

**Fassung
September 2011**

Zusatzmodul

RF-STAHL BS

**Tragfähigkeits- und Gebrauchs-
tauglichkeitsnachweis nach
BS 5950-1 und BS EN 1993-1-1**

Programm- Beschreibung

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der ING.-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	5.3	Filter für Ergebnisse	46
1.1	Zusatzmodul RF-STAHl BS	4	6.	Ausdruck	48
1.2	RF-STAHl BS-Team	5	6.1	Ausdruckprotokoll	48
1.3	Gebrauch des Handbuchs	5	6.2	RF-STAHl BS-Grafikausdruck	48
1.4	Aufruf des RF-STAHl BS-Moduls	6	7.	Allgemeine Funktionen	50
2.	Eingabedaten	8	7.1	RF-STAHl BS-Bemessungsfälle	50
2.1	Basisangaben	8	7.2	Querschnittsoptimierung	52
2.1.1	Tragfähigkeit	8	7.3	Materialexport nach RFEM	54
2.1.2	Gebrauchstauglichkeit	10	7.4	Einheiten und Dezimalstellen	55
2.1.3	Nationaler Anhang (NA)	11	7.5	Export der Ergebnisse	55
2.2	Materialien	14	8.	Beispiel	57
2.3	Querschnitte	16	A	Literatur	66
2.4	Seitliche Zwischenlager	20	B	Index	67
2.5	Effektive Längen - Stäbe	21			
2.6	Effektive Längen - Stabsätze	24			
2.7	Knotenlager	25			
2.8	Stabendgelenke	27			
2.9	Gebrauchstauglichkeitsparameter	28			
3.	Berechnung	29			
3.1	Detaileinstellungen	29			
3.2	Start der Berechnung	31			
4.	Ergebnisse	33			
4.1	Nachweise lastfallweise	33			
4.2	Nachweise querschnittsweise	34			
4.3	Nachweise stabsatzweise	35			
4.4	Nachweise stabweise	36			
4.5	Nachweise x-stellenweise	36			
4.6	Maßgebende Schnittgrößen stabweise	37			
4.7	Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise	38			
4.8	Stabschlankheiten	38			
4.9	Stückliste stabweise	39			
4.10	Stückliste stabsatzweise	40			
5.	Ergebnisauswertung	41			
5.1	Ergebnisse am RFEM-Modell	42			
5.2	Ergebnisverläufe	45			

1. Einleitung

1.1 Zusatzmodul RF-STAHl BS

Die Britische Norm BS 5950-1-1:2000 regelt den Entwurf, die Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten im Vereinigten Königreich. Mit dem Zusatzmodul RF-STAHl BS stellt die ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH ein leistungsstarkes und universelles Werkzeug zur Bemessung von Stahltragwerken gemäß *British Standard* bereit. Des Weiteren ist auch die Bemessung nach BS EN 1993-1-1:2005 (Eurocode 3) mit Nationalem Anhang für das Vereinigte Königreich möglich.

RF-STAHl BS führt alle typischen Tragsicherheitsnachweise, Stabilitätsnachweise und den Verformungsnachweis für Stahltragwerke, die mit Stäben modelliert sind. Beim Tragsicherheitsnachweis erfolgt die Berücksichtigung von mehreren Beanspruchungen. Ein wesentlicher Bestandteil der Nachweisführung gemäß *British Standard* ist die Einteilung der nachzuweisenden Querschnitte in vier Querschnittsklassen (*plastic, compact, semi-compact, slender*). Damit soll die Begrenzung der Beanspruchbarkeit und Rotationskapazität durch lokales Beulen von Querschnittsteilen festgestellt werden. RF-STAHl BS ermittelt dazu die c/t -Verhältnisse der druckbeanspruchten Querschnittsteile und nimmt die Klassifizierung automatisch vor.

Für die Stabilitätsnachweise kann für jeden einzelnen Stab oder Stabsatz ausgewählt werden, ob Biegeknicken in y - und/oder z -Richtung möglich ist. Es können auch zusätzliche, seitliche Halterungen definiert werden, um das Modell realitätsnah abzubilden. RF-STAHl BS ermittelt anhand der Randbedingungen die Vergleichsschlankheiten und kritischen Spannungen. Das für den Biegedrillknicknachweis benötigte ideale Biegedrillknickmoment wird automatisch ermittelt. Zudem kann der Lastangriffspunkt von Querlasten, der sich entscheidend auf die Drillbeanspruchung auswirkt, über Detaileinstellungen berücksichtigt werden.

Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist in der modernen Bauweise mit sehr schlanken Querschnitten ein wichtiger Faktor in der statischen Berechnung. Hierfür lassen sich in RF-STAHl BS Lastfälle, Lastfallgruppen und -kombinationen den diversen Bemessungssituationen einzeln zuweisen. Die Grenzverformungen können benutzerdefiniert festgelegt werden.

Da RF-STAHl BS wie die übrigen Zusatzmodule vollständig in RFEM integriert ist, sind die bemessungsrelevanten Eingabedaten nach dem Start des Programms voreingestellt. Nach der Bemessung kann die grafische Oberfläche von RFEM zur Auswertung der Ergebnisse genutzt werden. Die gesamte Nachweisführung wird im zentralen Ausdruckprotokoll in ansprechender und einheitlicher Form präsentiert.

Im Programm steht eine automatische Querschnittsoptimierung mitsamt Exportmöglichkeit der geänderten Profile nach RFEM zur Verfügung. Separate Bemessungsfälle erlauben eine flexible Untersuchung einzelner Bauteile von großen Strukturen.

Wir wünschen Ihnen viel Freude und Erfolg mit RF-STAHl BS.

Ihr Team von ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH

1.2 RF-STAHl BS-Team

An der Entwicklung von RF-STAHl BS waren beteiligt:

Programmkoordinierung

Dipl.-Ing. Georg Dlubal

Dipl.-Ing. (FH) Younes El Frem

Ing. Ph.D. Peter Chromiak

Programmierung

Ing. Zdeněk Kosáček

Ing. Ph.D. Peter Chromiak

Dipl.-Ing. Georg Dlubal

Dr.-Ing. Jaroslav Lain

Ing. Martin Budáč

Mgr. Petr Oulehle

Ing. Roman Svoboda

David Schweiner

Ing. Zbyněk Zámečník

DiS. Jiří Šmerák

Querschnitts- und Materialdatenbank

Ing. Ph.D. Jan Rybín

Stanislav Krytinář

Jan Brnušák

Programmdesign, Dialogbilder und Icons

Dipl.-Ing. Georg Dlubal

MgA. Robert Kolouch

Ing. Jan Milěř

Handbuch, Hilfesystem und Übersetzungen

Ing. Ph.D. Peter Chromiak

Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl

Ing. Ladislav Kábrt

Ing. Petr Míchal

Mgr. Petra Pokorná

Programmkontrolle und Technische Unterstützung

Ing. Ctirad Martinec

Ing. Martin Vasek

Ing. Ph.D. Peter Chromiak

Dipl.-Ing. (FH) René Flori

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann

Dipl.-Ing. Frank Faulstich

M. Sc. Dipl.-Ing. (FH) Frank Lobisch

Dipl.-Ing. (BA) Andreas Niemeier

Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler

M. Sc. Dipl.-Ing. (FH) Frank Sonntag

Dipl.-Ing. (FH) Christian Stautner

Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl

1.3 Gebrauch des Handbuchs

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



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

Am Ende des Handbuchs befindet sich ein Stichwortverzeichnis. Sollten Sie dennoch nicht fündig werden, so können Sie die Suchfunktion auf unserer Website www.dlubal.de nutzen, um in der umfangreichen Liste aller *Fragen und Antworten* das Problem nach bestimmten Kriterien einzugrenzen.

1.4 Aufruf des RF-STAHl BS-Moduls

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

Menü

Der Programmaufruf kann erfolgen über das RFEM-Menü

Zusatzmodule → Stahlbau → RF-STAHl BS.

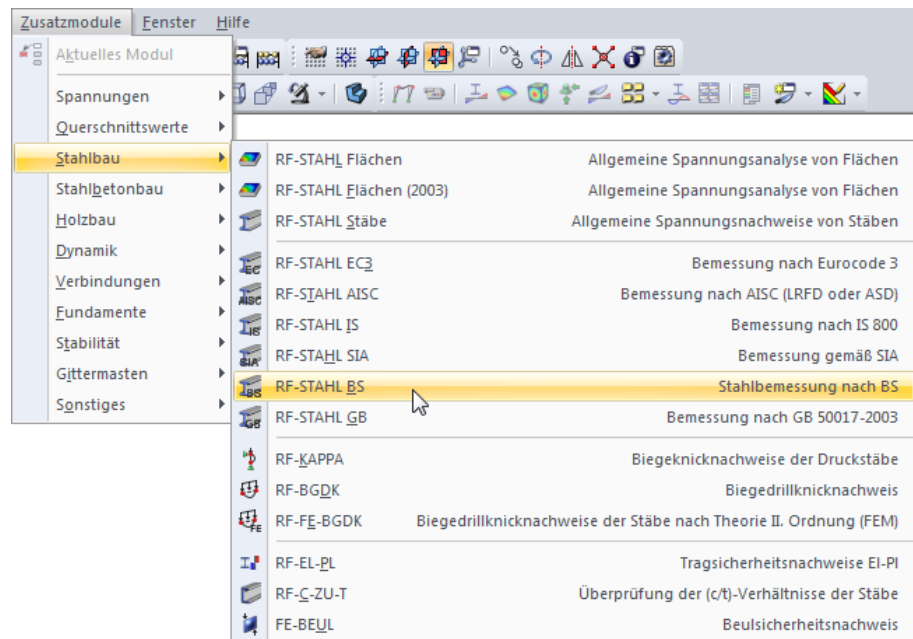


Bild 1.1: Menü: Zusatzmodule → Stahlbau → RF-STAHl BS

Navigator

Das Modul RF-STAHl BS kann im Daten-Navigator aufgerufen werden über den Eintrag

Zusatzmodule → RF-STAHl BS.

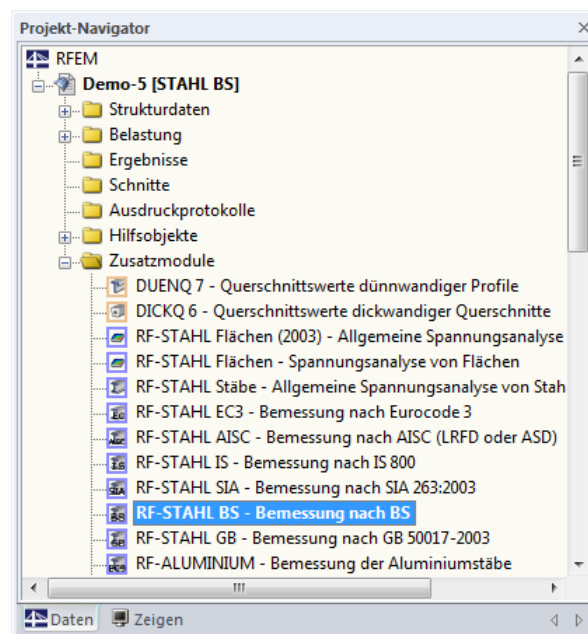
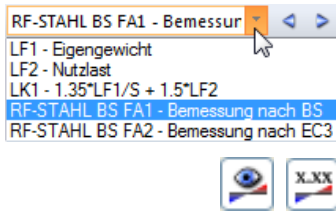


Bild 1.2: Daten-Navigator: Zusatzmodule → RF-STAHl BS



RF-STAHLS BS

Panel

Falls in der RFEM-Position bereits Ergebnisse für RF-STAHLS BS vorliegen, so stellen Sie den relevanten RF-STAHLS BS-Bemessungsfall in der Lastfallliste der Menüleiste ein. Über die Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus] kann dann das Nachweiskriterium an den Stäben grafisch angezeigt werden.

Im Panel steht die Schaltfläche [RF-STAHLS BS] zur Verfügung, die zum Aufruf des Moduls benutzt werden kann.

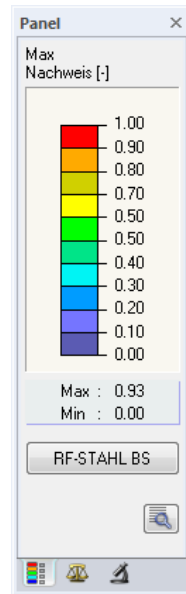


Bild 1.3: Panel-Schaltfläche [RF-STAHLS BS]

2. Eingabedaten



Die Bemessungsfälle sind in mehreren Eingabemasken zu definieren. Für Stäbe und Stabsätze wird unterstützend die [Pick]-Funktion zur grafischen Auswahl angeboten.

Nach dem Aufruf von RF-STAHl BS wird in einem neuen Fenster links ein Navigator angezeigt, der alle aktuell verfügbaren Masken verwaltet. Darüber befindet sich eine Pulldownliste mit den eventuell bereits vorhandenen Bemessungsfällen (siehe Kapitel 7.1, Seite 50).

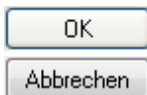
Wird RF-STAHl BS zum ersten Mal in einer RFEM-Position aufgerufen, liest das Zusatzmodul folgende bemessungsrelevante Daten automatisch ein:

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



Die Ansteuerung der Masken erfolgt entweder durch Anklicken des gewünschten Eintrags im RF-STAHl BS-Navigator oder durch Blättern mit den beiden links dargestellten Schaltflächen. Die Funktionstasten [F2] und [F3] blättern ebenso eine Maske vorwärts oder zurück.

Mit [OK] werden die getroffenen Eingaben gesichert und das Modul RF-STAHl BS verlassen. [Abbrechen] beendet das Zusatzmodul, ohne die Daten zu speichern.



2.1 Basisangaben

In Maske 1.1 *Basisangaben* sind die zu bemessenden Stäbe, Stabsätze und Einwirkungen auszuwählen. Die einzelnen Register verwalten die Lastfälle, Lastfallgruppen und -kombinationen für die unterschiedlichen Nachweise.

2.1.1 Tragfähigkeit

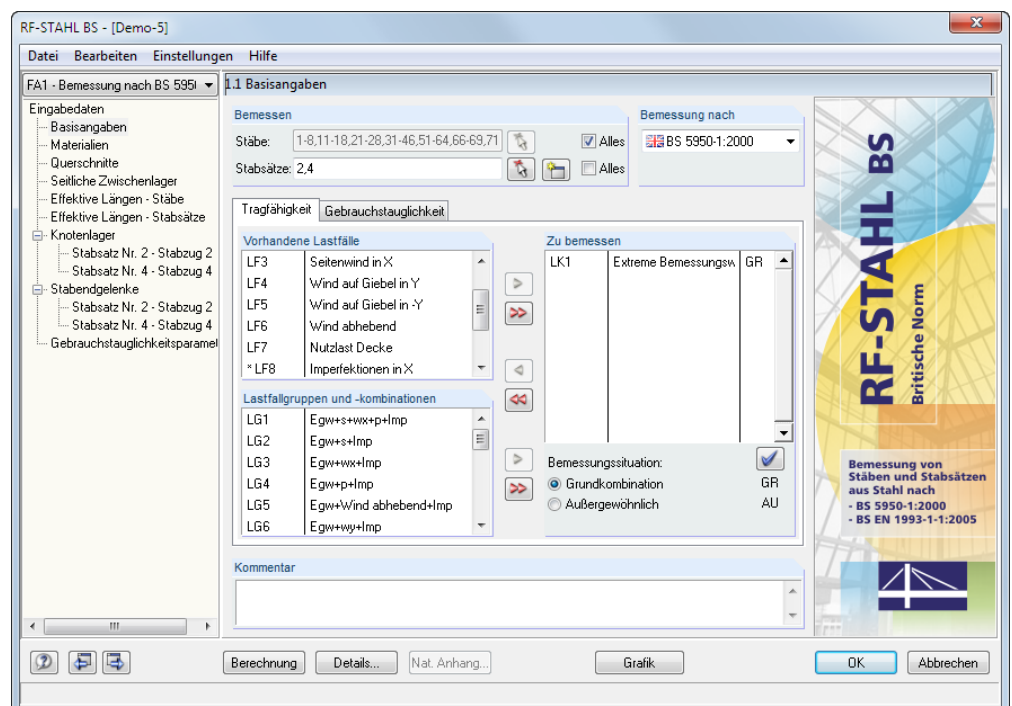


Bild 2.1: Maske 1.1 *Basisangaben*, Register *Tragfähigkeit*

Bemessen

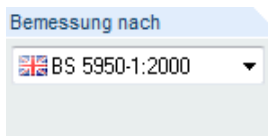


Die Bemessung kann sowohl für *Stäbe* als auch für *Stabsätze* erfolgen. Falls nur bestimmte Objekte bemessen werden sollen, ist das Kontrollfeld *Alle* zu deaktivieren. Damit werden die beiden Eingabefelder zugänglich, in die die Nummern der relevanten Stäbe oder Stabsätze eingetragen werden können. 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 kein Stabsatz definiert wurde, kann dieser mit der Schaltfläche [Neu] auch in RF-STAHl BS angelegt werden. Es erscheint der aus RFEM bekannte Dialog zur Eingabe eines neuen Stabsatzes, in dem die weiteren Angaben zu treffen sind.

Bei der Bemessung eines Stabsatzes werden die Extremwerte der Nachweise aller im Stabsatz enthaltenen Stäbe ermittelt sowie die Randbedingungen anschließender Stäbe für Stabilitätsuntersuchungen berücksichtigt. Nach der Berechnung erscheinen die zusätzlichen Ergebnismasken 2.3 *Nachweise stabsatzweise*, 3.2 *Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise* und 4.2 *Stückliste stabsatzbezogen*.



Bemessung nach

Das Auswahlfeld rechts oben steuert, ob die Bemessung nach BS 5950-1:2000 oder nach BS EN 1993-1-1 mit Nationalem Anhang für das Vereinigte Königreich erfolgt.

Vorhandene Lastfälle / Lastfallgruppen und -kombinationen



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



Falls Lastfälle oder Lastfallkombinationen mit einem Sternchen (*) gekennzeichnet sind wie beispielsweise LF 8 im Bild 2.1, so können diese nicht bemessen werden. Dies sind Lastfälle ohne Belastungsdaten oder reine Imperfektionslastfälle wie im Beispiel.



Bitte beachten Sie, dass nur Lastfallkombinationen zur Bemessung zugelassen sind, für die eindeutige Minima und Maxima ermittelt werden können (d. h. Alternativkombinationen mit dem Überlagerungskriterium *Ständig*). Diese Einschränkung ist notwendig, da zur Bestimmung des idealen Biegedrillknickmoments eine eindeutige Zuordnung der Momentenverläufe benötigt wird. Wird eine unzulässige Lastfallkombination ausgewählt, erscheint folgende Fehlermeldung:

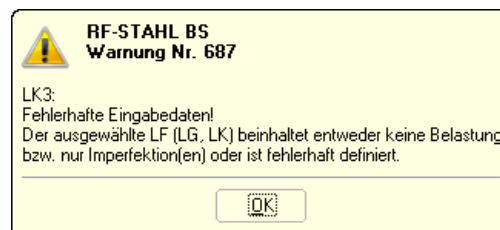


Bild 2.2: Warnhinweis bei Auswahl einer unzulässigen Lastfallkombination

Eine Mehrfachauswahl von Lastfällen ist über die bekannte Windows-Funktion mit gedrückter [Strg]-Taste möglich. Dadurch lassen sich mehrere Lastfälle gleichzeitig übergeben.

Zu bemessen



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





Die Bemessung einer einhüllenden *Oder*-Lastfallkombination verläuft schneller als die aller pauschal übernommenen Lastfälle oder Lastfallgruppen. Dabei ist jedoch die oben erwähnte Einschränkung zu beachten: Um ein eindeutiges Maximum oder Minimum bestimmen zu können, darf die *Oder*-LK ausschließlich mit dem Kriterium *Ständig* überlagerte Lastfälle, LF-Gruppen oder LF-Kombinationen enthalten. Ferner ist zu bedenken, dass bei der Bemessung einer LF-Kombination der Einfluss der enthaltenen Einwirkungen nur schwer erkennbar ist.

2.1.2 Gebrauchstauglichkeit

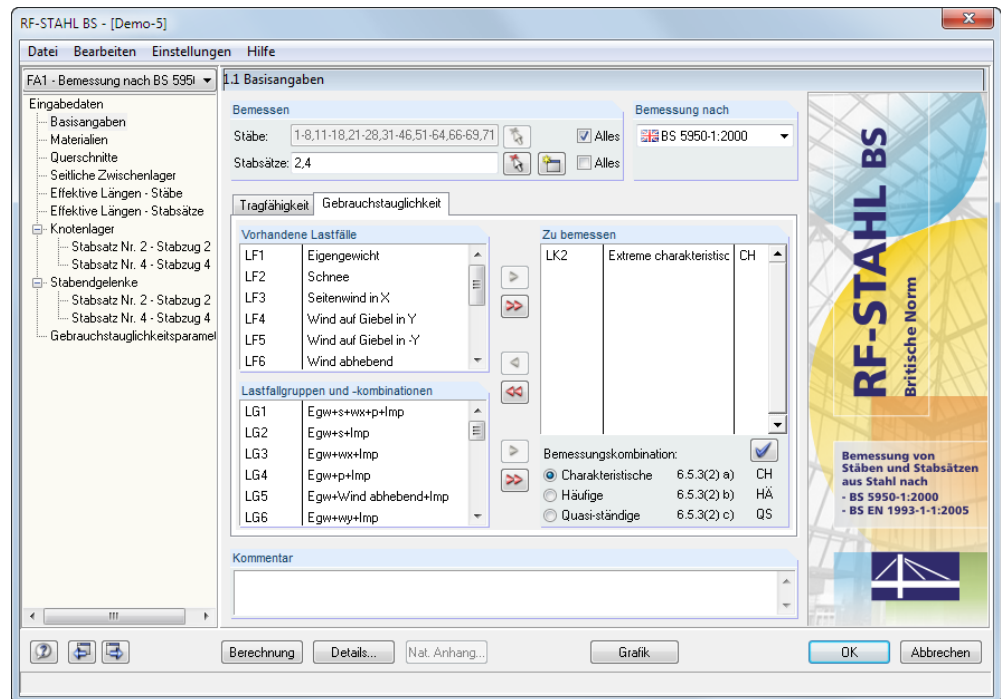


Bild 2.3: Maske 1.1 *Basisangaben*, Register *Gebrauchstauglichkeit*

Vorhandene Lastfälle / Lastfallgruppen und -kombinationen

In diesen beiden Abschnitten sind alle Lastfälle, Lastfallgruppen und Lastfallkombinationen aufgelistet, die in RFEM angelegt wurden.

Zu bemessen

Das Hinzufügen oder Entfernen von Lastfällen, LF-Gruppen und LF-Kombinationen erfolgt wie im vorherigen Kapitel 2.1.1 beschrieben.

Bemessungskombination

Den einzelnen Lastfällen, LF-Gruppen und -Kombinationen können unterschiedliche Grenzwerte für die Durchbiegung zugewiesen werden. Zunächst ist die relevante Einwirkung in Tabelle *Zu bemessen* zu selektieren. Mit einem Klick auf das blaue Häkchen [✓] wird dann die gewählte Einwirkungskombination nach EN 1990 zugewiesen. Es stehen zur Wahl:

- Charakteristisch (CH)
- Häufig (HÄ)
- Quasi-ständig (QS)

Die Grenzwerte der Verformungen sind in der Norm geregelt und können bei den Details (siehe Bild 3.1, Seite 30) bzw. den Parametern des Nationalen Anhangs (siehe Bild 2.4, Seite 11) angepasst werden.

Die für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit maßgebenden Bezugslängen werden in Maske 1.9 verwaltet (siehe Kapitel 2.9, Seite 28).



Kommentar

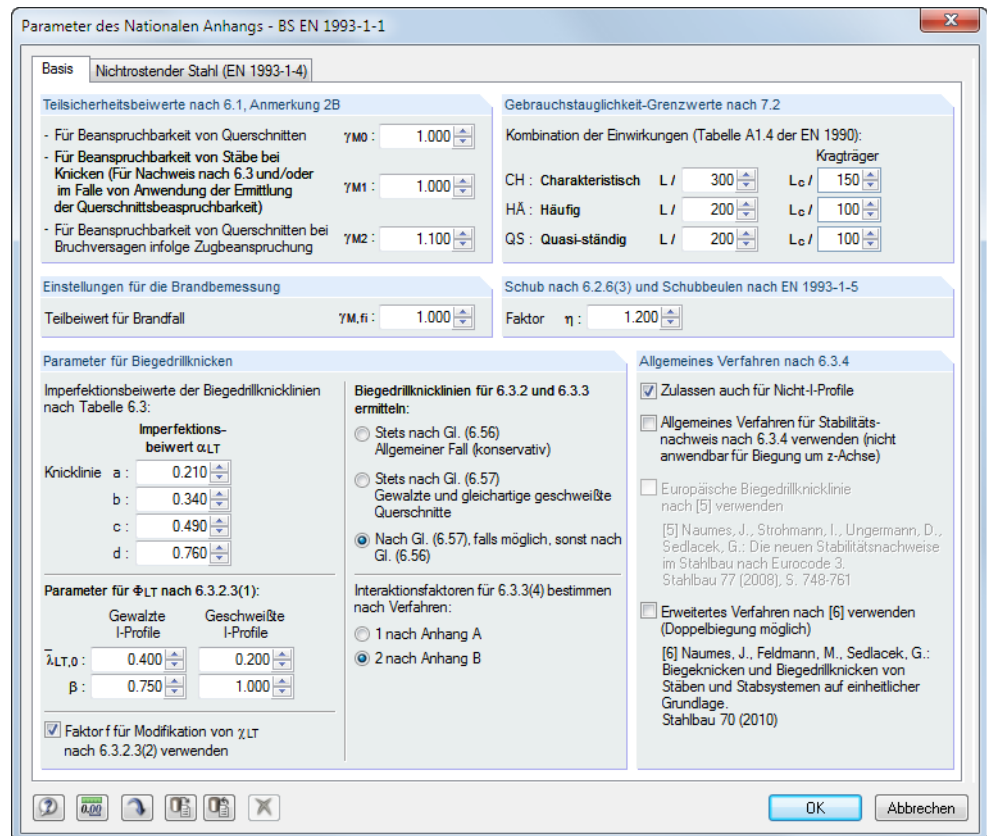
Dieses Eingabefeld steht für eine benutzerdefinierte Anmerkung zur Verfügung, die z. B. die Einwirkungskombinationen des aktuellen Bemessungsfalls beschreibt.

2.1.3 Nationaler Anhang (NA)

Nat.-Anhang...

Falls die Bemessung nach BS EN 1993-1-1 erfolgt, steht in allen Eingabemasken die Schaltfläche [Nat. Anhang] zur Verfügung. Sie ruft den Dialog *Parameter des Nationalen Anhangs* auf. Dieser Dialog besteht aus zwei Registern.

Basis



Parameter des Nationalen Anhangs - BS EN 1993-1-1

Basis: Nichtrostender Stahl (EN 1993-1-4)

Teilsicherheitsbeiwerte nach 6.1, Anmerkung 2B

- Für Beanspruchbarkeit von Querschnitten γ_{M0} : 1.000
- Für Beanspruchbarkeit von Stäben bei Knicken (Für Nachweis nach 6.3 und/oder im Falle von Anwendung der Ermittlung der Querschnittsbeanspruchbarkeit) γ_{M1} : 1.000
- Für Beanspruchbarkeit von Querschnitten bei Bruchversagen infolge Zugbeanspruchung γ_{M2} : 1.100

Gebrauchstauglichkeit-Grenzwerte nach 7.2

Kombination der Einwirkungen (Tabelle A1.4 der EN 1990):

	L /	L ₀ /
CH: Charakteristisch	300	150
HÄ: Häufig	200	100
QS: Quasi-ständig	200	100

Einstellungen für die Brandbemessung

Teilbeiwert für Brandfall $\gamma_{M,fi}$: 1.000

Parameter für Biegedrillknicken

Imperfektionsbeiwerte der Biegedrillknicken nach Tabelle 6.3:

Imperfektionsbeiwert α_{LT}
Knicklinie a: 0.210
b: 0.340
c: 0.490
d: 0.760

Parameter für χ_{LT} nach 6.3.2.3(1):

Gewalzte I-Profile	Geschweißte I-Profile
$\chi_{LT,0}$: 0.400	0.200
β : 0.750	1.000

☒ Faktor f für Modifikation von χ_{LT} nach 6.3.2.3(2) verwenden

Biegedrillknicken für 6.3.2 und 6.3.3 ermitteln:

- ☐ Stets nach Gl. (6.56) Allgemeiner Fall (konservativ)
- ☐ Stets nach Gl. (6.57) Gewalzte und gleichartige geschweißte Querschnitte
- ☒ Nach Gl. (6.57), falls möglich, sonst nach Gl. (6.56)

Interaktionsfaktoren für 6.3.3(4) bestimmen nach Verfahren:

- ☐ 1 nach Anhang A
- ☒ 2 nach Anhang B

Allgemeines Verfahren nach 6.3.4

- ☒ Zulassen auch für Nicht-I-Profile
- ☐ Allgemeines Verfahren für Stabilitätsnachweis nach 6.3.4 verwenden (nicht anwendbar für Biegung um z-Achse)
- ☐ Europäische Biegedrillknicken nach [5] verwenden
- ☐ Erweitertes Verfahren nach [6] verwenden (Doppelbiegung möglich)

[5] Naumes, J., Strohmann, I., Ungermann, D., Sedlacek, G.: Die neuen Stabilitätsnachweise im Stahlbau nach Eurocode 3. Stahlbau 77 (2008), S. 748-761

[6] Naumes, J., Feldmann, M., Sedlacek, G.: Biegeknicken und Biegedrillknicken von Stäben und Stabsystemen auf einheitlicher Grundlage. Stahlbau 70 (2010)

OK Abbrechen

Bild 2.4: Dialog *Parameter des Nationalen Anhangs*, Register *Basis*

In den Abschnitten lassen sich die *Teilsicherheitsbeiwerte*, *Gebrauchstauglichkeit-Grenzwerte* und *Parameter für Biegedrillknicken* überprüfen und ggf. anpassen.

