

**Fassung
Dezember 2010**

Zusatzmodul

RF-KAPPA

**Biegeknick- und (c/t)-Nachweise
nach DIN 18800 für Stäbe**

Programm- Beschreibung

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Ingenieur-Software Dlubal GmbH ist es nicht gestattet, diese Programmbeschreibung oder Teile daraus auf jedwede Art zu vervielfältigen.

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

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

Inhalt

	Inhalt	Seite		Inhalt	Seite
1.	Einleitung	4	4.2	Nachweise	42
1.1	Zusatzmodul RF-KAPPA	4	4.3	Start der Berechnung	43
1.2	RF-KAPPA Team	5	5.	Ergebnisse	45
1.3	Gebrauch des Handbuchs	6	5.1	Nachweise querschnittsweise	45
1.4	Aufruf des RF-KAPPA-Moduls	6	5.2	Nachweise stabsatzweise	47
2.	Theoretische Grundlagen	8	5.3	Nachweise stabweise	48
2.1	Interaktionsbeziehungen	8	5.4	Nachweise x-stellenweise - Stabsätze	48
2.1.1	Einfach- und doppelsymmetrische I-Querschnitte	9	5.5	Nachweise x-stellenweise - Stäbe	49
2.1.2	Kastenquerschnitte	12	5.6	Stückliste stabweise	50
2.1.3	Rohrquerschnitte	13	5.7	Stückliste stabsatzweise	51
2.1.4	Allgemeine Querschnitte	14	6.	Ergebnisauswertung	52
2.2	Biegeknicklast N_{ki} und Schlankheit λ_k	15	6.1	Zwischenergebnisse	52
2.3	Zentrisch gedrückte Stäbe	16	6.2	Ergebnisse am RFEM-Modell	53
2.4	Biegeknicknachweis	18	6.3	Ergebnisverläufe	56
2.4.1	Nachweismethode 1	18	6.4	Filter für Ergebnisse	57
2.4.2	Nachweismethode 2	20	7.	Ausdruck	59
2.5	Nachweis bei dynamischen Belastungen	23	7.1	Ausdruckprotokoll	59
2.6	Nachweis der (c/t)-Verhältnisse	24	7.2	RF-KAPPA-Grafiken drucken	60
2.6.1	Flansch	24	8.	Allgemeine Funktionen	62
2.6.2	Steg	25	8.1	RF-KAPPA-Bemessungsfälle	62
2.7	Voutenüberprüfung	26	8.2	Profiloptimierung	64
3.	Eingabedaten	27	8.3	Einheiten und Dezimalstellen	66
3.1	Basisangaben	27	8.4	Export der Ergebnisse	66
3.2	Materialien	29	9.	Beispiele	68
3.3	Querschnitte	31	9.1	Stütze mit Doppelbiegung	68
3.4	Knicklängen - Stäbe	34	9.2	Ebener Rahmenstiel	76
3.5	Knicklängen - Stabsätze	39	A	Literatur	80
4.	Berechnung	40	B	Index	81
4.1	Berechnungsdetails	40			

1. Einleitung

1.1 Zusatzmodul RF-KAPPA

RF-KAPPA stellt kein eigenständig lauffähiges Programm dar, sondern ist als Zusatzmodul fest in die Benutzeroberfläche des Hauptprogramms RFEM integriert. Damit werden die strukturspezifischen Eingabedaten sowie die Stabschnittgrößen dem Nachlaufmodul automatisch zur Verfügung gestellt. Umgekehrt können die RF-KAPPA-Ergebnisse im Arbeitsfenster von RFEM grafisch ausgewertet und auch in das globale Ausdruckprotokoll eingebunden werden.

RF-KAPPA führt den Nachweis der Biegeknicksicherheit für Stäbe und Stabzüge, die einer Beanspruchung aus einachsiger Biegung mit Normalkraft oder zweiachsiger Biegung mit oder ohne Normalkraft unterliegen. Der Biegeknicknachweis erfolgt nach dem Ersatzstabverfahren der DIN 18 800 Teil 2. Die Eingabe und Auswertung der Daten in RF-KAPPA zeichnet sich durch die gewohnt einfache und benutzerfreundlichen Handhabung aus.

Als besonders komfortabel erweisen sich die Übernahme der Stabinformationen, Randbedingungen und Momentenverläufe aus RFEM sowie der Knicklängenimport aus dem Zusatzmodul RF-STABIL. In diesem Modul lässt sich zudem über den Verzweigungslastfaktor des Gesamtsystems abschätzen, ob eine Untersuchung nach Theorie II. Ordnung überhaupt erforderlich ist. Ist dies nicht der Fall, kann der Stabilitätsfall Biegeknicken mit RF-KAPPA und somit mit den Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung untersucht werden.

Da in RF-KAPPA auch eine Überprüfung der (σ/t) -Verhältnisse möglich ist, kann der Nachweis gegen Beulen geführt werden. Über die plastischen Schnittgrößen und deren Interaktionsbeziehungen erhält man auch die Grundlagen für den Tragsicherheitsnachweis Elastisch-Plastisch. Für Bauwerke mit dynamischen Beanspruchungen wiederum kann der Stabilitätsnachweis mit RF-KAPPA nach dem Verfahren Elastsich-Elastisch geführt werden.

Im Programm steht eine automatische Querschnittsoptimierung mitsamt Exportmöglichkeit der geänderten Profile nach RFEM zur Verfügung.

Separate RF-KAPPA-Bemessungsfälle erlauben eine flexible Untersuchung des Stabilitätsverhaltens. Die Bemessung wird durch eine Stückliste mit Massenermittlung abgerundet.

Weitere nützliche Funktionen in RF-KAPPA sind:

- Ausweisung der maximalen Profilausnutzung in der Querschnittsmaske als Entscheidungshilfe für die Optimierung der Querschnitte
- Kopplung der RF-KAPPA-Masken mit dem RFEM-Arbeitsfenster, wodurch die aktuellen Objekte in der Hintergrundgrafik selektiert werden
- Sichtmodus zur Änderung der RFEM-Ansicht im hinterlegten Arbeitsfenster
- Farb-Relationsbalken in den Ergebnismasken
- Kurzinfo über eingehaltenen oder nicht erfüllten Tragsicherheitsnachweis
- Darstellung der Profilausnutzung als Ergebnisverlauf
- Filtermöglichkeit für die Darstellung in der RFEM-Grafik
- Nachweisanzeige am gerenderten Modell
- Direkter Datenexport zu MS Excel, OpenOffice.org Calc oder als CSV-Datei

Wir wünschen Ihnen viel Freude und Erfolg mit RF-KAPPA.

Ihr Team von ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH

1.2 RF-KAPPA Team

An der Entwicklung von RF-KAPPA waren beteiligt:

Programmkoordinierung

Dipl.-Ing. Georg Dlubal
Dipl.-Ing. (FH) Younes El Frem

Programmierung

Mgr. Petr Oulehle	Ing. Roman Svoboda
Dipl.-Ing. Georg Dlubal	Dis. Jiří Šmerák
Ing. Zdeněk Kosáček	Lukáš Tůma
David Schweiner	

Querschnitts- und Materialdatenbank

Ing. Ph.D. Jan Rybín	Jan Brnušák
----------------------	-------------

Programmdesign, Dialogbilder und Icons

Dipl.-Ing. Georg Dlubal	Ing. Jan Milěř
MgA. Robert Kolouch	

Programmkontrolle

Ing. Martin Vasek	Michala Sobotková
Ing. Robert Michalovič	

Handbuch, Hilfesystem und Übersetzungen

Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl	Ing. Petr Míchal
Ing. Dmitry Bystrov	Dipl.-Ü. Gundel Pietzcker
Jan Jeřábek	Mgr. Petra Pokorná
Ing. Ladislav Kábrt	

Technische Unterstützung und Endkontrolle

Dipl.-Ing. (BA) Markus Baumgärtel	Dipl.-Ing. (FH) Bastian Kuhn
Dipl.-Ing. (BA) Sandy Baumgärtel	M.Sc. Dipl.-Ing. Frank Lobisch
Dipl.-Ing. (FH) Steffen Clauß	Dipl.-Ing. (FH) Alexander Meierhofer
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann	M. Eng. Dipl.-Ing. (BA) Andreas Niemeier
Dipl.-Ing. Frank Faulstich	M.Eng. Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler
Dipl.-Ing. (FH) René Flori	Dipl.-Ing. (FH) Frank Sonntag
Dipl.-Ing. (FH) Stefan Frenzel	Dipl.-Ing. (FH) Christian Stautner
Dipl.-Ing. (FH) Walter Fröhlich	Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl
Dipl.-Ing. (FH) Andreas Hörold	Dipl.-Ing. (FH) Andreas Wopperer

1.3 Gebrauch des Handbuchs

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

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

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

1.4 Aufruf des RF-KAPPA-Moduls

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

Menü

Der Programmaufruf kann erfolgen über das RFEM-Menü

Zusatzmodule → Stahlbau → RF-KAPPA.

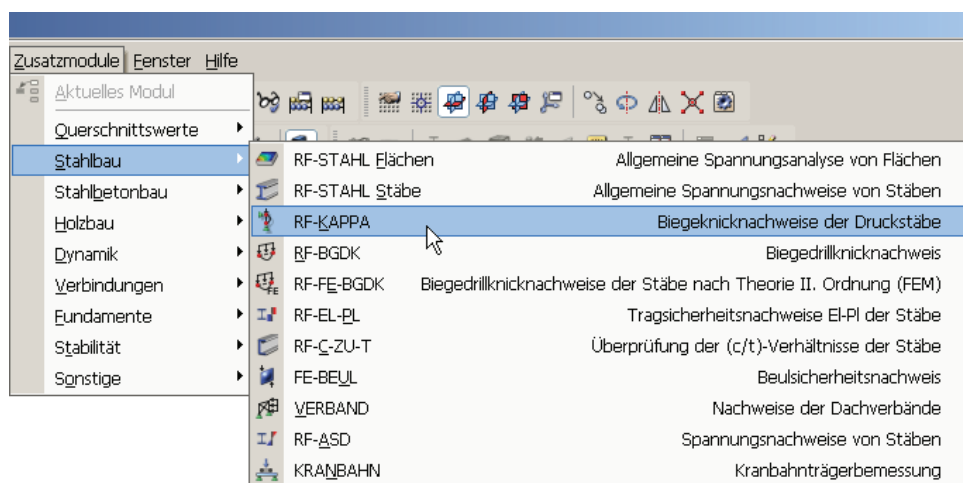


Bild 1.1: Menü: Zusatzmodule → Stahlbau → RF-KAPPA

Navigator

RF-KAPPA kann im *Daten-Navigator* aufgerufen werden über den Eintrag

Zusatzmodule → RF-KAPPA.

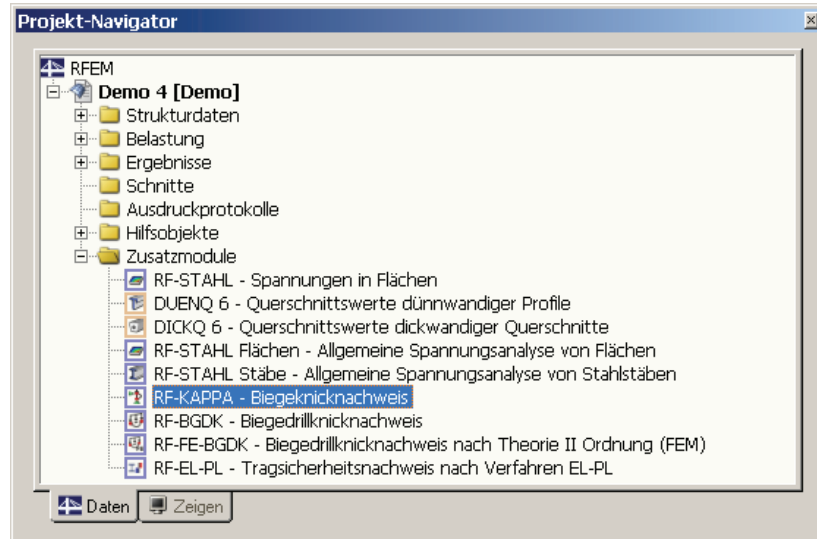
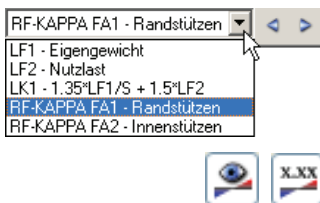


Bild 1.2: Daten-Navigator: *Zusatzmodule* → *RF-KAPPA*

Panel

Sollten in der RFEM-Position bereits RF-KAPPA-Ergebnisse vorliegen, kann der RF-KAPPA-Fall in der Liste der Lastfälle eingestellt werden. Mithilfe der Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus] wird das Nachweiskriterium an den Stäben grafisch dargestellt.

Im Panel steht nun die Schaltfläche [RF-KAPPA] zur Verfügung, die ebenfalls zum Aufruf des Moduls RF-KAPPA genutzt werden kann.



RF-KAPPA

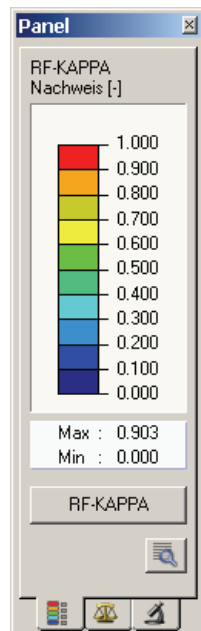


Bild 1.3: Panel: Schaltfläche [RF-KAPPA]

2. Theoretische Grundlagen

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen vorgestellt, die in das Programm RF-KAPPA Eingang gefunden haben. Im Wesentlichen werden Resultate der Literatur wiedergegeben. Dieses einführende Kapitel kann daher kein Lehrbuch ersetzen.

2.1 Interaktionsbeziehungen

Nach DIN 18 800 Teil 2, Element (315) muss der Einfluss der Querkkräfte V_z und V_y auf die Tragfähigkeit des Querschnitts berücksichtigt werden. Dies geschieht durch Reduktion der vollplastischen Querschnittsgrößen mittels der in DIN 18 800 Teil 1 bzw. in RUBIN [6] angegebenen Interaktionsbeziehungen.

Die Interaktion zwischen der Normalkraft N und den Biegemomenten M_y bzw. M_z geschieht innerhalb der eigentlichen Nachweisgleichung (28) bzw. (28) der DIN 18800 Teil 2. Es braucht also nur der festigkeitsmindernde Einfluss der Querkkräfte berücksichtigt werden.

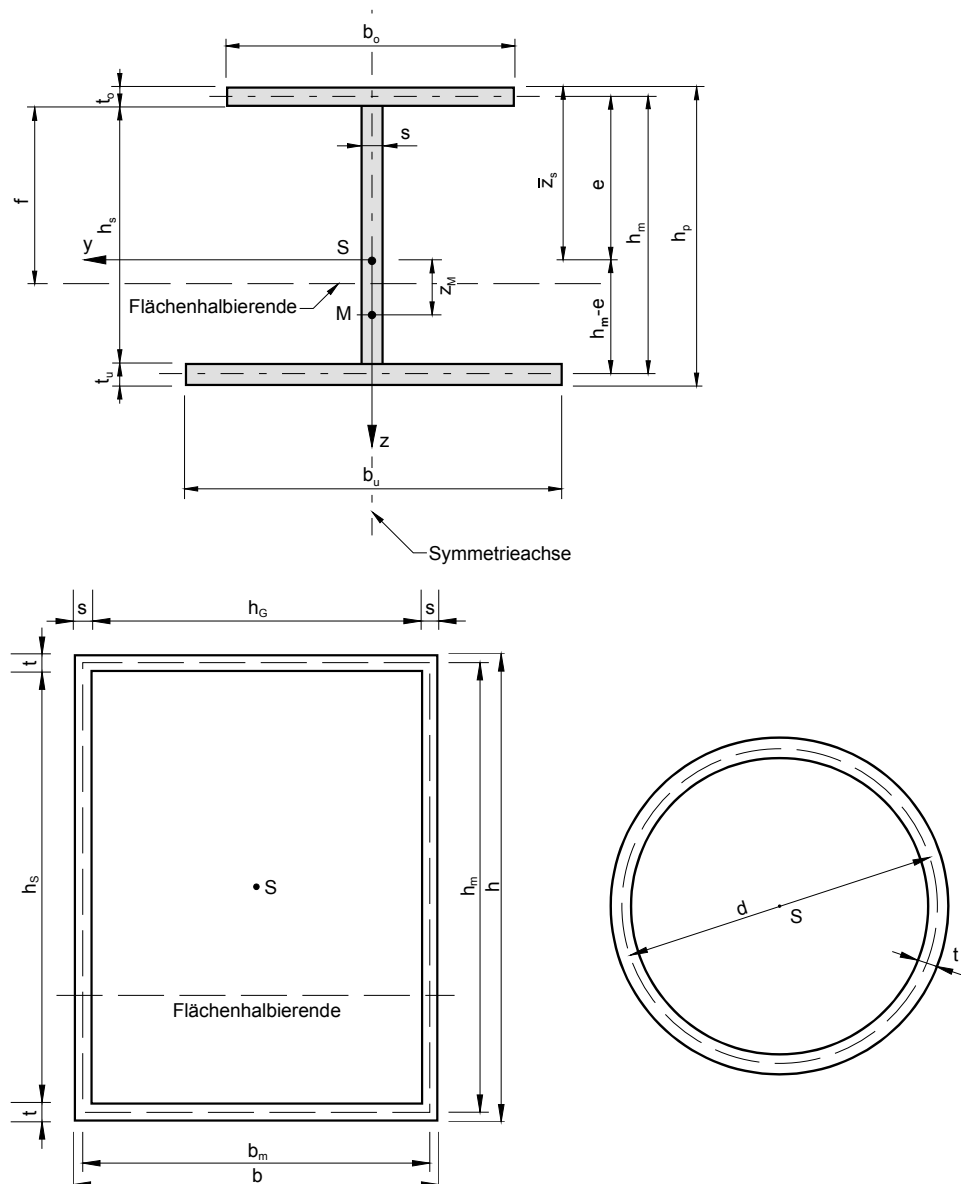


Bild 2.1: Definition der Profilabmessungen einfachsymmetrischer I-Profile sowie Kasten- und Rohrquerschnitte

Die Abmessungen b_o und t_o sind auf den Obergurt, b_u und t_u auf den Untergurt bezogen. Bei positivem Moment M_y stellt der Obergurt den Druckgurt dar.

Für die in Bild 2.1 dargestellten Profile – einfachsymmetrisches I-Profil, Kasten- und Rohrquerschnitt – werden bereits in RFEM die für den Biegeknicknachweis relevanten Querschnittswerte berechnet und an das Modul RF-KAPPA übergeben:

Symbol	Beschreibung und Standardeinheit
A	Querschnittsfläche [cm ²]
z_s	Schwerpunktskoordinate bezogen auf die Oberkante des Profils [cm]
I_z, I_y	Flächenmomente 2. Grades (Trägheitsmomente) [cm ⁴]
I_T	Torsionsflächenmoment 2. Grades (St. Venantscher Torsionswiderstand) [cm ⁴]
i_y, i_z	Trägheitsradien [cm]
z_f	Abstand der Flächenhalbierenden bezogen auf den Schwerpunkt S [cm]
W_{yo}	Widerstandsmoment um die y-Achse [cm ³] bezogen auf die Oberkante
W_{yu}	Widerstandsmoment um die y-Achse [cm ³] bezogen auf die Unterkante
W_z	Widerstandsmoment um die z-Achse [cm ³]
$W_{pl,y}$	Plastisches Widerstandsmoment um die y-Achse [cm ³]
$W_{pl,z}$	Plastisches Widerstandsmoment um die z-Achse [cm ³]
KSL_y	Knickspannungslinie für das Knicken senkrecht zur y-Achse
KSL_z	Knickspannungslinie für das Knicken senkrecht zur z-Achse

Tabelle 2.1: Querschnittswerte

Der Biegeknicknachweis mit RF-KAPPA ist für die auf den folgenden Seiten näher erläuterten Profilreihen möglich. Alle anderen Querschnittstypen einschließlich der DUENQ-Profile werden nur auf zentrischen Druck nachgewiesen.

2.1.1 Einfach- und doppelsymmetrische I-Querschnitte

Nach DIN 18 800 Teil 1, Element (757) ist der Einfluss der Querkkräfte V_z und V_y auf die Tragfähigkeit des Querschnitts zu berücksichtigen. Dies geschieht durch Reduktion der vollplastischen Querschnittsgrößen mittels der in DIN 18 800 Teil 1 angegebenen Interaktionsbeziehungen.

Nach DIN 18 800 Teil 1, Tabelle 16 und 17 ist eine festigkeitsmindernde Interaktion erforderlich, wenn

$$0.33 < \frac{|V_z|}{V_{pl,z,d}} \leq 0.9 \quad \text{bzw.} \quad 0.25 < \frac{|V_y|}{V_{pl,y,d}} \leq 0.9$$

Gleichung 2.1: Interaktionskriterien für Querkraft

Bei einer Überschreitung erfolgt ein entsprechender Hinweis und der Nachweis wird nicht geführt.

Die plastischen Querkkräfte berechnen sich nach Gleichung 2.2 bzw. Gleichung 2.3.

Die Interaktion zwischen der Normalkraft N und den Biegemomenten M_y bzw. M_z geschieht innerhalb der eigentlichen Nachweisgleichungen (28) oder (29) der DIN 18800 Teil 2. Es braucht also nur der festigkeitsmindernde Einfluss der Querkkräfte berücksichtigt zu werden.

Einfachsymmetrische I-Querschnitte

Querschnittsreihe	Beschreibung
IS	Geschweißte symmetrische I-Profile
IU	Geschweißte unsymmetrische I-Profile
KUO, KCO	Kaltgeformte zusammengesetzte C-Profile
ICM	Geschweißte Profile mit erhöhtem Steg
2UR	U paarweise, Stege zueinander mit $a_2=0$
IFBu, IFBo	Halbierte I-Profile mit Blech unten/oben
ICU, ICO	Coupierte Träger unten/oben
IBU, IBO	Doppelsymmetrische Walzprofile mit Blech unten/oben
SFBo, SFBu	Doppelsymmetrische Walzprofile mit Lasche unten/oben
ICTo, ICTu	Doppelsymmetrische Walzprofile mit T-Profil unten/oben
KB(S), KB(L), KB(2L+FL)	Kranbahnträgerprofile
IV	Geschweißte I-Profile mit Laschen verstärkt
IT	Geschweißte I-Profile mit Winkeln am oberen Rand
IVU, IVO	Geschweißte I-Profile unten/oben coupirt
KB	Geschweißtes Kranbahnträgerprofil

Tabelle 2.2: Einfachsymmetrische Querschnittsreihen für den Nachweis in RF-KAPPA

Für einfachsymmetrische Querschnitte gemäß Bild 2.1 und Tabelle 2.2 werden die Grenzschnittgrößen im plastischen Zustand) nach RUBIN [6] berechnet (vgl. DIN 18 800 Teil 1, Anmerkung nach Bild 19):

$$V_{pl,y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}} \cdot (b_o \cdot t_o + b_u \cdot t_u) \quad \eta_y = \sqrt{1 - \left(\frac{V_y}{V_{pl,y,d}} \right)^2}$$

$$V_{pl,z,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}} \cdot h_m \cdot s \quad \eta_z = \sqrt{1 - \left(\frac{V_z}{V_{pl,z,d}} \right)^2}$$

$$N_{pl,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} \cdot \left[(b_o \cdot t_o + b_u \cdot t_u) \cdot \eta_y + h_s \cdot s \cdot \eta_z \right]$$

$$M_{pl,y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} \cdot (\eta_y \cdot f_1 + \eta_z \cdot f_2)$$

mit $f_1 = b_o \cdot t_o \cdot (z_s + z_f - \frac{t_o}{2}) + b_u \cdot t_u \cdot (h - z_s + z_f - \frac{t_u}{2})$

$$f_2 = \frac{s}{2} \cdot \left[(z_s + z_f - t_o)^2 + (h - z_s - z_f + t_o)^2 \right]$$

$$M_{pl,z,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} \cdot \frac{1}{4} \cdot (b_o^2 \cdot t_o + b_u^2 \cdot t_u) \cdot \eta_y$$

$$\left. \begin{aligned} M_{pl,y,k} &= M_{pl,y,d} \cdot \gamma_M \\ M_{pl,z,k} &= M_{pl,z,d} \cdot \gamma_M \\ N_{pl,k} &= N_{pl,d} \cdot \gamma_M \end{aligned} \right\} \text{ mit } \eta_z = \eta_y = 1.0$$

$$V_{pl,y,k} = V_{pl,y,d} \cdot \gamma_M$$

$$V_{pl,z,k} = V_{pl,z,d} \cdot \gamma_M$$

$$\alpha_{pl,y} = \frac{W_{pl,y,k}}{W_y}$$

$$\alpha_{pl,z} = \frac{W_{pl,z,k}}{W_z}$$

Gleichung 2.2: Querschnittsgrößen für einfachsymmetrische Querschnitte im plastischen Zustand

Walzprofile (doppelsymmetrische I-Profile)

Für doppelsymmetrische I-förmige Walzprofile ermitteln sich die Querschnittsgrößen im plastischen Zustand nach Rubin [6] wie folgt:

$$V_{pl,y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}} \cdot 2 \cdot b \cdot t \quad \eta_y = \sqrt{1 - \left(\frac{V_y}{V_{pl,y,d}} \right)^2}$$

$$V_{pl,z,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}} \cdot h_m \cdot s \quad \eta_z = \sqrt{1 - \left(\frac{V_z}{V_{pl,z,d}} \right)^2}$$

$$N_{pl,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} \cdot A_r \quad \text{mit} \quad A_r = \eta_z \cdot h_m \cdot s + 2 \cdot \eta_y \cdot b \cdot t$$

$$\left. \begin{aligned} M_{pl,y,d} &= \frac{1}{4} \cdot (2 - \delta) \cdot h_m \cdot N_{pl,d} \\ M_{pl,z,d} &= \frac{1}{4} \cdot (1 - \delta) \cdot b \cdot N_{pl,d} \end{aligned} \right\} \text{ mit } \delta = \frac{\eta_z \cdot h_m \cdot s}{A_r}$$

$$V_{pl,y,k} = V_{pl,y,d} \cdot \gamma_M$$

$$V_{pl,z,k} = V_{pl,z,d} \cdot \gamma_M$$

$$\alpha_{pl,z} = \frac{W_{pl,z,k}}{W_z}$$

Gleichung 2.3: Querschnittsgrößen für Walzprofile im plastischen Zustand

Falls keine Interaktion erforderlich wird, vereinfachen sich die Formeln wie folgt:

$$M_{pl,y,d} = \frac{2 \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} \cdot S_y \quad M_{pl,y,k} = M_{pl,y,d} \cdot \gamma_M$$

$$M_{pl,z,d} = \frac{2 \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} \cdot S_z \quad M_{pl,z,k} = M_{pl,z,d} \cdot \gamma_M$$

$$N_{pl,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} \cdot A \quad N_{pl,k} = N_{pl,d} \cdot \gamma_M$$

Gleichung 2.4: Querschnittsgrößen für Walzprofile im plastischen Zustand, falls keine Interaktion erforderlich ist

2.1.2 Kastenquerschnitte

Nach Rubin [6] ist eine festigkeitsmindernde Interaktion nur erforderlich, wenn

$$0.25 < \frac{|V_z^*|}{V_{pl,z,d}} \leq 0.9 \quad \text{bzw.} \quad 0.25 < \frac{|V_y^*|}{V_{pl,y,d}} \leq 0.9$$

$$\text{mit} \quad V_z^* = |V_z| + \left| \frac{M_T}{b_m} \right|$$

$$V_y^* = |V_y| + \left| \frac{M_T}{h_m} \right|$$

Gleichung 2.5: Interaktionskriterien für Querkraft

Bei einer Überschreitung erfolgt ein entsprechender Hinweis und der Nachweis wird nicht geführt. Falls eine Interaktion erforderlich wird, berechnen sich die plastischen Querkräfte gemäß Gleichung 2.6.

Kasten-Querschnittsreihen

Querschnittsreihe	Beschreibung
QRO	Warmgefertigtes Hohlprofil mit quadratischen Querschnitt
RRO	Warmgefertigtes Hohlprofil mit rechteckigem Querschnitt
QROK, RROK	Kaltgefertigtes quadratisches/rechteckiges Hohlprofil
TO	Geschweißtes rechteckiges Hohlprofil

Tabelle 2.3: Kasten-Querschnittsreihen für den Nachweis in RF-KAPPA

Für Kastenquerschnitte gemäß Bild 2.1 und Tabelle 2.3 werden die Grenzschnittgrößen im plastischen Zustand wie folgt nach RUBIN [6] berechnet:

$$V_{pl,y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}} \cdot 2 \cdot b_m \cdot t \quad \eta_y = \sqrt{1 - \left(\frac{V_y}{V_{pl,y,d}} \right)^2}$$

$$V_{pl,z,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}} \cdot 2 \cdot h_m \cdot s \quad \eta_z = \sqrt{1 - \left(\frac{V_z}{V_{pl,z,d}} \right)^2}$$

$$N_{pl,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} \cdot A_r$$

$$\text{mit} \quad A_r = \eta_z \cdot A_s + 2 \cdot \eta_y \cdot A_G$$

$$A_s = 2 \cdot h_m \cdot s$$

$$A_G = \frac{1}{2} \cdot (A - A_s)$$

$$\delta = \frac{\eta_z \cdot A_s}{A_r}$$

$$M_{pl,y,d} = \frac{1}{4} \cdot (2 - \delta) \cdot h_m \cdot N_{pl,d}$$

$$M_{pl,z,d} = \frac{1}{4} \cdot (1 + \delta) \cdot b_m \cdot N_{pl,d}$$

$$V_{pl,y,k} = V_{pl,y,d} \cdot \gamma_M$$

$$V_{pl,z,k} = V_{pl,z,d} \cdot \gamma_M$$

$$\alpha_{pl,y} = \frac{W_{pl,y,k}}{W_y}$$

$$\alpha_{pl,z} = \frac{W_{pl,z,k}}{W_z}$$

Gleichung 2.6: Querschnittsgrößen für Kastenquerschnitte im plastischen Zustand

2.1.3 Rohrquerschnitte

Nach Rubin [6] ist eine festigkeitsmindernde Interaktion nur erforderlich, wenn

$$0.25 < \frac{|V^*|}{V_{pl,d}} \leq 0.9$$

$$\text{mit } V_z^* = \sqrt{V_y^2 + V_z^2} + \left| \frac{M_T}{d} \right|$$

Gleichung 2.7: Interaktionskriterium für Querkraft

Bei einer Überschreitung erfolgt ein entsprechender Hinweis und der Nachweis wird nicht geführt. Falls eine Interaktion erforderlich wird, berechnen sich die plastischen Querkräfte gemäß Gleichung 2.8.

