

**Fassung
August 2011**

Zusatzmodul

RF-STAHL

**Spannungsanalyse von
Flächen und Stäben**

Programm- Beschreibung

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten.

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

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

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

Inhalt

	Inhalt	Seite		Inhalt	Seite
1.	Einleitung	4	3.3	Ergebnisse	53
1.1	Zusatzmodule RF-STAHl	4	3.3.1	Spannungen querschnittsweise	53
1.2	RF-STAHl Team	5	3.3.2	Spannungen stabsatzweise	56
1.3	Gebrauch des Handbuchs	6	3.3.3	Spannungen stabweise	57
1.4	Aufruf der RF-STAHl-Module	6	3.3.4	Spannungen x-stellenweise	57
2.	RF-STAHl Flächen	8	3.3.5	Spannungen in jedem Spannungspunkt	58
2.1	Eingabedaten	8	3.3.6	Maßgebende Schnittgrößen stabweise	59
2.1.1	Basisangaben	8	3.3.7	Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise	60
2.1.1.1	Tragfähigkeit	9	3.3.8	Stückliste stabweise	61
2.1.1.2	Gebrauchstauglichkeit	10	3.3.9	Stückliste stabsatzweise	62
2.1.2	Materialien	11	4.	Ergebnisauswertung	63
2.1.3	Flächen	15	4.1	RF-STAHl Flächen	65
2.1.4	Daten für Gebrauchstauglichkeit	17	4.1.1	Auswahl der Spannungen	65
2.2	Berechnung	18	4.1.2	Ergebnisse am RFEM-Modell	66
2.2.1	Berechnungsdetails	18	4.2	RF-STAHl Stäbe	68
2.2.1.1	Spannungen	18	4.2.1	Auswahl der Spannungen	68
2.2.1.2	Gebrauchstauglichkeit	24	4.2.2	Ergebnisse am Querschnitt	69
2.2.1.3	Optionen	25	4.2.3	Ergebnisse am RFEM-Modell	71
2.2.2	Start der Berechnung	27	4.2.4	Ergebnisverläufe	74
2.3	Ergebnisse	28	4.3	Filter für Ergebnisse	75
2.3.1	Spannungen lastfallweise	28	5.	Ausdruck	77
2.3.2	Spannungen materialweise	31	5.1	Ausdruckprotokoll	77
2.3.3	Spannungen flächenweise	32	5.2	RF-STAHl-Grafiken drucken	77
2.3.4	Spannungen linienweise	32	5.2.1	Ergebnisse am RFEM-Modell	77
2.3.5	Spannungen in allen Punkten	33	5.2.2	Ergebnisse am Querschnitt	79
2.3.6	Spannungsschwingbreiten	34	6.	Allgemeine Funktionen	81
2.3.7	Verschiebungen	35	6.1	RF-STAHl-Bemessungsfälle	81
2.3.8	Stückliste	36	6.2	Optimierung	82
3.	RF-STAHl Stäbe	38	6.2.1	RF-STAHl Flächen	83
3.1	Eingabedaten	38	6.2.2	RF-STAHl Stäbe	84
3.1.1	Basisangaben	38	6.3	Materialexport nach RFEM	86
3.1.2	Materialien	40	6.4	Einheiten und Dezimalstellen	87
3.1.3	Querschnitte	43	6.5	Export der Ergebnisse	87
3.2	Berechnung	46	A	Literatur	89
3.2.1	Berechnungsdetails	46	B	Index	90
3.2.2	Spannungen und Ausnutzung	49			
3.2.3	Start der Berechnung	52			

1. Einleitung

1.1 Zusatzmodule RF-STAHl

Die beiden RF-STAHl-Zusatzmodule sind fest in die Benutzeroberfläche des Hauptprogramms RFEM integriert. Sie sind nicht eigenständig lauffähig. **RF-STAHl Flächen** führt die Spannungs- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise für Flächen- und Schalenelemente, **RF-STAHl Stäbe** weist die Spannungen von Stabgliedern nach. Dieses Handbuch beschreibt beide Module.

Beim Aufruf der beiden Module werden die bemessungsrelevanten Eingabedaten sowie die Schnittgrößen automatisch eingelesen. Umgekehrt lassen sich die Bemessungsergebnisse von RF-STAHl Flächen und RF-STAHl Stäbe im RFEM-Arbeitsfenster grafisch auswerten und auch in das globale Ausdruckprotokoll einbinden.

RF-STAHl führt allgemeine Spannungsnachweise nach dem Verfahren Elastisch-Elastisch, indem vorhandene Spannungen berechnet und anschließend den Grenzspannungen gegenübergestellt werden. Hierzu stehen eine erweiterbare Materialbibliothek mit den normspezifischen Grenzspannungen und eine umfangreiche Querschnittsbibliothek für Stabelemente zur Verfügung. Jedes Stabprofil ist bereits mit bemessungsrelevanten Spannungspunkten ausgestattet, die auch zur grafischen Auswertung genutzt werden können.

Im Zuge der Spannungsanalyse werden die maximalen Ausnutzungsgrade von Flächen, Stäben und Stabsätzen bestimmt. Dabei werden auch die für jeden Stab und Stabsatz maßgebenden Schnittgrößen dokumentiert. Zusätzlich bestehen Optimierungsmöglichkeiten für Flächen und Querschnitte einschließlich einer Übergabefunktion nach RFEM.

Separate RF-STAHl-Bemessungsfälle gestatten eine flexible Untersuchung der Spannungen. Die Bemessung wird durch eine Stückliste mit Massenermittlung abgerundet.

Einige Neuerungen in den beiden Modulen von RF-STAHl sind:

- Ermittlung der Vergleichsspannungen nach verschiedenen Hypothesen:
VON MISES, TRESCA, RANKINE, BACH
- Steuerung der Berechnungsmethode für Lastfallkombinationen
- Gebrauchstauglichkeitsnachweis durch Überprüfung der Flächenverschiebungen
- Ausgabe der Spannungsschwingbreiten Δ für Betriebsfestigkeitsnachweise
- Optimierung der Flächendicken und Übergabemöglichkeit nach RFEM
- Wahl eines maximalen Ausnutzungsgrades für Optimierungsprozess
- Exportoption für geänderte Materialien nach RFEM
- Differenzierte Ausgabe der einzelnen Spannungskomponenten und -ausnutzungen in Tabellen und Grafik
- Filtermöglichkeit für Flächen-, Linien- und Knotennummern in Tabellen
- Ausgabe der maßgebenden Schnittgrößen für Stabsätze
- Stückliste der bemessenen Flächen
- Datenexport zu MS Excel, OpenOffice.org Calc oder als CSV-Datei

Die RF-STAHl-Module eignen sich somit bestens für allgemeine Spannungsanalysen. Stabilitätsuntersuchungen wie z. B. in DIN 18000 Teil 2 oder EN 1993-1-1 gefordert werden jedoch nicht geführt. Hierfür bieten sich die Zusatzmodule RF-BGDK oder RF-STAHl EC3 an.

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

Ihr Team von ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH

1.2 RF-STAHl Team

An der Entwicklung von RF-STAHl waren beteiligt:

Programmkoordinierung

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

Programmierung

Ing. Zdeněk Kosáček	Ing. Roman Svoboda
Mgr. Petr Oulehle	Dis. Jiří Šmerák
Ing. Tomáš Pecholt	Lukáš Tůma
David Schweiner	

Querschnitts- und Materialdatenbank

Ing. Ph.D. Jan Rybín
Jan Brnušák

Programmdesign, Dialogbilder und Icons

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

Programmkontrolle

Ing. Hana Robovská	Michala Sobotková
Ing. Martin Vasek	Ing. František Knobloch

Handbuch, Hilfesystem und Übersetzungen

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

Technische Unterstützung und Endkontrolle

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

1.3 Gebrauch des Handbuchs

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

Dieses Handbuch orientiert sich an der Reihenfolge und am Aufbau der Eingabe- und Ergebnismasken. **RF-STAHL Flächen** wird im Kapitel 2 vorgestellt, **RF-STAHL Stäbe** im Kapitel 3. Die anschließenden Kapitel beschreiben gemeinsame Funktionen.



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 nachzuvollziehen sind.

Am Ende dieses Handbuchs befindet sich ein Stichwortverzeichnis. Sollten Sie trotzdem nicht fündig werden, so steht auf unserer Website www.dlubal.de eine Suchfunktion zur Verfügung. Dort können Sie in der umfangreichen Liste aller *Fragen und Antworten* das Problem nach bestimmten Kriterien eingrenzen und die Lösungsvorschläge nutzen.

1.4 Aufruf der RF-STAHL-Module

Es bestehen in RFEM folgende Möglichkeiten, die RF-STAHL-Zusatzmodule zu starten.

Menü

Der Programmaufruf kann erfolgen über das RFEM-Menü

Zusatzmodule → Stahlbau → RF-STAHL Flächen bzw. RF-STAHL Stäbe.

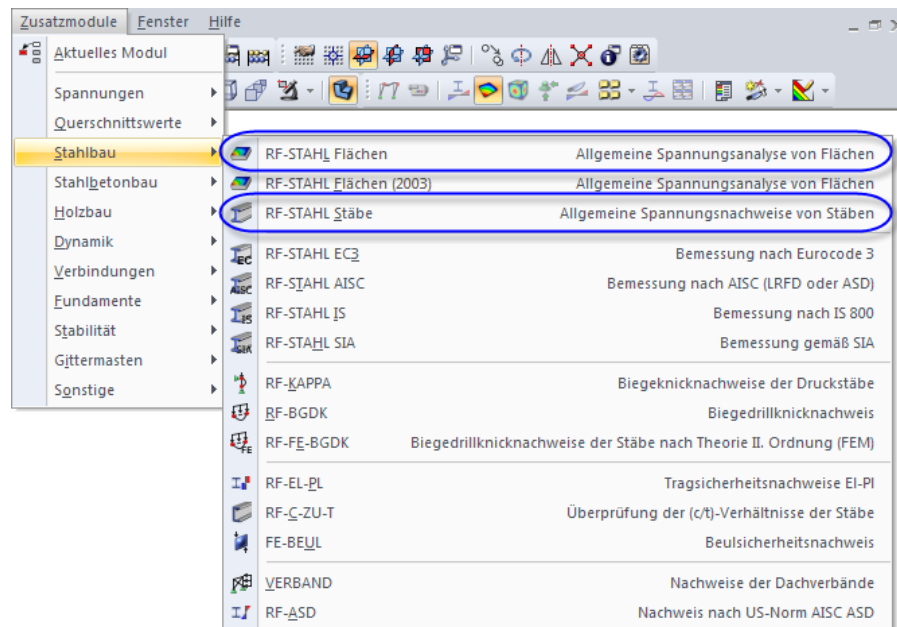


Bild 1.1: Menü: Zusatzmodule → Stahlbau → RF-STAHL Flächen bzw. RF-STAHL Stäbe

Beim Modul **RF-STAHL Flächen (2003)** handelt es sich um eine Vorgängerversion. Dieses Handbuch geht auf das Modul nicht näher ein.

Navigator

Die beiden RF-STAHl- Module können auch im *Daten-Navigator* aufgerufen werden über

Zusatzmodule → RF-STAHl Flächen bzw. RF-STAHl Stäbe.

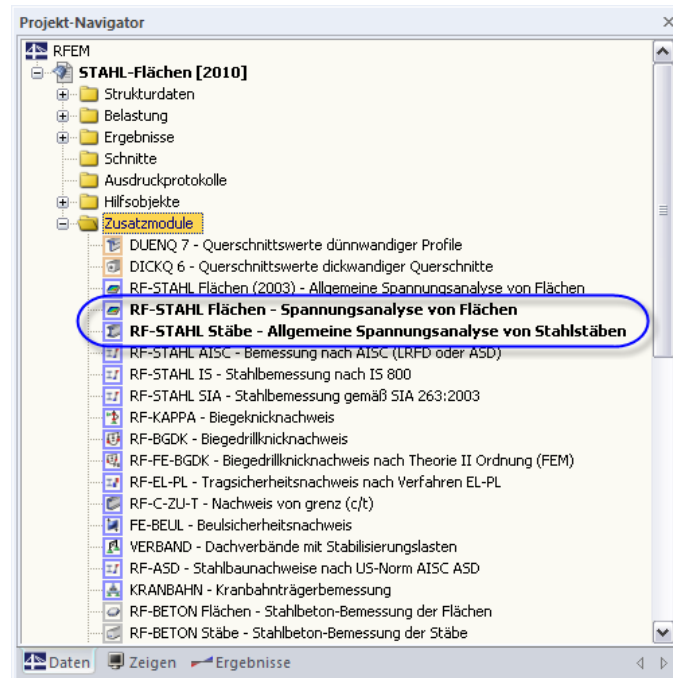
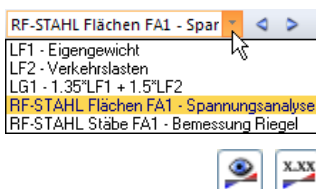


Bild 1.2: Daten-Navigator: Zusatzmodule → RF-STAHl Flächen bzw. RF-STAHl Stäbe

Panel

Falls in der RFEM-Position bereits Ergebnisse von RF-STAHl vorliegen, kann der gewünschte Bemessungsfall in der Liste der Lastfälle eingestellt werden. Gegebenenfalls ist noch mit der Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus] die grafische Anzeige der Ergebnisse zu aktivieren.

Im Panel wird nun die Schaltfläche [RF-STAHl Flächen] bzw. [RF-STAHl Stäbe] angeboten, die den Sprung in das Zusatzmodul ermöglicht.



RF-STAHl Flächen

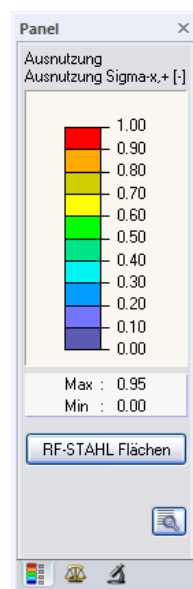


Bild 1.3: Panel-Schaltfläche [RF-STAHl Flächen]

2. RF-STAHL Flächen

2.1 Eingabedaten

Alle Eingaben zur Definition der Bemessungsfälle erfolgen in Masken.

Nach dem Aufruf von RF-STAHL Flächen wird in einem neuen Fenster links ein Navigator angezeigt, der alle verfügbaren Masken verwaltet. Oberhalb befindet sich eine Pulldownliste mit den Bemessungsfällen (siehe Kapitel 6.1, Seite 81).

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

- Flächen
- Lastfälle, Lastfallgruppen und -kombinationen sowie RF-DYNAM-Fälle
- Materialien
- Flächendicken
- Schnittgrößen (im Hintergrund – sofern berechnet)



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

Mit [OK] werden die vorgenommenen Eingaben gesichert und das Modul RF-STAHL Flächen verlassen. [Abbruch] beendet das Zusatzmodul, ohne die Daten zu speichern.

2.1.1 Basisangaben

In Maske 1.1 *Basisangaben* sind die zu bemessenden Flächen festzulegen. In den beiden Registern dieser Maske können zudem die Einwirkungen ausgewählt werden, die für die Nachweise der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit relevant sind.

RF-STAHL Flächen ist in der Lage, sowohl ebene als auch gekrümmte Flächen zu bemessen.



Die Bemessungsnorm wird erst indirekt in Maske 1.2 festgelegt, da die Norm mit den Materialeigenschaften verbunden ist.

Bemessen

Die Bemessung erfolgt für *Flächen*, wobei im Modul eine Beschränkung auf die Dickentypen ‚Konstant‘ und ‚Veränderlich‘ besteht. Falls nur bestimmte Flächen bemessen werden sollen, ist das Kontrollfeld *Alle* zu deaktivieren. Damit wird das Eingabefeld zugänglich, in das die Nummern der relevanten Flächen eingetragen werden können. Die Liste der voreingestellten Flächennummern kann schnell per Doppelklick selektiert und dann durch manuelle Einträge überschrieben werden.

Über die Schaltfläche [Pick] ist auch die grafische Auswahl im RFEM-Arbeitsfenster möglich.

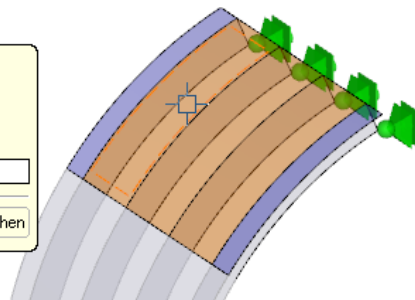
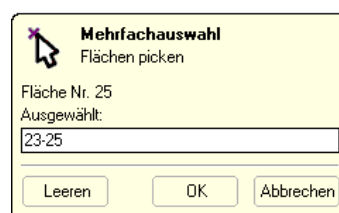


Bild 2.1: Grafische Auswahl am Modell

2.1.1.1 Tragfähigkeit

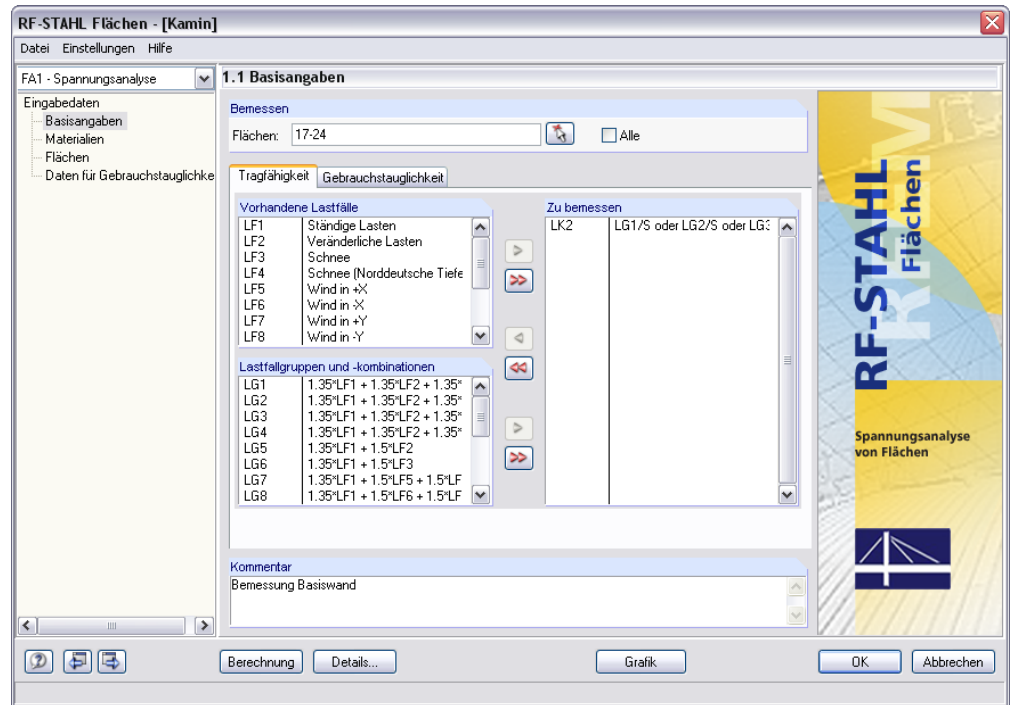


Bild 2.2: Maske 1.1 Basisangaben, Register Tragfähigkeit

Vorhandene Lastfälle / Lastfallgruppen und -kombinationen

In den beiden Abschnitten werden die in RFEM definierten Lastfälle, Lastfallgruppen, Lastfallkombinationen sowie ggf. RF-DYNAM-Fälle aufgelistet, die für die Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit infrage kommen. Mit der Schaltfläche [►] können selektierte Einträge nach rechts in die Liste *Zu Bemessen* übertragen werden. Die Auswahl kann auch per Doppelklick erfolgen. Die Schaltfläche [►►] übergibt die ganze Liste des Abschnitts nach rechts.

Zu bemessen

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

Die Bemessung einer einhüllenden *Oder*-Lastfallkombination erfolgt schneller als die Analyse für alle pauschal übernommenen Einwirkungen. Es empfiehlt sich, für Lastfallkombinationen im Dialog *Details*, Register *Optionen* die Einstellungen zur *Berechnung von Lastfallkombinationen* zu kontrollieren (siehe Kapitel 2.2.1.3, Seite 25).

Kommentar

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



2.1.1.2 Gebrauchstauglichkeit

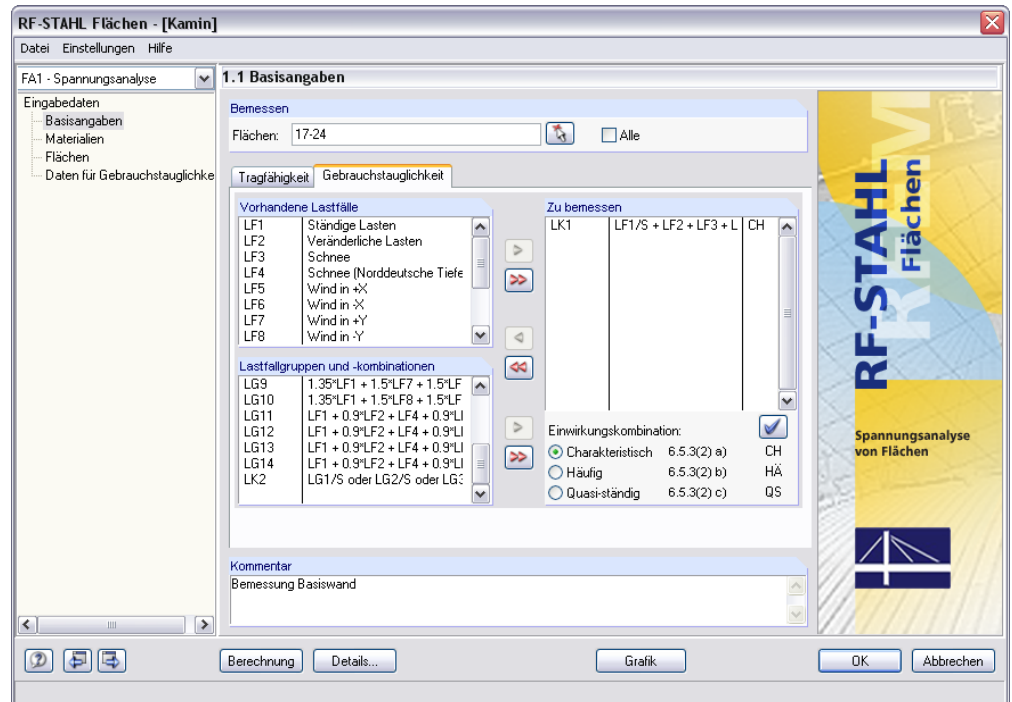


Bild 2.3: Maske 1.1 Basisangaben, Register Gebrauchstauglichkeit

Vorhandene Lastfälle / Lastfallgruppen und -kombinationen

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

Zu bemessen

Das Hinzufügen oder Entfernen von Einträgen ist im vorherigen Kapitel beschrieben. Die Bemessung für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit erfordert spezifische Teilsicherheitsbeiwerte, die in entsprechenden Lastfall- und Einwirkungskombinationen erfasst werden können.

Einwirkungskombination

Im unteren Bereich dieses Abschnitts besteht die Möglichkeit, den ausgewählten Lastfällen, Lastfallgruppen und -kombinationen Grenzwerte für die Durchbiegung zuzuweisen: Markieren Sie zunächst in der Liste *Zu bemessen* einen Eintrag und wählen dann eine der drei Einwirkungskombinationen aus. Ein Klick auf das blaue Häkchen [☑] weist dem markierten Lastfall dann diese Einwirkungskombination zu.

Folgende Einwirkungskombinationen stehen zur Wahl:

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

Die Grenzwerte der Verformung sind in den Normen geregelt. Sie können im Dialog *Details*, Register *Gebrauchstauglichkeit* für die einzelnen Einwirkungskombinationen abgeändert werden (siehe Kapitel 2.2.1.2, Seite 24).

Die für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit maßgebenden Bezugslängen werden in Maske 1.4 *Daten für Gebrauchstauglichkeit* verwaltet (siehe Kapitel 2.1.4, Seite 17).



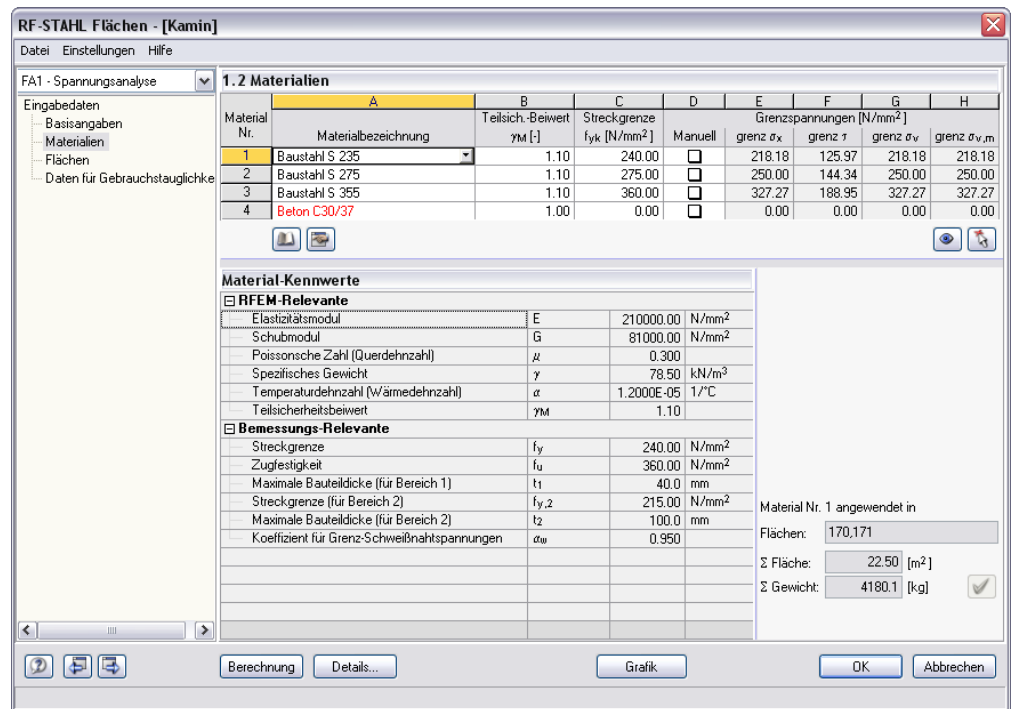
2.1.2 Materialien

Diese Maske ist zweigeteilt. Im oberen Abschnitt sind die in RFEM definierten Materialien mit ihren Grenzspannungen 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. In der globalen Materialbibliothek sind die bemessungsrelevanten Materialeigenschaften gespeichert; sie sind automatisch eingestellt, können in dieser Maske jedoch angepasst werden.

Die Einheiten und Nachkommastellen der Materialkennwerte und Spannungen lassen sich über das Menü **Einstellungen** → **Einheiten und Dezimalstellen** anpassen (siehe Bild 6.13, Seite 87).



Material Nr.	Materialbezeichnung	Teilsch.-Beiwert γ_M [-]	Streckgrenze f_{yk} [N/mm ²]	Manuell	Grenzspannungen [N/mm ²]
					grenz σ_x grenz τ grenz σ_y grenz $\sigma_{y,m}$
1	Baustahl S 235	1.10	240.00	<input type="checkbox"/>	218.18 125.97 218.18 218.18
2	Baustahl S 275	1.10	275.00	<input type="checkbox"/>	250.00 144.34 250.00 250.00
3	Baustahl S 355	1.10	360.00	<input type="checkbox"/>	327.27 188.95 327.27 327.27
4	Beton C30/37	1.00	0.00	<input type="checkbox"/>	0.00 0.00 0.00 0.00

Material-Kennwerte		
RFEM-Relevante		
Elastizitätsmodul	E	210000.00 N/mm ²
Schubmodul	G	81000.00 N/mm ²
Poissonsche Zahl (Querdehnzahl)	μ	0.300
Spezifisches Gewicht	γ	78.50 kN/m ³
Temperaturdehnzahl (Wärmedehnzahl)	α	1.2000E-05 1/°C
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	1.10
Bemessungs-Relevante		
Streckgrenze	f_y	240.00 N/mm ²
Zugfestigkeit	f_u	360.00 N/mm ²
Maximale Bauteildicke (für Bereich 1)	t_1	40.0 mm
Streckgrenze (für Bereich 2)	$f_{y,2}$	215.00 N/mm ²
Maximale Bauteildicke (für Bereich 2)	t_2	100.0 mm
Koeffizient für Grenz-Schweißnahtspannungen	σ_w	0.950

Material Nr. 1 angewendet in

Flächen: 170.171

Σ Fläche: 22.50 [m²]

Σ Gewicht: 4180.1 [kg] ☒

Bild 2.4: Maske 1.2 Materialien

Materialbezeichnung

Die in RFEM definierten Materialien sind voreingestellt. Wenn die *Materialbezeichnung* geändert wird und der manuelle Eintrag mit der Materialbibliothek übereinstimmt, liest das Programm die zur Bemessung erforderlichen Materialkennwerte ein.

Über die Liste kann das Material ebenfalls 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 in die restlichen Felder der Zeile eingetragen.

In der Liste werden nur Materialien der Kategorie **Stahl** angeführt. Es stehen die Stahlgüten verschiedener Stahlbaunormen zu Wahl. Grundsätzlich ist auch die Bemessung beliebiger Materialien möglich, deren Spannungs-konzept auf dem Vergleich von vorhandenen Normal-, Schub- und Vergleichsspannungen mit den jeweiligen zulässigen Spannungen beruht

A	
Materialbezeichnung	
Baustahl S 355	
Baustahl S 235	DIN 18800: 1990-11
Baustahl S 275	DIN 18800: 1990-11
Baustahl S 355	DIN 18800: 1990-11
Feinkornbaustahl S 275 N	DIN 18800: 1990-11
Feinkornbaustahl S 275 M	DIN 18800: 1990-11
Feinkornbaustahl S 355 N	DIN 18800: 1990-11
Feinkornbaustahl S 355 M	DIN 18800: 1990-11
Feinkornbaustahl S 460 N	DIN 18800: 1990-11
Feinkornbaustahl S 460 M	DIN 18800: 1990-11
Vergütungsstahl C 35+N	DIN 18800: 1990-11

(z. B. Bemessung von Aluminium- oder Edelstahlbauteilen). Die jeweiligen Normvorgaben müssen selbstverständlich ergänzend berücksichtigt werden.

Liegt ein Material mit nicht definierten Grenzspannungen vor (z. B. Glas), werden die Einträge dieser Zeile rot dargestellt. Die Grenzspannungen können jedoch durch Aktivieren der Funktion **Manuell** in Spalte D benutzerdefiniert festgelegt werden. Sobald die zulässigen Spannungen in den Spalten E bis G eingetragen sind, verschwindet die rote Darstellung.

Die Übernahme von Materialien aus der Bibliothek ist weiter unten beschrieben.

Teilsicherheitsbeiwert γ_M

Dieser Beiwert beschreibt den Sicherheitsfaktor zur Berechnung der Bemessungswerte der Materialfestigkeiten – deshalb der Index *M*. Mit dem Faktor γ_M wird der charakteristische Wert der Streckgrenze f_{yk} abgemindert, um die Grenzspannungen gemäß Gleichung 2.1 und Gleichung 2.2 zu ermitteln.

Streckgrenze f_{yk}

Die Streckgrenze beschreibt die Grenze, bis zu der das Material ohne bleibende Verformung gedehnt werden kann. Die charakteristischen Werte verschiedener Stahlgüten können z. B. DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 4 und EN 1993-1-1, Abschnitt 3 entnommen werden.

Grenzspannungen

Bei Materialien, die in der allgemeinen Materialbibliothek verankert sind, sind die Grenzspannungen automatisch eingetragen und für Änderungen nicht zugänglich.



Um die Grenzspannungen anzupassen, kann das Kontrollfeld *Manuell* in Spalte D oder die Schaltfläche [Material bearbeiten] benutzt werden (siehe Bild 2.6, Seite 14).

Manuell

Wird das Kontrollfeld aktiviert, so können die Grenzspannungen in den Spalten E bis H manuell festgelegt werden.

Geänderte Materialkennwerte werden in der Spalte *Materialbezeichnung* mit einem Sternchen symbolisiert.

Materialbezeichnung
Baustahl S 235*

grenz σ_x

Die Grenznormalspannung stellt die zulässige Spannung für Beanspruchung infolge Biegung und Membrankräfte dar. Sie bestimmt sich z. B. gemäß DIN 18800 Teil 1, El. (746) aus dem charakteristischen Wert der Streckgrenze, der mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_M abgemindert wird.

$$\sigma_{x,R,d} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M}$$

Gleichung 2.1

grenz τ

Die Grenzschubspannung gibt die zulässige Schubspannung infolge Querkraft und Torsion an. Nach DIN 18800 Teil 1, El. (746) fließt in die Gleichung zur Ermittlung der Grenzschubspannung ebenfalls der Teilsicherheitsbeiwert γ_M ein.

$$\tau_{R,d} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}}$$

Gleichung 2.2

grenz σ_v

Die Grenzvergleichsspannung stellt die zulässige Vergleichsspannung für die gleichzeitige Wirkung mehrerer Spannungen dar. Sie bestimmt sich nach DIN 18800 Teil1, El. (746) gemäß Gleichung 2.1.

grenz $\sigma_{v,m}$

Die Grenzmembranvergleichsspannung drückt die zulässige Vergleichsspannung infolge Membranspannungen aus. Sie wird ebenfalls gemäß Gleichung 2.1 ermittelt.

Streckgrenze in Abhängigkeit der Bauteildicke

Bei einigen Materialien besteht ein Zusammenhang zwischen der charakteristischen Streckgrenze $f_{y,k}$ und der Dicke des Bauteils t . Im Abschnitt *Materialkennwerte* unterhalb wird die *Maximale Bauteildicke* der einzelnen Bereiche mit der zugehörigen Streckgrenze angegeben.

Die Streckgrenzenbereiche sind in den Normen geregelt, z. B. DIN 18800 Teil 1, Tabelle 1. Über die Schaltfläche [Material bearbeiten] können die Bauteildicken und die zugeordneten Spannungen kontrollieren und ggf. angepasst werden (siehe Seite 14).

Materialbibliothek

Viele Materialien sind in einer Bibliothek hinterlegt. Diese wird aufgerufen über Menü

Bearbeiten → Materialbibliothek

oder die links dargestellte Schaltfläche, die unterhalb Spalte A zu finden ist.

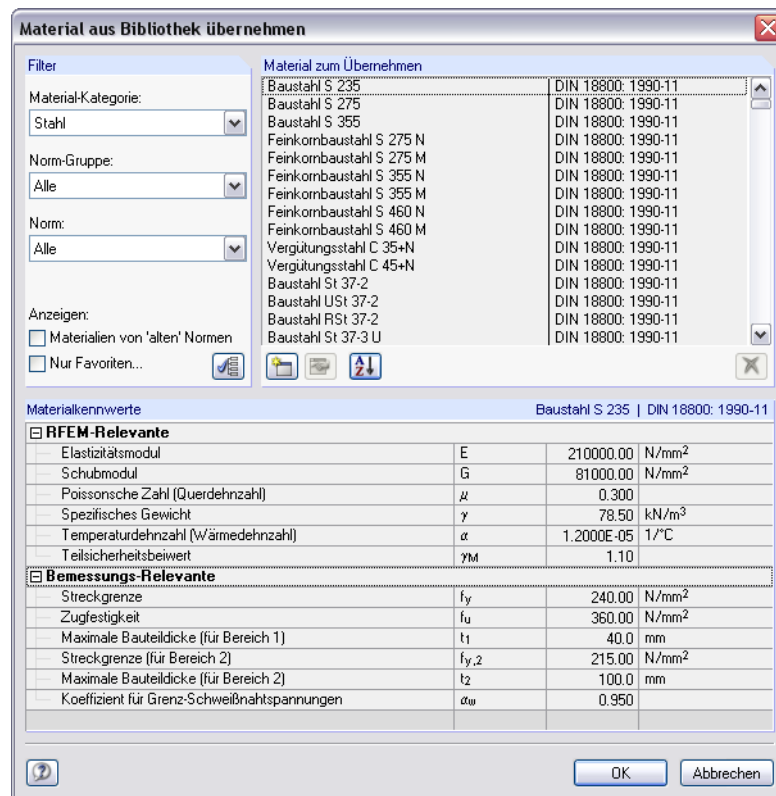


Bild 2.5: Dialog *Material aus Bibliothek übernehmen*

Im Abschnitt *Filter* ist die Materialkategorie *Stahl* voreingestellt. Die gewünschte Stahlgüte 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 RF-STAHL Maske 1.2 übernommen.

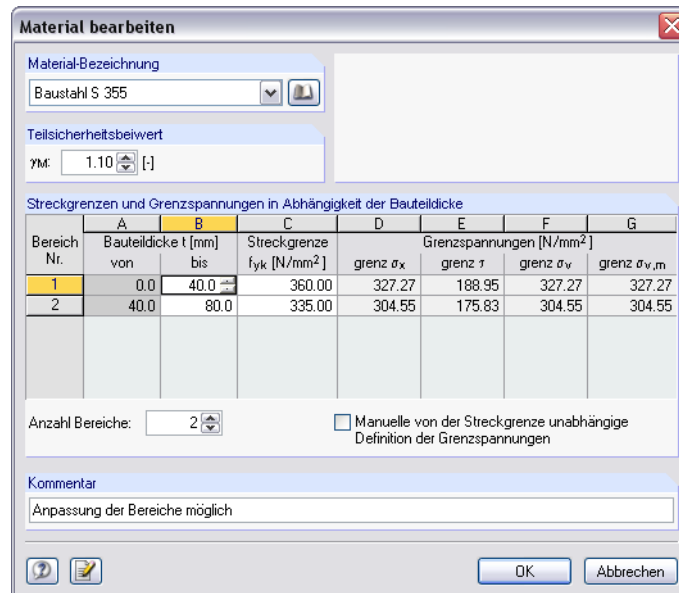
Das Kapitel 5.3 des RFEM-Handbuches beschreibt, wie Materialien gefiltert, ergänzt oder neu sortiert werden.