Zudem kann im Abschnitt *Allgemeines Verfahren nach 6.3.4* festgelegt werden, ob die Stabilitätsnachweise stets nach [2] Abschnitt 6.3.4 erfolgen sollen. (Nach dem deutschen Nationalen Anhang ist das allgemeine Verfahren nur für I-förmige Profile zulässig. Durch Aktivierung der Option *Zulassen auch für Nicht-I-Profile* kann das Verfahren auch für andere Querschnitte genutzt werden).

Des Weiteren ist die Stabilitätsuntersuchung unter Verwendung der Europäischen Biegedrillknickenkurve nach NAUMES [5] möglich. In seiner Dissertation von November 2009 erweiterte NAUMES das Allgemeine Verfahren für Knick- und Biegedrillknicken nachweise für Bauteile nach EN 1993-1-1:2007 6.3.4 für zusätzliche Querbiegung und Torsion. Dieses Verfahren steht auch in RF-STAHL BS zur Bemessung von unsymmetrischen Querschnitten sowie von Voutenstäben und Stabsätzen mit zweiachsiger Biegung zur Verfügung.

Nach Abschnitt 6.3.4 (4) ist der Abminderungsbeiwert χ_{op} entweder

- als kleinster Wert der Größen für Knicken nach 6.3.1 oder χ_{LT} für Biegedrillknicken nach 6.3.2 mit Hilfe des Schlankheitsgrades λ_{op} zu berechnen oder
- als Wert, der zwischen χ und χ_{LT} interpoliert wird (siehe hierzu auch Gleichung (6.66) des EN 1993-1-1).

Da das Verfahren nach NAUMES auf der Europäischen standardisierten Biegedrillknickkurve unter Berücksichtigung des modifizierten Imperfektionsbeiwerts α^* beruht, kann die Interaktion zwischen Knicken und Biegedrillknicken nach Gleichung (6.66) entfallen. Die Berechnung erfolgt im ersten Schritt getrennt für die Haupt- und Nebenebene.

Berechnung	
Haupttragebene	Nebenebene
$\alpha_{Ed}(x) = \frac{\chi_{LT}(x) \cdot \alpha_{ult,k}(x)}{\gamma_{M1}} \geq 1$	$\beta_z(x) = \frac{M_{z,Ed}(x)}{M_{z,Rd}(x)} \cdot (1 - q_{Mz})$
Nachweis	
vereinfacht	genau
$\Delta n_R = 0.9$	$\Delta n_R = 1 - \frac{1}{\alpha_{Ed}(x)} \cdot \left[1 - \frac{1}{\alpha_{Ed}(x)} \right] \cdot \chi_{LT}^2(x) \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2(x)$
$\frac{1}{\alpha_{Ed}(x)} + \beta_z(x) \leq \Delta n_R$	

Bild 2.5: Berechnungsablauf für das Verfahren nach NAUMES

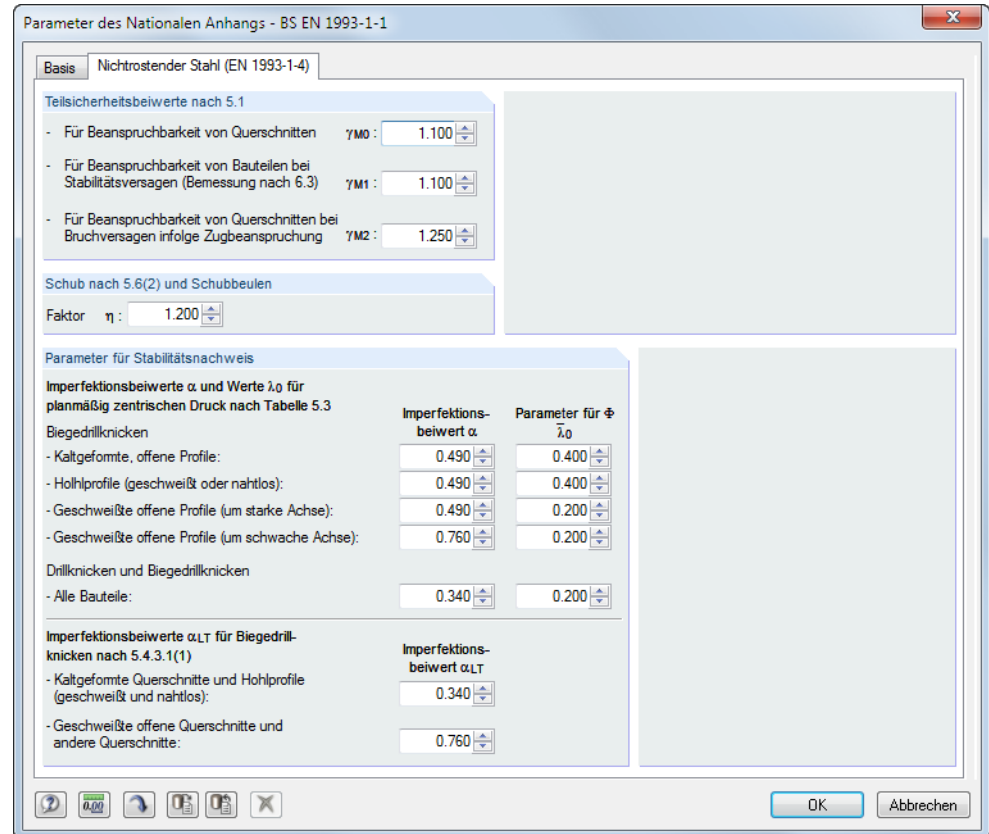
Im zweiten Schritt wird das Nachweiskriterium Δn_R ermittelt. Abschließend erfolgt der Nachweis über die Summierung der Ausnutzungsgrade der Haupt- und Nebenebene und Vergleich zum Nachweiskriterium Δn_R .

Momentenverlauf M_z	q_{Mz}
	$q_{Mz} = 0.21 \cdot (1 - \psi_z) + 0.36 \cdot (0.33 - \psi_z) \cdot \frac{1}{\alpha_{crit}} \leq \frac{1}{\alpha_{crit}}$
	$q_{Mz} = \frac{1}{\alpha_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{\pi^2 EI_z \cdot \max \delta_y }{l^2 \cdot \max M_{z,Ed} } \right)$
	Dabei ist $\max \delta_y $ die größte Querbiegeverformung und $\max M_{z,Ed} $ das größte Quierbiegemoment entlang der Bauteillängsachse.
	$q_{Mz} = 0.18 \cdot \frac{1}{\alpha_{crit}}$
	$q_{Mz} = 0.03 \cdot \frac{1}{\alpha_{crit}}$

Bild 2.6: Bestimmung des Momentenbeiwerts q_{Mz}

Nichtrostender Stahl

RF-STAHL BS ermöglicht auch die Bemessung von Bauteilen aus nichtrostendem Stahl gemäß EN 1993-1-4 [4]. Im zweiten Register des Dialogs *Parameter des Nationalen Anhangs* sind die relevanten *Teilsicherheitsbeiwerte* und *Parameter für Stabilitätsnachweis* hinterlegt.



Parameter des Nationalen Anhangs - BS EN 1993-1-1

Basis Nichtrostender Stahl (EN 1993-1-4)

Teilsicherheitsbeiwerte nach 5.1

- Für Beanspruchbarkeit von Querschnitten γ_{M0} : 1.100
- Für Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen (Bemessung nach 6.3) γ_{M1} : 1.100
- Für Beanspruchbarkeit von Querschnitten bei Bruchversagen infolge Zugbeanspruchung γ_{M2} : 1.250

Schub nach 5.6(2) und Schubbeulen

Faktor η : 1.200

Parameter für Stabilitätsnachweis

Imperfektionsbeiwerte α und Werte λ_0 für planmäßig zentrischen Druck nach Tabelle 5.3

	Imperfektionsbeiwert α	Parameter für Φ λ_0
Biegedrillknicken		
- Kaltgeformte, offene Profile:	0.490	0.400
- Hohlprofile (geschweißt oder nahtlos):	0.490	0.400
- Geschweißte offene Profile (um starke Achse):	0.490	0.200
- Geschweißte offene Profile (um schwache Achse):	0.760	0.200
Drillknicken und Biegedrillknicken		
- Alle Bauteile:	0.340	0.200

Imperfektionsbeiwerte α_{LT} für Biegedrillknicken nach 5.4.3.1(1)

	Imperfektionsbeiwert α_{LT}
- Kaltgeformte Querschnitte und Hohlprofile (geschweißt und nahtlos):	0.340
- Geschweißte offene Querschnitte und andere Querschnitte:	0.760

OK Abbrechen

Bild 2.7: Dialog *Parameter des Nationalen Anhangs*, Register *Nichtrostender Stahl (EN 1993-1-4)*

2.2 Materialien

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

Materialien, die bei der Bemessung nicht benutzt werden, erscheinen in grauer Schrift. Unzulässige Materialien sind in roter, geänderte Materialien in blauer Schrift eingetragen.

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 7.4, Seite 55).

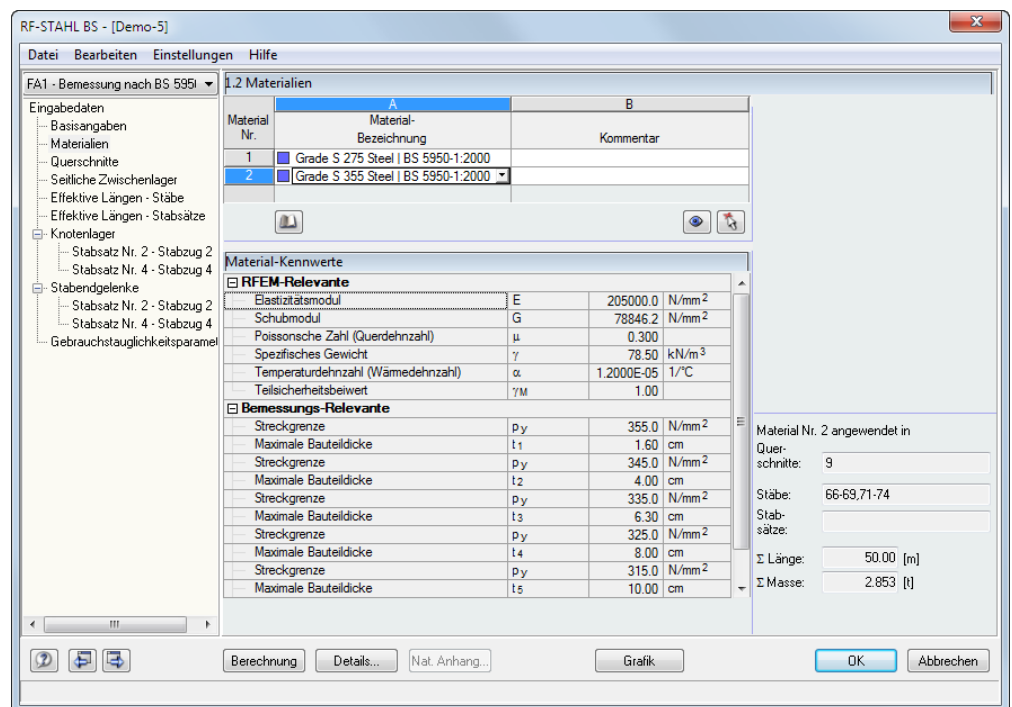


Bild 2.8: Maske 1.2 *Materialien*

Materialbezeichnung

Die in RFEM definierten Materialien sind voreingestellt. Wenn die *Materialbezeichnung* geändert wird und der manuelle Eintrag in der Materialbibliothek verzeichnet ist, so liest RF-STAHl BS die Materialkennwerte ein.

Ein Material kann über die Liste geändert werden: Platzieren Sie den Cursor in Spalte A und klicken dann auf die Schaltfläche [▼] oder betätigen die Funktionstaste [F7], um die links dargestellte Liste zu öffnen. Nach der Übernahme werden die bemessungsrelevanten Kennwerte aktualisiert.

Die Liste enthält gemäß Bemessungskonzept des *British Standard* nur Materialien der Kategorie **Stahl**. Die Übernahme von Materialien aus der Bibliothek ist nachfolgend erläutert.

Die Materialeigenschaften sind in RF-STAHl BS grundsätzlich nicht editierbar.

A	
Material-Bezeichnung	
Grade S 275 Steel BS 5950-1:2000	
Grade S 355 Steel BS 5950-1:2000	
Grade S 275 Steel BS 5950-1:2000	
Grade S 355 Steel BS 5950-1:2000	
Grade S 460 Steel BS 5950-1:2000	
Grade 43 Steel BS 4360:1986	
Grade 50 Steel BS 4360:1986	
Grade 43 Steel BS 5950:1990	
Grade 50 Steel BS 5950:1990	
Grade 55 Steel BS 5950:1990	
Grade S 275 Steel BS 5950:1990	
Grade S 355 Steel BS 5950:1990	

Materialbibliothek

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



Bearbeiten → Materialbibliothek

oder die links dargestellte Schaltfläche.

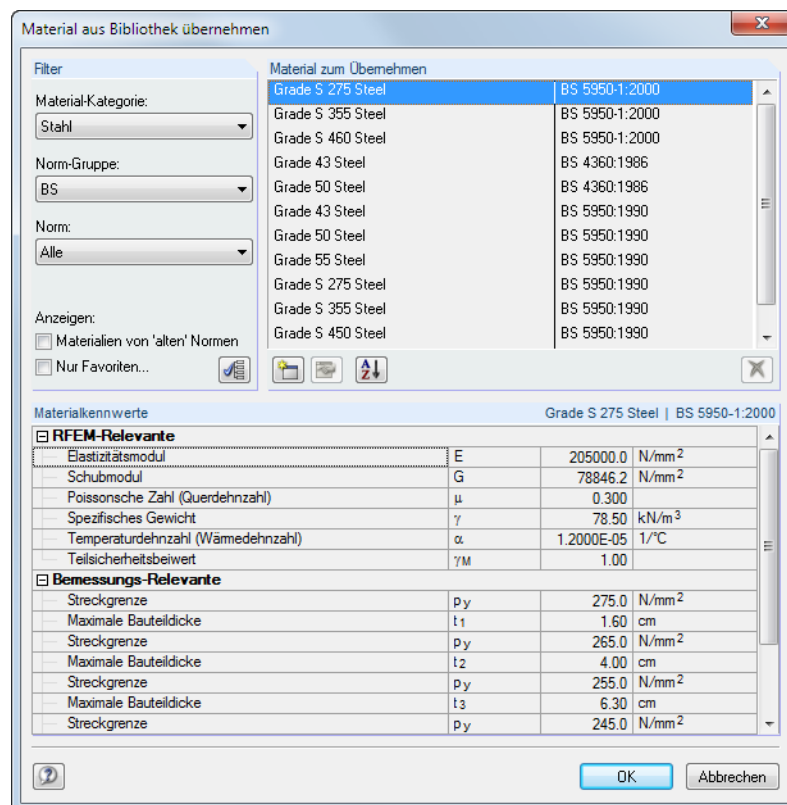


Bild 2.9: Dialog *Material aus Bibliothek übernehmen*

Im Abschnitt *Filter* ist die Materialkategorie *Stahl* voreingestellt. Die gewünschte Materialgüte kann in der Liste *Material zum Übernehmen* ausgewählt werden; die Kennwerte lassen sich im unteren Abschnitt überprüfen.

Mit [OK] oder [↵] wird das gewählte Material in die Maske 1.2 von RF-STAHl BS übergeben.

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

In der Bibliothek lassen sich auch Materialien der Kategorien *Gusseisen* und *Nichtrostender Stahl* auswählen. Für die Bemessung sollte überprüft werden, ob diese Materialien vom Bemessungskonzept des *British Standard* abgedeckt sind.

OK

2.3 Querschnitte

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

Koordinatensystem



Das Querschnittskoordinatensystem yz in RF-STAHl BS entspricht dem RFEM-Achsensystem (siehe Grafik in Bild 2.10). Die y -Achse stellt die „starke“ Hauptachse des Querschnitts dar, die z -Achse die „schwache“ Achse. Dieses Koordinatensystem wird sowohl für die Eingabe als auch für die Ergebnisse benutzt.

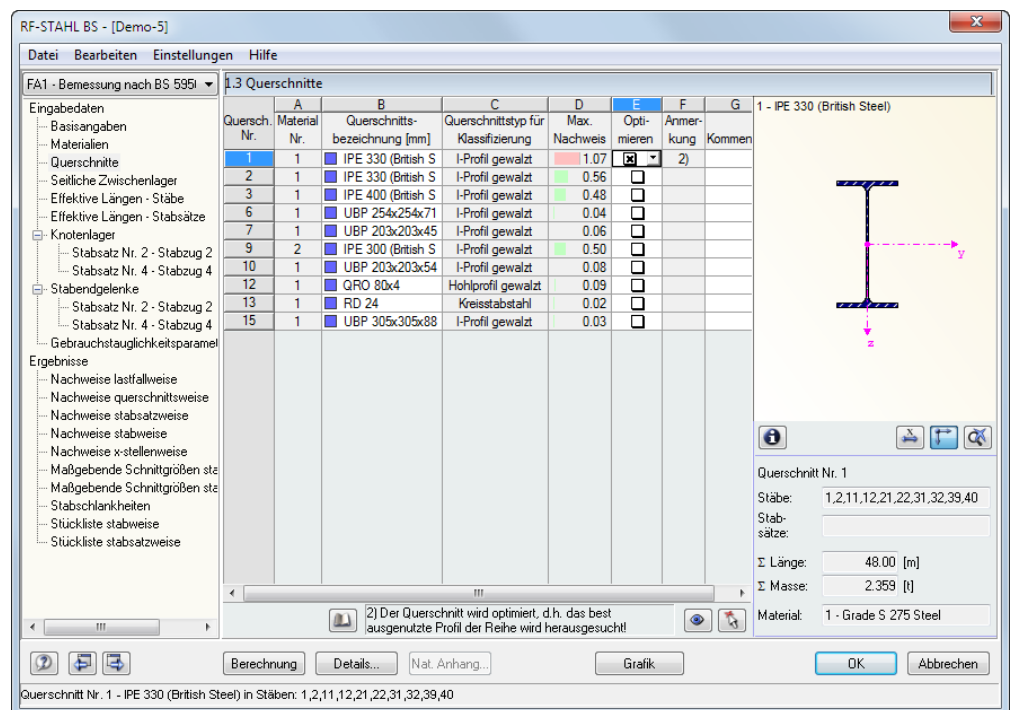


Bild 2.10: Maske 1.3 Querschnitte

Querschnittsbezeichnung

Die in RFEM verwendeten Querschnitte sind voreingestellt, ebenso die zugeordneten Materialnummern.

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



Um ein Profil zu ändern, ist die neue Querschnittsbezeichnung in die entsprechende Zeile einzutragen oder das Profil aus der Bibliothek auszuwählen. Die Bibliothek lässt sich wie aus RFEM gewohnt mit der Schaltfläche [Querschnittsbibliothek] aufrufen. Sie können auch den Cursor in die relevante Zeile setzen und dann [...] oder die Funktionstaste [F7] drücken. Es erscheint die RFEM-Querschnittsbibliothek bzw. die Profilvereihe des Eingabefeldes.

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

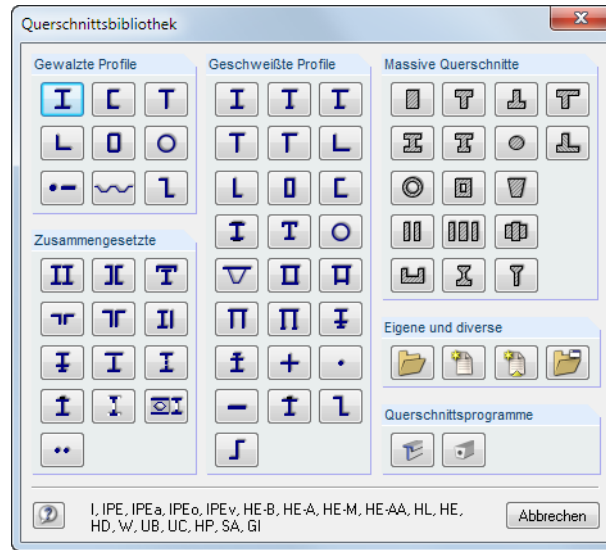
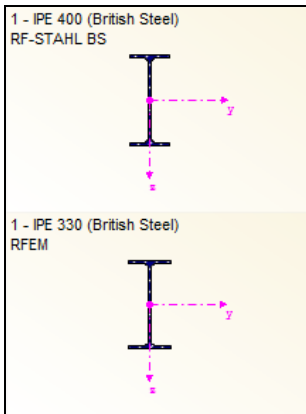


Bild 2.11: Querschnittsbibliothek

Liegen unterschiedliche Querschnitte in RF-STAHl BS und RFEM vor, zeigt die Grafik rechts in der Maske beide Profile an. Die Nachweise erfolgen mit den RFEM-Schnittgrößen für das in RF-STAHl BS gewählte Profil.

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-STAHl BS führt auch die Bemessung von Voutenstäben durch, sofern die gleiche Anzahl an Spannungspunkten für den Anfangs- und Endquerschnitt vorliegt: Die Normalspannungen beispielsweise werden aus den Trägheitsmomenten und den Schwerpunktabständen der Spannungspunkte ermittelt. Liegt für den Anfangs- und Endquerschnitt eines Voutenstabes eine unterschiedliche Anzahl an Spannungspunkten vor, kann RF-STAHl BS die Zwischenwerte nicht interpolieren. Eine Berechnung ist weder in RFEM noch in RF-STAHl BS möglich.

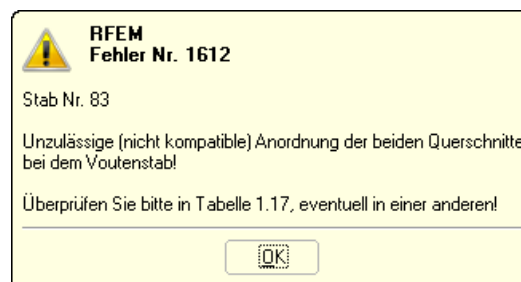


Bild 2.12: Warnung bei inkompatiblen Querschnitten



Die Profil-Spannungspunkte mitsamt Nummerierung lassen sich grafisch überprüfen: Selektieren Sie in Maske 1.3 den gewünschten Querschnitt und drücken dann die Schaltfläche [Info]. Es öffnet sich der im folgenden Bild gezeigte Dialog *Info über Querschnitt*.

Info über Querschnitt

In diesem Dialog können die Querschnittskennwerte, Spannungspunkte und (c/t)-Querschnittsteile eingesehen werden.

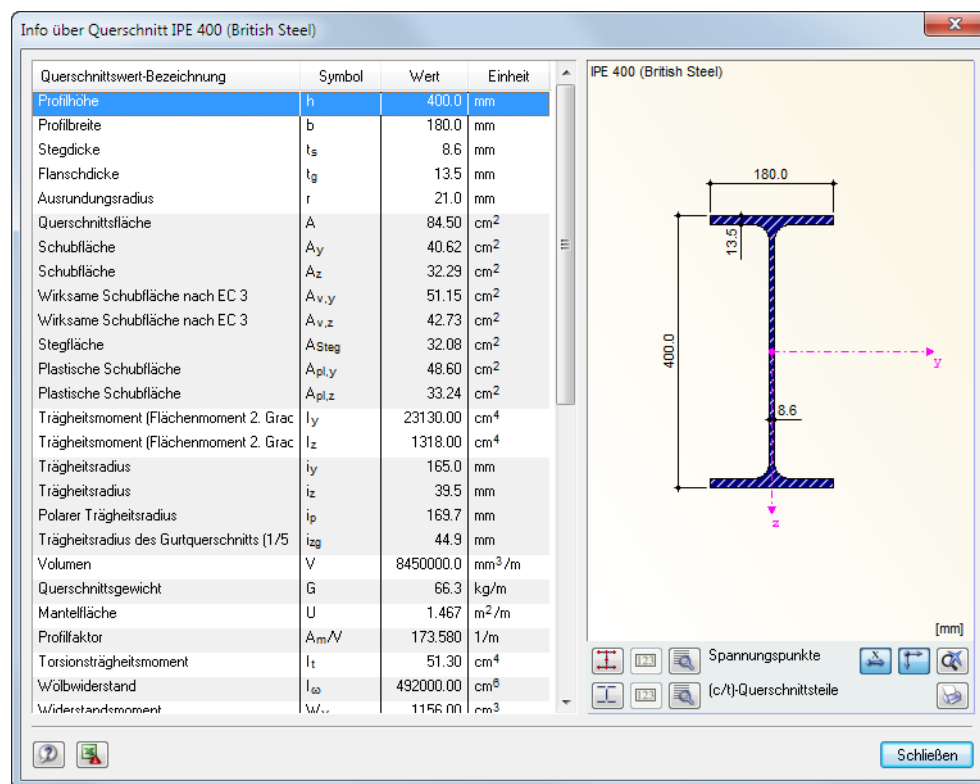


Bild 2.13: Dialog Info über Querschnitt

Im rechten Teil des Dialogs wird der aktuelle Querschnitt dargestellt. Die Schaltflächen unterhalb der Grafik sind mit folgenden Funktionen belegt:

Schaltfläche	Funktion
	Die Spannungspunkte werden angezeigt oder ausgeblendet.
	Die (c/t)-Querschnittsteile werden angezeigt oder ausgeblendet.
	Die Nummerierung der Spannungspunkte bzw. (c/t)-Querschnittsteile wird ein- oder ausgeblendet.
	Die Details der Spannungspunkte bzw. (c/t)-Querschnittsteile werden ein- oder ausgeblendet.
	Die Bemaßung des Querschnitts wird ein- oder ausgeblendet.
	Die Hauptachsen des Profils werden ein- oder ausgeschaltet.
	Die Gesamtansicht des Querschnitts wird wiederhergestellt.

Tabelle 2.1: Schaltflächen der Querschnittsgrafik

Querschnittstyp für Klassifizierung

In dieser Spalte werden die Querschnittstypen aufgelistet, die zur Klassifizierung des Querschnitts herangezogen werden (z. B. I-Profil gewalzt oder geschweißt, Hohlprofil etc.)

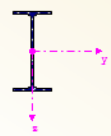
1.3 Querschnitte

Quersch. Nr.	A Material Nr.	B Querschnittsbezeichnung [mm]	C Querschnittstyp für Klassifizierung	D Optimieren	E Anmerkung	F Kommentar
1	1	IPE 400 (British S)	I-Profil gewalzt	☐	1)	
2	1	IPE 330 (British S)	I-Profil gewalzt	☐		
3	1	IPE 400 (British S)	I-Profil gewalzt	☐		
6	1	UBP 254x254x7	I-Profil gewalzt	☐		
7	1	UBP 203x203x4	I-Profil gewalzt	☐		
9	2	IS 280/135/6.6/	I-Profil geschweißt IS	☐	1)	
10	1	UBP 203x203x5	I-Profil gewalzt	☐		
12	1	QRO 80x4	Hohlprofil gewalzt	☐		
13	1	RD 24	Kreisstabstahl	☐		
15	1	TU 80/35.5/40/	Allgemein	☐	1)	

1 - IPE 400 (British Steel)
RF-STAHl BS



1 - IPE 330 (British Steel)
RFEM



Querschnitt Nr. 1

Stäbe: 1,2,11,12,21,22,31,32,39,40

Stabsätze:

Σ Länge: 48.00 [m]

Σ Masse: 3.184 [t]

Material: 1 - Grade S 275 Steel

1) Der Querschnitt in RFEM und RF-STAHl BS ist nicht identisch.

Bild 2.14: Querschnittstypen für Klassifizierung

Max. Nachweis

Diese Spalte wird erst nach der Berechnung angezeigt. Sie dient als Entscheidungshilfe für eine Optimierung. Anhand der Nachweisquotienten und der farbigen Relationsbalken wird deutlich, welche Profile kaum ausgenutzt und somit überdimensioniert bzw. zu stark beansprucht und damit unterdimensioniert sind.

