1600 \text{ cm}^2 = 162 \text{ cm}^2$$

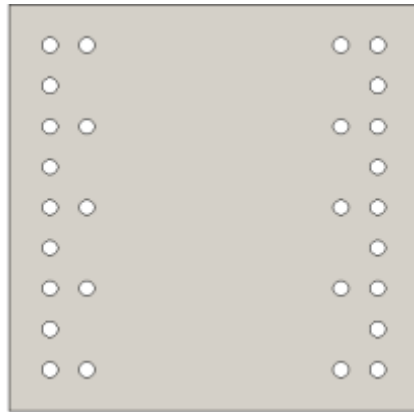
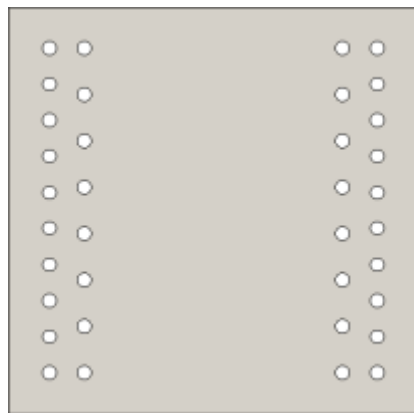
Durch den Benutzer wurden dem Programm Bewehrungsstähle mit folgendem Durchmesser zur Verfügung gestellt: 12,14,16, 20, 25,26,28,30 und 36 mm.

Aus diesen Bewehrungsstählen sucht das Programm nun die wirtschaftlichste Lösung, für die gilt, dass der vorhandenen Bewehrungsquerschnitt möglichst nah, jedoch größer dem erforderlichen Bewehrungsquerschnitt von 50.27 cm² ist.

Bemessung	1	2	3
gew A_s	0.00	56.30	55.42
K_2	1.00	0.906	0.904
$M_{Ed,II}$	-446.91	-412.69	-412.14
$erf A_s$	55.69	55.02	55.87
vorh A_s ($d_s=12$)	-	-	-
vorh A_s ($d_s=14$)	58.50	55.42	-
vorh A_s ($d_s=16$)	56.30	56.30	-
vorh A_s ($d_s=20$)	56.55	56.55	-
vorh A_s ($d_s=25$)	58.90	58.90	-
vorh A_s ($d_s=26$)	63.71	63.71	-
vorh A_s ($d_s=28$)	61.58	61.58	-
vorh A_s ($d_s=30$)	56.54	56.55	-
vorh A_s ($d_s=36$)	61.07	61.07	-

55.87 > 55.02
Die erforderliche Bewehrung steigt wieder an. Die Iteration wird deshalb an dieser Stelle beendet.

Als vorhandene Bewehrung wird die gefundene Bewehrung des 1. Iterationsdurchgangs
vorh $A_s = 56.30 \text{ cm}^2$ aus
28 Stäben mit Durchmesser 16 gewählt.

Gewählte Bewehrung für den 1. Iterationsschritt (28 Stäbe, $d_s=16$ mm)Gewählte Bewehrung für den 2. Iterationsschritt (36 Stäbe, $d_s=14$ mm)

Auf Grund der veränderten Anordnung der Bemessungspunkte steigt die erforderliche Bewehrung im dritten Iterationsschritt über die erforderliche Bewehrung des zweiten Iterationsschrittes ($\text{erf } A_s(3) > \text{erf } A_s(2)$). Dies ist der Beweis, dass die gewählte Bewehrung des zweiten Iterationsdurchgangs zu keiner Verringerung der vorhandenen Bewehrung führen würde. Es wird deshalb die gefundene Bewehrung des 1. Iterationsdurchgangs verwendet.

Dies sind 28 Stäbe mit Durchmesser 16 mm, die auf jeweils zwei Lagen entlang der y-Achse verteilt werden. Sie ergeben einen vorhandenen Querschnitt von $\text{vorh } A_s = 56.30 \text{ cm}^2$.

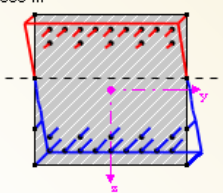
Für diese Bewehrung ergibt sich dann eine Sicherheit von 1.01.

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

Momente nach Theorie II. Ordnung			
Vorhandene Bewehrung			
Dehnungszustand			
Bruchzustand			
Nachweis			
Erforderliche Bruchsicherheit	erf γ	1.0	
Vorhandene Bruchsicherheit	vorh γ	1.015	
Einwirkende Schnittgrößen			
Normalkraft	N_{Ed}	-1059.500	kN
Moment um die y-Achse	$M_{Ed,y}$	-412.515	kNm
Moment um die z-Achse	$M_{Ed,z}$	0.000	kNm
Bruchschnittgrößen			
Bruchnormalkraft	N_u	-1075.650	kN
Bruchmoment um die y-Achse	$M_{y,u}$	-418.807	kNm
Bruchmoment um die z-Achse	$M_{z,u}$	0.000	kNm
Nachweiskriterium (erf γ / vorh γ)	Kriterium	0.985	







☐ Alle Lastfälle







Rechteck 40/40
Beton: Dehnung, Bewehrung: Dehnung
x = 0.000 m



Bewehrung: Max = 1.97[‰] (18) Min = -2.80[‰] (18)
Beton: Max = 2.58[‰] (7) Min = -3.50[‰] (18)

Beton/Stahl: 1.00

Beton:      

Stahl:      

Vorhandene Sicherheit bei einer Bewehrung von $\text{vorh } A_s = 56.30 \text{ cm}^2$

Für Bewehrungsvorschläge mit einem Durchmesser d_s kleiner als 16 mm ergeben sich stets zweireihige Bewehrungsanordnungen. Die Ermittlung der erforderlichen Bewehrung wird deshalb abermals mit ohne die Bewehrungsstäbe von Durchmesser 12, 14 und 16 mm wiederholt.

