



Fassung
September 2017

Zusatzmodul

RF-STAHL

Allgemeine Spannungsanalyse
von Flächen und Stäben

Programmbeschreibung

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten.
Ohne ausdrückliche Genehmigung der DLUBAL SOFTWARE GMBH ist
es nicht gestattet, diese Programmbeschreibung oder Teile daraus
auf jedwede Art zu vervielfältigen.



© Dlubal Software GmbH 2017
Am Zellweg 2
93464 Tiefenbach
Deutschland

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



Inhalt

	Inhalt	Seite
1.	Einleitung	3
1.1	Zusatzmodul RF-STAHL	3
1.2	Gebrauch des Handbuchs	4
1.3	Aufruf der RF-STAHL-Module	4
2.	RF-STAHL Flächen	6
2.1	Eingabedaten	6
2.1.1	Basisangaben	6
2.1.1.1	Tragfähigkeit	7
2.1.1.2	Gebrauchstauglichkeit	8
2.1.2	Materialien	9
2.1.3	Flächen	14
2.1.4	Daten für Gebrauchstauglichkeit	16
2.2	Berechnung	17
2.2.1	Detaileinstellungen	17
2.2.1.1	Spannungen	17
2.2.1.2	Gebrauchstauglichkeit	24
2.2.1.3	Optionen	25
2.2.2	Start der Berechnung	27
2.3	Ergebnisse	28
2.3.1	Spannungen lastfallweise	29
2.3.2	Spannungen materialweise	32
2.3.3	Spannungen flächenweise	33
2.3.4	Spannungen linienweise	33
2.3.5	Spannungen punktweise	34
2.3.6	Spannungsschwingbreiten	35
2.3.7	Verschiebungen	36
2.3.8	Stückliste	37
3.	RF-STAHL Stäbe	39
3.1	Eingabedaten	39
3.1.1	Basisangaben	39
3.1.2	Materialien	41
3.1.3	Querschnitte	41
3.2	Berechnung	45
3.2.1	Detaileinstellungen	45
3.2.2	Spannungen und Ausnutzung	48
3.2.3	Start der Berechnung	54
3.3	Ergebnisse	55
3.3.1	Spannungen querschnittsweise	56
3.3.2	Spannungen stabsatzweise	58
3.3.3	Spannungen stabweise	59
3.3.4	Spannungen x-stellenweise	59
3.3.5	Spannungen in jedem Spannungspunkt	60
3.3.6	Maßgebende Schnittgrößen stabweise	61
3.3.7	Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise	62
3.3.8	Stückliste stabweise	63
3.3.9	Stückliste stabsatzweise	64



4.	Ergebnisauswertung	65
4.1	RF-STAHL Flächen	67
4.1.1	Auswahl der Spannungen	67
4.1.2	Ergebnisse am RFEM-Modell	68
4.2	RF-STAHL Stäbe	72
4.2.1	Auswahl der Spannungen	72
4.2.2	Ergebnisse am Querschnitt	73
4.2.3	Ergebnisse am RFEM-Modell	75
4.2.4	Ergebnisverläufe	78
4.3	Filter für Ergebnisse	79
5.	Ausdruck	81
5.1	Ausdruckprotokoll	81
5.2	Grafikausdruck	82
5.2.1	Ergebnisse am RFEM-Modell	82
5.2.2	Ergebnisverläufe	83
5.2.3	Ergebnisse am Querschnitt	84
6.	Allgemeine Funktionen	86
6.1	Bemessungsfälle	86
6.2	Querschnittsoptimierung	88
6.2.1	RF-STAHL Flächen	88
6.2.2	RF-STAHL Stäbe	89
6.3	Einheiten und Dezimalstellen	91
6.4	Datenaustausch	92
6.4.1	Materialexport nach RFEM	92
6.4.2	Export der Ergebnisse	92
A.	Literatur	94
B.	Index	95

1 Einleitung

1.1 Zusatzmodul RF-STAHL

Die beiden RF-STAHL-Zusatzmodule sind fest in die Benutzeroberfläche von RFEM integriert: **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.

RF-STAHL leistet allgemeine Spannungsnachweise: Es werden Normal-, Schub- und Vergleichsspannungen von Flächen, Stäben und Stabsätzen berechnet und wie z. B. in DIN 18800 Teil 1 [1] vorgestellt mit Grenzspannungen verglichen. In den beiden Modulen stehen umfangreiche Bibliotheken für Materialien und Profile mit normspezifischen Grenzspannungen zur Verfügung, die bei Bedarf angepasst und erweitert werden können. Alle Stabquerschnitte sind mit bemessungsrelevanten Spannungspunkten versehen, deren Ergebnisse auch grafisch ausgewertet werden können.