Optimieren

Jedes Profil der Bibliothek kann einem Optimierungsprozess unterworfen werden. Dabei wird mit den RFEM-Schnittgrößen das Profil der gleichen Querschnittsreihe ermittelt, das der maximalen Ausnutzung am nächsten kommt, die im Register *Diverse* des *Details*-Dialogs vorgegeben ist (siehe Kapitel 3.1).

Um einen Querschnitt zu optimieren, ist das entsprechende Kontrollfeld in Spalte D bzw. E zu aktivieren. Empfehlungen zur Profilloptimierung finden Sie im Kapitel 7.2 auf Seite 52.

Anmerkung

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

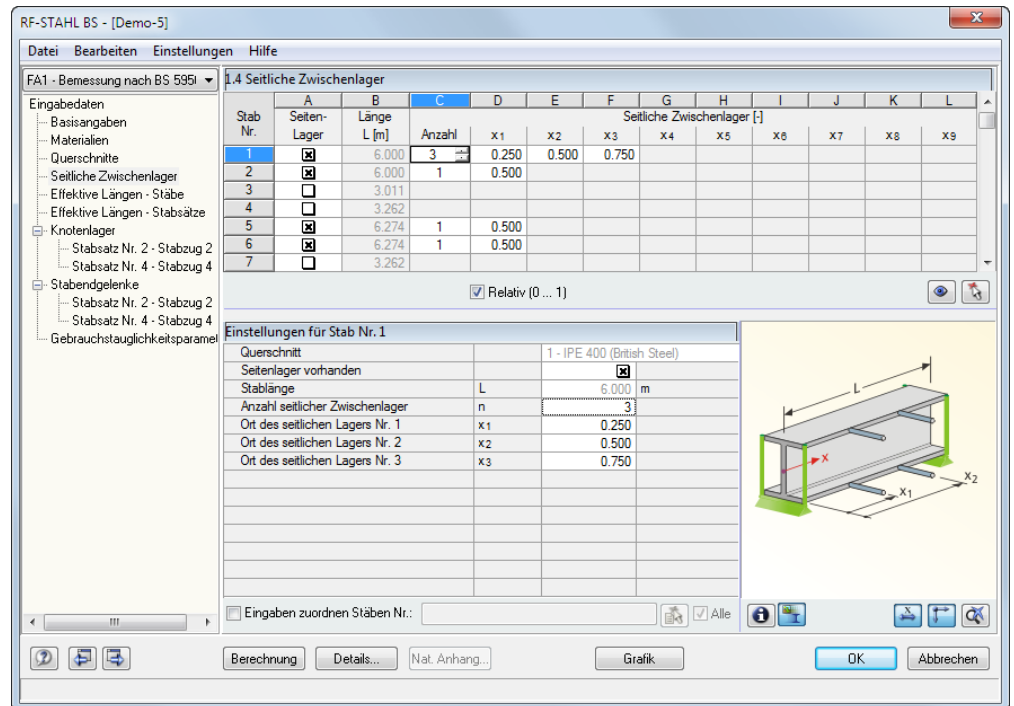


Erscheint vor der Berechnung die Meldung *Unzulässiger Querschnitt Nr. XX*, so liegt ein Querschnitt vor, der nicht in der Profildatenbank registriert ist. Dabei kann es sich um einen eigendefinierten oder nicht berechneten DUENQ-Querschnitt handeln. Über die Schaltfläche [...] in Spalte B *Querschnittsbezeichnung* kann dann ein geeignetes Profil für die Bemessung eingestellt werden (siehe Bild 2.11).

2.4 Seitliche Zwischenlager

In Maske 1.4 können seitliche Zwischenlager für Stäbe definiert werden. Diese Lagerung nimmt das Programm immer senkrecht zur schwachen Achse z des Querschnitts an (siehe Bild 2.13). Dadurch lassen sich die effektiven Längen des Stabes beeinflussen, die für die Stabilitätsuntersuchungen auf Biegeknicken und Biegedrillknicken von Bedeutung sind.

Die seitlichen Zwischenlager werden bei der Berechnung stets als Gabellagerungen berücksichtigt.



Stab Nr.	Seiten-Lager	Länge L [m]	Anzahl	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
1	☒	6.000	3	0.250	0.500	0.750						
2	☒	6.000	1	0.500								
3	☐	3.011										
4	☐	3.262										
5	☒	6.274	1	0.500								
6	☒	6.274	1	0.500								
7	☐	3.262										

☒ Relativ (0 ... 1)

Einstellungen für Stab Nr. 1

Querschnitt	1 - IPE 400 (British Steel)
Seitenlager vorhanden	☒
Stablänge	L 6.000 m
Anzahl seitlicher Zwischenlager	n 3
Ort des seitlichen Lagers Nr. 1	x1 0.250
Ort des seitlichen Lagers Nr. 2	x2 0.500
Ort des seitlichen Lagers Nr. 3	x3 0.750

☐ Eingaben zuordnen Stäben Nr.:

Berechnung Details... Nat. Anhang... Grafik OK Abbrechen

Bild 2.15: Maske 1.4 *Seitliche Zwischenlager*

Im oberen Teil der Maske besteht die Möglichkeit, bis zu neun seitliche Zwischenlager je Stab zu erzeugen. Der untere Teil bietet eine Zusammenfassung der Eingaben für den Stab, der oben selektiert ist.

Die seitlichen Zwischenlager können entweder direkt durch die Eingabe der Abstände oder über eine Relativeingabe der Lagerpunkte definiert werden. Für letztgenannte Option ist das Kontrollfeld *Relativ (0 ... 1)* anzuhaken. Die Position des Lagers wird dann aus der Stablänge und den angegebenen Intervallen ermittelt.

Bei Kragträgern ist besondere Aufmerksamkeit geboten: Die Zwischenlager teilen den Stab für die Berechnung in einzelne Segmente. Folglich sind Zwischenlager bei Kragträgern zu vermeiden, denn hier würden einseitig gabelgelagerte Segmente entstehen, die statisch unterbestimmt sind (Gabellagerung jeweils nur an einem Ende).

2.5 Effektive Längen - Stäbe

Die Maske 1.5 ist aus Gründen der Übersichtlichkeit zweigeteilt. Die Tabelle im oberen Teil enthält zusammenfassende Angaben zu den Knicklängenbeiwerten K_y und K_z , effektiven Längen KL_y und KL_z , Anpassungsfaktoren m_{LT} , Biegedrillknickbeiwerten K_{LT} und effektiven Längen KL_{LT} für Biegedrillknicken der zu bemessenden Stäbe.

Im unteren Teil der Maske werden detaillierte Informationen zu dem Stab angezeigt, der in der oberen Tabelle selektiert ist.

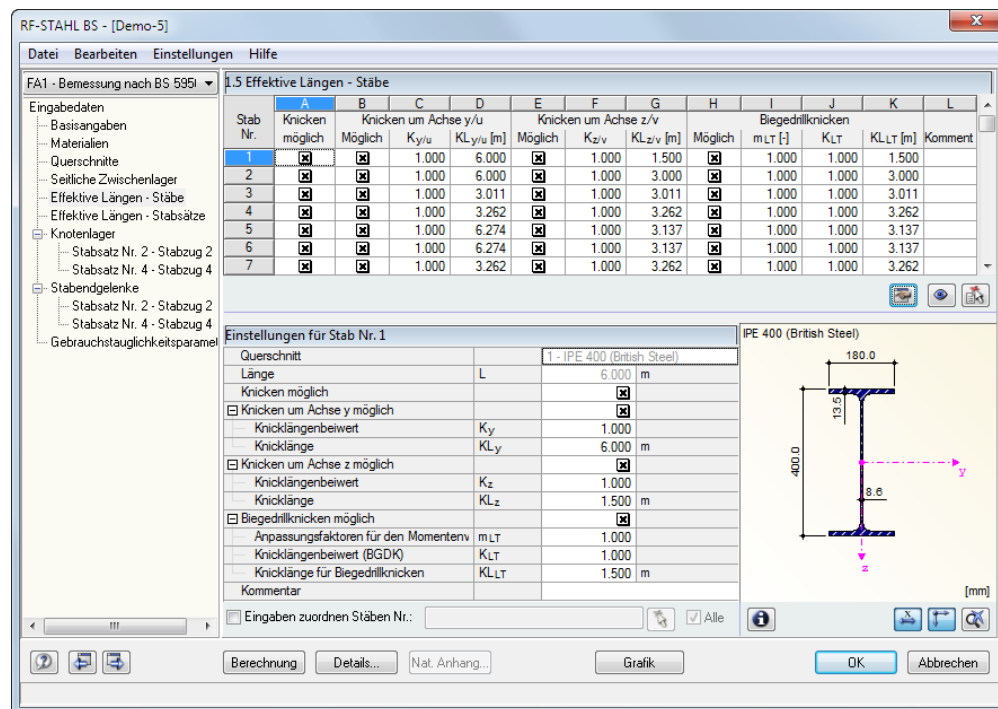


Bild 2.16: Maske 1.5 Effektive Längen - Stäbe

Die effektiven Stablängen für das Knicken senkrecht zur starken Achse werden automatisch mit den Eingaben in Maske 1.4 abgeglichen. Teilen seitliche Zwischenlager den Stab in unterschiedlich lange Abschnitte, wird in den entsprechenden Spalten D und G der Maske 1.5 kein Wert angegeben.

Änderungen der Knicklängenbeiwerte können sowohl in der zusammenfassenden Tabelle oben als auch in den Detaileinstellungen unten vorgenommen werden. Die entsprechende Angabe im anderen Bereich der Maske wird dabei automatisch aktualisiert. Die Knicklänge eines Stabes lässt sich auch grafisch über die [Pick]-Funktion bestimmen.

Die Baumstruktur des unteren Maskenbereichs *Einstellungen* enthält folgende Parameter:

- *Querschnitt*
- *Länge* des Stabes
- *Knicken möglich* für den Stab (vgl. Spalte A)
- *Knicken/Biegedrillknicken möglich* (vgl. Spalten B, E und H)
- *Knicken um Achse y* (Nicklängen, vgl. Spalten C und D)
- *Knicken um Achse z* (Nicklängen, vgl. Spalten F und G)
- *Biegedrillknicken* (Kipplängenbeiwerte, vgl. Spalten H bis K)

Es besteht die Möglichkeit, den *Knicklängenbeiwert* sowie den *Knicklängenbeiwert (BGDK)* für die jeweiligen Richtungen anzupassen und anzugeben, ob generell ein Knick- bzw. Biegedrillknicknachweis geführt werden soll. Bei einer Änderung des Knicklängenbeiwerts wird die Ersatzstablänge automatisch angepasst.



Die Knicklänge eines Stabes lässt sich auch in einem Dialog festlegen, der über die links gezeigte Schaltfläche aufgerufen wird. Diese befindet sich am Ende der oberen Tabelle.

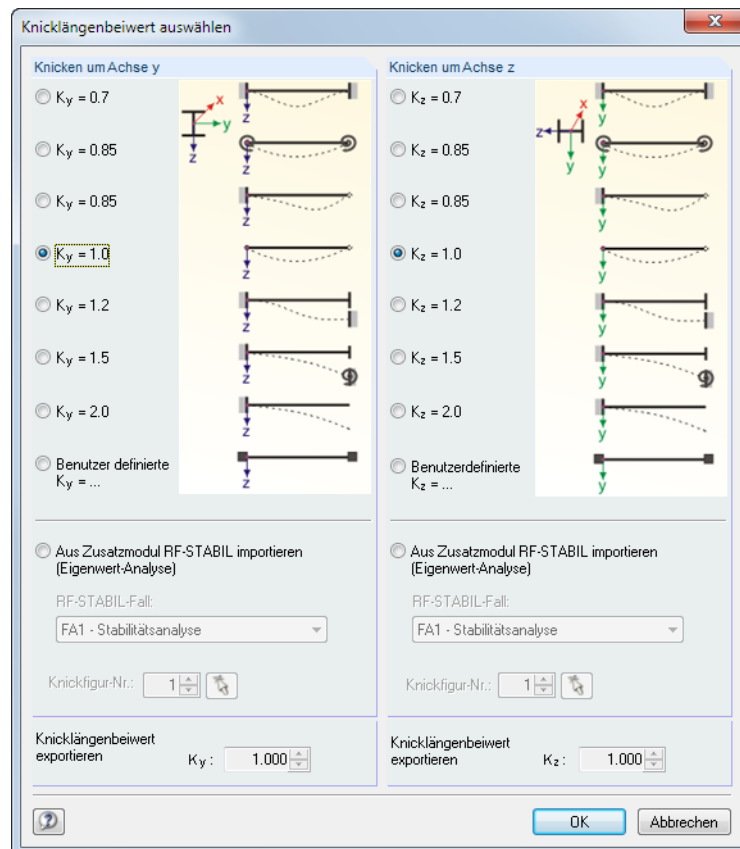


Bild 2.17: Dialog *Knicklängenbeiwert auswählen*

Die vorgegebenen Knicklängenbeiwerte **K** sind wie folgt definiert:

- $K = 0,7$ beidseits gestützt und eingespannt
- $K = 0,85$ beidseits gestützt und teilweise eingespannt
- $K = 0,85$ beidseits gestützt und auf einer Seite eingespannt
- $K = 1,0$ beidseits gestützt und ohne Einspannung
- $K = 1,2$ einseitig gestützt und eingespannt + auf anderer Seite frei verschieblich und eingespannt
- $K = 1,5$ einseitig gestützt und eingespannt + auf anderer Seite frei verschieblich und teilweise eingespannt
- $K = 2,0$ einseitig gestützt und eingespannt + auf anderer Seite freies Stabende

Die Knicklängen können auch aus dem Zusatzmodul RF-STABIL importiert werden.

Knicken möglich

Die Stabilitätsnachweise auf Biegeknicken und Biegedrillknicken erfordern, dass Druckkräfte aufgenommen werden können. Stäbe, bei denen dies wegen des Stabtyps nicht möglich ist (z. B. Zugstäbe, elastische Bettungen, starre Kopplungen), sind deshalb in RF-STABL BS von vornherein vom Nachweis ausgenommen. Die entsprechenden Zeilen sind ausgegraut und in der Spalte *Kommentar* wird ein entsprechender Hinweis angezeigt.

Die Spalte *Knicken möglich* bietet eine Steuerungsmöglichkeit, Stäbe als Druckstäbe zu klassifizieren bzw. vom Nachweis auszuklammern. Die Kontrollfelder in Spalte A und in der Tabelle *Einstellungen für Stab* regeln somit für jeden Stab, ob die Eingabefelder zur Definition der Knicklängenparameter zugänglich sind.

Knicken um Achse y bzw. Achse z

Die Spalten *Möglich* steuern, ob eine Knickgefährdung um die Achse y und/oder z vorliegt. Diese Achsen sind die lokalen Stabachsen, wobei es sich bei der Achse y um die „starke“ und bei der Achse z um die „schwache“ Stabachse handelt. Die Knicklängenbeiwerte K_y und K_z für Knicken um die starke bzw. schwache Achse können frei gewählt werden.

Die Lage der Stabachsen kann in Maske 1.3 *Querschnitte* bei der Profilgrafik kontrolliert werden (siehe Bild 2.13). Im RFEM-Arbeitsfenster, das stets über die Schaltfläche [Grafik] zugänglich ist, lassen sich die lokalen Stabachsen über den *Zeigen-Navigator* einblenden.

Grafik

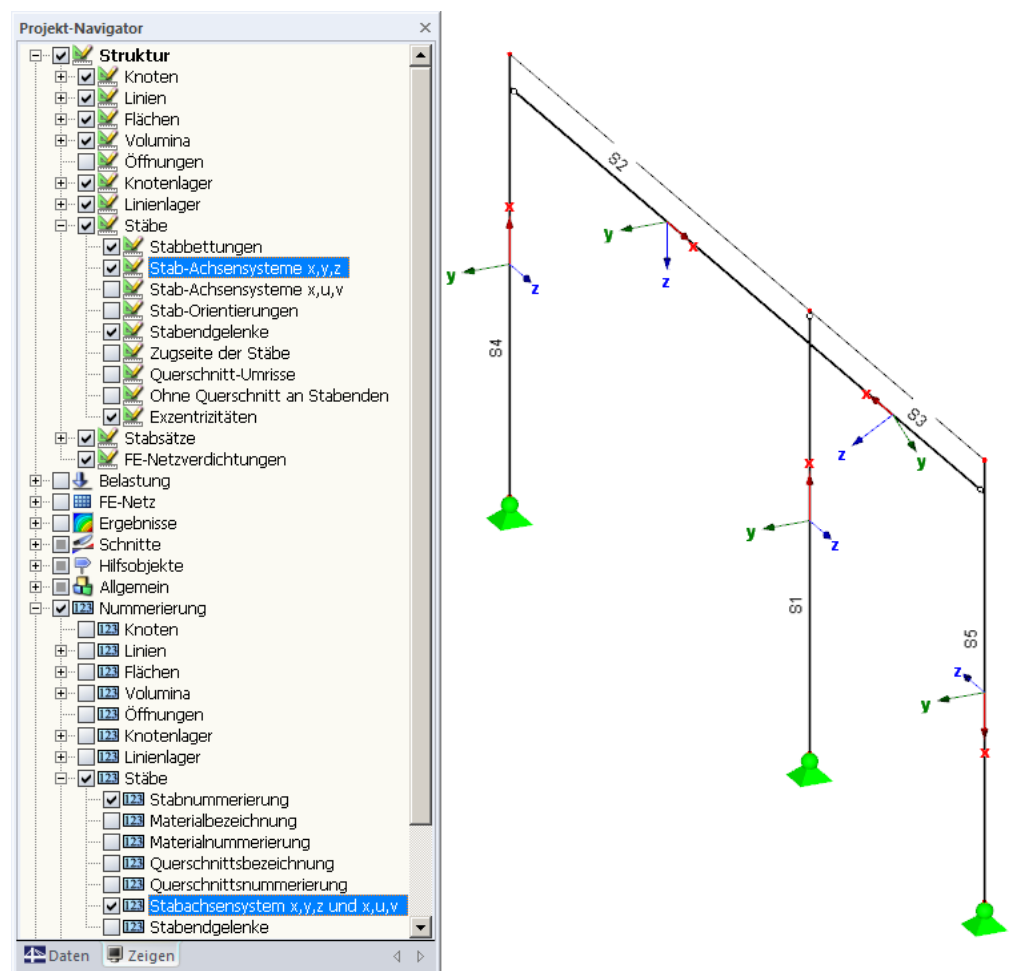


Bild 2.18: Aktivieren der lokalen Stabachsensysteme im *Zeigen-Navigator* von RFEM

Ist das Knicken um eine oder beide Stabachsen möglich, können die Knicklängenbeiwerte und Knicklängen in die Spalten C und D bzw. F und G oder in Tabelle *Einstellungen für Stab* eingegeben werden.

Bei der Vorgabe des Knicklängenbeiwerts K wird die Knicklänge KL durch Multiplikation der Stablänge L mit dem Knicklängenbeiwert ermittelt. Die Eingabefelder sind interaktiv.

Um die Knicklänge zu definieren, kann über die Schaltfläche [...] am Ende der KL -Eingabefelder der Abstand von zwei Knoten grafisch im RFEM-Arbeitsfenster bestimmt werden.



Biegedrillknicken

Die Spalte H steuert, für welche Stäbe eine Untersuchung auf Biegedrillknicken erfolgen soll.

In Spalte I bestehen drei Möglichkeiten, den Anpassungsfaktor für den Momentenverlauf m_{LT} zu definieren. Der Standardwert ist 1,0. Dieser Faktor kann auch vom Programm nach Tabelle 18 [1] ermittelt oder manuell eingetragen werden.

Spalte J verwaltet die Biegedrillknickbeiwerte K_{LT} , die sich auf die Ermittlung der Biegedrillknicklänge auswirken. Der Beiwert K_{LT} ist mit 1,0 voreingestellt.

Bei einer Änderung des Biegedrillknickbeiwerts wird die für das Biegedrillknicken relevante Ersatzstablänge KL_{LT} automatisch angepasst. Bei den Werten in Spalte K werden die Vorgaben der Tabelle 1.4 *Seitliche Zwischenlager* berücksichtigt. Die Ersatzstablängen KL_{LT} können auch manuell eingegeben werden.

Kommentar

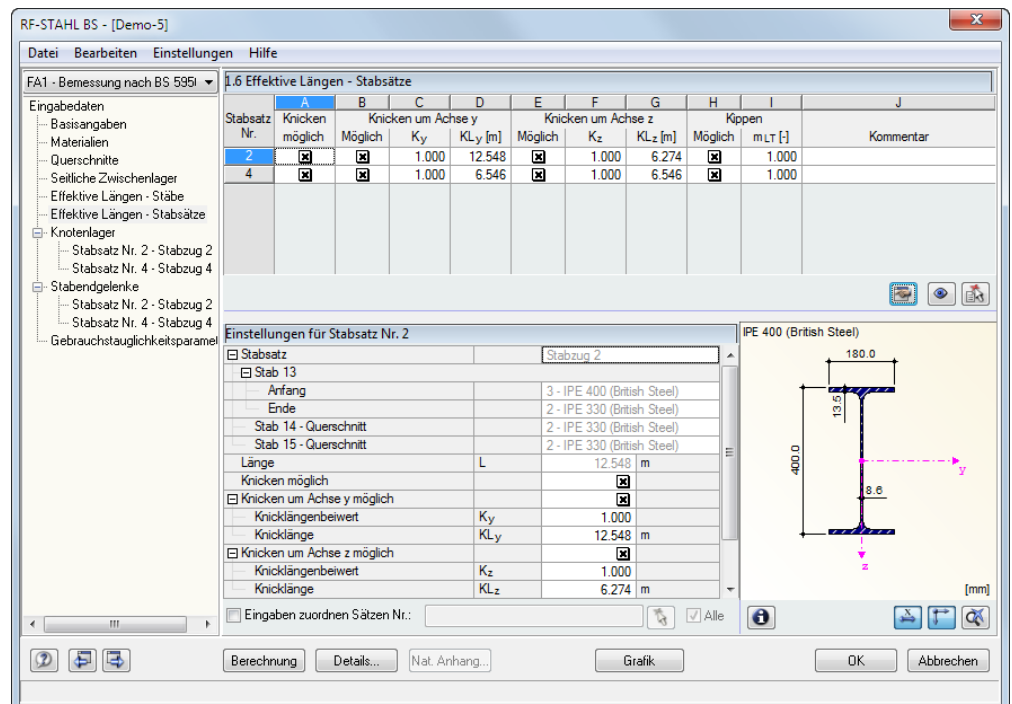
In der letzten Spalte können für jeden Stab benutzerdefinierte Anmerkungen erfolgen, um beispielsweise die gewählten Ersatzstablängen zu erläutern.



Unterhalb der *Einstellungen*-Tabelle 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 sich bereits getroffene Einstellungen mit dieser Funktion nicht nachträglich ändern lassen.

2.6 Effektive Längen - Stabsätze

Die Maske 1.6 verwaltet die effektiven Längen von Stabsätzen. Sie wird angezeigt, wenn in Maske 1.1 *Basisangaben* mindestens ein Stabsatz zur Bemessung ausgewählt wurde.



RF-STAHl BS - [Demo-5]

FA1 - Bemessung nach BS 5951

1.6 Effektive Längen - Stabsätze

Stabsatz Nr.	Knicken möglich	Knicken um Achse y	Knicken um Achse z	Kippen	m _{LT} [-]	Kommentar			
		Möglich	K _y	K _{L,y} [m]	Möglich	K _z	K _{L,z} [m]	Möglich	
2	☒	☒	1.000	12.548	☒	1.000	6.274	☒	1.000
4	☒	☒	1.000	6.546	☒	1.000	6.546	☒	1.000

Einstellungen für Stabsatz Nr. 2

Stabsatz: Stabzug 2

Stab 13

Anfang: 3 - IPE 400 (British Steel)

Ende: 2 - IPE 330 (British Steel)

Stab 14 - Querschnitt: 2 - IPE 330 (British Steel)

Stab 15 - Querschnitt: 2 - IPE 330 (British Steel)

Länge: L

Knicken möglich: ☒

Knicken um Achse y möglich: ☒

Knicklängenbeiwert: K_y = 1.000

Knicklänge: K_{L,y} = 12.548 m

Knicken um Achse z möglich: ☒

Knicklängenbeiwert: K_z = 1.000

Knicklänge: K_{L,z} = 6.274 m

Eingaben zuordnen Stäben Nr.: ☒ Alle

Berechnung Details... Nat. Anhang... Grafik OK Abbrechen

Diagramm: IPE 400 (British Steel) with dimensions 180.0, 13.5, 400.0, 8.6.

Bild 2.19: Maske 1.6 Effektive Längen - Stabsätze

Diese Maske ist wie die vorherige Maske 1.5 konzipiert. Die effektiven Längen für das Knicken um die beiden Hauptachsen des Stabsatzes sind wie beschrieben einzugeben.

Anders verhält es sich jedoch im Hinblick auf die Parameter für die Biegedrillknicknachweise: Diese sind über besondere Randbedingungen in den Masken 1.8 und 1.9 festzulegen.

2.7 Knotenlager



Die Stabilitätsuntersuchungen von Stabsätzen basieren auf den definierten Belastungen und Randbedingungen. Bei diesem Nachweis muss der Vergrößerungsfaktor α_{cr} des gesamten Stabsatzes bekannt sein, um die kritische Spannung p_E bestimmen zu können. Die Berechnung von α_{cr} , dem Verzweigungslastfaktor, ist auch von den Einstellungen im Dialog *Details* abhängig (siehe Kapitel 3.1, Seite 29).

Zur Ermittlung von α_{cr} wird ein ebenes Stabwerk mit vier Freiheitsgraden pro Knoten gebildet. Hierzu sind die Lagerbedingungen in Maske 1.7 festzulegen. Diese Maske wird angezeigt, wenn in Maske 1.1 *Basisangaben* mindestens ein Stabsatz zur Bemessung ausgewählt wurde.

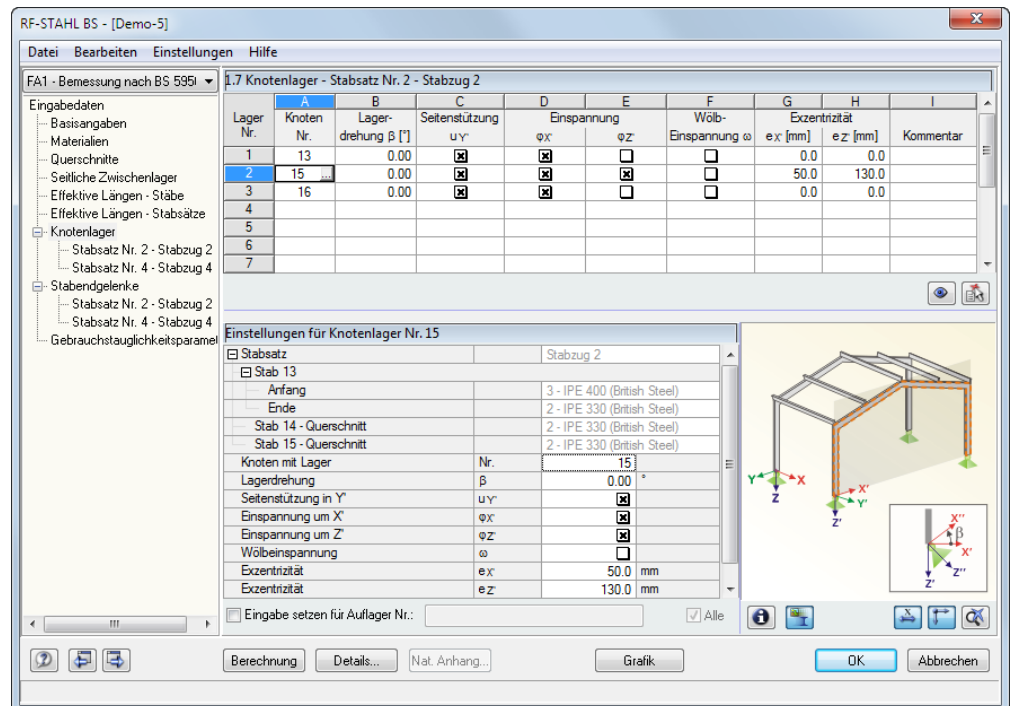


Bild 2.20: Maske 1.7 Knotenlager



Für die Definition der Knotenlager ist die Ausrichtung der Achsen im Stabsatz bedeutsam. Das Programm prüft intern die Lage der Knoten und legt dann gemäß Bild 2.21 bis Bild 2.24 die Achsen der jeweiligen Knotenlager für Maske 1.7 fest.