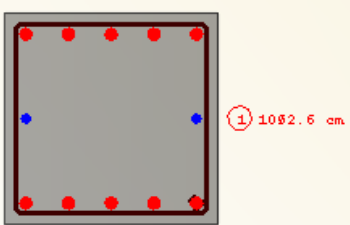
Bemessung	1	2	3
gew A_s	0.00	55.65	53.09
K_2	1.00	0.906	0.902
$M_{Ed,II}$	-446.91	-412.62	-411.10
erf A_s	55.69	50.69	50.47
vorh A_s ($d_s=20$)	<u>56.55</u>	56.69	56.55
vorh A_s ($d_s=25$)	58.90	58.90	58.90
vorh A_s ($d_s=26$)	63.71	<u>53.09</u>	<u>53.09</u>
vorh A_s ($d_s=28$)	61.58	61.58	61.58
vorh A_s ($d_s=30$)	56.55	56.55	56.55
vorh A_s ($d_s=36$)	61.07	61.07	61.07

Gewählte Bewehrung gew A_s und vorhandene Bewehrung vorh A_s zur Aufnahme der erforderlichen Bewehrung erf A_s sind im dritten Iterationsschritt gleich.

Diese Iteration zeigt das zweite Abbruchkriterium bei der Ermittlung der vorhandenen Bewehrung. Innerhalb zweier aufeinander folgender Iterationsschritte bleibt die gewählte vorhandene Bewehrung gleich. Die Iteration kann somit beendet werden.

Es werden deshalb pro Seite parallel zur y-Achse des Querschnitts in Hallenlängsrichtung 5 Bewehrungsstäbe mit Stabdurchmesser 26 mm angeordnet.

4.1 Vorhandene Längsbewehrung						
Position Nr.	A	B	C		E	F
	Anzahl Stäbe	d_s [cm]	Stelle x [m]		Verankerung	Meldung
			von	bis		
Stab Nr. 1 - Rechteck 40/40						
1	10	2.6	-1.525	9.525	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	2	2.0	-1.173	9.173	<input checked="" type="checkbox"/>	



Vorhandene Bewehrung

Die Sicherheit ergibt sich zu 1.04.

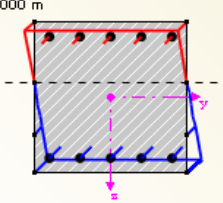
Zwischenergebnisse Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF1

☒ Momente nach Theorie II. Ordnung
☒ Vorhandene Bewehrung
☒ Dehnungszustand
☒ Bruchzustand
☒ Nachweis

Erforderliche Bruchsicherheit	erf γ	1.0
<input checked="" type="checkbox"/> Vorhandene Bruchsicherheit	vorh γ	1.033
<input type="checkbox"/> Einwirkende Schnittgrößen		
Normalkraft	N_{Ed}	-1059.500 kN
Moment um die y-Achse	$M_{Ed,y}$	-411.103 kNm
Moment um die z-Achse	$M_{Ed,z}$	0.000 kNm
<input type="checkbox"/> Bruchschnittgrößen		
Bruchnormalkraft	N_u	-1105.030 kN
Bruchmoment um die y-Achse	$M_{y,u}$	-431.559 kNm
Bruchmoment um die z-Achse	$M_{z,u}$	0.000 kNm
Nachweiskriterium (erf γ / vorh γ)	Kriterium	0.968


☐ Alle Lastfälle


Rechteck 40/40
 Beton: Dehnung, Bewehrung: Dehnung
 $x = 0.000$ m



Bewehrung: Max = 1.78[‰] (6) Min = -2.91[‰]
 Beton: Max = 2.36[‰] (7) Min = -3.50[‰] (8)

Beton/Stahl 1.00

Beton: 

Stahl: 

Vorhandene Sicherheit bei einer Bewehrung von vorh $A_s = 53.09 \text{ cm}^2$

Diese vorhandene Sicherheit ist deshalb so groß, weil der kleinste zur Verfügung gestellte Stabdurchmesser ($d_s = 20 \text{ mm}$) als konstruktive Bewehrung entlang der Seiten parallel zur z-Achse eingelegt wurde und auch als statisch wirksam berücksichtigt wurde.

Über den Dialog **Längsbewehrung bearbeiten** kann die konstruktive Bewehrung als statisch nicht wirksam definiert werden.

Längsbewehrung bearbeiten | Stab Nr. 1, Position Nr. 2

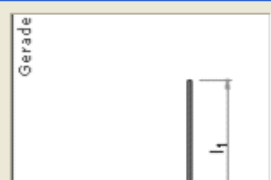
Fläche

x-Stelle von: 0.000 [m]
 bis: 8.000 [m]
 Länge: 8.000 [m]

Diameter für Bewehrung
 D: 2.0 [cm]

☒ Nachweis
☐ Bewehrungsstäbe statisch wirksam

Gerade



Statische Wirksamkeit der konstruktiven Bewehrung ausschalten

Die Berechnung wird erneut gestartet und das Programm führt abermals den Sicherheitsnachweis durch. Ohne Berücksichtigung der konstruktiven Bewehrung verringert sich die vorhandene Sicherheit von 1.043 auf 1.033.