Bei der Wahl einer anderen Materialkategorie als *Stahl* ist zu beachten, dass nur Materialien bemessen werden können, deren Spannungskonzept auf dem Vergleich von vorhandenen Normal-, Schub- und Vergleichsspannungen mit den jeweiligen zulässigen Spannungen beruht. Somit ist – mit Einschränkungen – die Bemessung von z. B. Aluminium- oder Edelstahlbauteilen möglich.

Wird ein Material mit nicht definierten Grenzspannungen übernommen (z. B. Glas), werden die Einträge dieser Zeile in Maske 1.2 rot dargestellt. Die Grenzspannungen können jedoch durch Aktivieren der Funktion **Manuell** in Spalte D benutzerdefiniert festgelegt werden. Sobald die zulässigen Spannungen in die Spalten E bis H eingetragen sind, verschwindet die rote Darstellung. Dabei ist zu beachten, dass Spannungsnachweise für z. B. Glasflächen nur ansatzweise erfolgen können. Hierfür ist das Zusatzmodul RF-GLAS zu empfehlen.

Material bearbeiten

Über die links dargestellte Schaltfläche können die Streckgrenzen und Grenzspannungen des aktuellen Materials angepasst werden. Sie ist unterhalb Spalte A zu finden.

Bereich Nr.	Bauteildicke t [mm]		Streckgrenze f_{yk} [N/mm²]	Grenzspannungen [N/mm²]			
	von	bis		grenz σ_x	grenz τ	grenz σ_v	grenz $\sigma_{v,m}$
1	0.0	40.0	360.00	327.27	188.95	327.27	327.27
2	40.0	80.0	335.00	304.55	175.83	304.55	304.55

Bild 2.6: Dialog *Material bearbeiten*

Über den Faktor γ_M im Abschnitt *Teilsicherheitsbeiwert* werden die in Spalte C im Abschnitt unterhalb angegebenen charakteristische Werte der Streckgrenze f_{yk} abgemindert. In den Spalten D bis G sind die nach Gleichung 2.1 und Gleichung 2.2 auf Seite 12 ermittelten Grenzspannungen aufgelistet.

Im Abschnitt *Streckgrenzen und Grenzspannungen in Abhängigkeit der Bauteildicke* ist es möglich, die Bereiche der *Bauteildicke t* zu ändern. Die Anzahl der Bereiche ist normgemäß vorgegeben; die Bereichsgrenzen können durch manuelle Einträge in Spalte B verschoben werden. Spalte A wird dabei automatisch angepasst. Jedem Bereich kann eine bestimmte *Streckgrenze f_{yk}* zugeordnet werden.

Das Kontrollfeld *Manuelle von der Streckgrenze unabhängige Definition der Grenzspannungen* ermöglicht es, die Grenzspannungen frei festzulegen. Nach dem Setzen des Häkchens sind die Spalten D bis G für benutzerdefinierte Einträge zugänglich.

Geänderte Materialien werden in Maske 1.2 mit einem Sternchen symbolisiert.

Materialbezeichnung
Baustahl S 235*

2.1.3 Flächen

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

RF-STAHL Flächen - [Kamin]

FA1 - Spannungsanalyse

1.3 Flächen

Fläche Nr.	Material Nr.	Typ	Dicke d [mm]	Max. Ausnutzung [-]	Optimieren	Anmerkung	Fläche A [m²]	Gewicht G [kg]	Kommentar
17	3	Konstant	4.0	0.35	<input type="checkbox"/>		2.47	77.6	
18	3	Konstant	4.0	0.36	<input type="checkbox"/>		2.47	77.6	
19	3	Konstant	4.0	0.30	<input type="checkbox"/>		2.47	77.6	
20	3	Konstant	4.0	0.29	<input type="checkbox"/>		2.47	77.6	
21	3	Konstant	4.0	0.22	<input type="checkbox"/>		14.85	466.2	
22	3	Konstant	4.0	0.22	<input type="checkbox"/>		14.85	466.2	
23	3	Konstant	8.0	0.41	<input type="checkbox"/>		14.85	932.5	
24	3	Konstant	16.0	1.16	<input checked="" type="checkbox"/>	7)	14.85	1863.2	
169	4	Konstant	200.0	0.00	<input type="checkbox"/>	4)	18.00	9000.0	
170	1	Orthotrop	20.0	0.00	<input type="checkbox"/>	1)	15.00	2355.0	
171	1	Veränderlich		0.42	<input type="checkbox"/>	2)	7.50	1825.1	
172	2	Konstant	20.0	0.52	<input type="checkbox"/>		15.00	2355.0	

3 - Baustahl S 235
DIN 18800: 1990-11

7) Die Dicke unterscheidet sich von der Dicke in RFEM.

Berechnung Details... Grafik OK Abbrechen

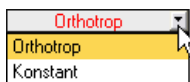
Fläche Nr. 24 - Typ: Konstant - Dicke d: 16.0 mm

Bild 2.7: Maske 1.3 Flächen

Dicke

Typ

Die in RFEM verwendeten Dickentypen der Flächen sind voreingestellt, ebenso die zugeordneten Materialnummern.



Im Modul besteht eine Beschränkung auf die RFEM-Dickentypen *Konstant*, *Veränderlich* und *Membran isotrop*. Die Bemessung anderer Typen wie beispielsweise orthotroper Flächen ist derzeit nicht vorgesehen. Um eine solche Fläche dennoch zu bemessen, kann sie hier in den Dickentyp *Konstant* geändert werden: Setzen Sie den Cursor in die relevante Zelle und betätigen anschließend [▼] oder die Funktionstaste [F7], um wie links gezeigt die Auswahlliste aufzurufen. Die Bemessung erfolgt dann mit den RFEM-Schnittgrößen als Fläche mit konstanter Dicke und isotropen Eigenschaften.

d

Die in RFEM definierten Dicken sind voreingestellt, können in dieser Spalte jedoch geändert werden. Nach einem Klick in ein Eingabefeld lässt sich die neue Dicke entweder manuell eingeben oder über die Drehfelder anpassen.



Bitte beachten Sie beim Ändern der Flächendicken und beim Optimieren, dass die Schnittgrößen nicht automatisch neu berechnet werden. Wegen der geänderten Steifigkeiten im System können die Schnittgrößen, die sich mit den geänderten Dicken ergeben, erheblich differieren. Es empfiehlt sich, nach einer ersten Bemessung die Dicken in RFEM ebenfalls anzupassen bzw. nach RFEM zu exportieren (siehe Bild 6.7, Seite 83) und anschließend die Flächen nochmals mit RF-STAHL Flächen zu bemessen.

Details...

Max. Ausnutzung

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

Optimieren

Jede Fläche kann einem Optimierungsprozess unterzogen werden. Dabei wird mit den RFEM-Schnittgrößen die Flächendicke ermittelt, die der maximalen Ausnutzung am nächsten kommt, wie sie im Dialog *Details*, Register *Optionen* vorgegeben ist (siehe Bild 2.12, Seite 25).

Um eine Fläche zu optimieren, ist das entsprechende Kontrollfeld in Spalte D bzw. E zu aktivieren. Empfehlungen zur Profilloptimierung finden Sie im Kapitel 6.2.1 auf Seite 83.

Anmerkung

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

Falls dort die Anmerkung 1) *Fläche wird nicht bemessen, da diese des Typs ‚Orthotropie‘ ist* erscheint, so kann der Dickentyp ggf. probeweise auf ‚Konstant‘ gesetzt werden. Klicken Sie hierzu in die entsprechende Zelle der Spalte B und rufen mit der Schaltfläche [▼] die Auswahlliste auf.

Fläche

Diese Spalte gibt Aufschluss über den Flächeninhalt einer jeden Fläche.

Masse

In dieser Spalte sind die Massen der zur Bemessung vorgesehenen Flächen angegeben.

Kommentar

Diese letzte Spalte ermöglicht benutzerdefinierte Anmerkungen, um z. B. Änderungen bei Flächen zu dokumentieren.

2.1.4 Daten für Gebrauchstauglichkeit

Die letzte Eingabemaske wird nur dann angezeigt, wenn im Register *Gebrauchstauglichkeit* der Maske 1.1 Eingaben vorgenommen wurden (siehe Kapitel 2.1.1.2, Seite 10). Hier bestehen Einstellmöglichkeiten für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit.

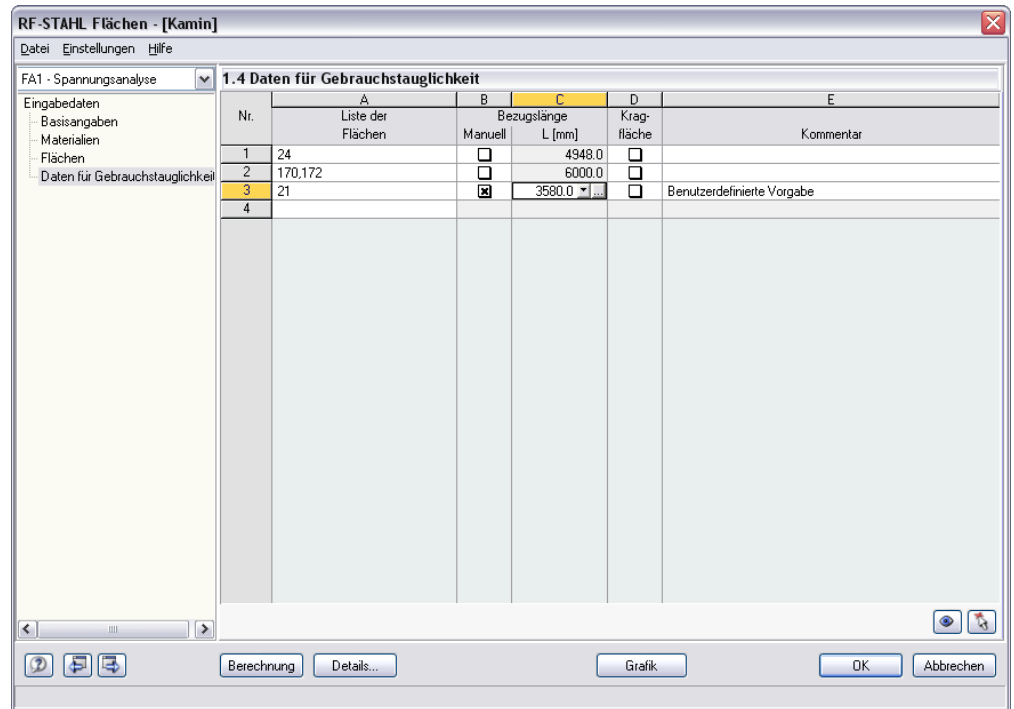


Bild 2.8: Maske 1.4 Daten für Gebrauchstauglichkeit

Liste der Flächen

In dieser Spalte sind die Nummern der nachzuweisenden Flächen einzutragen bzw. über die [Pick]-Funktion grafisch im RFEM-Arbeitsfenster auszuwählen. Die jeweiligen Bezugslängen werden dann automatisch in Spalte C eingetragen.

Falls mehrere Flächen in ein Eingabefeld übernommen werden, so sollten diese die gleichen Geometrieverhältnisse aufweisen. Die Bezugslänge L wird als Maximallänge aller in diesen Flächen enthaltenen Randlinien voreingestellt.

Bezugslänge

Spalte C enthält die Werte der längsten Randlinien, die in den jeweiligen Flächen vorliegen. Für die Voreinstellung werden die Längen der Einzellinien herangezogen, Linienzüge bleiben unberücksichtigt.

Um eine Bezugslänge anzupassen, ist das Kontrollfeld *Manuell* zu aktivieren. Damit wird das Eingabefeld für L zugänglich, in dem der Wert eingetragen, über [▼] aus der Liste gewählt oder mit [...] im RFEM-Arbeitsfenster grafisch bestimmt werden kann. Manuelle Korrekturen sind beispielsweise für Flächen erforderlich, die innerhalb anderer Flächen liegen.

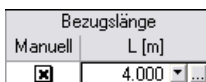
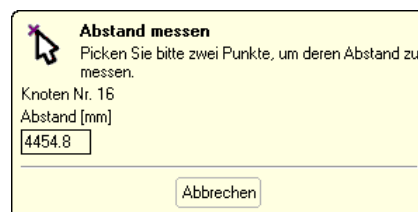



Bild 2.9: Dialog zur grafischen Bestimmung der Randpunkte

Kragfläche

Für den korrekten Ansatz der Grenzverformungen ist auch bedeutsam, ob es sich um eine allseitig gestützte oder eine auskragende Fläche handelt.

Details...

In Spalte D kann die Zuweisung als *Kragfläche* erfolgen, um andere Gebrauchstauglichkeits-Grenzwerte anzusetzen. Diese können im Dialog *Details*, Register *Gebrauchstauglichkeit* kontrolliert und ggf. angepasst werden (siehe Bild 2.11, Seite 24).

2.2 Berechnung

Berechnung

In jeder Eingabemaske kann die [Berechnung] über die gleichnamige Schaltfläche gestartet werden. Die Spannungsanalyse erfolgt mit den in RFEM ermittelten Schnittgrößen. Vorher empfiehlt sich eine kurze Überprüfung der Berechnungsparameter.

2.2.1 Berechnungsdetails

Details...

In jeder Maske kann mit der Schaltfläche [Details] der Dialog zur Kontrolle der Berechnungsparameter aufgerufen werden.

2.2.1.1 Spannungen

Anzuzeigende Spannungen

In den Ergebnismasken 2.1 bis 2.5 werden standardmäßig diese Spannungen ausgewiesen:

- Schubspannungen τ_{\max}
- Hauptspannungen σ in Richtung der Hauptachsen an Flächenober- und -unterseite
- Membranspannungen σ_m in Richtung der Hauptachsen
- Vergleichsspannung σ_v
- Membran-Vergleichsspannung $\sigma_{v,m}$

Details...

Das Register *Spannungen* des Dialogs *Details* steuert, welche Spannungen und Spannungs-komponenten ausgegeben werden.

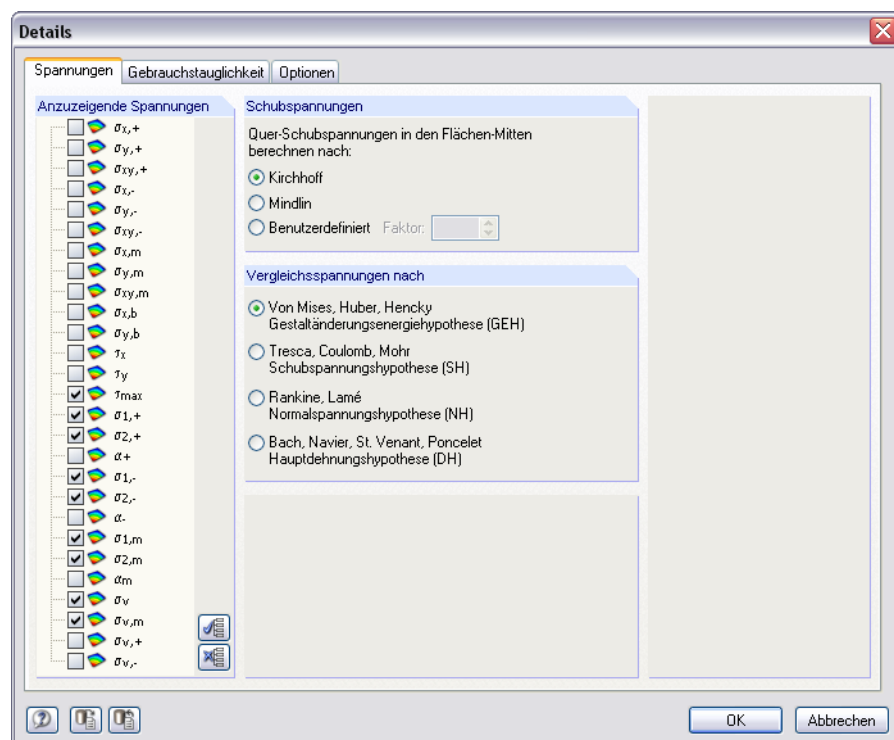


Bild 2.10: Dialog *Details*, Register *Spannungen*

$\sigma_{x,+}$	Spannung in Richtung der lokalen x-Achse auf der positiven Seite der Fläche (d. h. der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z) $\sigma_{x,+} = \frac{n_x}{d} + \frac{6 \cdot m_x}{d^2}$ mit d : Dicke der Fläche
$\sigma_{y,+}$	Spannung in Richtung der lokalen y-Achse auf der positiven Seite der Fläche $\sigma_{y,+} = \frac{n_y}{d} + \frac{6 \cdot m_y}{d^2}$
$\sigma_{xy,+}$	Drillspannung an der positiven Flächenseite $\sigma_{xy,+} = \frac{n_{xy}}{d} + \frac{6 \cdot m_{xy}}{d^2}$
$\sigma_{x,-}$	Spannung in Richtung der x-Achse auf der negativen Flächenseite $\sigma_{x,-} = \frac{n_x}{d} - \frac{6 \cdot m_x}{d^2}$
$\sigma_{y,-}$	Spannung in Richtung der y-Achse auf der negativen Flächenseite $\sigma_{y,-} = \frac{n_y}{d} - \frac{6 \cdot m_y}{d^2}$
$\sigma_{xy,-}$	Drillspannung an der negativen Flächenseite $\sigma_{xy,-} = \frac{n_{xy}}{d} - \frac{6 \cdot m_{xy}}{d^2}$
$\sigma_{x,m}$	Membranspannung infolge Normalkraft n_x $\sigma_{x,m} = \frac{n_x}{d}$
$\sigma_{y,m}$	Membranspannung infolge Normalkraft n_y $\sigma_{y,m} = \frac{n_y}{d}$
$\sigma_{xy,m}$	Membranspannung infolge Schubfluss n_{xy} $\sigma_{xy,m} = \frac{n_{xy}}{d}$
$\sigma_{x,b}$	Spannung infolge Biegemoment m_x $\sigma_{x,b} = \frac{6 \cdot m_x}{d^2}$
$\sigma_{y,b}$	Spannung infolge Biegemoment m_y $\sigma_{y,b} = \frac{6 \cdot m_y}{d^2}$
τ_x	Schubspannung rechtwinklig zur Fläche in Richtung der x-Achse $\tau_x = \frac{3 \cdot v_x}{2 \cdot d}$
τ_y	Schubspannung rechtwinklig zur Fläche in Richtung der y-Achse $\tau_y = \frac{3 \cdot v_y}{2 \cdot d}$
τ_{\max}	Maximale Schubspannung senkrecht zur Fläche $\tau_{\max} = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2}$

$\sigma_{1,+}$	Spannung in Richtung der Hauptachse 1 an der positiven Flächenseite (d. h. der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z) $\sigma_{1,+} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,+} + \sigma_{y,+} + \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,+}^2} \right)$
$\sigma_{2,+}$	Spannung in Richtung der Hauptachse 2 an der positiven Flächenseite $\sigma_{2,+} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,+} + \sigma_{y,+} - \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,+}^2} \right)$
α_+	Winkel zwischen der lokalen Achse x (bzw. y) und der Hauptachse 1 (bzw. 2) für die Spannungen an der positiven Flächenseite $\alpha_+ = \frac{1}{2} \left(\arctan \left(\frac{2 \cdot \sigma_{xy,+}}{\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+}} \right) \right)$
$\sigma_{1,-}$	Spannung in Richtung der Hauptachse 1 an der negativen Flächenseite $\sigma_{1,-} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,-} + \sigma_{y,-} + \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,-}^2} \right)$
$\sigma_{2,-}$	Spannung in Richtung der Hauptachse 2 an der negativen Flächenseite $\sigma_{2,-} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,-} + \sigma_{y,-} - \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,-}^2} \right)$
α_-	Winkel zwischen der lokalen Achse x (bzw. y) und der Hauptachse 1 (bzw. 2) für die Spannungen an der negativen Flächenseite $\alpha_- = \frac{1}{2} \left(\arctan \left(\frac{2 \cdot \sigma_{xy,-}}{\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-}} \right) \right)$
$\sigma_{1,m}$	Membranspannung infolge Normalkraft n_1 $\sigma_{1,m} = \frac{n_1}{d}$ <div>mit d: Dicke der Fläche</div>
$\sigma_{2,m}$	Membranspannung infolge Normalkraft n_2 $\sigma_{2,m} = \frac{n_2}{d}$
α_m	Winkel zwischen der Achse x und der Hauptachse 1 (für Normalkraft n_1) $\frac{1}{2} \left[\arctan \left(\frac{2 \cdot n_{xy}}{n_x - n_y} \right) \right]$
σ_v	Größte Vergleichsspannung als Maximum von $\sigma_{v,+}$ und $\sigma_{v,-}$ (siehe unten)
$\sigma_{v,+}$	Vergleichsspannung an der positiven Flächenseite (d. h. der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z) gemäß gewählter Spannungshypothese (siehe Tabelle 2.2 bis Tabelle 2.5)
$\sigma_{v,-}$	Vergleichsspannung an der positiven bzw. negativen Flächenseite gemäß gewählter Spannungshypothese (siehe Tabelle 2.2 bis Tabelle 2.5)
$\sigma_{v,m}$	Membran-Vergleichsspannung gemäß gewählter Spannungshypothese (siehe Tabelle 2.2 bis Tabelle 2.5)

Tabelle 2.1: Spannungen

Schubspannungen

Die Ermittlung der *Quer-Schubspannungen* in den Flächenmitten kann nach folgenden drei Ansätzen erfolgen (siehe Bild 2.10, Seite 18).

Kirchhoff

$$\tau_x = 1,5 \cdot \frac{V_x}{d}$$

$$\tau_y = 1,5 \cdot \frac{V_y}{d}$$

Gleichung 2.3

Mindlin

$$\tau_x = 1,0 \cdot \frac{V_x}{d}$$

$$\tau_y = 1,0 \cdot \frac{V_y}{d}$$

Gleichung 2.4

Benutzerdefiniert

Es kann ein *Faktor* angegeben werden, der zur Ermittlung der Schubspannungen τ_x und τ_y im Sinne von Gleichung 2.3 oder Gleichung 2.4 zu verwenden ist.

Vergleichsspannungen

Die Vergleichsspannungen aus den einzelnen Spannungskomponenten können nach vier unterschiedlichen Ansätzen ermittelt werden (siehe Bild 2.10, Seite 18).

Von Mises, Huber, Hencky

Diese Spannungshypothese ist als *Gestaltänderungsenergiehypothese* oder als „Vergleichsspannung nach VON MISES“ bekannt. Es wird dabei davon ausgegangen, dass der Werkstoff versagt, wenn die Gestaltänderungsenergie eine bestimmte Grenze überschreitet. Die Gestaltänderungsenergie stellt diejenige Energie dar, die eine Verzerrung oder Deformation des Körpers hervorruft.

Die Vergleichsspannung nach der Gestaltänderungshypothese ist die bekannteste und am häufigsten angewandte Vergleichsspannungshypothese. Sie eignet sich für alle Materialien, die nicht spröde sind. Ein wichtiges Anwendungsgebiet ist somit der Stahlhochbau.

Diese Hypothese ist für hydrostatische Spannungszustände mit gleichen Hauptspannungen in alle Richtungen ungeeignet, da die Vergleichsspannung in solchen Fällen Null ist.

Die Vergleichsspannungen nach VON MISES für den ebenen Spannungszustand bedeuten:

$\sigma_{v,+}$	Vergleichsspannung an der positiven Flächenseite (d. h. der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z) $\sigma_{v,+} = \sqrt{\sigma_{x,+}^2 + \sigma_{y,+}^2 - \sigma_{x,+} \cdot \sigma_{y,+} + 3 \cdot \sigma_{xy,+}^2}$
$\sigma_{v,-}$	Vergleichsspannung an der negativen Flächenseite $\sigma_{v,-} = \sqrt{\sigma_{x,-}^2 + \sigma_{y,-}^2 - \sigma_{x,-} \cdot \sigma_{y,-} + 3 \cdot \sigma_{xy,-}^2}$

	Membran-Vergleichsspannung als der größte Absolutbetrag von
	$\sigma_{v,m} = \frac{\sigma_{x,m} + \sigma_{y,m}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m}}{2}\right)^2 + \sigma_{xy,m}^2} \quad \text{oder}$
	$\sigma_{v,m} = \frac{\sigma_{x,m} + \sigma_{y,m}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m}}{2}\right)^2 + \sigma_{xy,m}^2} \quad \text{oder}$
$\sigma_{v,m}$	$\sigma_{v,m} = \sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,m}^2}$
	mit
	$\sigma_{x,m} = \frac{n_x}{d}$
	$\sigma_{y,m} = \frac{n_y}{d}$
	$\sigma_{xy,m} = \frac{n_{xy}}{d}$
	mit d : Dicke der Fläche

Tabelle 2.2: Vergleichsspannungen nach VON MISES, HUBER, HENCKY

Tresca, Coulomb, Mohr

Bei der *Schubspannungshypothese*, die auch als „Vergleichsspannung nach TRESCA“ bekannt ist, wird davon ausgegangen, dass das Versagen durch die maximale Schubspannung hervorgerufen wird.

Da sich diese Hypothese besonders für spröde Werkstoffe eignet, wird sie häufig im Maschinenbau angewandt.

Diese Vergleichsspannungen werden wie folgt ermittelt.

$\sigma_{v,+}$	Vergleichsspannung an der positiven Flächenseite (d. h. der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z) $\sigma_{v,+} = \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,+}^2}$
$\sigma_{v,-}$	Vergleichsspannung an der negativen Flächenseite $\sigma_{v,-} = \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,-}^2}$
$\sigma_{v,m}$	Membran-Vergleichsspannung $\sigma_{v,m} = \sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,m}^2}$

Tabelle 2.3: Vergleichsspannungen nach TRESCA, COULOMB, MOHR

Rankine, Lamé

Diese Vergleichsspannungshypothese wird auch als *Normalspannungshypothese* oder als „Vergleichsspannung nach RANKINE“ bezeichnet. Es wird dabei davon ausgegangen, dass die größte Hauptspannung zum Versagen führt.

Die Vergleichsspannungen werden nach folgenden Gleichungen ermittelt.

$\sigma_{v,+}$	Größter Absolutwert der Vergleichsspannung an der positiven Flächenseite $\sigma_{v,+} = \frac{1}{2}(\sigma_{x,+} + \sigma_{y,+}) \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,+}^2}$
$\sigma_{v,-}$	Größter Absolutwert der Vergleichsspannung an der negativen Flächenseite $\sigma_{v,-} = \frac{1}{2}(\sigma_{x,-} + \sigma_{y,-}) \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,-}^2}$
$\sigma_{v,m}$	Größter Absolutwert der Membran-Vergleichsspannung $\sigma_{v,m} = \frac{1}{2}(\sigma_{x,m} + \sigma_{y,m}) \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,m}^2}$

Tabelle 2.4: Vergleichsspannungen nach RANKINE, LAMÉ

Bach, Navier, St. Venant, Poncelet

Bei der *Hauptdehnungshypothese* oder „Vergleichsspannung nach BACH“ wird davon ausgegangen, dass das Versagen in Richtung der größten Dehnung auftritt. Dieser Ansatz ähnelt der oben beschriebenen Spannungsermittlung nach RANKINE. Anstelle der Hauptspannung wird hier die Hauptdehnung verwendet.

Diese Vergleichsspannungen ermitteln sich wie folgt.

$\sigma_{v,+}$	Größter Absolutwert der Vergleichsspannung an der positiven Flächenseite $\sigma_{v,+} = \frac{1-\mu}{2}(\sigma_{x,+} + \sigma_{y,+}) \pm \frac{1+\mu}{2}\sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,+}^2}$ mit μ : Querdehnzahl des Materials
$\sigma_{v,-}$	Größter Absolutwert der Vergleichsspannung an der negativen Flächenseite $\sigma_{v,-} = \frac{1-\mu}{2}(\sigma_{x,-} + \sigma_{y,-}) \pm \frac{1+\mu}{2}\sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,-}^2}$
$\sigma_{v,m}$	Größter Absolutwert der Membran-Vergleichsspannung $\sigma_{v,m} = \frac{1-\mu}{2}(\sigma_{x,m} + \sigma_{y,m}) \pm \frac{1+\mu}{2}\sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,m}^2}$

Tabelle 2.5: Vergleichsspannungen nach BACH, NAVIER, ST. VENANT, POCELET

2.2.1.2 Gebrauchstauglichkeit

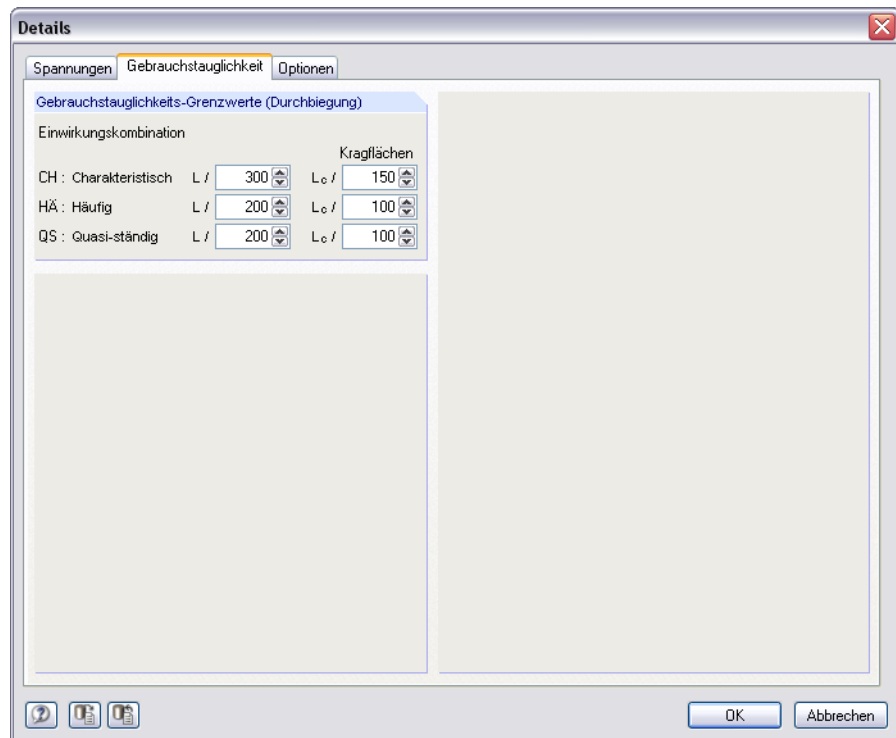


Bild 2.11: Dialog *Details*, Register *Gebrauchstauglichkeit*

In den sechs Eingabefeldern werden die *Gebrauchstauglichkeits-Grenzwerte* der zulässigen Durchbiegungen verwaltet. Es sind spezifische Vorgaben für die Einwirkungskombinationen

- Charakteristisch
- Häufig
- Quasi-ständig

sowie für beidseitig oder nur einseitig gestützte Flächen möglich.

Die Klassifizierung in Einwirkungskombinationen erfolgt im Register *Gebrauchstauglichkeit* der Maske 1.1 *Basisangaben* (siehe Kapitel 2.1.1.2, Seite 10).

Die Bezugslängen L werden in Maske 1.4 *Daten für Gebrauchstauglichkeit* flächenweise festgelegt (siehe Kapitel 2.1.4, Seite 17).

2.2.1.3 Optionen

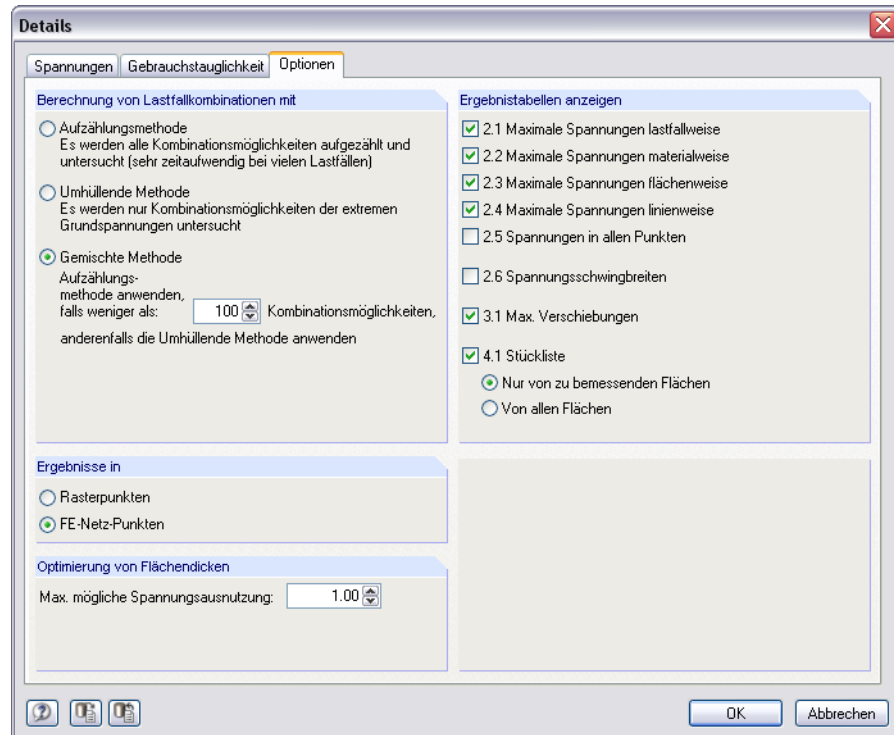


Bild 2.12: Dialog *Details*, Register *Optionen*

Berechnung von Lastfallkombinationen

Bei der Bemessung von Lastfallkombinationen kann der Ansatz zur Spannungsermittlung beeinflusst werden. Die *Gemischte Methode* ist voreingestellt: Hier wird vor der Bemessung untersucht, ob die *Aufzählungsmethode* oder die *Umhüllende Methode* günstiger ist.

Aufzählungsmethode

Die Schnittgrößen aus RFEM werden zeilenweise ausgewertet und dann entsprechend überlagert. Dies ist der präzise Ansatz, der sämtliche Kombinationsmöglichkeiten erfasst.

Der Nachteil dieser Methode besteht darin, dass die Anzahl der zu untersuchenden Kombinationen beim zeilenweisen Abarbeiten mit der Anzahl der Lastfälle exponentiell anwächst. Es besteht folgender Zusammenhang:

$$\text{Anzahl der Kombinationsmöglichkeiten} = 2^n$$

mit n = Anzahl der Lastfälle

Dies bedeutet: Je mehr Lastfälle in der Kombination enthalten sind, umso erheblich mehr Zeit wird für die Spannungsanalyse benötigt. In den Ergebnissen sind aber alle möglichen Konstellationen erfasst.

Umhüllende Methode

Bei dieser Methode werden nur die Extremwerte der Grundspannungen eines jeden Lastfalls betrachtet und anschließend kombiniert. Damit werden u. U. aber die ungünstigsten Konstellationen nicht erfasst, die sich beim zeilenweisen Abarbeiten ergeben würden. Bei einer größeren Anzahl von Lastfällen in einer Lastfallkombination bleibt mit dieser Methode der zeitliche Rechenaufwand jedoch in einem verträglichen Rahmen.

Da nur die Maximalwerte untersucht werden, können die Spannungen nach dieser Methode auf der unsicheren Seite liegen. Kritisch hierfür erweisen sich insbesondere Strukturen mit Lastfällen, deren Wirkrichtungen orthogonal ausgeprägt sind. In derartigen Fällen empfiehlt sich eine Kontrollrechnung nach der Aufzählungsmethode.

Gemischte Methode

Bei der gemischten Methode wird vor der eigentlichen Bemessung untersucht, wie viele Kombinationsmöglichkeiten aufgrund der enthaltenen Lastfälle bestehen (vgl. *Aufzählungsmethode*). Enthält die Lastfallkombination beispielsweise sieben Lastfälle, müssen $2^7 = 128$ Kombinationsmöglichkeiten untersucht werden. Da diese Anzahl größer ist als die Voreinstellung von 100 Möglichkeiten, erfolgt die Bemessung nach der Umhüllenden Methode.

Die Wahl der Methode lässt sich über das Eingabefeld beeinflussen. Hier wird die Obergrenze der Kombinationsmöglichkeiten für die Bemessung nach der präzisen Aufzählungsmethode festgelegt.

Die *Gemischte Methode* stellt somit einen Kompromiss zwischen Ergebnisgenauigkeit und Bemessungsgeschwindigkeit dar, der für die meisten Anwendungsfälle geeignet sein sollte.

Ergebnistabellen anzeigen

Dieser Abschnitt steuert die Anzeige der Ergebnismasken einschließlich Stückliste, die über die entsprechenden Kontrollfelder ein- oder ausgeblendet werden können.

Die einzelnen Ergebnistabellen sind im Kapitel 2.3 beschrieben.

Ergebnisse

Standardmäßig werden die Spannungen und Verschiebungen in allen *FE-Netz-Punkten* ausgegeben. Alternativ ist die Ergebnisausgabe in den benutzerdefinierten *Rasterpunkten* möglich, die in RFEM als Eigenschaft einer jeden Fläche verwaltet sind (siehe RFEM-Handbuch, Kapitel 9.9).



Bei kleineren Flächen kann die Standardmaschenweite des Rasters von 50 cm dazu führen, dass nur wenige Rasterpunkte (oder sogar nur ein Ergebnistrasterpunkt im Rasterursprung) existieren. Die Maximalwerte werden in diesen Fällen nicht in den Ausgabetafeln erfasst, da das Ergebnistraster zu grobmaschig angelegt ist. Der Abstand der Rasterpunkte sollte dann in RFEM an die Flächengröße angepasst werden, um mehr Rasterpunkte zu erzeugen.

Optimierung von Flächendicken

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

Verteilung der Schnittgrößen

Die FE-Analyse ermittelt die Ergebnisse für jeden FE-Netzknoten. Für einen stetigen Verlauf der Spannungen oder Ausnutzungen in der Grafik ist es jedoch erforderlich, die Ergebnisse zu glätten. Ein Beispiel hierzu finden Sie im Kapitel 10.7 des RFEM-Handbuchs.

Die Glättungsoption *Durchlaufend innerhalb Flächen* ist voreingestellt, da sie in den meisten Fällen die besten Ergebnisse liefert. Hier werden die Werte an den FE-Knoten gemittelt. Die Mittelung endet an der Flächengrenze, was zu Unstetigkeiten zwischen angrenzenden Flächen führen kann.

Bei einem plastischen Materialmodell ist die Option *Konstant in Elementen* zu empfehlen: Die Werte der FE-Knoten werden gemittelt und das Ergebnis wird in den Elementmitten angezeigt. Der Verlauf in jedem Element ist konstant.