Rohr-Querschnittsreihen

Querschnittsreihe	Beschreibung
RO	Nahtloses oder geschweißtes Rohrprofil
Rohr	Parametrisiertes geschweißtes Rohrprofil

Tabelle 2.4: Rohr-Querschnittsreihen für den Nachweis in RF-KAPPA

Für Rohrquerschnitte gemäß Bild 2.1 und Tabelle 2.4 werden die Grenzschnittgrößen im plastischen Zustand wie folgt berechnet:

$$V_{pl,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}} \cdot 2 \cdot d \cdot t$$

$$N_{pl,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} \cdot A_r$$

$$\text{mit } A_r = \eta \cdot \pi \cdot d \cdot t$$

$$\eta = \sqrt{1 - \left(\frac{V}{V_{pl,d}} \right)^2}$$

$$M_{pl,y,d} = \frac{d}{\pi} \cdot N_{pl,d}$$

$$M_{pl,z,d} = \frac{d}{\pi} \cdot N_{pl,d}$$

$$V_{pl,y,k} = V_{pl,d} \cdot \gamma_M$$

$$V_{pl,z,k} = V_{pl,d} \cdot \gamma_M$$

$$\alpha_{pl,y} = \frac{W_{pl,y,k}}{W_y}$$

$$\alpha_{pl,z} = \frac{W_{pl,z,k}}{W_z}$$

Gleichung 2.8: Querschnittsgrößen für Rohrquerschnitte im plastischen Zustand

2.1.4 Allgemeine Querschnitte

Für allgemeine Profile, die sich nicht in eines der obigen Kapitel einordnen lassen (wie z. B. U-, T- oder DUENQ-Querschnitte), ist keine Bestimmung der Interaktionsbedingungen möglich. Um solche Profile aber dennoch ohne Berücksichtigung der Interaktionsbedingungen mit RF-KAPPA nach DIN 18 800 Teil 2, Element (321) bzw. (322) nachzuweisen, müssen folgende Grenzbedingungen eingehalten sein:

$$\frac{N}{N_{pl,d}} \leq 0.10$$

$$\frac{M_y}{M_{pl,y}} \leq 0.10$$

$$\frac{M_z}{M_{pl,z}} \leq 0.10$$

$$\frac{V_y}{V_{pl,y}} \leq 0.25$$

$$\frac{V_z}{V_{pl,z}} \leq 0.25$$

Gleichung 2.9: Grenzbedingungen für allgemeine Profile ohne Interaktionsbedingungen

Sind mindestens zwei dieser Grenzwerte zur Vernachlässigung der Interaktionsbedingungen überschritten, kann der Nachweis nur noch mit dem Verfahren Elastisch-Elastisch (siehe Kapitel 2.5) geführt werden.



Bei allgemeinen Profilen werden die plastischen Querschnittswerte direkt von RFEM übernommen. Nähere Erläuterung zur Berechnung der plastischen Querschnittswerte finden Sie im DUENQ-Handbuch, das auch auf www.dlubal.de zum Download bereitsteht.

2.2 Biegeknicklast N_{Ki} und Schlankheit λ_K

Die kritische Normalkraft N_{Ki} ist in starkem Maße abhängig von der Knicklänge s_k . Aus diesem Grund ist die Kenntnis der Knicklänge eine wichtige Voraussetzung zur Durchführung des Biegeknicknachweises. Für einfache Fälle sind die Knicklängen als Eulerfälle 1 bis 4 bereits bekannt.

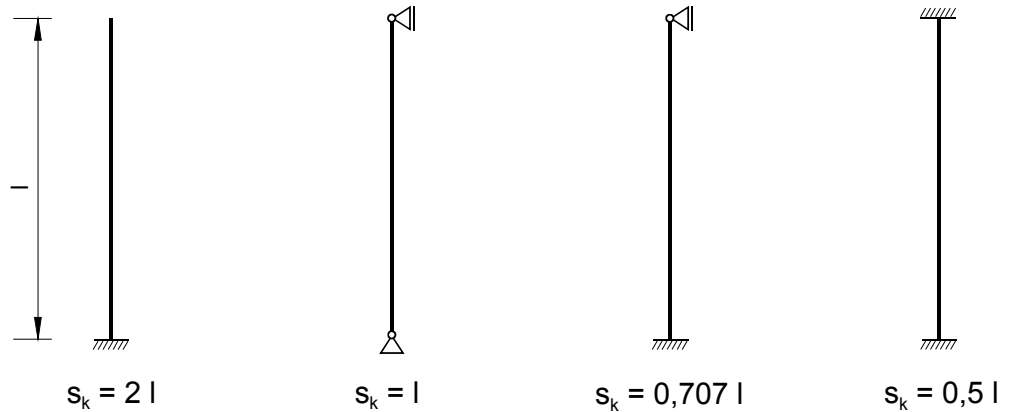


Bild 2.2: Knicklängenbeiwerte der vier Eulerfälle

Für kompliziertere Systeme können die Knicklängen der Literatur entnommen werden. Hilfen sind diesbezüglich in DIN 18 800 Teil 2 in den Bildern 27 und 29 zu finden.



Die ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH bietet hierfür das RFEM-Zusatzmodul **RF-STABIL** an, das für allgemeine räumliche Systeme die Verzweigungslasten und somit die kritischen Knicklasten und zugehörigen Knickfiguren sowie die Knicklängen und Knicklängenbeiwerte in Bezug auf die jeweilige Verzweigungslast ermittelt.

Mit der Knicklänge s_k kann dann die Biegeknicklast N_{Ki} wie folgt berechnet werden:

$$N_{Ki} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{s_k^2}$$

Gleichung 2.10: Biegeknicklast N_{Ki}

Anschließend kann der bezogene Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_K$ wie folgt ermittelt werden:

$$\bar{\lambda}_K = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{Ki}}}$$

$$\text{mit} \quad N_{pl} = f_{yk} \cdot A$$

Gleichung 2.11: Bezogener Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_K$

Die DIN 18 800 unterscheidet zwei Nachweismethoden für den Biegeknicknachweis. Diese beiden Methoden werden in den Handbuch-Kapiteln 2.4.1 und 2.4.2 ausführlich vorgestellt. Ergänzend wird im folgenden Kapitel 2.3 die Nachweismethode für zentrisch gedrückte Stäbe behandelt, die sich durch eine Vereinfachung der Gleichungen der zuvor genannten Nachweismethoden ergibt.

2.3 Zentrisch gedrückte Stäbe

RF-KAPPA ermöglicht den Nachweis von Stäben mit überwiegend zentrischem Druck, bei denen die Grenzen zur Vernachlässigung der Interaktionsbedingungen überschritten sind und deren Schnittgrößen M_y , M_z , V_y , V_z und T im Verhältnis zu ihren vollplastischen Schnittgrößen sehr gering sind. Es werden für das Verhältnis von Schnittgröße zu plastischer Schnittgröße Richtwerte kleiner 0.1 empfohlen. Sind diese Voraussetzungen gegeben, so können zentrisch gedrückte Stäbe nach Bedingung (3) der DIN 18 800 Teil 2, Element (304) nachgewiesen werden:

$$\frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} \leq 1$$

$$\text{mit} \quad \kappa = \min(\kappa_y, \kappa_z)$$

Gleichung 2.12: Nachweis für Stäbe mit zentrischem Druck

Mit diesem Nachweis können alle beliebigen Profile einschließlich DUENQ-Querschnitte auf zentrischen Druck untersucht werden. Die Profile müssen sich jedoch einer Knickspannungslinie zuordnen lassen.

Abminderungsfaktor κ

Für die Normalkraft ist der Abminderungsfaktor κ von entscheidender Bedeutung. Bei räumlichen Systemen werden beide Ausweichrichtungen untersucht und der kleinste resultierende κ -Wert ermittelt.

κ wird gemäß DIN 18 800 Teil, Element (304) in Abhängigkeit des bezogenen Schlankheitsgrades $\bar{\lambda}_K$ unterschiedlich errechnet.

$$\bar{\lambda}_K \leq 0.2 : \quad \kappa = 1$$

$$\bar{\lambda}_K > 0.2 : \quad \kappa = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \bar{\lambda}_K^2}}$$

$$\text{mit} \quad k = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_K - 0.2) + \bar{\lambda}_K^2 \right]$$

Gleichung 2.13: Abminderungsfaktor κ

Der Parameter α ist in DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 4 geregelt. Dieser ist abhängig von der Knickspannungslinie, die wiederum von der Querschnittsform bestimmt wird. Die Zuordnung der Querschnitte zu Knickspannungslinien ist in DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 5 geregelt.

Knickspannungslinie	a_0	a	b	c	d
α	0.13	0.21	0.34	0.49	0.78

Tabelle 2.5: Parameter α zur Berechnung des Abminderungsfaktors κ

Für warmgewalzte Hohlprofile der Stahlsorte S 460 kann die höhere Knickspannungslinie a_0 verwendet werden. Dies wurde durch Versuche und numerische Analysen bestätigt. Bei hochfesten Stählen üben strukturelle und geometrische Imperfektionen einen geringeren Einfluss auf das Knickverhalten aus als bei normalen Stahlgüten [10].

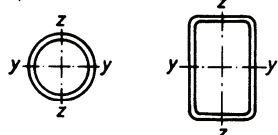
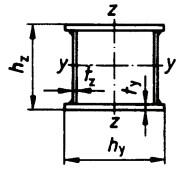
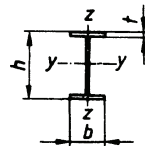
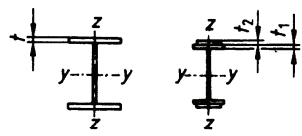
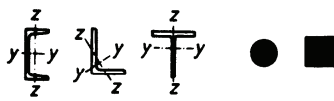
	1	2	3
	Querschnitt	Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Knickspan- nungslinie
1	Hohlprofile 	warm gefertigt $y-y$ $z-z$	a
	kalt gefertigt $y-y$ $z-z$		b
2	geschweißte Kastenquerschnitte 	$y-y$ $z-z$	b
	dicke Schweißnaht und $h_y/t_y < 30$ $h_z/t_z < 30$	$y-y$ $z-z$	c
3	gewalzte I-Profile 	$h/b > 1,2; \quad t \leq 40 \text{ mm}$ $y-y$ $z-z$	a
		$h/b > 1,2; \quad 40 < t \leq 80 \text{ mm}$ $y-y$ $z-z$	b
		$h/b \leq 1,2; \quad t \leq 80 \text{ mm}$ $y-y$ $z-z$	c
		$t > 80 \text{ mm}$ $y-y$ $z-z$	d
4	geschweißte I-Querschnitte 	$t_1 \leq 40 \text{ mm}$ $y-y$ $z-z$	b
		$t_1 > 40 \text{ mm}$ $y-y$ $z-z$	c
5	U-, L-, T- und Vollquerschnitte  und mehrteilige Stäbe nach Abschnitt 4.4	$y-y$ $z-z$	c
6	Hier nicht aufgeführte Profile sind sinngemäß einzuordnen. Die Einordnung soll dabei nach den möglichen Eigenspannungen und Blechdicken erfolgen.		

Bild 2.3: Zuordnung der Querschnitte zu Knickspannungslinien

Schnittgrößen

Als Normalkraft ist die größte im Stab auftretende Druckkraft nach Theorie I. Ordnung zu verwenden.



Die Wirkung von Imperfektionen sowie der Einfluss aus Theorie II. Ordnung ist bereits in der Nachweisgleichung berücksichtigt. Deshalb sind Imperfektionen nicht nochmals anzusetzen und es darf nach Theorie I. Ordnung gerechnet werden (siehe [7], S. 160). Der Einfluss der Theorie II. Ordnung wird durch die Ermittlung der Knicklänge am Gesamtsystem erfasst.

2.4 Biegeknicknachweis

2.4.1 Nachweismethode 1

Bei der Nachweismethode 1 wird der Tragsicherheitsnachweis für zweiachsige Biegung mit Normalkraft gemäß Bedingung (28) der DIN 18 800 Teil 2, Element (321) geführt.

$$\frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} + \frac{M_y}{M_{pl,y,d}} \cdot k_y + \frac{M_z}{M_{pl,z,d}} \cdot k_z \leq 1$$

Gleichung 2.14: Nachweismethode 1

mit κ	$\min(\kappa_y, \kappa_z)$, Abminderungsfaktor der maßgebenden Knickspannungslinie nach Gleichung 2.13
M_y, M_z	Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung ohne Ansatz von Imperfektionen an der jeweiligen Nachweisstelle
$\beta_{M,y}, \beta_{M,z}$	Momentenbeiwerte β_M nach Bild 2.4 zur Erfassung der Form der Biegemomente M_y und M_z
$\alpha_{pl,y}, \alpha_{pl,z}$	plastische Formbeiwerte für Biegemomente M_y und M_z ohne Anwendung von DIN 18 800 Teil 2, Element (123)
k_y, k_z	Beiwerte zur Berücksichtigung der Momentenverläufe M_y und M_z sowie der bezogenen Schlankheitsgrade $\lambda_{K,y}$ und $\lambda_{K,z}$

Abminderungsfaktor κ

Der Abminderungsfaktor κ ist analog zum Nachweis für zentrisch gedrückte Stäbe zu ermitteln (siehe Kapitel 2.3, Gleichung 2.13). Die Tabelle 5 der DIN 18 800 Teil 2 (vgl. Bild 2.3) beschränkt sich bei zweiachsiger Biegung auf die Zeilen 1 bis 4, da wie in Kapitel 2.1 dargestellt nur für diese Querschnitte die Interaktionsbeziehungen bekannt sind.

Schnittgrößen

Als Schnittgrößen sind die größten im Stab auftretenden Absolutwerte der Biegemomente zu verwenden. Für den Fall, dass die Maximalwerte von M_y und M_z an unterschiedlichen Stellen im Stab auftreten, dürfen die jeweils zugehörigen Schnittgrößen angesetzt werden. RF-KAPPA trägt dem Rechnung, indem der Nachweis an mehreren x-Stellen mit den zugehörigen Schnittgrößen geführt wird. Im Gegensatz dazu sind bei Nachweismethode 2 stets die Maximalwerte der Momente anzusetzen, selbst wenn sie nicht an der gleichen Stelle im Stab auftreten (vgl. Kapitel 2.4.2).



Die Wirkung von Imperfektionen sowie der Einfluss aus Theorie II. Ordnung ist bereits in der Nachweisgleichung berücksichtigt. Deshalb sind Imperfektionen nicht nochmals anzusetzen und es darf nach Theorie I. Ordnung gerechnet werden (siehe [7], S. 160). Der Einfluss der Theorie II. Ordnung wird durch die Ermittlung der Knicklänge am Gesamtsystem erfasst.

Momentenbeiwerte β_M

Es sind die Momentenbeiwerte β_M der DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 11, Spalte 3 einzusetzen, die gleichzeitig für das Biegedrillknicken gelten. Dabei spielen der Momentenverlauf und die Stabendmomente eine entscheidende Rolle.

Für die Momentenbeiwerte gelten folgende Einschränkungen:

$\beta_{M,\psi}$	Begrenzung auf höchstens $\alpha_{pl} + 1$ für Tabelle 11, Spalte 3, Zeile 1 (siehe [7], S. 178)
M_Q	Momente in Feldmitte

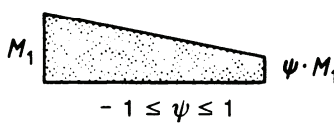
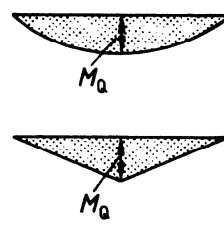
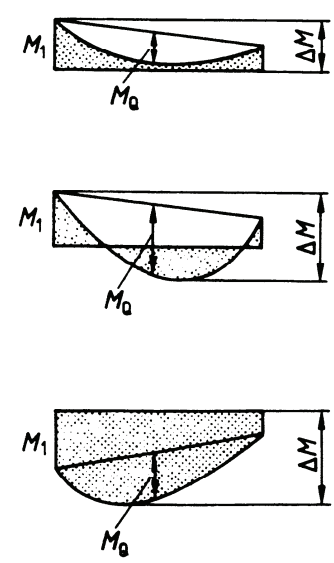
	1	3
	Momentenverlauf	Momentenbeiwerte β_M für Biegedrillknicken
1	Stabendmomente  $-1 \leq \psi \leq 1$	$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7 \psi$
2	Momente aus Querlast 	$\beta_{M,Q} = 1,3$ $\beta_{M,Q} = 1,4$
3	Momente aus Querlasten mit Stabendmomenten 	$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$ $M_Q = \max M \text{ nur aus Querlast}$ $\Delta M = \begin{cases} \max M & \text{bei nicht durchschlagendem Momentenverlauf} \\ \max M + \min M & \text{bei durchschlagendem Momentenverlauf} \end{cases}$

Bild 2.4: Momentenbeiwerte β_M

Beiwerte k_y und k_z

Die Beiwerte zur Berücksichtigung der Momentenverläufe M_y und M_z sowie der bezogenen Schlankheitsgrade $\bar{\lambda}_{K,y}$ und $\bar{\lambda}_{K,z}$ ergeben sich gemäß DIN 18 800 Teil 2, Element (321) zu:

$$k_y = 1 - \frac{N}{\kappa_y \cdot N_{pl,d}} \cdot \alpha_y \quad \text{jedoch } k_y \leq 1.5$$

$$\text{mit } \alpha_y = \bar{\lambda}_{K,y} \cdot (2 \cdot \beta_{M,y} - 4) + (\alpha_{pl,y} - 1) \quad \text{jedoch } \alpha_y \leq 0.8$$

$$k_z = 1 - \frac{N}{\kappa_z \cdot N_{pl,d}} \cdot \alpha_z \quad \text{jedoch } k_z \leq 1.5$$

$$\text{mit } \alpha_z = \bar{\lambda}_{K,z} \cdot (2 \cdot \beta_{M,z} - 4) + (\alpha_{pl,z} - 1) \quad \text{jedoch } \alpha_z \leq 0.8$$

Gleichung 2.15: Beiwerte k_y und k_z

2.4.2 Nachweismethode 2

Bei der Nachweismethode 2 wird der Tragsicherheitsnachweis für zweiachsig Biegung mit Normalkraft gemäß Bedingung (29) der DIN 18 800 Teil 2, Element (322) geführt.

$$\frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} + \frac{\beta_{m,y} \cdot M_y}{M_{pl,y,d}} \cdot k_y + \frac{\beta_{m,z} \cdot M_z}{M_{pl,z,d}} + \Delta n \leq 1$$

Gleichung 2.16: Nachweismethode 2

mit κ	$\min(\kappa_y, \kappa_z)$, Abminderungsfaktor der maßgebenden Knickspannungslinie nach Gleichung 2.13
M_y, M_z	Größter Absolutwert der Biegemomente nach Theorie I. Ordnung ohne Ansatz von Imperfektionen
$\beta_{m,y}, \beta_{m,z}$	Momentenbeiwerte β_m für Biegeknicken nach Bild 2.4 zur Erfassung der Form der Biegemomente M_y und M_z
k_y, k_z	Beiwerte nach Gleichung 2.17

Abminderungsfaktor κ

Der Abminderungsfaktor κ ist analog zum Nachweis für zentrisch gedrückte Stäbe zu ermitteln (siehe Kapitel 2.3, Gleichung 2.13). Die Tabelle 5 der DIN 18 800 Teil 2 (siehe Bild 2.3) beschränkt sich bei zweiachsiger Biegung auf die Zeilen 1 bis 4, da wie in Kapitel 2.1 dargestellt nur für diese Querschnitte die Interaktionsbeziehungen bekannt sind.

Schnittgrößen

Im Gegensatz zur Nachweismethode 1 sind hier immer die maximalen Werte von M_y und M_z anzusetzen, selbst wenn sie nicht an der gleichen Stelle im Stab auftreten. Demzufolge ist im Nachweiskriterium der Anteil aus Biegung für den gesamten Stab bzw. Stabzug stets konstant. Eine Änderung des Nachweiskriteriums kann sich bei der Nachweismethode 2 nur aus dem Normalkraftanteil ergeben, sofern dieser am Stab bzw. Stabzug veränderlich ist.

Wegen der geforderten gleichzeitigen Berücksichtigung der maximalen Biegemomente können die Ergebnisse der Nachweismethode 2 in manchen Fällen stärker auf der sicheren Seite liegen (siehe [7], S. 180).



Die Wirkung von Imperfektionen sowie der Einfluss aus Theorie II. Ordnung ist bereits in der Nachweisgleichung berücksichtigt. Deshalb sind Imperfektionen nicht nochmals anzusetzen und es darf nach Theorie I. Ordnung gerechnet werden (siehe [7], S. 160). Der Einfluss der Theorie II. Ordnung wird durch die Ermittlung der Knicklänge am Gesamtsystem erfasst.

Momentenbeiwerte β_m

Es sind die Momentenbeiwerte β_m der DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 11, Spalte 2 einzusetzen. Dabei spielen der Momentenverlauf und die Stabendmomente eine entscheidende Rolle.

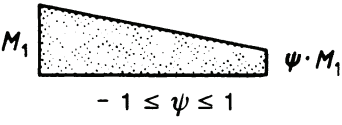
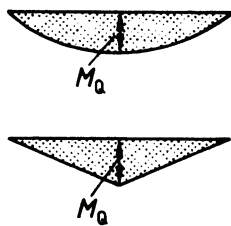
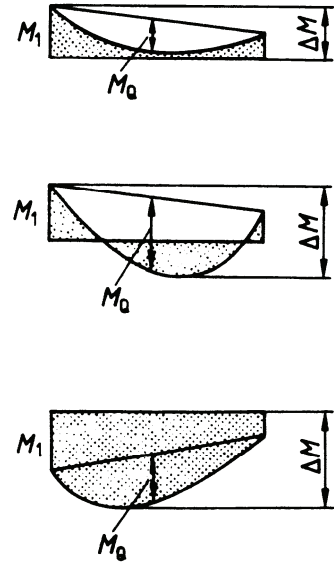
	1	2
	Momentenverlauf	Momentenbeiwerte β_m für Biegeknicken
1	Stabendmomente  $-1 \leq \psi \leq 1$	$\beta_{m,\psi} = 0,66 + 0,44 \psi$ jedoch $\beta_{m,\psi} \geq 1 - \frac{1}{\eta_{Ki}}$ und $\beta_{m,\psi} \geq 0,44$
2	Momente aus Querlast 	$\beta_{m,Q} = 1,0$
3	Momente aus Querlasten mit Stabendmomenten 	$\psi \leq 0,77$: $\beta_m = 1,0$ $\psi > 0,77$: $\beta_m = \frac{M_Q + M_1 \cdot \beta_{m,\psi}}{M_Q + M_1}$

Bild 2.5: Momentenbeiwerte β_m



Im Falle **einachsiger Biegung** ist ein Momentenbeiwert $\beta_m < 1$ nur bei Stäben mit unverschieblicher Lagerung der Stabenden und gleichbleibendem Querschnitt unter konstanter Druckkraft ohne Querlasten zulässig, vgl. DIN 18 800 Teil 2, Anmerkung zu Element (322) sowie Element (314). Es darf jedoch bei doppelsymmetrischen Querschnitten, die mindestens einen Stegflächenanteil von 18 % aufweisen, und bei einem Verhältnis $N/N_{pl,d} > 0.2$ das plastische Biegemoment $M_{pl,d}$ um 10 % erhöht werden, vgl. Element (314).

Beiwerte k_y und k_z

Die Beiwerte k_y und k_z sind von den Abminderungsfaktoren κ_y und κ_z abhängig.

$$\kappa_y < \kappa_z \quad \rightarrow \quad k_y = 1 \quad \text{und} \quad k_z = c_z$$

$$\kappa_y = \kappa_z \quad \rightarrow \quad k_y = 1 \quad \text{und} \quad k_z = 1$$

$$\kappa_y > \kappa_z \quad \rightarrow \quad k_y = c_y \quad \text{und} \quad k_z = 1$$

$$\text{mit} \quad c_z = \frac{1}{c_y} = \frac{1 - \frac{N}{N_{pl,d}} \cdot \bar{\lambda}_{\kappa,y}^2}{1 - \frac{N}{N_{pl,d}} \cdot \bar{\lambda}_{\kappa,z}^2}$$

Gleichung 2.17: Beiwerte k_y und k_z

Beiwert Δn

Der Beiwert Δn ist in DIN 18 800 Teil 2, Element (314) beschrieben.

$$\Delta n = \frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} \cdot \left(1 - \frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}}\right) \cdot \kappa^2 \cdot \bar{\lambda}_{\kappa}^2$$

$$\text{jedoch} \quad \Delta n \leq 0.1$$

Gleichung 2.18: Beiwert Δn

Für κ ist hierbei der maßgebende minimale Wert einzusetzen. $\bar{\lambda}_{\kappa}$ ist dann auf die gleiche Richtung bezogen wie κ .

2.5 Nachweis bei dynamischen Belastungen

Bei Bauwerken mit dynamischer Beanspruchung wie z. B. Bohrtürmen ist die Anwendung des vereinfachten Nachweises wegen des möglichen Ermüdungsversagens nicht möglich. Eine Überschreitung der Fließdehnung, wie sie der Nachweis nach dem Verfahren Elastisch-Plastisch gestattet, ist bei dynamischen Lasten nicht zulässig. Aus diesem Grunde wird der Stabilitätsnachweis bei dynamischen Lasten nach dem Verfahren Elastisch-Elastisch geführt.

Bei der analytischen Lösung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit des imperfekten Ersatzstabes mit Begrenzung auf den elastischen Spannungsbereich entsteht die in [3] genannte Gleichung:

$$\bar{\kappa} = \frac{N}{N_{pl}} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{\bar{\lambda}_K^2} + \frac{\pi}{\bar{\lambda}_K \cdot \beta \cdot j} \cdot \frac{1}{W_{el}} \cdot \sqrt{A \cdot I} \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{y,k}}} + 1 \right) \pm \sqrt{\frac{1}{4} \cdot \left(\frac{1}{\bar{\lambda}_K^2} + \frac{\pi}{\bar{\lambda}_K \cdot \beta \cdot j} \cdot \frac{1}{W_{el}} \cdot \sqrt{A \cdot I} \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{y,k}}} + 1 \right)^2 - \frac{1}{\bar{\lambda}_K^2}}$$

mit β Knicklängenbeiwert
 j von der Knickspannungslinie abhängiger Vorverformungsfaktor $v_0 = l/j$
 E Elastizitätsmodul
 $f_{y,k}$ Streckgrenze

Gleichung 2.19: Beiwert $\bar{\kappa}$

Man spricht in diesem Fall von elastischen Knickspannungslinien. Werden diese im Falle von dynamischen Beanspruchungen angewandt, ändern sich Gleichung 2.12, Gleichung 2.14 und Gleichung 2.16 wie folgt:

$$\frac{N}{\bar{\kappa} \cdot N_{pl,d}} \leq 1$$

Gleichung 2.20: Nachweis für Stäbe mit zentrischem Druck

$$\frac{N}{\bar{\kappa} \cdot N_{pl,d}} + \frac{M_y}{M_{pl,y,d}} \cdot k_y + \frac{M_z}{M_{pl,z,d}} \leq 1$$

Gleichung 2.21: Nachweismethode 1

$$\frac{N}{\bar{\kappa} \cdot N_{pl,d}} + \frac{\beta_{m,y} \cdot M_y}{M_{pl,y,d}} \cdot k_y + \frac{\beta_{m,z} \cdot M_z}{M_{pl,z,d}} + \Delta n \leq 1$$

Gleichung 2.22: Nachweismethode 2

Zur Bestimmung der Faktoren k_y und k_z nach DIN 18 800 Teil 2, Element (321) bzw. (322) ist κ durch $\bar{\kappa}$ zur ersetzen. M_{pl} wird somit auf das elastische Grenztragfähigkeitskriterium begrenzt, also durch M_{el} ersetzt [3]. Alle anderen Beiwerte werden wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben bestimmt.

2.6 Nachweis der (c/t)-Verhältnisse

Die Grenzwerte $\text{grenz } (c/t)$ bzw. $\text{grenz } (b/t)$ für volles Mitwirken von Querschnittsteilen unter Druckspannungen σ_x können je nach Tragsicherheitsnachweis entweder nach dem Verfahren Elastisch-Elastisch oder Elastisch-Plastisch ermittelt werden. Für den Biegeknicknachweis und somit für den Nachweis der (c/t)-Verhältnisse wird in der Regel das Verfahren Elastisch-Plastisch verwendet.

In DIN 18 800 Teil 1 sind die $\text{grenz } (c/t)$ -Werte für den Tragsicherheitsnachweis Elastisch-Plastisch in Tabelle 15 geregelt. Die Nachweise sind gesondert für Steg und Flansch durchzuführen.

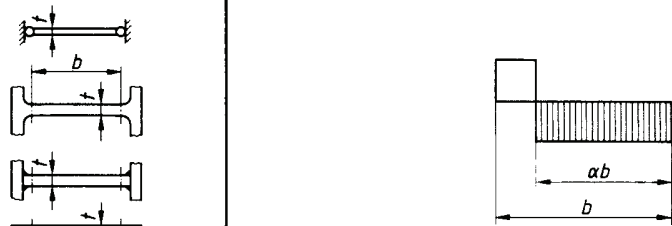
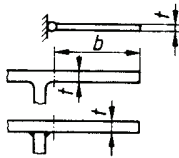
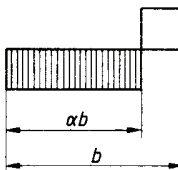
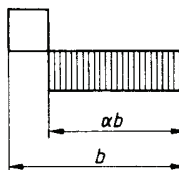
Beidseitig gelagerter Plattenstreifen		
Lagerung und Breite b	 $\text{grenz } (b/t) = \frac{37}{\alpha} \cdot \sqrt{\frac{240}{f_{y,k}}}$	
Einseitig gelagerter Plattenstreifen		
Lagerung und Breite b	Druckspannung $f_{y,k}/\gamma_M$ am	
	gelagerten Rand	freien Rand
	 $\text{grenz } (b/t) = \frac{11}{\alpha \sqrt{\alpha}} \cdot \sqrt{\frac{240}{f_{y,k}}}$	 $\text{grenz } (b/t) = \frac{11}{\alpha} \cdot \sqrt{\frac{240}{f_{y,k}}}$

Bild 2.6: Grenzwerte (c/t) für Steg und Flansch

2.6.1 Flansch

Nach Bild 2.6 wird unterschieden, ob die größte Druckspannung am gelagerten oder am freien Rand auftritt.

Gelagerter Rand

$$\text{grenz } (c/t) = \frac{11}{\alpha \cdot \sqrt{\alpha}} \cdot \sqrt{\frac{240}{f_{y,k}}}$$

mit α Verhältnis von Druckzone zu Gesamtbreite
 $f_{y,k}$ charakteristischer Wert der Streckgrenze in [N/mm²]

Gleichung 2.23: Grenzwert (c/t) für gelagerten Rand

Freier Rand

$$\text{grenz } (c/t) = \frac{11}{\alpha} \cdot \sqrt{\frac{240}{f_{y,k}}}$$

Gleichung 2.24: Grenzwert (c/t) für freien Rand

Bei voller Plastizierung des Flansches, d. h. einem Verhältnis $\alpha = 1.0$, entspricht der Nachweis am freien Rand dem Nachweis am gelagerten Rand.