Beim Aufruf der Module werden die bemessungsrelevanten Eingabedaten des Modells sowie die Schnittgrößen automatisch eingelesen. Nach der Bemessung können die Spannungen und Ausnutzungen im Arbeitsfenster von RFEM grafisch ausgewertet und in das zentrale Ausdruckprotokoll eingebunden werden.

Bei der Bemessung der Stäbe werden auch die Schnittgrößen ausgegeben, die sich als maßgebend erweisen. RF-STAHL ermöglicht zudem eine automatische Optimierung der Flächen und Querschnitte einschließlich Export der Änderungen nach RFEM.

Über sogenannte Bemessungsfälle können Varianten der Spannungsnachweise untersucht werden. Eine Stückliste mit Massenermittlung rundet die Bemessung ab.

Folgende Merkmale erleichtern die Arbeit mit RF-STAHL:

- Ermittlung der Flächen-Vergleichsspannungen nach den Spannungshypothesen gemäß von Mises, Tresca, Rankine oder Bach
- Gebrauchstauglichkeitsnachweis durch Überprüfung der Flächenverschiebungen
- Ausgabe der Spannungsschwingbreiten für Betriebsfestigkeitsnachweise
- Ausweisung der maximalen Ausnutzung in den Flächen- und Querschnittsmasken als Entscheidungshilfe für die Optimierung
- Kopplung zwischen RF-STAHL-Masken und RFEM-Arbeitsfenster, wodurch z. B. der aktuelle Stab der Maske in der Hintergrundgrafik markiert wird
- Ansichtsmodus zum Anpassen der Darstellung im RFEM-Arbeitsfenster
- Farb-Relationsbalken in den Ergebnismasken
- Kurzinfo über eingehaltenen oder nicht erfüllten Spannungsnachweis
- Darstellung der Spannungen und Ausnutzungen als Ergebnisverläufe
- Filtermöglichkeiten für Objekte und Ausnutzungen in den Tabellen und in der RFEM-Grafik
- Datenexport zu MS Excel oder als CSV-Datei

Die RF-STAHL-Module eignen sich sehr gut für allgemeine Spannungsbetrachtungen. Stabilitätsanalysen wie z. B. in DIN 18800 Teil 2 [2] oder EN 1993-1-1 [3] gefordert werden jedoch nicht geführt. Für diese Nachweise sind die Zusatzmodule RF-BGDK oder RF-STAHL EC3 zu empfehlen.

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

Ihr DLUBAL-Team

1.2 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 beiden RF-STAHL-Zusatzmodulen ergeben.



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

Am Ende des Handbuchs befindet sich ein Stichwortverzeichnis. Sollten Sie dort nicht fündig werden, können Sie die Suchfunktion für die [Knowledge Base](#) auf unserer Website nutzen, um unter den Beiträgen zu den Stahlmodulen eine Lösung zu finden. Auch unsere [FAQs](#) bieten eine Reihe an Hilfestellungen.