2.2.2 Start der Berechnung

Berechnung

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

RF-STAHL Flächen sucht nach den Ergebnissen der zu bemessenden Lastfälle, Lastfallgruppen und Lastfallkombinationen. Werden diese nicht gefunden, startet zunächst die RFEM-Berechnung zur Ermittlung der bemessungsrelevanten Schnittgrößen. Dabei werden die in RFEM vorgegebenen Berechnungsparameter angesetzt.

Auch aus der RFEM-Oberfläche kann die Berechnung der RF-STAHL-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.

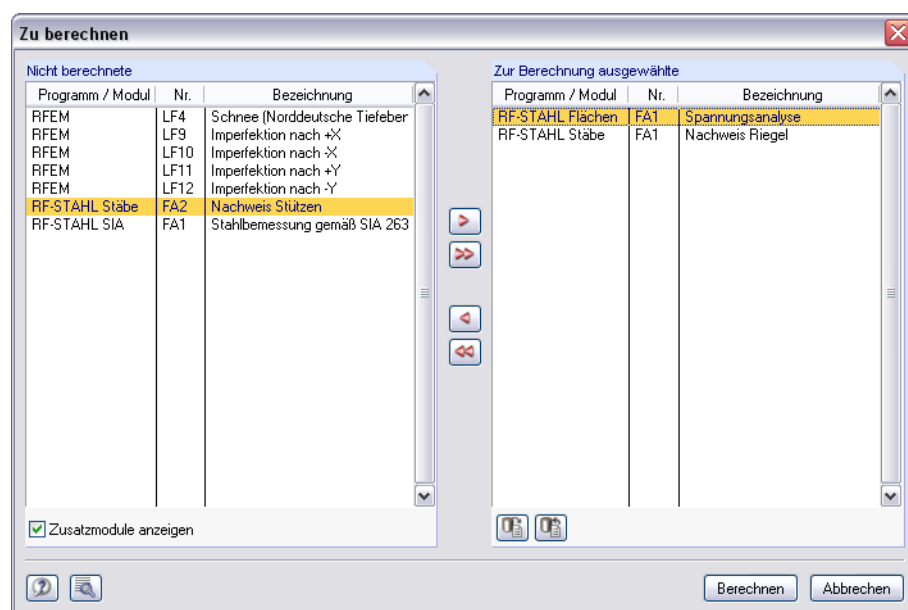


Bild 2.13: RFEM-Dialog *Zu berechnen*

Falls die RF-STAHL-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-Fälle in die rechte Liste übergeben. Die Berechnung kann dann mit der entsprechenden Schaltfläche gestartet werden.

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

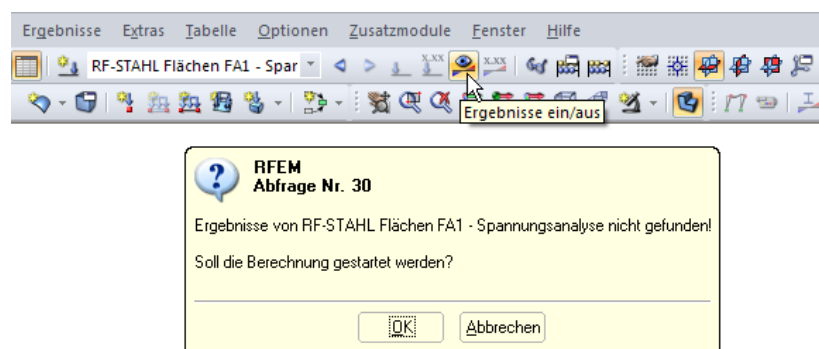


Bild 2.14: Direkte Berechnung eines RF-STAHL-Bemessungsfalls in RFEM

2.3 Ergebnisse

Unmittelbar nach der Berechnung erscheint die Maske 2.1 *Spannungen lastfallweise*. In den Masken 2.1 bis 2.5 werden die Spannungen und Ausnutzungen nach verschiedenen Kriterien geordnet ausgegeben. Die Maske 2.6 *Spannungsschwingbreiten* listet die maximalen Differenzen zwischen den Spannungen auf (z. B. für Betriebsfestigkeitsnachweise). Die Maske 3.1 *Verschiebungen* gibt die Maximalverformungen bezogen auf die zulässigen Grenzwerte an. Die Maske 4.1 *Stückliste* enthält eine Übersicht über die benötigten Stahlmengen.

Der Dialog *Details*, Register *Optionen* steuert, welche Ergebnismasken im Einzelnen angezeigt werden (siehe Bild 2.12, Seite 25).

Jede der Masken kann direkt über den RF-STAHL-Navigator angesteuert werden. Alternativ werden die beiden links dargestellten Schaltflächen oder die Funktionstasten [F2] und [F3] benutzt, um eine Maske vor- oder zurückzublätern.

Standardmäßig werden die Ergebniswerte in den FE-Netz-Punkten angegeben. Alternativ ist die Ausgabe in den benutzerdefinierten Rasterpunkten möglich. Im Dialog *Details*, Register *Optionen* kann die entsprechende Einstellung getroffen werden (siehe Bild 2.12, Seite 25).

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

Das Kapitel 2.3 *Ergebnisse* stellt die Ergebnismasken der Reihe nach vor. Die Auswertung und Überprüfung der Resultate ist im Kapitel 4 *Ergebnisauswertung* ab Seite 63 beschrieben.

2.3.1 Spannungen lastfallweise

RF-STAHL Flächen - [Kamin]

Datei Einstellungen Hilfe

FA1 - Spannungsanalyse

Eingabedaten

- Basisangaben
- Materialien
- Flächen
- Daten für Gebrauchstauglichkeit
- Ergebnisse
 - Spannungen lastfallweise
 - Spannungen materialweise
 - Spannungen flächenweise
 - Spannungen linierweise
 - Verschiebungen
 - Stückliste

2.1 Spannungen lastfallweise

Lastfall	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Fläche Nr.	FE Netzpunkt Nr.	Punkt-Koordinaten [mm]			Spannung [N/mm ²]		Ausnutzung [-]			
		X	Y	Z	Symbol	Vorhanden	Grenz			
LG1										
	24	727	-3105.9	-525.3	-4765.0	$\sigma_{1,max}$	4.04	125.97		0.03
	172	739	-13000.0	0.0	-2500.0	$\sigma_{1,+}$	130.44	250.00		0.52
	18	12	0.0	-3150.0	-3000.0	$\sigma_{2,+}$	79.19	218.18		0.36
	24	726	-3105.9	-525.3	-5765.0	$\sigma_{1,-}$	67.49	218.18		0.31
	172	739	-13000.0	0.0	-2500.0	$\sigma_{2,-}$	-114.89	250.00		0.46
	24	726	-3105.9	-525.3	-5765.0	$\sigma_{1,m}$	33.50	218.18		0.15
	19	2836	-914.4	3014.4	-3000.0	$\sigma_{2,m}$	-44.25	218.18		0.20
	172	739	-13000.0	0.0	-2500.0	σ_v	114.17	250.00		0.46
	18	85	-3150.0	0.0	-3500.0	$\sigma_{v,m}$	46.13	218.18		0.21
LG11										
	24	727	-3105.9	-525.3	-4765.0	$\sigma_{1,max}$	2.75	125.97		0.02
	172	739	-13000.0	0.0	-2500.0	$\sigma_{1,+}$	96.63	250.00		0.39
	18	12	0.0	-3150.0	-3000.0	$\sigma_{2,+}$	-56.15	218.18		0.26
	171	3039	-10000.0	-6000.0	-2000.0	$\sigma_{1,-}$	49.24	218.18		0.23
	172	739	-13000.0	0.0	-2500.0	$\sigma_{2,-}$	-85.10	250.00		0.34
	24	726	-3105.9	-525.3	-5765.0	$\sigma_{1,m}$	22.87	218.18		0.10
	18	85	-3150.0	0.0	-3500.0	$\sigma_{2,m}$	-30.31	218.18		0.14
	172	739	-13000.0	0.0	-2500.0	σ_v	84.57	250.00		0.34
	18	85	-3150.0	0.0	-3500.0	$\sigma_{v,m}$	33.24	218.18		0.15

Bild 2.15: Maske 2.1 *Spannungen lastfallweise*

Diese Maske weist die maximalen Ausnutzungen eines jeden Lastfalls bzw. einer jeden Lastfallgruppe oder -kombination aus, die in Maske 1.1 *Basisangaben*, Register *Tragfähigkeit* zur Bemessung vorgegeben wurde. Die Nummern der jeweiligen Einwirkungen erscheinen in den Titelzeilen der einzelnen Abschnitte.

Fläche

In dieser Spalte werden die Nummern der Flächen lastfallweise aufgelistet, für die jeweils die maximalen Spannungskomponenten bzw. -ausnutzungen ermittelt wurden.

FE-Netz-Punkt / Rasterpunkt

Es werden die Nummern der FE-Netz- bzw. Rasterpunkte angegeben, an denen jeweils die größten Ausnutzungen auftreten. Die Rasterpunkte stellen eine vom FE-Netz unabhängige Ausgabemöglichkeit in benutzerdefinierten, regelmäßigen Abständen dar. Das Register *Raster* des RFEM-Dialogs *Fläche bearbeiten* verwaltet die Anzahl und Anordnung der Rasterpunkte.

Der Dialog *Details*, Register *Optionen* steuert, ob die FE-Netz-Knoten oder die benutzerdefinierten Rasterpunkte zur Auswertung herangezogen werden (siehe Bild 2.12, Seite 25). Bei einer Änderung im Dialog erfolgt eine Abfrage, ehe die Ergebnisse neu berechnet werden.

Details...

Punkt-Koordinaten X/Y/Z

In den drei Spalten werden die Koordinaten der jeweils maßgebenden FE-Netz- bzw. Rasterpunkte angegeben. Diese beziehen sich auf das globale XYZ-Koordinatensystem.

Spannung - Symbol

Als Standard werden folgende Spannungen ausgewiesen:

- Schubspannungen τ_{\max}
- Hauptspannungen σ in Richtung der Hauptachsen an Flächenober- und -unterseite
- Membranspannungen σ_m in Richtung der Hauptachsen
- Vergleichsspannung σ_v
- Membran-Vergleichsspannung $\sigma_{v,m}$

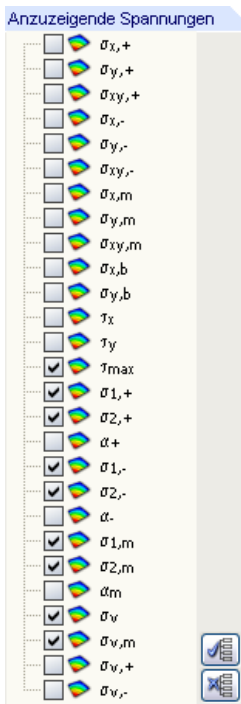
Jeder Spannungsart oder -komponente ist ein Symbol zugeordnet. Die Indices der Normalspannungen σ , der Schubspannungen τ und der Vergleichsspannungen σ_v haben folgende Bedeutungen:

Symbol	Bedeutung
x	Richtung der lokalen Flächenachse x
y	Richtung der lokalen Flächenachse y
1	Richtung der Hauptachse 1
2	Richtung der Hauptachse 2
+	Positive Flächenseite (Seite in Richtung der positiven lokalen Flächenachse z)
–	Negative Flächenseite (Seite entgegengesetzt zur positiven Flächenachse z)
m	Spannung infolge Membrankraft (Normalkraft)
b	Spannung infolge Biegemoment

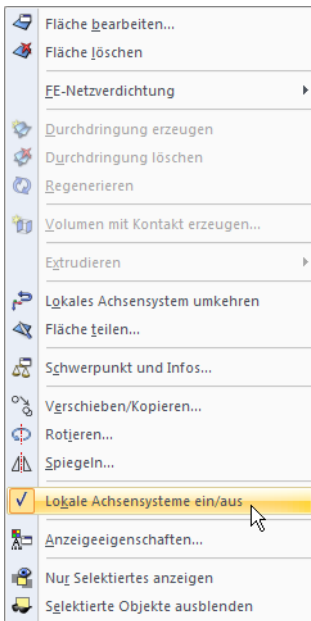
Tabelle 2.6: Symbole der Spannungen

Im Dialog *Details*, Register *Spannungen* können die anzuzeigenden Spannungen und Spannungskomponenten angepasst werden (siehe Bild 2.10, Seite 18). Die links dargestellte Schaltfläche (am Ende der Liste unterhalb der Spalte E) ruft diesen Dialog ebenfalls auf.

Die Definition der positiven und negativen Flächenseiten entspricht den in RFEM üblichen Konventionen: Die positive Flächenseite liegt stets in Richtung der positiven lokalen z-Achse einer jeden Fläche – unabhängig von der Orientierung der globalen Achse Z.



Details...



Flächen-Kontextmenü

Die Darstellung der lokalen Flächenachsen kann im *Zeigen-Navigator* von RFEM sowie über das Flächen-Kontextmenü eingeblendet werden.

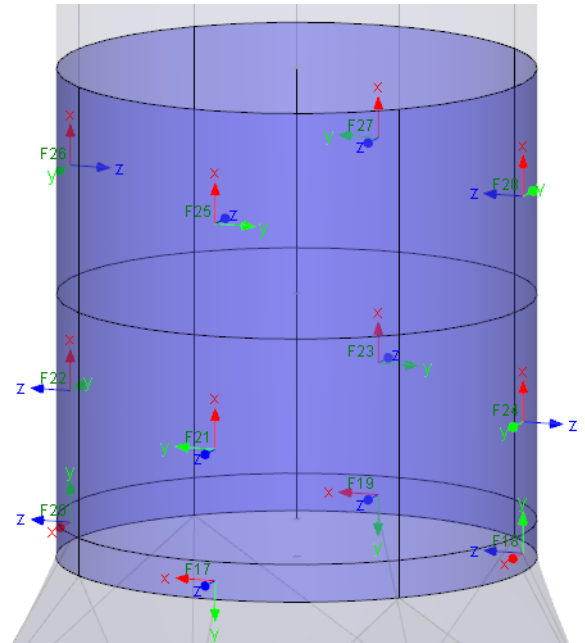
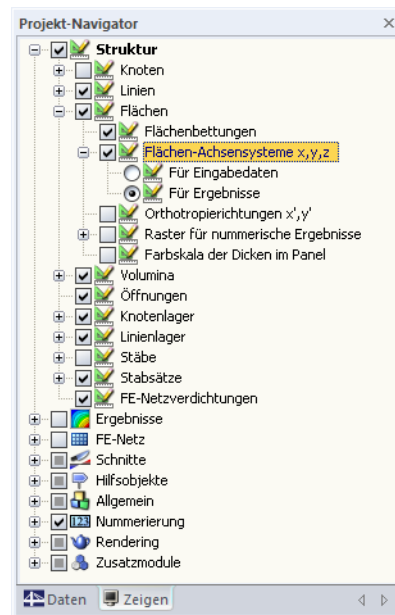


Bild 2.16: Aktivieren der Flächen-Achsensysteme im *Zeigen-Navigator* von RFEM

Spannung - Vorhanden

In dieser Spalte werden die Extremwerte der vorhandenen Spannungen ausgewiesen, die sich nach den in Tabelle 2.1 auf Seite 19 vorgestellten Gleichungen ergeben.

Es werden für jede Spannungsart die maximalen (positiven) und minimalen (negativen) Spannungswerte berechnet und dann deren Beträge verglichen. Der größere der beiden Werte erscheint anschließend in Spalte G.

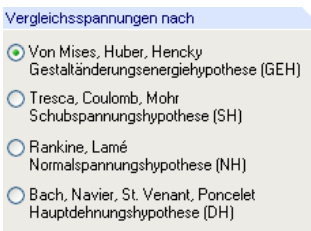
Die Vergleichsspannungen σ_v ermitteln sich nach der Vergleichsspannungshypothese, die im Dialog *Details*, Register *Spannungen* festgelegt wurde (siehe Bild 2.10, Seite 18). Es stehen vier Ansätze zur Verfügung, die im Kapitel 2.2.1.1 ab Seite 21 ausführlich beschrieben sind:


- Gestaltänderungsenergiehypothese nach VON MISES, HUBER, HENCKY
- Schubspannungshypothese nach TRESCA, COULOMB, MOHR
- Normalspannungshypothese nach RANKINE, LAMÉ
- Hauptdehnungshypothese nach BACH, NAVIER, ST. VENANT, PONCELET

Spannung - Grenz

Hier finden sich die Grenzspannungen der Maske 1.2 wieder (siehe Kapitel 2.1.2, Seite 12). Im Einzelnen handelt es sich um folgende Beanspruchbarkeiten:

- Grenznormalspannung σ als die zulässige Spannung für die Beanspruchung infolge Biegemomente und Membrankräfte
- Grenzscherbanspannung τ als die zulässige Schubspannung infolge Querkraft und Torsion
- Grenzvergleichsspannung σ_v als die zulässige Vergleichsspannung für die gleichzeitige Wirkung mehrerer Spannungen
- Grenzmembranvergleichsspannung $\sigma_{v,m}$ als die zulässige Vergleichsspannung infolge Membranspannungen



Max: 0.92 ≤ 1 

Ausnutzung

Für jede Spannungskomponente wird – wie z. B. in DIN 18800 Teil 1, El. (747) dargestellt – der Quotient aus vorhandener Spannung und Grenzspannung ermittelt. Die Ausnutzung der Fläche am FE-Netz- oder Rasterpunkt wird für jede gewählte Spannungsart angegeben. Wird die Grenzspannung nicht überschritten, so ist die Ausnutzung kleiner oder gleich 1,00 und der Spannungsnachweis gilt als erfüllt.

Die farbigen Balken veranschaulichen die Ausnutzungen eines jeden Querschnitts. Damit ist eine schnelle Beurteilung der Wirtschaftlichkeit möglich.

$$\frac{\sigma}{\sigma_{R,d}} \leq 1$$

Gleichung 2.5: Nachweisbedingung für Normalspannungen

$$\frac{\tau}{\tau_{R,d}} \leq 1$$

Gleichung 2.6: Nachweisbedingung für Schubspannungen

$$\frac{\sigma_v}{\sigma_{R,d}} \leq 1$$

Gleichung 2.7: Nachweisbedingung für Vergleichs- und Membranvergleichsspannungen

2.3.2 Spannungen materialweise

RF-STAHL Flächen - [Schott]

Datei Einstellungen Hilfe

FA1 - Spannungsanalyse

Eingabedaten

- Basisangaben
- Materialien
- Flächen

Ergebnisse

- Spannungen lastfallweise
- Spannungen materialweise
- Spannungen flächenweise
- Spannungen linienweise
- Stückliste

2.2 Spannungen materialweise

Material Nr.	Fläche Nr.	FE Netzpunkt Nr.	Punkt-Koordinaten [m]					Spannung [N/mm²]			Ausnutzung [-]
			X	Y	Z	Lastfall	Symbol	Vorhanden	Grenz		
2 Baustahl S 235											
	1	9	2.000	-0.500	0.000	LG1	fmax	3.5	126.0	0.03	
	4	14	8.000	0.000	0.000	LG1	σ1,+	94.7	218.2	0.43	
	1	85	2.000	-1.000	0.000	LG1	σ2,+	-179.0	218.2	0.82	
	1	85	2.000	-1.000	0.000	LG1	σ1,-	178.9	218.2	0.82	
	4	14	8.000	0.000	0.000	LG1	σ2,-	-95.5	218.2	0.44	
	4	14	8.000	0.000	0.000	LG1	σ1,m	1.2	218.2	0.01	
	4	72	8.000	-0.500	0.000	LG1	σ2,m	-0.9	218.2	0.00	
	1	85	2.000	-1.000	0.000	LG1	σv	156.2	218.2	0.72	
	4	14	8.000	0.000	0.000	LG1	σv,m	1.5	218.2	0.01	
3 Baustahl S 355											
	2	9	2.000	-0.500	0.000	LG1	fmax	3.4	189.0	0.02	
	2	35	3.000	-1.000	0.000	LG1	σ1,+	77.6	327.3	0.24	
	2	85	2.000	-1.000	0.000	LG1	σ2,+	-182.4	327.3	0.56	
	2	85	2.000	-1.000	0.000	LG1	σ1,-	182.4	327.3	0.56	
	2	35	3.000	-1.000	0.000	LG1	σ2,-	-77.6	327.3	0.24	
	2	6	4.000	0.000	0.000	LG1	σ1,m	0.0	327.3	0.00	
	2	37	4.000	-1.000	0.000	LG1	σ2,m	0.0	327.3	0.00	
	2	85	2.000	-1.000	0.000	LG1	σv	159.9	327.3	0.49	
	2	6	4.000	0.000	0.000	LG1	σv,m	0.0	327.3	0.00	
4 Aluminium EN AW-5083 O/H111											
	3	52	6.000	-0.500	0.000	LG1	fmax	2.0	65.6	0.03	
	3	55	5.000	-1.000	0.000	LG1	σ1,+	39.7	113.6	0.35	

Max: 1.04 > 1

Berechnung Details... Grafik OK Abbrechen

Bild 2.17: Maske 2.2 Spannungen materialweise

Diese Maske listet die maximalen Ausnutzungen nach Materialien geordnet auf. Die Materialbezeichnungen sind in den Titelzeilen der Abschnitte angegeben.

Die einzelnen Spalten sind im vorherigen Kapitel 2.3.1 erläutert.

2.3.3 Spannungen flächenweise

RF-STAHL Flächen - [Schott]

Datei Einstellungen Hilfe

FA1 - Spannungsanalyse

Eingabedaten

- Basisangaben
- Materialien
- Flächen

Ergebnisse

- Spannungen lastfallweise
- Spannungen materialweise
- Spannungen flächenweise
- Spannungen linienweise
- Stückliste

2.3 Spannungen flächenweise

Fläche Nr.	FE Netzpunkt Nr.	Punkt-Koordinaten [m]			Lastfall	Spannung [N/mm ²]		Ausnutzung [-]
		X	Y	Z		Symbol	Grenz	
Material: Baustahl S 235 - Dicke d. 18.0 mm								
1	9	2.000	-0.500	0.000	LG1	$\sigma_{1,max}$	3.8	0.03
	1	0.000	0.000	0.000	LG1	$\sigma_{1,+}$	109.3	0.50
	85	2.000	-1.000	0.000	LG1	$\sigma_{2,+}$	-213.1	0.98
	85	2.000	-1.000	0.000	LG1	$\sigma_{1,-}$	213.1	0.98
	1	0.000	0.000	0.000	LG1	$\sigma_{2,-}$	-109.3	0.50
	2	2.000	0.000	0.000	LG1	$\sigma_{1,m}$	0.0	0.00
	9	2.000	-0.500	0.000	LG1	$\sigma_{2,m}$	0.0	0.00
	85	2.000	-1.000	0.000	LG1	σ_v	185.9	0.85
	2	2.000	0.000	0.000	LG1	$\sigma_{v,m}$	0.0	0.00
Material: Baustahl S 355 - Dicke d. 15.0 mm								
2	9	2.000	-0.500	0.000	LG1	$\sigma_{1,max}$	4.4	0.02
	35	3.000	-1.000	0.000	LG1	$\sigma_{1,+}$	131.5	0.40
	85	2.000	-1.000	0.000	LG1	$\sigma_{2,+}$	-316.5	0.97
	85	2.000	-1.000	0.000	LG1	$\sigma_{1,-}$	316.5	0.97
	35	3.000	-1.000	0.000	LG1	$\sigma_{2,-}$	-131.5	0.40
	6	4.000	0.000	0.000	LG1	$\sigma_{1,m}$	0.0	0.00
	32	4.000	-0.500	0.000	LG1	$\sigma_{2,m}$	0.0	0.00
	85	2.000	-1.000	0.000	LG1	σ_v	277.7	0.85
	6	4.000	0.000	0.000	LG1	$\sigma_{v,m}$	0.0	0.00
Material: Baustahl S 235 - Dicke d. 20.0 mm								
3	52	6.000	-0.500	0.000	LG1	$\sigma_{1,max}$	3.3	0.03
	55	5.000	-1.000	0.000	LG1	$\sigma_{1,+}$	73.9	0.34

Max: 0.98 ≤ 1

Berechnung Details... Grafik OK Abbrechen

Bild 2.18: Maske 2.3 Spannungen flächenweise

Diese Maske listet die maximalen Spannungen und Ausnutzungen nach Flächennummern geordnet auf. Zur Information sind jeweils die Materialien und Dicken angegeben.

2.3.4 Spannungen linienweise

RF-STAHL Flächen - [Schott]

Datei Einstellungen Hilfe

FA1 - Spannungsanalyse

Eingabedaten

- Basisangaben
- Materialien
- Flächen

Ergebnisse

- Spannungen lastfallweise
- Spannungen materialweise
- Spannungen flächenweise
- Spannungen linienweise
- Stückliste

2.4 Spannungen linienweise

Linie Nr.	FE Netzpunkt Nr.	Punkt-Koordinaten [m]			Lastfall	Spannung [N/mm ²]		Ausnutzung [-]
		X	Y	Z		Symbol	Grenz	
Knoten-Nr.: 1,2								
1	8	1.500	0.000	0.000	LG1	$\sigma_{xy,+}$	-32.9	0.15
	8	1.500	0.000	0.000	LG1	$\sigma_{xy,-}$	32.9	0.15
	1	0.000	0.000	0.000	LG1	$\sigma_{1,max}$	3.6	0.03
	1	0.000	0.000	0.000	LG1	$\sigma_{1,+}$	109.3	0.50
	1	0.000	0.000	0.000	LG1	$\sigma_{2,+}$	-74.6	0.34
	1	0.000	0.000	0.000	LG1	$\sigma_{1,-}$	-74.6	0.34
	1	0.000	0.000	0.000	LG1	$\sigma_{2,-}$	-109.3	0.50
Knoten-Nr.: 2,3								
2	2	2.000	0.000	0.000	LG1	$\sigma_{xy,+}$	-24.5	0.07
	2	2.000	0.000	0.000	LG1	$\sigma_{xy,-}$	24.5	0.07
	9	2.000	-0.500	0.000	LG1	$\sigma_{1,max}$	3.8	0.03
	85	2.000	-1.000	0.000	LG1	$\sigma_{1,+}$	-84.7	0.39
	85	2.000	-1.000	0.000	LG1	$\sigma_{2,+}$	-213.1	0.98
	85	2.000	-1.000	0.000	LG1	$\sigma_{1,-}$	213.1	0.98
	85	2.000	-1.000	0.000	LG1	$\sigma_{2,-}$	-84.7	0.39
Knoten-Nr.: 3,4								
3	24	1.500	-2.000	0.000	LG1	$\sigma_{xy,+}$	-32.9	0.15
	24	1.500	-2.000	0.000	LG1	$\sigma_{xy,-}$	32.9	0.15
	4	0.000	-2.000	0.000	LG1	$\sigma_{1,max}$	3.6	0.03
	4	0.000	-2.000	0.000	LG1	$\sigma_{1,+}$	109.3	0.50
	4	0.000	-2.000	0.000	LG1	$\sigma_{2,+}$	-74.6	0.34
	4	0.000	-2.000	0.000	LG1	$\sigma_{1,-}$	-74.6	0.34

Max: 0.98 ≤ 1

Berechnung Details... Grafik OK Abbrechen

Bild 2.19: Maske 2.4 Spannungen linienweise

Es werden die maximalen Spannungen aller Linien angegeben, die sich in den bemessenen Flächen befinden. Die Auflistung erfolgt nach Liniennummern geordnet.

2.3.5 Spannungen in allen Punkten

RF-STAHL Flächen - [Schott]

Datei Einstellungen Hilfe

FA1 - Spannungsanalyse

2.5 Spannungen in allen Punkten

FE Netz- punkt Nr.	A Fläche Nr.	B Linie Nr.	C Knoten Nr.	D Punkt-Koordinaten [m]			F Lastfall	G Spannung [N/mm ²]			K Ausnut- zung [%]
				X	Y	Z		Symbol	Vorhanden	Grenz	
10	3, 4	9, 10, 1	10	6.000	0.000	0.000	LG1	σ_v	35.9	218.2	0.16
								$\sigma_{v,m}$	0.2	218.2	0.00
								$\sigma_{v,+}$	35.7	218.2	0.16
								$\sigma_{v,-}$	35.9	218.2	0.16
11	3, 4	10, 11,	11	6.000	-2.000	0.000	LG1	σ_v	35.9	218.2	0.16
								$\sigma_{v,m}$	0.2	218.2	0.00
								$\sigma_{v,+}$	35.7	218.2	0.16
								$\sigma_{v,-}$	35.9	218.2	0.16
14	4	13, 14	14	8.000	0.000	0.000	LG1	σ_v	79.0	218.2	0.36
								$\sigma_{v,m}$	1.4	218.2	0.01
								$\sigma_{v,+}$	78.8	218.2	0.36
								$\sigma_{v,-}$	79.0	218.2	0.36
15	4	14, 15	15	8.000	-2.000	0.000	LG1	σ_v	79.0	218.2	0.36
								$\sigma_{v,m}$	1.4	218.2	0.01
								$\sigma_{v,+}$	78.8	218.2	0.36
								$\sigma_{v,-}$	79.0	218.2	0.36
52	3, 4	10	-	6.000	-0.500	0.000	LG1	σ_v	121.0	218.2	0.55
								$\sigma_{v,m}$	0.1	218.2	0.00
								$\sigma_{v,+}$	121.0	218.2	0.55

4 Alle Alle

LG1

Max: 0.72 ≤ 1

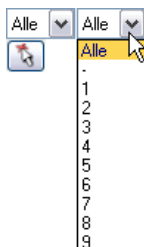
Berechnung Details... Grafik OK Abbrechen

Bild 2.20: Maske 2.5 Spannungen in allen Punkten

Details...

Details...

Details...



Filterfunktion

Diese Ergebnismaske ist standardmäßig deaktiviert, da bei komplexen Strukturen große Datenmengen verwaltet werden müssen. Sie kann für eine gezielte numerische Auswertung über den Dialog *Details*, Register *Optionen* eingeblendet werden (siehe Bild 2.12, Seite 25).

Es werden die Spannungen und Ausnutzungen eines jeden FE-Netz- bzw. Rasterpunkts angezeigt, der sich in den bemessenen Flächen befindet. Der Dialog *Details*, Register *Optionen* (siehe Bild 2.12, Seite 25) steuert, ob die Knoten des FE-Netzes oder die benutzerdefinierten Rasterpunkte ausgewertet werden. Bei einer Änderung im Dialog erfolgt eine Abfrage, ehe die Ergebnisse neu berechnet werden.

Die angezeigten Spannungen und Spannungskomponenten lassen sich im Dialog *Details*, Register *Spannungen* anpassen (siehe Bild 2.10, Seite 18). Mit der links dargestellten Schaltfläche am unteren Ende der Liste wird dieser Dialog ebenfalls aufgerufen.

Die einzelnen Spalten dieser Maske sind im Kapitel 2.3.1 ab Seite 29 erläutert.

Filtern von Ergebnisspalten

Zur gezielten Auswertung kann diese Tabelle nach Flächen-, Linien- und Knotennummern sowie nach Lastfällen gefiltert werden. Die Auswahl erfolgt über die Listen am unteren Ende der jeweiligen Spalten. Für die Strukturobjekte ist auch die grafische Auswahl mit der [Pick]-Funktion möglich.

2.3.6 Spannungsschwingbreiten

RF-STAHL Flächen - [Kamin]

Datei Einstellungen Hilfe

FA1 - Spannungsanalyse

2.6 Spannungsschwingbreiten

FE Netz- punkt Nr.	A Fläche Nr.	B Linie Nr.	C Knoten Nr.	D Punkt-Koordinaten [mm] X	E Y	F Z	G Symbol	H Lastfall	I Maximum	J Lastfall	K Minimum	L Delta
12	17, 18	13, 27, 59	12	0.0	-3150.0	-3000.0	σ_{max}	LG2	0.30	LG13	0.01	0.29
							$\sigma_{1,+}$	LG9	29.29	LG2	-43.08	72.37
							$\sigma_{2,+}$	LG13	-16.40	LG1	-79.19	62.79
							$\sigma_{1,-}$	LG9	30.61	LG1	-46.66	77.28
							$\sigma_{2,-}$	LG13	-16.23	LG2	-75.81	59.58
							$\sigma_{1,m}$	LG9	13.28	LG5	-19.33	32.61
							$\sigma_{2,m}$	LG9	-9.73	LG1	-40.07	30.34
							σ_v	LG1	68.65	LG13	15.32	53.33
							$\sigma_{v,m}$	LG1	34.95	LG6	13.20	21.75
13	17, 20	28, 45, 50	13	3150.0	0.0	-3000.0	σ_{max}	LG8	0.16	LG6	0.01	0.15
							$\sigma_{1,+}$	LG9	24.42	LG5	-10.85	35.27
							$\sigma_{2,+}$	LG10	-11.14	LG2	-44.82	33.69
							$\sigma_{1,-}$	LG8	33.73	LG4	-30.80	64.53
							$\sigma_{2,-}$	LG8	10.67	LG4	-53.34	64.01
							$\sigma_{1,m}$	LG8	16.88	LG3	-16.71	33.59
							$\sigma_{2,m}$	LG6	-11.81	LG4	-34.11	22.30
							σ_v	LG4	46.79	LG6	11.04	35.75
							$\sigma_{v,m}$	LG4	30.16	LG6	10.44	19.72
14	19, 20	29, 46, 53	14	0.0	3150.0	-3000.0	σ_{max}	LG2	0.21	LG6	0.03	0.19
							$\sigma_{1,+}$	LG7	32.49	LG2	-34.58	67.07
							$\sigma_{2,+}$	LG6	-16.56	LG1	-65.77	49.21

Alle Alle Alle

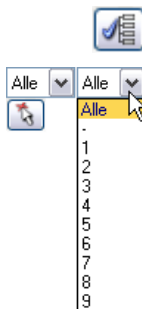
Berechnung Details... Grafik OK Abbrechen

Bild 2.21: Maske 2.6 Spannungsschwingbreiten

Details...

Details...

Details...



Diese Ergebnismaske ist standardmäßig deaktiviert, kann jedoch über den Dialog *Details*, Register *Optionen* eingeblendet werden (siehe Bild 2.12, Seite 25).

Die Schwingbreiten der Spannungsintensitäten werden für Betriebsfestigkeitsnachweise benötigt, die das Ermüdungsverhalten untersuchen. In dieser Maske werden die Spannungsdifferenzen eines jeden FE-Netz- bzw. Rasterpunkts der bemessenen Flächen ausgewiesen. Der Dialog *Details*, Register *Optionen* steuert, ob die Knoten des FE-Netzes oder die benutzerdefinierten Rasterpunkte dargestellt werden (siehe Bild 2.12, Seite 25).

Die angezeigten Spannungsarten lassen sich im Dialog *Details*, Register *Spannungen* festlegen (siehe Bild 2.10, Seite 18). Mit der links dargestellten Schaltfläche am unteren Ende der Liste wird dieser Dialog ebenfalls aufgerufen.

Die Tabelle kann nach Flächen-, Linien- und Knotennummern gefiltert werden. Die Auswahl erfolgt über die Listen am unteren Ende der jeweiligen Spalten oder auch grafisch mit [Pick].

Die Spalten A bis G sind im Kapitel 2.3.1 ab Seite 29 erläutert.

Lastfall

In den Spalten H und J werden die Lastfälle, Lastfallgruppen und -kombinationen angegeben, die die maximalen bzw. minimalen Spannungskomponenten liefern. Es werden alle Einwirkungen berücksichtigt, die für die Tragfähigkeitsbemessung ausgewählt wurden.

Maximum / Minimum

Spalte I listet die maximalen, Spalte K die minimalen Spannungswerte auf, die für jede Spannungsart vorliegen. Die positiven Extremwerte stellen jeweils das *Maximum* dar, die negativen Extremwerte entsprechend das *Minimum*.

Delta

Die in der letzten Spalte angegebenen Werte drücken die Schwingbreiten der Spannungen aus, die sich jeweils aus den beiden Extremwerten der Spalten I und K ergeben.

2.3.7 Verschiebungen

RF-STAHL Flächen - [Schott]

Datei Einstellungen Hilfe

FA1 - Spannungsanalyse

3.1 Verschiebungen

Fläche Nr.	FE Netzpunkt Nr.	Punkt-Koordinaten [m]	Lastfall	Kombination	Verschiebungen [mm]	Ausnutzung [-]
		X Y Z			uz grenz uz	
1	60	0.800 -1.000 0.000	LG1	CH	11.8 16.5	0.72
2	176	3.000 -1.000 0.000	LG1	CH	7.3 7.3	1.00
3	286	5.000 -1.000 0.000	LG1	CH	7.3 7.3	1.00
4	397	7.200 -1.000 0.000	LG1	CH	11.9 15.5	0.77
Maximale Verschiebung nach Wert / Ausnutzung						
4	397	7.200 -1.000 0.000	LG1	CH	11.9 15.5	0.77
2	176	3.000 -1.000 0.000	LG1	CH	7.3 7.3	1.00
Minimale Verschiebung nach Wert / Ausnutzung						
1	1	0.000 0.000 0.000	LG1	CH	0.0 16.5	0.00
1	1	0.000 0.000 0.000	LG1	CH	0.0 16.5	0.00

Max: 1.00 ≤ 1

Berechnung Details... Grafik OK Abbrechen

Bild 2.22: Maske 3.1 Verschiebungen

Die Verformungsnachweise werden nur geführt, wenn in Maske 1.1 *Basisangaben*, Register *Gebrauchstauglichkeit* mindestens eine Einwirkung zur Bemessung ausgewählt (siehe Kapitel 2.1.1.2, Seite 10) und in Maske 1.4 *Daten für Gebrauchstauglichkeit* Flächen-Bezugslängen für die Grenzverformungen festgelegt (siehe Kapitel 2.1.4, Seite 17) wurden.

Maske 3.1 gibt die maximalen Verschiebungen an, die aus den Lastfällen oder Lastfallkombinationen für Gebrauchstauglichkeit resultieren. Die Auflistung erfolgt nach Flächen geordnet.