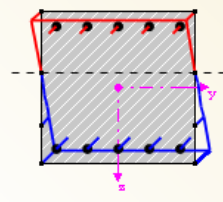
Zwischenergebnisse Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF1

☒ Momente nach Theorie II. Ordnung
☒ Vorhandene Bewehrung
☒ Dehnungszustand
☒ Bruchzustand
☒ Nachweis

Erforderliche Bruchsicherheit	erf γ	1.0
<input checked="" type="checkbox"/> Vorhandene Bruchsicherheit	vorh γ	1.033
<input type="checkbox"/> Einwirkende Schnittgrößen		
Normalkraft	N_{Ed}	-1059.500 kN
Moment um die y-Achse	$M_{Ed,y}$	-411.103 kNm
Moment um die z-Achse	$M_{Ed,z}$	0.000 kNm
<input type="checkbox"/> Bruchschnittgrößen		
Bruchnormalkraft	N_u	-1105.030 kN
Bruchmoment um die y-Achse	$M_{y,u}$	-431.559 kNm
Bruchmoment um die z-Achse	$M_{z,u}$	0.000 kNm
Nachweiskriterium (erf γ / vorh γ)	Kriterium	0.968


☐ Alle Lastfälle


Rechteck 40/40
 Beton: Dehnung, Bewehrung: Dehnung
 $x = 0.000$ m



Bewehrung: Max = 1.78[‰] (6) Min = -2.91[‰]
 Beton: Max = 2.36[‰] (7) Min = -3.50[‰] (8)

Beton/Stahl 1.00

Beton: 

Stahl: 

Vorhandene Sicherheit bei einer Bewehrung von vorh $A_s = 53.09 \text{ cm}^2$

Inwieweit eine veränderte vorhandene Längsbewehrung Einfluss auf die Sicherheit hat, zeigt sich an verschiedenen Stellen in den Details. Zuerst wirkt sich eine veränderte vorhandene Längsbewehrung das einwirkende Moment nach Theorie II. Ordnung aus.

Nachweis

☐ Bewehrungsstäbe statisch wirksam

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

Momente nach Theorie II. Ordnung

☐ Ausmitte durch Th. II. Ord. nach 8.6.5 (8)

<input type="checkbox"/> Beiwert	$e_{2,z}$	-31.0 cm
Schlankheit um die y-Achse	$k_{1,z}$	1.000 m
<input type="checkbox"/> Krümmung in z-Ebene	λ_y	16.000 m
<input type="checkbox"/> Errechneter Beiwert	$1/\eta_{0,z}$	0.012 1/m
<input type="checkbox"/> Grenzt Tragfähigkeit	$k_{2,z}$	0.902 m
Bemessungswert der Betonfesti	N_{ud}	-4121650 kN
Querschnittsfläche	f_{cd}	11.33 N/mm ²
Bemessungswert Streckgrenze	A_c	1600.00 cm ²
<input type="checkbox"/> Vorhandene Bewehrung	f_{yd}	434.78 N/mm ²
<input type="checkbox"/> aus Position	$vorh A_s$	53.09 cm ²
Position statisch wirksam	Nr.	1 m
Bewehrungsstabdurchmesser	d_s	0.026 m
Querschnittsfläche pro Bew	a_s	5.31 cm ²
Anzahl	n_s	10
Gesamte Querschnittsfläch	$vorh A_s$	53.07 cm ²
<input type="checkbox"/> aus Position	Nr.	2 m
Position statisch wirksam	Nr.	Nein
Bewehrungsstabdurchmesser	d_s	0.020 m
Querschnittsfläche pro Bew	a_s	3.14 cm ²
Anzahl	n_s	2
Gesamte Querschnittsfläch	$vorh A_s$	6.28 cm ²
Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-1059.500 kN
Aufnehmbare Normalkraft (Momer	N_{bal}	-725.334 kN
Gewählter Beiwert	$gew k_{2,z}$	0.902 m
<input type="checkbox"/> Dehnung (Streckgrenze)	ϵ_{yd}	2.17 ‰
Bemessungswert Streckgrenze	f_{yd}	434.78 N/mm ²
E-Modul	E_s	200000.00 N/mm ²
Statische Höhe	d_z	36.0 cm
Ersatzlänge um die y-Achse	$l_{0,y}$	16.000 m
Kriechauswirkungen berücksichtigen?		Nein
<input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. in y-Richtung	$e_{2,y}$	0.0 cm
Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe		
<input type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ord.		
Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-1059.500 kN
<input type="checkbox"/> Moment um die y-Achse	$M_{Ed,y2}$	-411.103 kNm
<input type="checkbox"/> Ausmitte (Th. I. Ord.) in z-Richtung	$e_{1,z}$	-7.8 cm
Planmäßige Ausmitte	$e_{0,z}$	-2.8 cm
Ungewollte Ausmitte	$e_{a,z}$	-5.0 cm
<input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord.	$e_{2,z}$	-31.0 cm
<input type="checkbox"/> Moment um die z-Achse	$M_{Ed,z2}$	0.000 kNm
Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe		

Nachweis

☒ Bewehrungsstäbe statisch wirksam

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

Momente nach Theorie II. Ordnung

☐ Ausmitte durch Th. II. Ord. nach 8.6.5 (8)