Vorhanden (c/t)

Das vorhandene (c/t)-Verhältnis ermittelt sich aus der Querschnittsgeometrie wie folgt:

$$\text{vorh } (c/t) = \frac{\frac{b}{2} - \frac{s}{2} - r}{t}$$

mit b Flanschbreite
 s Stegdicke
 r Ausrundungsradius

Gleichung 2.25: (c/t)-Verhältnis Flansch

2.6.2 Steg

Bild 2.6 gibt für beidseitig gelagerte Plattenstreifen folgende Beschränkung vor:

$$\text{grenz } (c/t) = \frac{37}{\alpha} \cdot \sqrt{\frac{240}{f_{y,k}}}$$

mit α Verhältnis von Druckzone zu Gesamtbreite
 $f_{y,k}$ charakteristischer Wert der Streckgrenze in [N/mm²]

Gleichung 2.26: Grenzwert (c/t) für Steg

Der Anteil des Steges, der mit Druckspannungen belastet ist, ermittelt sich wie folgt:

$$h_N = \frac{N_d}{f_{y,d} \cdot s}$$

Gleichung 2.27: Steganteil mit Druck

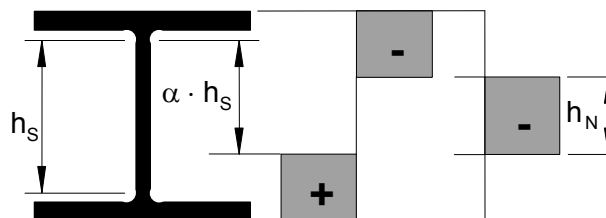


Bild 2.7: Druckanteil für beidseitig gelagerten Plattenstreifen

Daraus ergibt sich folgendes Druckzonenverhältnis:

$$\alpha = 0.5 + \frac{h_N}{2 \cdot h_s}$$

mit $h_s = h - t_o - t_u - 2 \cdot r$

Gleichung 2.28: Druckzonenverhältnis α

Vorhanden (c/t)

Das vorhandene (c/t)-Verhältnis ermittelt sich aus der Querschnittsgeometrie wie folgt:

$$\text{vorh (c / t)} = \frac{h - t_o - t_u - 2 \cdot r}{s}$$

mit h	Profilhöhe
t _o , t _u	Flanschdicke oben und unten
r	Ausrundungsradius
s	Stegdicke

Gleichung 2.29: (c/t)-Verhältnis Steg

2.7 Voutenüberprüfung

Nach DIN 18 800 Teil 2, Element (305) sind beim Vorliegen eines biegeknickgefährdeten Voutenträgers nachstehende Bedingungen einzuhalten:

- Verhältnis von minimaler zu maximaler Profilhöhe

$$\frac{\min h}{\max h} \geq 0.25$$

Gleichung 2.30: Verhältnis der Profilhöhen

- Verhältnis von minimalem zu maximalem plastischen Moment

$$\frac{\min M_{pl}}{\max M_{pl}} \geq 0.05$$

Gleichung 2.31: Verhältnis der plastischen Momente

- Verzweigungslastfaktor an beiden Enden

$$\eta_{Ki} = \frac{N_{Ki,d}}{N} \geq 1.2$$

Gleichung 2.32: Verzweigungslastfaktor



Werden die Bedingungen der Voutenüberprüfung nicht eingehalten, gibt das Programm die entsprechenden Fehlermeldungen im Kommentar zur Nachweisart aus.

3. Eingabedaten

Die Eingaben zur Definition der Bemessungsfälle erfolgen in Masken. Für Stäbe und Stabsätze wird unterstützend die [Pick]-Funktion zur grafischen Auswahl angeboten.

Nach dem Aufruf von RF-KAPPA wird in einem neuen Fenster links ein Navigator angezeigt, der alle aktuell anwählbaren Masken verwaltet. Darüber befindet sich eine Pulldownliste mit den eventuell bereits vorhandenen Bemessungsfällen (siehe Kapitel 8.1, Seite 62).

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

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



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

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

3.1 Basisangaben

In Maske 1.1 *Basisangaben* werden die zu bemessenden Stäbe, Stabsätze und Einwirkungen ausgewählt.

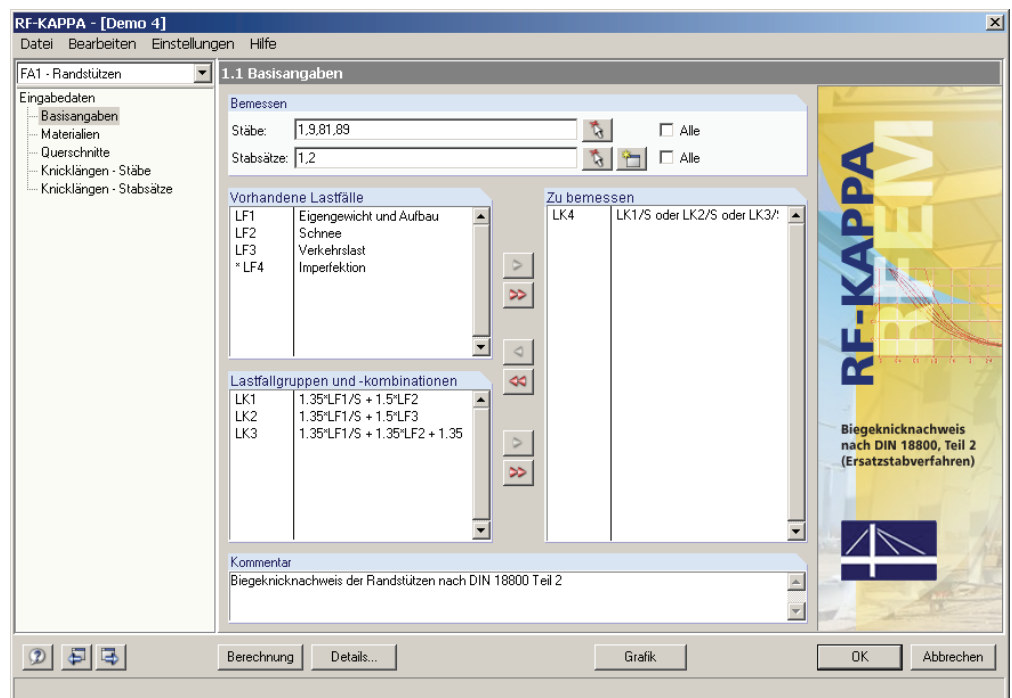


Bild 3.1: Maske 1.1 *Basisangaben*

Bemessen



Die Bemessung kann sowohl für *Stäbe* als auch für *Stabsätze* erfolgen. Falls nur bestimmte Objekte bemessen werden sollen, ist das Kontrollfeld *Alle* zu deaktivieren. Damit werden die beiden Eingabefelder zugänglich, in die die Nummern der relevanten Stäbe oder Stabsätze eingetragen werden können. Über die Schaltfläche [Pick] ist auch die grafische Auswahl im RFEM-Arbeitsfenster möglich. Die Liste der voreingestellten Stabnummern kann schnell per Doppelklick selektiert und dann durch manuelle Eingaben überschrieben werden.



Falls in RFEM noch keine Stabsätze definiert wurden, so können diese über die Schaltfläche [Neu] auch im Modul RF-KAPPA angelegt werden. Es erscheint der bereits aus RFEM bekannte Dialog zum Anlegen eines neuen Stabsatzes, in dem die weiteren Angaben erfolgen. Dabei ist zu beachten, dass der Biegeknicknachweis nur für den Stabsatztyp **Stabzug** sowie für Stabgruppen mit zusammenhängenden, nicht verzweigenden Stäben geführt werden kann.



Im Zuge einer Stabsatzbemessung werden mehrere Stäbe wie ein Gesamtstab behandelt. Die Randbedingungen einer beispielsweise in mehrere Einzelstäbe unterteilten Stütze können somit als Ganzes erfasst werden. Falls Stabsätze bemessen werden, stehen in RF-KAPPA zusätzlich folgende Masken zur Verfügung:

- 1.5 *Parameter Stabsätze*
- 2.2 *Nachweise stabsatzweise*
- 2.4 *Nachweise x-stellenweise - Stabsätze*
- 3.2 *Stückliste stabsatzbezogen*

Vorhandene Lastfälle / Lastfallgruppen und -kombinationen



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



Sollten Lastfälle mit einem Sternchen (*) gekennzeichnet sein wie beispielsweise Lastfall 4 in Bild 3.1, können diese nicht bemessen werden. Dies ist der Fall, wenn keine Lasten definiert sind oder wenn es sich wie im Beispiel um einen Imperfektionslastfall handelt.

Zu bemessen



In der rechten Spalte werden die zur Bemessung ausgewählten Einwirkungen aufgelistet. Mit der Schaltfläche [◄] lassen sich selektierte Lastfälle oder Lastfallkombinationen aus der Liste wieder entfernen. Auch hier kann die Auswahl per Doppelklick erfolgen. Mit der Schaltfläche [◄◄] wird die ganze Liste geleert.



Theorie I. Ordnung

Die Wirkung von Imperfektionen sowie der Einfluss aus Theorie II. Ordnung ist bereits in der Nachweisgleichung berücksichtigt. Deshalb sind Imperfektionen nicht nochmals anzusetzen und es darf nach Theorie I. Ordnung gerechnet werden. Der Einfluss der Theorie II. Ordnung wird durch die Ermittlung der Knicklänge am Gesamtsystem erfasst.

Kommentar

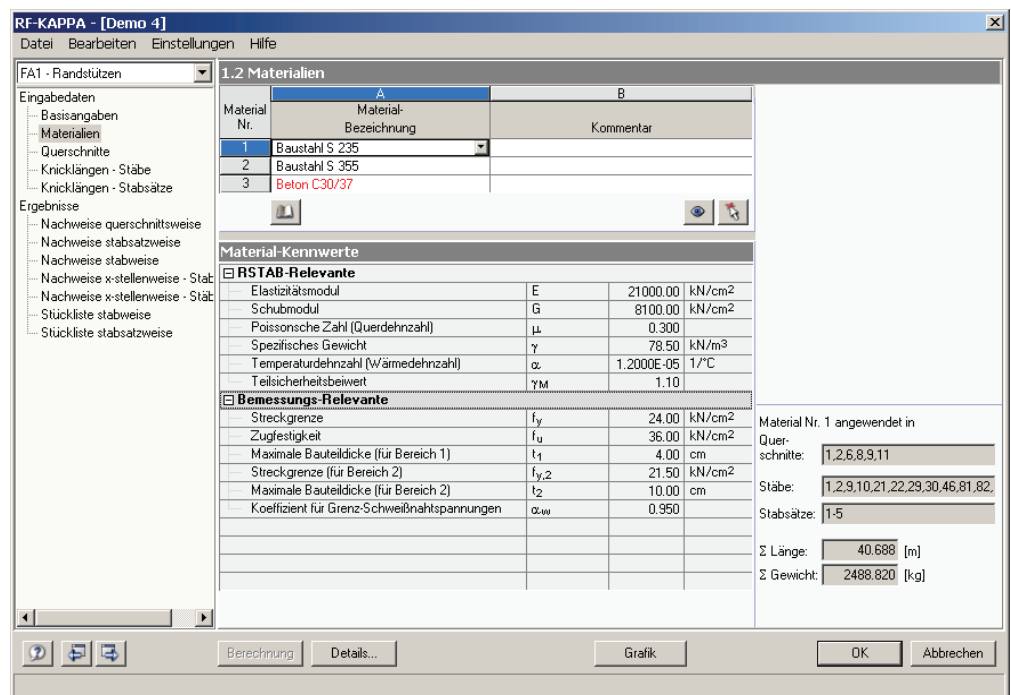
Dieses Eingabefeld steht für eine benutzerdefinierte Anmerkung zur Verfügung, die z. B. den aktuellen RF-KAPPA-Bemessungsfall erläuternd beschreibt.

3.2 Materialien

Diese Maske ist zweigeteilt. Im oberen Abschnitt sind die zur Bemessung vorgesehenen Materialien angeführt. Im Abschnitt *Materialkennwerte* unterhalb werden die Eigenschaften des aktuellen Materials angezeigt, d. h. des Materials, dessen Zeile im oberen Abschnitt selektiert ist.

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

Die Einheiten und Nachkommastellen der Materialkennwerte und Spannungen lassen sich über Menü **Einstellungen** → **Einheiten und Dezimalstellen** ändern (siehe Kapitel 8.3, Seite 66).



RF-KAPPA - [Demo 4]
Datei Bearbeiten Einstellungen Hilfe

FA1 - Randstützen

1.2 Materialien

Material Nr.	Material-Bezeichnung	Kommentar
1	Baustahl S 235	
2	Baustahl S 355	
3	Beton C30/37	

Material-Kennwerte

RSTAB-Relevante

Parameter	Wert	Einheit
Elastizitätsmodul	21000.00	kN/cm ²
Schubmodul	8100.00	kN/cm ²
Poissonsche Zahl (Querdehnzahl)	0.300	
Spezifisches Gewicht	78.50	kN/m ³
Temperaturdehnzahl (Wärmedehnzahl)	1.2000E-05	1/°C
Teilsicherheitsbeiwert	1.10	

Bemessungs-Relevante

Parameter	Wert	Einheit
Streckgrenze	24.00	kN/cm ²
Zugfestigkeit	36.00	kN/cm ²
Maximale Bauteildicke (für Bereich 1)	4.00	cm
Streckgrenze (für Bereich 2)	21.50	kN/cm ²
Maximale Bauteildicke (für Bereich 2)	10.00	cm
Koeffizient für Grenz-Schweißnahtspannungen	0.950	

Material Nr. 1 angewendet in

Querschnitte: 1,2,6,8,9,11

Stäbe: 1,2,9,10,21,22,29,30,46,81,82

Stabsätze: 1-5

Σ Länge: 40.688 [m]

Σ Gewicht: 2488.820 [kg]

Berechnung Details... Grafik OK Abbrechen

Bild 3.2: Maske 1.2 Materialien

Materialbezeichnung

Die in RFEM definierten Materialien sind voreingestellt. Wenn die *Materialbezeichnung* mit einem Eintrag der Bibliothek übereinstimmt, liest RF-KAPPA die Materialkennwerte ein.

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

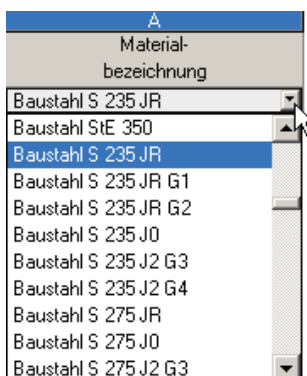
In der Liste werden dem Bemessungskonzept der DIN 18 800 entsprechend nur Materialien der Kategorie **Stahl** angeführt. Die Übernahme von Materialien aus der Bibliothek ist nachfolgend beschrieben.

Materialbibliothek

Eine Vielzahl von Materialien ist in einer Bibliothek hinterlegt. Diese wird aufgerufen über

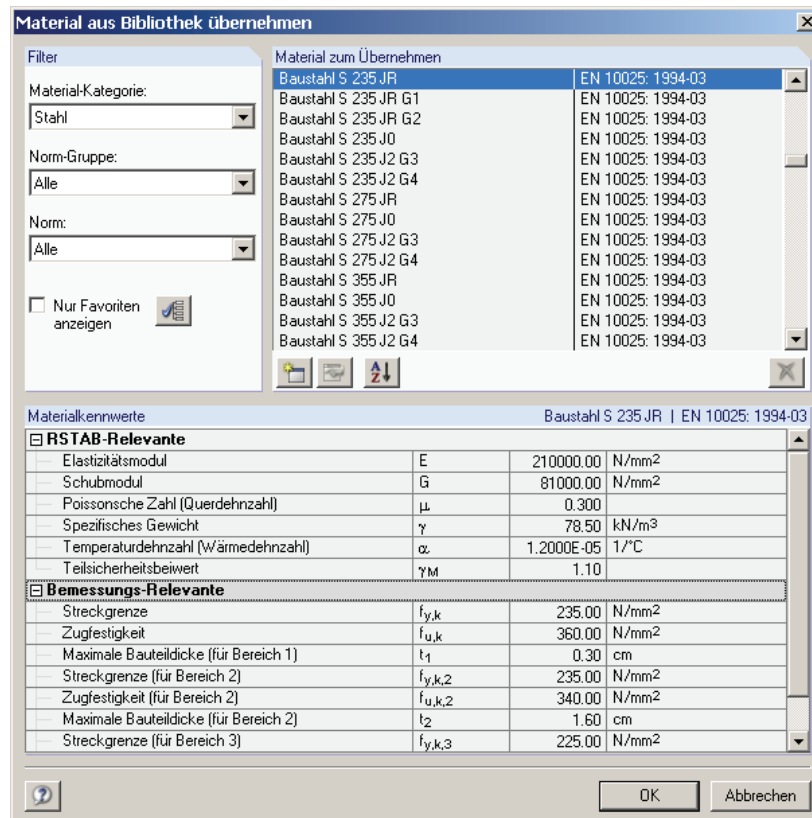
Bearbeiten → **Materialbibliothek**

oder die links dargestellte Schaltfläche.



A	Material- bezeichnung
	Baustahl S 235 JR
	Baustahl S 355
	Baustahl S 235 JR
	Baustahl S 235 JR G1
	Baustahl S 235 JR G2
	Baustahl S 235 J0
	Baustahl S 235 J2 G3
	Baustahl S 235 J2 G4
	Baustahl S 275 JR
	Baustahl S 275 J0
	Baustahl S 275 J2 G3



Bild 3.3: Dialog *Material aus Bibliothek übernehmen*

Im Abschnitt *Filter* ist die Materialkategorie *Stahl* voreingestellt. Aus der rechts davon befindlichen Liste *Material zum Übernehmen* können Sie ein Material auswählen und dessen Kennwerte im unteren Bereich des Dialogs kontrollieren. Mit [OK] oder [.] wird es in die RF-KAPPA-Maske 1.2 übernommen.

Im Kapitel 5.3 des RFEM-Handbuches ist ausführlich beschrieben, wie Materialien gefiltert, ergänzt oder neu sortiert werden können.

Theoretisch können über die Bibliothek auch Materialien der Kategorien *Gusseisen* und *Nichtrostender Stahl* ausgewählt werden. Es ist dabei allerdings zu beachten, dass diese Materialien nicht vom Bemessungskonzept der DIN 18 800 abgedeckt sind. Dementsprechend sind in RF-KAPPA die Materialeigenschaften grundsätzlich nicht editierbar.

3.3 Querschnitte

In dieser Maske werden die für die Bemessung infrage kommenden Querschnitte verwaltet. Zusätzlich können hier Optimierungsparameter festgelegt werden.

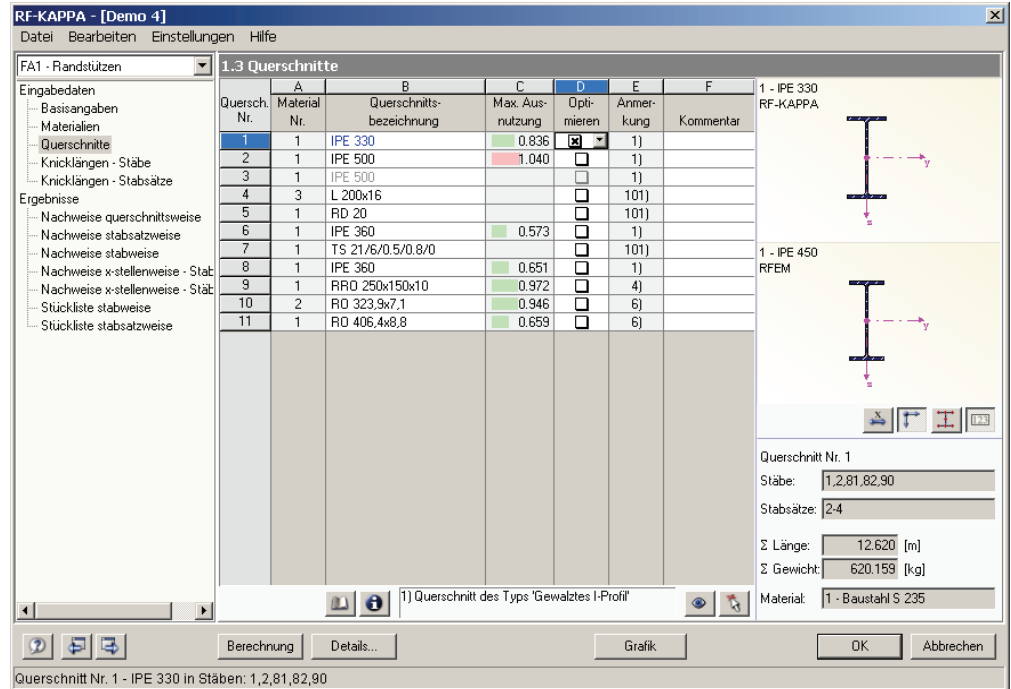


Bild 3.4: Maske 1.3 Querschnitte

Querschnittsbezeichnung

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

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

Zum Ändern eines Profils wird die neue Querschnittsbezeichnung in die entsprechende Zeile eingetragen oder das neue Profil aus der Bibliothek ausgewählt. Diese können Sie wie gewohnt mit der Schaltfläche [Querschnittsbibliothek] aufrufen. Alternativ platzieren Sie den Cursor in der gewünschten Zeile und drücken dann [...] oder die Funktionstaste [F7]. Es erscheint die bereits aus RFEM bekannte Querschnittsbibliothek bzw. Profilliste.

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

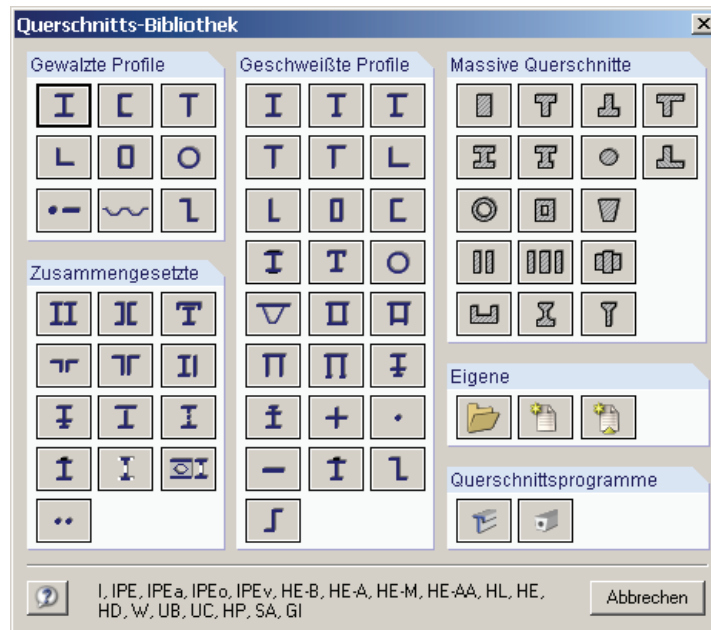
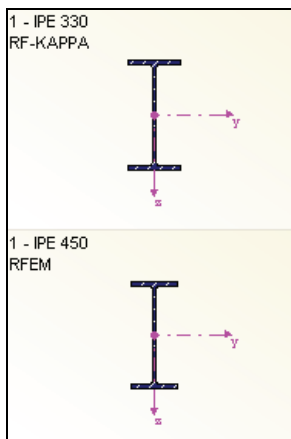


Bild 3.5: Querschnittsbibliothek



U- und T-Profile

Liegen unterschiedliche Querschnitte in RF-KAPPA und in RFEM vor, so zeigt die Grafik rechts in der Maske beide Profile an. Der Nachweis wird dann mit den RFEM-Schnittgrößen für das in RF-KAPPA gewählte Profil geführt.

Der Biegeknicknachweis gemäß DIN 18 800 Teil 2, Element (323) erstreckt sich auf alle einfachsymmetrischen I-förmigen Querschnitte, deren Abmessungsverhältnisse denen der Walzprofile entsprechen. In der RFEM-Profildatenbank sind dies folgende Profilreihen (vgl. auch Tabelle 2.2, Seite 10, Tabelle 2.3, Seite 12 und Tabelle 2.4, Seite 13):

- Walzprofile: sämtliche Reihen innerhalb der I-Profile, KUO, KCO
- Zusammengesetzte Profile: 2UR, IFBu, IFBo, ICM, ICU, ICO, IBU, IBO, SFBu, ICTo, ICTu, KB(S), KB(L), KB(2L+FL)
- Geschweißte Profile: IS, IU, IV, IT, IVU, IVO, KB
- Kastenprofile: QRO, RRO, QROK, RROK, TO
- Rohrprofile: RO, Rohr

Für alle übrigen Querschnitte (z. B. U- oder T-Profile) ist keine Bestimmung der Interaktionsbedingungen möglich. Um solche Profile aber dennoch ohne Berücksichtigung der Interaktionsbedingungen nach DIN 18 800 Teil 2, Element (321) bzw. (322) nachzuweisen, müssen bestimmte Grenzbedingungen eingehalten sein (siehe Gleichung 2.9, Seite 14). Sind diese Voraussetzungen nicht erfüllt, kann der Nachweis nur noch wie in Kapitel 2.5 beschrieben mit dem Verfahren Elastisch-Elastisch geführt werden.

Auf die programmseitige Voreinstellung der Grenzbeanspruchungen kann im Dialog *Details* Einfluss genommen werden (siehe Kapitel 4.1, Seite 40).

Stab mit Voutenquerschnitt

Bei gevouteten Stäben mit unterschiedlichen Profilen am Stabanfang und Stabende werden die beiden Querschnittsnummern gemäß der Definition in RFEM in zwei Zeilen angegeben. RF-KAPPA führt auch die Bemessung von Voutenstäben durch, sofern die gleiche Anzahl von Spannungspunkten für den Anfangs- und Endquerschnitt vorliegt. Ist dies nicht der Fall, können die Zwischenwerte nicht interpoliert werden und es erscheint vor der Berechnung eine entsprechende Warnung.

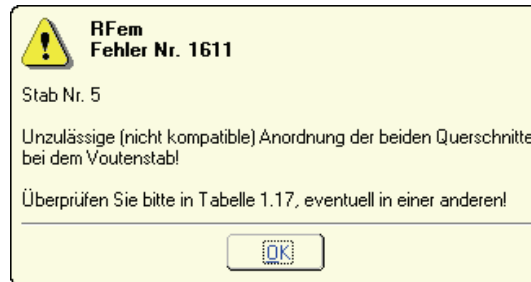
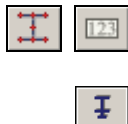


Bild 3.6: Warnung bei inkompatiblen Querschnitten



Zur Kontrolle können Sie die Spannungspunkte eines Querschnitts mitsamt Nummerierung in der Querschnittsgrafik rechts einblenden.

Für eine erfolgreiche Bemessung muss also die gleiche Anzahl an Spannungspunkten geschaffen werden. Dies wird z. B. dadurch erreicht, indem man das Profil am Ende der Voute als Kopie des Anfangsprofils modelliert und hierbei nur die Geometrieparameter modifiziert. Gegebenenfalls müssen die beiden Querschnitte als parametrisierte („Geschweißte“) Profile ausgebildet werden. Speziell für Vouten stehen dort die *IVU - Voutenprofile unten verstärkt* zur Verfügung.

Im Zuge des Biegeknicknachweises wird auch überprüft, ob die Voutenbedingungen eingehalten sind (vgl. Kapitel 2.7, Seite 26).

Max. Ausnutzung

Diese Spalte dient als Entscheidungshilfe für den Optimierungsprozess. Sie wird angezeigt, sobald eine Biegeknickuntersuchung durchgeführt wurde. Anhand der Ausnutzung und der Farb-Relationsbalken wird deutlich, welche Profile kaum ausgenutzt und somit überdimensioniert bzw. zu stark beansprucht und damit unterdimensioniert sind.

Optimieren

Es besteht die Möglichkeit, jedes Profil einem Optimierungsprozess zu unterwerfen. Dabei wird mit den RFEM-Schnittgrößen das Profil innerhalb der betreffenden Querschnittsreihe ermittelt, das der maximalen Ausnutzung von 1.0 am nächsten kommt.

Soll ein bestimmter Querschnitt optimiert werden, so ist dessen Kontrollfeld in Spalte D zu aktivieren. Empfehlungen zur Profilloptimierung finden Sie im Kapitel 8.2 auf Seite 64.

Anmerkung

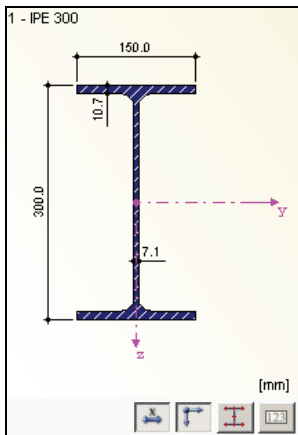
In dieser Spalte werden Hinweise in Form von Fußnoten angezeigt, die am unteren Ende der Querschnittsliste näher erläutert sind.



Erscheint die Anmerkung 52) *Unbekannter Querschnittstyp - Bemessung nicht möglich*, so liegt ein Querschnitt vor, der nicht in der Profildatenbank registriert ist. Es kann sich hierbei um einen eigendefinierten oder nicht berechneten DUENQ-Querschnitt handeln. Über die Schaltfläche [...] in Spalte B *Querschnittsbezeichnung* kann dann ein geeignetes Profil für die Bemessung eingestellt werden (siehe Bild 3.5 mit anschließender Erläuterung).

Querschnittsgrafik

Im rechten Teil der Maske 1.3 wird der aktuelle Querschnitt grafisch dargestellt. Die Schaltfläche unterhalb sind mit folgenden Funktionen belegt:







Schaltfläche	Funktion
	Die Bemaßung des Querschnitts wird ein- oder ausgeblendet.
	Die Hauptachsen des Profils werden ein- oder ausgeschaltet.
	Die Spannungspunkte werden angezeigt oder ausgeblendet.
	Die Nummerierung der Spannungspunkte wird ein- oder ausgeblendet.

Tabelle 3.1: Schaltflächen der Querschnittsgrafik

3.4 Knicklängen - Stäbe

Diese Maske ist zweigeteilt. Im oberen Abschnitt sind die zur Bemessung vorgesehenen Stäbe mit den jeweils relevanten Parametern für den Biegeknicknachweis aufgelistet. Hierbei handelt es sich um die „Hauptparameter“, die in einem bidirektionalen Verhältnis zu den Angaben im Abschnitt unterhalb *Einstellungen - Stab Nr.* stehen. Es werden dort in einer Baumstruktur die Randbedingungen für den aktuellen Stab im Detail verwaltet, d. h. desjenigen Stabes, dessen Zeile im oberen Abschnitt selektiert ist.