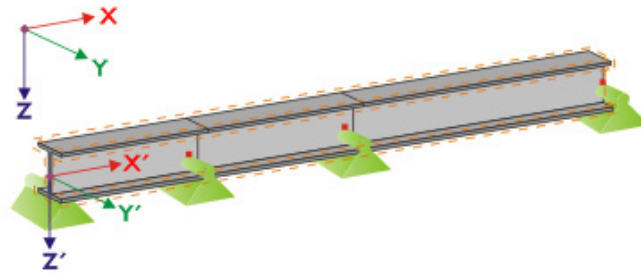


Bild 2.21: Hilfskoordinatensystem für Knotenlager – Gerader Stabsatz

Liegen alle Stäbe des Stabsatzes auf einer Geraden wie im Bild 2.21 gezeigt, so entspricht das lokale Koordinatensystem des ersten Stabes im Stabsatz dem Ersatzkoordinatensystem des Stabsatzes.

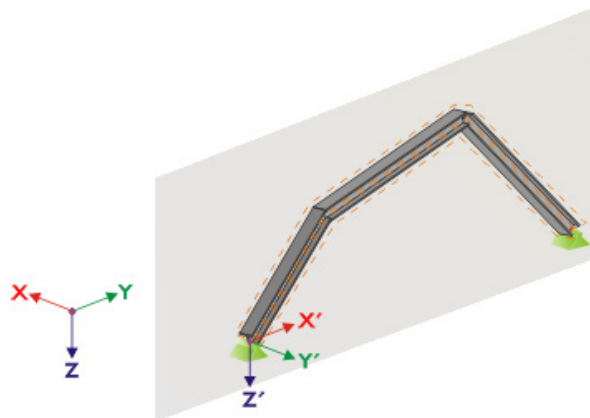


Bild 2.22: Hilfskoordinatensystem für Knotenlager – Stabsatz in vertikaler Ebene

Auch wenn Stäbe eines Stabsatzes nicht auf einer Geraden liegen, müssen sie trotzdem in einer Ebene liegen. In Bild 2.22 ist dies eine senkrechte Ebene. In diesem Fall ist die X' -Achse horizontal und in Richtung der Ebene ausgerichtet. Die Y' -Achse ist ebenfalls horizontal und rechtwinklig zur X' -Achse definiert. Die Z' -Achse zeigt senkrecht nach unten.

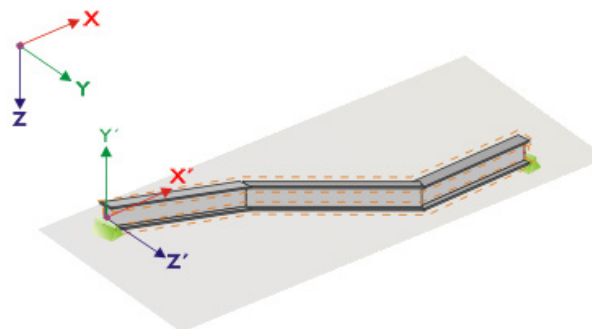


Bild 2.23: Hilfskoordinatensystem für Knotenlager – Stabsatz in horizontaler Ebene

Liegen die Stäbe des geknickten Stabsatzes in einer horizontalen Ebene, wird die X' -Achse parallel zur X -Achse des globalen Koordinatensystems definiert. Die Y' -Achse ist dann entgegengesetzt zur globalen Z -Achse und die Z' -Achse parallel zur globalen Y -Achse ausgerichtet.

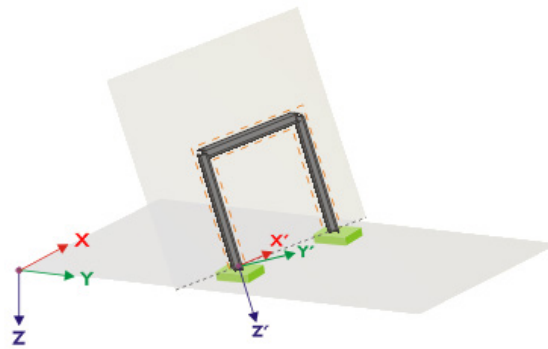


Bild 2.24: Hilfskoordinatensystem für Knotenlager – Stabsatz in geneigter Ebene

Bild 2.24 zeigt den allgemeinen Fall eines geknickten Stabsatzes: Die Stäbe liegen nicht auf einer Geraden, sondern in einer geneigten Ebene. Die Definition der X' -Achse ergibt sich aus der Verschneidungslinie zwischen schiefer Ebene und horizontaler Ebene. Die Y' -Achse ist dann rechtwinklig zur X' -Achse und senkrecht zur schiefer Ebene ausgerichtet. Die Z' -Achse wird rechtwinklig zur X' - und Y' -Achse definiert.

2.8 Stabendgelenke

Diese Maske ist nur verfügbar, wenn in Maske 1.1 *Basisangaben* mindestens ein Stabsatz zur Bemessung ausgewählt wurde. Ist ein im Stabsatz enthaltener Stab wegen seines Anschlusses nicht in der Lage, die in Maske 1.7 gesperrten Freiheitsgrade als Schnittgrößen weiterzugeben, so können dem Stab in Maske 1.8 Stabendgelenke zugewiesen werden. Dabei lässt sich in Spalte B festlegen, an welcher *Stabseite* das Gelenk wirken soll oder ob beide Stabseiten gelenkig auszubilden sind.

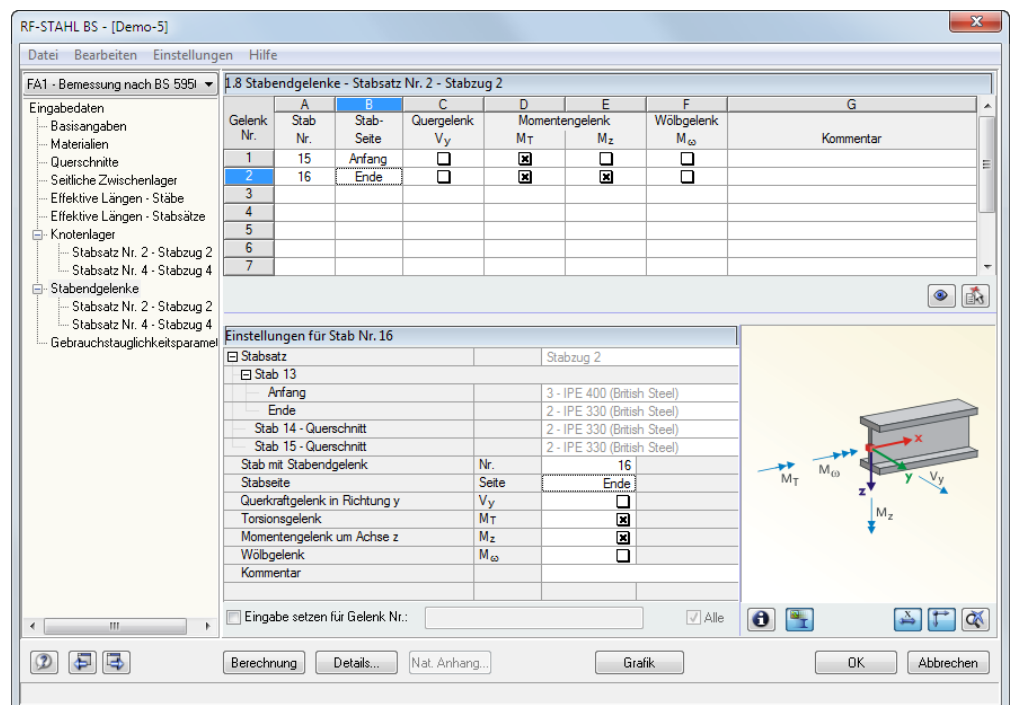
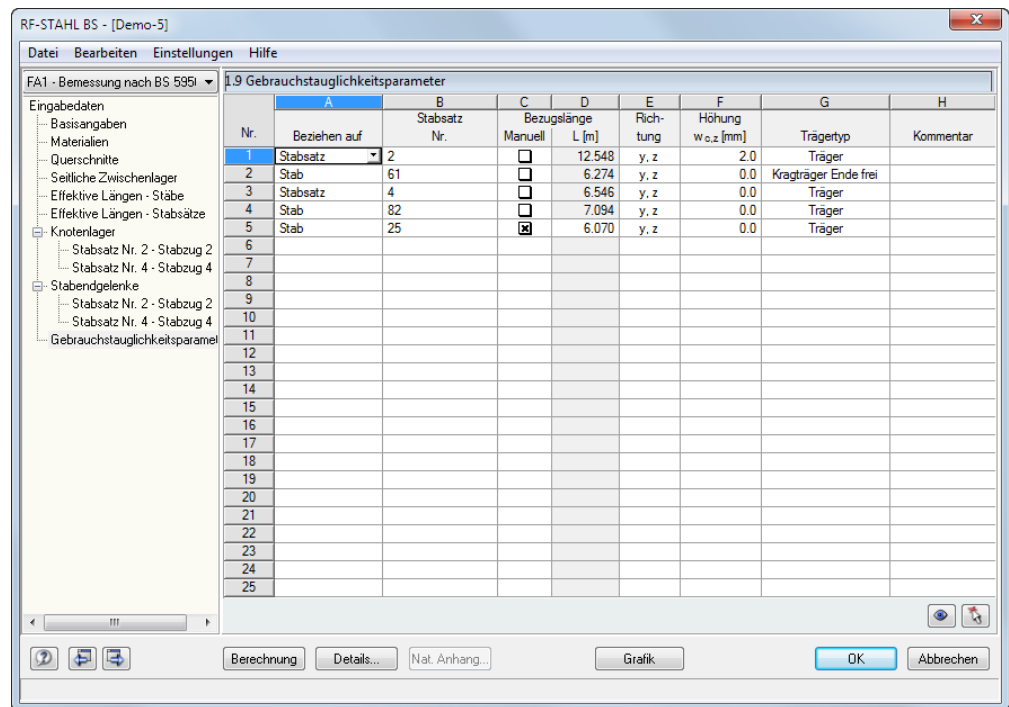


Bild 2.25: Maske 1.8 Stabendgelenke

2.9 Gebrauchstauglichkeitsparameter

Diese Eingabemaske steuert verschiedene Vorgaben für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit. Sie steht nur dann zur Verfügung, wenn im Register *Gebrauchstauglichkeit* der Maske 1.1 entsprechende Eingaben vorgenommen wurden (siehe Kapitel 2.1.2, Seite 10).



A	B	C	D	E	F	G	H
Nr.	Beziehen auf	Stabsatz Nr.	Bezugslänge	Richtung	Höhlung w.o.z [mm]	Trägertyp	Kommentar
			Manuell	L [m]			
1	Stabsatz	2	☐	12.548	y, z	2.0	Träger
2	Stab	61	☐	6.274	y, z	0.0	Kragträger Ende frei
3	Stabsatz	4	☐	6.546	y, z	0.0	Träger
4	Stab	82	☐	7.094	y, z	0.0	Träger
5	Stab	25	☒	6.070	y, z	0.0	Träger
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							

Bild 2.26: Maske 1.9 Gebrauchstauglichkeitsparameter

Spalte A steuert, ob die Verformung auf Einzelstäbe, Stablisten oder Stabsätze bezogen werden sollen.

In Spalte B sind die Nummern der nachzuweisenden Stäbe oder Stabsätze einzutragen bzw. über die [Pick]-Funktion im RFEM-Arbeitsfenster grafisch auszuwählen. Die entsprechende *Bezugslänge* wird dann automatisch in Spalte D eingetragen. Voreingestellt sind in dieser Spalte die Längen der Stäbe, Stabsätze bzw. Stablisten. Bei Bedarf können diese Werte nach Ankreuzen der Spalte C *Manuell* angepasst werden.

In Spalte E wird die maßgebende *Richtung* für den Verformungsnachweis festgelegt. Über Spalte F lässt sich ggf. eine *Überhöhung* w_0 berücksichtigen.

Für den richtigen Ansatz der Grenzverformungen ist der *Trägertyp* von entscheidender Bedeutung. In Spalte G kann ausgewählt werden, ob ein Träger oder Kragträger vorliegt.

Die Vorgabe im Dialog *Details*, Register *Gebrauchstauglichkeit* steuert, ob die Verformungen auf das unverformte Ausgangssystem oder die verschobenen Stab- bzw. Stabsatzenden bezogen werden (siehe Kapitel 3.1, Seite 30).

Details...

3. Berechnung

3.1 Detailsinstellungen

Berechnung

Details...

Die einzelnen Nachweise erfolgen mit den in RFEM ermittelten Schnittgrößen. Vor dem Start der [Berechnung] sollten die Bemessungsdetails überprüft werden. Der entsprechende Dialog ist in jeder Ein- und Ausgabemaske über die Schaltfläche [Details] zugänglich.

Der Dialog *Details* besteht aus den vier Registern *Tragsicherheit*, *Stabilität*, *Gebrauchstauglichkeit* und *Diverse*.

Tragfähigkeit

Einstellungen

Querschnitte, die der Klasse 1 oder 2 zugeordnet sind, werden von RF-STAHL BS plastisch bemessen. Ist dies nicht gewünscht, kann im Register *Tragfähigkeit* die *Elastische Bemessung* auch für diese Querschnittsklassen aktiviert werden.

Stabilität

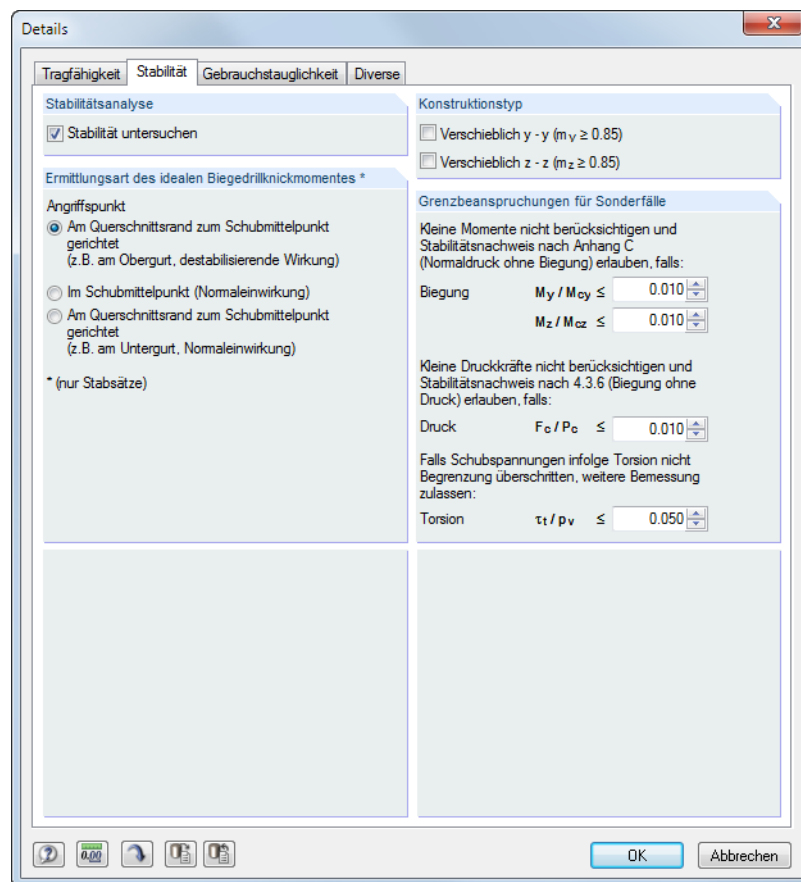


Bild 3.1: Dialog *Details*, Register *Stabilität*

Stabilitätsanalyse

Dieser Abschnitt steuert, ob generell ein *Stabilitätsnachweis* erfolgen soll. Wird der Haken entfernt, so werden die Eingabemasken 1.4 bis 1.8 nicht angezeigt.

Ermittlungsart des idealen Biegedrillknickmoments

Sind Querlasten vorhanden, so ist es wichtig zu definieren, wo diese Kräfte am Querschnitt angreifen. Je nach *Lastangriffspunkt* können Querlasten stabilisierend oder destabilisierend wirken und somit das ideale kritische Moment erheblich beeinflussen. Der Lastangriffspunkt wird global für alle Lasten im Bemessungsfall angesetzt.

Die kritische elastische Spannung p_E wird für Stabsätze automatisch berechnet.

Konstruktionstyp

Der Konstruktionstyp – *Verschieblich* oder *unverschieblich* – wirkt sich auf die Ermittlung von m_y und m_z aus. Bei einer verschieblichen Struktur werden m_y und m_z mit 0,85 angenommen.

Grenzbeanspruchungen für Sonderfälle

Es ist möglich, minimale Spannungen infolge kleiner Momente um die starke oder schwache Achse bzw. infolge kleiner Druckkräfte oder Torsion zu vernachlässigen, sodass vereinfachte Nachweise geführt werden können. In diesem Dialogabschnitt sind die Grenzverhältnisse von vorhandenen Schnittgrößen oder Spannungen zu den Widerstandswerten eines jeden Querschnitts angegeben, die bei Bedarf angepasst werden können.

Wird eine der Grenzen überschritten, erscheint ein Hinweis in der Ergebnismaske. Es erfolgt keine Stabilitätsanalyse. Die Querschnittsnachweise werden unabhängig davon ausgegeben. Diese Grenzeinstellungen sind nicht Teil des *British Standard*. Eine Änderung der Grenzen liegt im Verantwortungsbereich des Anwenders.

Gebrauchstauglichkeit

Gebrauchstauglichkeitsnachweis (Durchbiegung)

In den beiden Eingabefeldern des Registers *Gebrauchstauglichkeit* können die Grenzverformungen für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis überprüft und bei Bedarf angepasst werden. Für beidseitig gestützte Träger ist $L/360$, für Kragträger $L/180$ voreingestellt.

Die Auswahlfelder im Abschnitt *Verformung beziehen auf* steuern, ob die maximalen Verformungen auf das unverformte Ausgangssystem oder auf eine gedachte Verbindungslinie zwischen Stabanfang und Stabende im verformten System – die verschobenen Stab- bzw. Stabsatzenden – bezogen werden sollen.

Diverse

Querschnittsoptimierung

Falls die Optimierung nicht auf eine maximale Ausnutzung von 100 % abzielt, so kann in diesem Eingabefeld des Registers *Diverse* ein anderer Grenzwert vorgegeben werden.

Überprüfung der Stabschlankheiten

In den beiden Eingabefeldern können Grenzwerte KL/r zur Kontrolle der Stabschlankheiten festgelegt werden. Es sind getrennte Vorgaben für Stäbe mit reinen Zugkräften und für Stäbe mit Biegung und Druck möglich.

Der Vergleich der Grenzwerte mit den tatsächlichen Stabschlankheiten erfolgt in Maske 3.3. Diese Ergebnismaske ist nach der Berechnung verfügbar (siehe Kapitel 4.8, Seite 38), wenn das entsprechende Häkchen im Abschnitt rechts *Ergebnistabellen anzeigen* gesetzt ist.

Ergebnistabellen anzeigen

Hier kann ausgewählt werden, welche Ergebnismasken einschließlich Stückliste angezeigt werden sollen. Auf die einzelnen Ergebnismasken wird in Kapitel 4 eingegangen.

3.2 Start der Berechnung

Berechnung

In jeder Eingabemaske des Moduls RF-STAHl BS kann die [Berechnung] über die gleichnamige Schaltfläche gestartet werden.

RF-STAHl BS sucht nach den Ergebnissen der zu bemessenden Lastfälle, Lastfallgruppen und -kombinationen. 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 (siehe Kapitel 7.2, Seite 52) erfolgen soll, werden die erforderlichen Profile ermittelt und die entsprechenden Nachweise geführt.

Auch aus der RFEM-Oberfläche kann die Berechnung der RF-STAHl BS-Ergebnisse gestartet werden: Die Zusatzmodule werden im Dialog *Zu berechnen* wie ein Lastfall oder eine Lastfallgruppe aufgelistet. Dieser Dialog wird in RFEM aufgerufen über Menü

Berechnung → Zu berechnen.

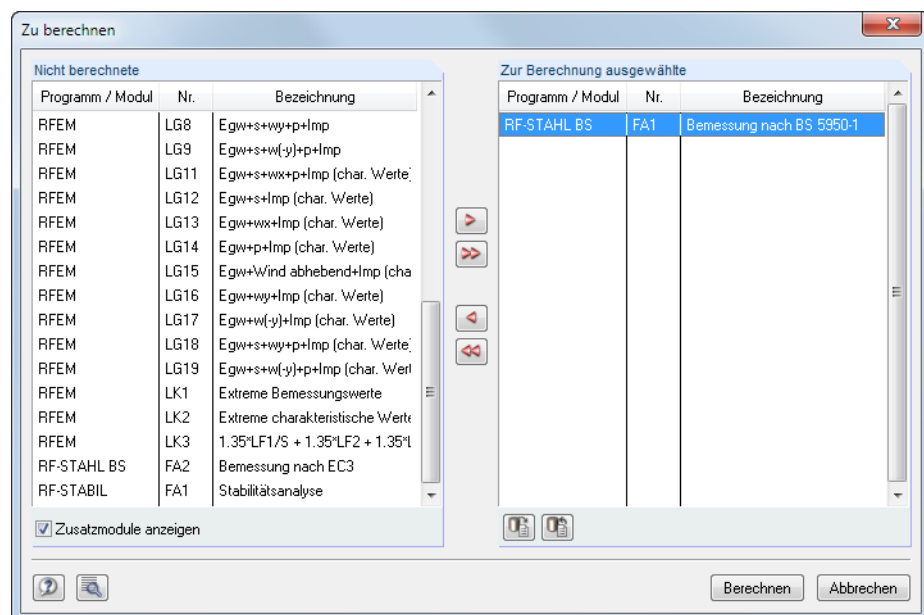


Bild 3.2: Dialog *Zu berechnen*

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

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

Ein Bemessungsfall kann auch über die Liste der Symbolleiste direkt berechnet werden: Stellen Sie den RF-STAHl BS-Fall ein und klicken dann die Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus] an.

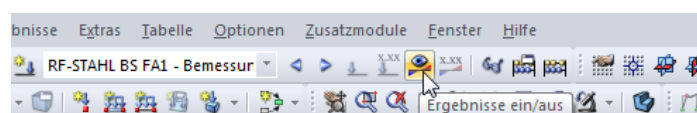


Bild 3.3: Direkte Berechnung eines RF-STAHl BS-Bemessungsfalls in RFEM

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

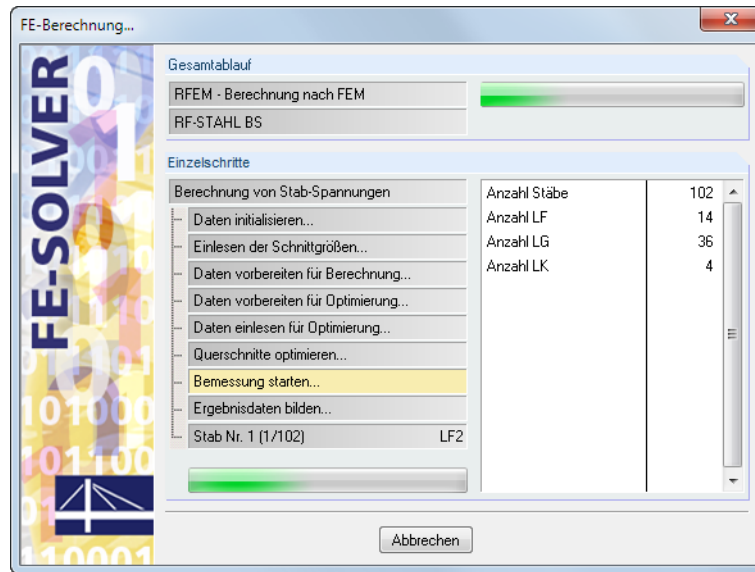


Bild 3.4: RF-STABL BS Berechnung

4. Ergebnisse

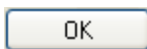
Unmittelbar nach der Berechnung erscheint die Maske 2.1 *Nachweise lastfallweise*. Der obere Teil dieser Ergebnismaske bietet eine Zusammenfassung der Nachweise für die einzelnen Lastfälle, Lastfallgruppen und Lastfallkombinationen. Der untere Teil enthält detaillierte Angaben zu Querschnittskenngößen, Bemessungsschnittgrößen und geführtem Nachweis für den Lastfall, der oben markiert ist.

In den Ergebnismasken 2.1 bis 2.5 werden die Nachweise nach diversen Kriterien geordnet ausgegeben. Die daran anschließenden Masken 3.1 und 3.2 beinhalten die maßgebenden Schnittgrößen, Maske 3.3 gibt Aufschluss über die Stabschlankheiten. In den letzten beiden Ergebnismasken 4.1 und 4.2 werden Stücklisten stab- oder stabsatzbezogen angezeigt.

Jede Ergebnismaske lässt sich über den RF-STAHl BS-Navigator direkt ansteuern. Alternativ werden die beiden links dargestellten Schaltflächen oder die Funktionstasten [F2] und [F3] benutzt, um eine Maske vor- oder zurückzublättern.

[OK] sichert die Ergebnisse. Das Modul RF-STAHl BS wird verlassen und man gelangt zurück in das RFEM-Arbeitsfenster.

Das Kapitel 4 *Ergebnisse* stellt die Ergebnismasken der Reihe nach vor. Die Auswertung und Überprüfung der Resultate ist im folgenden Kapitel 5 *Ergebnisauswertung* ab Seite 41 beschrieben.



4.1 Nachweise lastfallweise

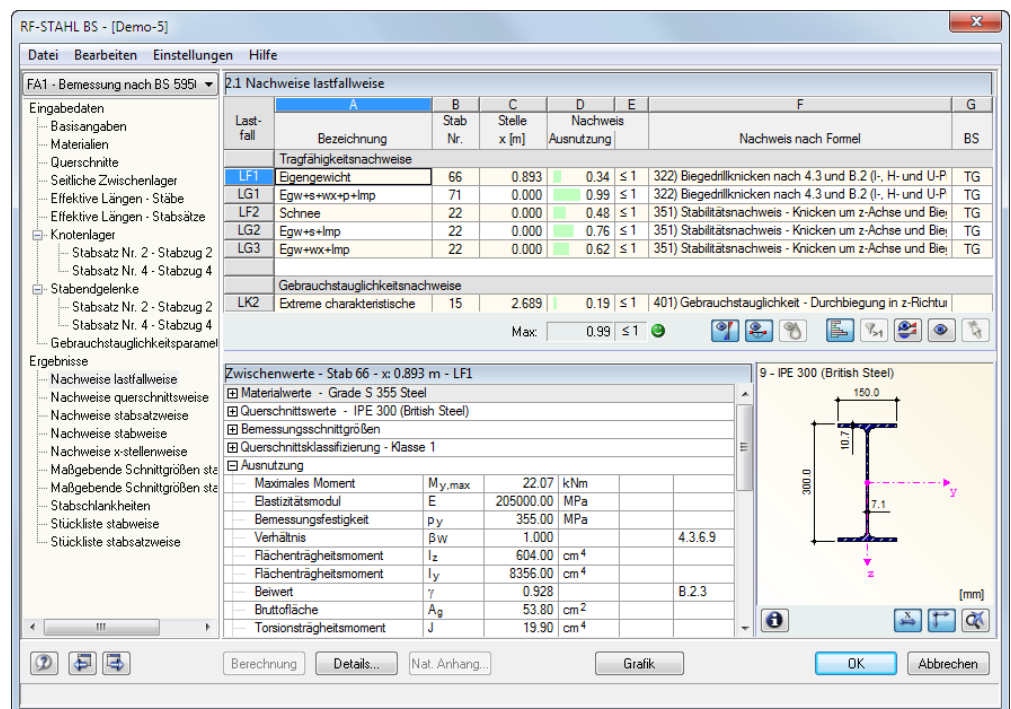


Bild 4.1: Maske 2.1 *Nachweise lastfallweise*

Bezeichnung

In dieser Spalte werden zur Information die Bezeichnungen der Lastfälle, LF-Gruppen und LF-Kombinationen angegeben, die für die jeweiligen Nachweise maßgebend sind.

Stab Nr.

Für jeden bemessenen Lastfall bzw. jede bemessene LF-Gruppe oder LF-Kombination wird die Nummer des Stabes angegeben, der die höchste Ausnutzung aufweist.

Stelle x

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

- Anfangs- und Endknoten
- Teilungspunkte gemäß eventuell vorgegebener Stabteilung
- Stabteilung gemäß Vorgabe für Stabergebnisse (RFEM-Dialog *Berechnungsparameter*, Register *Optionen*)
- Extremwerte der Schnittgrößen

Nachweis

Max: 0.92 ≤ 1

Für jede Nachweisart und für jeden Lastfall bzw. jede LF-Gruppe oder LF-Kombination werden jeweils die Nachweisbedingungen gemäß EN 1993-1-1 ausgegeben.

Die farbigen Balken veranschaulichen die Ausnutzungen infolge der einzelnen Lastfälle.

Nachweis nach Formel

Diese Spalte listet die Gleichungen der Norm auf, mit denen die Nachweise geführt wurden.