<input type="checkbox"/> Beiwert	$e_{2,z}$	-31.2 cm
Schlankheit um die y-Achse	$k_{1,z}$	1.000 m
<input type="checkbox"/> Krümmung in z-Ebene	λ_y	16.000 m
<input type="checkbox"/> Errechneter Beiwert	$1/\eta_{0,z}$	0.012 1/m
<input type="checkbox"/> Grenzt Tragfähigkeit	$k_{2,z}$	0.909 m
Bemessungswert der Betonfesti	N_{ud}	-3999.170 kN
Querschnittsfläche	f_{cd}	11.33 N/mm ²
Bemessungswert Streckgrenze	A_c	1600.00 cm ²
<input type="checkbox"/> Vorhandene Bewehrung	f_{yd}	434.78 N/mm ²
<input type="checkbox"/> aus Position	$vorh A_s$	59.38 cm ²
Position statisch wirksam	Nr.	1 m
Bewehrungsstabdurchmesser	d_s	0.026 m
Querschnittsfläche pro Bew	a_s	5.31 cm ²
Anzahl	n_s	10
Gesamte Querschnittsfläch	$vorh A_s$	53.07 cm ²
<input type="checkbox"/> aus Position	Nr.	2 m
Position statisch wirksam	Nr.	Ja
Bewehrungsstabdurchmesser	d_s	0.020 m
Querschnittsfläche pro Bew	a_s	3.14 cm ²
Anzahl	n_s	2
Gesamte Querschnittsfläch	$vorh A_s$	6.28 cm ²
Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-1059.500 kN
Aufnehmbare Normalkraft (Momer	N_{bal}	-725.334 kN
Gewählter Beiwert	$gew k_{2,z}$	0.909 m
<input type="checkbox"/> Dehnung (Streckgrenze)	ϵ_{yd}	2.17 ‰
Bemessungswert Streckgrenze	f_{yd}	434.78 N/mm ²
E-Modul	E_s	200000.00 N/mm ²
Statische Höhe	d_z	36.0 cm
Ersatzlänge um die y-Achse	$l_{0,y}$	16.000 m
Kriechauswirkungen berücksichtigen?		Nein
<input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord. in y-Richtung	$e_{2,y}$	0.0 cm
Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe		
<input type="checkbox"/> Momente nach Theorie II. Ord.		
Einwirkende Normalkraft	N_{Ed}	-1059.500 kN
<input type="checkbox"/> Moment um die y-Achse	$M_{Ed,y2}$	-413.770 kNm
<input type="checkbox"/> Ausmitte (Th. I. Ord.) in z-Richtung	$e_{1,z}$	-7.8 cm
Planmäßige Ausmitte	$e_{0,z}$	-2.8 cm
Ungewollte Ausmitte	$e_{a,z}$	-5.0 cm
<input type="checkbox"/> Ausmitte durch Th. II. Ord.	$e_{2,z}$	-31.2 cm
<input type="checkbox"/> Moment um die z-Achse	$M_{Ed,z2}$	0.000 kNm
Keine Stabilitätsuntersuchung in diese Richtung laut Benutzervorgabe		

Veränderte Zwischenwerte durch eine veränderte Längsbewehrung

Die obige Abbildung zeigt links die Ermittlung der Momente nach Theorie II. Ordnung ohne Berücksichtigung der konstruktiven Bewehrung aus Position 2. Rechts ist die Ermittlung bei Momenten nach Theorie II. Ordnung für die komplette Bewehrung dargestellt.

Welche Bewehrung statisch wirksam ist, findet sich in den Details an folgenden Stellen.

Nachweis

☐ Bewehrungsstäbe statisch wirksam

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

Vorhandene Bewehrung

<input type="checkbox"/> aus Position	Nr.	1 m
Position statisch wirksam		Ja
Bewehrungsstabdurchmesser	d_s	0.026 m
Querschnittsfläche pro Bewehrungsstab	a_s	5.31 cm ²
Anzahl	n_s	10
Gesamte Querschnittsfläche	$vorh A_s$	53.09 cm ²
<input type="checkbox"/> aus Position	Nr.	2 m
Position statisch wirksam		Nein
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	$vorh A_s$	53.09 cm ²

Nachweis

☒ Bewehrungsstäbe statisch wirksam

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

Vorhandene Bewehrung

<input type="checkbox"/> aus Position	Nr.	1 m
Position statisch wirksam		Ja
Bewehrungsstabdurchmesser	d_s	0.026 m
Querschnittsfläche pro Bewehrungsstab	a_s	5.31 cm ²
Anzahl	n_s	10
Gesamte Querschnittsfläche	$vorh A_s$	53.07 cm ²
<input type="checkbox"/> aus Position	Nr.	2 m
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	$vorh A_s$	53.09 cm ²

Überprüfen der statischen Wirksamkeit einer Position

Zudem werden bei der Darstellung der Spannungen und Verformungen in Tabelle und Grafik stets nur jene Bewehrungsstäbe dargestellt, die statisch wirksam sind.