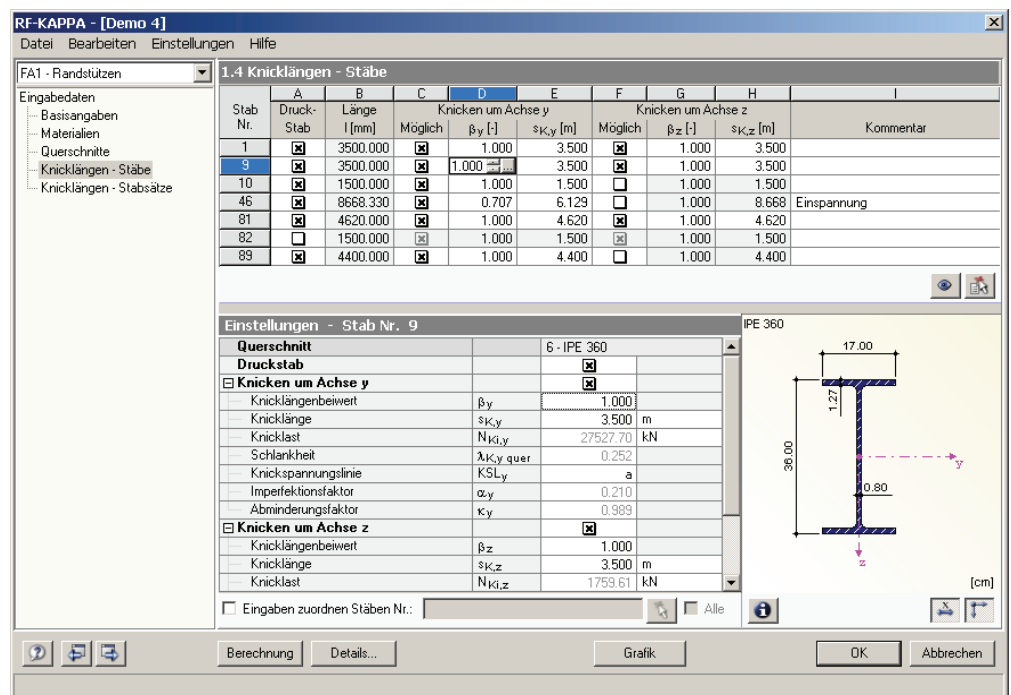


Bild 3.7: Maske 1.4 Knicklängen - Stäbe

Wird bei den „Hauptparametern“ im oberen Abschnitt eine Auswahl getroffen, verzweigt die Baumstruktur unterhalb. Die Unterkapitel können über einen Mausklick auf [+] eingeblendet und auf [-] geschlossen werden.

Am unteren Rand der Baumstruktur steht das Kontrollfeld *Eingaben zuordnen Stäben Nr.* zur Verfügung. Ist dieses aktiviert, gelten die anschließend getroffenen Einstellungen für

ausgewählte – manueller Eintrag der Stabnummern oder grafische Auswahl über [Pick] – bzw. *Alle* Stäbe. Diese Option ist hilfreich, um mehreren Stäben die gleichen Randbedingungen zuzuweisen. Bitte beachten Sie, dass die Aktivierung dieser Funktion keine rückwirkende Zuweisung der bereits getroffenen Einstellungen bewirkt.

In der letzten Spalte **Kommentar** können für jeden Stab benutzerdefinierte Anmerkungen erfolgen, um beispielsweise die gewählten Knicklängen näher zu erläutern.

Querschnitt

In der ersten Zeile im unteren Abschnitt wird zur Information die Querschnittsbezeichnung angegeben. Bei einem Voutenstab erscheinen die Bezeichnungen des Anfangs- und Endprofils.



Soll ein Querschnitt geändert werden, können die Anpassungen zum einen in der vorherigen Maske 1.3 *Querschnitte* erfolgen, zum anderen direkt im Abschnitt *Einstellungen*: Klicken Sie dort in das Eingabefeld rechts neben *Querschnitt* und aktivieren so den am Ende des Feldes befindlichen Button [...]. Dieser eröffnet den Zugang zur Querschnittsbibliothek.

Einstellungen - Stab Nr. 9			
Querschnitt			
Anfang - Querschnitt		8 - IPE 300	
Ende - Querschnitt		6 - IPE 360	
Druckstab			
<input checked="" type="checkbox"/> Knicken um Achse y			
Knicklängenbeiwert	β_y	1.000	
Knicklänge	$s_{K,y}$	3.500	m
Knicklast	$N_{K,y}$	14144,60	kN
Schlankheit	$\lambda_{K,y \text{ quer}}$	0.302	
Knickspannungslinie	KSL_y	a	
Imperfektionsfaktor	α_y	0.210	
Abminderungsfaktor	κ_y	0.977	

Bild 3.8: Ändern eines Voutenstab-Querschnitts im *Einstellungen*-Baum

Druckstab

Als Voraussetzung für den Biegeknicknachweis nach DIN 18 800 Teil 2 ist es erforderlich, dass Druckkräfte aufgenommen werden können. Stäbe, bei denen dies aufgrund ihres Stabtyps nicht möglich ist wie beispielsweise Zugstäbe, elastische Bettungen oder starre Kopplungen, sind in RF-KAPPA von vornherein vom Nachweis ausgenommen.

Die Spalte *Druckstab* bietet eine zusätzliche Steuerungsmöglichkeit, Stäbe als Druckstäbe zu klassifizieren bzw. vom Nachweis auszuklammern. Die Kontrollfelder in Spalte A sowie im *Einstellungen*-Baum regeln somit auch für jeden Stab, ob die Eingabefelder der folgenden Spalten zugänglich sind. Nur bei einem Druckstab ist die Festlegung der Knicklängenparameter möglich. Wird das Kontrollfeld deaktiviert, so werden die Spalten gesperrt und der *Einstellungen*-Baum geschlossen. Damit wird für diesen Stab kein Biegeknicknachweis geführt.

Länge

Für Kontrollzwecke werden in Spalte B die jeweiligen Stablängen angegeben. Diese Werte sind nicht editierbar.

Knicken um Achse y bzw. Achse z

Die Spalten *Möglich* steuern, ob eine Knickgefährdung um die Achse y und/oder z vorliegt. Bei diesen Achsen handelt es sich um die lokalen Stabachsen, wobei die Achse y die „starke“ und die Achse „z“ die „schwache“ Stabachse repräsentiert.

Die Lage der Stabachsen kann in der vorherigen Maske 1.3 *Querschnitte* bei der Grafik des Querschnitts kontrolliert werden (siehe Bild 3.4, Seite 31). In der RFEM-Oberfläche, die jederzeit über die Schaltfläche [Grafik] erreichbar ist, lässt sich die Anzeige der lokalen Achsen im *Zeigen*-Navigator aktivieren.

Grafik

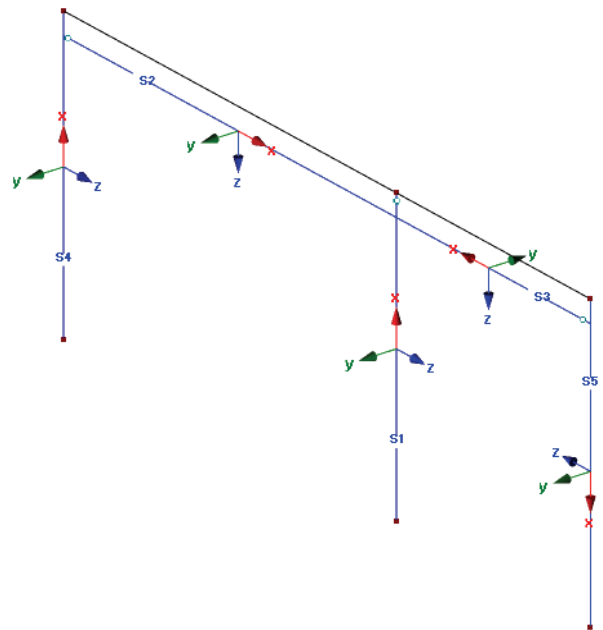
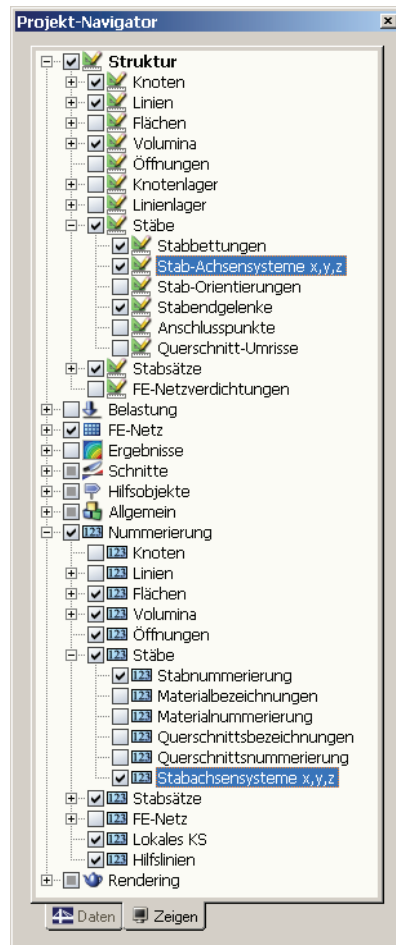


Bild 3.9: Aktivieren der lokalen Stabachsensysteme im Zeigen-Navigator

Liegt eine Knickgefährdung um eine oder beide Achsen vor, können die genauen Vorgaben in den Eingabefeldern der Spalten D und E bzw. G und H getroffen werden. Alternativ wird der *Einstellungen*-Baum im Abschnitt unterhalb benutzt.

Knicklängenbeiwert β

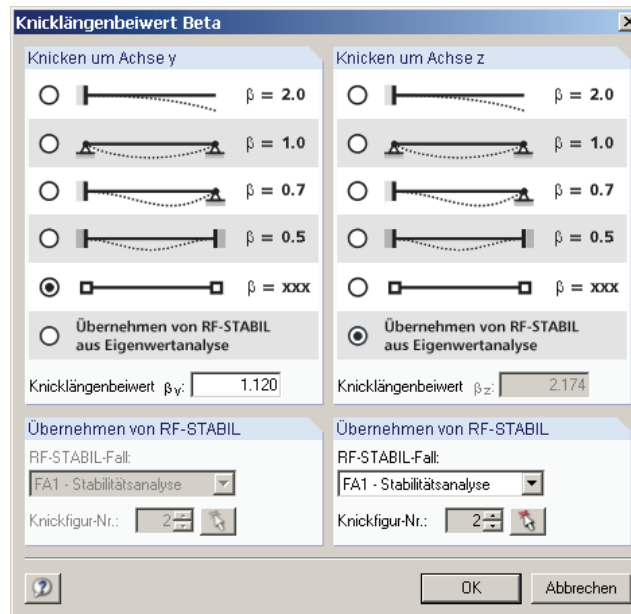
Einstellungen - Stab Nr. 1			
Querschnitt		1 - IPE 330	
Druckstab		<input checked="" type="checkbox"/>	
Knicken um Achse y		<input checked="" type="checkbox"/>	
Knicklängenbeiwert	β_y	1.000	
Knicklänge	$s_{K,y}$	0.500	m
Knicklast	$N_{Kl,y}$	0.707	kN
Schlankheit	$\lambda_{K,y \text{ quer}}$	1.000	
Knickschwingungslinie	KSL_y	2.000	
Imperfektionsfaktor	α_y		0.210
Abminderungsfaktor	κ_y		0.983

Bild 3.10: Angabe des Knicklängenbeiwerts β_y 

Wie in Kapitel 2.2 erläutert, wird der Knicklängenbeiwert β bzw. die Knicklänge s_K zur Ermittlung der kritischen Knicklast N_{Kl} gemäß Gleichung 2.10 benötigt. Die Werte für β_y und β_z können manuell eingetragen oder über die links gezeigten Schaltflächen festgelegt werden. Diese werden zugänglich, sobald der Cursor in eines der Eingabefelder für β gesetzt wird. Mit der ersten Schaltfläche [▼] lässt sich wie im Bild oben dargestellt einer die vier bekannten Euler-Fälle anwählen.



Die Schaltfläche [...] öffnet einen neuen Dialog mit erweiterten Auswahlmöglichkeiten.

Bild 3.11: Dialog *Knicklängenbeiwert Beta*

In diesem Dialog lässt sich für jede Achse der Knicklängenbeiwert separat festlegen. Neben den vier Euler-Fällen besteht die Möglichkeit einer freien Eingabe (Option $\beta = xxx$), die das Eingabefeld *Knicklängenbeiwert* zugänglich macht.

Nützlich erweist sich auch die Option *Übernehmen von RF-STABIL aus Eigenwertanalyse*. Damit lassen sich die im Zusatzmodul RF-STABIL ermittelten Knicklängenbeiwerte einer bestimmten Knickfigur importieren. Im Abschnitt *Übernehmen von RF-STABIL* sind lediglich der *RF-STABIL-Fall* sowie die *Knickfigur Nr.* anzugeben bzw. mit [Pick] grafisch auszuwählen. Die Knicklängenbeiwerte werden dann automatisch in Maske 1.4 eingelesen.

Knicklänge s_K

Einstellungen - Stab Nr. 1			
Knicken um Achse y			
<input type="checkbox"/> Knicklängenbeiwert	β_y	1.120	
<input type="checkbox"/> Knicklänge	$s_{K,y}$	3.920	m
<input type="checkbox"/> Knicklast	$N_{Kl,y}$	15875.40	kN
<input type="checkbox"/> Schlankheit	$\lambda_{K,y \text{ quer}}$	0.308	
<input type="checkbox"/> Knickspannungslinie	KSL_y	a	
<input type="checkbox"/> Imperfektionsfaktor	α_y	0.210	
<input type="checkbox"/> Abminderungsfaktor	κ_y	0.976	
Knicken um Achse z			
<input type="checkbox"/> Knicklängenbeiwert	β_z	1.000	
<input type="checkbox"/> Knicklänge	$s_{K,z}$	3.500	m
<input type="checkbox"/> Knicklast	$N_{Kl,z}$	1333.24	kN
<input type="checkbox"/> Schlankheit	$\lambda_{K,z \text{ quer}}$	1.062	
<input type="checkbox"/> Knickspannungslinie	KSL_z	b	

Bild 3.12: Angabe der Knicklänge $s_{K,y}$

Wurde ein Knicklängenbeiwert definiert, ergibt sich die Knicklänge automatisch aus der in Spalte B ausgewiesenen Stablänge l multipliziert mit dem Knicklängenbeiwert β .

Die Spalten E und H eröffnen jedoch auch die Möglichkeit, die Knicklängen $s_{K,y}$ und $s_{K,z}$ manuell zu definieren. Im Zuge der Eingabe wird der damit verbundene Knicklängenbeiwert β aktualisiert.

Über die Schaltfläche [...] am Ende des Eingabefeldes lassen sich auch zwei Knoten grafisch im RFEM-Arbeitsfenster auswählen, deren Abstand anschließend die Knicklänge festlegt.

Knicklast N_{Ki}

In dieser Zeile des *Einstellungen*-Abschnitts lassen sich keine Eingaben vornehmen. Die kritische Knicklast N_{Ki} ermittelt sich gemäß Gleichung 2.10 aus der zuvor definierten Knicklänge.

Schlankheit $\bar{\lambda}_K$

In dieser Zeile sind ebenfalls keine Eingaben möglich. Der bezogene Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_K$ wird aus der kritischen Knicklast N_{Ki} gemäß Gleichung 2.11 berechnet.

Knickspannungslinie KSL

Jeder Querschnitt ist im Hinblick auf das Knicken um eine der beiden Achsen in Knickspannungslinien eingeordnet (vgl. DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 5 bzw. Bild 2.3, Seite 17). Die querschnittsspezifischen Knickspannungslinien sind im *Einstellungen*-Abschnitt voreingestellt, können jedoch über einen Klick auf die Schaltfläche [▼] am Ende des Eingabefeldes ggf. auch modifiziert werden.

Einstellungen - Stab Nr. 1			
Knicken um Achse y			
<input type="checkbox"/> Knicklängenbeiwert	β_y	1.120	
<input type="checkbox"/> Knicklänge	$s_{K,y}$	3.920	m
<input type="checkbox"/> Knicklast	$N_{Ki,y}$	15875.40	kN
<input type="checkbox"/> Schlankheit	$\lambda_{K,y \text{ quer}}$	0.308	
<input type="checkbox"/> Knickspannungslinie	KSL_y	a	
<input type="checkbox"/> Imperfektionsfaktor	α_y	a0	
<input type="checkbox"/> Abminderungsfaktor	κ_y	a	
Knicken um Achse z			
<input type="checkbox"/> Knicklängenbeiwert	β_z	b	
<input type="checkbox"/> Knicklänge	$s_{K,z}$	c	
<input type="checkbox"/> Knicklast	$N_{Ki,z}$	d	m
<input type="checkbox"/> Schlankheit	$\lambda_{K,z \text{ quer}}$	925.86	kN
<input type="checkbox"/> Knickspannungslinie	KSL_z	1.274	
		b	

Bild 3.13: Ändern der Knickspannungslinie

Imperfektionsfaktor α

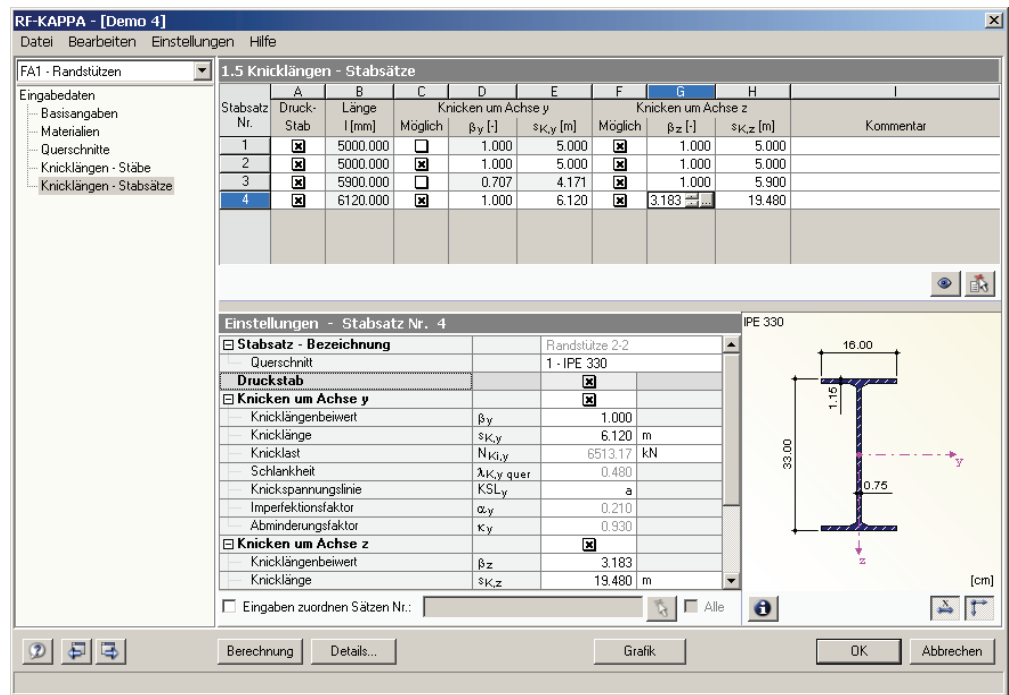
Jeder Knickspannungslinie ist ein Parameter α zugeordnet (siehe Tabelle 2.5, Seite 16). In dieser Zeile lassen sich keine Eingaben vornehmen.

Abminderungsfaktor κ

Der Abminderungsfaktor κ berechnet sich in Abhängigkeit des bezogenen Schlankheitsgrades $\bar{\lambda}_K$ gemäß Gleichung 2.13. Dieser Faktor ist für den ersten Term im Nachweis (zentrischer Druck) von entscheidender Bedeutung, vgl. Gleichung 2.14 und Gleichung 2.16.

3.5 Knicklängen - Stabsätze

Diese Maske ist zweigeteilt. Im oberen Abschnitt sind die zur Bemessung vorgesehenen Stabsätze mit den jeweiligen Biegeknickparametern aufgelistet. Hierbei handelt es sich um die „Hauptparameter“, die in einem bidirektionalen Verhältnis zu den Angaben im Abschnitt unterhalb *Einstellungen - Stabsatz Nr.* stehen. Dort werden in einer Baumstruktur die Randbedingungen für den aktuellen Stabsatz im Detail verwaltet.



RF-KAPPA - [Demo 4]
Datei Bearbeiten Einstellungen Hilfe

FA1 - Randstützen

1.5 Knicklängen - Stabsätze

Stabsatz Nr.	A Druck-Stab	B Länge l [mm]	C Möglich	D Knicken um Achse y $\beta_y [-]$	E $s_{K,y}$ [m]	F Möglich	G Knicken um Achse z $\beta_z [-]$	H $s_{K,z}$ [m]	I Kommentar
1	<input checked="" type="checkbox"/>	5000.000	<input type="checkbox"/>	1.000	5.000	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	5.000	
2	<input checked="" type="checkbox"/>	5000.000	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	5.000	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	5.000	
3	<input checked="" type="checkbox"/>	5900.000	<input type="checkbox"/>	0.707	4.171	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	5.900	
4	<input checked="" type="checkbox"/>	6120.000	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	6.120	<input checked="" type="checkbox"/>	3.183	19.480	

Einstellungen - Stabsatz Nr. 4

☒ Stabsatz - Bezeichnung: Randstütze 2-2
 Querschnitt: 1 · IPE 330

☒ Druckstab

☒ Knicken um Achse y

Knicklängenbeiwert: β_y 1.000
 Knicklänge: $s_{K,y}$ 6.120 m
 Knicklast: $N_{K,y}$ 6513.17 kN
 Schlankheit: $\lambda_{K,y,quer}$ 0.480
 Knickspannungslinie: KSL_y a
 Imperfektionsfaktor: α_y 0.210
 Abminderungsfaktor: κ_y 0.930

☒ Knicken um Achse z

Knicklängenbeiwert: β_z 3.183
 Knicklänge: $s_{K,z}$ 19.480 m

☐ Eingaben zuordnen Sätzen Nr.:

Diagramm: IPE 330
 Querschnitt mit Abmessungen: 16.00 (Flachheitsmaß), 33.00 (Höhe), 1.16 (Flachheitsmaß), 0.75 (Höhe).
 Achsen y und z sind eingezeichnet.

Bild 3.14: Maske 1.5 Parameter - Stabsätze

Wird bei den „Hauptparametern“ im oberen Abschnitt eine Auswahl getroffen, verzweigt die Baumstruktur unterhalb. Die entstandenen Unterkapitel können über einen Mausklick auf [+] eingblendet und auf [-] geschlossen werden.



Unterhalb der Baumstruktur steht das Kontrollfeld *Eingaben zuordnen Sätzen Nr.* zur Verfügung. Wird dieses aktiviert, gelten die anschließend getroffenen Einstellungen für ausgewählte (manueller Eintrag der Stabnummern oder grafische [Pick]-Auswahl) bzw. *Alle* Stabsätze. Mit dieser Option können mehreren Stabsätzen die gleichen Randbedingungen zugewiesen werden. Bitte beachten Sie, dass die Aktivierung dieser Funktion keine rückwirkende Zuweisung der bereits getroffenen Einstellungen zur Folge hat.

Die Parameter sind bei der Beschreibung der vorherigen Maske 1.4 *Knicklängen - Stäbe* ausführlich erläutert. Diese beziehen sich auf die Randbedingungen des aktuellen Stabsatzes, der in seiner Gesamtheit als Ersatzstab behandelt wird.

In der letzten Spalte **Kommentar** können für jeden Stabsatz benutzerdefinierte Anmerkungen erfolgen, um beispielsweise die gewählten Knicklängen zu erläutern.

4. Berechnung

Berechnung

Der Biegeknicknachweis erfolgt mit den in RFEM ermittelten Stabschnittgrößen. Der Start der [Berechnung] erfolgt über die gleichnamige Schaltfläche.

4.1 Berechnungsdetails

Details...

Der Dialog zur Kontrolle diverser Berechnungsparameter kann mit der Schaltfläche [Details] aus jeder RF-KAPPA-Maske aufgerufen werden.

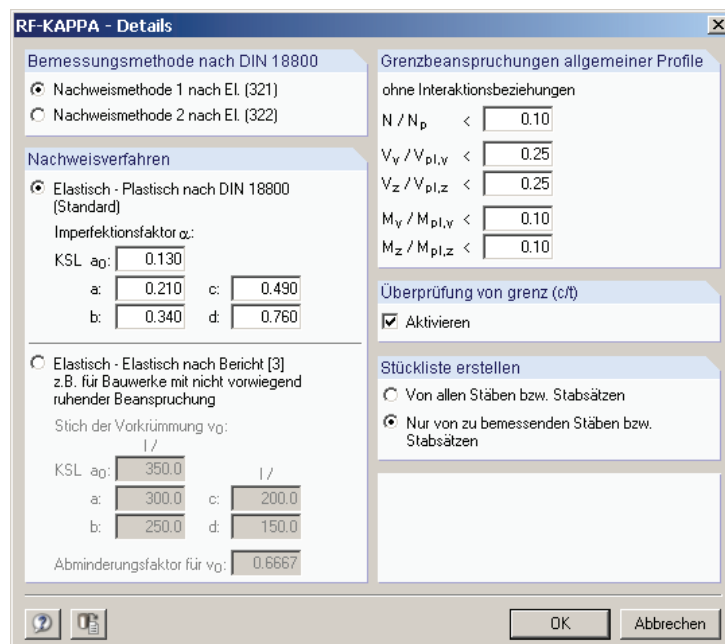


Bild 4.1: Dialog Details

Bemessungsmethode nach DIN 18 000

In RF-KAPPA kann zwischen den in DIN 18 800 Teil 2 genannten Nachweismethoden gewählt werden:

- Element (321): Nachweismethode 1
- Element (322): Nachweismethode 2



Diese Nachweisverfahren sind in den Kapiteln 2.4.1 und 2.4.2 auf den Seiten 18 bis 22 ausführlich beschrieben. Dort wird auch auf die Unterschiede zwischen den beiden Methoden eingegangen. In Kapitel 9.1 wird zudem eine Stahlstütze mit Normalkraft und zweiachsiger Biegung gemäß Nachweismethode 1 und Nachweismethode 2 untersucht.

Nachweisverfahren

In diesem Dialogabschnitt besteht die Wahlmöglichkeit zwischen zwei Nachweisverfahren.

Das Nachweisverfahren *Elastisch-Plastisch nach DIN 18 800* ist als Standard voreingestellt, da es in den allermeisten Anwendungsfällen zutrifft. Der theoretische Hintergrund ist in den Kapiteln 2.3 und 2.4 erläutert. Bei dieser Option besteht zudem die Möglichkeit, den *Imperfektionsfaktor α* zur Berechnung des Abminderungsfaktors κ über die diversen Werte der Knickspannungslinien KSL zu beeinflussen (siehe Tabelle 2.5, Seite 16).

Das Nachweisverfahren *Elastisch-Elastisch nach Bericht [3]* empfiehlt sich für Bauwerke mit dynamischen Beanspruchungen, da die Anwendung des vereinfachten Nachweises wegen

des möglichen Ermüdungsversagens hier nicht zulässig ist. Diesem Verfahren liegen analytische Knick- und Biegedrillknicktragfähigkeitskurven zugrunde, die in einer Veröffentlichung von KRETZSCHMAR/OSTERRIEDER/BEIROW vorliegen. Den theoretische Hintergrund finden Sie in Kapitel 2.5 auf Seite 23 erläutert. Bei dieser Option besteht ebenfalls die Möglichkeit, den *Stich der Vorkrümmung* v_0 und damit den von der Knickspannungslinie *KSL* abhängigen Vorverformungsfaktor $v_0 = l/j$ anzupassen.

Grenzbeanspruchungen allgemeiner Profile

Allgemeine Profile – dazu zählen alle Querschnitte, die nicht den einfach- oder doppelsymmetrischen I-, Kasten- oder Rohrprofilen zugeordnet werden können – können auch nach dem Ersatzstabverfahren gegen Biegeknicken nachgewiesen werden. Dabei werden jedoch die plastischen Querschnittswerte ohne Interaktionsbeziehungen bestimmt. Die zulässigen Anwendungsgrenzen für diese Betrachtung sind jeweils vom Verhältnis von vorhandener Schnittgröße zu vollplastischer Schnittgröße abhängig. In den fünf Eingabefeldern besteht die Möglichkeit einer benutzerdefinierten Steuerung.

Nähere Hinweise zum Nachweis allgemeiner Profile finden Sie im Kapitel 2.1.4 auf Seite 14.

Überprüfung von c/t

In diesem Abschnitt kann die Überprüfung der (c/t) -Verhältnisse aktiviert oder deaktiviert werden. Der theoretische Hintergrund hierzu ist in Kapitel 2.6 auf Seite 24 erläutert.

Stückliste

Dieser Abschnitt steuert die Anzeige der Stücklisten-Ergebnismasken, die in den Kapiteln 5.6 und 5.7 beschrieben sind. Standardmäßig werden in dieser Querschnittsübersicht nur die Profile der im Bemessungsfall behandelten Stäbe und Stabsätze erfasst.

4.2 Nachweise

Im Zuge der Berechnung werden die Nachweise auf der Grundlage der vorliegenden Randbedingungen geführt. Das Ergebnis wird dann in den Masken 2.1 bis 2.5 ausgewiesen. Im unteren Abschnitt dieser Masken sind die Zwischenergebnisse mit allen berechnungsrelevanten Parametern einsehbar. Die einzelnen Kapitel dieser Baumstruktur können mit [+] aufgeklappt und mit [-] geschlossen werden.

Zwischenergebnisse - Stab Nr. 81 - x: 4620.000 mm - LK4	
+	Querschnittsmaße IPE 450
+	Querschnittswerte IPE 450
+	Schnittgrößen
+	Plastische Grenzschnittgrößen
+	Abminderungsfaktor Kappa
+	Beiwerte k_y und k_z
+	Nachweis
+	Überprüfung von grenz (c/t)

Bild 4.2: Zwischenergebnisse des Biegeknicknachweises

Bei den Zwischenergebnissen sind je nach Nachweisart folgende Hauptkapitel vorhanden:

Querschnittsmaße	Profilabmessungen mit Bauteildicken
Querschnittswerte	Bemessungsrelevante Profilkennwerte
Schnittgrößen	RFEM-Schnittgrößen einschließlich Randmomente
Plastische Schnittgrößen	Plastische Profilkennwerte (→ Kapitel 2.1, Seite 8)
Abminderungsfaktor κ	Beiwert Biegeknicken (→ Kapitel 2.3, Seite 16)
Voutenbedingungen	Überprüfung von Voutenstäben (→ Kapitel 2.7, Seite 26)
Beiwerte $\beta_{m,y}$, $\beta_{m,z}$, k_y und k_z	Momentenbeiwerte β_m und k (→ Kapitel 2.4, Seite 19 bzw. 21)
Nachweis	Biegeknicknachweis und Nachweiskriterium
Überprüfung grenz (c/t)	Nachweis der (c/t)-Verhältnisse (→ Kapitel 2.6, Seite 24)

Tabelle 4.1: Übersicht Zwischenergebnisse

4.3 Start der Berechnung

Berechnung

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

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

Wenn eine Optimierung der Querschnitte (vgl. Kapitel 8.2, Seite 64) erfolgen soll, werden die erforderlichen Profile ermittelt und die entsprechenden Nachweise geführt.

Auch aus der RFEM-Oberfläche kann die Berechnung der RF-KAPPA-Nachweise initiiert werden. Die Zusatzmodule werden im Dialog *Zu berechnen* wie ein Lastfall oder eine Lastfallkombination aufgelistet. Dieser Dialog wird in RFEM aufgerufen über Menü

Berechnung → Zu berechnen.