BS

Die letzte Spalte gibt Aufschluss über die jeweils nachweisrelevante *Bemessungssituation*: *TG* (Tragfähigkeit) oder eine der drei Bemessungssituationen für Gebrauchstauglichkeit (*CH*, *HÄ*, *QS*) gemäß Vorgabe in Maske 1.1 *Basisangaben* (siehe Bild 2.3, Seite 10).

4.2 Nachweise querschnittsweise

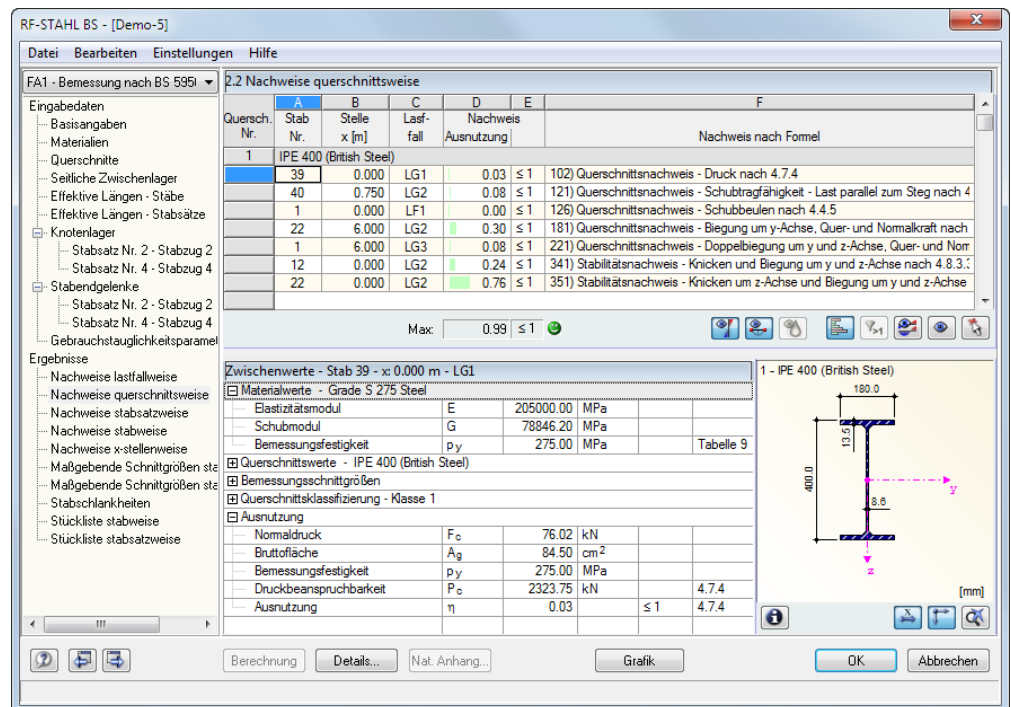


Bild 4.2: Maske 2.2 *Nachweise querschnittsweise*

Diese Maske listet die maximalen Ausnutzungen aller zur Bemessung gewählten Stäbe und Einwirkungen nach Querschnitten geordnet auf.

Liegt eine Voute vor, werden beide Querschnittsbezeichnungen in der Zeile neben der Querschnittsnummer angegeben.

4.3 Nachweise stabsatzweise

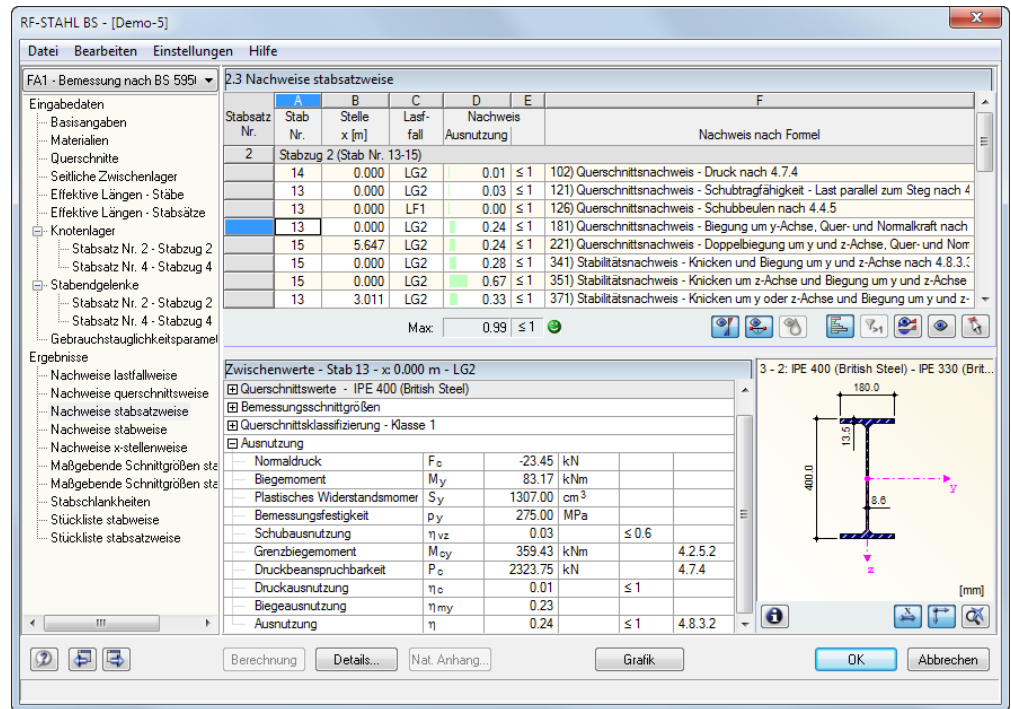


Bild 4.3: Maske 2.3 Nachweise stabsatzweise

Diese Ergebnismaske wird angezeigt, wenn mindestens ein Stabsatz zur Bemessung ausgewählt wurde. Die maximalen Ausnutzungen sind nach Stabsätzen geordnet aufgelistet. In Spalte *Stab Nr.* wird die Nummer des Stabes im Stabsatz angegeben, der die höchste Ausnutzung aufweist.

Bei einer stabsatzweisen Ausgabe liegt der Nachweis übersichtlich in einer Ergebnismaske für eine ganze Baugruppe vor (z. B. einen Rahmen).

4.4 Nachweise stabweise

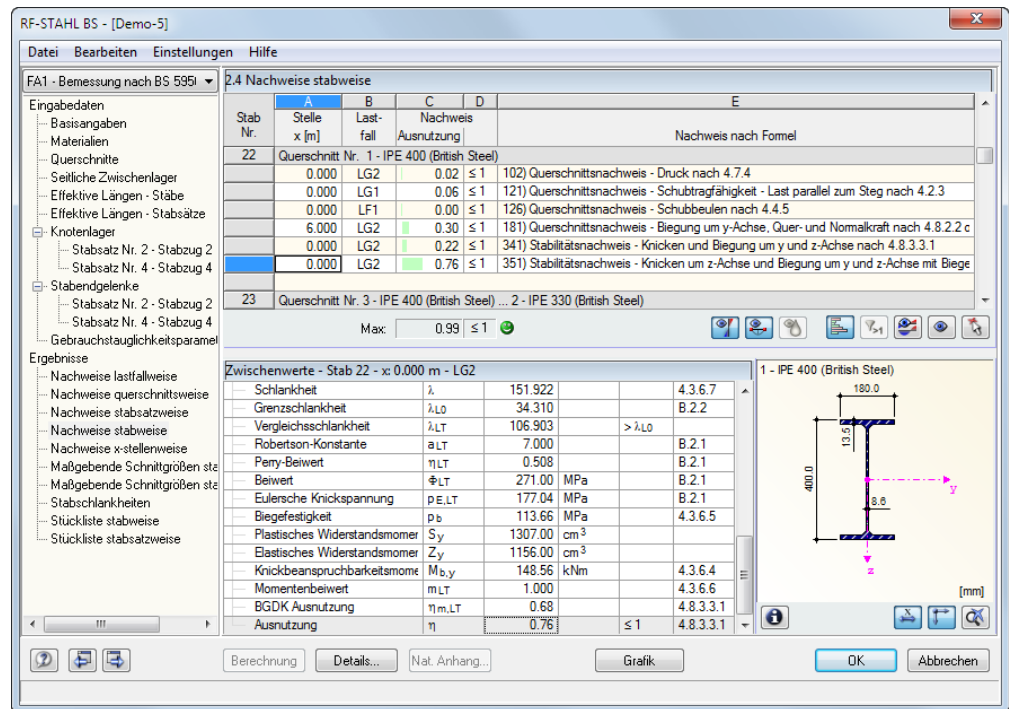


Bild 4.4: Maske 2.4 Nachweise stabweise

Diese Ergebnismaske präsentiert die maximalen Ausnutzungen nach Stabnummern geordnet. Die einzelnen Spalten sind im Kapitel 4.1 ab Seite 33 erläutert.

4.5 Nachweise x-stellenweise

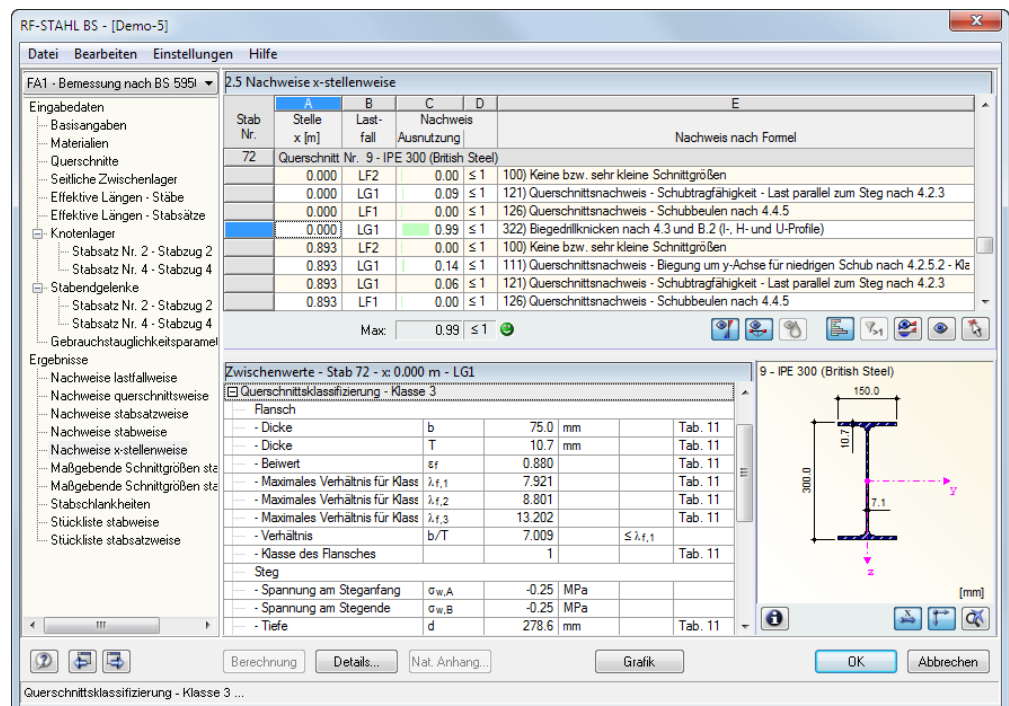


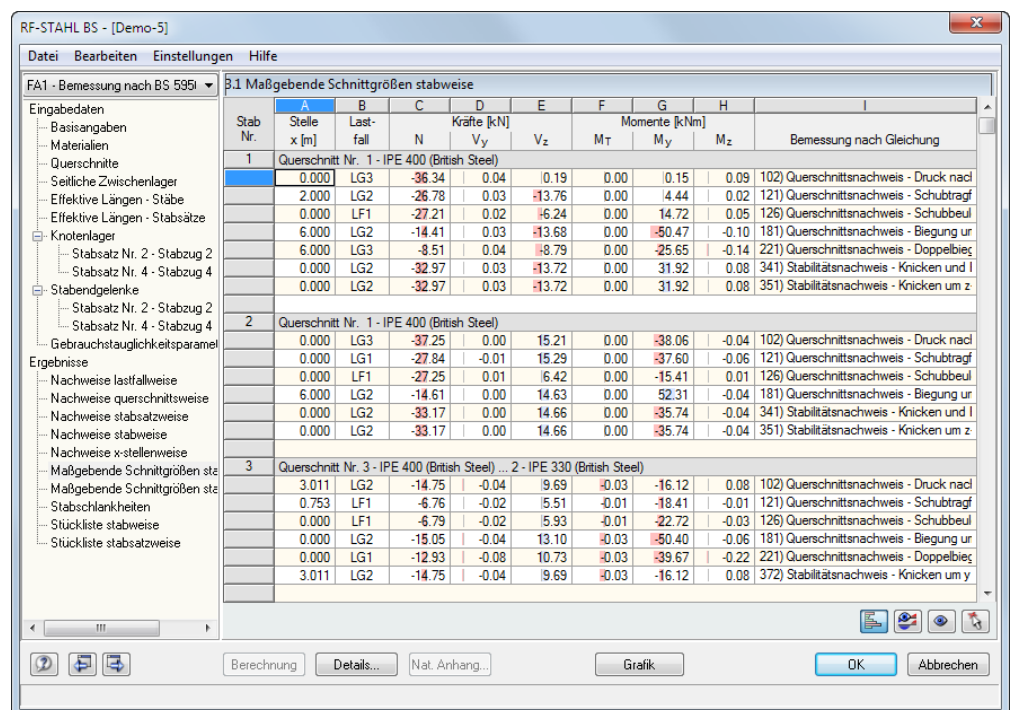
Bild 4.5: Maske 2.5 Nachweise x-stellenweise

Diese Ergebnismaske listet die Maxima für jeden Stab an den Stellen x auf, die sich aus den Teilungspunkten von RFEM ergeben:

- Anfangs- und Endknoten
- Teilungspunkte gemäß eventuell vorgegebener Stabteilung
- Stabteilung gemäß Vorgabe für Stabergebnisse (RFEM-Dialog *Berechnungsparameter*, Register *Optionen*)
- Extremwerte der Schnittgrößen

4.6 Maßgebende Schnittgrößen stabweise

Diese Maske weist für jeden Stab die maßgebenden Schnittgrößen aus. Hier handelt es sich um die Schnittgrößen, die zur maximalen Ausnutzung führen.



Stab Nr.	Stelle x [m]	Lastfall	N	V _y	V _z	M _T	M _y	M _z	Bemessung nach Gleichung
1	0.000	LG3	-36.34	0.04	0.19	0.00	0.15	0.09	102) Querschnittsnachweis - Druck nach
	2.000	LG2	-26.78	0.03	13.76	0.00	4.44	0.02	121) Querschnittsnachweis - Schubtragf
	0.000	LF1	-27.21	0.02	16.24	0.00	14.72	0.05	126) Querschnittsnachweis - Schubbeul
	6.000	LG2	-14.41	0.03	13.68	0.00	-50.47	-0.10	181) Querschnittsnachweis - Biegung ur
	6.000	LG3	-8.51	0.04	18.79	0.00	-25.65	-0.14	221) Querschnittsnachweis - Doppelbieg
	0.000	LG2	-32.97	0.03	13.72	0.00	31.92	0.08	341) Stabilitätsnachweis - Knicken und I
	0.000	LG2	-32.97	0.03	13.72	0.00	31.92	0.08	351) Stabilitätsnachweis - Knicken um z
2	0.000	LG3	-37.25	0.00	15.21	0.00	-38.06	-0.04	102) Querschnittsnachweis - Druck nach
	0.000	LG1	-27.84	-0.01	15.29	0.00	-37.60	-0.06	121) Querschnittsnachweis - Schubtragf
	0.000	LF1	-27.25	0.01	6.42	0.00	-15.41	0.01	126) Querschnittsnachweis - Schubbeul
	6.000	LG2	-14.61	0.00	14.63	0.00	52.31	-0.04	181) Querschnittsnachweis - Biegung ur
	0.000	LG2	-33.17	0.00	14.66	0.00	-35.74	-0.04	341) Stabilitätsnachweis - Knicken und I
	0.000	LG2	-33.17	0.00	14.66	0.00	-35.74	-0.04	351) Stabilitätsnachweis - Knicken um z
3	3.011	LG2	-14.75	-0.04	9.69	-0.03	-16.12	0.08	102) Querschnittsnachweis - Druck nach
	0.753	LF1	-6.76	-0.02	5.51	-0.01	-18.41	-0.01	121) Querschnittsnachweis - Schubtragf
	0.000	LF1	-6.79	-0.02	5.93	-0.01	-22.72	-0.03	126) Querschnittsnachweis - Schubbeul
	0.000	LG2	-15.05	-0.04	13.10	-0.03	-50.40	-0.06	181) Querschnittsnachweis - Biegung ur
	0.000	LG1	-12.93	-0.08	10.73	-0.03	-39.67	-0.22	221) Querschnittsnachweis - Doppelbieg
	3.011	LG2	-14.75	-0.04	9.69	-0.03	-16.12	0.08	372) Stabilitätsnachweis - Knicken um y

Bild 4.6: Maske 3.1 Maßgebende Schnittgrößen stabweise

Stelle x

Es wird jeweils die x -Stelle im Stab angegeben, an der die maximale Ausnutzung vorliegt.

Lastfall

In dieser Spalte erscheinen die Nummern des Lastfalls bzw. der Lastfallgruppe oder Lastfallkombination, deren Schnittgrößen am Stab zur maximalen Ausnutzung führen.

Kräfte / Momente

Es werden für jeden Stab die maßgebenden Normal- und Querkräfte sowie Torsions- und Biegemomente ausgegeben.

Nachweis nach Formel

Die letzte Spalte gibt Auskunft über die Nachweisarten und Gleichungen der Norm, mit denen die Nachweise geführt wurden.

4.7 Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise

RF-STAHL BS - [Demo-5]

FA1 - Bemessung nach BS 5951

3.2 Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise

Stabsatz Nr.	Stelle x [m]	Lastfall	N	Kräfte [kN] V _y	V _z	Momente [kNm] M _T	M _y	M _z	Bemessung nach Gleichung
2	0.000	LG2	-23.16	-0.02	15.72	-0.01	-30.79	0.02	102) Querschnittsnachweis - Druck nach
	0.000	LG2	-23.45	-0.02	19.08	-0.01	-83.17	-0.05	121) Querschnittsnachweis - Schubtragf
	0.000	LF1	-9.67	-0.01	8.07	0.00	-34.06	-0.03	126) Querschnittsnachweis - Schubbeul
	0.000	LG2	-23.45	-0.02	19.08	-0.01	-83.17	-0.05	181) Querschnittsnachweis - Biegung ur
	5.647	LG2	-20.68	0.06	0.10	0.00	48.35	-0.28	221) Querschnittsnachweis - Doppelbieg
	0.000	LG2	-21.70	0.07	11.88	0.00	14.47	0.11	341) Stabilitätsnachweis - Knicken und I
	0.000	LG2	-21.70	0.07	11.88	0.00	14.47	0.11	351) Stabilitätsnachweis - Knicken um z
	3.011	LG2	-23.15	-0.02	15.73	-0.01	-30.79	0.02	371) Stabilitätsnachweis - Knicken um y
	0.000	LG2	-23.16	-0.02	15.72	-0.01	-30.79	0.02	372) Stabilitätsnachweis - Knicken um y
	0.000	LK2	-15.61	-0.01	12.71	-0.01	-55.45	-0.03	400) Gebrauchstauglichkeit - Keine oder
	2.689	LK2	-14.14	0.05	4.18	0.00	25.69	-0.05	401) Gebrauchstauglichkeit - Durchbieg
	4.392	LK2	-13.92	0.04	1.69	0.00	30.96	-0.13	402) Gebrauchstauglichkeit - Durchbieg
4	1.064	LF1	-0.44	-0.05	-0.04	0.00	0.07	-0.11	100) Keine bzw. sehr kleine Schnittgröß
	0.000	LG1	-80.92	1.02	-0.08	0.00	0.44	2.49	102) Querschnittsnachweis - Druck nach
	0.000	LG1	-0.57	-0.20	-0.08	0.00	0.27	-0.72	116) Querschnittsnachweis - Biegung ur
	2.550	LG3	-39.43	1.79	-0.11	0.00	0.25	0.01	123) Querschnittsnachweis - Schubtragf
	0.000	LG3	-1.03	-0.22	-0.09	0.00	0.33	-0.78	161) Querschnittsnachweis - Doppelbieg
	3.000	LG1	-80.43	1.09	-0.09	0.00	0.18	-0.73	201) Querschnittsnachweis - Biegung ur
	0.000	LG3	-40.18	1.72	-0.11	0.00	0.53	4.52	221) Querschnittsnachweis - Doppelbieg
	0.000	LF1	-29.75	0.06	-0.05	0.00	0.18	0.00	301) Stabilitätsnachweis - Biegeknicken
	0.000	LF1	-29.75	0.06	-0.05	0.00	0.18	0.00	311) Stabilitätsnachweis - Biegeknicken
	0.000	LG1	-80.92	1.02	-0.08	0.00	0.44	2.49	341) Stabilitätsnachweis - Knicken und I

Bild 4.7: Maske 3.2 Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise

Diese Maske weist die maßgebenden Schnittgrößen aus, die in jedem Stabsatz zu den höchsten Ausnutzungen führen.

4.8 Stabschlankheiten

RF-STAHL BS - [Demo-5]

FA1 - Bemessung nach BS 5951

3.3 Stabschlankheiten

Stab Nr.	Beanspruchung	Länge L [m]	K _y	Starke Achse y r _y [mm]	K _{L_y/r_y}	K _z	Schwache Achse z r _z [mm]	K _{L_z/r_z}
1	Druck/Biegung	6.000	1.000	165.4	36.265	1.000	39.5	151.922
2	Druck/Biegung	6.000	1.000	165.4	36.265	1.000	39.5	151.922
3	Druck/Biegung	3.011	1.000	137.1	21.961	1.000	35.5	84.876
4	Druck/Biegung	3.262	1.000	137.1	23.793	1.000	35.5	91.954
5	Druck/Biegung	6.274	1.000	137.1	45.755	1.000	35.5	176.835
6	Druck/Biegung	6.274	1.000	137.1	45.755	1.000	35.5	176.835
7	Druck/Biegung	3.262	1.000	137.1	23.793	1.000	35.5	91.954
8	Druck/Biegung	3.011	1.000	137.1	21.961	1.000	35.5	84.876
11	Druck/Biegung	6.000	1.000	165.4	36.265	1.000	39.5	151.922
12	Druck/Biegung	6.000	1.000	165.4	36.265	1.000	39.5	151.922
13	Druck/Biegung	3.011	1.000	137.1	21.961	1.000	35.5	84.876
14	Druck/Biegung	3.262	1.000	137.1	23.793	1.000	35.5	91.954
15	Druck/Biegung	6.274	1.000	137.1	45.755	1.000	35.5	176.835
16	Druck/Biegung	6.274	1.000	137.1	45.755	1.000	35.5	176.835
17	Druck/Biegung	3.262	1.000	137.1	23.793	1.000	35.5	91.954
18	Druck/Biegung	3.011	1.000	137.1	21.961	1.000	35.5	84.876
21	Druck/Biegung	6.000	1.000	165.4	36.265	1.000	39.5	151.922
22	Druck/Biegung	6.000	1.000	165.4	36.265	1.000	39.5	151.922
23	Druck/Biegung	3.011	1.000	137.1	21.961	1.000	35.5	84.876
24	Druck/Biegung	3.262	1.000	137.1	23.793	1.000	35.5	91.954
25	Druck/Biegung	6.274	1.000	137.1	45.755	1.000	35.5	176.835
26	Druck/Biegung	6.274	1.000	137.1	45.755	1.000	35.5	176.835

Stäbe mit Druck / Biegung:
 Max K_{L_y/r_y}: 161.515 ≤ 200
 Max K_{L_z/r_z}: 186.532 ≤ 200

Bild 4.8: Maske 3.3 Stabschlankheiten

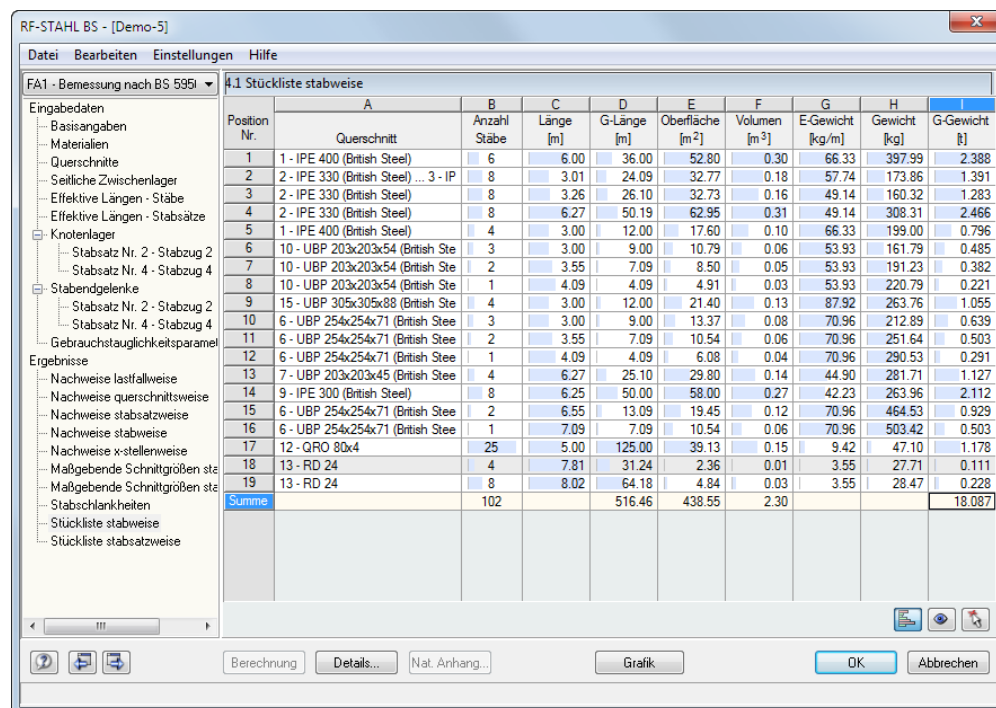
Details...

Die Tabelle listet die wirksamen Schlankheitsgrade der bemessenen Stäbe für beide Hauptrichtungen in Abhängigkeit von der Lastart auf und vergleicht sie mit den Werten, die im Dialog *Details* festgelegt wurden (siehe Kapitel 0, Seite 30). Die Tabelle dient nur der Information, denn es ist keine Stabilitätsbemessung der Schlankheiten vorgesehen.

Stäbe des Typs „Zugstab“ oder „Seil“ sind in dieser Tabelle ausgeblendet.

4.9 Stückliste stabweise

Abschließend erscheint eine Bilanz der im Bemessungsfall behandelten Querschnitte.



Position Nr.	Querschnitt	Anzahl Stäbe	Länge [m]	G-Länge [m]	Oberfläche [m²]	Volumen [m³]	E-Gewicht [kg/m]	Gewicht [kg]	G-Gewicht [t]
1	1 - IPE 400 (British Steel)	6	6.00	36.00	52.80	0.30	66.33	397.99	2.388
2	2 - IPE 330 (British Steel) ... 3 - IP	8	3.01	24.09	32.77	0.18	57.74	173.86	1.391
3	2 - IPE 330 (British Steel)	8	3.26	26.10	32.73	0.16	49.14	160.32	1.283
4	2 - IPE 330 (British Steel)	8	6.27	50.19	62.95	0.31	49.14	308.31	2.466
5	1 - IPE 400 (British Steel)	4	3.00	12.00	17.60	0.10	66.33	199.00	0.796
6	10 - UBP 203x203x54 (British Ste	3	3.00	9.00	10.79	0.06	53.93	161.79	0.485
7	10 - UBP 203x203x54 (British Ste	2	3.55	7.09	8.50	0.05	53.93	191.23	0.382
8	10 - UBP 203x203x54 (British Ste	1	4.09	4.09	4.91	0.03	53.93	220.79	0.221
9	15 - UBP 305x305x88 (British Ste	4	3.00	12.00	21.40	0.13	87.92	263.76	1.055
10	6 - UBP 254x254x71 (British Stee	3	3.00	9.00	13.37	0.08	70.96	212.89	0.639
11	6 - UBP 254x254x71 (British Stee	2	3.55	7.09	10.54	0.06	70.96	251.64	0.503
12	6 - UBP 254x254x71 (British Stee	1	4.09	4.09	6.08	0.04	70.96	290.53	0.291
13	7 - UBP 203x203x45 (British Stee	4	6.27	25.10	29.80	0.14	44.90	281.71	1.127
14	9 - IPE 300 (British Steel)	8	6.25	50.00	58.00	0.27	42.23	263.96	2.112
15	6 - UBP 254x254x71 (British Stee	2	6.55	13.09	19.45	0.12	70.96	464.53	0.929
16	6 - UBP 254x254x71 (British Stee	1	7.09	7.09	10.54	0.06	70.96	503.42	0.503
17	12 - QRO 80x4	25	5.00	125.00	39.13	0.15	9.42	47.10	1.178
18	13 - RD 24	4	7.81	31.24	2.36	0.01	3.55	27.71	0.111
19	13 - RD 24	8	8.02	64.18	4.84	0.03	3.55	28.47	0.228
Summe		102		516.46	438.55	2.30			18.087

Bild 4.9: Maske 4.1 *Stückliste stabweise*

Details...