Es werden die Verschiebungen und Ausnutzungen eines jeden FE-Netz- bzw. Rasterpunkts der bemessenen Flächen angezeigt. Der Dialog *Details*, Register *Optionen* (siehe Bild 2.12, Seite 25) steuert, ob die Knoten des FE-Netzes oder die benutzerdefinierten Rasterpunkte erscheinen.

Die Spalten A bis D sind im Kapitel 2.3.1 ab Seite 29 erläutert.

Lastfall

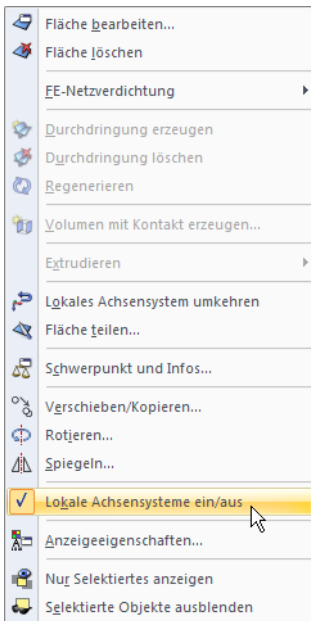
Spalte E listet alle für den Verformungsnachweis gewählten Einwirkungen flächenweise auf. Damit lässt sich die Maximalverschiebung jedes einzelnen Lastfalls oder jeder Kombination gezielt auswerten.

Kombination

In dieser Spalte finden sich die in Maske 1.1 *Basisangaben*, Register *Gebrauchstauglichkeit* zugewiesenen Einwirkungskombinationen wieder (siehe Kapitel 2.1.1.2, Seite 10):

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

Details...



Flächen-Kontextmenü

Verschiebungen - u_z

Es werden die Verschiebungen in Richtung der lokalen Flächenachsen z ausgegeben, die für den Verformungsnachweis maßgebend sind. Die Maximalverformungen u_z beziehen sich auf das unverformte Ausgangssystem.

Die Darstellung der lokalen Flächenachsen kann im *Zeigen-Navigator* von RFEM sowie über das Flächen-Kontextmenü eingeblendet werden (siehe Bild 2.16, Seite 30).

Verschiebungen - $g_{renz} u_z$

Diese Spalte gibt die Grenzverformungen in Richtung der z-Achse jeder Fläche an. Sie ermitteln sich aus den Bezugslängen L der Randlinien, die in Maske 1.4 festgelegt wurden (siehe Kapitel 2.1.4, Seite 17) und den allgemeinen Gebrauchstauglichkeits-Grenzwerten des Dialogs *Details*, Register *Gebrauchstauglichkeit* (siehe Kapitel 2.2.1.2, Seite 24).

Ausnutzung

In der letzten Spalte werden die Quotienten aus vorhandener Verschiebung u_z (Spalte G) und zulässiger Verschiebung $g_{renz} u_z$ (Spalte H) ausgewiesen. Werden die Grenzverformungen nicht überschritten, so ist die Ausnutzung kleiner oder gleich 1,00 und der Gebrauchstauglichkeitsnachweis gilt als erfüllt.

Maximale bzw. minimale Verschiebung nach Wert/Ausnutzung

Ganz am Ende der Liste erscheint eine Bilanz mit den extremen Verschiebungswerten und Ausnutzungsgraden aller bemessenen Flächen. Die Ausgabe erfolgt getrennt für maximale (positive) und minimale (negative) Ergebnisse.

2.3.8 Stückliste

RF-STAHl Flächen - [Stützenfuß]

Datei Einstellungen Hilfe

FA1 - Spannungsanalyse

4.1 Stückliste

Position Nr.	A Material	B Dicke Typ	C d [mm]	D Fläche [m²]	E Oberfläche [m²]	F Volumen [m³]	G Gewicht [kg]
2	Baustahl S 235	Konstant	9.0	0.09	0.19	0.00	6.5
3		Konstant	9.0	0.09	0.19	0.00	6.5
4		Konstant	15.0	0.10	0.20	0.00	11.8
5		Konstant	15.0	0.10	0.20	0.00	11.8
6		Konstant	15.0	0.10	0.20	0.00	11.8
7		Konstant	15.0	0.10	0.20	0.00	11.8
1		Konstant	50.0	0.25	0.49	0.01	96.3
10		Konstant	50.0	0.25	0.49	0.01	96.3
Summe				1.08	2.15	0.03	252.9
19	Baustahl S 355	Konstant	9.0	0.09	0.19	0.00	6.5
20		Konstant	9.0	0.09	0.19	0.00	6.5
21		Konstant	15.0	0.10	0.20	0.00	11.8
22		Konstant	15.0	0.10	0.20	0.00	11.8
23		Konstant	15.0	0.10	0.20	0.00	11.8
24		Konstant	15.0	0.10	0.20	0.00	11.8
Summe				0.58	1.17	0.01	60.2
Summe				1.66	3.32	0.04	313.0

Berechnung Details... Grafik OK Abbrechen

Bild 2.23: Maske 4.1 Stückliste

Details...

Abschließend erscheint eine Bilanz der im Bemessungsfall behandelten Flächen. Als Standard werden in der Liste nur die bemessenen Flächen erfasst. Wird eine Stückliste für alle Flächen der Struktur gewünscht, so kann dies im Dialog *Details*, Register *Optionen* eingestellt werden (siehe Bild 2.12, Seite 25).

Position Nr.

Es werden Positionsnummern für die Flächen vergeben, die sich an den Flächennummern orientieren.

Material

Die Auflistung der Flächen erfolgt nach Materialien geordnet. Die *Summe* der in den Spalten D bis G enthaltenen Werte bildet den Abschluss eines jeden Materialabschnitts.

Dicke

In den Spalten B und C werden der Dicke-*Typ* sowie die Dicke d ausgewiesen. Hier finden sich die Eingabedaten der Maske 1.3 *Flächen* wieder.

Fläche

Diese Spalte gibt Aufschluss über den Flächeninhalt einer jeden Fläche.

Ummantelung

Die Ummantelungsfläche ermittelt sich aus der Ober- und Unterseite einer Fläche. Die Seitenflächen der relativ dünnwandigen Stahlflächen werden dabei vernachlässigt.

Volumen

Das Volumen einer Fläche ergibt sich aus dem Produkt von Dicke und Fläche. Liegt eine Fläche mit veränderlicher Dicke vor, so wird dies entsprechend berücksichtigt.

Masse

Die letzte Spalte weist die Massen der einzelnen Flächen aus. Dieser Wert ermittelt sich aus dem Volumen der Fläche und dem spezifischen Gewicht des verwendeten Materials.

Summe

Am unteren Ende der Liste findet sich eine Bilanz mit den Summen der Spalten D bis G. Das letzte Feld *Masse* gibt Aufschluss über die Gesamttonnage.

3. RF-STAHL Stäbe

3.1 Eingabedaten



Alle Eingaben zur Definition der Bemessungsfälle erfolgen in Masken. Mit der Funktion [Pick] ist es möglich, die zu bemessenden Stäbe und Stabsätze grafisch auszuwählen.

Nach dem Aufruf von RF-STAHL Stäbe wird in einem neuen Fenster links ein Navigator angezeigt, der alle verfügbaren Masken verwaltet. Oberhalb befindet sich eine Pulldownliste mit den Bemessungsfällen (siehe Kapitel 6.1, Seite 81).

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

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



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

Mit [OK] werden die vorgenommenen Eingaben gesichert und das Modul RF-STAHL Stäbe verlassen. [Abbruch] beendet das Zusatzmodul, ohne die Daten zu speichern.

3.1.1 Basisangaben

In Maske 1.1 *Basisangaben* sind die zu bemessenden Stäbe, Stabsätze und Einwirkungen auszuwählen. Die Bemessungsnorm wird erst in Maske 1.2 festgelegt, da die Norm mit den Materialeigenschaften verbunden ist.

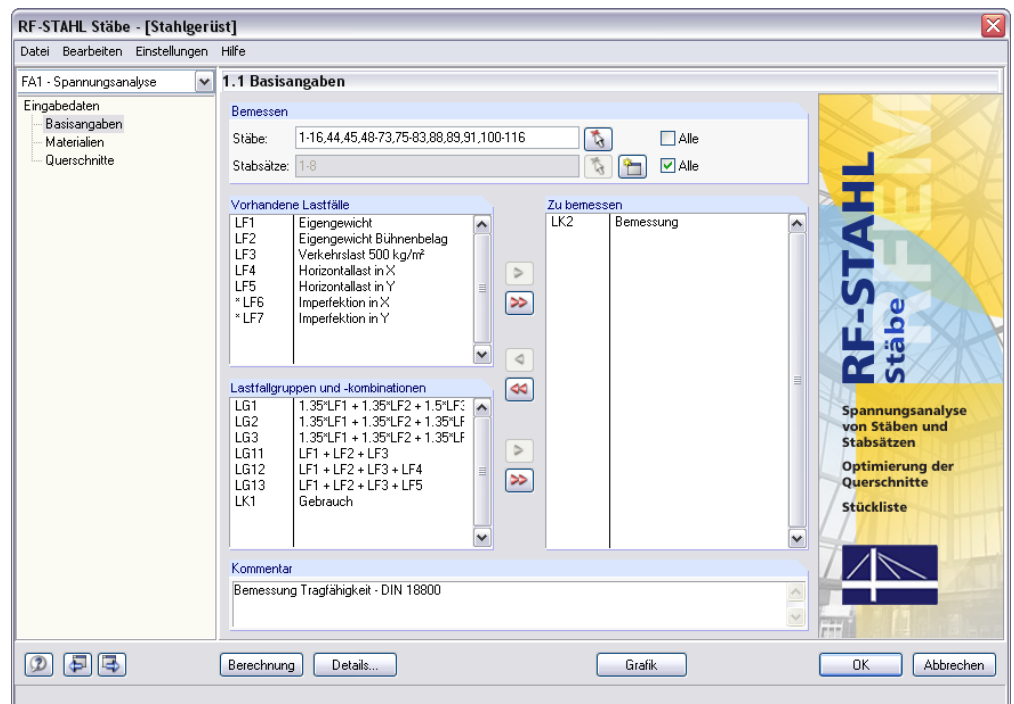


Bild 3.1: Maske 1.1 *Basisangaben*

Bemessen

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

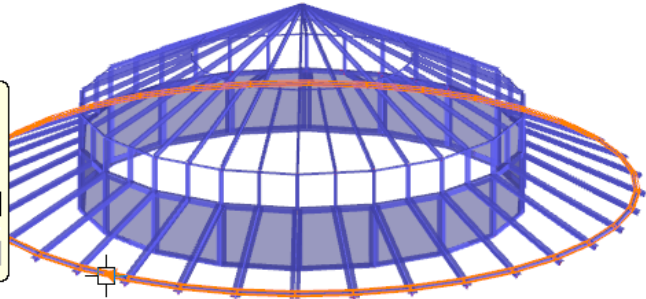
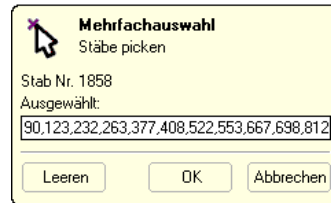


Bild 3.2: Grafische Auswahl am Modell

Falls in RFEM noch keine Stabsätze definiert wurden, so können diese über die Schaltfläche [Neu] auch im RF-STAH-Modul angelegt werden. Es erscheint der aus RFEM bekannte Dialog zum Anlegen eines neuen Stabsatzes, in dem die weiteren Angaben erfolgen.

Bei der Stabsatzbemessung wird die maximale Ausnutzung von allen Stäben ermittelt, die im Stabsatz enthalten sind. Nach der Analyse stehen die Ergebnismasken 2.2 *Spannungen stabsatzweise*, 3.2 *Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise* und 4.2 *Stückliste stabsatzweise* zur Verfügung.

Vorhandene Lastfälle / Lastfallgruppen und -kombinationen

In den beiden Abschnitten werden die in RFEM definierten Lastfälle, Lastfallgruppen, Lastfallkombinationen und ggf. RF-DYNAM-Fälle aufgelistet, die für die Bemessung infrage kommen. Mit der Schaltfläche [►] können selektierte Einträge nach rechts in die Liste *Zu Bemessen* übertragen werden. Die Auswahl kann auch per Doppelklick erfolgen. Die Schaltfläche [►►] übergibt die ganze Liste des Abschnitts nach rechts.

Sollten Lastfälle mit einem Sternchen (*) gekennzeichnet sein wie z. B. die Lastfälle 6 und 7 im Bild 3.1, können diese nicht bemessen werden. Es sind keine Lasten definiert oder es handelt sich wie im Beispiel um reine Imperfektionslastfälle.

Zu bemessen

In der rechten Spalte werden die für den Nachweis ausgewählten Einwirkungen aufgelistet. Mit der Schaltfläche [◀] lassen sich selektierte Einträge wieder aus der Liste entfernen. Auch hier kann die Auswahl per Doppelklick erfolgen. Die Schaltfläche [◀◀] leert die ganze Liste.

Die Bemessung einer einhüllenden Oder-Lastfallkombination verläuft schneller als die Analyse für alle pauschal übernommenen Einwirkungen. Andererseits ist bei der Bemessung einer Gesamt-LK der Einfluss der enthaltenen Einwirkungen wenig transparent. Es empfiehlt sich, für Lastfallkombinationen die *Berechnungsart der Spannungen* im Dialog *Details* zu kontrollieren (siehe Kapitel 3.2.1, Seite 46).

Kommentar

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

Details...

3.1.2 Materialien

Diese Maske ist zweigeteilt. Im oberen Abschnitt sind die in RFEM definierten Materialien mit ihren Grenzspannungen 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. In der globalen Materialbibliothek sind die bemessungsrelevanten Materialeigenschaften gespeichert; sie sind automatisch eingestellt, können in dieser Maske jedoch angepasst werden.

Die Einheiten und Nachkommastellen der Materialkennwerte und Spannungen lassen sich über das Menü **Einstellungen** → **Einheiten und Dezimalstellen** ändern (siehe Bild 6.13, Seite 87).

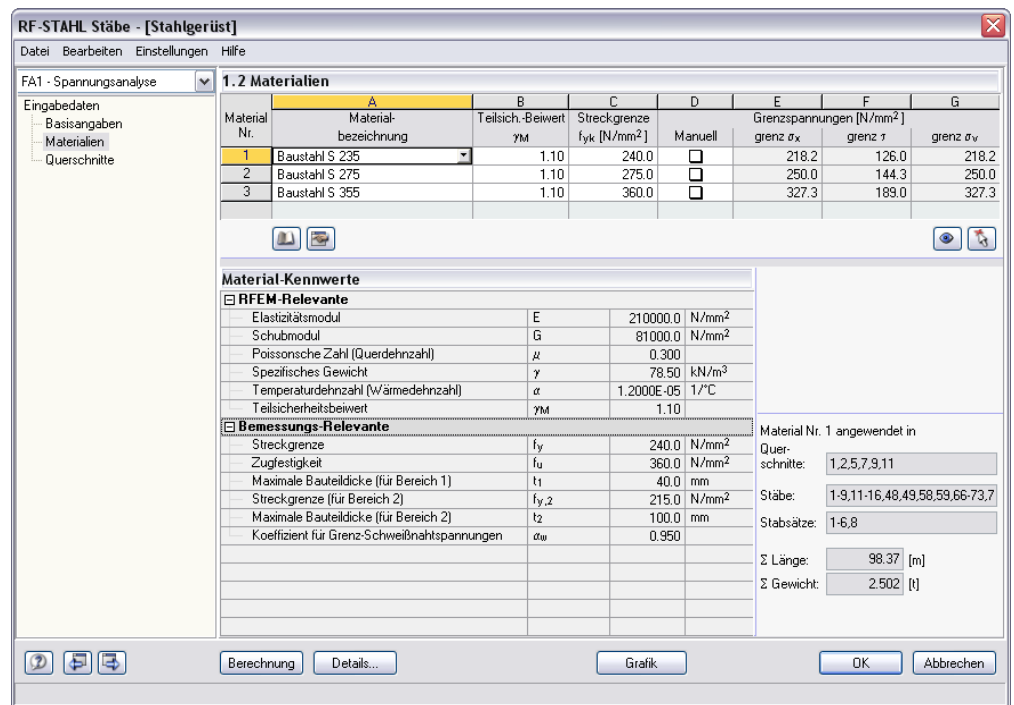



Bild 3.3: Maske 1.2 *Materialien*

Materialbezeichnung

Die in RFEM definierten Materialien sind voreingestellt. Wenn die *Materialbezeichnung* geändert wird und der manuelle Eintrag mit der Materialbibliothek übereinstimmt, so liest RF-STAHL Stäbe die zur Bemessung erforderlichen Materialkennwerte ein.

Über die Liste kann das Material ebenfalls 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 in die restlichen Felder der Zeile eingetragen.

In der Liste werden nur Materialien der Kategorie **Stahl** angeführt. Es stehen die Stahlgüten verschiedener Stahlbaunormen zur Wahl. Grundsätzlich ist auch die Bemessung beliebiger Materialien möglich, deren Spannungs-konzept auf dem Vergleich von vorhandenen Normal-, Schub- und Vergleichsspannungen mit den jeweiligen zulässigen Spannungen beruht

A	
Materialbezeichnung	
Baustahl S 355	
Baustahl S 235	DIN 18800: 1990-11
Baustahl S 275	DIN 18800: 1990-11
Baustahl S 355	DIN 18800: 1990-11
Feinkornbaustahl S 275 N	DIN 18800: 1990-11
Feinkornbaustahl S 275 M	DIN 18800: 1990-11
Feinkornbaustahl S 355 N	DIN 18800: 1990-11
Feinkornbaustahl S 355 M	DIN 18800: 1990-11
Feinkornbaustahl S 460 N	DIN 18800: 1990-11
Feinkornbaustahl S 460 M	DIN 18800: 1990-11
Vergütungsstahl C 35+N	DIN 18800: 1990-11

(z. B. Bemessung von Aluminium- oder Edelstahl-Profilen). Die jeweiligen Normvorgaben müssen selbstverständlich ergänzend berücksichtigt werden.

Liegt ein Material mit nicht definierten Grenzspannungen vor (z. B. Holz), werden die Einträge dieser Zeile rot dargestellt. Die Grenzspannungen können jedoch durch Aktivieren der Funktion **Manuell** in Spalte D benutzerdefiniert festgelegt werden. Sobald die zulässigen Spannungen in den Spalten E bis G eingetragen sind, verschwindet die rote Darstellung.

Die Übernahme von Materialien aus der Bibliothek ist weiter unten beschrieben.

Teilsicherheitsbeiwert γ_M

Dieser Beiwert beschreibt den Sicherheitsfaktor zur Berechnung der Bemessungswerte der Materialfestigkeiten – deshalb der Index *M*. Mit dem Faktor γ_M wird der charakteristische Wert der Streckgrenze f_{yk} abgemindert, um die Grenznormalspannung $\sigma_{R,d}$ (siehe Gleichung 2.1) und die Grenzschubspannung $\tau_{R,d}$ (Gleichung 2.2) zu ermitteln.



Der Faktor γ_M fließt somit z. B. für DIN 18800 zweifach in die Bemessung ein, wenn nach Theorie II. oder III. Ordnung berechnet wird: Gemäß DIN 18800 Teil 2, El. (116) muss der Einfluss der Verformungen bei der Schnittgrößenermittlung durch eine um 10 % abgeminderte Steifigkeit berücksichtigt werden. Zudem sind die Bemessungswerte der Festigkeiten beim Nachweis der Tragsicherheit mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_M zu reduzieren.

Streckgrenze f_{yk}

Die Streckgrenze beschreibt die Grenze, bis zu der das Material ohne bleibende Verformung gedehnt werden kann. Die charakteristischen Werte verschiedener Stahlgüten können z. B. DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 4 und EN 1993-1-1, Abschnitt 3 entnommen werden.

Grenzspannungen

Bei Materialien, die in der allgemeinen Materialbibliothek verankert sind, sind die Grenzspannungen automatisch eingetragen und für Änderungen nicht zugänglich.



Um die Grenzspannungen anzupassen, kann das Kontrollfeld *Manuell* oder die Schaltfläche [Material bearbeiten] benutzt werden (siehe Bild 2.6, Seite 14).

Manuell

Wird das Kontrollfeld aktiviert, so können die Grenzspannungen in den Spalten E bis G manuell festgelegt werden.

Geänderte Materialkennwerte werden in der Spalte *Materialbezeichnung* mit einem Sternchen symbolisiert.

grenz σ_x

Die Grenznormalspannung stellt die zulässige Spannung für die Beanspruchung infolge Biegung und Normalkraft dar. Sie bestimmt sich gemäß DIN 18800 Teil 1, Element (746) aus dem charakteristischen Wert der Streckgrenze, der mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_M abgemindert wird (siehe Gleichung 2.1, Seite 12).

grenz τ

Die Grenzschubspannung gibt die zulässige Schubspannung infolge Querkraft und Torsion an. Nach DIN 18800 Teil 1, Element (746) fließt in die Gleichung zur Ermittlung der Grenzschubspannung ebenfalls der Teilsicherheitsbeiwert γ_M ein (siehe Gleichung 2.2).

grenz σ_v

Die Grenzvergleichsspannung stellt die zulässige Vergleichsspannung für die gleichzeitige Wirkung mehrerer Spannungen dar. Sie bestimmt sich nach DIN 18800 Teil 1, Element (746) ebenfalls gemäß Gleichung 2.1.

Materialbezeichnung
Baustahl S 235*

Streckgrenze in Abhängigkeit der Bauteildicke

Bei einigen Materialien besteht ein Zusammenhang zwischen der charakteristischen Streckgrenze $f_{y,k}$ und der Dicke des Bauteils t . Im Abschnitt *Materialkennwerte* unterhalb wird die *Maximale Bauteildicke* der einzelnen Bereiche mit der zugehörigen Streckgrenze angegeben.



Die Streckgrenzenbereiche sind in den Normen geregelt, z. B. DIN 18800 Teil 1, Tabelle 1. Über die Schaltfläche [Material bearbeiten] können die Bauteildicken und die zugeordneten Spannungen kontrollieren und ggf. angepasst werden (siehe Bild 2.6, Seite 14).

Materialbibliothek



Viele Materialien sind in einer Bibliothek hinterlegt (siehe Bild 2.5, Seite 13), die über die entsprechende Schaltfläche zugänglich ist (unterhalb Spalte A *Materialbezeichnung*).



Die Übernahme von Materialien aus der Bibliothek ist im Kapitel 2.1.2 auf Seite 13 beschrieben. Das Kapitel 5.3 des RFEM-Handbuchs erläutert, wie Materialien gefiltert, ergänzt oder neu sortiert werden können. Auf diese Weise lässt sich z. B. über die Schaltfläche [Neu] ein neuer Stahl mit benutzerdefinierten Materialkennwerten anlegen und für spätere Anwendungszwecke speichern.

Bei der Wahl einer anderen Materialkategorie als *Stahl* ist zu beachten, dass nur Materialien bemessen werden können, deren Spannungs-konzept auf dem Vergleich von vorhandenen Normal-, Schub- und Vergleichsspannungen mit den jeweiligen zulässigen Spannungen beruht. Somit ist – mit Einschränkungen – die Bemessung von z. B. Aluminium- oder Edelstahlbauteilen möglich.

Wird ein Material mit nicht definierten Grenzspannungen übernommen (z. B. Holz), werden die Einträge dieser Zeile in Maske 1.2 rot dargestellt. Die Grenzspannungen können jedoch durch Aktivieren der Funktion **Manuell** in Spalte D benutzerdefiniert festgelegt werden. Sobald die zulässigen Spannungen in den Spalten E bis G eingetragen sind, verschwindet die rote Darstellung. Dabei ist zu beachten, dass die Nachweise für z. B. Holzprofile nur unvollständig erfolgen: Die Holzbaunormen fordern weitere Kriterien, die im Zusatzmodul HOLZ Pro realisiert sind.

Material bearbeiten



Über die links dargestellte Schaltfläche können die Streckgrenzen und Grenzspannungen des aktuellen Materials angepasst werden. Diese Schaltfläche befindet sich unterhalb der Spalte A *Materialbezeichnung*.

Es erscheint der Dialog *Material bearbeiten* (siehe Bild 2.6, Seite 14), der im Kapitel 2.1.2 auf Seite 14 erläutert ist. Dort wird auch beschrieben, wie der Teilsicherheitsbeiwert, der charakteristische Wert der Streckgrenze $f_{y,k}$ bzw. die Streckgrenzen und Grenzspannungen in Abhängigkeit der Bauteildicke sowie die Bereiche der Bauteildicken angepasst werden können.

3.1.3 Querschnitte

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

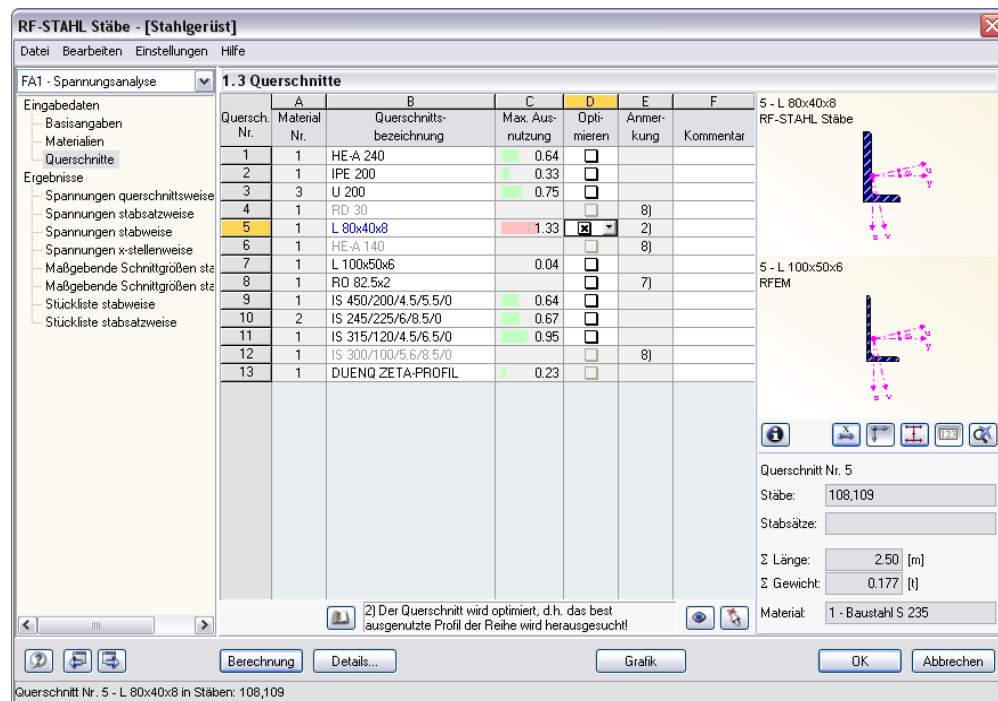


Bild 3.4: Maske 1.3 Querschnitte

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. Ein unzulässiges Profil (z. B. massiver Querschnitt) wird in roter Schrift dargestellt.

Um ein Profil zu ändern, ist die neue Querschnittsbezeichnung in die entsprechende Zeile einzutragen oder das Profil in 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.

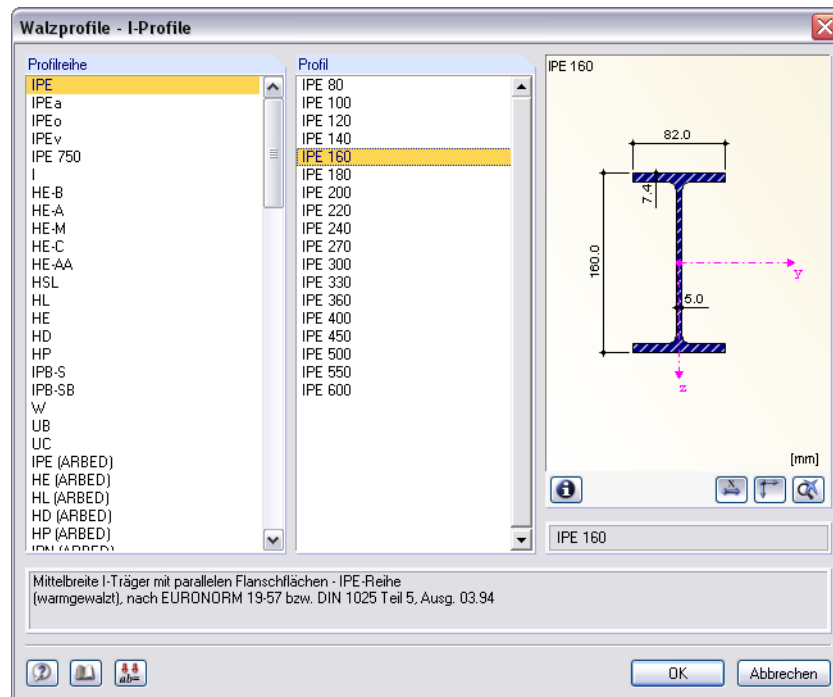
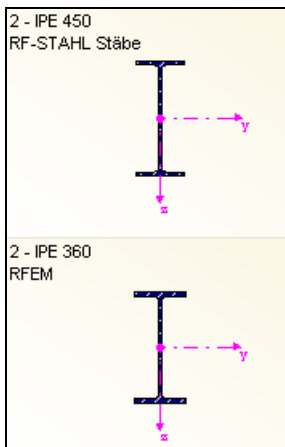


Bild 3.5: Querschnittsbibliothek-Dialog Walzprofile - I-Profile



Falls unterschiedliche Profile in RF-STAHL Stäbe und RFEM vorliegen, zeigt die Grafik rechts in der Maske beide Profile an. Die Spannungsanalyse erfolgt mit den RFEM-Schnittgrößen für das in RF-STAHL Stäbe 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 Stäbe führt auch die Bemessung von Voutenstäben durch, sofern die gleiche Anzahl von 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 das Programm die Zwischenwerte nicht interpolieren. Das Rendering in RFEM zeigt dann zwar die Querschnitte jeweils bis zur Stabmitte an, eine Berechnung aber ist weder in RFEM noch in RF-STAHL Stäbe möglich.

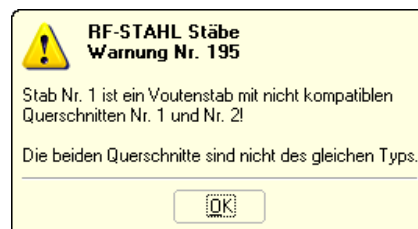
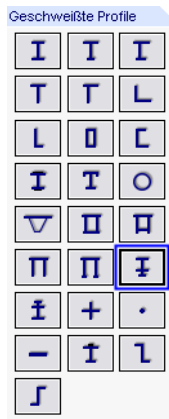


Bild 3.6: Warnung bei inkompatiblen Querschnitten



Zur Kontrolle lassen sich die Spannungspunkte eines Querschnitts mitsamt Nummerierung in der Querschnittsgrafik rechts einblenden. Detaillierte Informationen zu den Spannungspunkten finden Sie im Kapitel 3.3.1 auf Seite 54.



IVU-Profil

Details...

Für die Bemessung ist also die gleiche Anzahl an Spannungspunkten herzustellen. Dies lässt sich z. B. erreichen, indem das zweite Profil als Kopie des Anfangsprofils erzeugt wird und dabei die Geometrieparameter angepasst werden. Gegebenenfalls müssen die beiden Querschnitte als parametrisierte („Geschweißte“) Profile ausgebildet werden. Speziell für Vouten geeignet sind die **IVU - Voutenprofile unten verstärkt**.

Max. Ausnutzung

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

Optimieren

Jedes Profil kann einem Optimierungsprozess unterzogen werden. Dabei wird mit den RFEM-Schnittgrößen das Profil der gleichen Querschnittsreihe ermittelt, das der maximalen Ausnutzung am nächsten kommt, die im Dialog *Details* vorgegeben ist (siehe Bild 3.7, Seite 46).

Um einen Querschnitt zu optimieren, ist das entsprechende Kontrollfeld in Spalte C bzw. D zu aktivieren. Empfehlungen zur Profilloptimierung finden Sie im Kapitel 6.2.2 auf Seite 84.

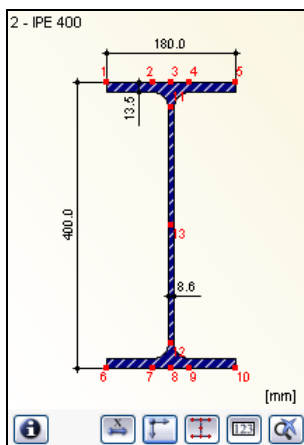
Anmerkung

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

Die Anmerkung 6) *Unzulässige Querschnittsdaten! Stäbe des Querschnitts werden nicht bemessen.* weist auf einen unbekannten, d. h. nicht in der Profildatenbank registrierten Querschnitt hin. Dabei kann es sich um einen eigendefinierten oder nicht berechneten DU-ENQ-Querschnitt handeln. In diesem Fall sollten Sie nach RFEM wechseln und dort die Angaben zu den **Spannungspunkten** vornehmen (siehe Kapitel 5.13 des RFEM-Handbuchs, Abschnitt *Eigenes Profil definieren*).

Querschnittsgrafik

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









Schaltfläche	Funktion
	Der Dialog <i>Info über Querschnitt</i> mit den Profildetails wird aufgerufen.
	Die Bemaßung des Querschnitts wird ein- oder ausgeblendet.
	Die Hauptachsen des Profils werden ein- oder ausgeschaltet.
	Die Spannungspunkte werden angezeigt oder ausgeblendet.
	Die Nummerierung der Spannungspunkte wird ein- oder ausgeblendet.
	Die Gesamtansicht des Querschnitts wird wiederhergestellt.

Tabelle 3.1: Schaltflächen der Querschnittsgrafik

3.2 Berechnung

Berechnung

In jeder Eingabemaske kann die [Berechnung] über die gleichnamige Schaltfläche gestartet werden. Die Spannungsanalyse erfolgt mit den in RFEM ermittelten Schnittgrößen. Vorher empfiehlt sich eine kurze Überprüfung der Bemessungsparameter.

3.2.1 Berechnungsdetails

Details...

In jeder Maske kann mit der Schaltfläche [Details] der Dialog zur Kontrolle der Berechnungsparameter aufgerufen werden.

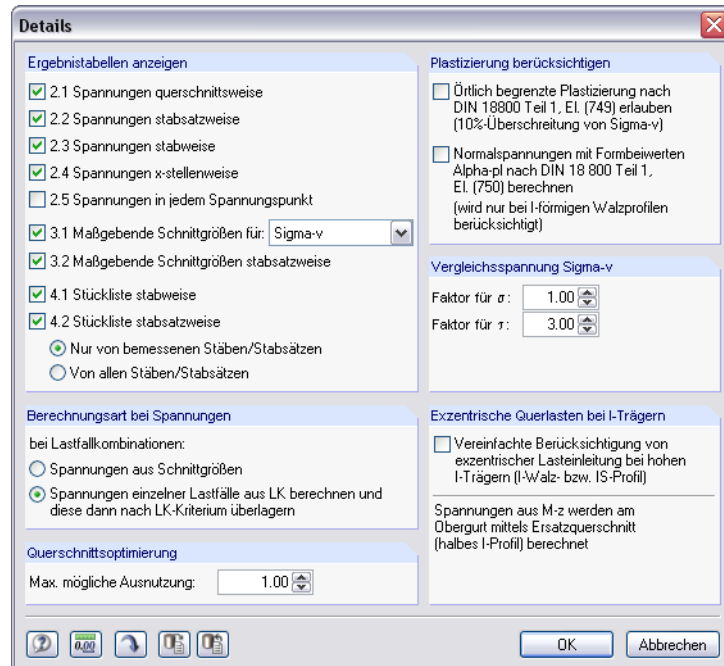


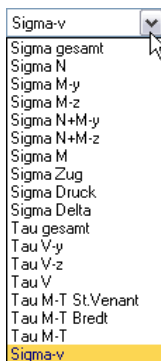
Bild 3.7: Dialog Details

Ergebnistabellen anzeigen

Dieser Abschnitt steuert die Anzeige der Ergebnismasken einschließlich Stückliste. Die einzelnen Ergebnismasken sind im Kapitel 3.3 beschrieben.

Die Maske 2.5 *Spannungen in jedem Spannungspunkt* ist standardmäßig deaktiviert, da die Spannungsgrafik auch eine gute Auswertung der Ergebnisse in den Spannungspunkten ermöglicht. Die Anzeige dieser Maske kann für eine gezielte tabellarische Überprüfung der Spannungen aktiviert werden.

Die in Maske 3.1 *Maßgebende Schnittgrößen* angegebenen Werte sind in der Regel auf die Vergleichsspannung σ_v bezogen. In der Liste kann bei Bedarf eine andere Spannungsart gewählt werden.



Plastizierung berücksichtigen

Örtlich begrenzte Plastizierung

Wird eine *Örtlich begrenzte Plastizierung* gemäß DIN 18800 Teil 1, El. (749) für die Bemessung zugelassen, dann darf die Vergleichsspannung σ_v in kleinen Bereichen die zulässige Grenzspannung um 10 % überschreiten.

RF-STAHL Stäbe untersucht, ob die beiden in El. (749) genannten Bedingungen für die Annahme „kleiner Bereiche“ erfüllt sind.

$$|\sigma_N + \sigma_{M_y}| \leq 0,8 \cdot \sigma_{R,d}$$

Gleichung 3.1

$$|\sigma_N + \sigma_{M_z}| \leq 0,8 \cdot \sigma_{R,d}$$

Gleichung 3.2

Wenn die Bedingungen erfüllt sind, wird die Grenzspannung für den Nachweis von σ_v entsprechend erhöht.

Formbeiwerte α_{pl}

Die Spannungen können gemäß DIN 18800 Teil 1, El. (750) durch *Formbeiwerte* α_{pl} abgemindert werden. Diese Reduktion bezieht sich auf die Normalspannungen σ_M infolge der Biegemomente M_y und M_z .

$$\sigma_M = \left| \pm \frac{M_y}{\alpha_{pl,y} \cdot I_y} \cdot e_z \pm \frac{M_z}{\alpha_{pl,z} \cdot I_z} \cdot e_y \right|$$

Gleichung 3.3

Wird diese Möglichkeit der Plastizierung genutzt, so setzt RF-STAHL Stäbe die in der Norm vorgeschlagenen Formbeiwerte $\alpha_{pl,y} = 1,14$ und $\alpha_{pl,z} = 1,25$ an. Die Erlaubnis örtlich begrenzter Plastizierung erstreckt sich ausschließlich auf Walzprofile mit I-förmigen Querschnitt.