Nachweis

☐ Bewehrungsstäbe statisch wirksam

Nachweis

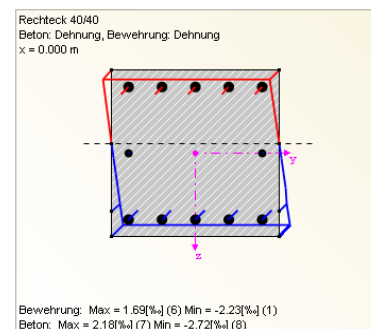
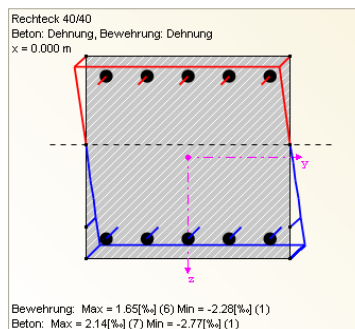
☒ Bewehrungsstäbe statisch wirksam

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

Dehnungszustand			
Bruchzustand			
Einwirkende Schnittgrößen			
Bruchkrümmungen			
Querschnittspunkte			
Bewehrungsstäbe			
Anzahl der Bewehrungsstäbe	n_s		10
Bewehrungsstab	Nr.		1
Bewehrungsstab	Nr.		2
y-Koordinate	y_s	8.0	cm
z-Koordinate	z_s	16.0	cm
Bruchdehnung	$\epsilon_{s,u}$	-2.91	%
Bruchspannung	$\sigma_{s,u}$	-437.32	N/mm ²
Bewehrungsstab	Nr.		3
Bewehrungsstab	Nr.		4
Bewehrungsstab	Nr.		5

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

Dehnungszustand			
Bruchzustand			
Einwirkende Schnittgrößen			
Bruchkrümmungen			
Querschnittspunkte			
Bewehrungsstäbe			
Anzahl der Bewehrungsstäbe	n_s		12
Bewehrungsstab	Nr.		1
Bewehrungsstab	Nr.		2
y-Koordinate	y_s	8.0	cm
z-Koordinate	z_s	16.0	cm
Bruchdehnung	$\epsilon_{s,u}$	-2.90	%
Bruchspannung	$\sigma_{s,u}$	-437.31	N/mm ²
Bewehrungsstab	Nr.		3
Bewehrungsstab	Nr.		4
Bewehrungsstab	Nr.		5



Überprüfen der statischen Wirksamkeit einer Position

7.3 Brandschutznachweis

Folgende Angaben zum Brandschutznachweis wurden im Modul gemacht.

Bügel | Konstruktive Bewehrung | Bewehrungsanordnung | DIN 1045-1 | Brandschutz

Nachweis mit den Tabellenwerten aus DIN 4102-4 bzw. DIN 4102-22

☒ Brandschutznachweis führen

☒ mit Tabelle 31 aus DIN 4102-4

Feuerwiderstandsklasse: F 90A Tabelle 32: ☒ gem. Zeile 1 Dicke: 10.0 [mm]

☐ Putzdicke anrechnen ☐ gem. Zeile 2

☐ mit Tabelle 31 aus DIN 4102-22. Musterliste der Technischen Baubestimmungen

Feuerwiderstandsklasse: R 90

Einwirkungen im Brandfall gemäß DIN 4102-22

E_{dA} (Brandfall) = Faktor A * E_d (Normalfall)

☒ Faktor A = 0.7 gemäß 4.2 (2) 0.7000

☐ Faktor A benutzerdefiniert:

☒ Längsbewehrung für Brandschutznachweis auslegen

Randbedingungen

Brandbeanspruchung: ☒ mehrseitig ☐ einseitig

Register **Brandschutz**Die Berechnung wird gestartet und die Maske 2.1 **Nachweis Stäbe** zeigt, dass der Brandschutznachweis 101 nicht erfüllt ist.

2.1 Nachweis Stäbe

Stab Nr.	A	B		C	D
	Maßgebender Lastfall	Nachweis Wert		Kriterium	Anmerkung
1	Querschnitt Nr. 1 - Rechteck 40/40				
	LF4 - min N	0.8403	≤ 1	100	Nachweis im kritischen Querschnitt der Modellstütze nach Abs. 8.6.5 (4)
	LF4 - min N	1.0155	> 1	101	Brandschutznachweis (α_1 / zul α_1 ≤ 1.0) gemäß DIN 4102-4, Tabelle 31
	LF4 - min N	0.6000	≤ 1	102	Brandschutznachweis (b_{min} / b_{vorh} ≤ 1.0) gemäß DIN 4102-4, Tabelle 31

Maske 2.1 *Nachweis Stäbe*

Das Nachweiskriterium ist mit 1.0155 größer als 1. Er wird bestimmt, indem zunächst der Faktor α^* ermittelt wird.

Zwischenergebnisse Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF4

Maßgebende Belastung				
Belastung			LF4	
Maßgebende Schnittgröße			min N	
An Stelle	x		0.000	m
Normalkraft	N		1200.000	kN
Moment um die y-Achse	M_y		-100.000	kNm
Moment um die z-Achse	M_z		-100.000	kNm
Querkraft in y-Richtung	V_y		-100.000	kN
Querkraft in z-Richtung	V_z		100.000	kN
Faktor α^* gemäß Bild 15a der DIN 4102-22[3]				
Charakteristische Druckfestigkeit	f_{ck}		30.00	N/mm ²
Geometrischer Längsbewehrungsgrad	ρ_{tot}		0.0308	
Fläche der vorhandene Längsbewehrung	Vorh A_s		49.26	cm ²
Querschnittsfläche des Betons	A_c		1600.00	cm ²
Faktor	α^*		1.7265	

Bestimmen des Faktors α^*

Die vorhandene Längsbewehrung findet sich in Maske 4.1 *Vorhandene Längsbewehrung*.