Als Standard werden in dieser Liste nur die bemessenen Stäbe erfasst. Wird eine Stückliste für alle Stäbe der Struktur gewünscht, so kann dies im Register *Diverse* des Dialogs *Details* eingestellt werden (siehe Kapitel 3.1, Seite 30). Der Dialog wird über die gleichnamige Schaltfläche aufgerufen.

Position Nr.

Es werden automatisch Positionsnummern für gleichartige Stäbe vergeben.

Querschnitt

In dieser Spalte werden die Querschnittsnummern und -bezeichnungen 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 sowie 2.1 bis 2.5 bei den Querschnittsinformationen kontrolliert werden (siehe Bild 2.13, Seite 18).

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

Die Werte dieser Spalte ermitteln sich aus dem Produkt der Spalten C und G.

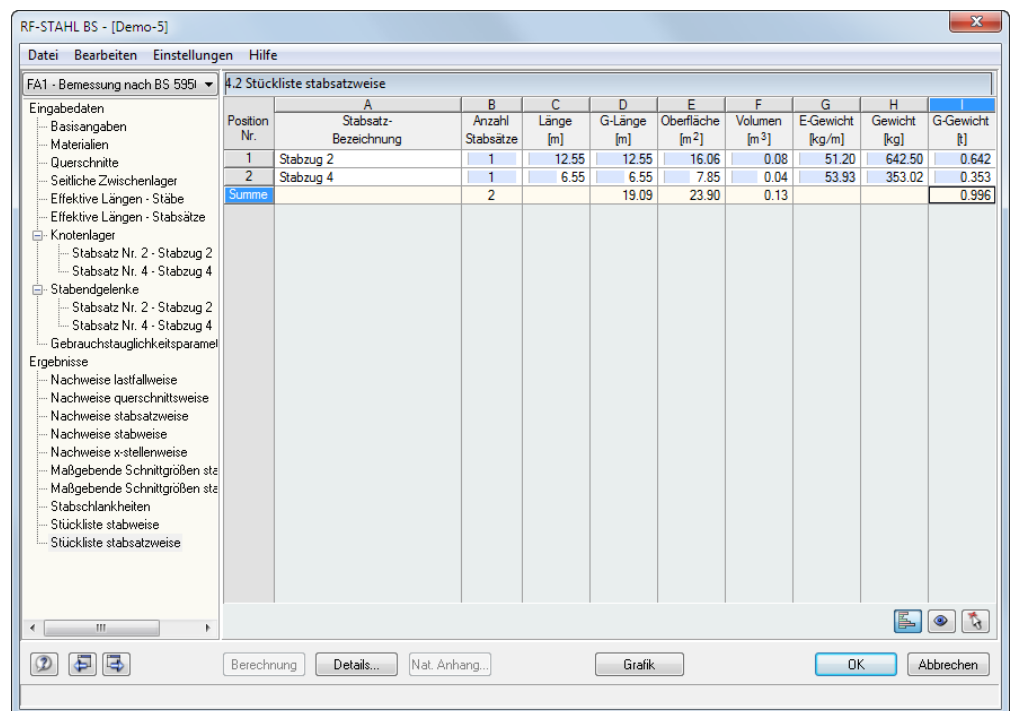
G-Gewicht

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

Summe

Am unteren Ende der Liste findet sich eine Bilanz mit den Summen der Spalten B, D, E, F und I. Das Feld *G-Gewicht* gibt Aufschluss über die insgesamt benötigte Stahlmasse.

4.10 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 [t]
1	Stabsatz 2	1	12.55	12.55	16.06	0.08	51.20	642.50	0.642
2	Stabsatz 4	1	6.55	6.55	7.85	0.04	53.93	353.02	0.353
Summe		2		19.09	23.90	0.13			0.996

Bild 4.10: Maske 4.2 *Stückliste stabsatzweise*

Die letzte RF-STAHl BS-Maske wird angezeigt, wenn mindestens ein Stabsatz zur Bemessung ausgewählt wurden. Sie bietet eine zusammenfassende Stückliste für eine ganze Baugruppe (z. B. einen Riegel).

Die einzelnen Spalten sind im vorherigen Kapitel 4.9 erläutert. Bei unterschiedlichen Querschnitten im Stabsatz werden Oberfläche, Volumen und Einheitsgewicht gemittelt.

5. Ergebnisauswertung

Nach der Bemessung bestehen verschiedene Möglichkeiten, die Ergebnisse auszuwerten. Hierfür erweisen sich die Schaltflächen am Ende der oberen Tabelle hilfreich.

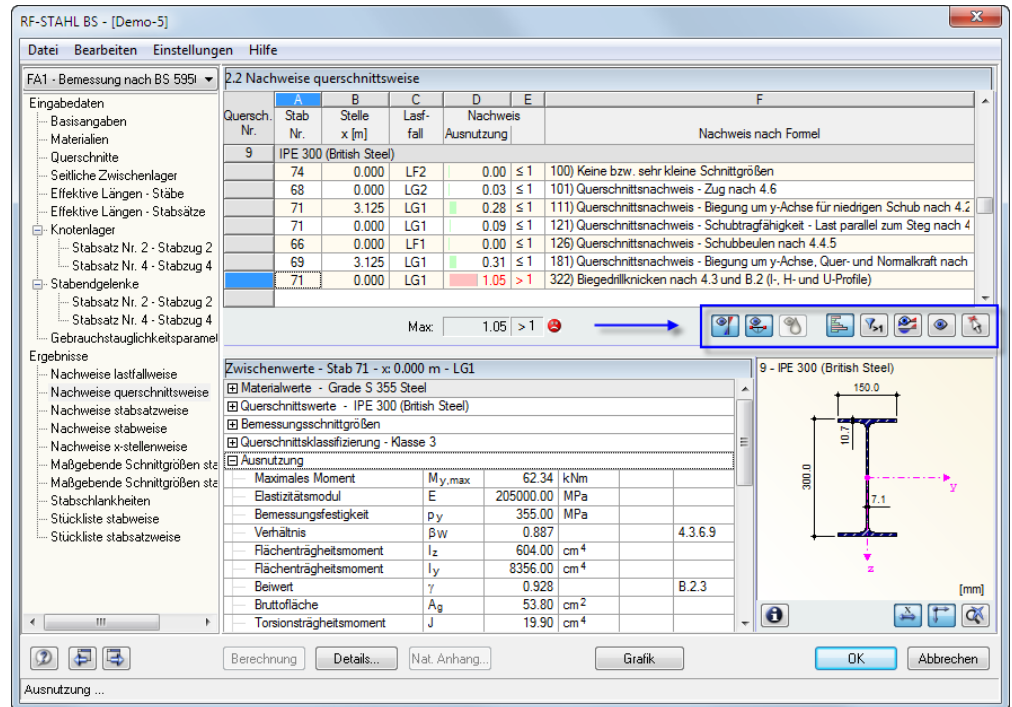


Bild 5.1: Schaltflächen zur Ergebnisauswertung

Die Schaltflächen sind mit folgenden Funktionen belegt:

Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Tragfähigkeitsnachweis	Blendet die Ergebnisse des Tragfähigkeitsnachweises ein und aus
	Gebrauchstauglichkeitsnachweis	Blendet die Ergebnisse des Gebrauchstauglichkeitsnachweises ein und aus
	Relationsbalken	Blendet die farbigen Bezugsskalen in den Ergebnismasken 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 5.2, Seite 45
	Sichtmodus	Ermöglicht den Sprung in das RFEM-Arbeitsfenster, um die Ansicht zu ändern
	Stabauswahl	Ermöglicht die Auswahl eines Stabes im RFEM-Arbeitsfenster, um dessen Ergebnisse in der Tabelle anzuzeigen

Tabelle 5.1: Schaltflächen in den Ergebnismasken 2.1 bis 2.5

5.1 Ergebnisse am RFEM-Modell

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

RFEM-Hintergrundgrafik und Sichtmodus

Die RFEM-Grafik im Hintergrund kann hilfreich sein, um die Lage eines bestimmten Stabes im Modell zu kontrollieren. Der in der RF-STAHl BS-Ergebnismaske selektierte Stab wird in der RFEM-Hintergrundgrafik farbig hervorgehoben. Ein Pfeil kennzeichnet zusätzlich die x-Stelle am Stab, die in der aktuellen Tabellenzeile als maßgebend ausgewiesen ist.

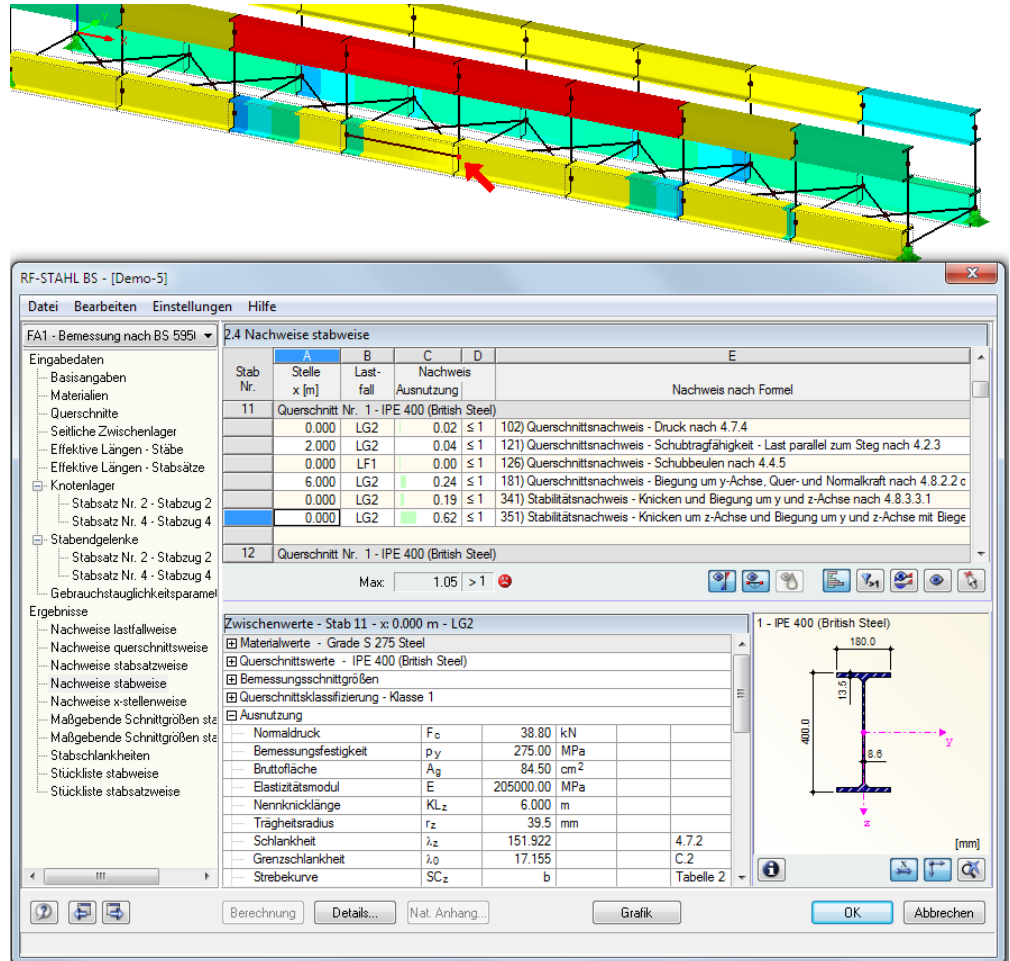


Bild 5.2: Kennzeichnung des Stabes und der aktuellen Stelle x im RFEM-Modell

Falls sich eine ungünstige Ansicht durch das Verschieben des RF-STAHl BS-Fensters nicht beheben lässt, kann über die Schaltfläche [Ansicht ändern] der so genannte *Sichtmodus* aktiviert werden: Das RF-STAHl BS-Fenster wird ausgeblendet und in der RFEM-Oberfläche kann nun die Ansicht angepasst werden. Im Sichtmodus stehen die Funktionen des Menüs *Ansicht* zur Verfügung, z. B. Zoomen, Verschieben oder Drehen der Ansicht.

Mit [Zurück] erfolgt die Rückkehr in das Modul RF-STAHl BS.

RFEM-Arbeitsfenster

Die Ausnutzungsgrade lassen sich auch direkt am Strukturmodell visualisieren: Klicken Sie die Schaltfläche [Grafik] an, um das Modul RF-STAHl BS verlassen. Im RFEM-Arbeitsfenster werden die Ausnutzungen wie die Schnittgrößen eines Lastfalls dargestellt.

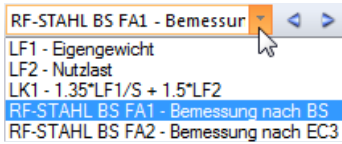


Information

Sie befinden sich im Sichtmodus.

Zurück

Grafik



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-STAHl BS-Ergebnisse keine Funktion haben, können sie ggf. deaktiviert werden.

Die Bemessungsfälle lassen sich wie gewohnt in der Liste der RFEM-Menüleiste einstellen.

Die Darstellung der Ergebnisse kann im Zeigen-Navigator unter dem Eintrag *Ergebnisse* → *Stäbe* gesteuert werden. Standardmäßig werden die Ausnutzungen *zweifarb* angezeigt.

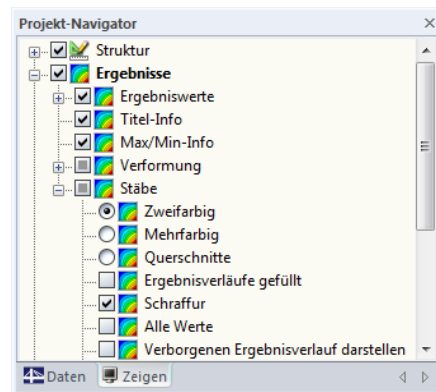


Bild 5.3: Zeigen-Navigator: Ergebnisse → Stäbe



Bei einer mehrfarbigen Darstellung (Optionen *Querschnitte farbig* oder *Mehrfarb*) steht das Farbpanel mit den üblichen Steuerungsmöglichkeiten zur Verfügung. Die Funktionen sind im RFEM-Handbuch, Kapitel 4.4.6 ab Seite 77 ausführlich beschrieben.

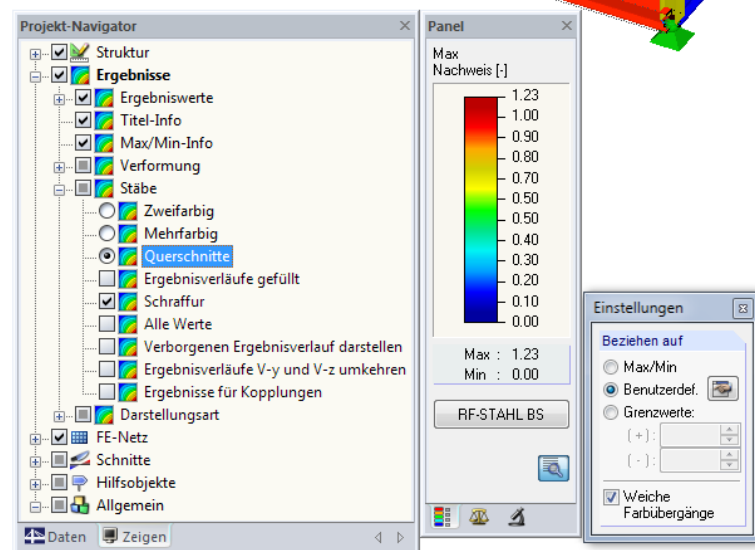
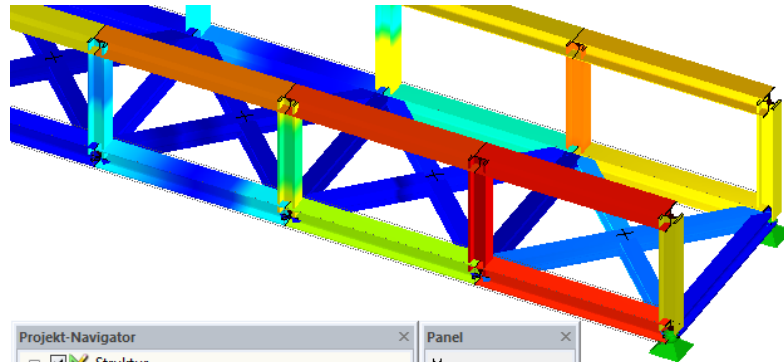
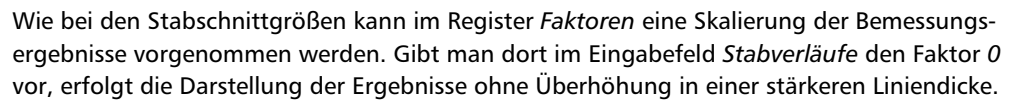


Bild 5.4: Ausnutzungsgrade mit Darstellungsoption *Querschnitte*



RF-STAHLS BS

Über die Schaltfläche [RF-STAHL BS] im Panel erfolgt die Rückkehr in das Zusatzmodul.

5.2 Ergebnisverläufe



Das Ergebnisdiagramm ist nützlich, um für einen Stab den Ergebnisverlauf grafisch abzulesen. Selektieren Sie den Stab (oder Stabsatz) in der RF-STAHl BS-Ergebnismaske, indem Sie den Cursor in die Tabellenzeile des Stabes setzen und rufen das Ergebnisdiagramm über die links gezeigte Schaltfläche auf. Sie befindet sich am Ende der oberen Ergebnistabelle (siehe Bild 5.1, Seite 41).

In der RFEM-Grafik sind die Ergebnisverläufe zugänglich über Menü



Ergebnisse → Ergebnisverläufe an selektierten Stäben

oder die entsprechende Schaltfläche in der RFEM-Symbolleiste.

Es öffnet sich ein Fenster, das den Verlauf der Bemessungsergebnisse am gewählten Stab oder Stabsatz anzeigt.

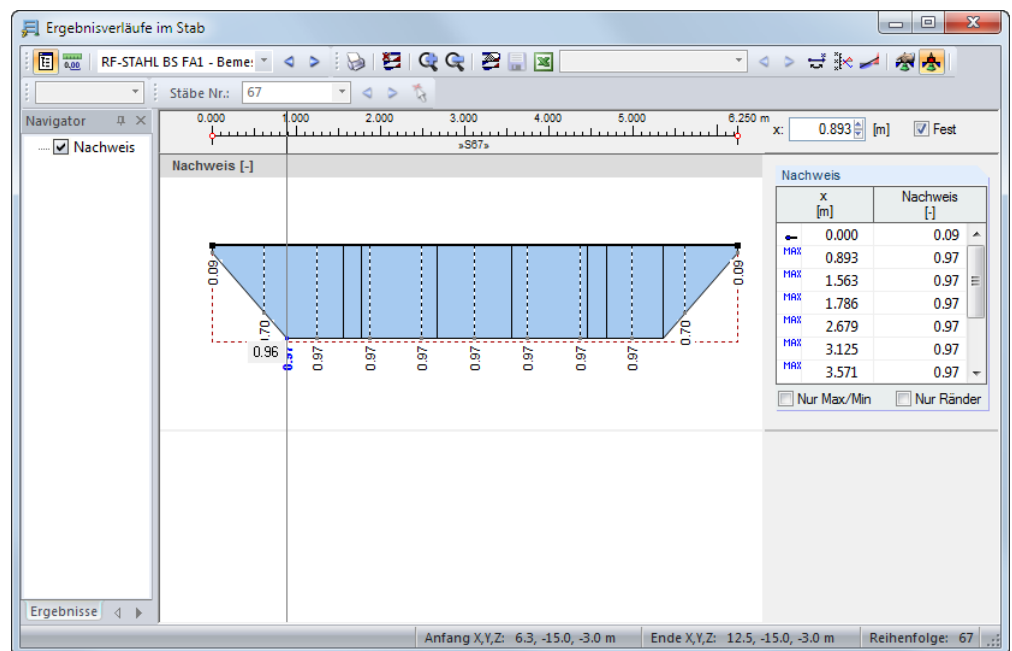
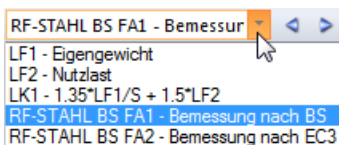


Bild 5.6: Dialog *Ergebnisverläufe im Stab*



Über die Liste in der Symbolleiste kann zwischen den RF-STAHl BS-Bemessungsfällen gewechselt werden.

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

5.3 Filter für Ergebnisse

Neben den RF-STAHl BS-Ergebnismasken, die durch ihre Struktur bereits eine Auswahl nach bestimmten Kriterien erlauben, stehen die im RFEM-Handbuch beschriebenen Filtermöglichkeiten zur Verfügung, um die RF-STAHl BS-Bemessungsergebnisse grafisch auszuwerten.



Generell können bereits definierte Ausschnitte genutzt werden (siehe RFEM-Handbuch, Kapitel 10.9 ab Seite 322), die die Objekte in geeigneter Weise gruppieren.

Filtern von Nachweisen

Die Ausnutzungen lassen sich gut als Filterkriterium in der RFEM-Arbeitsfläche nutzen. Hierzu muss das Panel angezeigt werden. Sollte es nicht aktiv sein, kann es eingeblendet werden über das RFEM-Menü



Ansicht → Steuerpanel

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

Das Panel ist im Kapitel 4.4.6 des RFEM-Handbuchs ab Seite 77 beschrieben. Die Filtereinstellungen für die Ergebnisse sind im Panel-Register *Farbskala* vorzunehmen. Da dieses Register bei der zweifarbigigen Ergebnisanzeige nicht angeboten wird, muss im *Zeigen-Navigator* auf die Darstellungsarten *Mehrfarbig* oder *Querschnitte* umgeschaltet werden.

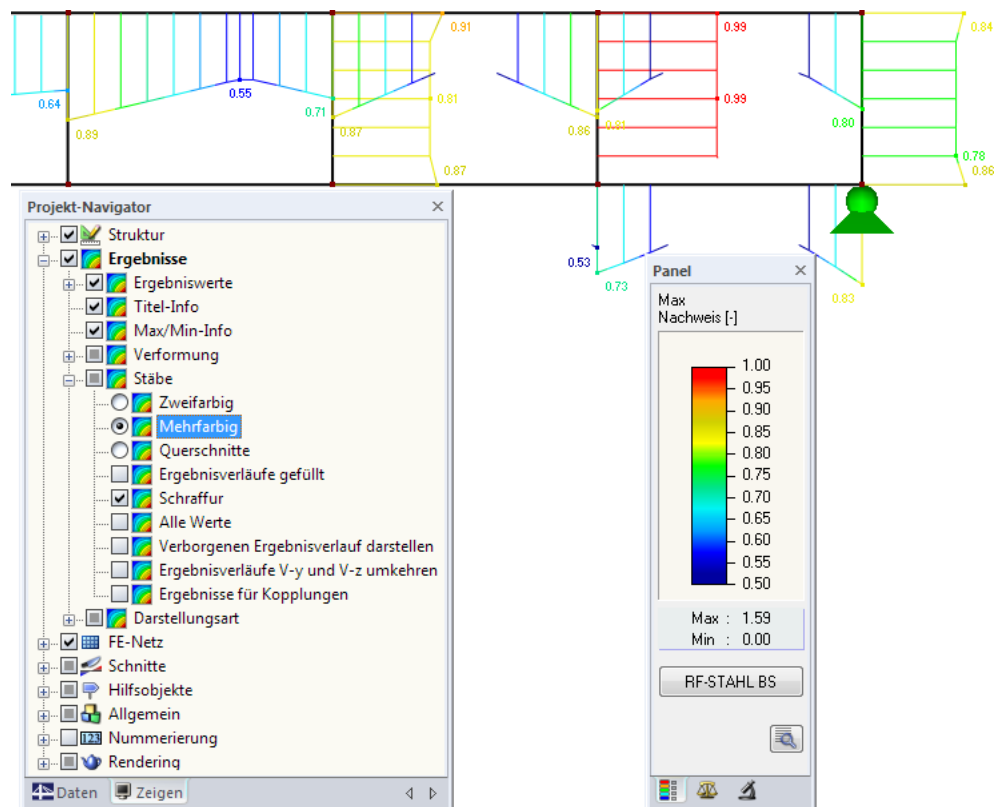


Bild 5.7: Filtern der Ausnutzungsgrade mit angepasster Farbskala

Bei einer mehrfarbigen Ergebnisanzeige kann im Panel beispielsweise eingestellt werden, dass nur Ausnutzungsgrade größer als 0,50 angezeigt werden. Die Farbskala lässt sich zudem wie im Bild oben dargestellt so bearbeiten, dass ein Farbbereich einen Ausnutzungsgrad von 0,05 abdeckt.

Über die Option *Verborgenen Ergebnisverlauf darstellen* (im *Zeigen-Navigator* unter dem Eintrag *Ergebnisse* → *Stäbe*) lassen sich auch alle Ausnutzungsverläufe einblenden, die diese Bedingung nicht erfüllen. Diese Verläufe werden dann strichlinienhaft dargestellt.

Filtern von Stäben



Im Register *Filter* des Steuerpanels können die Nummern der Stäbe festgelegt werden, deren Ergebnisse exklusiv, d. h. gefiltert angezeigt werden sollen. Diese Funktion ist im Kapitel 10.9 des RFEM-Handbuchs auf Seite 327 beschrieben.

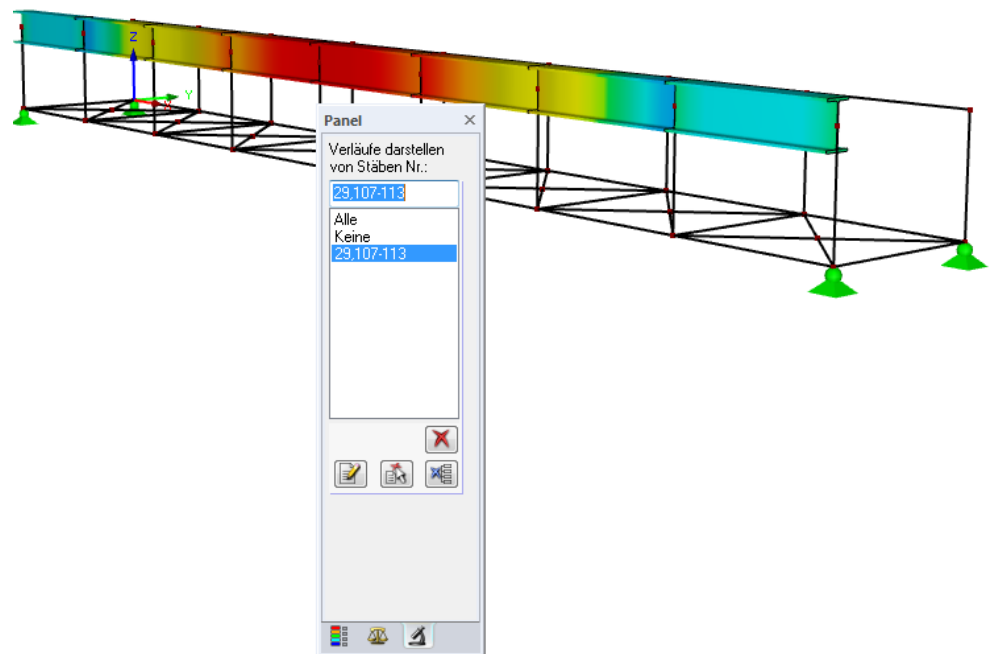


Bild 5.8: Stabfilter für Ausnutzungen des Druckgurts

Im Unterschied zur Ausschnittfunktion wird die Struktur vollständig mit angezeigt. Das Bild oben zeigt die Ausnutzungen im Druckgurt einer Fußgängerbrücke. Die übrigen Stäbe werden im Modell dargestellt, sind in der Anzeige jedoch ohne Ausnutzungsgrade.

6. Ausdruck

6.1 Ausdruckprotokoll

Für die RF-STAHl BS-Daten wird wie in RFEM zunächst ein Ausdruckprotokoll generiert, das mit Grafiken und Erläuterungen ergänzt werden kann. Dort kann auch festgelegt werden, welche Eingabe- und Ergebnismasken im Ausdruck erscheinen.

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.

Bei großen Systemen mit vielen Bemessungsfällen erhöht die Aufteilung der Daten in mehrere kleine Protokolle die Übersichtlichkeit und ermöglicht ein schnelleres Arbeiten.

6.2 RF-STAHl BS-Grafikausdruck

In RFEM kann jedes Bild, das im Grafikfenster des Hauptprogramms angezeigt wird, in das Ausdruckprotokoll übernommen werden. Damit können auch die am RFEM-Modell gezeigten Ausnutzungen für den Ausdruck aufbereitet werden. Diese Grafiken lassen sich in das globale Ausdruckprotokoll einbinden oder direkt auf den Drucker leiten. Im Kapitel 11.2 des RFEM-Handbuchs wird das Drucken von Grafiken ausführlich erläutert.