1.3 Aufruf der RF-STAHL-Module

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

Menü

Sie können die Zusatzmodule aufrufen mit dem RFEM-Menü

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

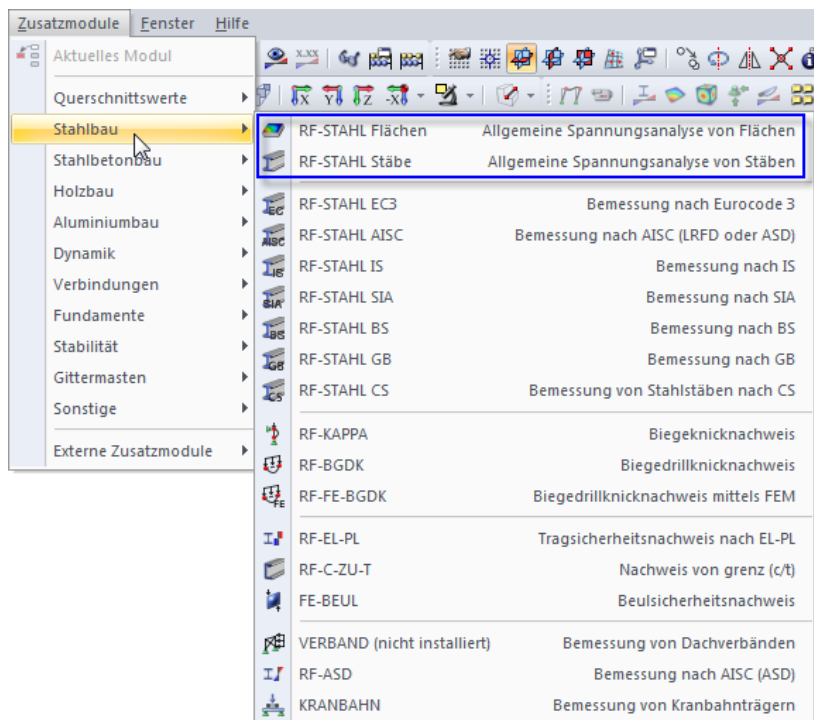


Bild 1.1: Menü: Zusatzmodule → Stahlbau → RF-STAHL Flächen / RF-STAHL Stäbe

Navigator

Alternativ rufen Sie die Zusatzmodule im *Daten*-Navigator auf durch Anklicken des Eintrags

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

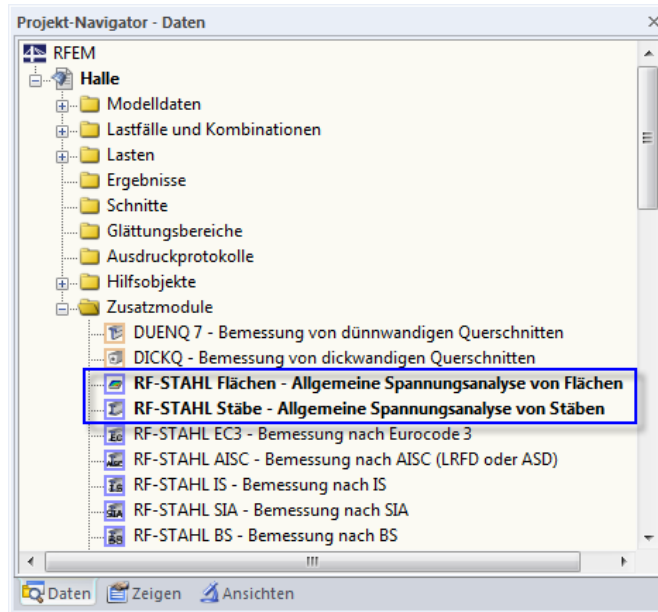
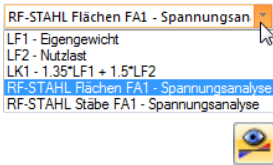


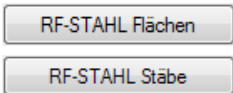
Bild 1.2: Daten-Navigator: Zusatzmodule → RF-STAHL Flächen / RF-STAHL Stäbe

Panel



Wenn im RFEM-Modell schon Ergebnisse von RF-STAHL Flächen oder RF-STAHL Stäbe vorliegen, können Sie die Bemessungsmodul auch über das Panel starten:

Stellen Sie den RF-STAHL-Bemessungsfall in der Lastfallliste der Menüleiste ein. Lassen Sie über die Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus] die Spannungen oder Ausnutzungen an den Flächen bzw. Stäben grafisch darstellen.



Im Panel können Sie nun die Schaltfläche [RF-STAHL Flächen] bzw. [RF-STAHL Stäbe] zum Aufruf des Moduls benutzen.

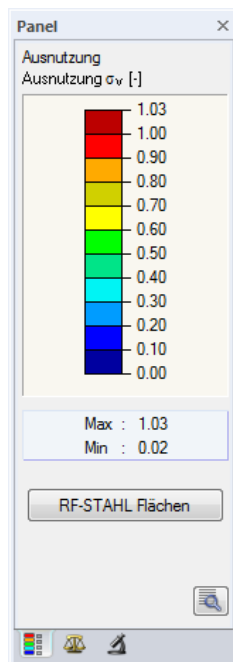


Bild 1.3: Panel-Schaltfläche [RF-STAHL Flächen]

2 RF-STAHL Flächen

2.1 Eingabedaten

Nach dem Aufruf des Zusatzmoduls erscheint ein neues Fenster. Links wird ein Navigator angezeigt, der die verfügbaren Masken verwaltet. Darüber befindet sich eine Pulldownliste mit den Bemessungsfällen (siehe Kapitel 6.1, Seite 86).