Vergleichsspannung Sigma-v

In diesem Abschnitt können die Faktoren zur Ermittlung der Vergleichsspannung angepasst werden.

$$\sigma_v = \sqrt{f_1 \cdot \sigma_{\text{gesamt}}^2 + f_2 \cdot \tau_{\text{gesamt}}^2}$$

mit f_1 : Faktor für Normalspannungen
 f_2 : Faktor für Schubspannungen

Gleichung 3.4

Es sind die in DIN 18800 Teil 1, El. (748) genannten Faktoren $f_1 = 1,0$ und $f_2 = 3,0$ voreingestellt.

Berechnungsart bei Spannungen bei Lastfallkombinationen

Eine zweiachsige Beanspruchung in unterschiedlichen Lastfällen kann u. U. dazu führen, dass die kombinierten Stabschnittgrößen nicht zu den maximalen Spannungen führen. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn im ersten Lastfall mit Vertikallast nur Momente M_y und keine Momente M_z , im zweiten Lastfall mit Horizontallast nur Momente M_z und keine Momente M_y auftreten. Werden die beiden Lastfälle mit dem Kriterium „eventuell“ in einer Lastfallkombination überlagert, so weist RFEM in Tabelle 3.5 *Stäbe - Schnittgrößen* das Moment M_z als nicht zugehörig zum maximalen Moment M_y aus: Die Horizontallast leistet keinen Beitrag zur Erhöhung des Moments infolge Vertikallast. Erfolgt die Bemessung dieser LK-Schnittgrößen getrennt nach den Maximalmomenten M_y und M_z , wird der gleichzeitige Einfluss der beiden Schnittgrößen für die kombinierte Betrachtung der Biegespannungen nicht erfasst.

Spannungen aus Schnittgrößen

Die Berechnungsart *Spannungen aus Schnittgrößen* verwertet die Ergebniszeilen der RFEM-Tabelle 3.5 *Stäbe - Schnittgrößen*. Die max/min-Resultate werden zeilenweise abgearbeitet und somit die Spannungen für jeden Extremwert mit den zugehörigen Schnittgrößen ermittelt.

Der Vorteil dieser Bemessungsvariante besteht darin, dass die Ergebnisse der Lastfallkombinationen direkt verwertet werden können. Dies wirkt sich positiv auf die Berechnungsdauer aus. Zudem werden die bemessenen Schnittgrößen transparent, denn in der RF-STAHL Stäbe-Maske 3.1 *Maßgebende Schnittgrößen* finden sich die Ergebniszeilen der RFEM-Tabelle 3.5 *Stäbe - Schnittgrößen* wieder.

Spannungen einzelner Lastfälle berechnen und dann überlagern

Diese Berechnungsart ist voreingestellt, um die Spannungen von Lastfallkombinationen zu berechnen. Dabei werden die Normal- und Schubspannungen der enthaltenen Lastfälle ermittelt und anschließend gemäß dem LK-Kombinationskriterium überlagert. Auf diese Weise ist gewährleistet, dass die oben beschriebenen Effekte bei ausschließlich einachsigen Biegebeanspruchungen keine zu geringen Spannungsausnutzungen zur Folge haben.

Die Analyse erfolgt für jeden Spannungspunkt: Die für die einzelnen Lastfälle ermittelten Druck-, Zug- und Schubspannungen werden gemäß LK-Überlagerungskriterium addiert und anschließend in den Ergebnismasken ausgewiesen.

Eine Ausnahme besteht bei der Vergleichsspannung σ_v , denn diese wird mit den Anteilen von σ_{gesamt} und τ_{gesamt} ermittelt. Die Überlagerung der Vergleichsspannungen aus den Einzellastfällen wäre nicht korrekt und würde zu hohe Auslastungen nach sich ziehen.

Diese Berechnungsart ist mit einem etwas höheren Aufwand verbunden. Zudem sind die in Maske 3.1 *Maßgebende Schnittgrößen* ausgewiesenen Werte schwieriger nachzuvollziehen, sofern sie sich auf die Vergleichsspannungen beziehen.

Da bei komplexeren räumlichen Systemen meist keine reine einachsige Biegung auftritt, sollten beide Berechnungsarten i. d. R. zu den gleichen Spannungsausnutzungen führen.

Querschnittsoptimierung

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

Exzentrische Querlasten bei I-Trägern

Werden Querlasten am Obergurt von Trägern eingeleitet, so wirken sie sich mit zunehmender Querschnittshöhe immer weniger auf die Biegespannung im Untergurt aus. Aus diesem Grund besteht für hohe I-Profile die Möglichkeit, exzentrisch wirkende Querlasten mit einem vereinfachten Ansatz zu berücksichtigen: Bei jedem(!) gewalzten oder geschweißten symmetrischen I-Profil, das im aktuellen RF-STAHL-Fall zur Bemessung vorgesehen ist, wird die Spannung infolge des Biegemoments M_z nur am Obergurt berechnet. Es wird dabei ein Ersatzquerschnitt mit dem halbierten Trägheitsmoment I_z verwendet.

Diese Option bietet den Vorteil, dass die Lasten im RFEM-Modell schwerachsenbezogen eingegeben werden können, um Torsion zu vermeiden.

Da sich dieses Kontrollfeld auf sämtliche symmetrischen I-Profile des Bemessungsfalls auswirkt, sollte die hohen I-Träger in einem separaten RF-STAHL-Fall bemessen werden.

Die Schaltfläche [Standard] stellt die programmseitigen Voreinstellungen wieder her.



3.2.2 Spannungen und Ausnutzung



Als Voreinstellung werden in den Masken 2.1 bis 2.5 die Normalspannungen σ_{gesamt} , τ_{gesamt} und σ_v ausgewiesen. Die einzelnen Spannungsanteile lassen sich über die Schaltflächen [Auswahl der Spannungen] und [Erweiterte Anzeige] einblenden.

Normalspannungen

Gemäß der üblichen Konvention werden Zugspannungen mit positivem Vorzeichen und Druckspannungen mit negativem Vorzeichen ausgegeben.



Die Analyse erfolgt für jeden einzelnen Spannungspunkt. Daher dürfen bei einer kombinierten Betrachtung (z. B. σ_{gesamt}) nicht die Anteile der Maximalspannungen addiert werden. Diese treten meist an unterschiedlichen Spannungspunkten auf. Es müssen die Spannungs-komponenten des jeweiligen Spannungspunkts überlagert werden.

Die Normalspannungen σ bedeuten im Einzelnen:

σ_N	Spannung infolge der Normalkraft N $\sigma = \frac{N}{A}$ mit A: Querschnittsfläche des Profils
σ_{M-y}	Spannung infolge des Biegemoments M_y $\sigma = \frac{M_y}{\alpha_{pl,y} \cdot I_y} \cdot e_z$ mit $\alpha_{pl,y}$: plastischer Formbeiwert gemäß DIN 18800 T1, El. (750) I_y : auf die Hauptachse y bezogenes Flächenmoment 2. Grades e_z : Schwerpunktabstand des Spannungspunkts in Richtung z
σ_{M-z}	Spannung infolge des Biegemoments M_z $\sigma = -\frac{M_z}{\alpha_{pl,z} \cdot I_z} \cdot e_y$ mit $\alpha_{pl,z}$: plastischer Formbeiwert gemäß DIN 18800 T1, El. (750) I_z : auf die Hauptachse z bezogenes Flächenmoment 2. Grades e_y : Schwerpunktabstand des Spannungspunkts in Richtung y
σ_M	Spannung infolge der Biegemomente M_y und M_z $\sigma = \frac{M_y}{\alpha_{pl,y} \cdot I_y} \cdot e_z - \frac{M_z}{\alpha_{pl,z} \cdot I_z} \cdot e_y$
σ_{Zug}	Zugspannung infolge der Normalkraft N und der Biegemomente M_y und M_z $\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{\alpha_{pl,y} \cdot I_y} \cdot e_z - \frac{M_z}{\alpha_{pl,z} \cdot I_z} \cdot e_y$
σ_{Druck}	Druckspannung infolge der Normalkraft N und der Biegemomente M_y und M_z $\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{\alpha_{pl,y} \cdot I_y} \cdot e_z - \frac{M_z}{\alpha_{pl,z} \cdot I_z} \cdot e_y$
σ_{Delta}	Maximale Differenz zwischen den Normalspannungen der einzelnen Lastfälle, die z. B. für den Betriebsfestigkeitsnachweis benötigt wird
σ_{gesamt}	Normalspannung infolge Normalkraft N sowie der Biegemomente M_y und M_z $\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{\alpha_{pl,y} \cdot I_y} \cdot e_z - \frac{M_z}{\alpha_{pl,z} \cdot I_z} \cdot e_y$

Tabelle 3.2: Normalspannungen σ



Das lokale Stabachsensystem beeinflusst die Vorzeichen der Schnittgrößen und Spannungen.

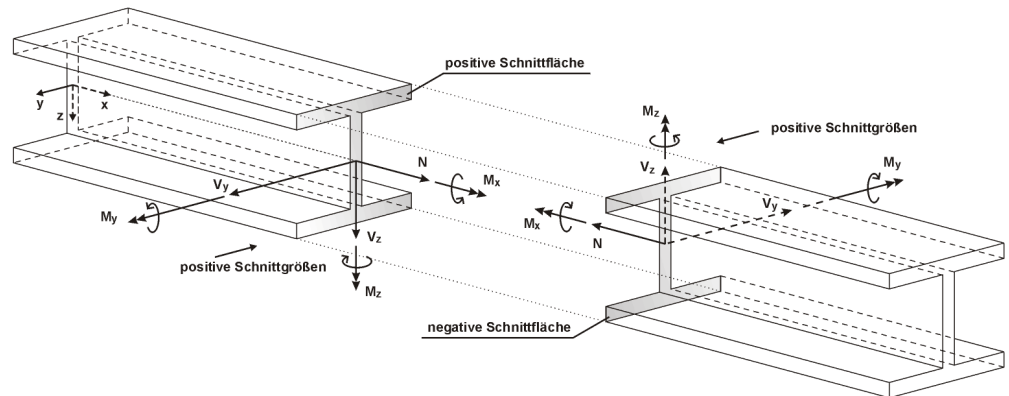


Bild 3.8: Positive Definition der Schnittgrößen

Das Biegemoment M_y ist positiv, wenn auf der positiven Stabseite (in Richtung der Achse z) Zugspannungen entstehen. M_z ist positiv, wenn an der positiven Stabseite (in Richtung der Achse y) Druckspannungen auftreten. Die Vorzeichendefinition für Torsionsmomente, Normal- und Querkräfte entspricht den üblichen Konventionen: Diese Schnittgrößen sind positiv, wenn sie am positiven Schnittufer in positiver Richtung wirken.

Schubspannungen

Die Schubspannungen τ bedeuten im Einzelnen:

τ_{V-y}	<p>Spannung infolge der Querkraft V_y</p> $\tau = - \frac{V_y \cdot S_z}{I_z \cdot t}$ <p>mit S_z: auf die Hauptachse z bezogenes Flächenmoment 1. Grades I_z: auf die Hauptachse z bezogenes Flächenmoment 2. Grades t: maßgebende Dicke des Querschnitts</p>
τ_{V-z}	<p>Spannung infolge der Querkraft V_z</p> $\tau = - \frac{V_z \cdot S_y}{I_y \cdot t}$ <p>mit S_y: auf die Hauptachse y bezogenes Flächenmoment 1. Grades I_y: auf die Hauptachse y bezogenes Flächenmoment 2. Grades t: maßgebende Dicke des Querschnitts</p>
τ_V	<p>Spannung infolge der Querkräfte V_y und V_z</p> $\tau = - \frac{V_y \cdot S_z}{I_z \cdot t} - \frac{V_z \cdot S_y}{I_y \cdot t}$
$\tau_{M-T, \text{ St. Venant}}$	<p>Spannung infolge des Torsionsmoments M_T bei offenem Querschnitt</p> $\tau = \frac{M_T}{I_{T, \text{ St. V.}}} \cdot t$ <p>mit $I_{T, \text{ St. V.}}$: Saint Venantsches Torsionsträgheitsmoment t: maßgebende Dicke des Querschnitts</p>

$\tau_{M-T, \text{Bredt}}$	Spannung infolge des Torsionsmoments M_T bei geschlossenem Querschnitt $\tau = \frac{M_T}{2 \cdot A_m \cdot t}$ mit A_m : von den Querschnittsmittellinien umschlossene Fläche t : maßgebende Dicke des Querschnitts
τ_{M-T}	Spannung infolge des Torsionsmoments M_T $\tau = \frac{M_T}{I_{T, \text{St.V.}}} \cdot t \quad \text{oder} \quad \tau = \frac{M_T}{2 \cdot A_m \cdot t}$
τ_{gesamt}	Schubspannung infolge der Querkräfte V_y und V_z und Torsionsmoment M_T $\tau = \tau_V + \tau_{M-T}$

Tabelle 3.3: Schubspannungen τ

Wie aus den Gleichungen hervorgeht, werden zur Ermittlung der Schubspannungen infolge Querkraft die statischen Momente verwendet und nicht die Schubflächen des Querschnitts.



Für die Schubspannungen infolge Torsion ist Folgendes zu beachten:

- Liegt ein teilweise offenes Profil mit einer geschlossenen Zelle im Querschnitt vor, so wird der gesamte Querschnitt als *geschlossen* eingestuft. Die Schubspannung wird in diesem Fall ausschließlich nach der Bredtschen Formel ermittelt. Es findet somit keine anteilmäßige Analyse für $M_{T, \text{St.Venant}}$ und $M_{T, \text{Bredt}}$ statt, wie sie im Querschnittsprogramm DUENQ vollzogen wird.
- Der Einfluss der Wölbkrafttorsion wird in RF-STAHl nicht erfasst. Die Bemessung ist – wie die Schnittgrößenermittlung in RFEM – ausschließlich auf das primäre Torsionsmoment beschränkt. Können die Wölbspannungen infolge sekundärem Torsionsmoment bzw. Wölbmoment nicht vernachlässigt werden, empfiehlt sich eine Analyse mit dem Zusatzmodul RF-FE-BGDK.

Vergleichsspannung

Die Vergleichsspannung σ_v z. B. gemäß DIN 18800 Teil 1, El. (748) ermittelt sich wie folgt:

σ_v	Vergleichsspannung aus den Normalspannungen σ und Schubspannungen τ $\sigma_v = \sqrt{f_1 \cdot \sigma_{\text{gesamt}}^2 + f_2 \cdot \tau_{\text{gesamt}}^2}$ mit f_1 : Faktor für Normalspannungen f_2 : Faktor für Schubspannungen
------------	--


Tabelle 3.4: Vergleichsspannung σ_v
[Details...](#)

Die Faktoren f_1 und f_2 können im Dialog *Details* festgelegt werden (siehe Bild 3.7, Seite 46). Es sind die Faktoren $f_1 = 1,0$ und $f_2 = 3,0$ gemäß DIN 18800 Teil 1, El. (748) voreingestellt.

Ausnutzung

Bei den Spannungsnachweisen wird – wie z. B. in DIN 18800 Teil 1, El. (747) dargestellt – der Quotient aus vorhandener Spannung und Grenzspannung ermittelt.

Die Ausnutzung des Profils am jeweiligen Spannungspunkt kann für jeden Schnittgrößenteil abgelesen werden (siehe Kapitel 4.2.2, Seite 69). Als Standard sind die Ausnutzungen infolge Normal-, Schub- und Vergleichsspannung für die Tabellenausgabe vorgegeben.

Max: 0.92 ≤ 1 

Wird die Grenzspannung nicht überschritten, so ist die Ausnutzung kleiner oder gleich 1,00 und der Spannungsnachweis gilt als erfüllt.

$$\frac{\sigma}{\sigma_{R,d}} \leq 1$$

Gleichung 3.5: Nachweisbedingung für Normalspannungen

$$\frac{\tau}{\tau_{R,d}} \leq 1$$

Gleichung 3.6: Nachweisbedingung für Schubspannungen

$$\frac{\sigma_v}{\sigma_{R,d}} \leq 1$$

Gleichung 3.7: Nachweisbedingung für Vergleichsspannungen



Bemessung von Rippen

Zur Bemessung von Stäben des Stabtyps *Rippe* werden die reinen Stabschnittgrößen herangezogen – ohne die Integrationsanteile aus den mitwirkenden Flächenbreiten. Rippen sind in erster Linie für Stahlbetonnachweise konzipiert.

3.2.3 Start der Berechnung

Berechnung

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

RF-STAHl Stäbe sucht nach den Ergebnissen der zu bemessenden Lastfälle, Lastfallgruppen und Lastfallkombinationen. Werden diese nicht gefunden, so startet zunächst die RFEM-Berechnung zur Ermittlung der bemessungsrelevanten Schnittgrößen. Dabei werden die in RFEM vorgegebenen Berechnungsparameter angesetzt.

Falls eine Optimierung der Querschnitte (siehe Kapitel 6.2, Seite 82) erfolgen soll, werden die erforderlichen Profile ermittelt und die Spannungen berechnet.

Auch aus der RFEM-Oberfläche kann die Berechnung der RF-STAHl-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

und ist im Bild 2.13 auf Seite 27 dargestellt.

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



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

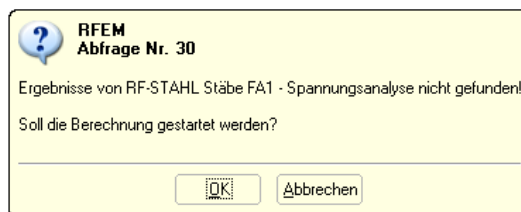
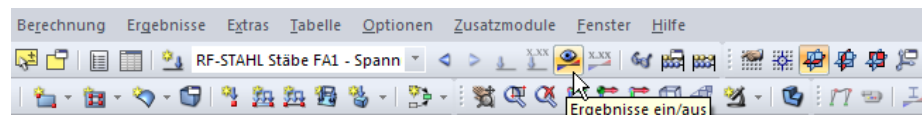


Bild 3.9: Direkte Berechnung eines RF-STAHl-Bemessungsfalls in RFEM

3.3 Ergebnisse



Unmittelbar nach der Berechnung erscheint die Maske 2.1 *Spannungen querschnittsweise*. Die Masken 2.1 bis 2.5 geben die Spannungen und Ausnutzungen nach diversen Kriterien geordnet aus. In den anschließenden Masken 3.1 bis 4.2 werden die maßgebenden Schnittgrößen sowie die Stücklisten stab- oder stabsatzbezogen angezeigt. Jede der Masken kann über den STAHL-Navigator angesteuert werden. 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 Stäbe wird verlassen und man gelangt zurück in das RFEM-Arbeitsfenster.

Dieses Handbuchkapitel stellt die Ergebnismasken der Reihe nach vor. Die Auswertung und Überprüfung der Resultate ist im Kapitel 4 *Ergebnisauswertung* ab Seite 63 beschrieben.

3.3.1 Spannungen querschnittsweise

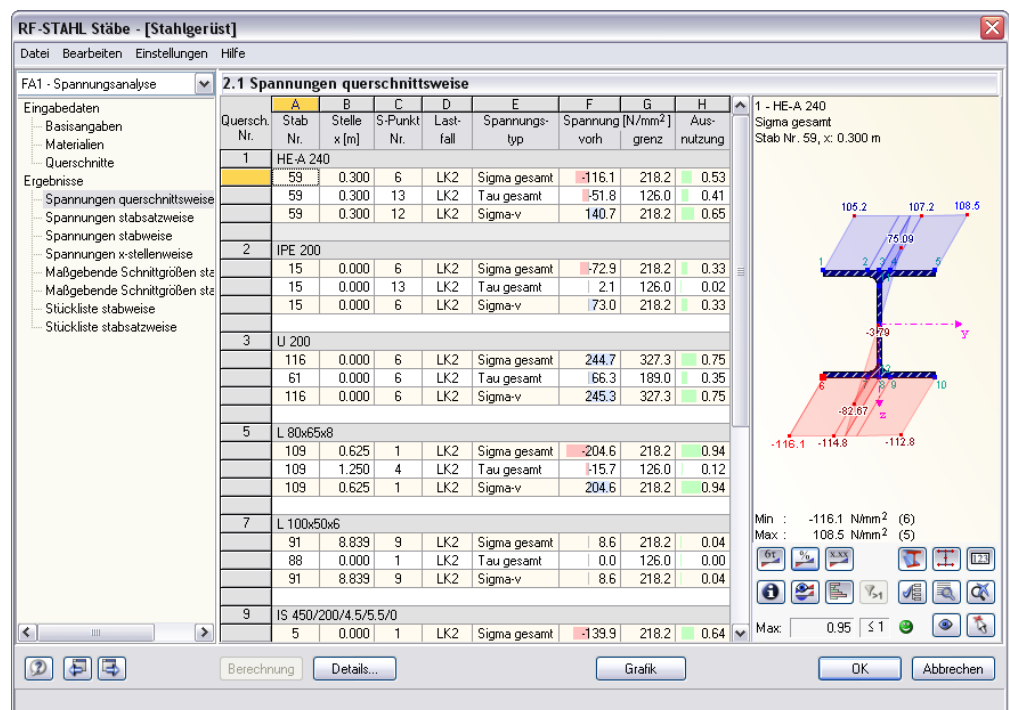


Bild 3.10: Maske 2.1 *Spannungen querschnittsweise*

Die Maske weist die maximalen Ausnutzungen aller zur Bemessung gewählten Stäbe aus, die sich mit den Schnittgrößen der maßgebenden Einwirkungen oder Kombinationen ergeben. Die Auflistung erfolgt nach Querschnitten geordnet.



Die in Spalte E *Spannungstyp* angezeigten Spannungs-komponenten orientieren sich an den Einstellungen, die im Dialog *Spannungen - Filter* vorgegeben sind (siehe Bild 4.7, Seite 68). Dieser Dialog ist über die links dargestellte Schaltfläche zugänglich.

Stab Nr.

Für jeden Querschnitt und jede Spannungsart wird die Nummer des Stabes angegeben, der jeweils die größte Spannungs-ausnutzung aufweist.

Stelle x

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

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

S-Punkt Nr.

Die Bemessung erfolgt an so genannten Spannungspunkten des Querschnitts. Diese Stellen im Profil sind durch Schwerpunktabstände, statische Momente und Profildicken definiert. Mit diesen Profileigenschaften ist die Bemessung nach Tabelle 3.2 und Tabelle 3.3 möglich.

Sämtliche Standardprofile der Bibliothek sowie die DUENQ- und DICKQ-Querschnitte sind mit Spannungspunkten an den bemessungsrelevanten Querschnittsstellen ausgestattet. Für eigendefinierte Profile müssen die Parameter manuell definiert bzw. importiert werden.

Die Grafik rechts zeigt die Spannungspunkte mitsamt Nummerierung an. Der aktuelle Spannungspunkt (der Spannungspunkt der Zeile, in der sich der Cursor befindet) ist rot markiert.

Über die [Info]Schaltfläche können die Kennwerte der Spannungspunkte kontrolliert werden. Zunächst öffnet sich der Dialog *Info über Querschnitt* mit der Liste der Profilwerte. Rechts unterhalb der Grafik steht die Schaltfläche [Details der Spannungspunkte] zur Verfügung, die den Zugang zu den Spannungspunkteinformationen eröffnet.



Info über Querschnitt IPE 400

Querschnittswert-Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit
Profilhöhe	h	400.0	mm
Profilbreite	b	180.0	mm
Stegdicke	t _s	8.6	mm
Flanshdicke	t _f	13.5	mm
Ausrundungsradius	r	21.0	mm
Querschnittsfläche	A	84.50	cm ²
Schubfläche	A _y	40.65	cm ²
Schubfläche	A _z	32.31	cm ²
Wirksame Schubfläche nach EC 3	A _{w,y}	51.15	cm ²
Wirksame Schubfläche nach EC 3	A _{w,z}	42.73	cm ²
Stegfläche	A _{steg}	32.10	cm ²
Plastische Schubfläche	A _{pl,y}	48.60	cm ²
Plastische Schubfläche	A _{pl,z}	33.24	cm ²
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I _y	23130.00	cm ⁴
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I _z	1320.00	cm ⁴
Trägheitsradius	i _y	165.0	mm
Trägheitsradius	i _z	39.5	mm
Polarer Trägheitsradius	i _p	169.7	mm
Trägheitsradius des Gurtquerschnitts (einschl. V)	i _{gz}	44.9	mm
Volumen	V	8450000.0	mm ³ /m
Wölbordinate	ω _{max}	173.93	cm ²
Wölbfläche (Flächenmoment 1. Grades mit ω)	S _{ω,max}	1056.59	cm ⁴
Plastisches Widerstandsmoment	W _{pl,y}	1308.00	cm ³

Spannungspunkte von IPE 400

SpannP Nr.	Koordinaten		Statische Momente		Dicke t [mm]	Wölbung	
	y [mm]	z [mm]	S _y [cm ³]	S _z [cm ³]		ω [cm ²]	ω _ω [cm ⁴]
1	-90.0	-200.0	0.00	0.00	13.5	173.93	0.00
2	-25.3	-200.0	-168.62	-50.34	13.5	48.89	-973.10
3	0.0	-200.0	-237.96	-54.97	13.5	0.00	-1056.59
4	25.3	-200.0	-168.62	50.34	13.5	-48.89	973.10
5	90.0	-200.0	0.00	0.00	13.5	-173.93	0.00
6	-90.0	200.0	0.00	0.00	13.5	-173.93	0.00
7	-25.3	200.0	-168.79	50.35	13.5	-48.89	-973.10
8	0.0	200.0	-237.96	54.97	13.5	0.00	-1056.59
9	25.3	200.0	-168.79	-50.35	13.5	48.89	973.10
10	90.0	200.0	0.00	0.00	13.5	173.93	0.00
11	0.0	-165.5	-531.91	0.00	8.6	0.00	0.00
12	0.0	165.5	-533.52	0.00	8.6	0.00	0.00
13	0.0	0.0	-649.68	0.00	8.6	0.00	0.00

Spannungspunkte

Abbrechen

Bild 3.11: Dialoge *Info über Querschnitt* und *Spannungspunkte*

Die Spalten *Koordinaten* y und z geben Auskunft über die Schwerpunktabstände e_y bzw. e_z , die Spalten *Statische Momente* S_y und S_z enthalten die auf die Hauptachse y bzw. z bezogenen Flächenmomente 1. Grades. Die *Dicke* t repräsentiert die Bauteildicke am jeweiligen Spannungspunkt. Die in den Spalten *Wölbung* enthaltenen Werte sind für die Bemessung mit dem RF-STAHL Stäbe nicht relevant.



Die Spannungsanalyse erfolgt für jeden einzelnen Spannungspunkt, sodass für die kombinierte Betrachtung (z. B. σ_v) in der Regel nicht die Anteile der Maximalspannungen addiert werden dürfen: Diese liegen meist an unterschiedlichen Spannungspunkten vor. Es müssen die Spannungskomponenten überlagert werden, die an den gleichen Spannungspunkten vorliegen! Die Auswertung der spannungspunktweisen Ergebnisse kann z. B. in Maske 2.5 (siehe Kapitel 3.3.5, Seite 58) oder im Fenster *Querschnittswerte und Spannungsverlauf* (siehe Bild 4.9, Seite 70) erfolgen.

Lastfall

In Spalte D werden die Nummern der Lastfälle, Lastfallgruppen oder -kombinationen angegeben, deren Schnittgrößen die jeweiligen Maximalspannungen verursachen.

Spannungstyp

Als Standard werden die Normalspannungen σ_{gesamt} , die Schubspannungen τ_{gesamt} und die Vergleichsspannungen σ_v ausgewiesen. Die Ermittlung dieser Spannungen ist in Tabelle 3.2, Tabelle 3.3 und Tabelle 3.4 auf den Seiten 49 bis 51 dargestellt.



Zur Kontrolle lassen sich alle Spannungsanteile einblenden, die in die Gesamtspannungen einfließen (siehe folgendes Bild 3.12). Die einzelnen Spannungskomponenten können im Dialog *Spannungen - Filter* ausgewählt werden (siehe Bild 4.7, Seite 68), der über die links dargestellte Schaltfläche zugänglich ist.

Spannung vorh

In dieser Spalte werden die Extremwerte der vorhandenen Spannungen ausgewiesen, die gemäß den auf den Seiten 49 bis 51 vorgestellten Gleichungen der Tabelle 3.2, Tabelle 3.3 und Tabelle 3.4 ermittelt wurden.



2D-Systeme mit
unsymmetrischen
Querschnitten


Für unsymmetrische Querschnitte wie L-Profile in 2D-Systemen ist Folgendes zu beachten: Da nur Stabdrehwinkel von 0° und 180° möglich sind, wird bei der Momentenzerlegung nur der Anteil in Richtung der Stabachse y erfasst. Der Anteil um z entfällt bei einem 2D-System. RF-STAHL Stäbe bemisst deshalb nur das Moment um die Achse y . Profile, die nicht ausschließlich in Richtung der Hauptachse y belastet sind, sollten räumlich als 3D-Modelle definiert werden. Nur so können die Spannungen korrekt ermittelt werden.

Spannung grenz

Hier finden sich die Grenzspannungen der Maske 1.2 wieder (siehe Kapitel 3.1.2, Seite 40). Im Einzelnen handelt es sich um folgende Beanspruchbarkeiten:

- Grenznormalspannung σ_x als die zulässige Spannung für die Beanspruchung infolge Biegung und Normalkraft
- Grenzs Schubspannung τ als die zulässige Schubspannung infolge Querkraft und Torsion
- Grenzvergleichsspannung σ_v als die zulässige Vergleichsspannung für die gleichzeitige Wirkung von Normal- und Schubspannungen

Ausnutzung

Max: 0.92 ≤ 1 

Für jede Spannungskomponente wird der Quotient aus vorhandener Spannung und Grenzspannung ermittelt. Wird die Grenzspannung nicht überschritten, so ist die Ausnutzung kleiner oder gleich 1,00 und der Spannungsnachweis gilt als erfüllt.

Die farbigen Balken veranschaulichen die Ausnutzungen eines jeden Querschnitts.

3.3.2 Spannungen stabsatzweise

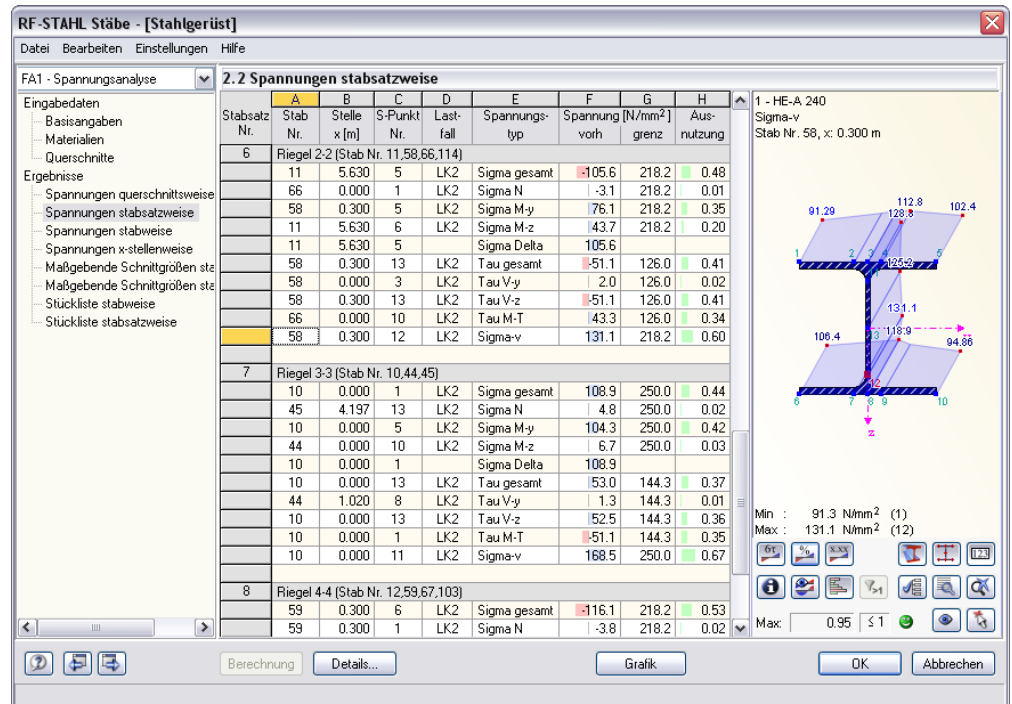


Bild 3.12: Maske 2.2 Spannungen stabsatzweise

Diese Maske listet die maximalen Spannungsausnutzungen nach Stabsätzen geordnet auf. Die einzelnen Spalten sind im vorherigen Kapitel 3.3.1 erläutert. Zusätzlich wird die Spalte *Stab Nr.* angezeigt, die die Nummer des Stabes im Stabsatz angibt, der die größte Ausnutzung aufweist.

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

3.3.3 Spannungen stabweise

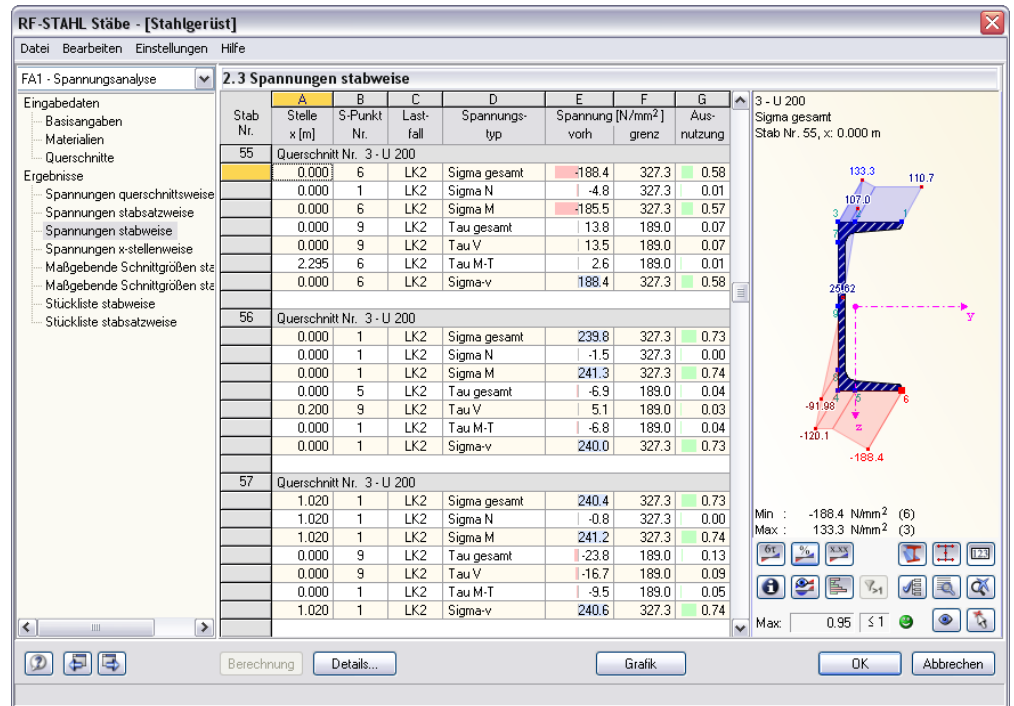


Bild 3.13: Maske 2.3 Spannungen stabweise

Diese Maske listet die maximalen Spannungen und Ausnutzungen nach Stabnummern geordnet an. Die einzelnen Spalten sind im Kapitel 3.3.1 auf Seite 53 erläutert.

Bei einem Voutenstab werden beide Querschnittsbezeichnungen angegeben.