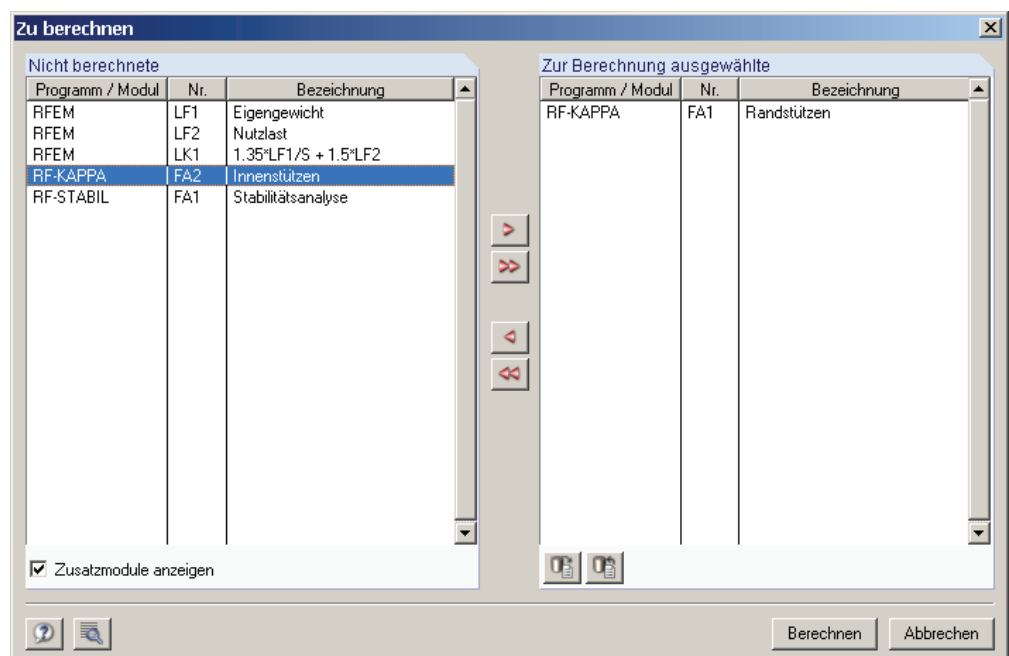


Bild 4.3: Dialog *Zu berechnen*

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

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

Auch über die Liste der Symbolleiste kann ein bestimmter RF-KAPPA-Fall direkt berechnet werden. Stellen Sie den gewünschten Bemessungsfall ein und klicken dann auf die Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus].

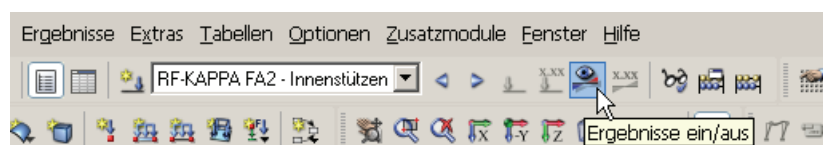


Bild 4.4: Direkte Berechnung eines RF-KAPPA-Bemessungsfalls in RFEM



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

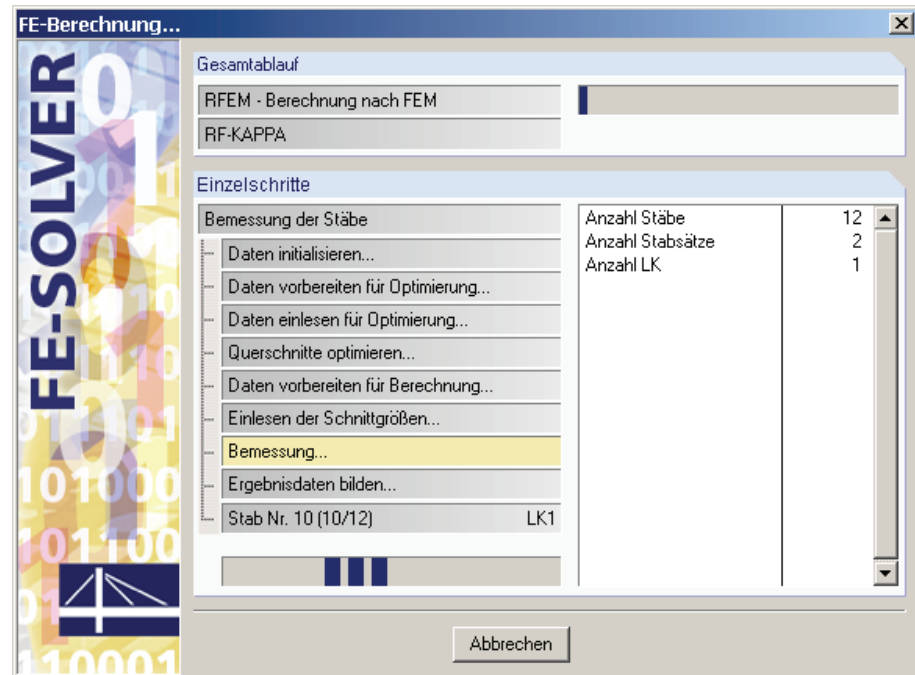


Bild 4.5: RF-KAPPA-Berechnung

5. Ergebnisse



Unmittelbar nach der Berechnung erscheint die Maske 2.1 *Nachweise querschnittsweise*. In den Ergebnismasken 2.1 bis 2.5 werden die Nachweise mitsamt Erläuterungen aufgelistet. Die Masken 3.1 und 3.2 sind für die Stückliste der Stäbe bzw. Stabsätze reserviert. Jede Ergebnismaske kann über den RF-KAPPA-Navigator angesteuert werden. Alternativ benutzt man die beiden links dargestellten Schaltflächen oder die Funktionstasten [F2] und [F3], um eine Maske vor- oder zurückzublättern.

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

In diesem Handbuchkapitel werden die einzelnen Masken der Reihe nach vorgestellt. Die Auswertung und Kontrolle der Resultate ist im folgenden Kapitel 6 *Ergebnisauswertung* ab Seite 52 beschrieben.

Die Ergebnismasken 2.1 bis 2.5 sind zweigeteilt. Im oberen Abschnitt erfolgt eine tabellarische Übersicht der Nachweise, die nach Querschnitten, Stäben oder x-Stellen geordnet ist. Im unteren Abschnitt werden die Zwischenergebnisse des aktuellen (d. h. des oben aktiven) Stabes mit allen berechnungsrelevanten Parametern ausgewiesen. Die einzelnen Kapitel in dieser Baumstruktur können mit [+] aufgeklappt und mit [-] geschlossen werden.

5.1 Nachweise querschnittsweise

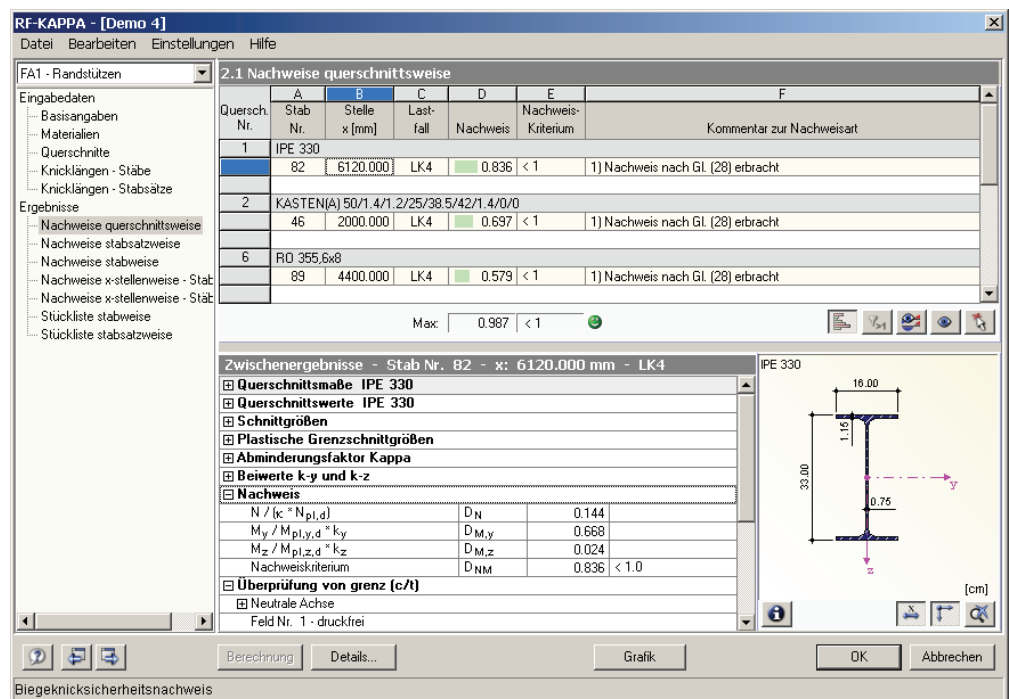


Bild 5.1: Maske 2.1 *Nachweise querschnittsweise*

In dieser Maske werden für alle zur Bemessung gewählten Stäbe die Maximalergebnisse der Nachweise ausgegeben, die sich aus den relevanten Lastfällen und Kombinationen ergeben. Die Auflistung erfolgt nach Querschnitten geordnet. Liegt ein Voutenträger vor, werden beide Querschnittsbezeichnungen in der Zeile neben der Querschnittsnummer angegeben.

Stab Nr.

Für jeden Querschnitt wird die Nummer des Stabes angegeben, der jeweils den größten Nachweisquotienten aufweist.

Stelle x

Es wird jeweils die x-Stelle im Stab angegeben, an der die maximale Ausnutzung ermittelt wurde. Zur tabellarischen Ausgabe werden folgende RFEM-Stabstellen x herangezogen:

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

Lastfall

In Spalte C wird der Lastfall bzw. die Lastfallkombination ausgewiesen, dessen Schnittgrößen zum jeweiligen Maximum des Tragsicherheitsnachweises führen.

Nachweis

Das Ergebnis der Biegeknickuntersuchung wird in Form eines Nachweisquotienten angegeben (vgl. Kapitel 2.4, Seite 18 bzw. 20). Die jeweils maßgebende Gleichung ist in der Spalte *Kommentar* ersichtlich. Am Tabellenende erscheint der Maximalwert aller bemessenen Querschnitte. Wird das Nachweiskriterium nicht überschritten, so ist der Ergebniswert kleiner oder gleich 1.00 und der Tragsicherheitsnachweis gilt als erfüllt.

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

Nachweiskriterium

In dieser Spalte ist ersichtlich, ob das Nachweiskriterium von **1** eingehalten oder überschritten ist. Es liegen die gemäß DIN 18 800 Teil 2 für den Biegeknicknachweis relevanten Bedingungen zu Grunde.

Kommentar zur Nachweisart

Die letzte Spalte verweist auf die Art des Nachweises oder Gleichung der DIN 18 800 Teil 2, die für den Tragsicherheitsnachweis maßgebend ist.

Die Schaltflächen unterhalb dieser Auflistung sind mit folgenden Funktionen belegt:







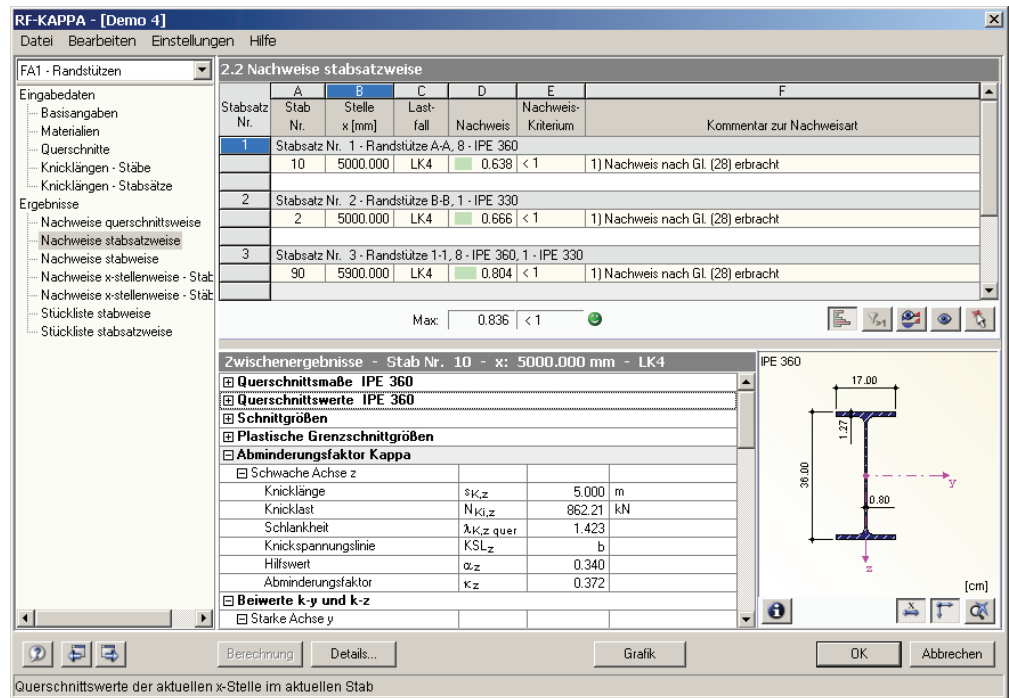
Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Relationsbalken	Blendet in den Ergebnismasken die farbigen Bezugsskalen ein und aus
	Überschreitung	Stellt nur Zeilen dar, in denen die Ausnutzung größer als 1 und damit der Nachweis nicht erfüllt ist
	Ergebnisverläufe	Öffnet das Diagramm <i>Ergebnisverläufe im Stab</i> → Kapitel 6.3, Seite 56
	Sichtmodus	Ermöglicht den Sprung in das RFEM-Arbeitsfenster, um dort eine andere Ansicht einzustellen
	Stabauswahl	Ein Stab kann im RFEM-Fenster angeklickt werden, dessen Spannungen dann in der Tabelle erscheinen.

Tabelle 5.1: Schaltflächen in den Ergebnismasken 2.1 bis 2.5

Max: 0.92 ≤ 1 



5.2 Nachweise stabsatzweise



RF-KAPPA - [Demo 4]
Datei Bearbeiten Einstellungen Hilfe

FA1 - Randstützen

2.2 Nachweise stabsatzweise

Stabsatz Nr.	A	B	C	D	E	F
Stabsatz Nr.	Stelle x [mm]	Lastfall	Nachweis	Nachweis-Kriterium	Kommentar zur Nachweisart	
1	Stabsatz Nr. 1 - Randstütze A-A, 8 - IPE 360					
10	5000.000	LK4	0.638	< 1	1) Nachweis nach Gl. (28) erbracht	
2	Stabsatz Nr. 2 - Randstütze B-B, 1 - IPE 330					
2	5000.000	LK4	0.666	< 1	1) Nachweis nach Gl. (28) erbracht	
3	Stabsatz Nr. 3 - Randstütze 1-1, 8 - IPE 360, 1 - IPE 330					
90	5900.000	LK4	0.804	< 1	1) Nachweis nach Gl. (28) erbracht	

Max: 0.836 < 1

Zwischenergebnisse - Stab Nr. 10 - x: 5000.000 mm - LK4

- Querschnittsmaße IPE 360
- Querschnittswerte IPE 360
- Schnittgrößen
- Plastische Grenzschnittgrößen
- Abminderungsfaktor Kappa
 - Schwache Achse z

$s_{K,z}$	5.000	m
$N_{K,z}$	862.21	kN
$\lambda_{K,z \text{ quer}}$	1.423	
KSL_z	b	
Hilfswert	0.340	
Abminderungsfaktor	0.372	
- Beiwerte k-y und k-z
 - Starke Achse y

Querschnittswerte der aktuellen x-Stelle im aktuellen Stab

Diagramm: IPE 360 Querschnitt mit Abmessungen (cm): 17.00, 1.27, 36.00, 0.80.

Buttons: Berechnung, Details..., Grafik, OK, Abbrechen

Bild 5.2: Maske 2.2 Nachweise stabsatzweise

Diese Ergebnismaske wird angezeigt, wenn ein oder mehrere Stabsätze zur Bemessung ausgewählt wurden. Die Auflistung der maximalen Ergebniswerte erfolgt nach Stabsätzen geordnet.

Die stabsatzweise Bemessung ermöglicht den Biegeknicknachweis für Gruppierungen, die aus aneinander anschließenden Stäben bestehen (z. B. Riegel oder Stütze), wodurch die Randbedingungen der Gesamtgruppierung korrekt erfasst werden.

Die einzelnen Spalten sind im vorherigen Kapitel 5.1 erläutert. In der Zeile mit der Stabsatzbezeichnung wird auch die Nummer und die Bezeichnung des Querschnitts angegeben, der im gesamten Stabsatz die maximale Ausnutzung aufweist.

5.3 Nachweise stabweise

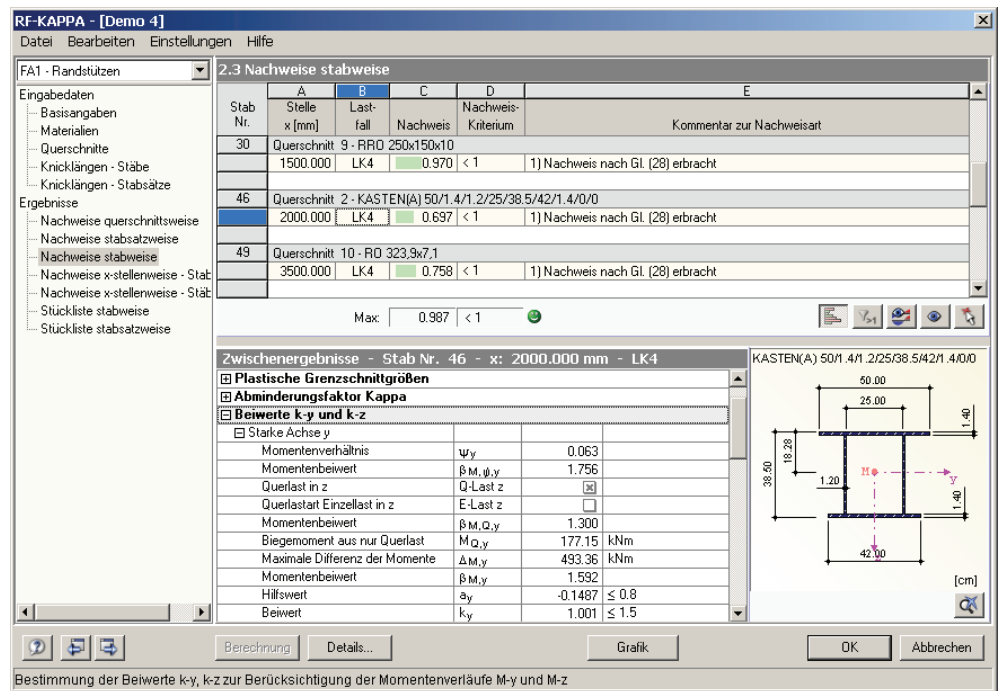


Bild 5.3: Maske 2.3 Nachweise stabweise

Diese Maske präsentiert die maximalen Ergebniswerte nach Stabnummern geordnet. Für jeden Stab wird die *Stelle x* angegeben, an der das Maximum auftritt.

Die einzelnen Spalten sind im Kapitel 5.1 auf Seite 45 erläutert.

5.4 Nachweise x-stellenweise - Stabsätze

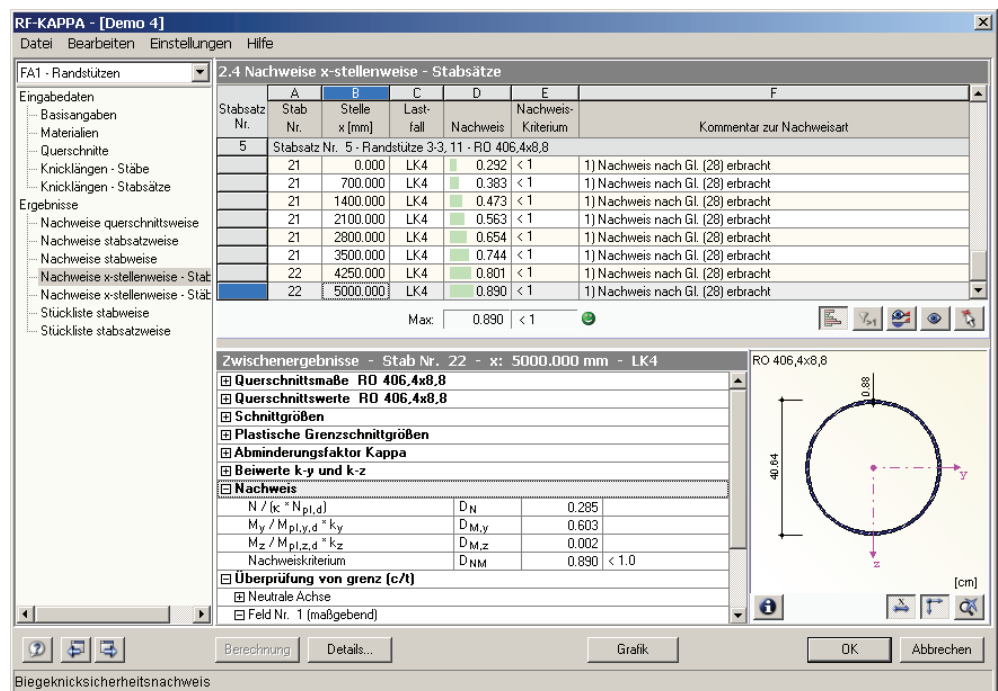


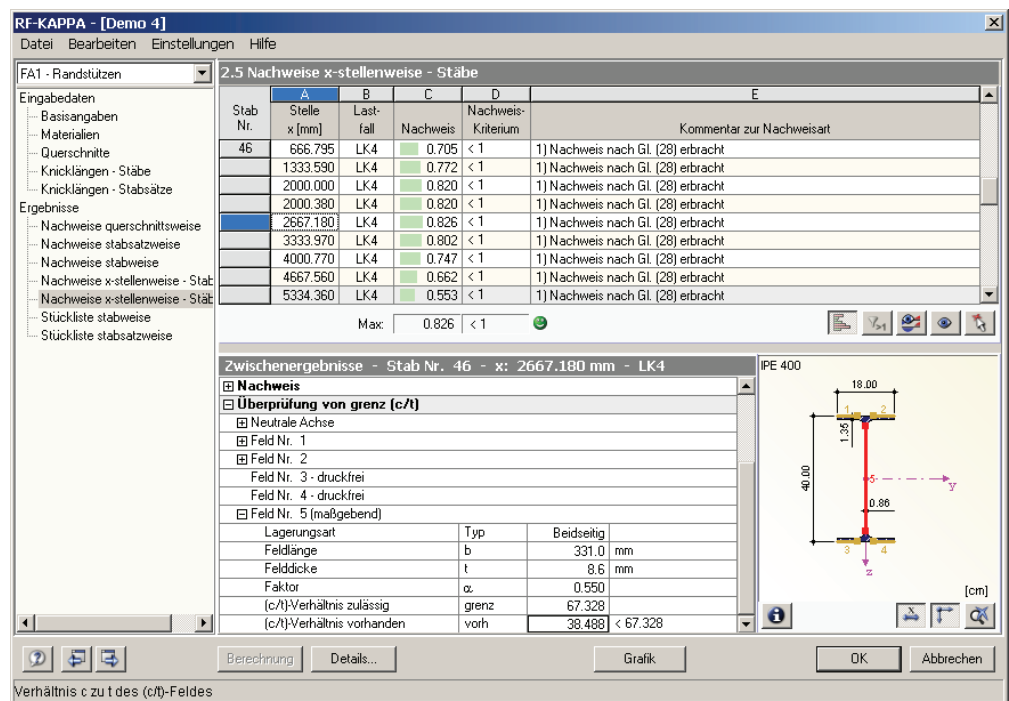
Bild 5.4: Maske 2.4 Nachweise x-stellenweise - Stabsätze

Es werden für jeden Stabsatz die Ergebnisse aufgelistet, die an den Stellen x der sich aus RFEM ergebenden Stabteilungen ermittelt werden:

- Anfangs- und Endknoten
- Teilungspunkte gemäß eventuell vorgegebener Stabteilung
- Vorgabe der Stabteilung für Stabergebnisse im Register *Optionen* des RFEM-Dialogs *Berechnungsparameter*
- Extremwerte der Schnittgrößen

An jeder Stelle x erscheinen die Nachweise für die einzelnen Lastfälle und Lastfallkombinationen, die in Maske 1.1 *Basisangaben* zur Bemessung ausgewählt wurden.

5.5 Nachweise x-stellenweise - Stäbe



2.5 Nachweise x-stellenweise - Stäbe

Stab Nr.	Stelle x [mm]	Lastfall	Nachweis	Nachweis-Kriterium	Kommentar zur Nachweisart
46	666.795	LK4	0.705	< 1	1) Nachweis nach Gl. (28) erbracht
	1333.590	LK4	0.772	< 1	1) Nachweis nach Gl. (28) erbracht
	2000.000	LK4	0.820	< 1	1) Nachweis nach Gl. (28) erbracht
	2000.380	LK4	0.820	< 1	1) Nachweis nach Gl. (28) erbracht
	2667.180	LK4	0.826	< 1	1) Nachweis nach Gl. (28) erbracht
	3333.970	LK4	0.802	< 1	1) Nachweis nach Gl. (28) erbracht
	4000.770	LK4	0.747	< 1	1) Nachweis nach Gl. (28) erbracht
	4667.560	LK4	0.662	< 1	1) Nachweis nach Gl. (28) erbracht
	5334.360	LK4	0.553	< 1	1) Nachweis nach Gl. (28) erbracht

Max: 0.826 < 1

Zwischenergebnisse - Stab Nr. 46 - x: 2667.180 mm - LK4

Nachweis

Überprüfung von grenz (c/t)

Neutrale Achse

Feld Nr. 1

Feld Nr. 2

Feld Nr. 3 - druckfrei

Feld Nr. 4 - druckfrei

Feld Nr. 5 (maßgebend)

Lagerungsart	Typ	Beidseitig
Feldlänge	b	331.0 mm
Feldstärke	t	8.6 mm
Faktor	α	0.550
(c/t)-Verhältnis zulässig	grenz	67.328
(c/t)-Verhältnis vorhanden	vorh	38.488 < 67.328

Verhältnis c zu t des (c/t)-Feldes

Diagramm: PE 400, 18.00, 40.00, 1.30, 0.86, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100

Bild 5.5: Maske 2.5 Nachweise x-stellenweise - Stäbe

Analog zur im vorherigen Kapitel 5.4 beschriebenen Ergebnismaske werden für jeden Stab die Detailergebnisse aufgelistet, die an den einzelnen Stellen x vorliegen. Im Kapitel 5.1 auf Seite 45 finden Sie die einzelnen Spalten der Maske erläutert.

5.6 Stückliste stabweise

RF-KAPPA - [Demo 4]

Datei Bearbeiten Einstellungen Hilfe

FA1 - Randstützen

3.1 Stückliste stabweise

Position Nr.	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Querschnitt	Anzahl Stäbe	Länge [m]	G-Länge [m]	Oberfläche [m ²]	Volumen [m ³]	E-Gewicht [kg/m]	Gewicht [kg]	G-Gewicht [kg]
1	1 - IPE 330	1	3.500	3.500	4.389	0.022	49.141	171.993	171.993
2	8 - IPE 360	1	3.500	3.500	4.736	0.025	57.069	199.743	199.743
3	8 - IPE 360	1	1.500	1.500	2.030	0.011	57.069	85.604	85.604
4	9 - RRD 250x150x10	1	3.500	3.500	2.681	0.026	57.619	201.667	201.667
5	9 - RRD 250x150x10	1	1.500	1.500	1.149	0.011	57.619	86.428	86.428
6	2 - KASTEN(A) 50/1.4/1.2/25/3	1	8.668	8.668	17.874	0.186	168.367	1459.460	1459.460
7	10 - RO 323.9x7.1	1	3.500	3.500	3.561	0.025	55.471	194.147	194.147
8	10 - RO 323.9x7.1	1	1.500	1.500	1.526	0.011	55.471	83.206	83.206
9	1 - IPE 330	1	4.620	4.620	5.793	0.029	49.141	227.031	227.031
10	1 - IPE 330	1	1.500	1.500	1.881	0.009	49.141	73.712	73.712
11	8 - IPE 360	1	4.400	4.400	5.953	0.032	57.069	251.106	251.106
12	9 - RRD 250x150x10	1	6.000	6.000	4.596	0.044	57.619	345.714	345.714
13	10 - RO 323.9x7.1	1	6.000	6.000	6.105	0.042	55.471	332.824	332.824
Summe		13			49.688	62.275	0.473		3712.630

Berechnung Details... Grafik OK Abbrechen

Bild 5.6: Maske 3.1 Stückliste stabweise

Details...

Abschließend wird eine Zusammenfassung der im Bemessungsfall behandelten Profile ausgegeben. Als Standard werden nur die bemessenen Stäbe in dieser Liste erfasst. Wird eine Stückliste von allen Stäben der Struktur gewünscht, lässt sich dies im Dialog *Details* einstellen (vgl. Bild 4.1, Seite 40). Der Dialog wird über die gleichnamige Schaltfläche aufgerufen.

Position Nr.

Es werden automatisch Positionsnummern für gleichartige Stäbe vergeben.

Querschnitt

In dieser Spalte werden die Querschnittsbezeichnungen aufgelistet.

Anzahl Stäbe

Es wird für jede Position angegeben, wie viele gleichartige Stäbe zur Verwendung kommen.

Länge

In dieser Spalte wird die Länge eines einzelnen Stabes ausgewiesen.

Gesamtlänge

Diese Spalte stellt das Produkt aus den beiden vorherigen Spalten dar.

Oberfläche

Es wird die auf die Gesamtlänge bezogene Oberfläche der jeweiligen Positionen angegeben, die aus der *Mantelfläche* der Profile ermittelt wird. Diese kann in den Masken 1.3 bis 2.5 bei den Querschnittsinformationen kontrolliert werden.

Volumen

Das Volumen einer Position ermittelt sich aus der Querschnittsfläche und der Gesamtlänge.

E-Gewicht

Das *Einheitsgewicht* des Querschnitts stellt die auf den Meter Länge bezogene Masse dar. Bei Voutenquerschnitten erfolgt eine Mittelung der beiden Profilkennwerte.

Gewicht

Diese Spalte ermittelt sich aus dem Produkt der Spalten C und G.