4.1 Vorhandene Längsbewehrung

Position Nr.	A	B	C		D	E
	Anzahl Stäbe	d_s [cm]	Stelle x [m]			Verankerung
			von	bis		
	Stab Nr. 1 - Rechteck 40/40					
1	8	2.8	-0.889	1.889		<input checked="" type="checkbox"/>

Vorhandene Längsbewehrung

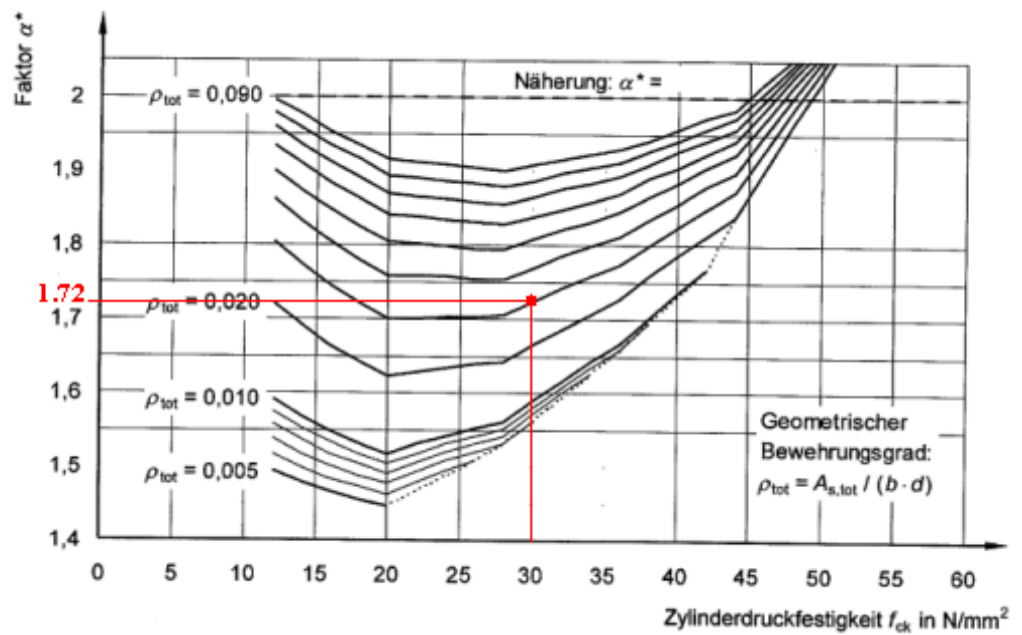
Es wurden vom Programm 8 Stäbe mit einem Durchmesser von 2.8 cm ermittelt. Dies ergibt einen vorhandenen Bewehrungsquerschnitt $vorh A_s$ von:

$$vorh A_s = 8 \cdot \frac{2.8^2}{4} \cdot \pi = 49,26 \text{ cm}^2$$

Aus diesem vorhandenen Bewehrungsquerschnitt ermittelt sich der Längsbewehrungsgrad ρ_{tot} zu:

$$\rho_{tot} = \frac{vorh A_s}{b \cdot d} = \frac{49,26}{40 \cdot 40} = 0,0308$$

Mit Hilfe dieses Längsbewehrungsgrad kann nun der Faktor α^* aus folgendem Diagramm ermittelt werden.



Bestimmung des Faktors α^*

Um den Ausnutzungsfaktor α_1 bestimmen zu können, wird die Tragfähigkeit N_{Rd} benötigt. Sie ermittelt das Programm durch Bestimmung der Sicherheit für die Einwirkungen im Brandfall. Diese Einwirkungen im Brandfall sind:

$$E_{dA} = 0.7 \cdot E_d$$

$$N_{Ed,\varphi} = 0.7 \cdot N_{Ed} = 0.7 \cdot 1200.0 = 840.0 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y,\varphi} = 0.7 \cdot M_{y,Ed} = 0.7 \cdot -100.0 = -70.0 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z,\varphi} = 0.7 \cdot M_{z,Ed} = 0.7 \cdot -100.0 = -70.0 \text{ kNm}$$

Es ergibt sich ein Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit N_{Rd} von 1428.11 kN.

Somit kann der Ausnutzungsfaktor α_1 dann wie folgt bestimmt werden:

$$\alpha_1 = \frac{N_{fi,d,t}}{N_{Rd}} \cdot \alpha^*$$

$$\alpha_1 = \frac{840.0}{1428.11} \cdot 1.73 = 1.0155$$

Gleiches Ergebnis findet sich auch in Details zu diesem Nachweis.

☐ Ausnutzungsfaktor α_1 gemäß DIN 4102-22:2004-11, Abs.3.13.2.2			
☐ Faktor a^* gemäß Bild 15a der DIN 4102-22[3]	α^*	1.7265	
☐ Einwirkende Normalkraft im Brandfall	$N_{Ed,\varphi}$	840.000	kN
☐ Faktor für Brandfall gem. DIN 4102-11, A_t	Faktor _A	0.7000	
☐ Normalkraft	N	1200.000	kN
☐ Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit	N_{Rd}	1428.110	kN
☐ Einwirkende Normalkraft im Brandfall	$N_{Ed,\varphi}$	840.000	kN
☐ Faktor für Brandfall gem. DIN 4102-11,	Faktor _A	0.7000	
☐ Normalkraft	N	1200.000	kN
☐ Einwirkendes Moment um die y-Achse im	$M_{y,Ed,\varphi}$	-70.000	kNm
☐ Faktor für Brandfall gem. DIN 4102-11,	Faktor _A	0.7000	
☐ Moment um die y-Achse	M_y	-100.000	kNm
☐ Einwirkendes Moment um die z-Achse im	$M_{z,Ed,\varphi}$	-70.000	kNm
☐ Faktor für Brandfall gem. DIN 4102-11,	Faktor _A	0.7000	
☐ Moment um die z-Achse	M_z	-100.000	kNm
☐ Ausnutzungsfaktor	α_1	1.0155	

Bestimmung des Ausnutzungsfaktors α_1

Das Nachweiskriterium zeigt, dass der Nachweis nicht erfüllt ist.