3.3.4 Spannungen x-stellenweise

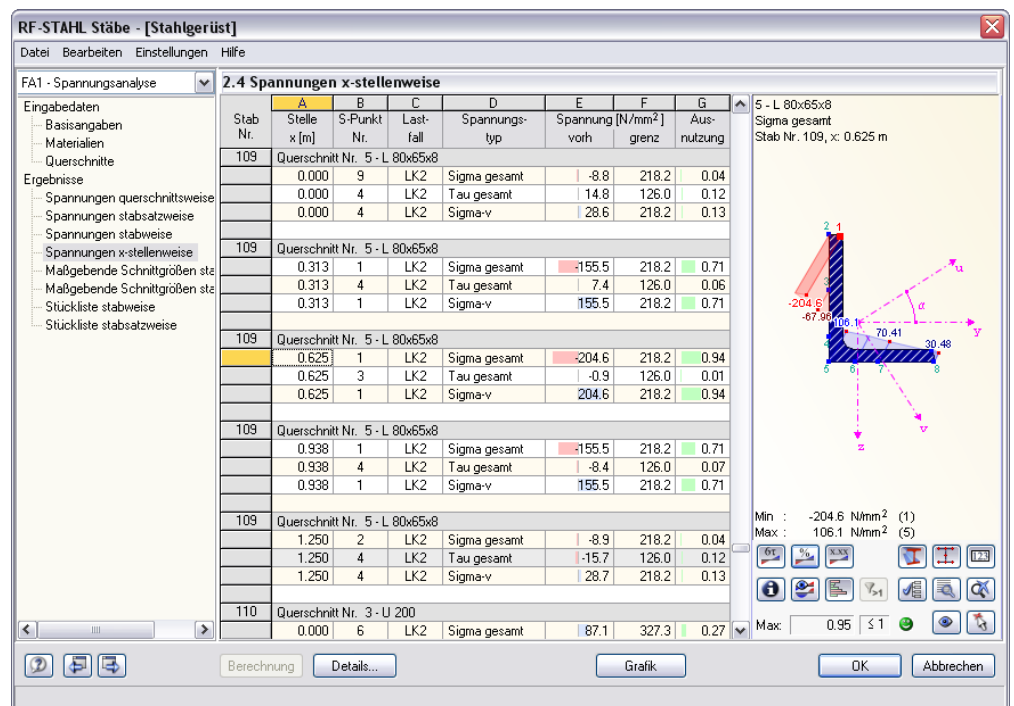


Bild 3.14: Maske 2.4 Spannungen x-stellenweise

Diese Ergebnismaske listet die Maximalspannungen eines jeden Stabes an den Stellen x auf, die sich aus den Teilungen von RFEM ergeben:

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

3.3.5 Spannungen in jedem Spannungspunkt

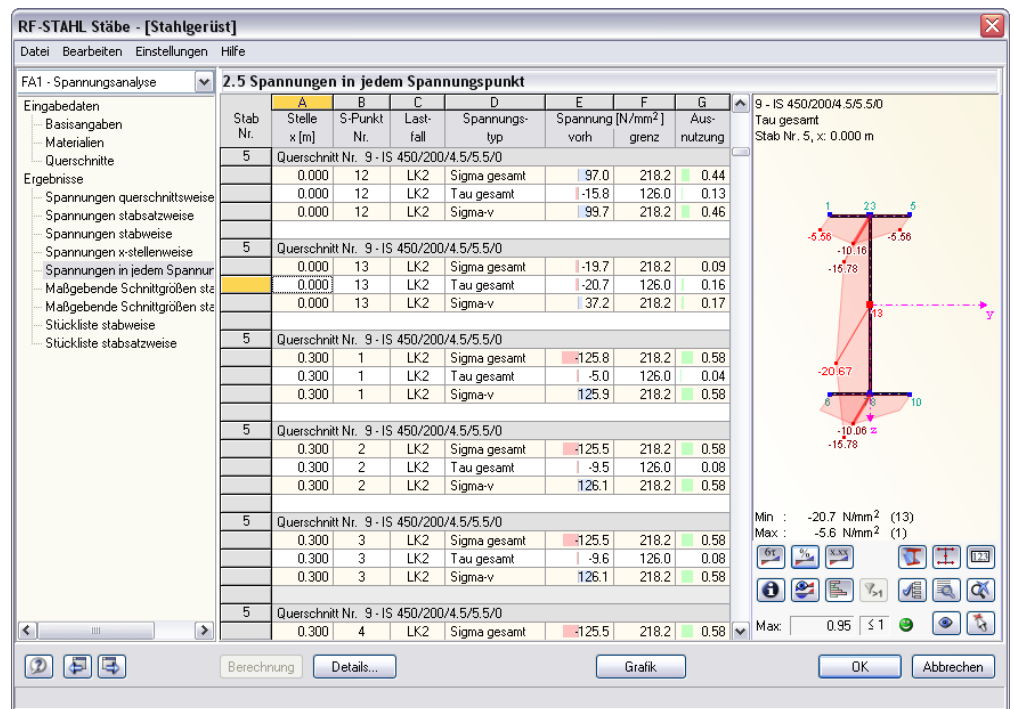


Bild 3.15: Maske 2.5 Spannungen in jedem Spannungspunkt

Details...

Diese Ergebnismaske ist standardmäßig ausgeblendet, da eine spannungspunktweise Auswertung nur in Ausnahmefällen erforderlich ist. Die Anzeige der Maske kann im Dialog *Details* aktiviert werden (siehe Bild 3.7, Seite 46), der in jeder Maske über die gleichnamige Schaltfläche zugänglich ist.



Die Maske verwaltet eine große Datenmenge. Da RF-STAHL die Maximalspannungen und damit die maßgebenden Spannungspunkte automatisch ermittelt, kann in den meisten Fällen auf die Anzeige der Maske 2.5 verzichtet werden. Zudem bieten die Masken 2.1 bis 2.4 über die Schaltfläche [Querschnittswerte und Spannungsverlauf] gute Auswertungsmöglichkeiten: Im Dialog *Querschnittswerte und Spannungsverlauf* (siehe Bild 4.9, Seite 70) können die Ergebnisse für jeden einzelnen Spannungspunkt grafisch und numerisch überprüft werden.

Die Auflistung der Spannungen erfolgt für jeden Stab nach *Stelle x* und *Spannungspunkt* geordnet. Im Kapitel 3.3.1 auf Seite 53 sind die einzelnen Spalten der Maske erläutert.

3.3.6 Maßgebende Schnittgrößen stabweise

RF-STAHL Stäbe - [Stahlgerüst]

Datei Bearbeiten Einstellungen Hilfe

FA1 - Spannungsanalyse

3.1 Maßgebende Schnittgrößen stabweise

Stab Nr.	Stelle x [m]	Lastfall	N	Kräfte [kN]		M _T	Momente [kNm]	
				V _y /V _u	V _z /V _u		M _y /M _u	M _z /M _u
1	2.640	LG3	-74.30	1.37	-3.43	0.01	-7.14	2.21
2	0.000	LG3	-114.78	-1.66	3.18	-0.02	-5.54	-2.03
3	0.000	LG3	-87.08	-0.87	7.70	-0.01	-17.08	-0.83
4	0.000	LG3	-82.75	-0.95	7.16	0.04	-12.03	-0.98
5	0.000	LG1	-82.44	-0.07	-28.86	-0.02	74.65	-0.04
6	0.000	LG1	-82.36	-0.06	-22.62	0.00	52.33	-0.14
7	3.300	LG3	-22.76	0.50	19.67	0.03	32.91	-0.80
8	0.000	LG1	-21.42	-0.18	17.68	0.00	-34.90	-0.32
9	0.000	LG3	7.22	-7.97	45.11	-1.34	-30.81	-0.99
10	0.000	LG3	11.64	1.50	67.55	-0.64	-49.99	0.11
11	5.630	LG3	-15.59	-1.90	8.37	-0.38	40.36	10.09
12	5.630	LG3	-19.93	-1.66	8.84	-0.45	41.39	8.49
13	0.000	LG3	-0.07	0.33	1.68	0.00	-1.58	0.96
14	0.000	LG3	-1.38	0.22	0.05	0.00	0.16	0.29
15	0.000	LG3	-4.33	-1.26	2.04	-0.01	-1.57	-1.80
16	0.000	LG3	-9.16	-0.45	2.42	0.00	-2.23	-1.03
44	0.000	LG3	11.67	0.29	52.00	-0.58	-30.76	-0.96
45	6.895	LG1	24.67	0.08	-9.88	0.00	-22.81	-0.34
48	1.020	LG3	7.21	-7.01	27.56	-1.41	10.75	8.69
49	0.000	LG3	25.44	1.28	1.78	0.25	7.12	8.48
50	1.178	LG2	0.05	-0.35	1.67	0.00	9.80	2.11
51	0.205	LG1	0.42	10.40	-53.77	-0.10	-11.19	-2.13
52	0.000	LG3	-6.35	-18.31	24.48	0.02	-5.17	-3.75
53	0.000	LG1	0.04	1.23	19.50	-0.03	-29.69	-2.17
54	0.000	LG3	-39.09	-2.41	-16.95	-0.03	17.19	-2.51

Berechnung Details... Grafik OK Abbrechen

Bild 3.16: Maske 3.1 Maßgebende Schnittgrößen stabweise

Details...

Diese Maske gibt für jeden Stab die maßgebenden Schnittgrößen aus. Hier handelt es sich um die Schnittgrößen, die zur maximalen Ausnutzung führen. Standardmäßig ist der Bezug auf die Vergleichsspannung σ_v vorgegeben. Im Dialog *Details* (siehe Bild 3.7, Seite 46), der über die gleichnamige Schaltfläche aufgerufen wird, kann die Ausgabe der maßgebenden Schnittgrößen auf eine andere Spannungsponente bezogen werden.

Die Bemessungsart *Spannungen einzelner Lastfälle aus LK berechnen und diese dann nach LK-Kriterium überlagern* (siehe Bild 3.7, Seite 46) verhindert, die Ergebniszeilen der RFEM-Tabelle 3.5 *Stäbe - Schnittgrößen* direkt zu verwerten. Stattdessen werden die in den Einzellastfällen vorliegenden Druck-, Zug- und Schubspannungen entsprechend addiert. Die Vergleichsspannung σ_v wiederum wird mit den Anteilen von σ_{gesamt} und τ_{gesamt} ermittelt. Aus diesem Grund sind bei Lastfallkombinationen die in Maske 3.1 ausgewiesenen Schnittgrößen nur durch Rückrechnungen nachvollziehbar.

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 Querkkräfte sowie Torsions- und Biegemomente ausgegeben.

3.3.7 Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise

RF-STAHL Stäbe - [Stahlgerüst]

Datei Bearbeiten Einstellungen Hilfe

FA1 - Spannungsanalyse

3.2 Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise

Stabsatz Nr.	Stelle x [m]	Lastfall	Kräfte [kN]			Momente [kNm]		
			N	V _y	V _z	M _T	M _y	M _z
1	0.000	LG1	-21.42	-0.18	17.68	0.00	-34.90	-0.32
2	3.300	LG3	-22.76	0.50	19.67	0.03	32.91	-0.80
3	0.000	LG1	-82.36	-0.06	-22.62	0.00	52.33	-0.14
4	0.000	LG1	-82.44	-0.07	-28.86	-0.02	74.65	-0.04
5	0.000	LG3	7.22	-7.97	45.11	-1.34	-30.81	-0.99
6	0.300	LG3	-20.12	6.45	-74.90	1.37	-48.02	-1.81
7	0.000	LG3	11.64	1.50	67.55	-0.64	-49.99	0.11
8	0.300	LG3	-26.48	4.55	-72.36	1.48	-65.21	-1.63

Berechnung Details... Grafik OK Abbrechen

Bild 3.17: Maske 3.2 Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise

Diese Ergebnismaske wird angezeigt, wenn Stabsätze zur Bemessung gewählt wurden. Es werden für jeden Stabsatz die Schnittgrößen angegeben, die zu den größten Ausnutzungen führen.

3.3.8 Stückliste stabweise

RF-STAHL Stäbe - [Stahlgerüst]

Datei Bearbeiten Einstellungen Hilfe

FA1 - Spannungsanalyse

4.1 Stückliste stabweise

Position Nr.	A Querschnitt	B Anzahl Stäbe	C Länge [m]	D G-Länge [m]	E Oberfläche [m²]	F Volumen [m³]	G E-Gewicht [kg/m]	H Gewicht [kg]	I G-Gewicht [N]
1	1 - HE-A 240	4	2.64	10.56	14.47	0.08	602.88	1591.60	6.366
2	9 - IS 450/200/4.5/5/5/0	1	3.30	3.30	5.58	0.01	327.78	1081.66	1.082
3	11 - IS 315/120/4.5/6.5/0	1	3.30	3.30	3.63	0.01	229.14	756.17	0.756
4	1 - HE-A 240	2	3.30	6.60	9.04	0.05	602.88	1989.50	3.979
5	1 - HE-A 240	1	0.28	0.28	0.39	0.00	602.88	171.82	0.172
6	10 - IS 245/225/6/8.5/0	1	0.28	0.28	0.39	0.00	407.65	116.18	0.116
7	1 - HE-A 240	2	5.63	11.26	15.43	0.09	602.88	3394.21	6.788
8	2 - IPE 200	2	2.65	5.30	4.07	0.02	223.73	592.87	1.186
9	13 - DUENQ ZETA-PROFIL	1	2.65	2.65	2.03	0.00	59.76	158.37	0.158
10	11 - IS 315/120/4.5/6.5/0	1	2.65	2.65	2.92	0.01	229.14	607.23	0.607
11	10 - IS 245/225/6/8.5/0	1	1.02	1.02	1.41	0.01	407.65	415.80	0.416
12	10 - IS 245/225/6/8.5/0	1	6.89	6.89	9.50	0.04	407.65	2810.75	2.811
13	1 - HE-A 240	1	1.02	1.02	1.40	0.01	602.88	614.94	0.615
14	1 - HE-A 240	1	6.89	6.89	9.45	0.05	602.88	4156.86	4.157
15	3 - U 200	1	2.65	2.65	1.75	0.01	252.77	663.84	0.670
16	3 - U 200	2	0.21	0.41	0.27	0.00	252.77	51.82	0.104
17	3 - U 200	1	1.02	1.02	0.67	0.00	252.77	257.83	0.258
18	3 - U 200	1	2.29	2.29	1.52	0.01	252.77	580.02	0.580
19	1 - HE-A 240	1	0.20	0.20	0.27	0.00	602.88	120.58	0.121
20	3 - U 200	2	2.72	5.44	3.60	0.02	252.77	687.56	1.375
21	3 - U 200	1	0.98	0.98	0.65	0.00	252.77	247.92	0.248
22	7 - L 100x50x6	2	8.61	17.23	5.03	0.02	68.53	590.36	1.181
23	7 - L 100x50x6	1	8.84	8.84	2.58	0.01	68.53	605.75	0.606
24	7 - L 100x50x6	1	4.23	4.23	1.24	0.00	68.53	290.04	0.290
Summe		33		105.32	97.28	0.44			34.641

Berechnung Details... Grafik OK Abbrechen

Bild 3.18: Maske 4.1 Stückliste stabweise

Details...

Als Standard werden in der Liste nur die bemessenen Stäbe erfasst. Wird eine Stückliste für alle Stäbe der Struktur gewünscht, so kann dies im Dialog *Details* eingestellt werden (siehe Bild 3.7, Seite 46). Der Dialog wird über die gleichnamige Schaltfläche aufgerufen.

Position Nr.

Es werden automatisch Positionsnummern für gleichartige Stäbe vergeben.

Querschnitt

In dieser Spalte sind 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 jeweils die Länge eines einzelnen Stabes ausgewiesen.

Gesamtlänge

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

Oberfläche



Es wird die auf die Gesamtlänge bezogene Oberfläche der jeweiligen Positionen angegeben, die aus der *Mantelfläche* der Profile ermittelt wird. Diese kann in den Masken 1.3 bis 2.5 bei den Querschnittsinformationen kontrolliert werden (siehe Bild 3.11, Seite 54).

Volumen

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

E-Gewicht

Das *Einheitsgewicht* des Querschnitts stellt die auf einen 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.

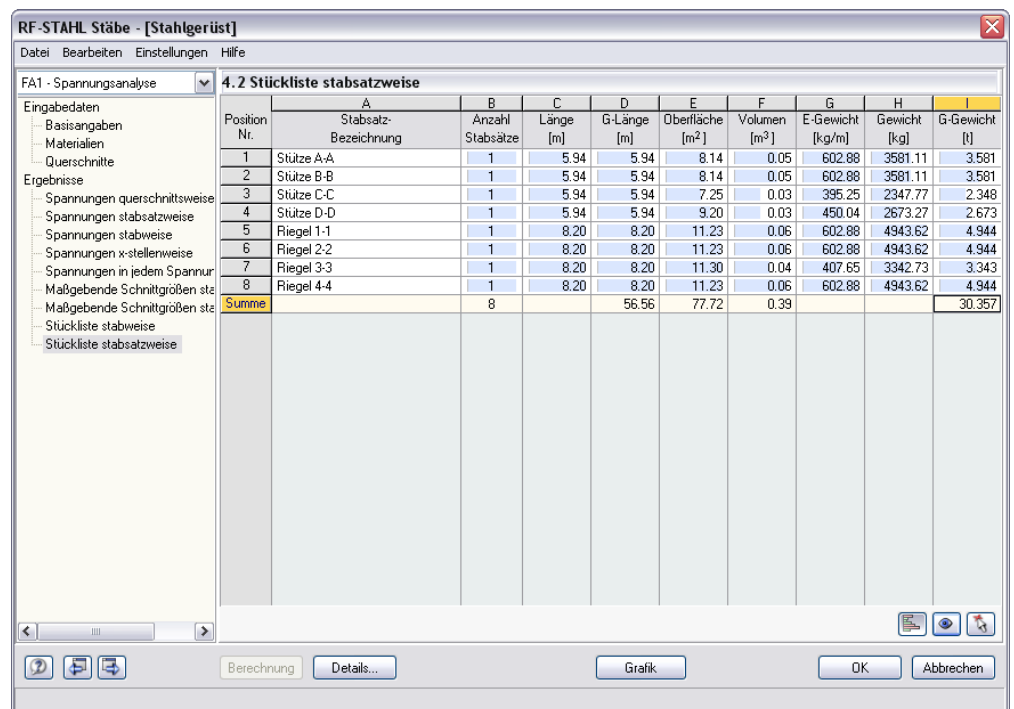
Gesamtgewicht

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. Im Feld *Gesamtgewicht* kann die benötigte Stahlmenge abgelesen werden.

3.3.9 Stückliste stabsatzweise



RF-STAHL Stäbe - [Stahlgerüst]									
Datei Bearbeiten Einstellungen Hilfe									
FA1 - Spannungsanalyse									
4.2 Stückliste stabsatzweise									
Position Nr.	A Stabsatz- Bezeichnung	B Anzahl Stabsätze	C Länge [m]	D G-Länge [m]	E Oberfläche [m²]	F Volumen [m³]	G E-Gewicht [kg/m]	H Gewicht [kg]	I G-Gewicht [t]
1	Stütze A-A	1	5.94	5.94	8.14	0.05	602.88	3581.11	3.581
2	Stütze B-B	1	5.94	5.94	8.14	0.05	602.88	3581.11	3.581
3	Stütze C-C	1	5.94	5.94	7.25	0.03	395.25	2347.77	2.348
4	Stütze D-D	1	5.94	5.94	9.20	0.03	450.04	2673.27	2.673
5	Riegel 1-1	1	8.20	8.20	11.23	0.06	602.88	4943.62	4.944
6	Riegel 2-2	1	8.20	8.20	11.23	0.06	602.88	4943.62	4.944
7	Riegel 3-3	1	8.20	8.20	11.30	0.04	407.65	3342.73	3.343
8	Riegel 4-4	1	8.20	8.20	11.23	0.06	602.88	4943.62	4.944
Summe		8		56.56	77.72	0.39			30.357

Bild 3.19: Maske 4.2 Stückliste stabsatzweise

Die letzte RF-STAHL-Maske wird angezeigt, wenn Stabsätze zur Bemessung ausgewählt wurde (siehe Kapitel 3.1.1, Seite 38). Die stabsatzweise Ausgabe bietet den Vorteil einer zusammenfassenden Stückliste für eine ganze Baugruppe, z. B. einen Rahmen.

Die einzelnen Spalten sind im vorherigen Kapitel 3.3.8 erläutert. Bei unterschiedlichen Querschnitten im Stabsatz werden Oberfläche, Volumen und Einheitsgewicht gemittelt.

4. Ergebnisauswertung

Nach der Bemessung bestehen verschiedene Möglichkeiten, die Ergebnisse auszuwerten. Die Gliederung der Tabellen präsentiert die Resultate bereits nach bestimmten Kriterien geordnet. Nützlich erweisen sich auch die in den Ergebnismasken angebotenen Schaltflächen.

RF-STAHL Flächen

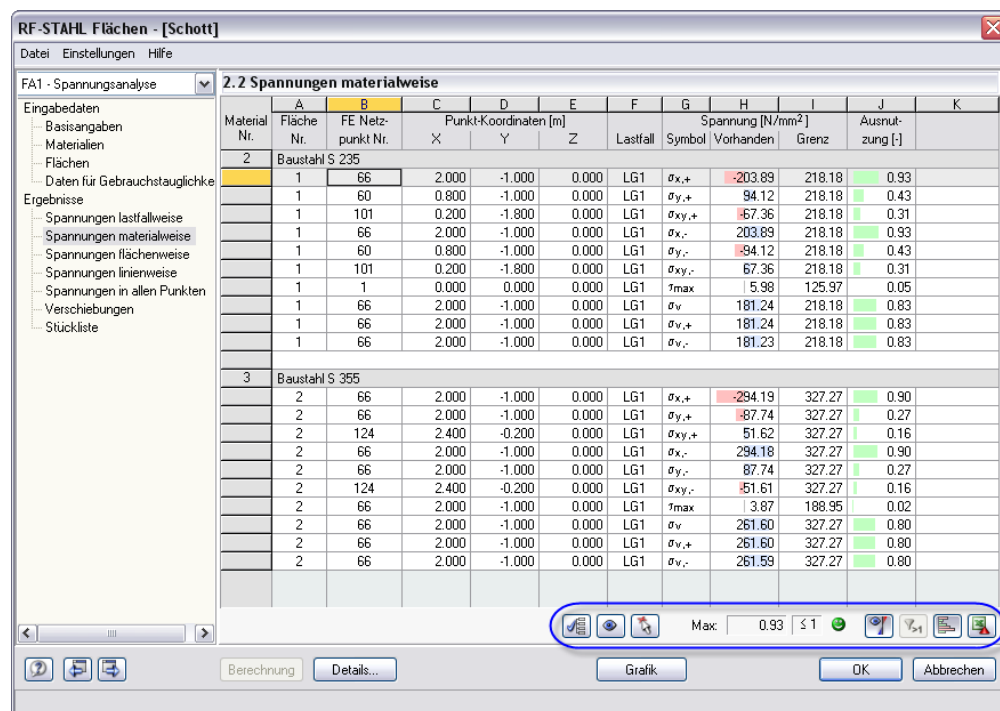


Bild 4.1: Schaltflächen zur Ergebnisauswertung im Modul RF-STAHL Flächen

Die Schaltflächen sind mit folgenden Funktionen belegt:








Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Details	Öffnet den Dialog <i>Details</i> zur Auswahl der Spannungen → Kapitel 4.1.1, Seite 65
	Sichtmodus	Ermöglicht den Sprung in das RFEM-Arbeitsfenster, um eine andere Ansicht einzustellen → Kapitel 4.1.2, Seite 66
	Objektwahl	Ermöglicht die Auswahl einer Fläche oder Linie im RFEM-Fenster, um dessen Spannungen in der Tabelle anzuzeigen
	Ergebnisverlauf	Zeigt die Ergebnisse in der RFEM-Hintergrundgrafik an und hebt die der aktuellen Tabellenzeile hervor
	Überschreitung	Stellt nur Zeilen dar, in denen die Ausnutzung größer als 1 und damit der Nachweis nicht erfüllt ist
	Relationsbalken	Blendet in den Ergebnismasken die farbigen Bezugsskalen ein und aus
	Excel	Exportiert den Inhalt der aktuellen Tabelle nach MS Excel, OpenOffice.org Calc oder als CSV → Kapitel 6.5, Seite 87

Tabelle 4.1: Schaltflächen der RF-STAHL Flächen Ergebnismasken

RF-STAHL Stäbe

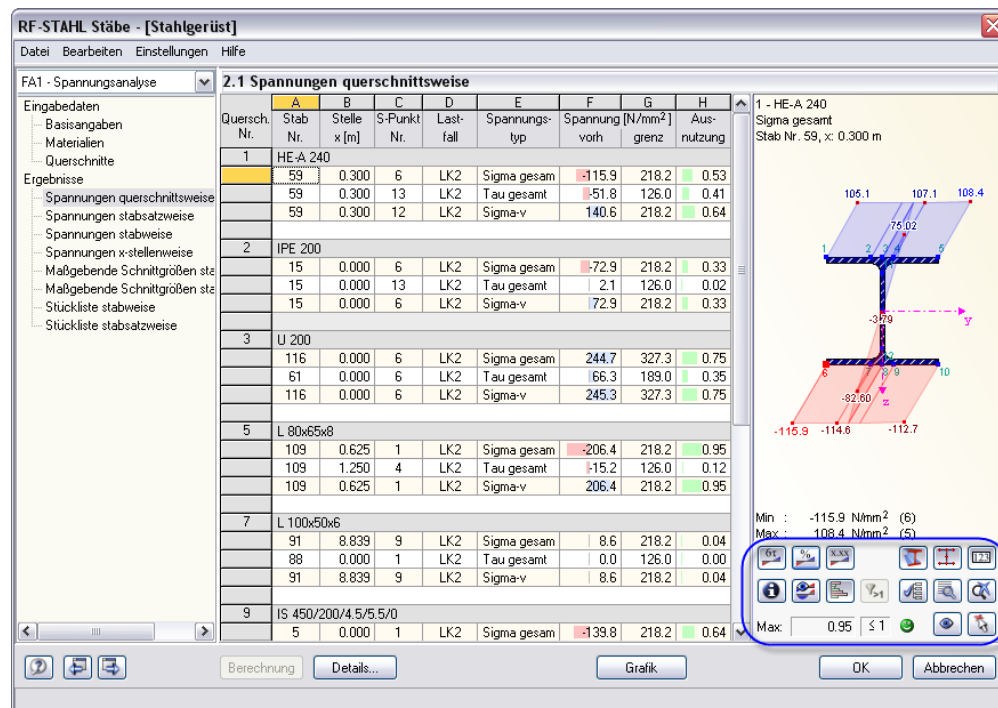












Bild 4.2: Schaltflächen zur Ergebnisauswertung im Modul RF-STAHL Stäbe

Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Spannungsverlauf	Blendet die grafische Darstellung der Spannungen am Querschnitt ein und aus
	Ausnutzung	Blendet die grafische Darstellung der Ausnutzungen am Querschnitt ein und aus
	Werte	Schaltet die Werteangaben in der Spannungs- oder Ausnutzungsgrafik ein und aus
	Querschnittskontur	Steuert die Anzeige des Profilumrisses in der Querschnittsgrafik
	Spannungspunkte	Blendet die Anzeige der Spannungspunkte in der Querschnittsgrafik ein und aus
	Nummerierung	Schaltet die Nummerierung der Spannungspunkte ein und aus
	Querschnittsinfo	Ruft den Dialog <i>Info über Querschnitt</i> mit den Kennwerten des aktuellen Profils auf → Bild 4.9, Seite 70
	Ergebnisverläufe	Öffnet das Diagramm <i>Ergebnisverläufe im Stab</i> → Kapitel 4.2.4, Seite 74
	Relationsbalken	Blendet in den Ergebnismasken die farbigen Bezugs-skalen ein und aus
	Überschreitung	Stellt nur Zeilen dar, in denen die Ausnutzung größer als 1 und damit der Nachweis nicht erfüllt ist






	Spannungsauswahl	Öffnet den Dialog <i>Spannungen - Filter</i> → Kapitel 4.2.1, Seite 68
	Erweiterte Anzeige	Öffnet den Dialog <i>Querschnittswerte und Spannungsverlauf</i> → Kapitel 4.2.2, Seite 70
	Gesamtansicht	Stellt die Spannungsgrafik vollständig dar (Zoomen möglich mit Scrollrad, Verschieben per Drag&Drop)
	Sichtmodus	Ermöglicht den Sprung in das RFEM-Arbeitsfenster, um die Ansicht zu ändern → Kapitel 4.2.3, Seite 71
	Stabauswahl	Ermöglicht die Auswahl eines Stabes im RFEM-Fenster, um dessen Spannungen in der Tabelle anzuzeigen

Tabelle 4.2: Schaltflächen der RF-STAHL Stäbe Ergebnismasken

4.1 RF-STAHL Flächen

4.1.1 Auswahl der Spannungen

Nach der Bemessung sind diese Spannungsarten in den Ergebnismasken voreingestellt:

- Schubspannungen τ_{\max}
- Hauptspannungen σ in Richtung der Hauptachsen an Flächenober- und -unterseite
- Membranspannungen σ_m in Richtung der Hauptachsen
- Vergleichsspannung σ_v
- Membran-Vergleichsspannung $\sigma_{v,m}$

Über die Schaltflächen [Dialog 'Details' aufrufen] und [Details] besteht die Möglichkeit, weitere Spannungstypen zu aktivieren oder Spannungen zu deaktivieren.

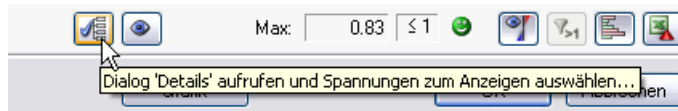
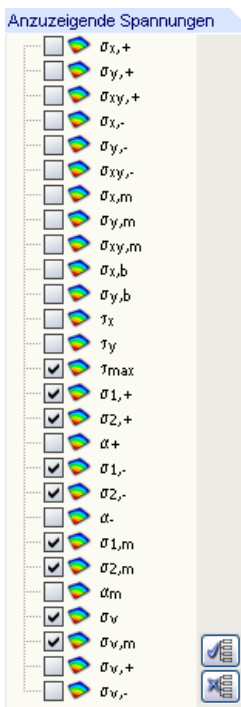


Bild 4.3: Schaltfläche Dialog 'Details' aufrufen und Spannungen zum Anzeigen auswählen

Es erscheint der Dialog *Details* (siehe Bild 2.10, Seite 18). Im Register *Spannungen* lassen sich bestimmte Spannungsarten für die Tabellenanzeige ein- oder ausblenden. Die zur Verfügung stehenden Spannungsarten sind links dargestellt.

Die einzelnen Spannungen sind im Kapitel 2.2.1.1 ab Seite 19 erläutert.

Die im Dialog *Details* getroffene Auswahl wirkt sich nicht nur auf die Ergebnismasken, sondern auch auf das Ausdruckprotokoll aus: Dort finden sich die in den Tabellen angezeigten Spannungsarten wieder. Da im Ausdruckprotokoll (siehe Kapitel 5.1, Seite 77) keine Auswahl der Spannungstypen möglich ist, sind die Vorgaben im Dialog *Details* zu treffen.

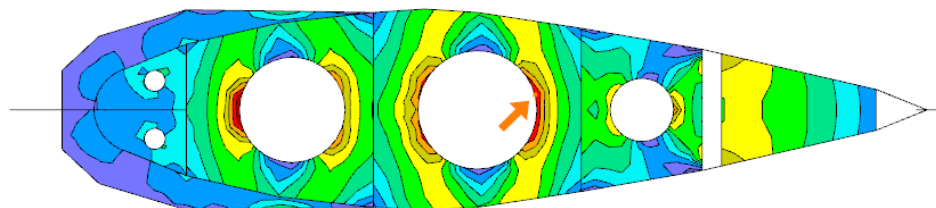


4.1.2 Ergebnisse am RFEM-Modell

Zur Auswertung der Bemessungsergebnisse kann das RFEM-Arbeitsfenster genutzt werden.

Hintergrundgrafik und Sichtmodus

Die RFEM-Grafik im Hintergrund kann hilfreich sein, um die Lage einer bestimmten Fläche im Modell zu kontrollieren. Der in der Ergebnistabelle selektierte FE-Netz- oder Rasterpunkt wird in der RFEM-Hintergrundgrafik durch einen Pfeil gekennzeichnet. Ist die Schaltfläche [Ergebnisverlauf anzeigen] aktiviert, werden auch die aktuellen Spannungen angezeigt.



RF-STAHl Flächen - [Drosselklappe]

Datei Einstellungen Hilfe

FA1 - Spannungsanalyse

2.3 Spannungen flächenweise

Fläche Nr.	FE Netzpunkt Nr.	Punkt-Koordinaten [m]			Lastfall	Spannung [N/mm²]	Ausnutzung [-]
		X	Y	Z			
45 Material: Baustahl S 235 - Dicke d: 20.0 mm							
311		-0.393	-0.370	1.375	LK1	f_{max}	1.67
2945		0.218	-0.057	1.375	LK1	$\sigma_{1,+}$	83.92
457		0.039	-0.222	1.375	LK1	$\sigma_{2,+}$	-36.37
2945		0.218	-0.057	1.375	LK1	$\sigma_{1,-}$	83.87
456		0.000	-0.225	1.375	LK1	$\sigma_{2,-}$	-40.66
2945		0.218	-0.057	1.375	LK1	$\sigma_{1,m}$	83.89
456		0.000	-0.225	1.375	LK1	$\sigma_{2,m}$	-38.51
2945		0.218	-0.057	1.375	LK1	σ_v	81.18
2945		0.218	-0.057	1.375	LK1	$\sigma_{v,m}$	81.12
48 Material: Baustahl S 235 - Dicke d: 20.0 mm							
306		-1.100	0.250	1.375	LK1	f_{max}	1.67
3276		-0.895	-0.045	1.375	LK1	$\sigma_{1,+}$	90.83
3267		-0.745	0.195	1.375	LK1	$\sigma_{2,+}$	-36.01
3276		-0.895	-0.045	1.375	LK1	$\sigma_{1,-}$	90.75
3267		-0.745	0.195	1.375	LK1	$\sigma_{2,-}$	-30.03
3276		-0.895	-0.045	1.375	LK1	$\sigma_{1,m}$	90.79
3267		-0.745	0.195	1.375	LK1	$\sigma_{2,m}$	-33.02
3275		-0.900	0.000	1.375	LK1	σ_v	89.17
3275		-0.900	0.000	1.375	LK1	$\sigma_{v,m}$	88.91
51 Material: Baustahl S 235 - Dicke d: 20.0 mm							
319		0.850	-0.230	1.375	LK1	f_{max}	37.18
465		0.742	0.000	1.375	LK1	$\sigma_{1,+}$	73.50

Max: 1.00 S1

Berechnung Details... Grafik OK Abbrechen

Bild 4.4: Kennzeichnung des aktuellen FE-Netzpunkts im RFEM-Modell



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

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



Information

Sie befinden sich im Sichtmodus.

Zurück

Grafik

RFEM-Arbeitsfenster

Die Spannungen und Ausnutzungsgrade lassen sich auch direkt am Strukturmodell visualisieren: Klicken Sie die Schaltfläche [Grafik] an, um das RF-STAHl-Modul zu verlassen. Im RFEM-Arbeitsfenster werden nun die einzelnen Bemessungsergebnisse wie die Schnittgrößen oder Verformungen eines RFEM-Lastfalls dargestellt.

Der *Ergebnisse*-Navigator ist an die Ergebnisse des Moduls RF-STAHl Flächen angepasst. Für jede der bemessenen Einwirkungen können die einzelnen Spannungsarten und die Ausnutzungen bezogen auf die jeweiligen Spannungen angezeigt und grafisch überprüft werden.

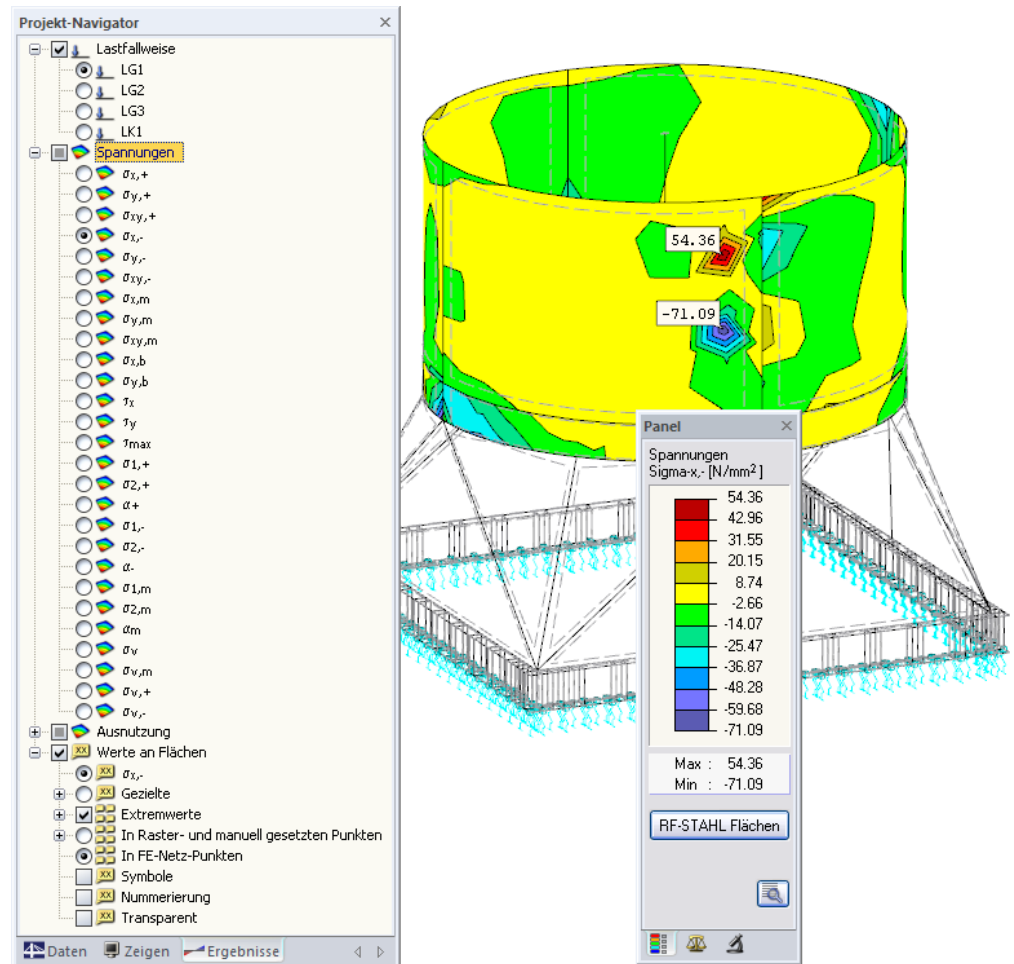


Bild 4.5: *Ergebnisse*-Navigator zur Auswahl von Spannungen und Ausnutzungen für bemessene Einwirkungen



RF-STAHl Flächen FA1 - Spar

- LF1 - Eigengewicht
- LF2 - Verkehrslasten
- LG1 - 1.35*LF1 + 1.5*LF2
- RF-STAHl Flächen FA1 - Spannungsanalyse
- RF-STAHl Stäbe FA1 - Bemessung Riegel

RF-STAHl Flächen

Wie bei den RFEM-Schnittgrößen blendet die Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus] die Darstellung der Bemessungsergebnisse ein oder aus.

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

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

Zur Darstellung der Flächenergebnisse und der Ergebniswerte können alle in RFEM verfügbaren Möglichkeiten genutzt werden. Diese Funktionen sind im Kapitel 10.4 des RFEM-Handbuchs ab Seite 304 beschrieben.

Die Rückkehr in das RF-STAHl-Modul erfolgt über die Schaltfläche [RF-STAHl Flächen] im Panel.

4.2 RF-STAHL Stäbe

4.2.1 Auswahl der Spannungen

Im Modul RF-STAHL Stäbe sind folgende Spannungen für die Tabellenanzeige voreingestellt:

- Normalspannung σ_{gesamt}
- Schubspannung τ_{gesamt}
- Vergleichsspannung σ_v



Über der Schaltfläche [Auswahl der anzuzeigenden Spannungen] besteht die Möglichkeit, weitere Spannungskomponenten zu aktivieren. Damit lassen sich die in die Gesamtspannung einfließenden Anteile überprüfen.



Bild 4.6: Schaltfläche *Auswahl der anzuzeigenden Spannungen*

Es erscheint der Dialog *Spannungen - Filter* zur Auswahl der Spannungskomponenten.