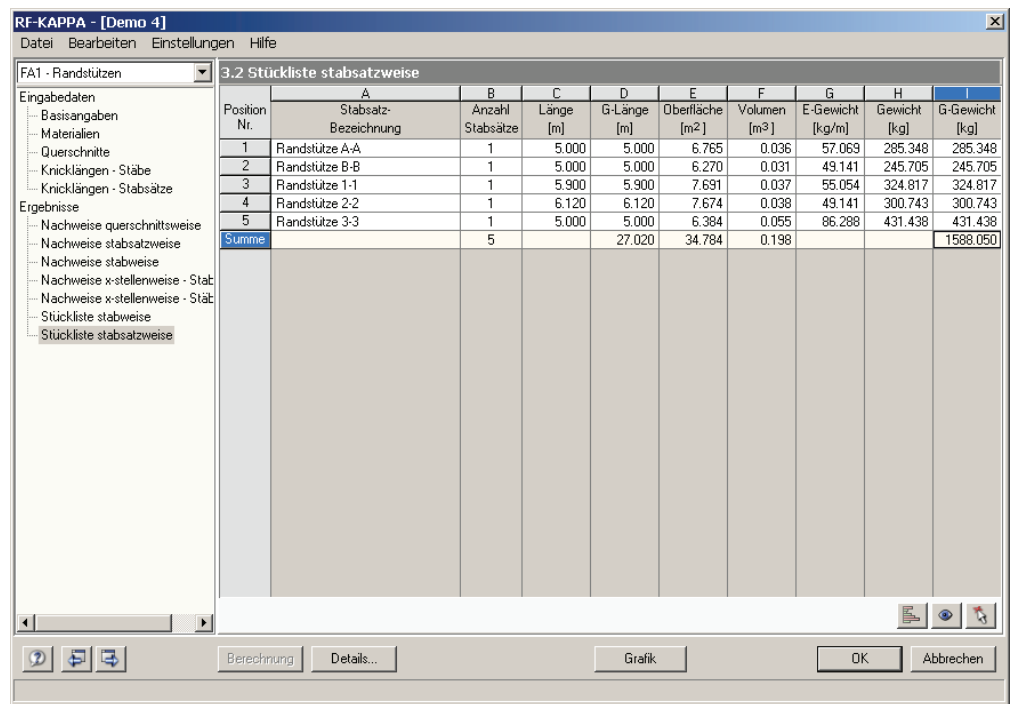
Gesamtgewicht

In der letzten Spalte wird das Gesamtgewicht der jeweiligen Position angegeben.

Summe

Den unteren Abschluss der Auflistung bildet die Angabe der jeweiligen Spaltensummen. Im Feld *Gesamtgewicht* kann die benötigte Stahlmenge abgelesen werden.

5.7 Stückliste stabsatzweise



Position Nr.	Stabsatz-Bezeichnung	Anzahl Stabsätze	Länge [m]	G-Länge [m]	Oberfläche [m²]	Volumen [m³]	E-Gewicht [kg/m]	Gewicht [kg]	G-Gewicht [kg]
1	Randstütze A-A	1	5.000	5.000	6.765	0.036	57.069	285.348	285.348
2	Randstütze B-B	1	5.000	5.000	6.270	0.031	49.141	245.705	245.705
3	Randstütze 1-1	1	5.900	5.900	7.691	0.037	55.054	324.817	324.817
4	Randstütze 2-2	1	6.120	6.120	7.674	0.038	49.141	300.743	300.743
5	Randstütze 3-3	1	5.000	5.000	6.384	0.055	86.288	431.438	431.438
Summe		5		27.020	34.784	0.198			1588.050

Bild 5.7: Maske 3.2 *Stückliste stabsatzweise*

Die letzte RF-KAPPA-Maske steht nur dann zur Verfügung, wenn ein oder mehrere Stabsätze zur Bemessung ausgewählt wurden. Die stabsatzweise Ausgabe bietet den Vorteil einer zusammenfassenden Stückliste für eine ganze Baugruppe (z. B. einer mehrteiligen Stütze).

Die einzelnen Spalten sind im vorherigen Kapitel 5.6 erläutert. Bei unterschiedlichen Profilen im Stabsatz werden Oberfläche, Volumen und Einheitsgewicht gemittelt.

6. Ergebnisauswertung

Nach der Bemessung bestehen verschiedene Möglichkeiten, die Ergebnisse auszuwerten. Hierfür erweisen sich insbesondere die Zwischenergebnisse im unteren Bereich der Ergebnismasken hilfreich. Die grafische Auswertung kann im RFEM-Arbeitsfenster erfolgen.

6.1 Zwischenergebnisse

Die Ergebnismasken 2.1 bis 2.5 sind zweigeteilt. Im oberen Abschnitt erfolgt eine tabellarische Übersicht der Nachweise, die nach Querschnitten, Stäben oder x-Stellen geordnet ist. Im unteren Abschnitt werden die Zwischenergebnisse des aktuellen (d. h. des oben aktiven) Stabes mit allen berechnungsrelevanten Parametern detailliert ausgewiesen.

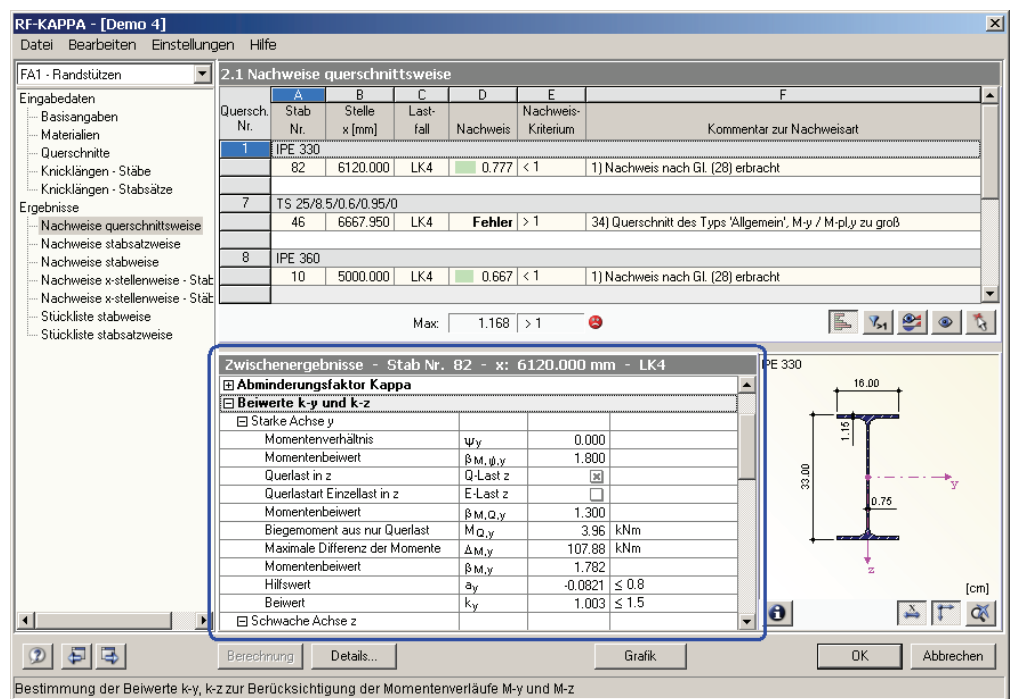


Bild 6.1: Zwischenergebnisse des selektierten Stabes

Die einzelnen Kapitel in dieser Baumstruktur können mit [+] aufgeklappt und mit [-] geschlossen werden. Je nach Nachweis sind dies wie im Bild 4.2 auf Seite 42 dargestellt folgende Hauptkapitel (vgl. auch Tabelle 4.1 Übersicht Zwischenergebnisse, Seite 42):

- Querschnittsmaße
- Querschnittswerte
- Schnittgrößen
- Plastische Grenzschnittgrößen
- Abminderungsfaktor κ
- Voutenbedingungen
- Beiwerte $\beta_{m,y}$, $\beta_{m,z}$, k_y und k_z
- Nachweis
- Überprüfung von grenz (c/t)

6.2 Ergebnisse am RFEM-Modell

Zur grafischen Auswertung der Bemessungsergebnisse kann das RFEM-Arbeitsfenster genutzt werden. Zum einen ist die RFEM-Grafik im Hintergrund hilfreich, wenn man die Lage eines bestimmten Stabes im Modell kontrollieren möchte: Der in der Ergebnismaske von RF-KAPPA selektierte Stab erscheint in der RFEM-Hintergrundgrafik ebenfalls als Selektion. Ein Pfeil kennzeichnet zusätzlich die x-Stelle am Stab, die in der aktuellen RF-KAPPA-Zeile als maßgebend ausgewiesen ist.

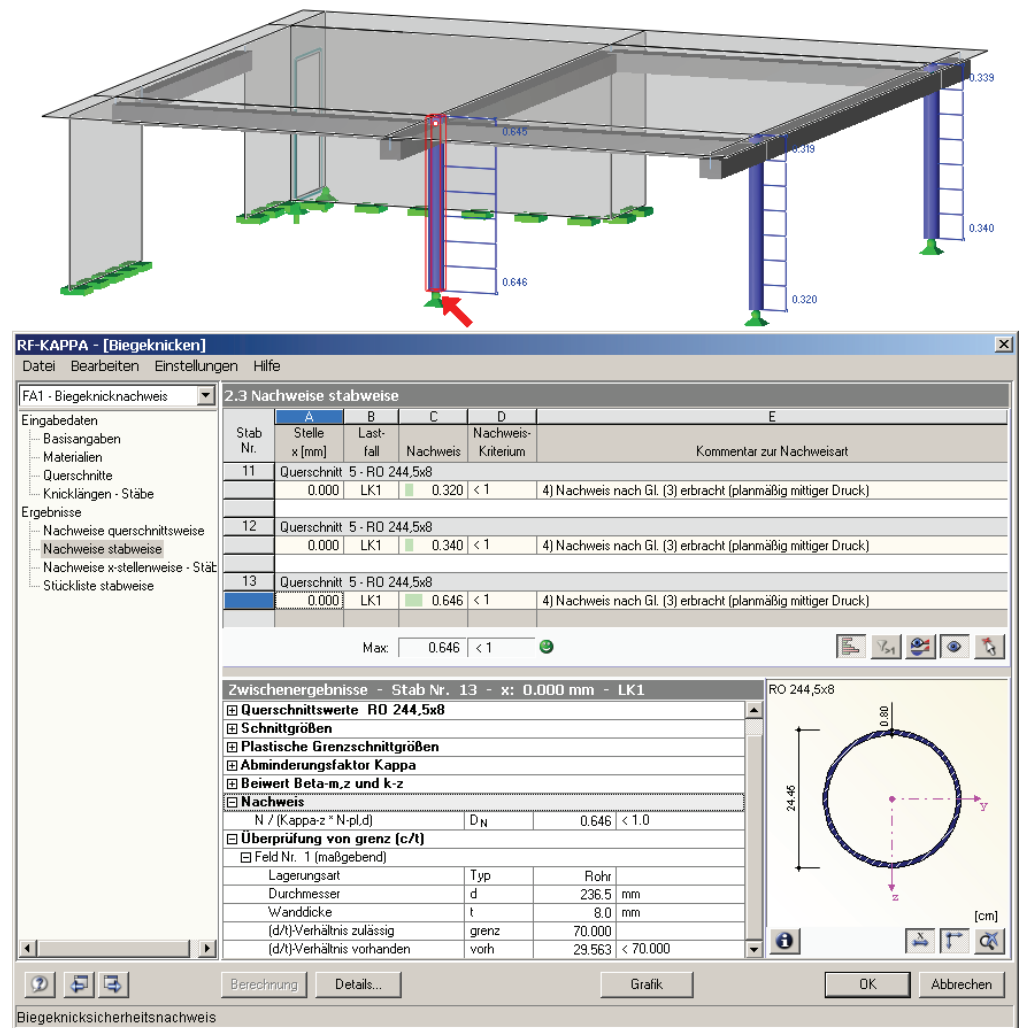


Bild 6.2: Kennzeichnung des Stabes und der aktuellen Stelle x im RFEM-Modell



Sollte sich eine ungünstige Ansicht auch durch das Verschieben des RF-KAPPA-Fensters nicht beheben lassen, kann man über die Schaltfläche [Ansicht ändern] in den so genannten *Sichtmodus* wechseln: Das Fenster von RF-KAPPA wird ausgeblendet und in der RFEM-Oberfläche kann nun die Anzeige geändert werden. In diesem Modus stehen nur die Funktionen des Menüs *Ansicht* zur Verfügung, z. B. Zoomen, Verschieben oder Drehen der Ansicht.

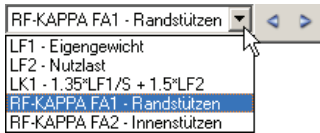


Grafik

Zum anderen lassen sich sowohl die Spannungen als auch die Ausnutzungsgrade direkt am Strukturmodell visualisieren. Mit der Schaltfläche [Grafik] wird das RF-KAPPA-Modul verlassen. Im RFEM-Arbeitsfenster wird das Nachweiskriterium grafisch wie eine Lastfallschnittgröße dargestellt.



Ein *Ergebnisse*-Navigator wird für RF-KAPPA nicht angeboten, da keine grafische Auswertung der Zwischenergebnisse vorgesehen ist.



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

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

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

Die Steuerung der Ergebnispräsentation kann über den *Zeigen-Navigator* unter dem Eintrag *Ergebnisse* → *Stäbe* erfolgen. Standardmäßig wird das Nachweiskriterium *zweififarbig* dargestellt (d. h. letztendlich einfarbig, da keine negativen Nachweisquotienten entstehen).

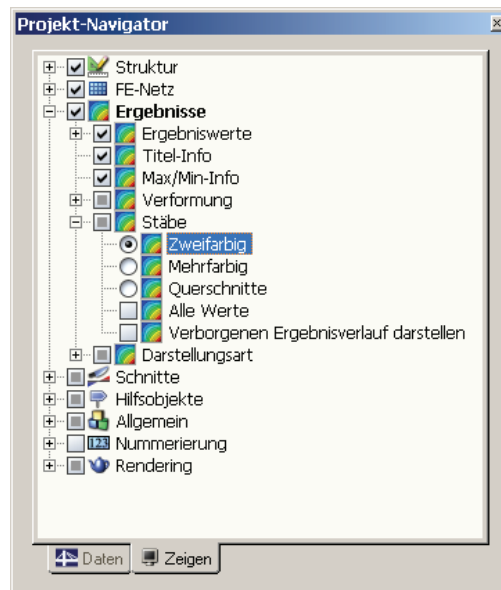


Bild 6.3: *Zeigen-Navigator*: Ergebnisse → Stäbe



Bei einer mehrfarbigen Darstellung steht das farbige Panel mit den üblichen Steuerungsmöglichkeiten zur Verfügung. Dessen Funktionen sind im RFEM-Handbuch, Kapitel 4.4.6 ab Seite 77 ausführlich beschrieben. Wie bei den Stabschnittgrößen kann im Register *Filter* eine Skalierung der Bemessungsergebnisse vorgenommen werden. Gibt man dort im Eingabefeld *Stabverläufe* den Faktor 0 vor, erfolgt die Darstellung der Ausnutzung automatisch mit einer stärkeren Liniendicke.

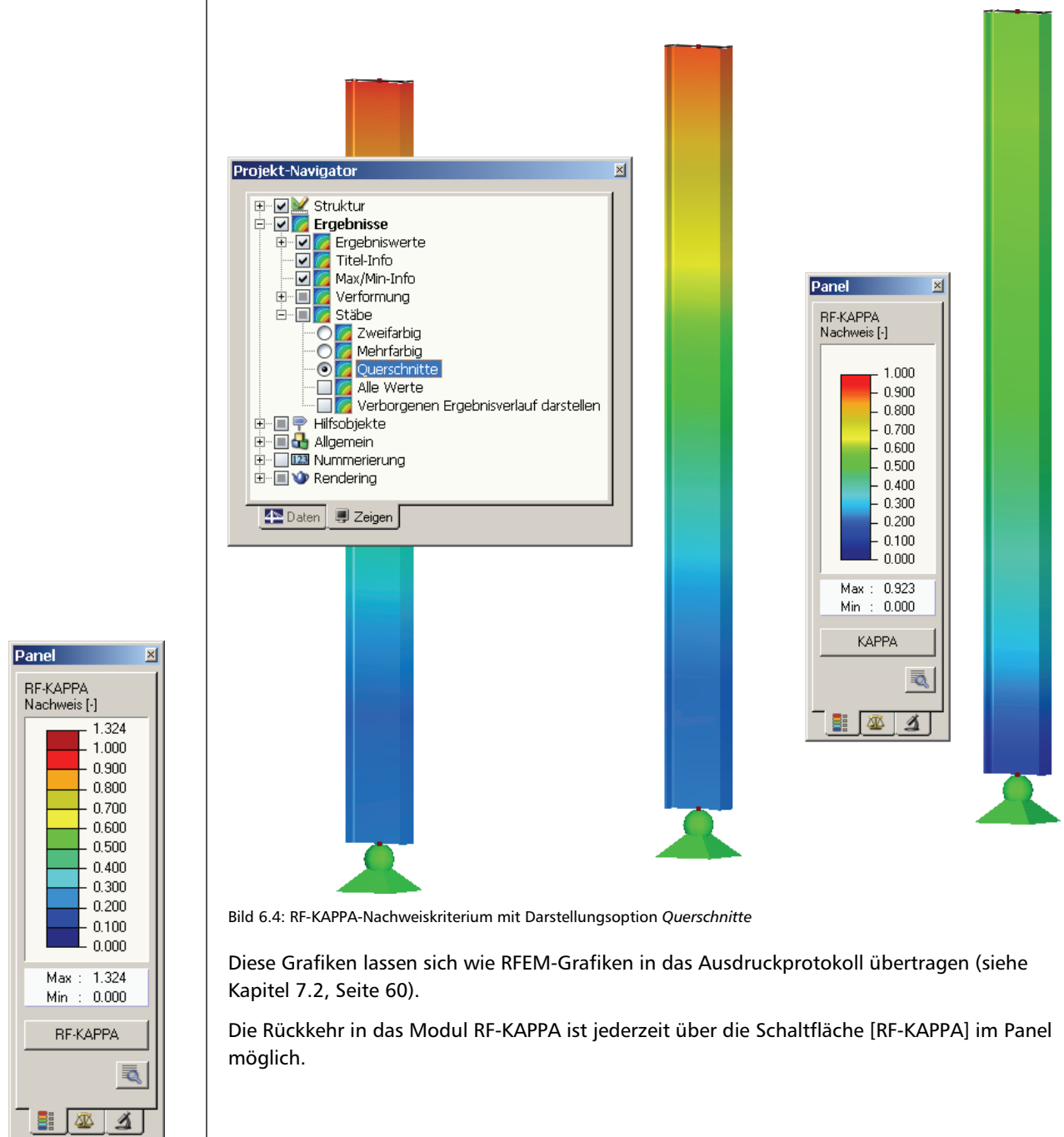


Bild 6.4: RF-KAPPA-Nachweiskriterium mit Darstellungsoption *Querschnitte*

Diese Grafiken lassen sich wie RFEM-Grafiken in das Ausdruckprotokoll übertragen (siehe Kapitel 7.2, Seite 60).

Die Rückkehr in das Modul RF-KAPPA ist jederzeit über die Schaltfläche [RF-KAPPA] im Panel möglich.

6.3 Ergebnisverläufe



Möchte man für einen bestimmten Stab den Ergebnisverlauf grafisch ablesen, bietet sich das Ergebnisdigramm an. Selektieren Sie zunächst in der RF-KAPPA-Ergebnismaske den Stab bzw. Stabsatz und aktivieren das Ergebnisdigramm dann über die links dargestellte Schaltfläche. Diese befindet sich oberhalb der Querschnittsgrafik.

In der RFEM-Grafik sind die Ergebnisverläufe zugänglich über Menü

Ergebnisse → Ergebnisverläufe an selektierten Stäben



oder die entsprechende Schaltfläche in der RFEM-Symboleiste.

Es öffnet sich ein Fenster, das den Verlauf des Nachweiskriteriums am gewählten Stab bzw. Stabsatz anzeigt.

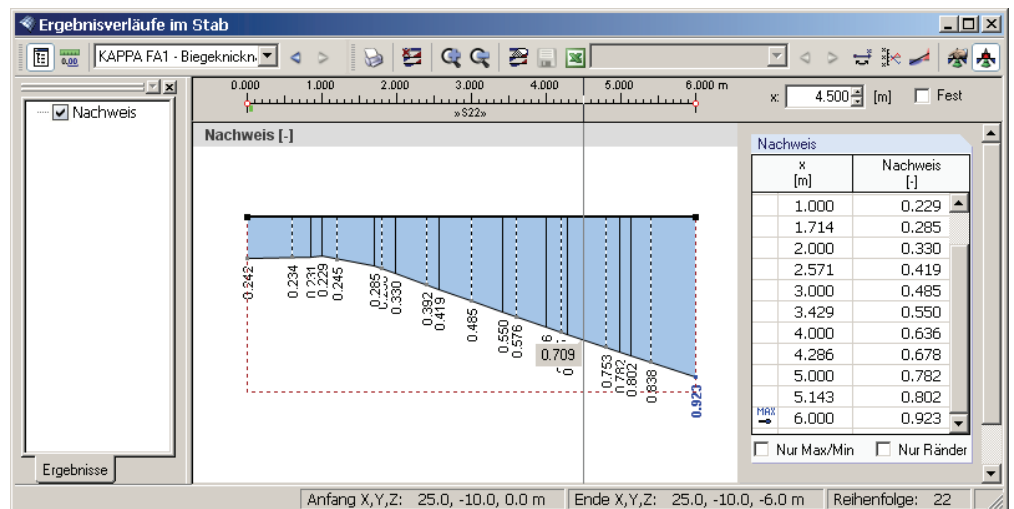


Bild 6.5: Dialog *Ergebnisverläufe im Stab*



Im Navigator links steht für RF-KAPPA nur die Option *Nachweis* zur Auswahl. Über die Liste in der Symboleiste kann zwischen den RF-KAPPA-Bemessungsfällen gewechselt werden. Im grafischen Ergebnisverlauf wird der Bereich, in dem der Nachweis erfüllt ist, durch eine horizontale Strichlinie abgegrenzt.

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

6.4 Filter für Ergebnisse

Neben den RF-KAPPA-Ergebnismasken, die durch ihre Strukturierung bereits eine Auswahl nach bestimmten Kriterien erlauben, stehen die im RFEM-Handbuch beschriebenen Filtermöglichkeiten zur grafischen Auswertung der Bemessungsergebnisse von RF-KAPPA zur Verfügung.



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



Zum anderen ist es möglich, den Nachweis als Filterkriterium in der RFEM-Arbeitsfläche zu benutzen. Hierfür muss das Panel angezeigt werden. Sollte es nicht aktiv sein, kann es einblendet werden über Menü

Ansicht → Steuerpanel

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

Das Panel ist im Kapitel 4.4.6 des RFEM-Handbuchs ab Seite 77 beschrieben. Die Filtereinstellungen für die Ergebnisse werden im Register *Farbskala* vorgenommen. Da dieses bei der zweifarbigen Schnittgrößenanzeige nicht zur Verfügung steht, muss im *Zeigen-Navigator* auf die Darstellungsarten *Mehrfarbig* oder *Querschnitte* umgeschaltet werden.

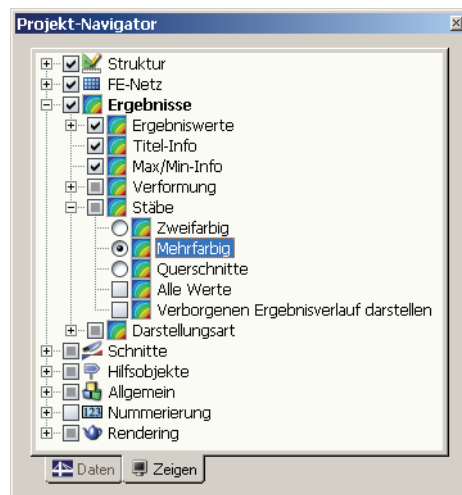


Bild 6.6: Zeigen-Navigator: Ergebnisse → Stäbe → Mehrfarbig

Bei einer mehrfarbigen Ergebnisanzeige kann im Panel beispielsweise eingestellt werden, dass nur Nachweisquotienten ab 0.50 angezeigt werden. Die Farbskala ist so bearbeitet, dass ein Farbbereich jeweils 0.05 abdeckt (siehe Bild 6.7).

Über die Option *Verborgenen Ergebnisverlauf darstellen* (im *Zeigen-Navigator* unter dem Eintrag Ergebnisse → Stäbe) ließen sich die Ergebnisse einblenden, die diese Bedingung nicht erfüllen. Sie würden dann strichlinienhaft dargestellt werden.

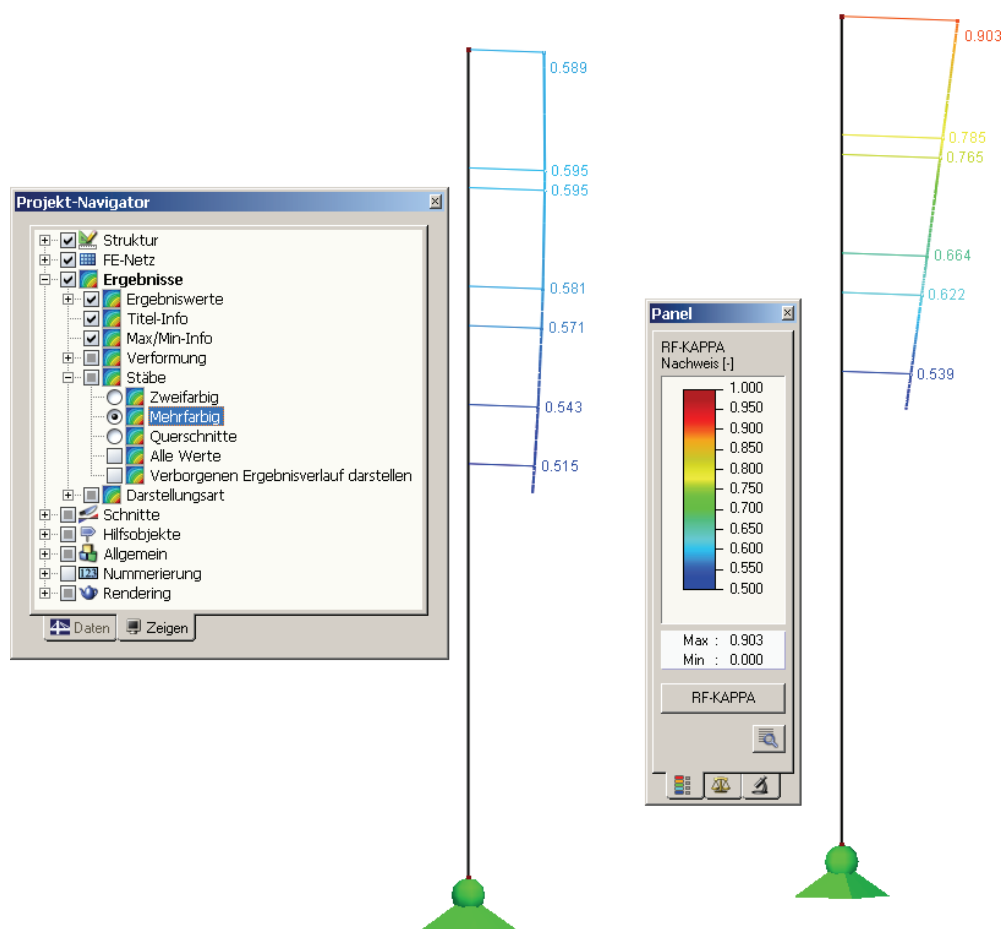


Bild 6.7: Filtern der Nachweise mit angepasster Farbskala

Filtern von Stäben



Im Register *Filter* des Steuerpanels können die Nummern der Stäbe bestimmt werden, deren Ergebnisse in der Grafik gefiltert zur Anzeige kommen sollen. Die Beschreibung dieser Funktion finden Sie im Kapitel 10.9 des RFEM-Handbuchs auf Seite 327.

Im Unterschied zur Ausschnittfunktion wird die Struktur vollständig mit angezeigt.

7. Ausdruck

7.1 Ausdruckprotokoll

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



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

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



Eine besondere Selektionsmöglichkeit besteht bei der Auswahl der Ergebnisdaten von RF-KAPPA. Über die [Details]-Schaltflächen lässt sich ein weiterer Dialog aufrufen, der die Auswahl der Zwischenergebnisse regelt.

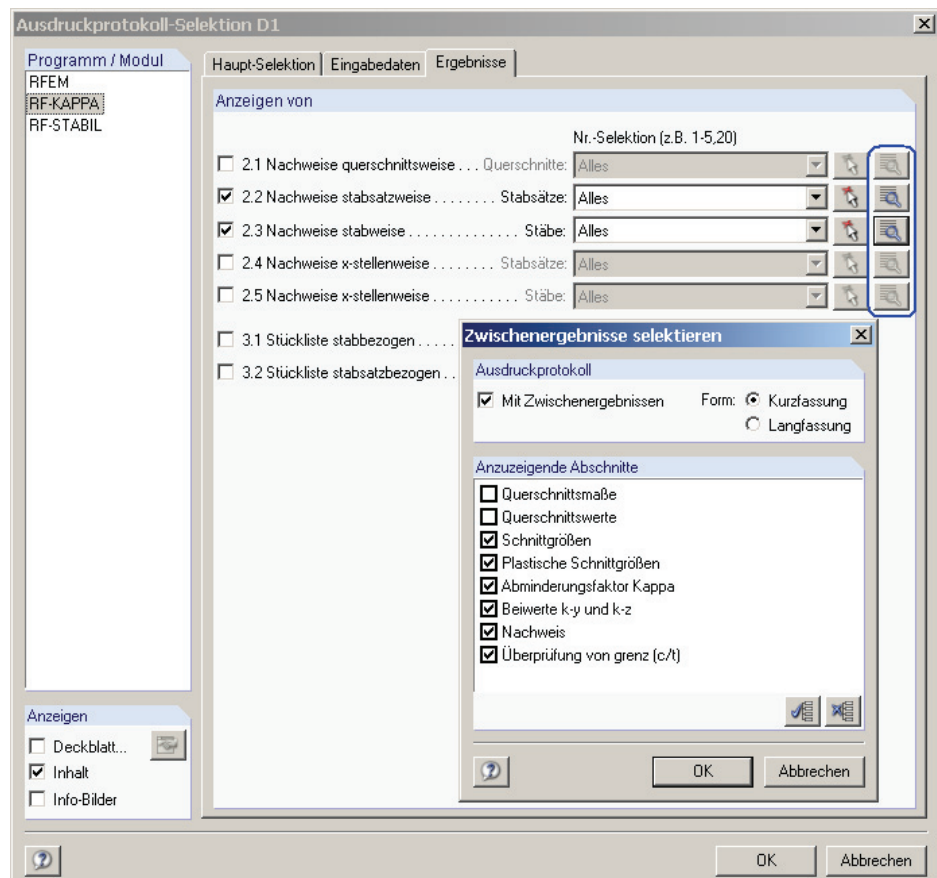


Bild 7.1: Ausdruckprotokoll-Selektion der Ergebnisse: Dialog *Zwischenergebnisse selektieren*

Zudem kann man in diesem Dialog auswählen, ob die Zwischenergebnisse in *Form* einer Kurz- oder Langfassung gedruckt werden sollen. Mit der Standardeinstellung *Kurzfassung* werden die Zwischenergebnisse kompakt ohne Erläuterung der diversen Parameter gelistet.