☐ Nachweis			
☐ Ausnutzungsfaktor	α_1	1.0155	
☐ Zulässiger Ausnutzungsfaktor	zul α_1	1.0000	
☐ Nachweiskriterium (α_1 / zul α_1)	Kriterium	1.0155	

Bestimmen des Nachweiskriteriums

Will der Benutzer dieses Nachweiskriterium auf einen Wert kleiner 1.00 senken, dann kann er entweder die Betongüte erhöhen oder den Betonquerschnitt vergrößern. Beides kann das Programm nicht automatisch vornehmen. Aber es kann in einem Auslegungsprozess die Längsbewehrung steigern. Dadurch vergrößert sich zwar der Faktor α^* und erhöht somit den Ausnutungsgrad α_1 , jedoch wird dieser durch die Vergrößerung des Bemessungswerts der Normalkrafttragfähigkeit N_{Rd} gesenkt.

Im Programm kann die Erhöhung der Längsbewehrung im Register **Brandschutz** vorgenommen werden.

Bügel | Konstruktive Bewehrung | Bewehrungsanordnung | DIN 1045-1 | **Brandschutz** | < >

Nachweis mit den Tabellenwerten aus DIN 4102-4 bzw. DIN 4102-22

☒ Brandschutznachw

☒ mit Tabelle 31 aus DIN 4102-4

Feuerwiderstands: F 90A ☐ Tabelle: ☒ gem. Zeile 1 ☐ gem. Zeile 2 Dicke: 1.0 [cm]

☐ Pflaster gem.

☐ mit Tabelle 31 aus DIN 4102-22. Musterliste der Technischen Baubestimmungen

Feuerwiderstands: R 90

☐ Ausnutzungsfaktor α_1 . Mindestdicke d und Mindestachsabstand u der Bewehrung bestimmen

Ausnutzungsfaktor 1.0000 Mindestdicke d 30.0 [cm]

Mindestachsabstand u 5.0 [cm]

Einwirkungen im Brandfall gemäß DIN 4102-22

$E_{dA}(\text{Brandfall}) = \text{Faktor}_A \cdot E_d(\text{Normalfall})$

☒ Faktor_A = 0.7 gemäß 4.2 (2)

☐ Faktor_A benutzerdefiniert: 0.7000

☒ Längsbewehrung erhöhen, wenn

Randbedingungen

Stütze ☒ unverkleidet ☐ verkleidet

Brandbeanspruch ☒ mehrseitig ☐ einseitig

Kontrollfeld zur Auslegung der Längsbewehrung für den Brandschutz

Startet man die Berechnung nun erneut, ist der Brandschutznachweis erfüllt.

2.1 Nachweis Stäbe

Stab Nr.	A	B	C	D
	Maßgebender Lastfall	Nachweis Wert	Kriterium	Anmerkung
1	Querschnitt Nr. 1 - Rechteck 40/40			
	LF4 - min N	0.7349	≤ 1	100) Nachweis im kritischen Querschnitt der Modellstütze nach Abs. 8.6.5 (4)
	LF4 - min N	0.8984	≤ 1	101) Brandschutznachweis (α_1 / zul $\alpha_1 \leq 1.0$) gemäß DIN 4102-4, Tabelle 31 19)
	LF4 - min N	0.5746	≤ 1	102) Brandschutznachweis (b_{min} / $b_{vorh} \leq 1.0$) gemäß DIN 4102-4, Tabelle 31 19)

Maske 2.1 **Nachweis Stäbe**

Die Begründung hierfür findet sich zunächst in Maske 4.1 **Vorhandene Längsbewehrung**.

4.1 Vorhandene Längsbewehrung

Position Nr.	A	B	C	D	E
	Anzahl Stäbe	d_s [cm]	Stelle x [m] von	bis	Verankerung
	Stab Nr. 1 - Rechteck 40/40				
1	8	3.0	-1.001	2.001	<input checked="" type="checkbox"/>

Maske 4.1 **Vorhandene Längsbewehrung**

Anstatt wie bisher 8 Stäbe mit Durchmesser 28 mm werden jetzt 8 Stäbe mit Durchmesser 30 mm eingelegt.

Die Ursache hierfür ist, dass einwirkenden Schnittgrößen im Laufe des Iterationsprozesses mit einem Faktor F_{Brand} erhöht wurden.