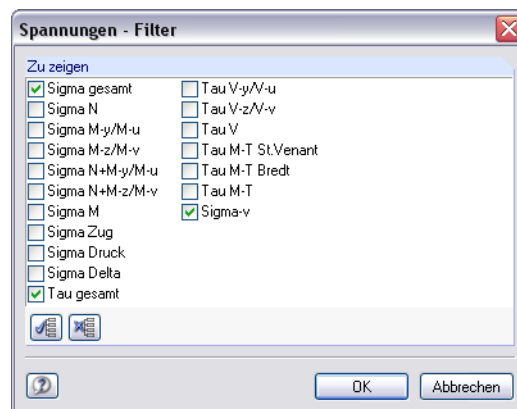


Bild 4.7: Dialog *Spannungen - Filter*

Die einzelnen Spannungen sind in Tabelle 3.2 und Tabelle 3.3 auf Seite 49 und 51 erläutert.

Die beiden Schaltflächen erleichtern die Auswahl. Sie sind mit diesen Funktionen belegt:



Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Alles selektieren	Es werden alle Spannungskomponenten ausgewählt.
	Alles deselektieren	Sämtliche Spannungen werden deaktiviert.

Tabelle 4.3: Schaltflächen im Dialog *Spannungen - Filter*



Die Analyse erfolgt für jeden einzelnen Spannungspunkt. Für die kombinierte Betrachtung (z. B. σ_{gesamt}) dürfen daher nicht die Anteile der Maximalspannungen addiert werden: Diese liegen meist an unterschiedlichen Spannungspunkten vor. Es müssen die Spannungskomponenten überlagert werden, die an den gleichen Spannungspunkten vorliegen.



Die im Dialog *Spannungen - Filter* getroffene Auswahl wirkt sich auch auf das Ausdruckprotokoll aus. Dort finden sich die in den Tabellen aktiven Spannungsanteile wieder. Im Ausdruckprotokoll (siehe Kapitel 5.1, Seite 77) ist keine Auswahl der Spannungstypen möglich.

4.2.2 Ergebnisse am Querschnitt

Die tabellarische Liste der Spannungen wird rechts in den Masken durch eine Spannungsgrafik ergänzt. Diese Grafik ist dynamisch: Sie zeigt den Spannungsverlauf der aktuellen x-Stelle bzw. des aktuellen Spannungspunkts an, der durch die Cursorposition in der Tabelle links festgelegt ist. Der aktuelle Spannungspunkt wird in der Grafik rot hervorgehoben.

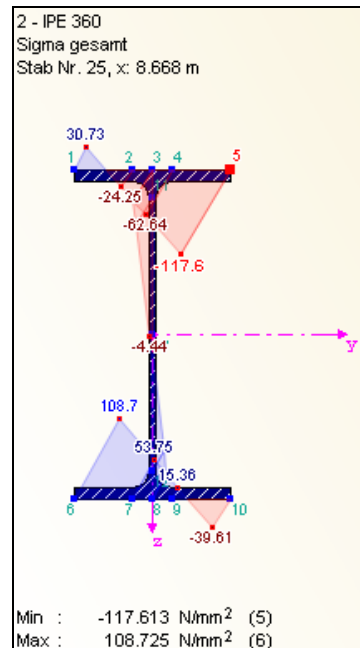


Bild 4.8: Verlauf der Normalspannungen am Querschnitt



Die Anzeige kann mit dem Scrollrad vergrößert und verkleinert werden. Per Drag&Drop lässt sich die Spannungsgrafik verschieben. Die Schaltfläche [Zoom aufheben] stellt die Gesamtansicht wieder her.

Die Funktion der Schaltflächen unterhalb der Grafik ist in Tabelle 4.2 auf Seite 65 erläutert. Die Schaltflächen steuern, ob in der Grafik

- der Spannungs- oder Ausnutzungsverlauf mitsamt Werten,
- die Querschnittskontur,
- die Spannungspunkte und deren Nummerierung

angezeigt werden.





Die Schaltfläche [Querschnittswerte und Spannungen erweitert anzeigen] ermöglicht eine detaillierte Auswertung der Spannungen für jeden Spannungspunkt. Sie ruft den Dialog *Querschnittswerte und Spannungsverlauf* auf.

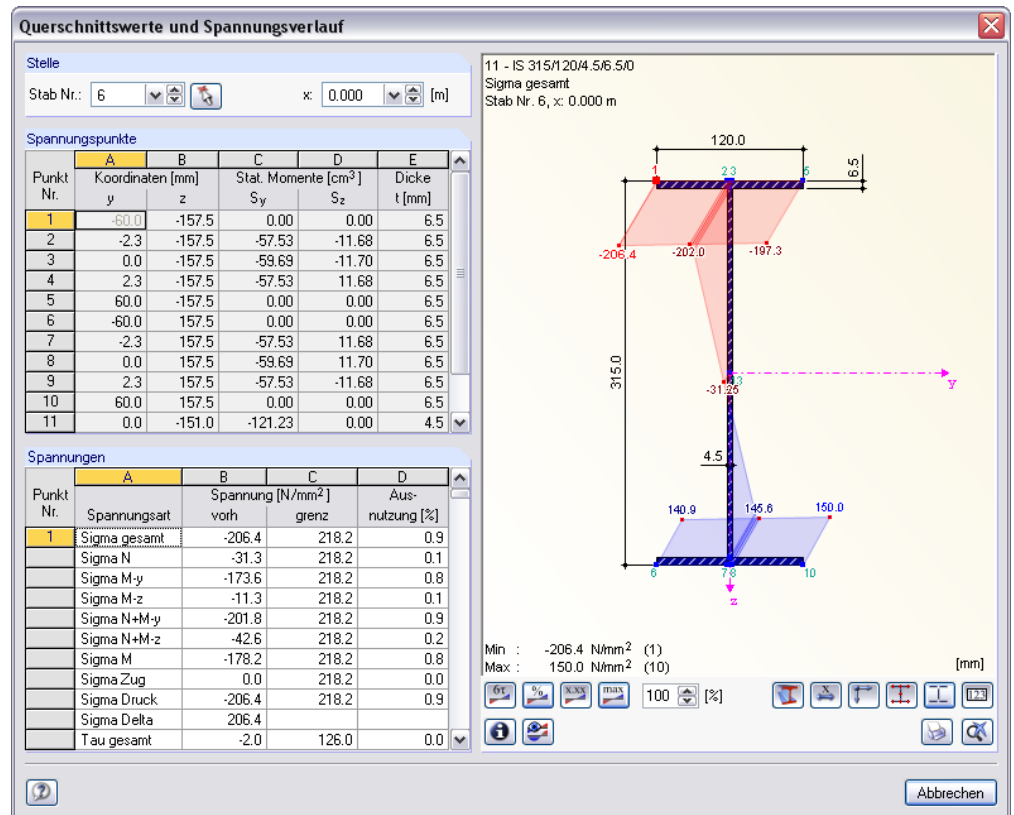


Bild 4.9: Dialog *Querschnittswerte und Spannungsverlauf*

Im Abschnitt *Stelle* sind die aktuelle *Stabnummer* und *Stelle x* am Stab voreingestellt. In der Liste können auch andere Stäbe oder x-Stellen gewählt werden.

Der Abschnitt *Spannungspunkte* listet die Spannungspunkte des Querschnitts auf. In den Spalten *Koordinaten* werden jeweils die Schwerpunktabstände e_y und e_z angegeben, in den Spalten *Statische Momente* die Flächenmomente 1. Grades S_y und S_z . Die letzte Spalte weist die *Dicke t* des Querschnittsteils aus, die zur Ermittlung der Schubspannungen benötigt wird.

Im Abschnitt *Spannungen* werden die Spannungsanteile am aktuellen – im Abschnitt oben aktiven – Spannungspunkt angegeben. Auch hier ist es möglich, eine Spannungskomponente durch Anklicken zu selektieren, die dann dynamisch in der Grafik rechts visualisiert wird.



Die Schaltflächen unterhalb der Grafik sind zum Großteil mit denen der Ergebnismasken identisch (siehe Tabelle 4.2, Seite 65). Sie werden wie üblich durch *Quick-Infos* erläutert. Die Schaltfläche [Drucken] ermöglicht das Ausdrucken der aktuellen Spannungsgrafik am Querschnitt. Nähere Informationen hierzu finden Sie im Kapitel 5.2.2 auf Seite 79.

4.2.3 Ergebnisse am RFEM-Modell

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

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-STAHLErgebnismaske selektierte Stab wird in der RFEM-Hintergrundgrafik farbig hervorgehoben. Ein Pfeil kennzeichnet zusätzlich die x-Stelle am Stab, die in der aktuellen Tabellenzeile von RF-STAHLErgebnismaske als maßgebend ausgewiesen ist

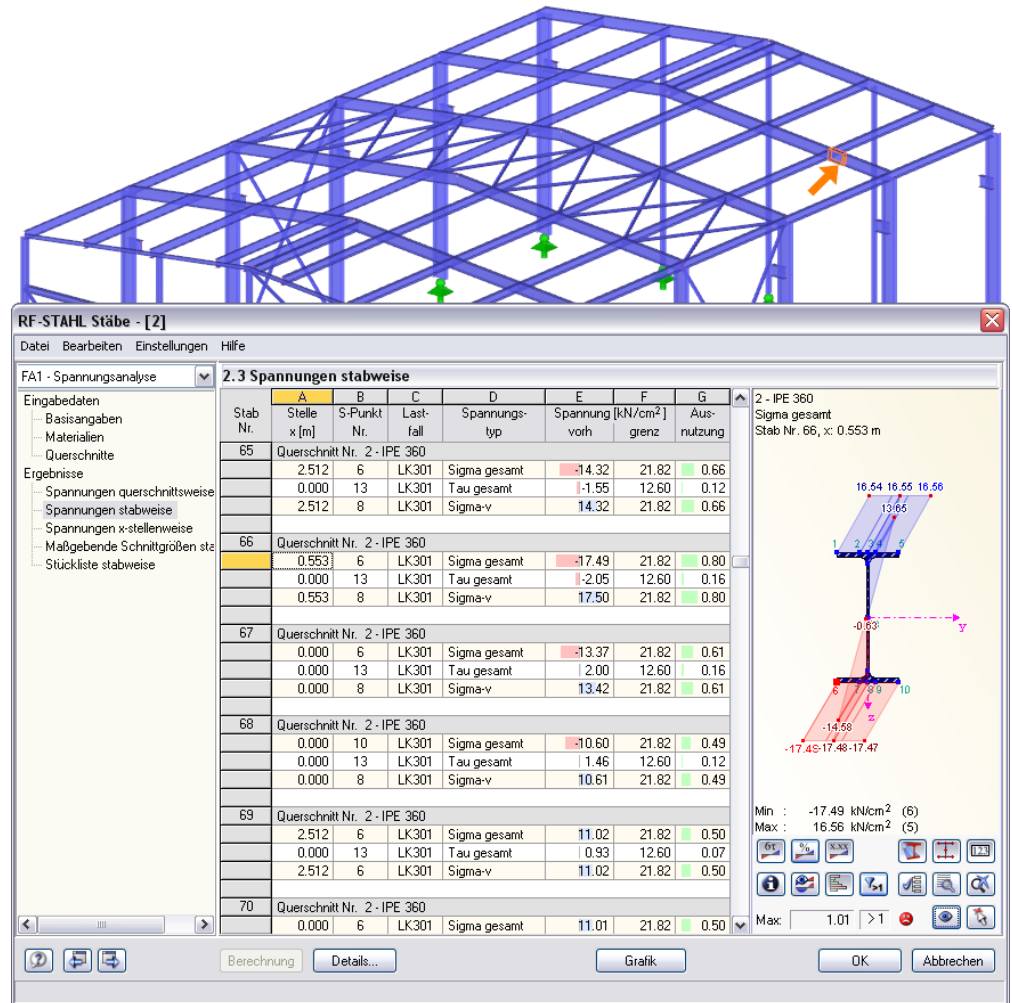


Bild 4.10: Kennzeichnung des Stabes und der aktuellen Stelle x im RFEM-Modell

Falls sich eine ungünstige Ansicht durch Verschieben des RF-STAHLErgebnismaskens nicht verbessern lässt, kann über die Schaltfläche [Ansicht ändern] der so genannte *Sichtmodus* aktiviert werden: Das RF-STAHLErgebnismaske 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-STAHLErgebnismaske.



Information

Sie befinden sich im Sichtmodus.

Zurück

Grafik

RFEM-Arbeitsfenster

Die Spannungen und Ausnutzungsgrade lassen sich auch direkt am Strukturmodell visualisieren: Klicken Sie die Schaltfläche [Grafik] an, um das Modul RF-STAHL Stäbe zu verlassen. Im RFEM-Arbeitsfenster werden nun die einzelnen Bemessungsergebnisse wie die Schnittgrößen oder Verformungen eines RFEM-Lastfalls dargestellt.

Der *Ergebnisse*-Navigator ist an die Ergebnisse von RF-STAHL Stäbe angepasst. Dort stehen die diversen Spannungsponenten sowie die Ausnutzungen bezogen auf die jeweiligen Spannungsanteile zur Wahl.

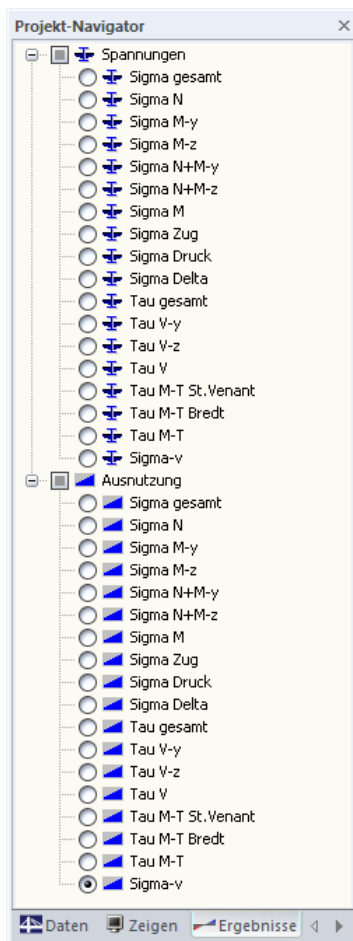
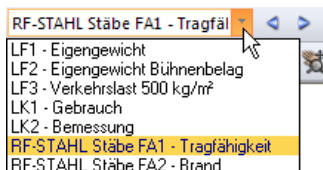


Bild 4.11: *Ergebnisse*-Navigator von RF-STAHL Stäbe



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 Spannungen und Ausnutzungen funktionslos sind, 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 über den Eintrag *Ergebnisse* → *Stäbe* gesteuert werden. Standardmäßig werden die Spannungen und die Ausnutzungen zweifarbig dargestellt.

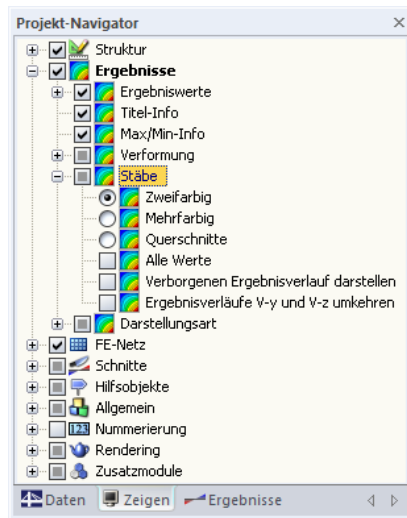


Bild 4.12: Zeigen-Navigator: Ergebnisse → Stäbe

Die Darstellung der Spannungen erfolgt vorzeichenkonform. Positive Spannungen werden in Richtung der positiven Stabachse z blau, negative Spannungen in entgegengesetzter Richtung rot angetragen. Bei Unstetigkeiten z. B. infolge Einzellasten kann daher der Spannungsverlauf am Stab das Vorzeichen und somit die Farbe und die Seite wechseln.



Bei einer mehrfarbigen Darstellung (Optionen *Querschnitte farbig* oder *Mehrfarbig*) steht das Farbpanel mit den üblichen Steuerungsmöglichkeiten zur Verfügung. Die Funktionen sind im RFEM-Handbuch, Kapitel 4.4.6 ab Seite 78 ausführlich beschrieben.

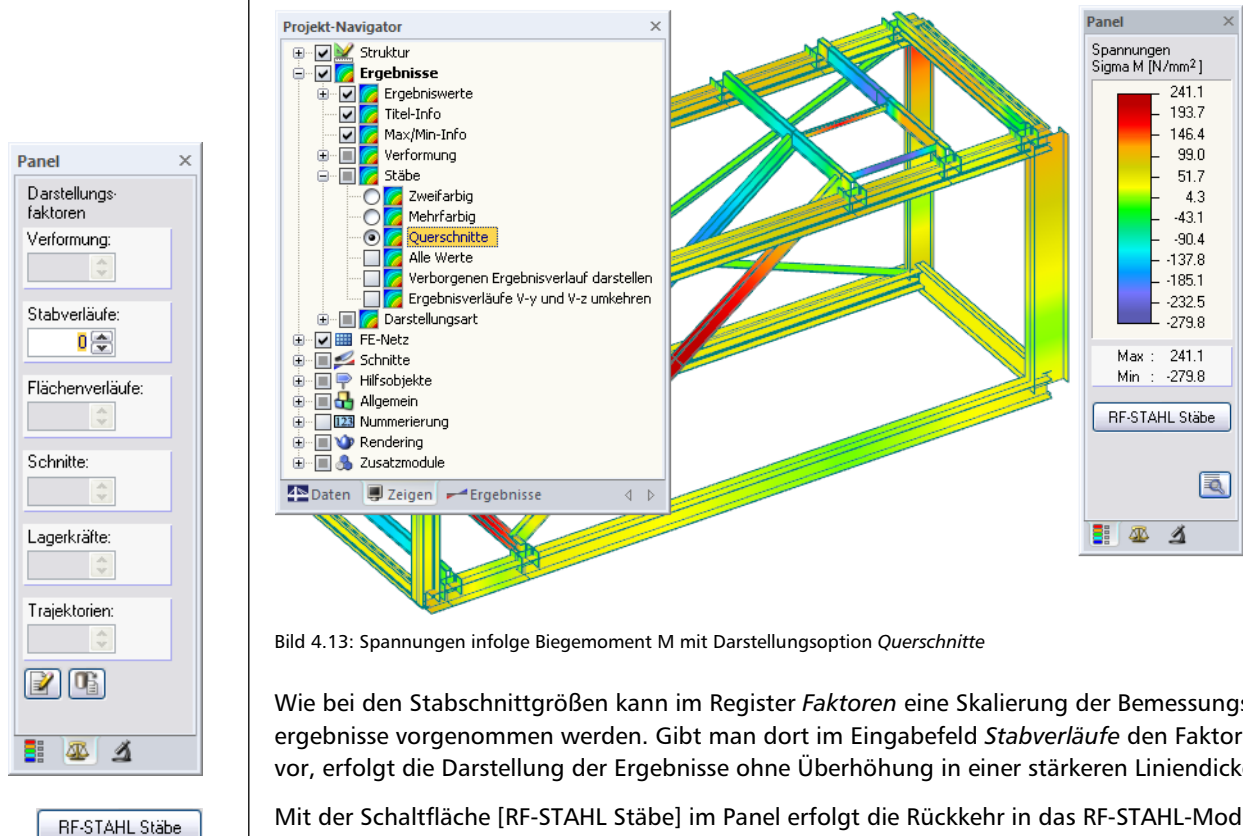


Bild 4.13: Spannungen infolge Biegemoment M mit Darstellungsoption *Querschnitte*

Wie bei den Stabschnittgrößen kann im Register *Faktoren* eine Skalierung der Bemessungsergebnisse vorgenommen werden. Gibt man dort im Eingabefeld *Stabverläufe* den Faktor 0 vor, erfolgt die Darstellung der Ergebnisse ohne Überhöhung in einer stärkeren Liniendicke.

Mit der Schaltfläche [RF-STAHl Stäbe] im Panel erfolgt die Rückkehr in das RF-STAHl-Modul.

4.2.4 Ergebnisverläufe

Das Ergebnisdiagramm ist nützlich, um für einen Stab den Ergebnisverlauf grafisch abzulesen. Selektieren Sie den Stab (oder Stabsatz) in der Ergebnismaske von RF-STAHL Stäbe, indem Sie den Cursor in die Tabellenzeile des Stabes setzen und rufen das Ergebnisdiagramm über die links dargestellte Schaltfläche auf. Sie befindet sich unterhalb der Spannungsgrafik (siehe Bild 4.2, Seite 64).

In der RFEM-Grafik sind die Ergebnisverläufe zugänglich über Menü

Ergebnisse → Ergebnisverläufe an selektierten Stäben

oder die entsprechende Schaltfläche in der RFEM-Symboleiste.

Es öffnet sich ein Fenster, das den Verlauf der Spannungen- und Ausnutzungen am gewählten Stab oder Stabsatz anzeigt.

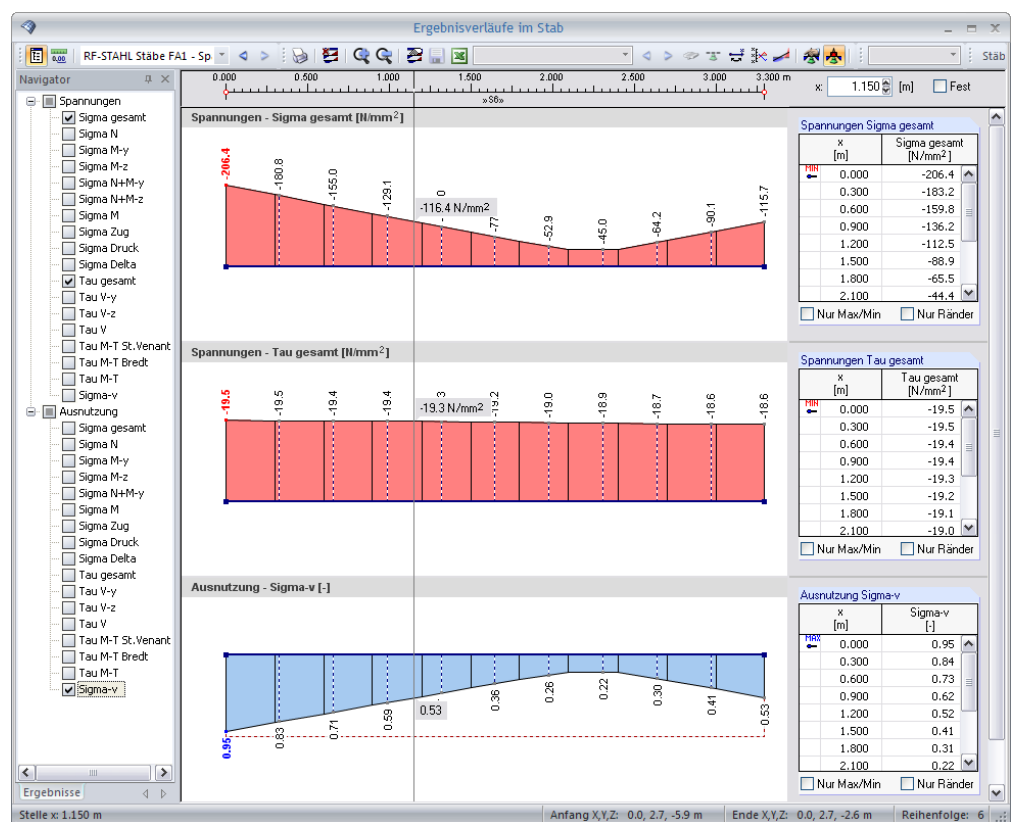
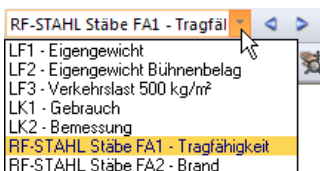


Bild 4.14: Dialog *Ergebnisverläufe im Stab*



Im Navigator links lassen sich die Spannungs- und Ausnutzungen auswählen, die im Ergebnisdiagramm angezeigt werden sollen. Über die Liste in der Symbolleiste kann zwischen den RF-STAHL-Bemessungsfällen gewechselt werden.

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

4.3 Filter für Ergebnisse

Neben den Ergebnismasken, die durch ihre Struktur bereits eine Auswahl nach bestimmten Kriterien erlauben, stehen in einigen Tabellen von RF-STAHl Flächen zusätzliche Filterfunktionen für Strukturobjekte und Einwirkungen zur Verfügung (siehe Bild 2.20, Seite 33).

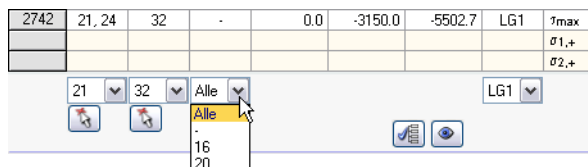


Bild 4.15: Filtern von Strukturobjekten und Einwirkungen in Maske 2.5



Es können alle im RFEM-Handbuch beschriebenen Filtermöglichkeiten genutzt werden, um die Bemessungsergebnisse grafisch auszuwerten. Damit lassen sich z. B. Ausschnitte aktivieren oder neu erstellen (siehe RFEM-Handbuch, Kapitel 10.9 ab Seite 324) oder Schnitte benutzen (siehe RFEM-Handbuch, Kapitel 10.6 ab Seite 314).



Filtern von Nachweisen

Die Spannungen und Ausnutzungen lassen sich gut als Filterkriterien im RFEM-Arbeitsfenster 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 *Ergebnisse*-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 zweifarbigen Anzeige für Stäbe fehlt, muss im *Zeigen*-Navigator auf die Darstellungsarten *Mehrfarbig* oder *Querschnitte* umgeschaltet werden (vgl. Bild 4.13, Seite 73).

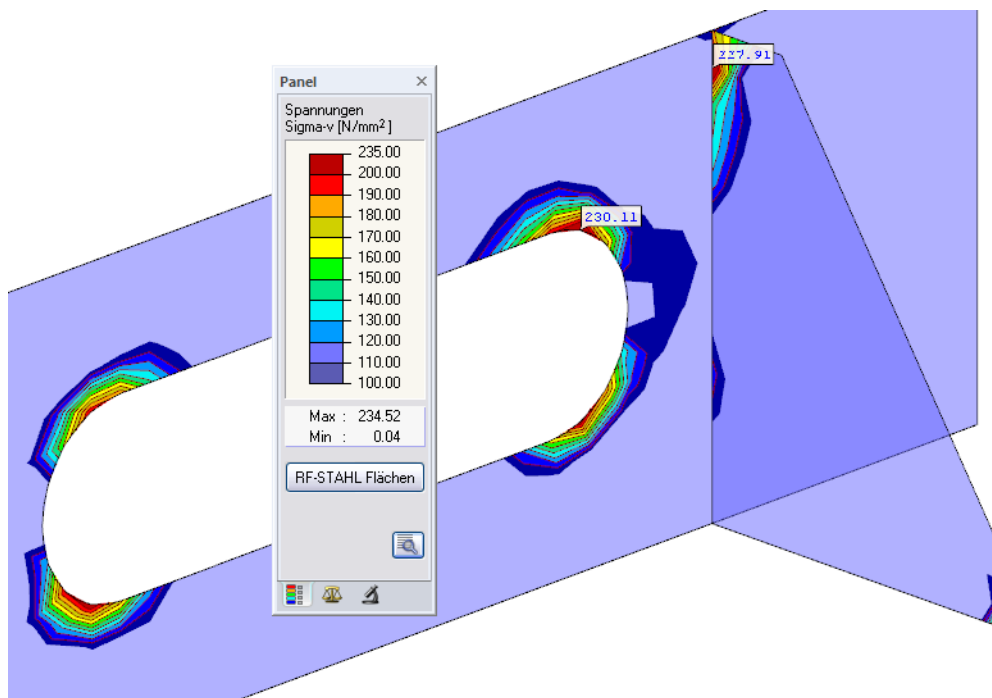


Bild 4.16: Filtern der Vergleichsspannungen mit angepasster Farbskala

Im Panel kann z. B. eingestellt werden, dass nur Spannungen größer als 100 N/mm² angezeigt werden. Die Farbskala lässt sich zudem wie im Bild oben dargestellt so anpassen, dass ein Farbbereich jeweils 10 N/mm² abdeckt. Damit lassen sich auch Singularitätseffekte für die Dokumentation relativieren.

Filtern von Flächen und Stäben



Im Register *Filter* des Steuerpanels können die Nummern der Flächen oder 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.

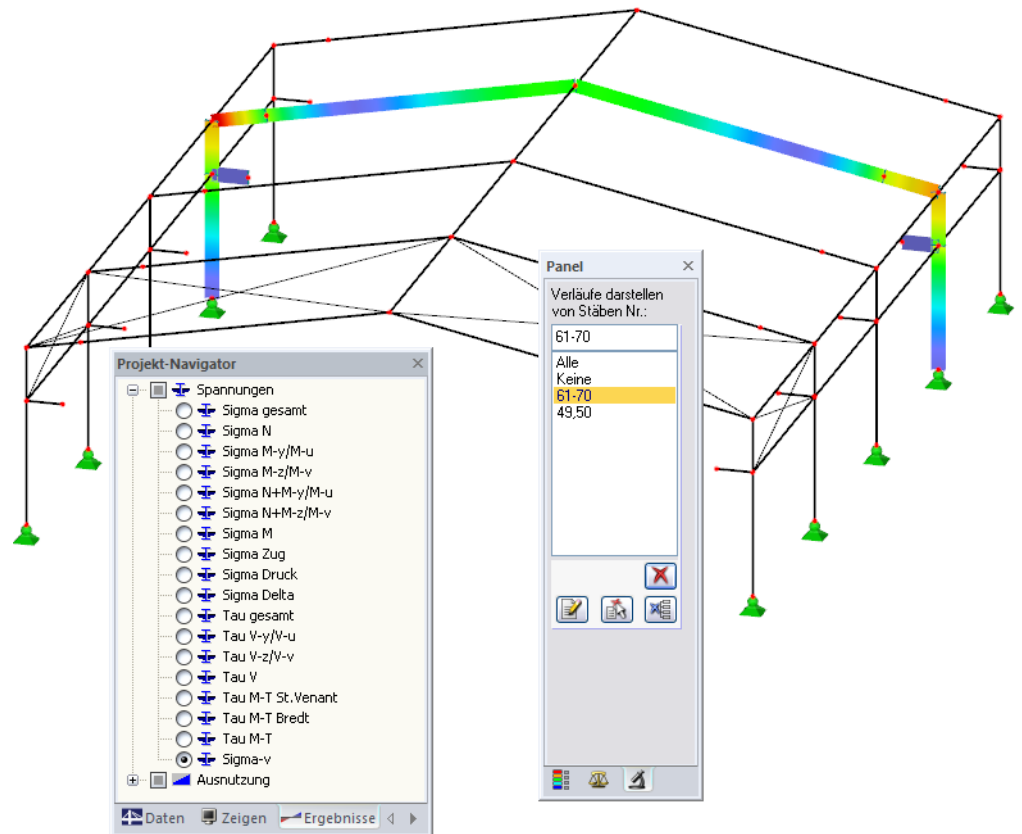


Bild 4.17: Filtern von Stäben: Vergleichsspannungen eines Rahmens

Im Unterschied zur Ausschnittfunktion wird die Struktur vollständig mit angezeigt. Das Bild oben zeigt die Vergleichsspannungen des innenliegenden Rahmens einer Halle. Die übrigen bemessenen Stäbe werden im Modell dargestellt, sind in der Anzeige jedoch ohne Spannungen.

5. Ausdruck

5.1 Ausdruckprotokoll

Für die RF-STAH-ERgebnisse wird wie in RFEM zunächst ein Ausdruckprotokoll generiert, das mit Grafiken und Erläuterungen ergänzt werden kann. Dort wird auch festgelegt, welche Ergebnisse letztendlich 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.



Im Ausdruckprotokoll werden nur die Spannungsarten ausgewiesen, die im RF-STAH-Be-messungsfall für die Ergebnismasken aktiv sind. Um z. B. die Spannungen infolge Normal-kraft auszudrucken, sind deshalb in RF-STAH Flächen die Spannungen $\sigma_{1,m}$ und $\sigma_{2,m}$ bzw. in RF-STAH Stäbe die Spannungen σ_N zu aktivieren. Diese Funktionen sind in den Kapiteln 4.1 *RF-STAH Flächen* auf Seite 65 bzw. 4.2 *RF-STAH Stäbe* auf Seite 68 beschrieben.

5.2 RF-STAH-Grafiken drucken

Analog zur grafischen Ergebnisauswertung (siehe Kapitel 4) können die Spannungen und Ausnutzungen für den Ausdruck aufbereitet werden. Die Grafiken lassen sich in das Aus-druckprotokoll einbinden oder direkt auf den Drucker leiten. Im Kapitel 11.2 des RFEM-Handbuchs wird das Drucken von Grafiken ausführlich erläutert.

5.2.1 Ergebnisse am RFEM-Modell

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 Spannungen und Ausnutzungen für den Ausdruck aufbereitet werden.

Nachweise am RFEM-Modell

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

Datei → Drucken

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

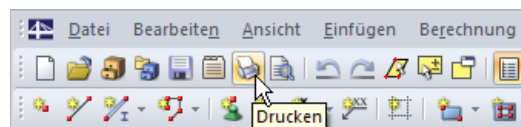


Bild 5.1: Schaltfläche *Drucken* in der Symbolleiste des Hauptfensters

Ergebnisverläufe

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

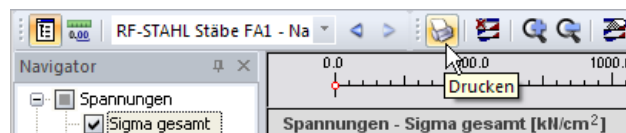


Bild 5.2: Schaltfläche *Drucken* in der Symbolleiste des Ergebnisverläufe-Fensters

Es wird folgender Dialog angezeigt.

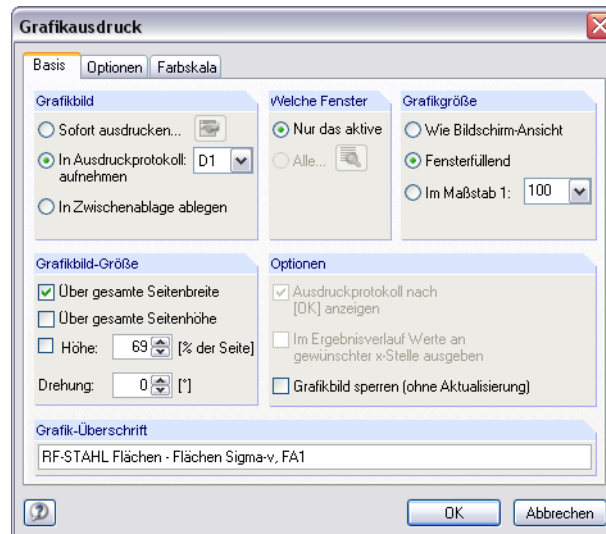
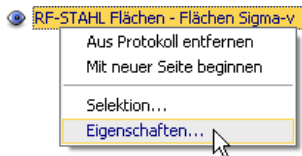


Bild 5.3: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Basis*

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

Eine RF-STAHl-Grafik kann im Ausdruckprotokoll wie gewohnt per Drag&Drop an eine andere Stelle verschoben werden.



Grafiken, die in das Ausdruckprotokoll integriert wurden, lassen sich nachträglich anpassen: 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 diversen Anpassungsmöglichkeiten.

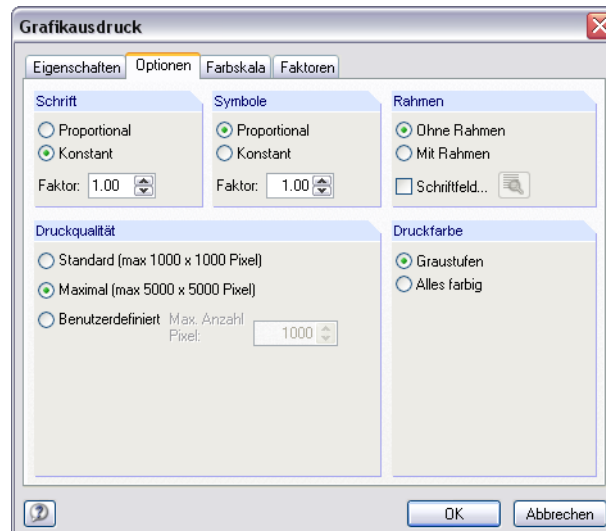


Bild 5.4: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Optionen*

5.2.2 Ergebnisse am Querschnitt



Die Druckfunktion ist in RF-STAHL Stäbe indirekt über den Dialog *Querschnittswerte und Spannungsverlauf* zugänglich (siehe Bild 4.9, Seite 70). Dieser Dialog wird in den Ergebnismasken über die Schaltfläche [Querschnittswerte und Spannungen] aufgerufen.

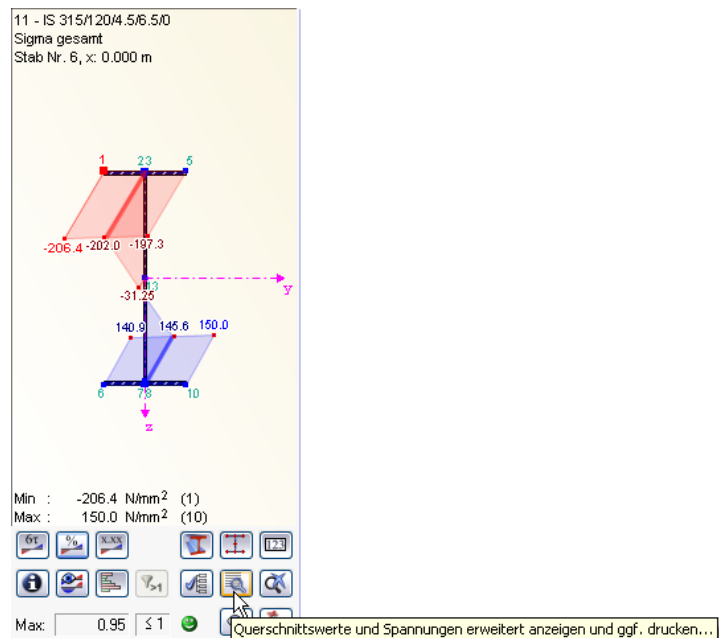


Bild 5.5: Schaltfläche *Querschnittswerte und Spannungen* in der Grafik der Ergebnismasken



Im Dialog *Querschnittswerte und Spannungsverlauf* (siehe Bild 4.9, Seite 70) sind der Stab, die relevante Stelle x sowie die Spannungsart einzustellen, deren Verlauf gedruckt werden soll. Die Schaltfläche [Drucken] rechts unten im Dialog öffnet dann folgenden Druckdialog.