NACHWEISE STABSATZWEISE

Stab Nr.	Stelle x [mm]	Lastfall	Nachweis-kriterium	Kommentar zur Nachweisart				
Stabsatz Nr. 1 - Randstütze A-A, 8 - IPE 360								
10	5000.000	LK4	0.667	1) Nachweis nach Gl. (28) erbracht				
Querschnittsmaße IPE 360								
b	170.0 mm	s	8.0 mm					
t	12.7 mm	h	360.0 mm					
Querschnittswerte IPE 360								
A	72.70 cm²	$\alpha_{pl,y}$	1.13	$W_{pl,z}$	191.10 cm³			
W_y	-904.00 cm³	I_z	1040.00 cm⁴	$\alpha_{pl,z}$	1.55			
$W_{pl,y}$	1020.00 cm³	W_z	123.00 cm³	KSL_z	b			
Schnittgrößen								
N	-49.75 kN	$M_{y,End}$	-26.84 kNm	$M_{z,End}$	0.62 kNm			
V_z	-24.19 kN	V_y	-1.06 kN	$M_{z,min}$	-0.98 kNm			
M_y	-126.70 kNm	M_z	0.62 kNm	$\lambda_{z,min}$	3.500 m			
$M_{y,Ans}$	0.00 kNm	$M_{z,Ans}$	0.00 kNm					
Plastische Grenzschnittgrößen								
$N_{pl,k}$	1744.80 kN	Δ_{Vtz}	0.069 \leq 0.33	$V_{pl,yd}$	543.93 kN			
$N_{pl,d}$	1586.18 kN	$M_{pl,yk}$	244.80 kNm	Δ_{Vty}	0.002 \leq 0.25			
$V_{pl,zk}$	384.99 kN	$M_{pl,yd}$	222.55 kNm	$M_{pl,zk}$	46.86 kNm			
$V_{pl,zd}$	349.99 kN	$V_{pl,yd}$	598.32 kN	$M_{pl,zd}$	41.69 kNm			
Abminderungsfaktor Kappa								
$s_{k,z}$	5.000 m	$\lambda_{k,z,quer}$	1.423	α_z	0.340			
$N_{k,z}$	862.21 kN	KSL_z	b	τ_z	0.372			
Beiwerte k-y und k-z								
ψ_y	0.000	$\beta_{M,y}$	1.784	$\beta_{M,z}$	1.300			
$\beta_{M,\psi,y}$	1.800	α_y	0.1283 \leq 0.8	$M_{0,z}$	0.62 kNm			
Q-Lastz	<input checked="" type="checkbox"/>	η_y	0.996 \leq 1.5	$\Delta_{M,z}$	1.60 kNm			
E-Lastz	<input type="checkbox"/>	ψ_z	0.000	$\beta_{M,z}$	1.607			
$\beta_{M,\psi,z}$	1.300	$\beta_{M,\psi,z}$	1.800	α_z	-0.5650 \leq 0.8			
$M_{0,y}$	4.05 kNm	Q-Lasty	<input checked="" type="checkbox"/>	k_z	1.048 \leq 1.5			
$\Delta_{M,y}$	126.70 kNm	E-Lasty	<input type="checkbox"/>					
Nachweis								
D_N	0.084	$D_{M,z}$	0.016					
$D_{M,y}$	0.667	$D_{M,N}$	0.667 $<$ 1.0					
Überprüfung von grenz (cA) - maßgebend Feld Nr. 5								
Typ	Beidseitig	t	8.0 mm	grenz	70.076			
b	298.6 mm	α	0.528	vorh	37.325 $<$ 70.076			

Bild 7.2: Ausdruckprotokoll mit Kurzausdruck der Zwischenergebnisse

7.2 RF-KAPPA-Grafiken drucken

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



Wie in RFEM kann jedes Bild, das im Grafikfenster des Hauptprogramms angezeigt wird, in das Ausdruckprotokoll übernommen werden. In gleicher Weise lassen sich auch die Stab-Ergebnisverläufe mit der [Drucken]-Schaltfläche in das Protokoll aufnehmen.

Die aktuelle RF-KAPPA-Grafik im RFEM-Arbeitsfenster kann gedruckt werden über Menü

Datei → Drucken

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

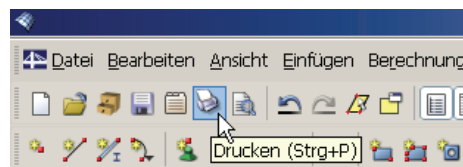


Bild 7.3: Schaltfläche Drucken in der Symbolleiste des Hauptfensters

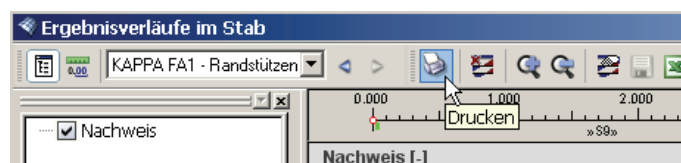


Bild 7.4: Schaltfläche Drucken in der Symbolleiste des Ergebnisverläufe-Fensters

Es wird folgender Dialog angezeigt:

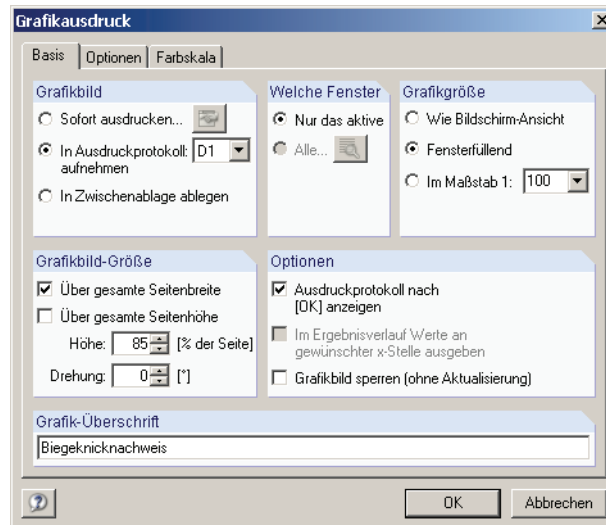


Bild 7.5: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Basis*

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

Eine RF-KAPPA-Grafik kann im Ausdruckprotokoll wie gewohnt per Drag & Drop an eine andere Stelle verschoben werden. Zudem besteht die Möglichkeit, eingefügte Grafiken nachträglich anzupassen: Klicken Sie den entsprechenden Eintrag im Protokoll-Navigator mit der rechten Maustaste an und wählen im Kontextmenü deren *Eigenschaften*. Es erscheint wiederum der Dialog *Grafikausdruck* mit diversen Modifikationsmöglichkeiten.

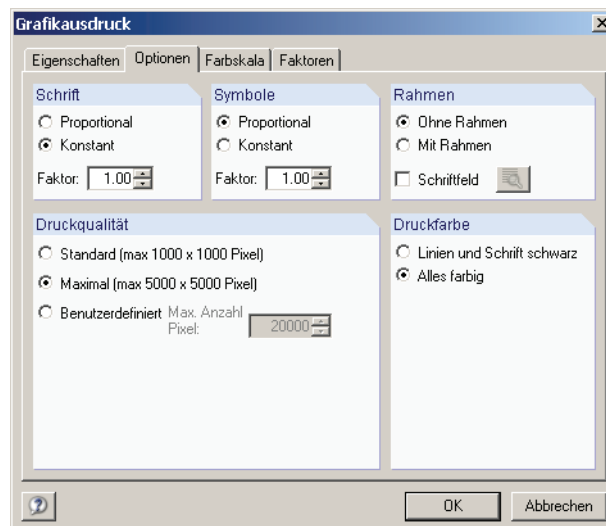
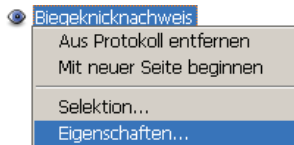


Bild 7.6: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Optionen*

8. Allgemeine Funktionen

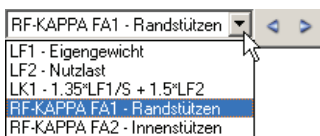
Das letzte Kapitel stellt einige Menüfunktionen sowie Exportmöglichkeiten der Bemessungsergebnisse vor.

8.1 RF-KAPPA-Bemessungsfälle

Es besteht die Möglichkeit, Stäbe in separaten Bemessungsfällen zu gruppieren. Damit können beispielsweise Bauteilgruppen zusammengefasst oder mit spezifischen Bemessungsvorgaben (Grenzspannungen, Teilsicherheitsbeiwerte, Optimierung etc.) beaufschlagt werden.

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

Die RF-KAPPA-Fälle stehen in der RFEM-Arbeitsfläche wie ein Lastfall oder eine Lastfallkombination in der Liste der Symbolleiste zur Verfügung.



Neuen RF-KAPPA-Fall anlegen

Ein neuer Bemessungsfall wird angelegt über RF-KAPPA-Menü

Datei → Neuer Fall.

Es erscheint der folgende Dialog.

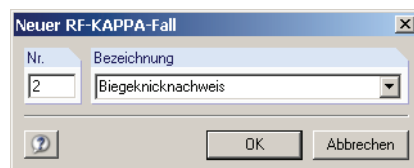


Bild 8.1: Dialog *Neuer RF-KAPPA-Fall*

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

RF-KAPPA-Fall umbenennen

Die Bezeichnung eines Bemessungsfalls kann geändert werden über RF-KAPPA-Menü

Datei → Fall umbenennen.

Es erscheint der Dialog *RF-KAPPA-Fall umbenennen*.

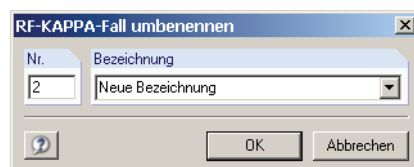


Bild 8.2: Dialog *RF-KAPPA-Fall umbenennen*

RF-KAPPA-Fall kopieren

Die Eingabedaten des aktuellen Bemessungsfalls werden kopiert über RF-KAPPA-Menü

Datei → Fall kopieren.

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

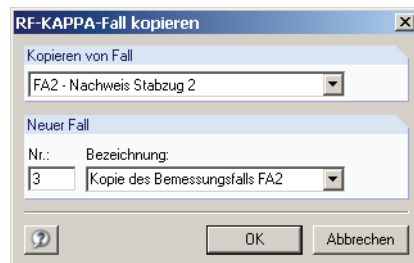


Bild 8.3: Dialog *RF-KAPPA-Fall kopieren*

RF-KAPPA-Fall löschen

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

Datei → Fall löschen.

Im Dialog *RF-KAPPA-Fall löschen* wird in der Liste *Vorhandene Fälle* ein bestimmter Bemessungsfall ausgewählt, der dann mit [OK] gelöscht werden kann.

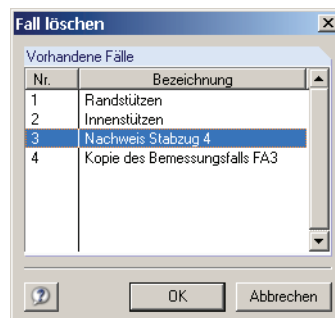


Bild 8.4: Dialog *RF-KAPPA-Fall löschen*

8.2 Profilloptimierung

RF-KAPPA bietet die Möglichkeit einer querschnittswisei Optimierung an. Hierzu ist in Spalte C (bzw. D bei vorliegenden Ergebnissen) der Maske 1.3 *Querschnitte* das betreffende Profil durch Ankreuzen auszuwählen, was am einfachsten über einen Klick in das Kästchen erfolgt (vgl. Bild 3.4, Seite 31).

Auch in den Ergebnismasken kann die Querschnittsoptimierung über das Kontextmenü eingeleitet werden.

Im Zuge der Optimierung untersucht RF-KAPPA, welches Profil aus der vorgegebenen Querschnittsreihe den Nachweis „optimal“ erfüllt, d. h. dem Nachweiskriterium von 1.0 am nächsten kommt. Dabei wird mit den RFEM-Schnittgrößen eine Biegeknickanalyse durchgeführt und das Profil innerhalb der gleichen Profilvereihe gesucht, das den Nachweis mit einer möglichst hohen Ausnutzung erfüllt. In Maske 1.3 werden dann wie im Bild 3.4 auf Seite 31 dargestellt rechts zwei Profile angezeigt – das ursprüngliche Profil aus RFEM und der optimierte Querschnitt.

Bei den parametrisierten Profilen der Querschnittsbibliothek erscheint beim Ankreuzen des Optimierungskästchens ein Dialog, in dem detaillierte Vorgaben getroffen werden können.

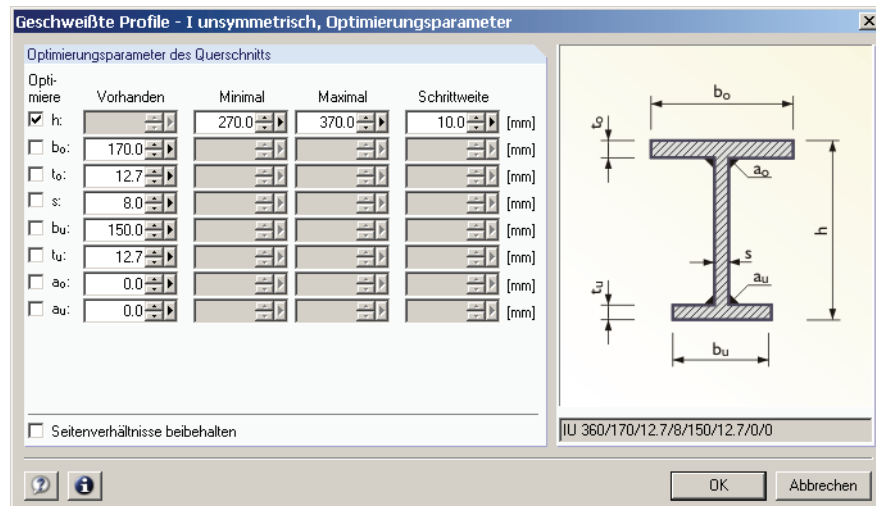


Bild 8.5: Dialog *Geschweißte Profile - I unsymmetrisch, Optimierungsparameter*

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

Sollen die *Seitenverhältnisse beibehalten* werden, ist das entsprechende Kontrollfeld zu aktivieren. Zusätzlich müssen sämtliche Parameter für die Optimierung angehakt werden.

Für aus Walzprofilen zusammengesetzte Querschnitte ist keine Optimierungsmöglichkeit vorgesehen.



Bei der Optimierung ist zu beachten, dass die Schnittgrößen nicht automatisch neu mit den geänderten Querschnitten berechnet werden. Es bleibt dem Anwender überlassen, wann er welche Profile für einen neuen Rechenlauf in RFEM übernehmen möchte. Wegen der geänderten Steifigkeiten im System können die Schnittgrößen, die sich mit den optimierten Querschnitten ergeben, erheblich differieren. Es empfiehlt sich deshalb, nach einer ersten Optimierung die Schnittgrößen neu zu berechnen und anschließend die Profile nochmals zu optimieren.

Die Übergabe der geänderten Profile nach RFEM braucht nicht manuell erfolgen. Bringen Sie die Maske 1.3 *Querschnitte* zur Anzeige und wählen Menü

Bearbeiten → Alle Querschnitte in RFEM übernehmen.

Auch das Kontextmenü der Maske 1.3 bietet Möglichkeiten zum Export modifizierter Profile nach RFEM an.

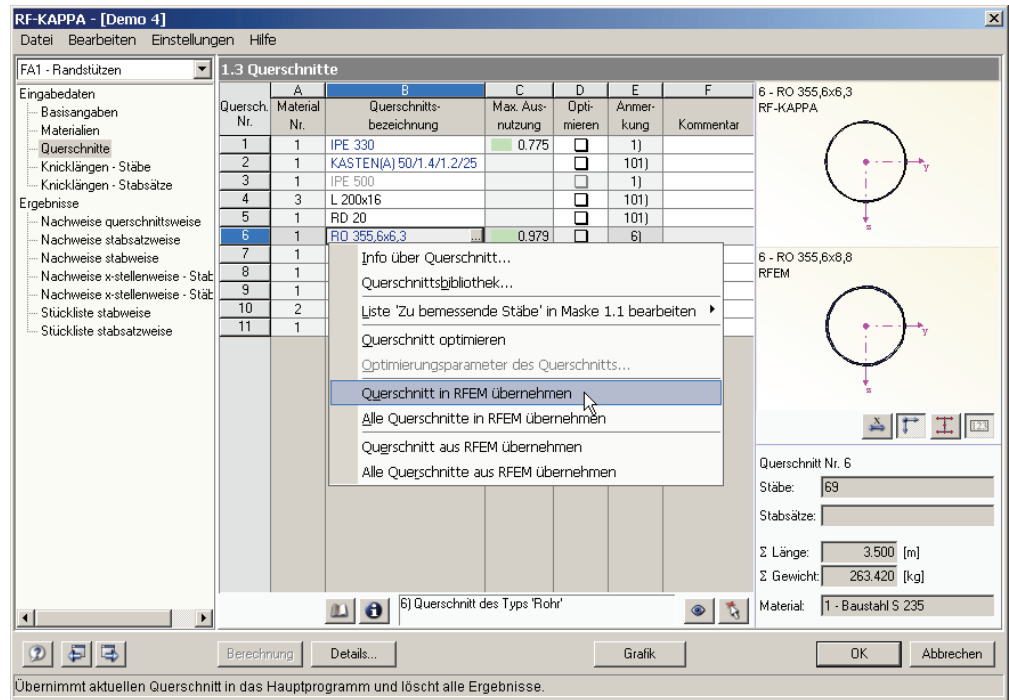


Bild 8.6: Kontextmenü der Maske 1.3 *Querschnitte*

Berechnung

Vor der Übergabe erscheint eine Sicherheitsabfrage, da diese Maßnahme mit dem Löschen der Ergebnisse verbunden ist. Wird in RF-KAPPA dann die [Berechnung] gestartet, erfolgt die Ermittlung der RFEM-Schnittgrößen und der RF-KAPPA-Nachweise in einem einzigen Berechnungsablauf.

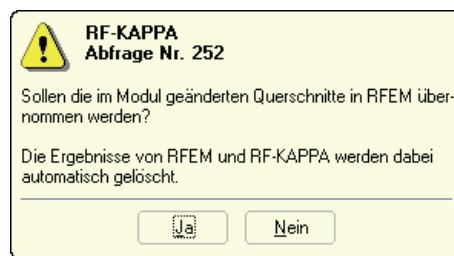


Bild 8.7: Abfrage vor der Übergabe der geänderten Querschnitte nach RFEM



Umgekehrt können über Menü *Bearbeiten* oder die im Bild 8.6 dargestellten Kontextmenüfunktionen wieder die RFEM-Originalprofile in RF-KAPPA eingelesen werden. Bitte beachten Sie auch hier, dass diese Möglichkeit nur in Maske 1.3 *Querschnitte* zur Verfügung steht.

Liegt ein Voutenstab zur Optimierung vor, werden die Anfangs- und Endstellen optimiert. Danach werden die Querschnittswerte an den Zwischenstellen linear interpoliert. Da z. B. die Flächenträgheitsmomente mit der vierten Potenz eingehen, kann der Nachweis bei großen Unterschieden der Anfangs- und Endprofilhöhen ungenau werden. In diesem Fall empfiehlt es sich, den Voutenstab in einzelne Stäbe aufzuteilen, deren Anfangs- und Endquerschnitte geringere Profilunterschiede aufweisen, und dann diesen Stabzug zu bemessen.

8.3 Einheiten und Dezimalstellen

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

Einstellungen → Einheiten und Dezimalstellen.

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

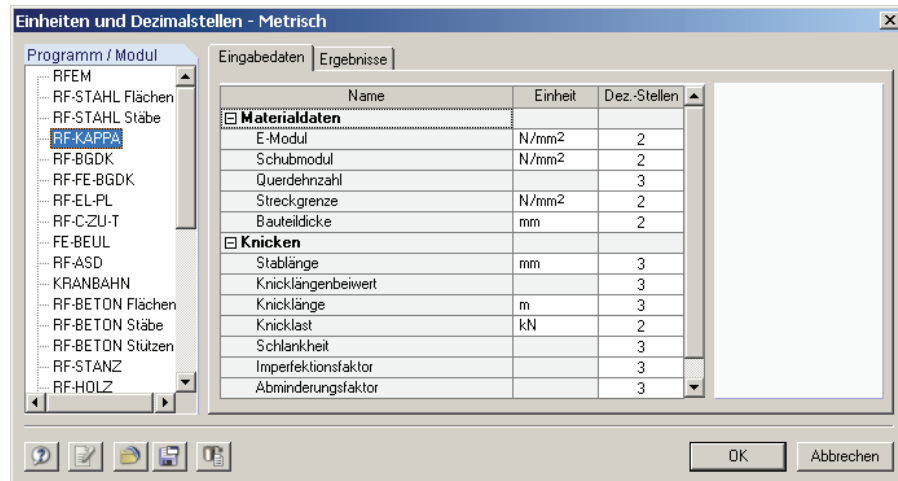


Bild 8.8: Dialog *Einheiten und Dezimalstellen*



Die Einstellungen können als Benutzerprofil gespeichert und in anderen Positionen wieder verwendet werden. Die Beschreibung dieser Funktionen finden Sie im Kapitel 12.6.2 des RFEM-Handbuchs auf Seite 457.

8.4 Export der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Biegeknickanalyse können auf verschiedene Weise für andere Programme zur Verfügung gestellt werden.

Zwischenablage

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

Ausdruckprotokoll

Die RF-KAPPA-Daten lassen sich in das Ausdruckprotokoll drucken (vgl. Kapitel 7.1, Seite 59) und können dort dann exportiert werden über Menü

Datei → Export in RTF-Datei bzw. BauText.

Diese Funktion ist im Kapitel 11.1.11 des RFEM-Handbuchs auf Seite 351 beschrieben.

Excel

RF-KAPPA ermöglicht den direkten Datenexport zu MS Excel, OpenOffice.org Calc oder in das CSV-Format. Diese Funktion wird aufgerufen über Menü

Datei → Exportieren in MS Excel.

Es öffnet sich folgender Exportdialog.

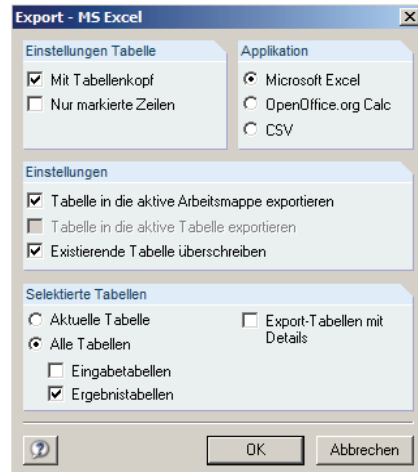


Bild 8.9: Dialog *Export - MS Excel*

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

B3	=	Querschnitt 1 - IPE 500				
	A	B	C	D	E	F
1	Stab	Stelle	Last-		Nachweis-	
2	Nr.	x [mm]	fall	Nachweis	Kriterium	Kommentar zur Nachweisart
3	1	Querschnitt 1 - IPE 500				
4		4999,800	LK1	0,537 < 1	1) Nachweis nach Gl. (28) erbracht	
5						
6	2	Querschnitt 1 - IPE 500				
7		5142,860	LK1	0,595 < 1	1) Nachweis nach Gl. (28) erbracht	
8						
9	11	Querschnitt 1 - IPE 500				
10		6000,000	LK1	0,818 < 1	2) Nachweis nach Gl. (3) und Gl. (24) erbracht	
11						
12	12	Querschnitt 1 - IPE 500				
13		6000,000	LK1	0,903 < 1	2) Nachweis nach Gl. (3) und Gl. (24) erbracht	
14						
15	21	Querschnitt 1 - IPE 500				
16		6000,000	LK1	0,915 < 1	2) Nachweis nach Gl. (3) und Gl. (24) erbracht	
17						
18	22	Querschnitt 1 - IPE 500				
19		6000,000	LK1	0,923 < 1	2) Nachweis nach Gl. (3) und Gl. (24) erbracht	
20						
21	81	Querschnitt 6 - HE-A 180				
22		2454,750	LK1	0,606 < 1	1) Nachweis nach Gl. (28) erbracht	
23						
24	82	Querschnitt 6 - HE-A 180				
25		2660,250	LK1	0,787 < 1	1) Nachweis nach Gl. (28) erbracht	
26						
27	83	Querschnitt 6 - HE-A 180				
28		2454,750	LK1	0,606 < 1	1) Nachweis nach Gl. (28) erbracht	
29						

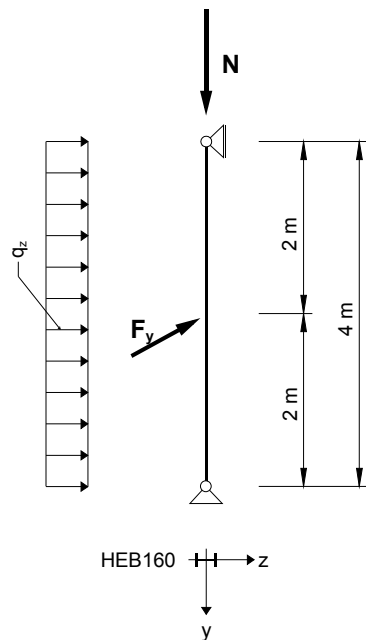
Bild 8.10: Ergebnis in *MS Excel*

9. Beispiele

9.1 Stütze mit Doppelbiegung

Bemessungswerte

System und Belastung



Bemessungswerte der statischen Lasten:

$$\begin{aligned} N_d &= 300 \text{ kN} \\ q_{z,d} &= 5.0 \text{ kN/m} \\ F_{y,d} &= 7.5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Bild 9.1: System und Bemessungslasten (γ -fach)

Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung

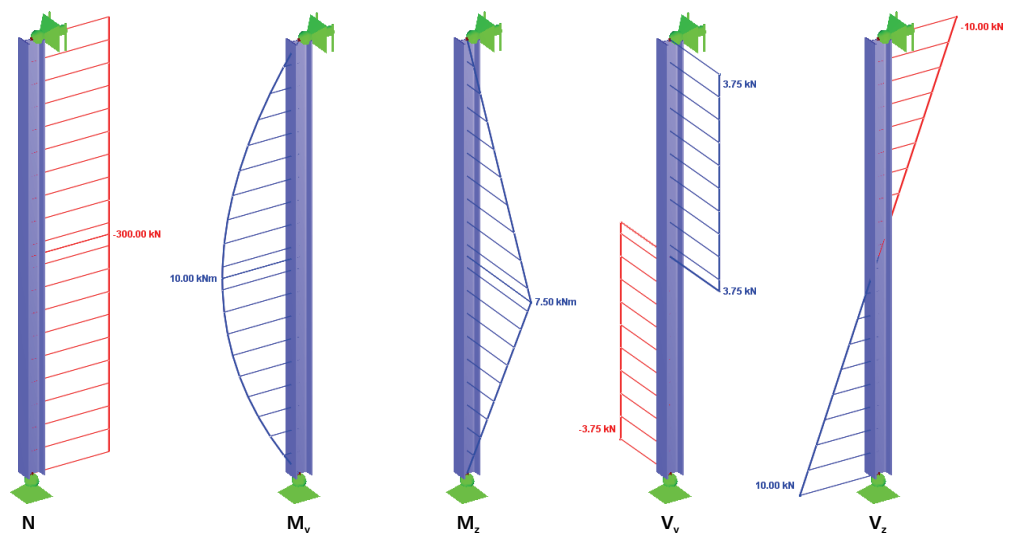


Bild 9.2: Schnittgrößen

Nachweisstelle (maßgebende x-Stelle)

Der Nachweis in RF-KAPPA erfolgt x-stellenweise, d. h. an den definierten x-Stellen des Ersatzstabes. Die maßgebende Stelle ist bei $x = 2.00 \text{ m}$ mit folgenden RFEM-Schnittgrößen:

$$N = -300.00 \text{ kN} \quad M_y = 10.00 \text{ kNm} \quad M_z = 7.50 \text{ kNm} \quad V_y = 3.75 \text{ kN} \quad V_z = 0.00 \text{ kN}$$

Querschnittswerte HE-B 160, S 235

Querschnittsgröße	Symbol	Wert	Einheit
Querschnittsfläche	A	54.30	cm ²
Trägheitsmoment	I _y	2490.00	cm ⁴
Trägheitsmoment	I _z	889.00	cm ⁴
Trägheitsradius	i _y	6.78	cm
Trägheitsradius	i _z	4.05	cm
Polarer Trägheitsradius	i _p	7.90	cm
Polarer Trägheitsradius	i _{p,M}	41.90	cm
Querschnittsgewicht	G	42.63	kg/m
Torsionsträgheitsmoment	I _T	31.40	cm ⁴
Wölbwiderstand	I _ω	47940.00	cm ⁶
Widerstandsmoment	W _y	311.00	cm ³
Widerstandsmoment	W _z	111.00	cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	W _{pl,y}	354.00	cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	W _{pl,z}	169.96	cm ³
Knickspannungslinie	KSL _y	b	
Knickspannungslinie	KSL _z	c	

Plastische Querschnittsgrößen

$$N_{pl,k} = 24 \cdot 54.30 = 1303.20 \text{ kN} \quad N_{pl,d} = \frac{1303.20}{1.1} = 1184.73 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,k} = \frac{24}{\sqrt{3}} \cdot (16.0 - 1.3) \cdot 0.8 = 162.95 \text{ kN} \quad V_{pl,z,d} = \frac{162.95}{1.1} = 148.14 \text{ kN}$$

$$V_{pl,y,k} = \frac{24}{\sqrt{3}} \cdot 2 \cdot 16 \cdot 1.3 = 576.43 \text{ kN} \quad V_{pl,y,d} = \frac{576.43}{1.1} = 524.02 \text{ kN}$$

Überprüfung der Interaktionsbedingungen in Stabmitte bei x = 2.00 m:

$$V_z = 0.00 \text{ kN} \Rightarrow \text{keine festigkeitsmindernde Interaktion}$$

$$M_{pl,y,k} = 24 \cdot 354.00 = 8496 \text{ kNcm} = 84.96 \text{ kNm} \quad M_{pl,y,d} = \frac{84.96}{1.1} = 77.24 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,z,k} = 24 \cdot 169.96 = 4079 \text{ kNcm} = 40.79 \text{ kNm} \quad M_{pl,z,d} = \frac{40.79}{1.1} = 37.08 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{pl,y} = \frac{354.0}{311.0} = 1.14$$

$$\alpha_{pl,z} = \frac{169.96}{111.0} = 1.53$$

Kritische Normalkraft N_{Ki}

$$N_{Ki,y} = \frac{21000 \cdot 2490.00 \cdot \pi^2}{400.0^2} = 3225.51 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_{K,y} = \sqrt{\frac{1303.20}{3225.51}} = 0.64$$

$$N_{Ki,z} = \frac{21000 \cdot 889.00 \cdot \pi^2}{400.0^2} = 1151.60 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_{K,z} = \sqrt{\frac{1303.20}{1151.60}} = 1.06$$

Nachweismethode 1**Abminderungsfaktoren κ**

$$\bar{\lambda}_{\kappa,y} = 0.64 > 0.2$$

$$\text{Profilgeometrie: } \frac{h}{b} = 1.00 \leq 1.2 \quad t \leq 80 \text{ mm}$$

DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 5, Zeile 3, Spalte 3: Knickspannungslinie **b**
 $\Rightarrow \alpha = 0.34$ (Tabelle 4)

$$k = 0.5 \cdot [1 + 0.34 \cdot (0.64 - 0.2) + 0.64^2] = 0.78$$

$$\kappa_z = \frac{1}{0.78 + \sqrt{0.78^2 - 0.64^2}} = 0.82$$

$$\bar{\lambda}_{\kappa,z} = 1.06 > 0.2$$

DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 5, Zeile 3, Spalte 3: Knickspannungslinie **c**
 $\Rightarrow \alpha = 0.49$ (Tabelle 4)

$$k = 0.5 \cdot [1 + 0.49 \cdot (1.06 - 0.2) + 1.06^2] = 1.27$$

$$\kappa_z = \frac{1}{1.27 + \sqrt{1.27^2 - 1.06^2}} = 0.51$$

Momentenbeiwerte β_M und Beiwerte k

DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 11, Spalte 3:

$$\beta_{M,\psi,y} = 1.8 \quad \beta_{M,Q,y} = 1.3$$

$$M_{Q,y} = 10.00 \text{ kNm} \quad \Delta_{M,y} = 10.00 \text{ kNm}$$

$$\beta_{M,y} = 1.8 + \frac{10.00}{10.00} \cdot (1.3 - 1.8) = 1.30$$

$$a_y = 0.64 \cdot (2 \cdot 1.30 - 4) + (1.14 - 1) = -0.76$$

$$k_y = 1 - \frac{300.00}{0.82 \cdot 1184.73} \cdot (-0.76) = 1.23$$

$$\beta_{M,\psi,z} = 1.8 \quad \beta_{M,Q,z} = 1.4$$

$$M_{Q,z} = 7.50 \text{ kNm} \quad \Delta_{M,z} = 7.50 \text{ kNm}$$

$$\beta_{M,z} = 1.8 + \frac{7.50}{7.50} \cdot (1.4 - 1.8) = 1.40$$

$$a_z = 1.06 \cdot (2 \cdot 1.40 - 4) + (1.53 - 1) = -0.74$$

$$k_z = 1 - \frac{300.00}{0.51 \cdot 1184.73} \cdot (-0.74) = 1.37$$

Nachweis nach Element 321, Gleichung (28)

$$\begin{aligned} & \frac{300}{0.51 \cdot 1184.73} + \frac{10.00}{77.24} \cdot 1.23 + \frac{7.50}{37.08} \cdot 1.37 = \\ & = 0.50 + 0.16 + 0.28 = 0.94 \leq 1.00 \end{aligned}$$

\Rightarrow Nachweis erbracht

Ergebnisse der RF-KAPPA-Berechnung

Tabellarische Ergebnisse an der Stelle $x = 2.00 \text{ m}$

Schnittgrößen			
Normalkraft	N	-300.00	kN
<i>Starke Achse y</i>			
Querkraft	V-z	0.00	kN
Biegemoment	M-y	10.00	kNm
Randmoment am Anfang	M-y, Anf	0.00	kNm
Randmoment am Ende	M-y, End	0.00	kNm
Maximales Moment	M-y, max	10.00	kNm
Stelle des Maximalmoments	x-My, max	2.00	m
<i>Schwache Achse z</i>			
Querkraft	V-y	3.75	kN
Biegemoment	M-z	7.50	kNm
Randmoment am Anfang	M-z, Anf	0.00	kNm
Randmoment am Ende	M-z, End	0.00	kNm
Maximales Moment	M-z, max	7.50	kNm
Stelle des Maximalmoments	x-Mz, max	2.00	m
Plastische Schnittgrößen			
Normalkraft	N-pl, k	1303.20	kN
Normalkraft	N-pl, d	1184.73	kN
<i>Starke Achse y</i>			
Querkraft	V-pl, z, k	162.95	kN
Querkraft	V-pl, z, d	148.14	kN
Verhältnis $V-z / V-pl, z, d$	Delta-VTz	0.00	≤ 0.33
Biegemoment	M-pl, y, k	84.96	kNm
Biegemoment	M-pl, y, d	77.24	kNm
<i>Schwache Achse z</i>			
Querkraft	V-pl, y, k	576.43	kN
Querkraft	V-pl, y, d	524.02	kN
Verhältnis $V-y / V-pl, y, d$	Delta-VTz	0.007	≤ 0.25
Biegemoment	M-pl, z, k	40.79	kNm
Biegemoment	M-pl, z, d	37.08	kNm
Abminderungsfaktor Kappa			
<i>Starke Achse y</i>			
Knicklänge	s-K, y	4.00	m
Knicklast	N-Ki, y	3225.51	kN
Bezogener Schlankheitsgrad	Lambda-K, y quer	0.636	
Knickspannungslinie	KSL-y	b	
Hilfswert	Alpha-y	0.340	
Abminderungsfaktor	Kappa-y	0.819	
<i>Schwache Achse z</i>			
Knicklänge	s-K, zy	4.00	m
Knicklast	N-Ki, z	1151.60	kN
Bezogener Schlankheitsgrad	Lambda-K, z quer	1.064	
Knickspannungslinie	KSL-z	c	
Hilfswert	Alpha-z	0.490	
Abminderungsfaktor	Kappa-z	0.504	maßg.