3.2 Erforderliche Bewehrung stabweise

Stab Nr.	A	B	C	D	E	F	G
	Bewehrung	Stelle x [m]	LF / LG LK		Bewehrungs Fläche	Einheit	Fehlermeldu bzw. Hinwei
1	Rechteck 40/40						
	Längs	0.000	LF4	A_s	52.07	cm ²	19)
	Querkraft	-	-	a_{sw}	7.54	cm ² / m	

Zwischenergebnisse Rechteck 40/40 - LF4


⊕ Maßgebende Belastung			
⊕ Ersatzlänge nach 8.6.2 (4)			
⊕ Schlankheit nach 8.6.3 (2)			
⊕ Grenzschlankheit nach 8.6.2 (4)			
⊕ Kritische Schlankheit nach 8.6.3 (4)			
⊕ Art der Bemessung			
⊖ Einwirkende Schnittgrößen nach Erhöhung für den Brandschutznachweis			
⊖ Einwirkende Schnittgrößen			
<input type="checkbox"/> Normalkraft	N_{Ed}	1200.000	kN
<input type="checkbox"/> Moment um die y-Achse	$M_{Ed,y}$	-100.000	kNm
<input type="checkbox"/> Moment um die z-Achse	$M_{Ed,z}$	-100.000	kNm
<input type="checkbox"/> Lasterhöhungsfaktor Brandschutz	F_{Brand}	1.2000	
⊖ Erhöhte einwirkende Schnittgrößen			
<input type="checkbox"/> Normalkraft	N_{Ed}	1440.000	kN
<input type="checkbox"/> Moment um die y-Achse	$M_{Ed,y}$	-120.000	kNm
<input type="checkbox"/> Moment um die z-Achse	$M_{Ed,z}$	-120.000	kNm
⊖ Statisch erforderliche Bewehrung			

Einwirkende Schnittgrößen nach Erhöhung für den Brandschutznachweis

Es fand also eine Bemessung mit dem 1.2-fachen Momenten und der 1.2-fachen Normalkraft statt, die dann zu einer höheren erforderlichen Bewehrung geführt hat.

Aus dieser höheren erforderlichen Bewehrung resultiert dann die gezeigte höhere vorhandene Bewehrung, die zwar den Faktor α^* ungünstigerweise erhöht, jedoch den Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit N_{Rd} zum Vorteil des Nachweises ebenso vergrößert.

2.1 Nachweis Stäbe

Stab Nr.	A	B	C	Anm
	Maßgebender Lastfall	Nachweis Wert	Kriterium	
1	Querschnitt Nr. 1 - Rechteck 40/40			
	LF4 - min N	0.7349	≤ 1	100) Nachweis im kritischen Querschnitt
	LF4 - min N	0.8984	≤ 1	101) Brandschutznachweis (α_1 / zul α_1)
	LF4 - min N	0.5746	≤ 1	102) Brandschutznachweis (b_{min} / b_{vort})
<div><div>Max:</div><div>1.0000</div><div>≤ 1</div><div></div></div>				

Zwischenergebnisse Stab Nr. 1 - x: 0.000 m - LF4

Maßgebende Belastung			
Faktor α^* gemäß Bild 15a der DIN 4102-22[3]			
Charakteristische Druckfestigkeit	f_{ck}	30.00	N/mm ²
Geometrischer Längsbewehrungsgrad	ρ_{tot}	0.0353	
Fläche der vorhandene Längsbewehrung	Vorh A_s	56.55	cm ²
Querschnittsfläche des Betons	A_c	1600.00	cm ²
Faktor	α^*	1.7465	
Ausnutzungsfaktor α_1 gemäß DIN 4102-22:2004-11, Abs.3.13.2.2			
Faktor α^* gemäß Bild 15a der DIN 4102-22[3]	α^*	1.7465	
Einwirkende Normalkraft im Brandfall	$N_{Ed,\varphi}$	840.000	kN
Faktor für Brandfall gem. DIN 4102-11, At	Faktor _A	0.7000	
Normalkraft	N	1200.000	kN
Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit	N_{Rd}	1632.960	kN
Einwirkende Normalkraft im Brandfall	$N_{Ed,\varphi}$	840.000	kN
Faktor für Brandfall gem. DIN 4102-11,	Faktor _A	0.7000	
Normalkraft	N	1200.000	kN
Einwirkendes Moment um die y-Achse im	$M_{y,Ed,\varphi}$	-70.000	kNm
Faktor für Brandfall gem. DIN 4102-11,	Faktor _A	0.7000	
Moment um die y-Achse	M_y	-100.000	kNm
Einwirkendes Moment um die z-Achse im	$M_{z,Ed,\varphi}$	-70.000	kNm
Faktor für Brandfall gem. DIN 4102-11,	Faktor _A	0.7000	
Moment um die z-Achse	M_z	-100.000	kNm
Ausnutzungsfaktor	α_1	0.8984	
Nachweis			
Ausnutzungsfaktor	α_1	0.8984	
Zulässiger Ausnutzungsfaktor	zul α_1	1.0000	
Nachweiskriterium (α_1 / zul α_1)	Kriterium	0.8984	

Brandschutznachweis

Der Faktor α^* steigt von 1.7265 auf 1.7465. Der Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit N_{Rd} wächst von 1428.110 kN auf 1632.96 kN an.

Beides zusammen führt zu einem Ausnutzungsfaktor α_1 , der ein Nachweiskriterium kleiner 1 liefert.

A: Literatur

- [1] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Juni 2001.
- [2] DIN V ENV 1992-1-1 (Eurocode 2): Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1: Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau. Juni 1992.
- [3] Avak Ralf.: Stahlbetonbau in Beispielen, DIN 1045 und Europäische Normung, Teil 1 Bemessung von Stabtragwerken, 3. Auflage. Werner Verlag, Düsseldorf 2001.
- [4] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.: Beispiele zur Bemessung nach DIN 1045-1, Band 1: Hochbau. Ernst & Sohn Verlag, Berlin.
- [5] Zeitschrift Beton- und Stahlbetonbau.: Ausgabe Februar 2005 – Nichtlineare Berechnung von Stahlbetonstützen. Ernst & Sohn Verlag, Berlin.