Nachweise am RFEM-Modell



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

Datei → Drucken

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

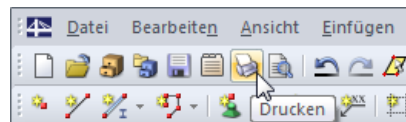


Bild 6.1: Schaltfläche *Drucken* in der Symbolleiste des Hauptfensters

Ergebnisverläufe



In gleicher Weise lassen sich auch die Stab-Ergebnisverläufe mit der [Drucken]-Schaltfläche in das Protokoll übergeben oder direkt ausdrucken.

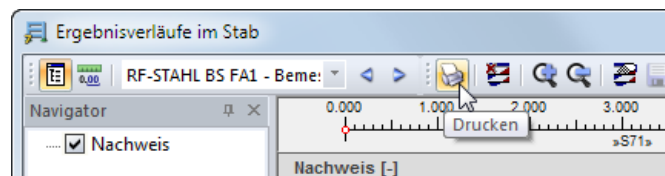
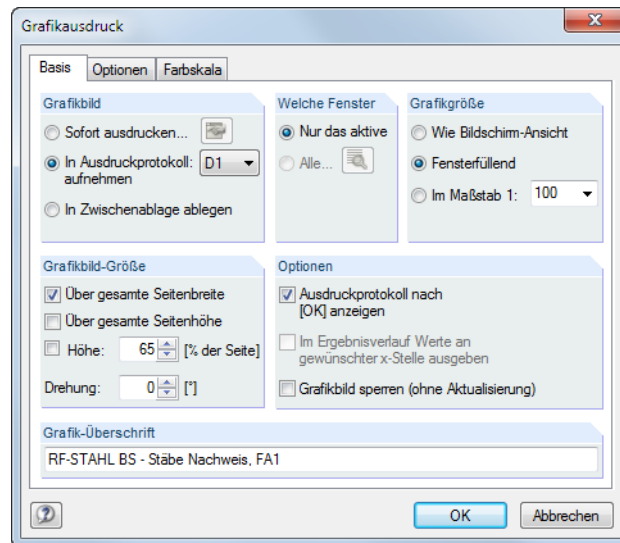


Bild 6.2: Schaltfläche *Drucken* in der Symbolleiste des Ergebnisverläufe-Fensters

Es wird folgender Dialog angezeigt.

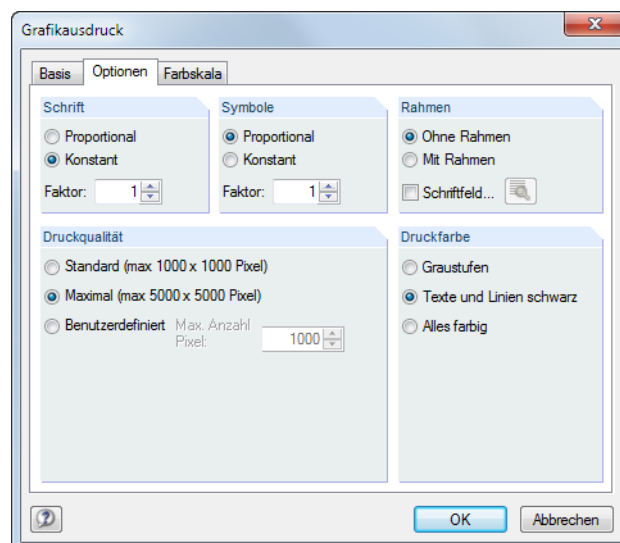
Bild 6.3: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Basis*

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

Eine RF-STAHLS - Grafik kann im Ausdruckprotokoll wie gewohnt per Drag-and-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 die Option *Eigenschaften...*. Es erscheint erneut der Dialog *Grafikausdruck* mit verschiedenen Anpassungsmöglichkeiten.

Aus Protokoll entfernen
Mit neuer Seite beginnen

Selektion...
Eigenschaften...

Bild 6.4: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Optionen*

7. Allgemeine Funktionen

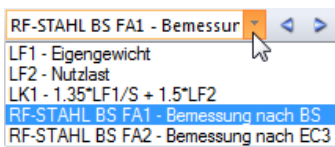
Dieses Kapitel stellt einige Menüfunktionen sowie Exportmöglichkeiten der Bemessungsergebnisse vor.

7.1 RF-STAHL BS-Bemessungsfälle

Stäbe lassen sich in separaten Bemessungsfällen gruppieren. Damit können Bauteilgruppen zusammengefasst oder Stäbe mit spezifischen Bemessungsvorgaben (z. B. geänderte Materialien, Teilsicherheitsbeiwerte, Optimierung) untersucht werden.

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

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



Neuen RF-STAHL BS-Fall anlegen

Ein neuer Bemessungsfall wird angelegt über RF-STAHL BS-Menü

Datei → Neuer Fall.

Es erscheint der folgende Dialog.

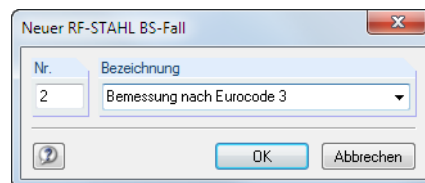


Bild 7.1: Dialog *Neuer RF-STAHL BS-Fall*

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

RF-STAHL BS-Fall umbenennen

Die Bezeichnung eines Bemessungsfalls kann geändert werden über das RF-STAHL BS-Menü

Datei → Fall umbenennen.

Es erscheint der Dialog *RF-STAHL BS-Fall umbenennen*.

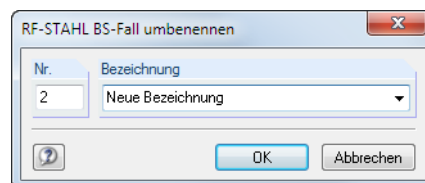


Bild 7.2: Dialog *RF-STAHL BS-Fall umbenennen*

RF-STAHL BS-Fall kopieren

Die Eingabedaten des aktuellen Bemessungsfalls werden kopiert über das RF-STAHL BS-Menü

Datei → Fall kopieren.

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

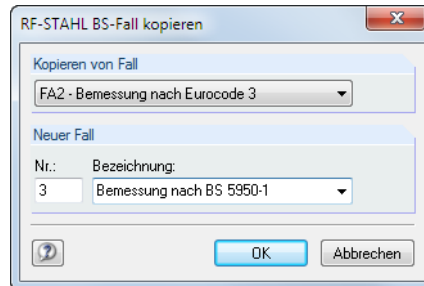


Bild 7.3: Dialog *RF-STAHL BS-Fall kopieren*

RF-STAHL BS-Fall löschen

Bemessungsfälle lassen sich wieder löschen über das RF-STAHL BS-Menü

Datei → Fall löschen.

Im Dialog *Fall löschen* kann der Bemessungsfall in der Liste *Vorhandene Fälle* ausgewählt werden. Der Löschvorgang erfolgt mit [OK].

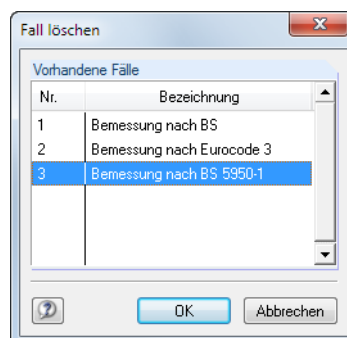
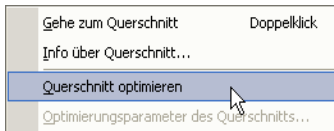


Bild 7.4: Dialog *Fall löschen*

7.2 Querschnittsoptimierung

Wie in Kapitel 2.3 erwähnt, bietet RF-STAHL BS die Möglichkeit einer querschnittsweisen Optimierung an. Hierzu ist in der Spalte D bzw. E der Maske 1.3 *Querschnitte* das betreffende Profil durch Ankreuzen auszuwählen, was am einfachsten über einen Klick in das Kästchen erfolgt (siehe Bild 2.10, Seite 16).



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

Im Zuge der Optimierung untersucht RF-STAHL BS, welches Profil aus der gleichen Querschnittsreihe den Nachweis „optimal“ erfüllt, d. h. der maximal möglichen Ausnutzung am nächsten kommt, die im Dialog *Details*, Register *Diverse* festgelegt ist (siehe Kapitel 3.1, Seite 30). Dabei werden mit den RFEM-Schnittgrößen die erforderlichen Querschnittskennwerte ermittelt. Erweist sich ein anderer Querschnitt als günstiger, so wird dieser Querschnitt für den Nachweis benutzt. In Maske 1.3 werden dann wie im Bild 7.6 gezeigt rechts zwei Profile dargestellt – der ursprüngliche Querschnitt aus RFEM und das optimierte Profil.

Bei den parametrisierten Profilen der Querschnittsbibliothek erscheint beim Ankreuzen des Optimierungskästchens ein Dialog für detaillierte Vorgaben.

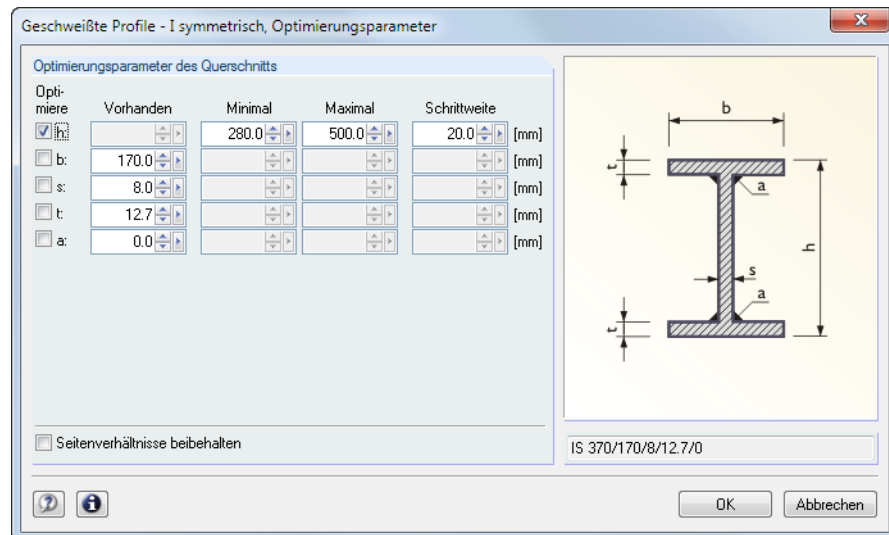


Bild 7.5: Dialog Geschweißte Profile - I-symmetrisch, Optimierungsparameter

In der Spalte *Optimiere* ist zunächst durch Anhaken festzulegen, welcher (oder welche) Parameter geändert werden soll. Damit werden die Spalten *Minimal* und *Maximal* zugänglich, in denen die Unter- und Obergrenzen des Parameters anzugeben sind. Die Spalte *Schrittweite* steuert das Intervall, in dem die Abmessungen dieses Parameters beim Optimierungsprozess variieren.

Sollen die *Seitenverhältnisse beibehalten* werden, ist das entsprechende Kontrollfeld zu aktivieren. Zusätzlich müssen mindestens zwei Parameter zur Optimierung angehakt werden.

Querschnitte, die aus Walzprofilen zusammengesetzt sind, können nicht optimiert werden.



Bei der Optimierung ist zu beachten, dass die Schnittgrößen nicht automatisch neu mit den geänderten Querschnitten berechnet werden. Der Anwender kann frei entscheiden, welche Profile für eine Neuberechnung nach RFEM übergeben werden sollen. Wegen der geänderten Steifigkeiten im System können die Schnittgrößen, die sich mit den optimierten Querschnitten ergeben, erheblich differieren. Es empfiehlt sich, 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. Stellen Sie die Maske 1.3 *Querschnitte* ein und wählen dann das Menü

Bearbeiten → Alle Querschnitte in RFEM übernehmen.

Das Kontextmenü der Maske 1.3 enthält ebenfalls Möglichkeiten zum Export optimierter Profile nach RFEM.

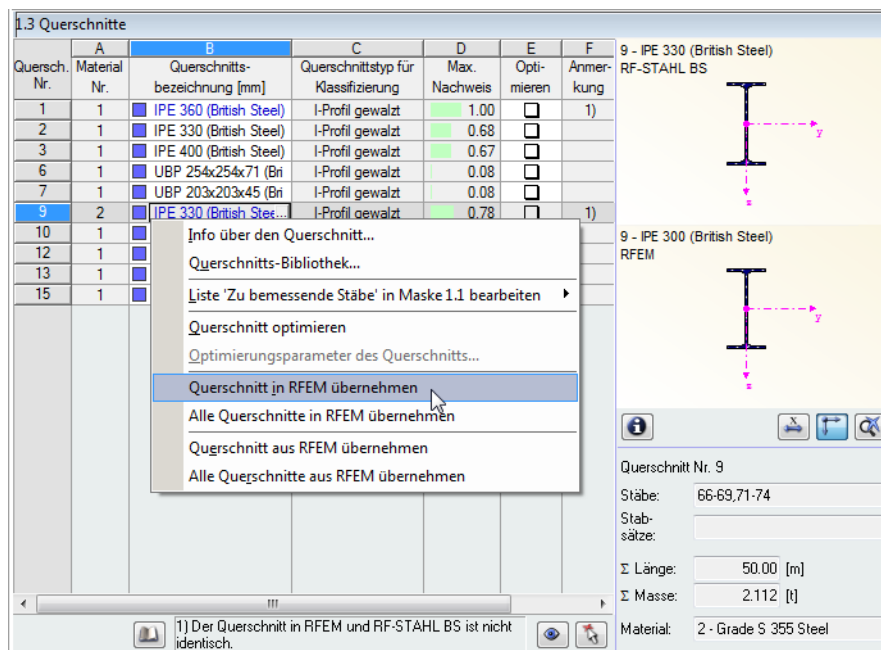


Bild 7.6: Kontextmenü der Maske 1.3 *Querschnitte*

Berechnung

Vor der Übergabe erfolgt eine Sicherheitsabfrage, da diese Maßnahme mit dem Löschen der Ergebnisse verbunden ist. Wird in RF-STAHl BS dann die [Berechnung] gestartet, vollzieht sich die Ermittlung von RFEM-Schnittgrößen und RF-STAHl BS-Nachweisen in einem einzigen Berechnungsablauf.

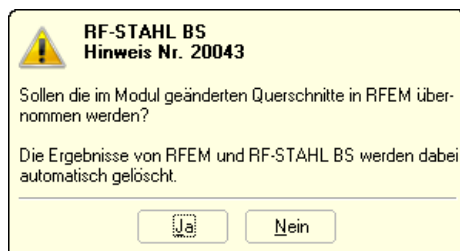


Bild 7.7: Abfrage vor Übergabe geänderter Querschnitte nach RFEM

Analog können über die oben beschriebenen Menüfunktionen wieder die RFEM-Originalquerschnitte in RF-STAHl BS eingelesen werden. Bitte beachten Sie, dass auch diese Möglichkeit nur in der Maske 1.3 *Querschnitte* besteht.



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

7.3 Materialexport nach RFEM

Werden in der RF-STAHL BS-Maske 1.2 die Materialien geändert, können – wie bei den Querschnitten – die geänderten Materialien nach RFEM exportiert oder auch die ursprünglich verwendeten Materialien wieder aus RFEM eingelesen werden. Die im Modul geänderten Materialien werden blau dargestellt.

Es ist nicht erforderlich, die geänderten Materialien manuell nach RFEM zu übergeben. Stellen Sie die Maske 1.2 *Materialien* ein und wählen dann das Menü

Bearbeiten → Alle Materialien in RFEM exportieren.

Das Kontextmenü der Maske 1.2 enthält ebenfalls Möglichkeiten zur Übergabe modifizierter Materialien nach RFEM.

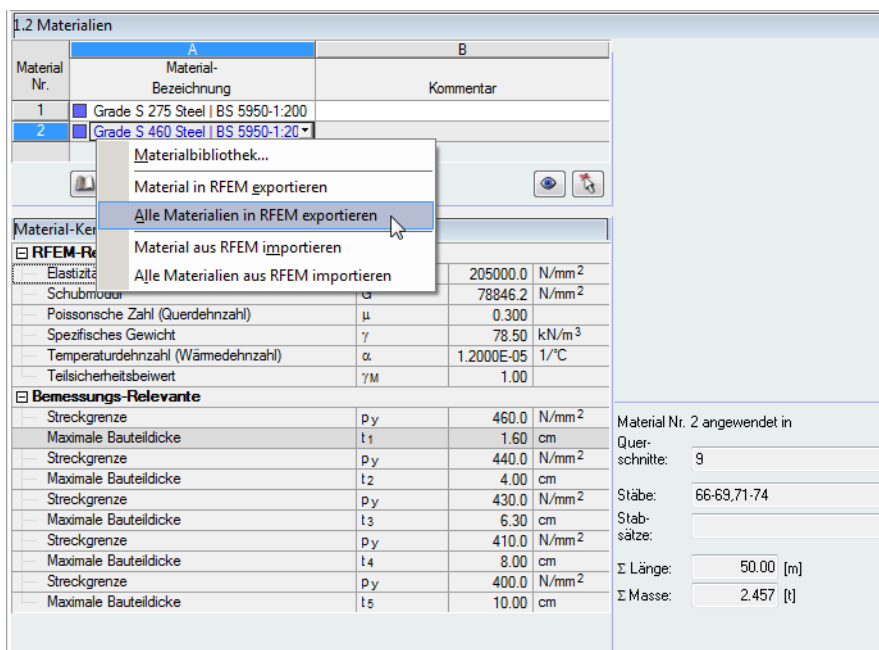


Bild 7.8: Kontextmenü der Maske 1.2 *Materialien*

Berechnung

Vor der Übergabe erfolgt eine Sicherheitsabfrage, da diese Maßnahme mit dem Löschen der Ergebnisse verbunden ist. Wird in RF-STAHL BS dann die [Berechnung] gestartet, vollzieht sich die Ermittlung von RFEM-Schnittgrößen und RF-STAHL BS-Nachweisen in einem einzigen Berechnungsablauf.

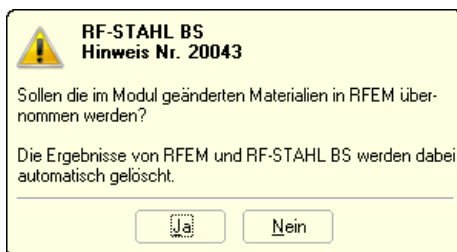


Bild 7.9: Abfrage vor Übergabe geänderter Materialien nach RFEM

7.4 Einheiten und Dezimalstellen

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

Einstellungen → Einheiten und Dezimalstellen.

Es erscheint der aus RFEM bekannte Dialog. Das Modul RF-STAHl BS ist voreingestellt.

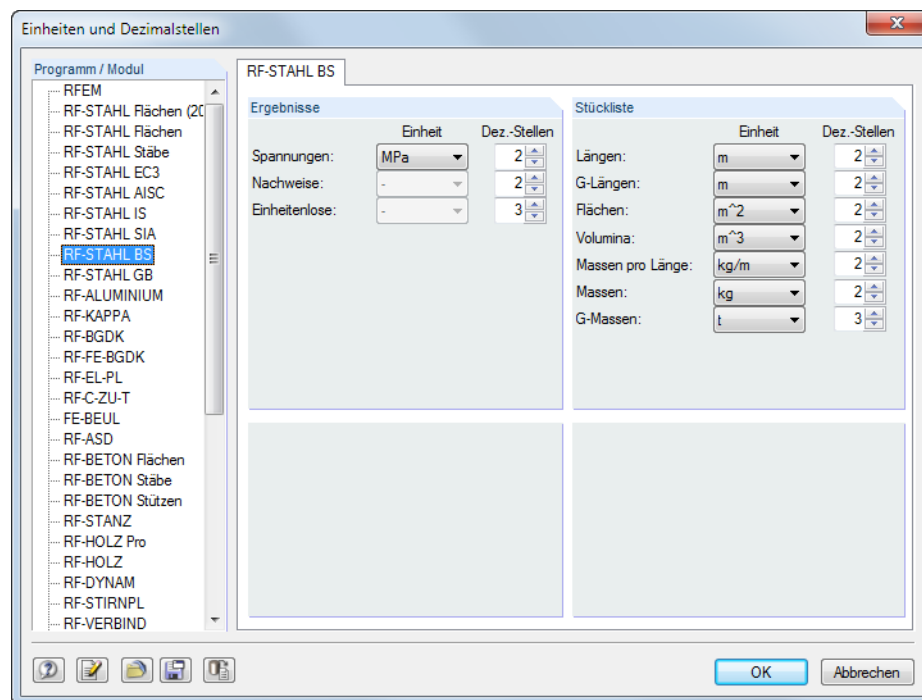


Bild 7.10: Dialog *Einheiten und Dezimalstellen*



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.

7.5 Export der Ergebnisse

Die Nachweise können anderen Programmen auf verschiedene Weise bereitgestellt werden.

Zwischenablage

Markierte Zellen der RF-STAHl BS-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 Daten des RF-STAHl BS-Moduls lassen sich in das zentrale Ausdruckprotokoll drucken (siehe Kapitel 6.1, Seite 48) 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 / OpenOffice

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

Datei → Tabellen exportieren.

Es öffnet sich folgender Exportdialog.

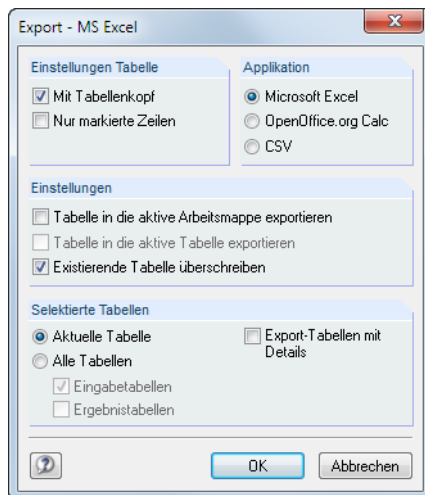
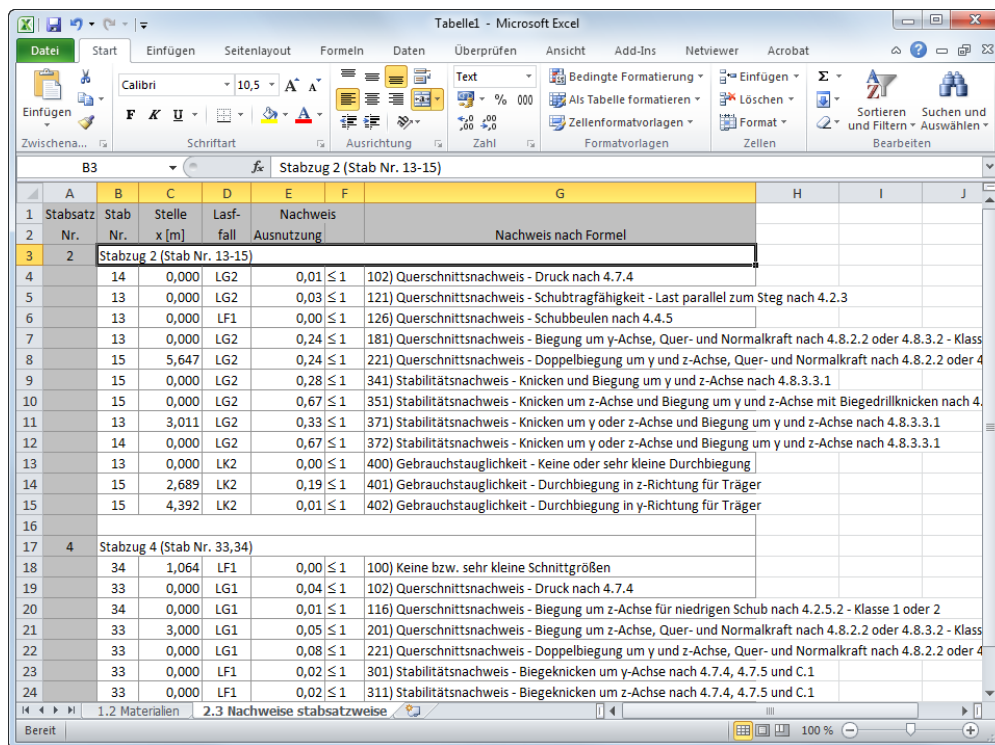


Bild 7.11: Dialog *Export - MS Excel*

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.



Stabsatz Nr.	Stab Nr.	Stelle x [m]	Lastfall	Ausnutzung	Nachweis
2	14	0,000	LG2	0,01 ≤ 1	102) Querschnittsnachweis - Druck nach 4.7.4
2	13	0,000	LG2	0,03 ≤ 1	121) Querschnittsnachweis - Schubtragfähigkeit - Last parallel zum Steg nach 4.2.3
2	13	0,000	LF1	0,00 ≤ 1	126) Querschnittsnachweis - Schubbeulen nach 4.4.5
2	13	0,000	LG2	0,24 ≤ 1	181) Querschnittsnachweis - Biegung um y-Achse, Quer- und Normalkraft nach 4.8.2.2 oder 4.8.3.2 - Klasse
2	15	5,647	LG2	0,24 ≤ 1	221) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung um y und z-Achse, Quer- und Normalkraft nach 4.8.2.2 oder 4
2	15	0,000	LG2	0,28 ≤ 1	341) Stabilitätsnachweis - Knicken und Biegung um y und z-Achse nach 4.8.3.3.1
2	15	0,000	LG2	0,67 ≤ 1	351) Stabilitätsnachweis - Knicken um z-Achse und Biegung um y und z-Achse mit Biegedrillknicken nach 4
2	13	3,011	LG2	0,33 ≤ 1	371) Stabilitätsnachweis - Knicken um y oder z-Achse und Biegung um y und z-Achse nach 4.8.3.3.1
2	14	0,000	LG2	0,67 ≤ 1	372) Stabilitätsnachweis - Knicken um y oder z-Achse und Biegung um y und z-Achse nach 4.8.3.3.1
2	13	0,000	LK2	0,00 ≤ 1	400) Gebrauchstauglichkeit - Keine oder sehr kleine Durchbiegung
2	15	2,689	LK2	0,19 ≤ 1	401) Gebrauchstauglichkeit - Durchbiegung in z-Richtung für Träger
2	15	4,392	LK2	0,01 ≤ 1	402) Gebrauchstauglichkeit - Durchbiegung in y-Richtung für Träger
4	34	1,064	LF1	0,00 ≤ 1	100) Keine bzw. sehr kleine Schnittgrößen
4	33	0,000	LG1	0,04 ≤ 1	102) Querschnittsnachweis - Druck nach 4.7.4
4	34	0,000	LG1	0,01 ≤ 1	116) Querschnittsnachweis - Biegung um z-Achse für niedrigen Schub nach 4.2.5.2 - Klasse 1 oder 2
4	33	3,000	LG1	0,05 ≤ 1	201) Querschnittsnachweis - Biegung um z-Achse, Quer- und Normalkraft nach 4.8.2.2 oder 4.8.3.2 - Klasse
4	33	0,000	LG1	0,08 ≤ 1	221) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung um y und z-Achse, Quer- und Normalkraft nach 4.8.2.2 oder 4
4	33	0,000	LF1	0,02 ≤ 1	301) Stabilitätsnachweis - Biegeknicken um y-Achse nach 4.7.4, 4.7.5 und C.1
4	33	0,000	LF1	0,02 ≤ 1	311) Stabilitätsnachweis - Biegeknicken um z-Achse nach 4.7.4, 4.7.5 und C.1

Bild 7.12: Ergebnis in Excel

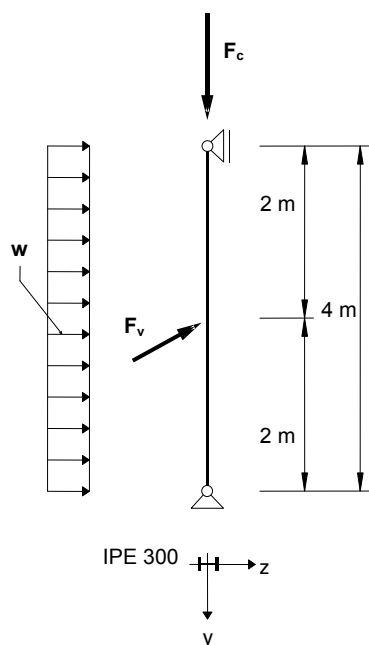
8. Beispiel

Stütze mit zweiachsiger Biegung

Für eine Stütze mit Doppelbiegung werden die maßgebenden Stabilitätsuntersuchungen im Hinblick auf Biegeknicken und Biegedrillknicken mit den Interaktionsbedingungen geführt. Die Nachweise erfolgen nach den Vorgaben des *Load and Resistance Factor Design*.