Beiwerte k-y und k-z			
<i>Starke Achse y</i>			
Momentenverhältnis	Psi-y	0	
Momentenbeiwert	Beta-M,Psi,y	1.80	
Querlast in z	Q-Last z	ja	
Querlastart Einzellast in z	E-Last z	nein	
Momentenbeiwert	Beta-M,Q,y	1.30	
Biegemoment aus nur Querlast	M-Q,y	10.00	kNm
Max. Differenz der Momente	Delta-M,y	10.00	kNm
Momentenbeiwert	Beta-M,y	1.300	
Hilfswert	a-y	-0.7516	≤ 0.8
Beiwert	k-y	1.232	≤ 1.5
<i>Schwache Achse z</i>			
Momentenverhältnis	Psi-z	0.000	
Momentenbeiwert	Beta-M,Psi,z	1.80	
Querlast in y	Q-Last y	ja	
Querlastart Einzellast in y	E-Last y	ja	
Momentenbeiwert	Beta-M,Q,z	1.40	
Biegemoment aus nur Querlast	M-Q,z	7.50	kNm
Max. Differenz der Momente	Delta-M,z	7.50	kNm
Momentenbeiwert	Beta-M,z	1.40	
Hilfswert	a-z	-0.7453	≤ 0.8
Beiwert	k-z	1.375	≤ 1.5
Nachweis			
N / (Kappa * N-pl,d)	D1	0.503	
M-y / M-pl,y,d * k-y	D2	0.160	
M-z / M-pl,z,d * k-z	D3	0.278	
Nachweiskriterium	D	0.940	< 1.0
Überprüfung von grenz (c/t)			
<i>Neutrale Achse</i>			
Ausgangspunkt-Koordinate y bez. auf S		-7.2	mm
Ausgangspunkt-Koordinate z bez. auf S		0.0	mm
Neigung	Beta	83.37	°
<i>Feld Nr. 2 (maßgebend)</i>			
Lagerungsart	Typ	Einseitig	
Feldlänge	c	61.0	mm
Felddicke	t	13.0	mm
Faktor	Alpha	1.00	
(c/t)-Verhältnis zulässig	grenz	11.00	
(c/t)-Verhältnis vorhanden	vorh	4.69	< 11.00

Nachweismethode 2

Abminderungsfaktoren κ

$$\bar{\lambda}_{k,y} = 0.64 > 0.2$$

$$\text{Profilgeometrie: } \frac{h}{b} = 1.00 \leq 1.2 \quad t \leq 80 \text{ mm}$$

DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 5, Zeile 3, Spalte 3: Knickspannungslinie **b**

$$\Rightarrow \alpha = 0.34 \text{ (Tabelle 4)}$$

$$k = 0.5 \cdot [1 + 0.34 \cdot (0.64 - 0.2) + 0.64^2] = 0.78$$

$$\kappa_y = \frac{1}{0.78 + \sqrt{0.78^2 - 0.64^2}} = 0.82$$

$$\bar{\lambda}_{k,z} = 1.06 > 0.2$$

DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 5, Zeile 3, Spalte 3: Knickspannungslinie **c**

$$\Rightarrow \alpha = 0.49 \text{ (Tabelle 4)}$$

$$k = 0.5 \cdot [1 + 0.49 \cdot (1.06 - 0.2) + 1.06^2] = 1.27$$

$$\kappa_z = \frac{1}{1.27 + \sqrt{1.27^2 - 1.06^2}} = 0.51$$

Momentenbeiwerte β_m und Beiwerte k

DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 11, Spalte 2:

$$\beta_{m,\psi,y} = 0.66 \geq 0.44$$

$$\eta_{ki,y} = \frac{N_{ki,y,d}}{N} = \frac{3225.51}{300.00 \cdot 1.1} = 9.77 \quad \beta_{M,\psi,y} \geq 1 - \frac{1}{\eta_{ki,y}} = 1 - \frac{1}{9.77} = 0.90$$

$$\beta_{m,Q,y} = 1.0$$

$$\psi = 0.00 \leq 0.77 \Rightarrow \beta_{m,y} = 1.0$$

$$\kappa_y > \kappa_z \Rightarrow k_y = c_y = \left(\frac{1 - \frac{300.00}{1184.73} \cdot 0.64^2}{1 - \frac{300.00}{1184.73} \cdot 1.06^2} \right)^{-1} = 0.80$$

$$\beta_{m,\psi,z} = 0.66 \geq 0.44$$

$$\eta_{ki,z} = \frac{N_{ki,z,d}}{N} = \frac{1151.60}{300.00 \cdot 1.1} = 3.49 \quad \beta_{M,\psi,z} \geq 1 - \frac{1}{\eta_{ki,z}} = 1 - \frac{1}{3.49} = 0.71$$

$$\beta_{m,Q,z} = 1.0$$

$$\psi = 0.00 \leq 0.77 \Rightarrow \beta_{m,z} = 1.0$$

$$\kappa_y > \kappa_z \Rightarrow k_z = 1$$

Beiwert Δn

$$\Delta n = \frac{300.00}{0.51 \cdot 1184.73} \cdot \left(1 - \frac{300.00}{0.51 \cdot 1184.73} \right) \cdot 0.51^2 \cdot 1.06^2 = 0.07 \leq 0.1$$

Nachweis nach Element 322, Gleichung (29)

$$\frac{300}{0.51 \cdot 1184.73} + \frac{1.0 \cdot 10.00}{77.24} \cdot 0.80 + \frac{1.0 \cdot 7.50}{37.08 \cdot \frac{1.25}{1.53}} \cdot 1 + 0.07 =$$

$$= 0.50 + 0.10 + 0.25 + 0.07 = 0.92 \leq 1.00$$

⇒ **Nachweis erbracht**



Da $\alpha_{pl,z} = 1.53 > 1.25$, ist bei der Nachweismethode 2 gemäß DIN 18 800 Teil 2, El. (123) das aufnehmbare plastische Biegemoment $M_{pl,z,d}$ abzumindern.

Ergebnisse der RF-KAPPA-Berechnung

Tabellarische Ergebnisse an der Stelle $x = 2.00$ m

Schnittgrößen			
Normalkraft	N	-300.00	kN
<i>Starke Achse y</i>			
Querkraft	V-z	0.00	kN
Biegemoment	M-y	10.00	kNm
Randmoment am Anfang	M-y, Anf	0.00	kNm
Randmoment am Ende	M-y, End	0.00	kNm
Maximales Moment	M-y, max	10.00	kNm
Stelle des Maximalmoments	x-My, max	2.00	m
<i>Schwache Achse z</i>			
Querkraft	V-y	3.75	kN
Biegemoment	M-z	7.50	kNm
Randmoment am Anfang	M-z, Anf	0.00	kNm
Randmoment am Ende	M-z, End	0.00	kNm
Maximales Moment	M-z, max	7.50	kNm
Stelle des Maximalmoments	x-Mz, max	2.00	m
Plastische Schnittgrößen			
Normalkraft	N-pl, k	1303.20	kN
Normalkraft	N-pl, d	1184.73	kN
Verhältnis N / N-pl, d	Delta-N	0.25	> 0.20
<i>Starke Achse y</i>			
Querkraft	V-pl, z, k	162.95	kN
Querkraft	V-pl, z, d	148.14	kN
Verhältnis V-z / V-pl, z, d	Delta-VTz	0.00	≤ 0.33
Biegemoment	M-pl, y, k	86.96	kNm
Biegemoment	M-pl, y, d	77.24	kNm
<i>Schwache Achse z</i>			
Querkraft	V-pl, y, k	576.43	kN
Querkraft	V-pl, y, d	524.02	kN
Verhältnis V-y / V-pl, y, d	Delta-VTz	0.01	≤ 0.25
Biegemoment	M-pl, z, k	40.79	kNm
Biegemoment	M-pl, z, d	33.27	kNm

Abminderungsfaktor Kappa				
<i>Starke Achse y</i>				
Knicklänge	s-K,y	4.00	m	
Knicklast	N-Ki,y	3225.51	kN	
Bezogener Schlankheitsgrad	Lambda-K,y quer	0.636		
Knickspannungslinie	KSL-y	b		
Hilfswert	Alpha-y	0.340		
Abminderungsfaktor	Kappa-y	0.819		
<i>Schwache Achse z</i>				
Knicklänge	s-K,zy	4.00	m	
Knicklast	N-Ki,z	1151.60	kN	
Bezogener Schlankheitsgrad	Lambda-K,z quer	1.064		
Knickspannungslinie	KSL-z	c		
Hilfswert	Alpha-z	0.490		
Abminderungsfaktor	Kappa-z	0.504	maßg.	
Beiwerte k-y und k-z				
<i>Starke Achse y</i>				
Momentenverhältnis	Psi-y	0		≤ 0.77
Verzweigungslastfaktor	Eta-Ki,y	9.77		
Momentenbeiwert	Beta-m,Psi,y	0.90		≥ 0.44
Querlast in z	Q-Last z	ja		
Momentenbeiwert	Beta-m,y	1.00		
<i>Schwache Achse z</i>				
Verzweigungslastfaktor	Eta-Ki,z	3.49		
Momentenbeiwert	Beta-m,Psi,z	0.71		≥ 0.44
Querlast in y	Q-Last y	ja		
Momentenbeiwert	Beta-m,z	1.00		
Hilfswert	c-z	1.2583		
Hilfswert	c-y	0.7948		
Beiwert	k,y	0.80		
Beiwert	k-z	1.00		
Nachweis				
N / (Kappa * N-pl,d)	D-N	0.503		
Beta-m,y * M-y / M-pl,y,d * k-y	D-My	0.103		
Beta-m,y * M-y / M-pl,y,d * k-y	D-Mz	0.248		
Beiwert	Delta-n	0.072		≤ 0.1
Nachweiskriterium	D	0.925		< 1.0

9.2 Ebener Rahmenstiel

Bemessungswerte

System und Belastung

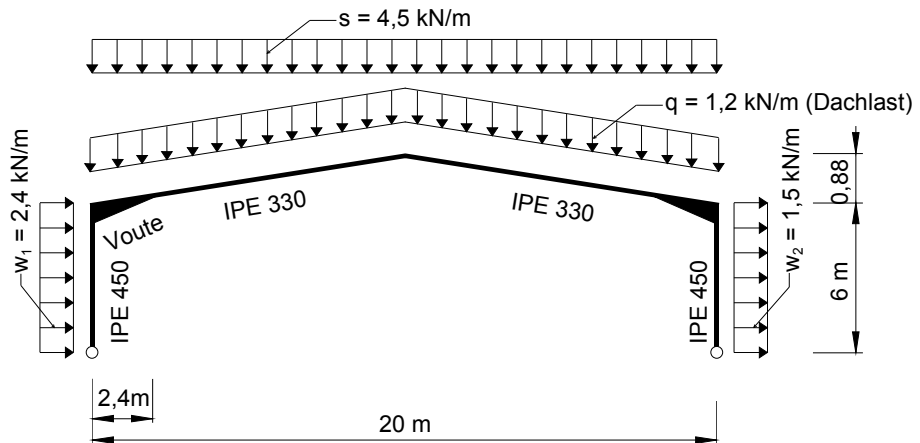


Bild 9.3: System und Bemessungslasten (γ -fach)

Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung

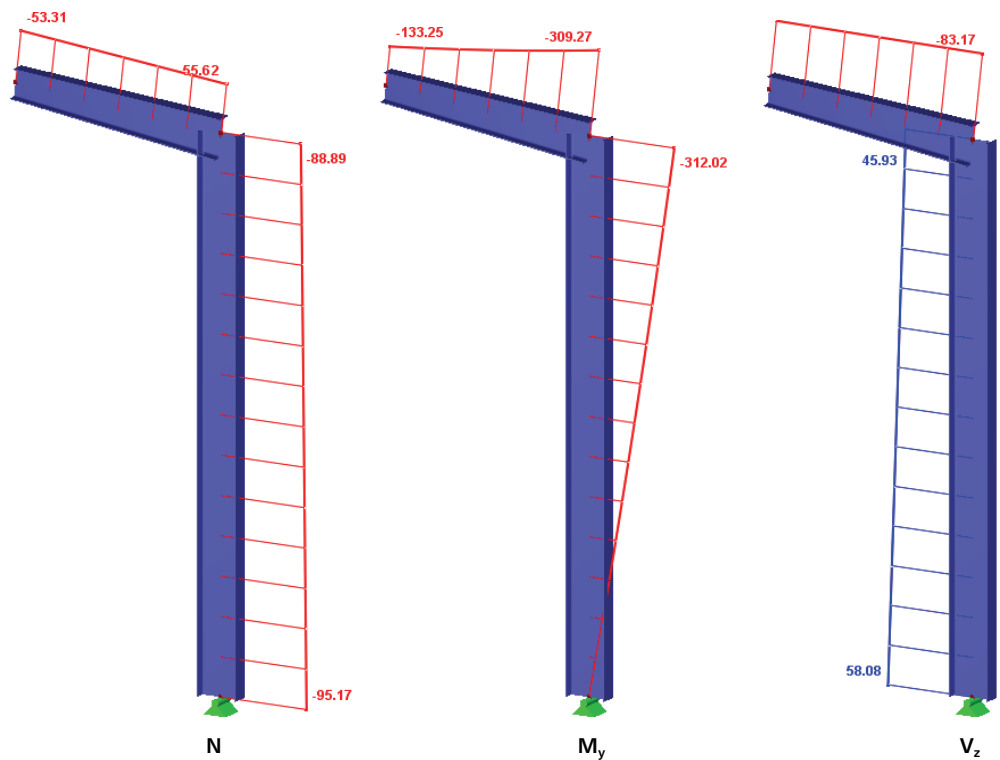


Bild 9.4: Schnittgrößen

Die Bemessungsschnittgrößen werden in RFEM nach Theorie I. Ordnung ermittelt. Dabei wird das Eigengewicht der Konstruktion automatisch angesetzt. Die Voutenneigung wird im Modell durch einen exzentrischen Anschluss berücksichtigt.

Es wird das Ausweichen in Rahmenebene gemäß Nachweismethode 1 untersucht.

Die Knicklänge der rechten Stütze ergibt sich mit RF-STABIL zu 25.100 m ($\beta = 4.183$).

Querschnittswerte IPE 450, S 235

Querschnittsgröße	Symbol	Wert	Einheit
Querschnittsfläche	A	98.80	cm ²
Trägheitsmoment	I _y	33740.00	cm ⁴
Widerstandsmoment	W _y	1500.00	cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	W _{pl,y}	1702.00	cm ³
Plastischer Formbeiwert	α _{pl,y}	1.135	
Knickspannungslinie	KSL _y	a	

Plastische Querschnittsgrößen

$$N_{pl,k} = 24 \cdot 98.80 = 2371.20 \text{ kN} \quad N_{pl,d} = \frac{2371.20}{1.1} = 2155.64 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,k} = \frac{24}{\sqrt{3}} \cdot (45.0 - 1.46) \cdot 0.94 = 576.11 \text{ kN} \quad V_{pl,z,d} = \frac{576.11}{1.1} = 515.55 \text{ kN}$$

Überprüfung der Interaktionsbedingungen am oberen Stützenende:

$$V_z = 45.93 \text{ kN} \quad \frac{V_z}{V_{pl,z,d}} = \frac{45.93}{515.55} = 0.09 \leq 0.33 \Rightarrow \text{keine festigkeitsmindernde Interaktion}$$

$$M_{pl,y,k} = 24 \cdot 1702.00 = 40848 \text{ kNcm} = 408.48 \text{ kNm} \quad M_{pl,y,d} = \frac{408.48}{1.1} = 371.35 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{pl,y} = \frac{1702.0}{1500.0} = 1.13$$

Überprüfung des Normalkraftverhältnisses gemäß DIN 18 800 Teil 2, Gleichung (25):

$$\frac{A_{\text{Steg}}}{A_{\text{gesamt}}} = \frac{39.60}{98.80} = 0.40 \geq 0.18$$

$$\frac{N}{N_{pl,d}} = \frac{88.89}{2155.64} = 0.04 < 0.2 \Rightarrow \text{Erhöhung von } M_{pl,y,d} \text{ nicht zulässig}$$

Kritische Normalkraft N_{Ki}

$$N_{Ki,y} = \frac{21000 \cdot 33740.00 \cdot \pi^2}{2510.0^2} = 1109.98 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_{K,y} = \sqrt{\frac{2371.20}{1109.98}} = 1.46$$

Abminderungsfaktor κ

$$\bar{\lambda}_{K,y} = 1.46 > 0.2$$

$$\text{Profilgeometrie: } \frac{h}{b} = \frac{450}{190} = 2.37 > 1.2 \quad t \leq 40 \text{ mm}$$

DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 5, Zeile 3, Spalte 3: Knickspannungslinie a

⇒ α = 0.21 (Tabelle 4)

$$k = 0.5 \cdot [1 + 0.21 \cdot (1.46 - 0.2) + 1.46^2] = 1.70$$

$$\kappa_y = \frac{1}{1.70 + \sqrt{1.70^2 - 1.46^2}} = 0.39$$

Momentenbeiwert β_m

DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 11, Spalte 2:

$$\beta_{m,\psi,y} = 0.66 \geq 0.44$$

$$\eta_{ki,y} = \frac{N_{ki,y,d}}{N} = \frac{1109.63}{88.89 \cdot 1.1} = 11.35$$

$$\beta_{m,\psi,y} \geq 1 - \frac{1}{\eta_{ki,y}} = 1 - \frac{1}{11.35} = 0.91$$

$$\beta_{m,Q,y} = 1.0$$

$$\psi = 0.00 \leq 0.77 \Rightarrow \beta_{m,y} = 1.0$$

DIN 18 800 Teil 2, Element (314) erfordert, dass Momentenbeiwerte $\beta_m < 1$ nur bei unverschieblicher Lagerung der Stabenden sowie bei konstanter Druckkraft ohne Querlasten zulässig ist. Da diese Voraussetzungen nicht gegeben sind, gilt:

$$\beta_{m,y} = 1.0$$

Beiwert Δn

$$\Delta n = \frac{88.89}{0.39 \cdot 2155.64} \cdot \left(1 - \frac{88.89}{0.39 \cdot 2155.64}\right) \cdot 0.39^2 \cdot 1.46^2 = 0.03 \leq 0.1$$

Nachweis nach Element 314, Gleichung (24)

$$\frac{88.89}{0.39 \cdot 2155.64} + \frac{1.0 \cdot 312.02}{371.35} + 0.03 =$$

$$= 0.11 + 0.84 + 0.03 = 0.98 \leq 1.00$$

\Rightarrow Nachweis erbracht

Ergebnisse der RF-KAPPA-Berechnung

Tabellarische Ergebnisse an der Stelle $x = 0.00$ m (Stützenkopf):

Schnittgrößen			
Normalkraft	N	-88.89	kN
<i>Starke Achse y</i>			
Querkraft	V-z	45.93	kN
Biegemoment	M-y	0.00	kNm
Randmoment am Stabanfang	M-y, Anf	-312.02	kNm
Randmoment am Stabende	M-y, End	0.00	kNm
Plastische Schnittgrößen			
Normalkraft	N-pl,k	2371.20	kN
Normalkraft	N-pl,d	2155.64	kN
Querkraft	V-pl,z,k	567.11	kN
Querkraft	V-pl,z,d	515.55	kN
Verhältnis V-z / V-pl,z,d	Delta-Vz	0.09	≤ 0.33
Biegemoment	M-pl,y,k	408.48	kNm
Biegemoment	M-pl,y,d	371.35	kNm
Abminderungsfaktor Kappa			
Knicklänge	s-K,y	25.10	m
Knicklast	N-Ki,y	1110.16	kN
Bezogener Schlankheitsgrad	Lambda-K,y quer	1.461	
Knickspannungslinie	KSL-y	a	
Hilfswert	Alpha-y	0.210	
Abminderungsfaktor	Kappa-y	0.389	

Beiwert Beta-m,y			
Verschiebbliche Lagerung	u	ja	
Konstante Druckkraft	N konstant	nein	
Momentenbeiwert	Beta-m,y	1.00	
Nachweis			
N / (Kappa-y * N-pl,d)	D-N,y	0.106	> 0.1
Beta-m,y * M-y / M-pl,y,d	D-M,y	0.840	
Beiwert	Delta-n	0.031	≤ 0.1
Nachweiskriterium	D-NM	0.977	< 1.0
Überprüfung von grenz (c/t)			
<i>Neutrale Achse</i>			
Ausgangspunkt-Koordinate y bez. auf S		0.0	mm
Ausgangspunkt-Koordinate z bez. auf S		-21.7	mm
Neigung	Beta	180.0	°
<i>Feld Nr. 5 (maßgebend)</i>			
Lagerungsart	Typ	Beidseitig	
Feldlänge	c	378.8	mm
Felddicke	t	9.4	mm
Faktor	Alpha	0.557	
(c/t)-Verhältnis zulässig	grenz	66.38	
(c/t)-Verhältnis vorhanden	vorh	40.30	< 66.40

A Literatur

- [1] DIN 18 800 Teil 1: Stahlbauten - Bemessung und Konstruktion, 1990
- [2] DIN 18 800 Teil 2: Stahlbauten - Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken, 1990
- [3] KRETZSCHMAR, J./ OSTERRIEDER, P./ BEIROW, B.: Analytische Knick- und Biegedrillknicktragfähigkeitskurven nach dem Verfahren Elastisch-Elastisch in DIN 18 800 Teil 2, Lehrstuhl Statik und Dynamik BTU Cottbus, 2001
- [4] PETERSEN, C.: Stahlbau, Vieweg und Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 3. Auflage 1993
- [5] PETERSEN, C.: Statik und Stabilität der Baukonstruktionen, Vieweg und Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 2. Auflage 1982
- [6] RUBIN, H.: Interaktionsbeziehungen... Stahlbau 47 (1978), 76-85, 145-151, 174-181
- [7] LINDNER, J./ SCHEER, J./ SCHMIDT, H.: Stahlbauten - Erläuterungen zu DIN 18 800 Teil 1 bis 4, Beuth, 2. Auflage 1994
- [8] Schneider-Bautabellen, Werner, 17. Auflage 2006
- [9] DIN 4114 Blatt 1 und 2: Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung), 1952
- [10] DUTTA, D.: Hohlprofilkonstruktionen, Ernst und Sohn, Berlin, 1999

B Index

A

Abminderungsfaktor κ	16, 18, 20, 38
Allgemeine Profile.....	14, 41
Anmerkung.....	33
Ausdruckprotokoll	59
Ausnutzung	33
Ausschnitt.....	57

B

Basisangaben.....	27
Beenden von RF-KAPPA	27
Beiwert β	36, 37
Beiwert Δn	22
Beiwert k	19, 22
Bemessen.....	28
Bemessungsfall	54, 62, 63
Bemessungsmethode.....	40
Benutzerprofil	66
Berechnung	40
Berechnung starten	43
Berechnungsdetails.....	40
Bezogener Schlankheitsgrad λ_k	15, 38
Biegeknicklast N_{Ki}	15
Blättern in Masken.....	27

C

c/t-Verhältnis	24
----------------------	----

D

Dezimalstellen	29, 66
Drucken	60
Druckstab	35
DUENQ-Profil	9
Dynamische Beanspruchung.....	23, 40

E

E-Gewicht	51
Einfachsymmetrisches Profil	10
Einheiten	29, 66
Elastisch-Elastisch	23, 32, 40
Elastisch-Plastisch	23, 24, 40
Ergebnisauswertung	52
Ergebnisdiagramm	56
Ergebnismasken.....	45

Ergebnisse mehrfarbig	57
Ergebnisse Rendering	57
Ergebnisse-Navigator	53
Ergebnisverläufe.....	46, 56, 60
Ergebniswerte	54
Euler-Fälle.....	15, 37
Excel	67
Export Ergebnisse.....	66
Export Profile.....	65

F

Farb-Relationsbalken	46
Farbskala	57
Filter	57
Filtern von Stäben	58

G

Gewicht.....	51
Grafik	53
Grafik drucken.....	60
grenz (c/t).....	24, 41
Grenzbedingungen	14, 32

H

Hintergrundgrafik	53
-------------------------	----

I

Imperfektionen.....	17, 18, 20, 28
Imperfektionsfaktor α	16, 38, 40
Installation	6
Interaktion	9, 12, 13
Interaktionsbedingungen	14, 32
I-Walzprofil.....	11

K

Kappa-Wert.....	16
Kastenprofil	12
Knicken um Achse	35
Knickfigur.....	37
Knicklänge s_k	15, 34, 36, 37
Knicklast N_{Ki}	38
Knickspannungslinie.....	16, 23, 38, 40
Kommentar	28, 46
Kurzfassung	59

L

Länge	35, 50
Langfassung	59
Lastfall	28, 46
Lastfallkombination	28

M

Masken	27
Material	29
Materialbezeichnung	29
Materialbibliothek	29
Materialkennwerte	29
Momentenbeiwert β	18, 21

N

Nachweis	42, 45, 46, 48, 56
Nachweiskriterium	46
Nachweismethode 1	18, 40
Nachweismethode 2	20, 40
Nachweisverfahren	40
Navigator	27
N_{Ki}	15, 38

O

Oberfläche	50
Optimierung	33, 64

P

Panel	7, 54, 57
Parametrisierte Profile	64
Plastische Querschnittswerte	8, 9, 14
Position	50
Profiloptimierung	64
Profilreihen	9, 32
Programmaufruf	6

Q

Querschnitt	31, 35
Querschnittsbezeichnung	31
Querschnittsbibliothek	31, 32
Querschnittsgrafik	34
Querschnittswerte	9

R

Randbedingungen	34
-----------------------	----

RFEM-Arbeitsfenster	53
RF-KAPPA-Fall	62
RF-STABIL	15, 37
Rohrprofil	13

S

Schlankheit	15, 38
Schnittgrößen	64
Selektion Ausdruck	59
Sichtmodus	46, 53
Skalierung	54
Spannungspunkt	33
Stäbe	28
Stabsätze	28, 39, 47, 49, 51
Stabverläufe	54
Starten von RF-KAPPA	6
Stegflächenanteil	21
Stelle x	46, 49
Steuerpanel	57
Stückliste	41, 50
Summe	51

T

Theorie I. Ordnung	4, 17, 18, 20, 28
Theorie II. Ordnung	4, 17, 18, 20, 28
Torsion	40
T-Profil	32
Tragsicherheitsnachweis	46

U

U-Profil	32
----------------	----

V

Visualisierung	53
Volumen	50
Voutenträger	26, 33, 45, 65
Voutenüberprüfung	26

X

x-Stelle	46, 48
----------------	--------

Z

Zeigen-Navigator	54, 57
Zentrischer Druck	16
Zwischenergebnisse	42, 45, 52, 59