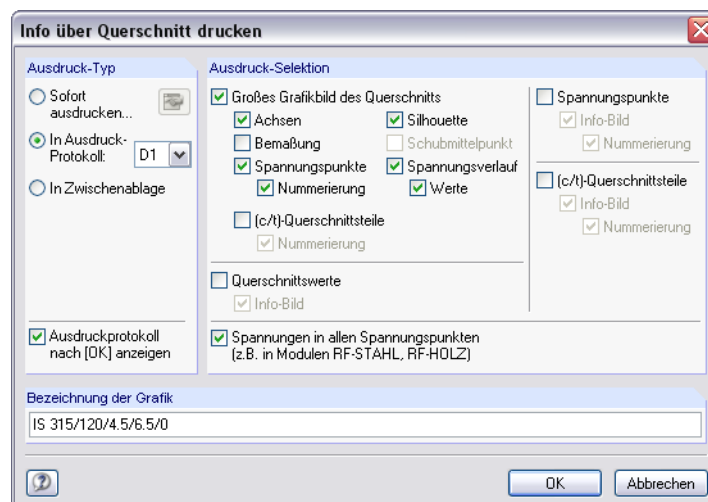


Bild 5.6: Dialog *Info über Querschnitt drucken*

Im Abschnitt *Ausdruck-Typ* stehen die aus RFEM bekannten Optionen zur Auswahl:

- *Sofort ausdrucken* leitet die aktuelle Grafik auf den Drucker.
- *In Ausdruckprotokoll* fügt die Grafik in ein Ausdruckprotokoll ein.
- *In Zwischenablage* stellt die Grafik für andere Anwendungen zur Verfügung.

Falls mehrere Ausdruckprotokolle existieren, kann in der Liste neben dem Auswahlfeld die Nummer des Ziel-Protokolls gewählt werden.

Der Abschnitt *Ausdruck-Selektion* steuert, welche Elemente im Druckbild und in einer Ausgabetabelle erscheinen. Die unter *Großes Grafikbild des Querschnitts* angegebenen Objekte bedürfen keiner weiteren Erklärung. Ist die Option *Querschnittswerte* aktiv, werden die Profilkennwerte als Tabelle gedruckt, optional ergänzt durch ein symbolisierendes *Info-Bild* am Rand. In gleicher Weise können die Kennwerte der *Spannungspunkte* und *(c/t)-Querschnittsteile* sowie die *Spannungen in allen Spannungspunkten* in den Ausdruck integriert werden.

Wird der Dialog mit [OK] geschlossen, öffnet sich normalerweise das Ausdruckprotokoll. Um mehrere Grafiken nacheinander in das Ausdruckprotokoll zu drucken, sollte das Kontrollfeld *Ausdruckprotokoll nach [OK] anzeigen* deaktiviert werden.

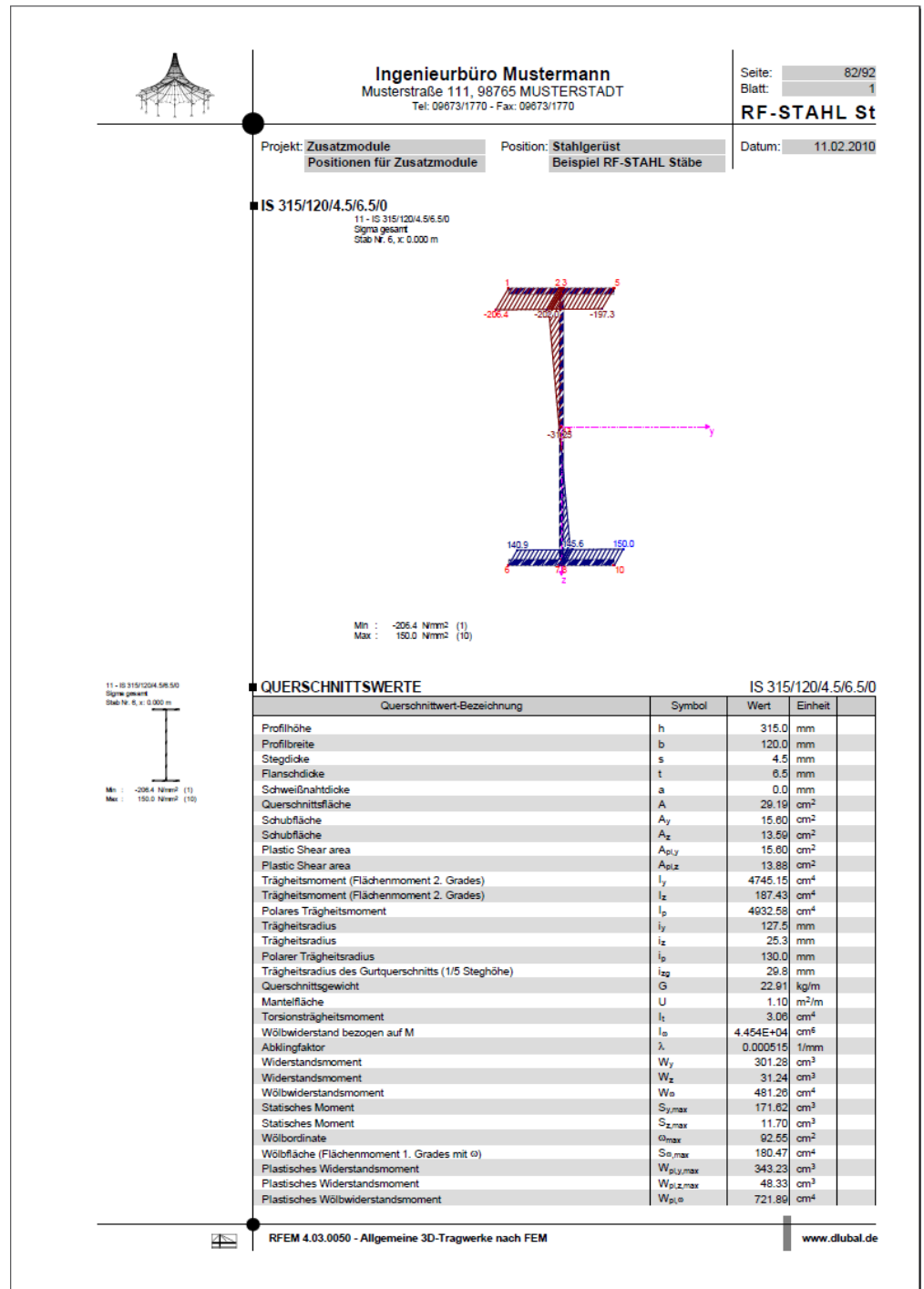


Bild 5.7: Spannungsgrafik im Ausdruckprotokoll

6. Allgemeine Funktionen

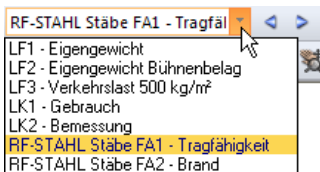
Das letzte Kapitel stellt einige Menüfunktionen sowie Exportmöglichkeiten der Bemessungsergebnisse vor.

6.1 RF-STAHl-Bemessungsfälle

Es besteht die Möglichkeit, Flächen oder Stäbe in separaten Bemessungsfällen zu gruppieren. Damit können z. B. Bauteilgruppen zusammengefasst oder mit spezifischen Vorgaben für die Bemessung (Grenzspannungen, Teilsicherheitsbeiwerte, Optimierung etc.) beaufschlagt werden.

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

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



Neuen RF-STAHl-Fall anlegen

Ein neuer Bemessungsfall wird angelegt über das RF-STAHl-Menü

Datei → Neuer Fall.

Es erscheint der folgende Dialog.

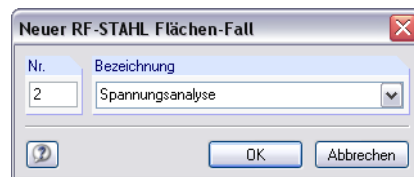


Bild 6.1: Dialog *Neuer RF-STAHl Flächen-Fall*

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

RF-STAHl-Fall umbenennen

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

Datei → Fall umbenennen.

Es erscheint der Dialog *RF-STAHl Flächen-/Stäbe-Fall umbenennen*.

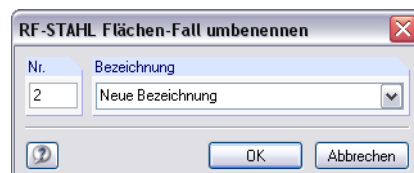


Bild 6.2: Dialog *RF-STAHl Flächen-Fall umbenennen*

RF-STAHL-Fall kopieren

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

Datei → Fall kopieren.

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



Bild 6.3: Dialog *RF-STAHL Flächen-Fall kopieren*

RF-STAHL-Fall löschen

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

Datei → Fall löschen.

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



Bild 6.4: Dialog *Fall löschen*

6.2 Optimierung

Beide RF-STAHL-Module bieten Möglichkeiten an, die Flächendicken bzw. Querschnitte zu optimieren. Im Zuge der Optimierung wird untersucht, welche Flächendicke bzw. welches Profil aus der gleichen Querschnittsreihe den Nachweis für die vorliegenden RFEM-Schnittgrößen „optimal“ erfüllt, d. h. der maximal möglichen Ausnutzung am nächsten kommt.

Der maximal zulässige Ausnutzungsgrad wird im Dialog *Details* festgelegt (siehe Bild 2.12, Seite 25 bzw. Bild 3.7, Seite 46).

Details...

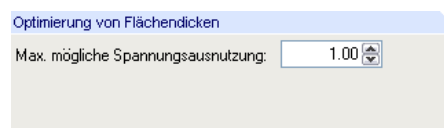


Bild 6.5: Maximaler Ausnutzungsgrad im Dialog *Details*



Bei der Optimierung ist zu beachten, dass die Schnittgrößen nicht automatisch neu mit den geänderten Flächendicken oder Querschnitten berechnet werden. Der Anwender kann frei entscheiden, welche Flächendicken oder Querschnitte für eine Neuberechnung nach RFEM

übergeben werden sollen. Wegen der geänderten Steifigkeiten im System können die Schnittgrößen, die sich mit den optimierten Objekten ergeben, erheblich differieren. Es empfiehlt sich, nach einer ersten Optimierung die Schnittgrößen neu zu berechnen und anschließend die Flächendicken oder Profile nochmals zu optimieren.

6.2.1 RF-STAHL Flächen

Bei der Optimierung wird die Flächendicke ermittelt, mit der eine Ausnutzung erreicht wird, die der maximal zulässigen Spannungsausnutzung am nächsten kommt.

Die Optimierungsmöglichkeiten stehen nur in Maske 1.3 *Flächen* zur Verfügung. Um eine bestimmte Flächendicke zu optimieren, ist das Kontrollfeld dieser Fläche in Spalte D bzw. E zu aktivieren (siehe Bild 2.7, Seite 15). Es öffnet sich folgender Dialog.

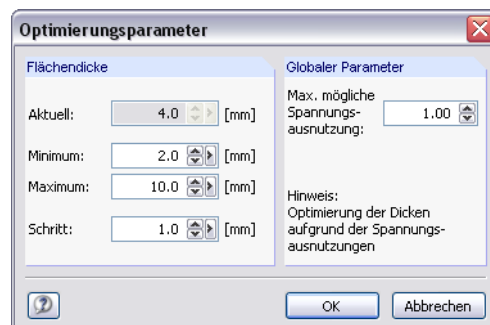


Bild 6.6: Dialog *Optimierungsparameter*

In den Eingabefeldern *Minimum* und *Maximum* werden die Unter- und Obergrenzen der zulässigen Flächendicken festgelegt. Zur Kontrolle wird die aktuelle Dicke mit angegeben. Der *Schritt* steuert, in welchem Intervall die Dicke während des Optimierungsprozesses variiert.



Nach der erneuten [Berechnung] werden die optimierten Dicken in Maske 1.3 *Flächen* ausgegeben.

Die Übergabe der geänderten Flächendicken nach RFEM braucht nicht manuell erfolgen. Stellen Sie die Maske 1.3 *Flächen* ein und wählen dann das Menü

Bearbeiten → Alle Flächen in RFEM übernehmen.

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

1.3 Flächen							
Fläche Nr.	A	B	C	D	E	F	G
	Material Nr.	Dicke Typ	d [mm]	Max. Ausnutzung [-]	Optimieren	Anmerkung	Fläche A [m²]
17	3	Konstant	3.0	0.49	<input type="checkbox"/>	7)	2.47
18	3	Konstant					2.47
19	3	Konstant					2.47
20	3	Konstant					2.47
21	3	Konstant					14.85
22	3	Konstant					14.85
23	3	Konstant					14.85
24	3	Konstant					14.85

Bild 6.7: Kontextmenü in Maske 1.3 *Flächen*

Vor der Übergabe erfolgt eine Sicherheitsabfrage, da diese Maßnahme mit dem Löschen der Ergebnisse verbunden ist (siehe Bild 6.10, Seite 85).

Analog können mit den übrigen Menüfunktionen wieder die ursprünglichen Flächendicken aus RFEM importiert werden. Bitte beachten Sie, dass auch diese Möglichkeit nur in der Maske 1.3 *Flächen* besteht.

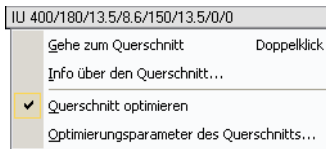
6.2.2 RF-STAHL Stäbe

Wie in Kapitel 3.1.3 erwähnt besteht die Möglichkeit einer querschnittsweisen Optimierung. Hierzu ist in der Spalte C bzw. D der Maske 1.3 *Querschnitte* das betreffende Profil durch Ankreuzen auszuwählen, was am einfachsten über einen Klick in das Kästchen erfolgt (siehe Bild 3.4, Seite 43).

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

Im Zuge der Optimierung wird das Profil aus der gleichen Querschnittsreihe ermittelt, mit dem eine Ausnutzung erreicht wird, die der maximal zulässigen Spannungsausnutzung am nächsten kommt. Dabei werden mit den RFEM-Schnittgrößen die erforderlichen Querschnittskennwerte ermittelt. Erweist sich ein anderer Querschnitt als günstiger, so werden in Maske 1.3 nach der [Berechnung] zwei Profile dargestellt – das ursprüngliche Profil aus RFEM und der optimierte Querschnitt (siehe Bild 3.4, Seite 43).

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



Kontextmenü in Ergebnismasken

Berechnung

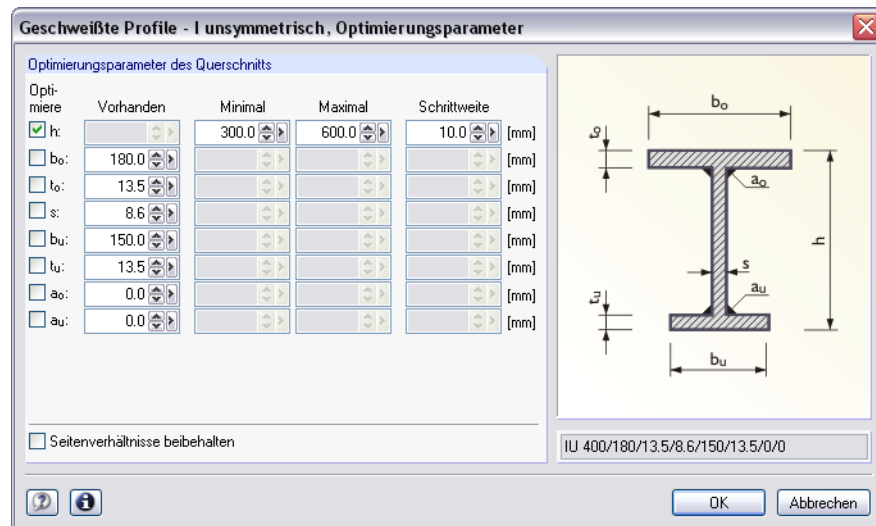


Bild 6.8: Dialog Geschweißte Profile - I unsymmetrisch, Optimierungsparameter

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 der 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, damit die Vorgabe wirksam werden kann.

Für aus Walzprofilen zusammengesetzte Querschnitte ist keine Optimierungsmöglichkeit vorgesehen.

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.

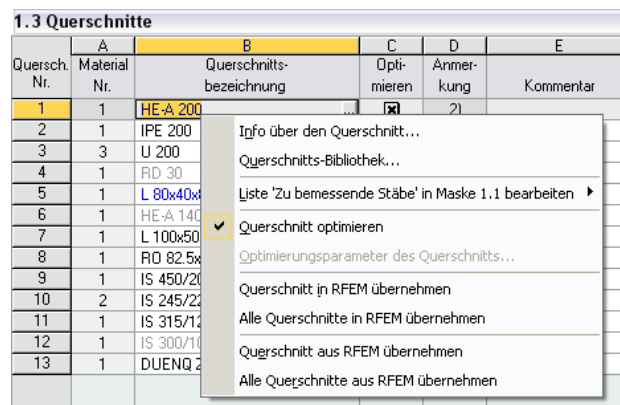


Bild 6.9: Kontextmenü in Maske 1.3 Querschnitte

Berechnung

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

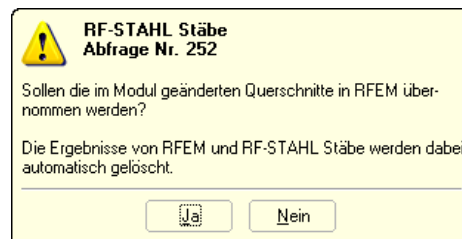


Bild 6.10: Abfrage vor Übergabe geänderter Profile nach RFEM

Analog können über die oben beschriebenen Menüfunktionen wieder die RFEM-Originalquerschnitte importiert 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, kann die Spannungsanalyse bei großen Unterschieden der Anfangs- und Endprofilhöhen ungenau werden. In diesem Fall empfiehlt es sich, die Voute in einzelne Stäbe aufzuteilen, deren Anfangs- und Endquerschnitte geringere Profilunterschiede aufweisen.

6.3 Materialexport nach RFEM

Werden in der RF-STAHL-Maske 1.2 die Materialien geändert, können – wie bei den Flächen-dicken oder 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.

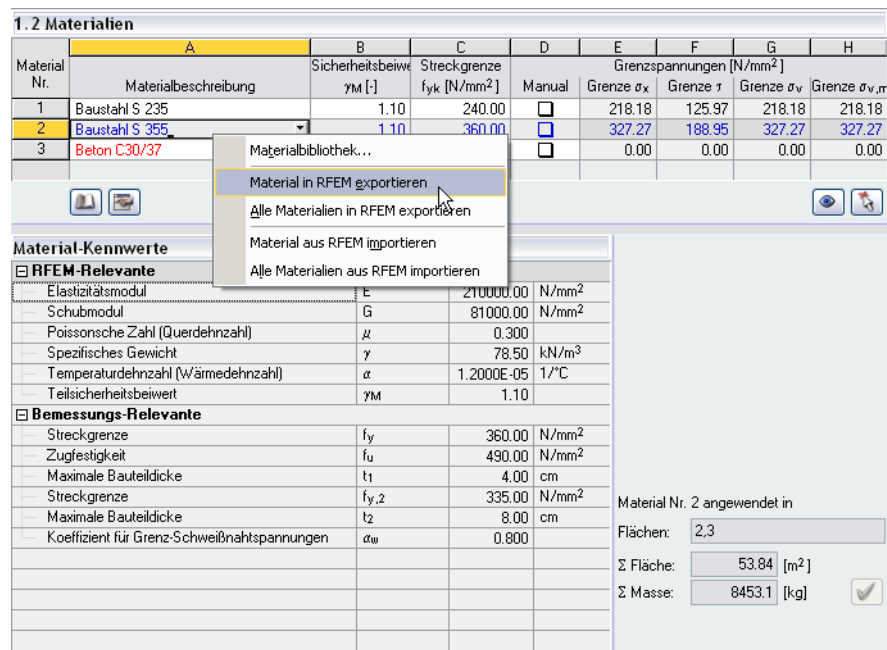


Bild 6.11: Kontextmenü der Maske 1.2 *Materialien*

Berechnung

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

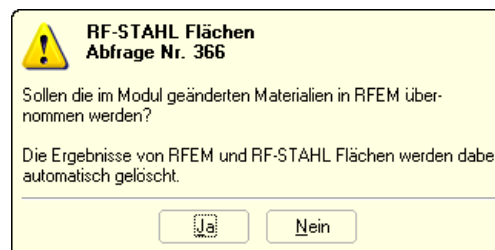


Bild 6.12: Abfrage vor Übergabe geänderter Materialien nach RFEM

6.4 Einheiten und Dezimalstellen

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

Einstellungen → Einheiten und Dezimalstellen.

Es wird der aus RFEM bekannte Dialog aufgerufen. In der Liste *Programm / Modul* ist das relevante Modul RF-STAHl Flächen bzw. RF-STAHl Stäbe voreingestellt.

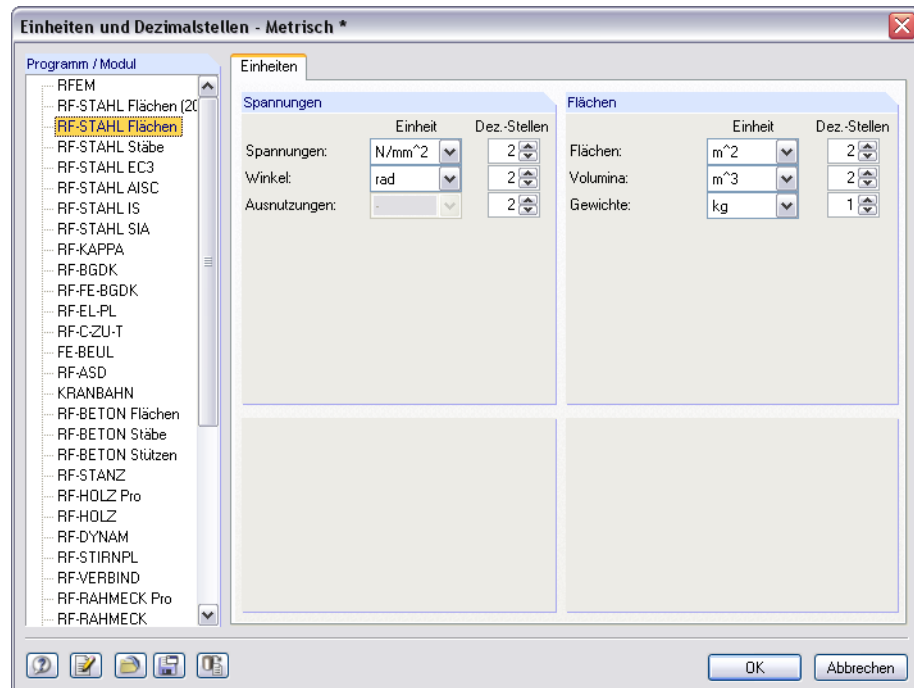


Bild 6.13: Dialog *Einheiten und Dezimalstellen*



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.

6.5 Export der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Spannungsanalyse können anderen Programmen auf verschiedene Weise zur Verfügung gestellt werden.

Zwischenablage

Markierte Zellen der RF-STAHl-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 der RF-STAHl-Module lassen sich in das zentrale Ausdruckprotokoll drucken (siehe Kapitel 5.1, Seite 77) 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 ermöglicht den direkten Datenexport zu MS Excel, OpenOffice.org Calc oder in das CSV-Format. Diese Funktion wird aufgerufen über Menü

Datei → Tabellen exportieren.

Es öffnet sich folgender Exportdialog.

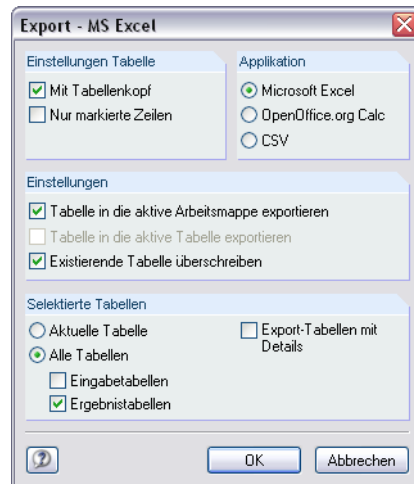
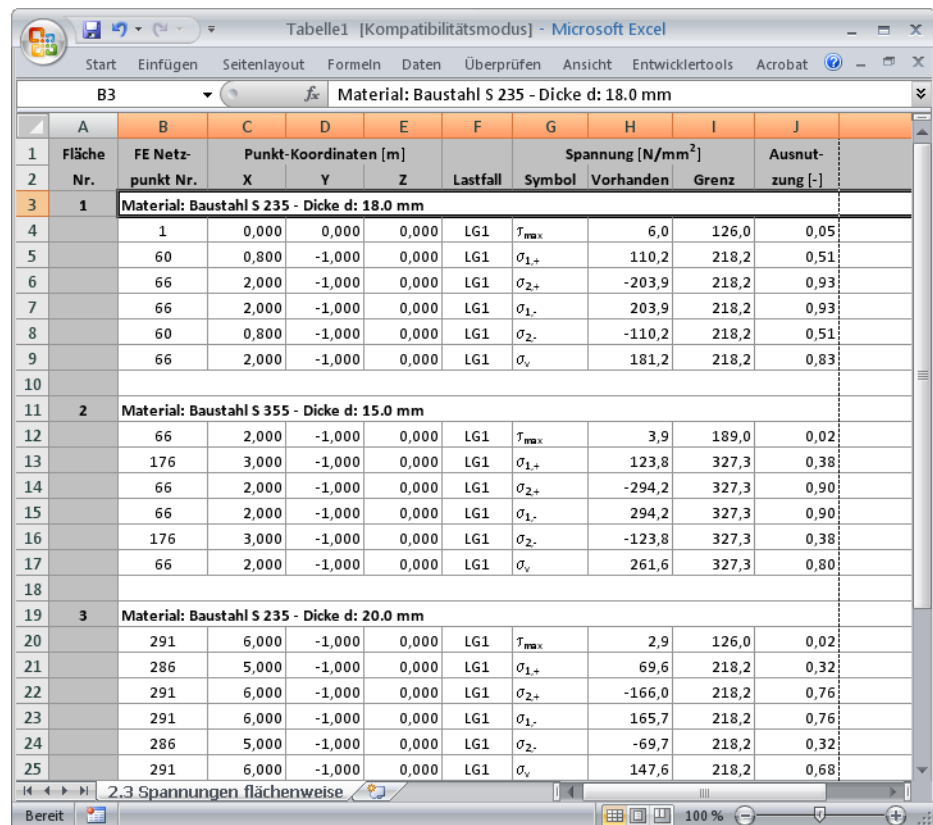


Bild 6.14: Dialog *Export - MS Excel*

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



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Fläche	FE Netz-	Punkt-Koordinaten [m]			Lastfall	Spannung [N/mm ²]			Ausnut- zung [-]
	Nr.	punkt Nr.	X	Y	Z		Symbol	Vorhanden	Grenz	
3	1	Material: Baustahl S 235 - Dicke d: 18.0 mm								
4		1	0,000	0,000	0,000	LG1	τ_{max}	6,0	126,0	0,05
5		60	0,800	-1,000	0,000	LG1	σ_{1+}	110,2	218,2	0,51
6		66	2,000	-1,000	0,000	LG1	σ_{2+}	-203,9	218,2	0,93
7		66	2,000	-1,000	0,000	LG1	σ_{1-}	203,9	218,2	0,93
8		60	0,800	-1,000	0,000	LG1	σ_{2-}	-110,2	218,2	0,51
9		66	2,000	-1,000	0,000	LG1	σ_v	181,2	218,2	0,83
11	2	Material: Baustahl S 355 - Dicke d: 15.0 mm								
12		66	2,000	-1,000	0,000	LG1	τ_{max}	3,9	189,0	0,02
13		176	3,000	-1,000	0,000	LG1	σ_{1+}	123,8	327,3	0,38
14		66	2,000	-1,000	0,000	LG1	σ_{2+}	-294,2	327,3	0,90
15		66	2,000	-1,000	0,000	LG1	σ_{1-}	294,2	327,3	0,90
16		176	3,000	-1,000	0,000	LG1	σ_{2-}	-123,8	327,3	0,38
17		66	2,000	-1,000	0,000	LG1	σ_v	261,6	327,3	0,80
19	3	Material: Baustahl S 235 - Dicke d: 20.0 mm								
20		291	6,000	-1,000	0,000	LG1	τ_{max}	2,9	126,0	0,02
21		286	5,000	-1,000	0,000	LG1	σ_{1+}	69,6	218,2	0,32
22		291	6,000	-1,000	0,000	LG1	σ_{2+}	-166,0	218,2	0,76
23		291	6,000	-1,000	0,000	LG1	σ_{1-}	165,7	218,2	0,76
24		286	5,000	-1,000	0,000	LG1	σ_{2-}	-69,7	218,2	0,32
25		291	6,000	-1,000	0,000	LG1	σ_v	147,6	218,2	0,68

Bild 6.15: Ergebnis in MS Excel: Tabelle 2.3 *Spannungen flächenweise*

A Literatur

- [1] DIN 18800 Teil 1: Stahlbauten, Bemessung und Konstruktion, 1990
- [2] DIN 18800 Teil 2: Stahlbauten, Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken, 1990
- [3] Erläuterungen zu DIN 18 800 Teil 1 bis 4, Beuth-Kommentar, Beuth Verlag, 2. Auflage 1994
- [4] Eurocode 3 Teil 1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, 1993
- [5] PETERSEN, Chr.: Stahlbau, Vieweg und Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 3. Auflage 1993
- [6] SCHNEIDER Bautabellen, Werner Verlag, 17. Auflage 2006
- [7] Stahlbau Handbuch, Band 1, Stahlbau-Verlagsgesellschaft mbH, Köln 1993
- [8] ZIENKIEWICZ, O. C., CHEUNG, Y.K.: The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics, McGraw-Hill, New York/London, 1967
- [9] KOLÁR, V. et al.: Berechnung von Flächen- und Raumtragwerken nach der Methode der finiten Elemente, Springer Verlag, Wien/New York, 1975
- [10] TIMOSHENKO, S.P., WOINOWSKI-KRIEGER, S.: Theory of Plates and Shells, 2. Auflage, McGraw-Hill, New York, 1959
- [11] KOLÁR, V., NEMEC, I.: Finite Element Analysis of Structures. United Nations Development Program, Economic Com. for Europe, Workshop on CAD Techniques, June 1984, Prague/Geneva, Vol. 1, 248 pp.
- [12] BERGAN, P.G. - FELIPPA, C. A.: A Triangular Membrane Element With Rotational Degrees of Freedom. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 50 (1985), 25 - 69
- [13] ZIENKIEWICZ, O.C.: The Finite Element Method in Engineering Science, Mc Graw - Hill, London 3rd Ed., repr. 1979, 787 pp., Chapter 18 - 19 (Nonlinear Problems)
- [14] ŠEVČÍK, I., 3D Finite Element with Rotational Degrees of Freedom, FEM-Consulting s.r.o., Brno
- [15] MANG, H., HOFSTETTER, G.: Festigkeitslehre, Springer Verlag, Wien/New York, 2000

B Index

A

Aluminium	12, 41
Anmerkung	16, 45
Aufzählungsmethode	25
Ausdruckprotokoll	77, 87
Ausdruck-Selektion	80
Ausnutzung	16, 31, 36, 45, 51, 55, 67, 72
Ausschnitt	75
Auswahl Spannungen	65, 68

B

Bach	23
Basisangaben	8, 38
Bauteildicke	13, 14, 42, 55, 70
Beenden von RF-STAHl	8, 38
Bemessen	8, 39
Bemessungsfall	67, 72, 81, 82
Bemessungsnorm	8, 38
Benutzerprofil	87
Berechnung	18
Berechnung starten	27, 52
Berechnungsart	47
Berechnungsdetails	46
Betriebsfestigkeitsnachweis	34, 49
Bezugslänge	17, 24
Blättern in Masken	8, 38

C

c/t-Querschnittsteile	80
Charakteristisch	10, 24, 35
CSV-Export	88

D

Delta	34, 49
Dezimalstellen	11, 40, 87
Dicke	15, 37
Dicke-Typ	15
Drillspannung	19
Drucken	77, 79

E

Edelstahl	12, 41
E-Gewicht	62
Eigendefiniertes Profil	54

Einheiten	11, 40, 87
Einwirkungskombination	10, 24, 35
Ergebnisauswertung	63
Ergebnisdiagramm	74
Ergebnismasken	26, 28, 46, 53
Ergebnisse	67, 72
Ergebnisse-Navigator	67, 72
Ergebnisverläufe	74, 77
Ergebniswerte	67, 72
Excel	88
Export Ergebnisse	87
Export Flächen	83
Export Material	86
Export Querschnitte	85
Exzentrische Querlast	48

F

Farbskala	75
FE-Netz-Punkt	26, 28, 29, 33
Filter	65, 68, 75
Filtern von Flächen/Stäben	76
Fläche	8, 15, 16, 17, 29, 32, 37
Flächenachsen	30, 36
Flächendicke	83
Formbeiwert	47

G

Gebrauchstauglichkeit	10, 17, 24, 36
Gemischte Methode	26
Gestaltänderungshypothese	21
Gewicht	62
Glas	14
Glättung	26
Grafik	67, 72
Grafik drucken	77
grenz τ	12, 30, 41, 55
grenz σ_v	13, 30, 41, 55
grenz $\sigma_{v,m}$	30
grenz σ_x	12, 30, 41, 55
Grenzspannung	11, 12, 14, 30, 40, 41, 42, 55
Grenzverschiebung	36

H

Häufig.....	10, 24, 35
Hauptdehnungshypothese.....	23
Hauptspannung.....	29
Hintergrundgrafik.....	66, 71
Holz.....	42

I

Installation.....	6
-------------------	---

K

Kirchhoff.....	21
Kommentar.....	9, 16, 39
Konstante Dicke.....	15
Koordinaten Spannungspunkt.....	70
Kragfläche.....	18, 24

L

Länge.....	61
Lastfall.....	9, 10, 34, 39, 55
Lastfallkombination.....	9, 25, 39, 47, 48, 59
Linie.....	32

M

Mantelfläche.....	61
Manuelle Bezugslänge.....	17
Manuelle Grenzspannungen.....	12, 41
Masken.....	8, 38
Masse.....	16, 37
Maßgebende Schnittgrößen.....	59, 60
Material.....	11, 14, 31, 37, 40, 42, 86
Materialbezeichnung.....	11, 40
Materialbibliothek.....	13, 42
Materialkennwerte.....	11, 40
Maximum.....	34, 83
Membranspannung.....	19, 20, 29
Membran-Vergleichsspannung.....	20, 22
Mindlin.....	21
Minimum.....	34, 83

N

Navigator.....	7, 8, 38
Negative Flächenseite.....	19, 20, 21, 29
Normalspannungen.....	49
Normalspannungshypothese.....	23

O

Oberfläche.....	61
-----------------	----

OpenOffice.....	88
Optimierung.....	16, 26, 45, 48, 82, 83, 84
Orthotrope Fläche.....	15, 16

P

Panel.....	7, 73, 75
Parametrisierte Profile.....	84
Plastisches Materialmodell.....	26
Plastizierung.....	46
Position.....	37, 61
Positive Flächenseite.....	19, 20, 21, 29
Programmaufruf.....	6
Punkt-Koordinaten.....	29

Q

Quasi-ständig.....	10, 24, 35
Querschnitte.....	43
Querschnittsbezeichnung.....	43
Querschnittsbibliothek.....	43, 44
Querschnittsgrafik.....	45
Querschnittsspannungen.....	79
Querschnittswerte.....	79
Quer-Schubspannungen.....	21

R

Rankine.....	23
Rasterpunkt.....	26, 28, 29, 33
RFEM-Arbeitsfenster.....	66, 71
RFEM-Grafik.....	77
RF-STAHL-Fall.....	48, 81
Rippe.....	52

S

Schaltflächen.....	63, 64
Schnitt.....	75, 77
Schnittgrößen.....	15, 82
Schritt.....	83
Schubspannung.....	19, 21, 29, 50
Schubspannungshypothese.....	22
Sichtmodus.....	63, 66, 71
Skalierung.....	73
Spannungen.....	18, 19, 20, 28, 30, 49, 50, 53, 55, 57, 65, 68
Spannungen mehrfarbig.....	75
Spannungen Rendering.....	75
Spannungsanteile.....	68
Spannungsgrafik.....	69

Spannungskomponenten	68, 72	Ummantelung	37
Spannungsnachweis	31, 52, 55	V	
Spannungspunkt	44, 49, 54, 58, 68, 70, 80	Veränderliche Dicke.....	15, 35
Spannungsschwingbreiten	34	Verformung.....	10
Spannungstyp.....	29, 55, 65, 67	Verformungsnachweis.....	35
Spannungsverlauf	79	Vergleichsspannung 20, 21, 29, 30, 47, 48, 51, 59	
Stäbe	39	Verschiebungen	35, 36
Stabsatz.....	39, 56, 60, 62	Verteilung Schnittgrößen	26
Stabverläufe.....	73	Visualisierung	67, 72
Stahl	11	Volumen.....	37, 62
Starten von RF-STAHl	6	von Mises	21
Statisches Moment	55, 70	Vorzeichen	50, 73
Stelle x	54	Voute	44, 57, 85
Steuerpanel	75	W	
Streckgrenze f_{yk}	12, 13, 14, 41, 42	Werteanzeige	67
Stückliste	36, 61, 62	Wölbkrafttorsion	51
Summe	37, 62	Wölbung	55
T		X	
Teilsicherheitsbeiwert γ_M	12, 41	x-Stelle	54, 57
Torsion.....	48, 51	Z	
Tragfähigkeit	9	Zeigen-Navigator.....	75
Tresca	22	Zwischenablage.....	87
U			
Umhüllende Methode.....	25		