Bemessungswerte

System und Belastung



Bemessungswerte der statischen Lasten:

$$\begin{aligned} F_c &= 300 \text{ kN} \\ w &= 5,0 \text{ kN/m} \\ F_v &= 7,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Querschnitt: IPE 300

Material: Stahl S 275

Bild 8.1: System und Bemessungslasten (γ -fach)

Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung

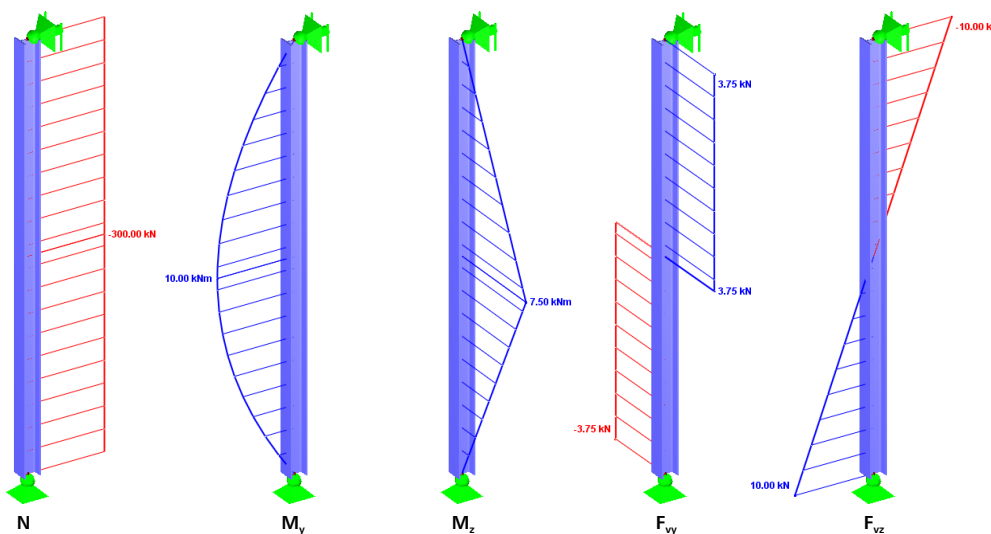


Bild 8.2: Schnittgrößen

Nachweisstelle (maßgebende x-Stelle)

Der Nachweis erfolgt x-stellenweise, d. h. an den definierten x-Stellen des Ersatzstabes.
 Die maßgebende Stelle liegt bei $x = 2.00$ m mit folgenden RFEM-Schnittgrößen vor:

$$F_c = -300,00 \text{ kN} \quad M_y = 10,00 \text{ kNm} \quad M_z = 7,50 \text{ kNm} \quad F_{vy} = 3,75 \text{ kN} \quad F_{vz} = 0,00 \text{ kN}$$

Querschnittswerte - IPE 300

Querschnittsgröße	Symbol	Wert	Einheit
Bruttoquerschnittsfläche	A_g	53,80	cm ²
Trägheitsmoment	I_y	8356,00	cm ⁴
Trägheitsmoment	I_z	604,00	cm ⁴
Trägheitsradius	i_y	12,5	cm
Trägheitsradius	i_z	3,35	cm
Querschnittsgewicht	G	42,2	kg/m
Torsionsträgheitsmoment	I_t	19,90	cm ⁴
Wölbwiderstand	I_w	125900,00	cm ⁶
Widerstandsmoment	W_y	557,00	cm ³
Widerstandsmoment	W_z	80,50	cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,y}$	628,00	cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,z}$	125,22	cm ³
Knicklinie	KL_y	a	
Knicklinie	KL_z	b	

Materialkennwerte - S 275

Materialkennwert	Symbol	Wert	Einheit
Elastizitätsmodul	E	205000	N/mm ²
Schubmodul	G	78865	N/mm ²
Streckgrenze	p_y	275	N/mm ²

Klassifizierung des Querschnitts

$$\varepsilon = \sqrt{275 / p_y} = \sqrt{275 / 275} = 1.0$$

Klassifizierung des Flansches

$$b = 75 \text{ mm}$$

$$t = 10,7 \text{ mm}$$

$$\lambda_{f,1} = 8 \varepsilon = 8 \cdot 1,0 = 8$$

$$\lambda_{f,2} = 9 \varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9$$

$$\lambda_{f,3} = 13 \varepsilon = 13 \cdot 1,0 = 13$$

$$\frac{b}{t} = \frac{75}{10,7} = 7 \leq 8 = \lambda_{f,1}$$

Querschnittsklasse des Flansches: 1

Klassifizierung des Steges

$$\sigma_{w,A} = -40,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{w,B} = -70,6 \text{ N/mm}^2$$

$$d = 278,6 \text{ mm}$$

$$t = 7,1 \text{ mm}$$

$$r_1 = \frac{F}{d \cdot t \cdot p_{yw}} = \frac{300 \cdot 10^3}{278,6 \cdot 7,1 \cdot 275} = 0,552$$

$$r_2 = \frac{F}{A} / (p_y) = \frac{300 \cdot 10^3}{54,9 \cdot 10^2} / (250 / 1,1) = 0,240$$

$$\lambda_{w,1} = \frac{84 \varepsilon}{1 + r_1} = \frac{84 \cdot 1,0}{1 + 0,939} = 43,329$$

$$\lambda_{w,2} = \frac{105 \varepsilon}{1 + 1,5 r_1} = \frac{105 \cdot 1,0}{1 + 1,5 \cdot 0,939} = 43,604$$

$$\lambda_{w,3} = \frac{126 \varepsilon}{1 + 2 r_2} = \frac{126 \cdot 1,0}{1 + 2 \cdot 0,240} = 85,085$$

$$\frac{d}{t_{fw}} = \frac{206,8}{6,8} = 30,412 \leq 43,329 = \lambda_{w,1}$$

Querschnittsklasse des Steges: 1

Querschnittsklasse des Querschnitts: 1

Klassifizierung in RF-STAHL BS

Querschnittsklassifizierung - Klasse 1					
Flansch					
- Dicke	b	75,0	mm		Tabelle 11
- Dicke	T	10,7	mm		Tabelle 11
- Beiwert	ε_f	1,000			Tabelle 11
- Maximales Verhältnis für Klasse 1	$\lambda_{f,1}$	9,000			Tabelle 11
- Maximales Verhältnis für Klasse 2	$\lambda_{f,2}$	10,000			Tabelle 11
- Maximales Verhältnis für Klasse 3	$\lambda_{f,3}$	15,000			Tabelle 11
- Verhältnis	b/T	7,009		$\leq \lambda_{f,1}$	
- Klasse des Flansches		1			Tabelle 11
Steg					
- Spannung am Steganfang	$\sigma_{w,A}$	-40,9	N/mm ²		
- Spannung am Stegende	$\sigma_{w,B}$	-70,6	N/mm ²		
- Tiefe	d	278,6	mm		Tabelle 11
- Dicke	t	7,1	mm		Tabelle 11
- Bruttofläche	A_g	5380	mm ²		
- Bemessungsdruckfestigkeit	p_{yw}	275,0	N/mm ²		
- Normaldruckkraft	F _c	-300,00	kN		
- Beiwert	ε_w	1,000			Tabelle 11
- Spannungsverhältnis	r_1	0,552			3.5.5
- Spannungsverhältnis	r_2	0,203			3.5.5
- Maximales Verhältnis für Klasse 1	$\lambda_{w,1}$	51,563			Tabelle 11
- Maximales Verhältnis für Klasse 2	$\lambda_{w,2}$	54,727			Tabelle 11
- Maximales Verhältnis für Klasse 3	$\lambda_{w,3}$	85,376			Tabelle 11
- Verhältnis	d/t	39,239		$\leq \lambda_{w,1}$	
- Klasse des Steges		1			Tabelle 11
- Querschnittsklasse		1			Tabelle 11

Biegeknicken um y-Achse (starke Achse)

$$KL_y = 4,0 \text{ m}$$

$$t = 10,7 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \Rightarrow \text{Knicklinie a}$$

Schlankheit

$$\lambda_y = \frac{KL_y}{r_y} = \frac{4000}{125} = 32,1$$

Grenzschlankheit

$$\lambda_0 = 0,2 \sqrt{\left(\frac{\pi^2 E}{p_y} \right)} = 0,2 \sqrt{\left(\frac{3,1415^2 \cdot 205000}{275} \right)} = 17,155$$

Robertson-Konstante für Knicklinie a: $a_y = 2,0$

Perry-Beiwert

$$\eta_y = \alpha(\lambda_y - \lambda_0) / 1000 = \frac{2,0(32,1 - 17,155)}{1000} = 0,03$$

Eulersche Knickspannung

$$p_{Ey} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2} = \frac{3,1415^2 \cdot 205000}{32,1^2} = 1964,04 \text{ MPa}$$

Knickbeiwert

$$\phi_y = \frac{p_y + (\eta_y + 1)p_{Ey}}{2} = \frac{275 + (0,03 + 1) \cdot 1964,04}{2} = 1148,86 \text{ MPa}$$

Druckfestigkeit

$$p_{cy} = \frac{p_y \cdot p_{Ey}}{\phi_y \cdot \sqrt{(\phi_y^2 - p_{Ey} \cdot p_y)}} = \frac{275 \cdot 1964,04}{1148,86 \cdot \sqrt{(1148,86^2 - 275 \cdot 1964,04)}} = 265,84 \text{ MPa}$$

Druckbeanspruchbarkeit

$$P_{cy} = p_{cy} \cdot A_g = 265,84 \cdot 5380 = 1430,08 \text{ kN}$$

Ausnutzung

$$\eta = F_c / P_{cy} = 300,0 / 1430,08 = 0,21$$

- o. k.

Ergebniswerte aus der RF-STAHl BS-Berechnung

Normaldruck	F_c	300,00	kN		
Bemessungsfestigkeit	p_y	275,000	N/mm ²		
Elastizitätsmodul	E	205000,000	N/mm ²		
Nennknicklänge	KL_y	4000,000	mm		
Trägheitsradius	r_y	124,626	mm		
Schlankheit	λ_y	32,096			4.7.2
Grenzschlankheit	λ_0	17,155			C.2
Knicklinie	SC_y	a			Tabelle 23
Robertson-Konstante	a_y	2,000			C.2
Perry-Beiwert	η_y	0,030			C.2
Beiwert	ϕ_y	1148,860	N/mm ²		C.1
Eulersche Knickspannung	p_{Ey}	1964,040	N/mm ²		C.1
Druckfestigkeit	p_{cy}	265,814	N/mm ²		C.1
Bruttofläche	A_g	5380,000	mm ²		
Druckbeanspruchbarkeit	P_{cy}	1430,08	kN		4.7.4 / 4.7.5
Ausnutzung	η	0,21		< 1,0	4.7.4

Biegeknicken um z-Achse (schwache Achse)

$$KL_z = 4.0 \text{ m}$$

$$t = 10.7 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \Rightarrow \text{Knicklinie } b$$

Schlankheit

$$\lambda_z = \frac{KL_z}{r_z} = \frac{4000}{33,5} = 119,4$$

Grenzschlankheit

$$\lambda_0 = 0,2 \sqrt{\left(\frac{\pi^2 E}{p_y} \right)} = 0,2 \sqrt{\left(\frac{3,1415^2 \cdot 205000}{275} \right)} = 17,155$$

Robertson-Konstante für Knicklinie b: $a_z = 3,5$

Perry-Beiwert

$$\eta_z = \alpha(\lambda_z - \lambda_0) / 1000 = \frac{3,5 \cdot (119,4 - 17,155)}{1000} = 0,358$$

Eulersche Knickspannung

$$p_{Ez} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_z^2} = \frac{3,1415^2 \cdot 205000}{119,4^2} = 141,97 \text{ MPa}$$

Knickbeiwert

$$\phi_z = \frac{p_y + (\eta_z + 1)p_{Ez}}{2} = \frac{275 + (0,358 + 1) \cdot 141,97}{2} = 233,88 \text{ MPa}$$

Druckfestigkeit

$$p_{cz} = \frac{p_y \cdot p_{Ez}}{\phi_z \cdot \sqrt{(\phi_z^2 - p_{Ez} \cdot p_y)}} = \frac{275 \cdot 141,97}{233,88 \cdot \sqrt{(233,88^2 - 275 \cdot 141,97)}} = 108,74 \text{ MPa}$$

Druckbeanspruchbarkeit

$$P_{cz} = p_{cz} \cdot A_g = 108,74 \cdot 5380 = 585,04 \text{ kN}$$

Ausnutzung

$$\eta = F_c / P_{cz} = 300,0 / 585,04 = 0,51$$

- o. k., maßgebend

Ergebniswerte aus der RF-STAHl BS-Berechnung

Normaldruck	F_c	300,00	kN		
Bemessungsfestigkeit	p_y	275,000	N/mm ²		
Elastizitätsmodul	E	205000,000	N/mm ²		
Nennknicklänge	KL_z	4000,000	mm		
Trägheitsradius	r_z	33,5	mm		
Schlankheit	λ_z	119,4			4.7.2
Grenzschlankheit	λ_0	17,155			C.2
Knicklinie	SC_z	b			Tabelle 23
Robertson-Konstante	a_z	3,500			C.2
Perry-Beiwert	η_z	0,358			C.2
Beiwert	ϕ_z	233,88	N/mm ²		C.1
Eulersche Knickspannung	p_{Ez}	141,97	N/mm ²		C.1
Druckfestigkeit	p_{cz}	108,74	N/mm ²		C.1
Bruttofläche	A_g	5380,000	mm ²		
Druckbeanspruchbarkeit	P_{cz}	585,04	kN		4.7.4 / 4.7.5
Ausnutzung	η	0,51		< 1,0	4.7.4

Biegedrillknicken

Knicklänge für Biegedrillknicken

$$KL_{LT} = 4,0 \text{ m}$$

Schlankheit

$$\lambda = \frac{KL_{LT}}{r_z} = \frac{4000}{33,5} = 119,38$$

Grenزشlankheit

$$\lambda_{L0} = 0,4 \sqrt{\left(\frac{\pi^2 E}{p_y} \right)} = 0,4 \sqrt{\left(\frac{3,1415^2 \cdot 205000}{275} \right)} = 34,31$$

Vergleichsschlankheit

$$\lambda_{LT} = u v \lambda \sqrt{\beta_w}$$

mit:

- Abstand zwischen den Schubmittelpunkten der Flansche $h_s' = 289,3 \text{ mm}$

$$x = 0,566 h_s' \sqrt{(A/J)} = 0,566 \cdot 289,3 \sqrt{(5380/19,9 \cdot 10^4)} = 26,92$$

$$v = \frac{1}{[1 + 0,05(\lambda/x)^2]^{0,25}} = \frac{1}{[1 + 0,05(119,38/26,92)^2]^{0,25}} = 0,84$$

$$\gamma = 1 - \frac{I_z}{I_y} = 1 - \frac{604 \cdot 10^4}{8356 \cdot 10^4} = 0,927$$

$$u = \left(\frac{45 \gamma^2}{A^2 h_s'^2} \right)^{0,25} = \left(\frac{4 \cdot 628 \cdot 10^3 \cdot 0,927}{5380^2 \cdot 289,3^2} \right)^{0,25} = 0,88$$

- für Klasse 1: $\beta_w = 1$

somit

$$\lambda_{LT} = u v \lambda \sqrt{\beta_w} = 0,88 \cdot 0,84 \cdot 119,38 \cdot \sqrt{1} = 88,69$$

Überprüfung der Schlankheiten

$$\lambda_{LT} > \lambda_{L0} \rightarrow 88,69 > 34,31$$

- Biegedrillknicken ist zu untersuchen

Robertson-Konstante

- für BDK: $a_{LT} = 7,0$

Perry-Beiwert

$$\eta_{LT} = \alpha(\lambda_{LT} - \lambda_{L0})/1000 = \frac{8,0 \cdot (88,69 - 34,31)}{1000} = 0,381$$

Eulersche Biegedrillknickspannung

$$p_{E,LT} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_{LT}^2} = \frac{3,1415^2 \cdot 205000}{88,69^2} = 257,21 \text{ MPa}$$

Biegedrillknickbeiwert

$$\phi_{LT} = \frac{p_y + (\eta_{LT} + 1)p_{E,LT}}{2} = \frac{275 + (0,381 + 1) \cdot 257,21}{2} = 315,06 \text{ MPa}$$

Biegefestigkeit

$$p_b = \frac{p_y \cdot p_{E,LT}}{\phi_{LT} \cdot \sqrt{(\phi_{LT}^2 - p_{E,LT} \cdot p_y)}} = \frac{275 \cdot 257,21}{315,06 \cdot \sqrt{(315,06^2 - 275 \cdot 257,21)}} = 146,15 \text{ MPa}$$

Grenzknickmoment

- für Klasse 1:

$$M_b = p_b \cdot S_y = 146,15 \cdot 628 \cdot 10^3 = 91,78 \text{ kNm}$$

Biegung

Um y-Achse (starke Achse)

Grenzknickmoment

$$M_{by} = p_y \cdot W_y = 275 \cdot 557 \cdot 10^3 = 153,175 \text{ kNm}$$

Um z-Achse (schwache Achse)

Grenzknickmoment

$$M_{bz} = p_z \cdot W_z = 275 \cdot 80,5 \cdot 10^3 = 22,137 \text{ kNm}$$

Anpassungsfaktoren für Momentenverlauf / Interaktionsbeiwerte

Biegung um y-Achse (starke Achse)

Anpassungsfaktor für Momentenverlauf nach Tabelle 26

$$m_y = 0,2 + \frac{0,1M_2 + 0,6M_3 + 0,1M_4}{M_{\max}} = 0,2 + \frac{0,1 \cdot 7,5 + 0,6 \cdot 10 + 0,1 \cdot 7,5}{10} = 0,95$$

Biegung um z-Achse (schwache Achse)

Anpassungsfaktor für Momentenverlauf nach Tabelle 26

$$m_z = 0,2 + \frac{0,1M_2 + 0,6M_3 + 0,1M_4}{M_{\max}} = 0,2 + \frac{0,1 \cdot 3,75 + 0,6 \cdot 7,5 + 0,1 \cdot 3,75}{7,5} = 0,9$$

Biegedrillknicken

Anpassungsfaktor für Momentenverlauf nach Tabelle 18

$$m_{LT} = 0,2 + \frac{0,15M_2 + 0,5M_3 + 0,15M_4}{M_{\max}} = 0,2 + \frac{0,15 \cdot 7,5 + 0,5 \cdot 10 + 0,15 \cdot 7,5}{10} = 0,925$$

Stabilitätsnachweis

Der Stabilitätsnachweis für Knicken und Biegung eines Stabes ist nachgewiesen, wenn folgende zwei Bedingungen erfüllt sind:

- **Überprüfung nach 4.8.3.3.1a**

P_c ist der kleinere Wert von P_{cy} und P_{cz} – in unserem Fall P_{cz} .

$$\frac{F_c}{P_c} + \frac{m_y M_y}{M_{by}} + \frac{m_z M_z}{M_{bz}} \leq 1$$

$$\frac{300}{585,04} + \frac{0,95 \cdot 10}{153,175} + \frac{0,9 \cdot 7,5}{22,137} \leq 1$$

$$0,51 + 0,07 + 0,34 \leq 1$$

$$0,88 \leq 1,0$$

- erfüllt

Ergebniswerte aus der RF-STAHl BS-Berechnung – Überprüfung Nr.341

Normaldruck	F_c	300,00	kN		
Bemessungsfestigkeit	p_y	275,000	N/mm ²		
Bruttofläche	A_g	5380,000	mm ²		
Elastizitätsmodul	E	205000,000	N/mm ²		
Nennknicklänge	KL_z	4000,000	mm		
Trägheitsradius	r_z	33,506	mm		
Schlankheit	λ_z	119,380			4.7.2
Grenzschlankheit	λ_0	17,155			C.2
Knicklinie	SC_z	b			Tabelle 23
Robertson-Konstante	a_z	3,500			C.2
Perry-Beiwert	η_z	0,358			C.2
Beiwert	ϕ_z	233,881	N/mm ²		C.1
Eulersche Knickspannung	p_{Ez}	141,967	N/mm ²		C.1
Druckfestigkeit	p_{cz}	108,744	N/mm ²		C.1
Druckbeanspruchbarkeit	P_{cz}	585,04	kN		4.7.4 / 4.7.5
Druckausnutzung	η_{nz}	0,51			4.8.3.3
Maximales Moment	$M_{y,max}$	10,00	kNm		
Elastisches Widerstandsmoment	Z_y	557000,000	mm ³		
Grenzbiegemoment	M_{cy}	153,18	kNm		4.2.5.2
Konstruktionstyp	Typ	Fest			4.8.3.3.4
Anpassungsfaktor für Momentenverlauf	m_y	0,950			
Maximales Moment	$M_{z,max}$	7,50	kNm		
Elastisches Widerstandsmoment	Z_z	80500,000	mm ³		
Grenzbiegemoment	M_{cz}	22,14	kNm		4.2.5.2
Konstruktionstyp	Typ	Fest			4.8.3.3.4
Anpassungsfaktor für Momentenverlauf	m_z	0,900			
Biegeausnutzung	η_{mz}	0,07			4.8.3.3.1
Biegeausnutzung	η_{mz}	0,34			4.8.3.3.1
Ausnutzung	η	0,88		< 1	4.8.3.3.1

• Überprüfung nach 4.8.3.3.1b

$$\frac{F_c}{P_{cz}} + \frac{m_{LT} M_{LT}}{M_b} + \frac{m_z M_z}{M_{bz}} \leq 1$$

$$\frac{300}{585,04} + \frac{0,925 \cdot 10}{91,78} + \frac{0,9 \cdot 7,5}{22,137} \leq 1$$

$$0,51 + 0,11 + 0,34 \leq 1$$

$$0,92 \leq 1,0$$

- erfüllt

Ergebniswerte aus der RF-STAHl BS-Berechnung – Überprüfung Nr.351

Normaldruck	F_c	300.00	kN		
Bemessungsfestigkeit	p_y	275.000	N/mm ²		
Bruttofläche	A_g	5380.000	mm ²		
Elastizitätsmodul	E	205000.000	N/mm ²		
Nennknicklänge	KL_z	4000.000	mm		
Trägheitsradius	r_z	33.506	mm		
Schlankheit	λ_z	119.380			4.7.2
Grenzschlankheit	λ_0	17.155			C.2
Knicklinie	SC_z	b			Tabelle 23
Robertson-Konstante	a_z	3.500			C.2
Perry-Beiwert	η_z	0.358			C.2
Beiwert	ϕ_z	233.881	N/mm ²		C.1
Eulersche Knickspannung	p_{Ez}	141.967	N/mm ²		C.1
Druckfestigkeit	p_{cz}	108.744	N/mm ²		C.1
Druckbeanspruchbarkeit	P_{cz}	585.04	kN		4.7.4 / 4.7.5
Druckausnutzung	η	0.51			4.8.3.3
Maximales Moment	$M_{LT,y,max}$	10.00	kNm		
Knicklänge	L_E	4000.000	mm		4.3.5
Schlankheit	λ	119.380			4.3.6.7
Grenzschlankheit	λ_{L0}	34.310			B.2.2
Vergleichsschlankheit	λ_{LT}	88.692		$> \lambda_{L0}$	
Robertson-Konstante	a_{LT}	7.000			B.2.1
Perry-Beiwert	η_{LT}	0.381			B.2.1
Beiwert	ϕ_{LT}	315.062	N/mm ²		B.2.1
Eulersche Knickspannung	$p_{E,LT}$	257.211	N/mm ²		B.2.1
Biegefestigkeit	p_b	146.151	N/mm ²		4.3.6.5
Plastisches Widerstandsmoment	S_y	628000.000	mm ³		
Elastisches Widerstandsmoment	Z_y	557000.000	mm ³		
Knickbeanspruchbarkeitsmoment	$M_{b,y}$	91.78	kNm		4.3.6.4
Momentenbeiwert	m_{LT}	0.925			4.3.6.6
Biegedrillknick-Ausnutzung	$\eta_{m,LT}$	0.11			4.8.3.3.1
Maximales Moment	$M_{z,max}$	7.50	kNm		
Elastisches Widerstandsmoment	Z_z	80500.000	mm ³		
Grenzbiegemoment	M_{cz}	22.14	kNm		4.2.5.2
Konstruktionstyp	Typ	Fest			4.8.3.3.4
Anpassungsfaktor für Momentenverlauf	m_z	0.900			
Biegeausnutzung	η_{mz}	0.34			4.8.3.3.1
Ausnutzung	η	0.92		< 1	4.8.3.3.1

A Literatur

- [1] Structural use of steelwork in buildings – Part1: Code of practice for design – Rolled and Welded sections, BS 5950-1:2000, BS 05-2001
- [2] EN 1993-1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, 2005
- [3] Rules for Member Stability in EN 1993-1-1, ECCS Technical Committee 8 – Stability
- [4] EN 1993-1-4: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-4: Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen, 2006
- [5] Die neuen Stabilitätsnachweise im Stahlbau nach Eurocode 3, NAUMES J., STROHMANN I., UNGERMANN D., SEDLACEK G., Stahlbau 77 (2008) Heft 10, Ernst & Sohn

B Index

A

Anmerkung.....	19
Anpassungsfaktor für Momentenverlauf.....	24
Ausdruckprotokoll.....	48, 49
Ausnutzung.....	19, 34
Ausschnitt.....	46

B

Basisangaben.....	8
Beenden von STAHL BS.....	8
Bemessen.....	9
Bemessungsfall.....	43, 50, 51
Bemessungskombination.....	10
Bemessungssituation.....	34
Benutzerprofil.....	55
Berechnung.....	29
Berechnung starten.....	31
Berechnungsdetails.....	29
Bezugslänge.....	10
Biegedrillknicken.....	11, 20, 24
Biegedrillknickmoment.....	30
Biegeknicken.....	20, 22
Blättern in Masken.....	8

C

Charakteristisch.....	10
-----------------------	----

D

Detaileinstellungen.....	29
Dezimalstellen.....	14, 55
Drucken.....	48
Druckstab.....	23
Durchbiegung.....	10

E

Effektive Länge.....	21
E-Gewicht.....	40
Einheiten.....	14, 55
Ergebnisauswertung.....	41
Ergebnisdiagramm.....	45
Ergebnismasken.....	33
Ergebnispräsentation.....	43
Ergebnisverläufe.....	45, 48
Ergebniswerte.....	43

Excel.....	56
Export.....	50, 55
Export Material.....	54
Export Querschnitt.....	53

F

Farbskala.....	46
Filter.....	46
Filtern von Stäben.....	47

G

Gabellager.....	20
Gebrauchstauglichkeit.....	10, 28, 30, 41
Gewicht.....	40
Grafik.....	42
Grafik drucken.....	48
Grenzbeanspruchung.....	30
Grenzverformung.....	30
Grenzwerte.....	10

H

Häufig.....	10
Hintergrundgrafik.....	42

I

Installation.....	5
-------------------	---

K

Klassifizierung.....	19, 29
Knicken.....	22
Knicken um Achse.....	23
Knicklänge.....	21, 23
Knicklängenbeiwert.....	23
Knotenlager.....	25
Kommentar.....	11
Konstruktionstyp.....	30
Koordinatensystem.....	16

L

Länge.....	21, 39
Lastfall.....	9, 10, 37
Lastfallkombination.....	9, 10

M

Masken.....	8
Material.....	14
Materialbezeichnung.....	14

Materialbibliothek	15	Seitliche Zwischenlager	20
Materialkennwerte	14	Sichtmodus	41, 42
N		Skalierung	44
Nachweis	33, 34	Sonderfälle	30
Nachweis mehrfarbig	46	Spannungspunkt	18
Nationaler Anhang	11	Stäbe	9
Naumes	11	Stabendgelenk	27
Navigator	8	Stabilitätsnachweis	11, 20, 29
Nichtrostender Stahl	13, 15	Stabliste	28
O		Stabsatz	9, 24, 25, 27, 28, 35, 38, 40
Oberfläche	40	Stabschlankheiten	30, 39
OpenOffice	56	Stabverläufe	44
Optimierung	19, 30, 52	Starten von STAHL BS	6
P		Stelle x	34
Panel	7, 43, 46	Steuerpanel	46
Parametrisiertes Profil	52	Stückliste	39, 40
Position	39	Summe	40
Programmaufruf	6	T	
Q		Teilsicherheitsbeiwerte	11
Quasi-ständig	10	Trägertyp	28
Querlast	30	Tragfähigkeit	9, 29, 41
Querschnitt	16	U	
Querschnittsbibliothek	16, 17	Überhöhung	28
Querschnittsinfo	18	Unverformtes System	30
Querschnittsklasse	29	V	
Querschnittsoptimierung	52	Verborgener Ergebnisverlauf	46
R		Verformungsnachweis	28
Relationsbalken	41	Verschobene Stabenden	30
Relativ	20	Visualisierung	42
Rendering	46	Volumen	40
RFEM-Arbeitsfenster	42	Voute	17, 35, 53
RFEM-Grafik	48	X	
RF-STABIL	22	x-Stelle	34, 37
S		Z	
Schaltflächen	41	Zeigen-Navigator	43, 46
Schnittgrößen	37, 52	Zwischenlager	20