Die bemessungsrelevanten Daten sind in mehreren Eingabemasken zu definieren. Beim ersten Aufruf von RF-STAHL Flächen werden folgende Parameter automatisch eingelesen:

- Flächen und Flächendicken
- Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen sowie RF-DYNAM Pro-Fälle
- Materialien
- Schnittgrößen (im Hintergrund – sofern berechnet)



Eine Maske lässt sich durch Anklicken des Eintrags im Navigator aufrufen. Mit den links dargestellten Schaltflächen wird die vorherige bzw. nächste Maske eingestellt. Das Blättern durch die Masken ist auch mit den Funktionstasten [F2] (vorwärts) und [F3] (rückwärts) möglich.



[OK] sichert die Eingaben. RF-STAHL Flächen wird beendet und es erfolgt die Rückkehr in das Hauptprogramm. [Abbrechen] beendet das Zusatzmodul, ohne die Daten zu speichern.

2.1.1 Basisangaben

In Maske 1.1 *Basisangaben* sind die zu bemessenden Flächen und Einwirkungen auszuwählen. Die beiden Register verwalten die Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit.

Die Bemessungsnorm wird erst in Maske 1.2 festgelegt, da die Materialeigenschaften an die Normen gekoppelt sind.

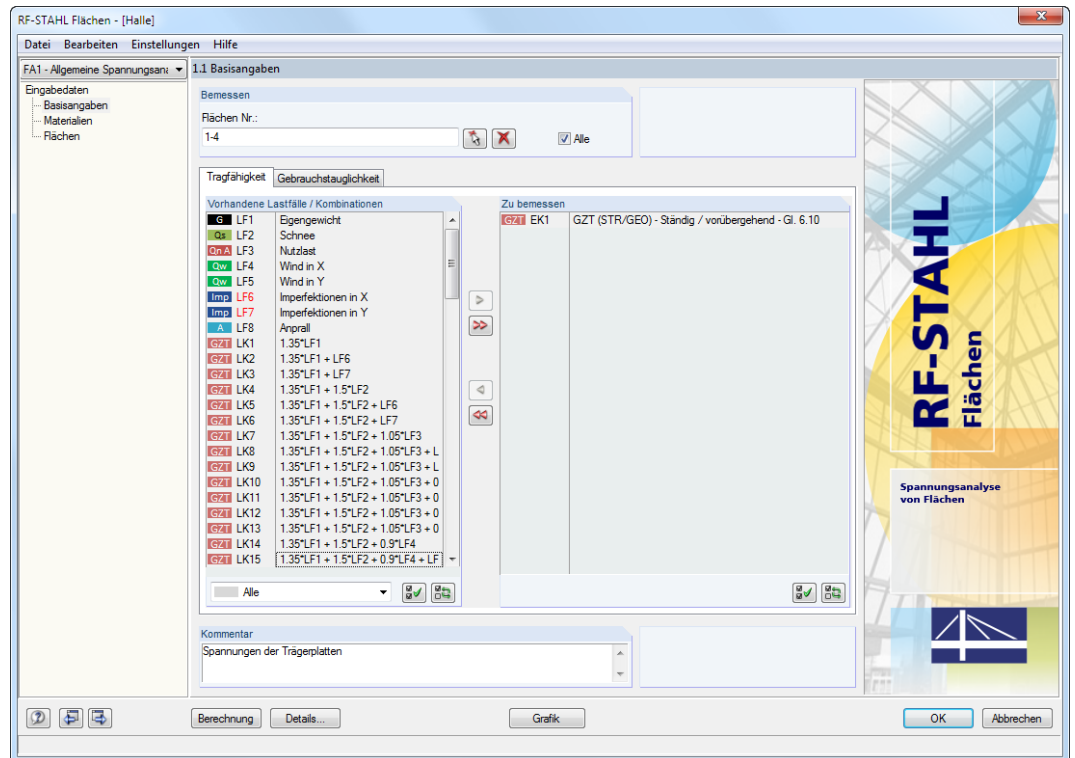


Bild 2.1: Maske 1.1 Basisangaben

Bemessen



Bild 2.2: Bemessung von Flächen

Es können ebene und gekrümmte *Flächen* untersucht werden. Falls nur bestimmte Flächen nachgewiesen werden sollen, ist das Kontrollfeld *Alle* zu deaktivieren: Damit wird das Feld zur Eingabe der relevanten Flächennummern zugänglich.

Die Schaltfläche leert die Liste der voreingestellten Nummern. Über die Schaltfläche lassen sich die Flächen grafisch im RFEM-Arbeitsfenster auswählen.

Kommentar



Bild 2.3: Benutzerdefinierter Kommentar

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

2.1.1.1 Tragfähigkeit

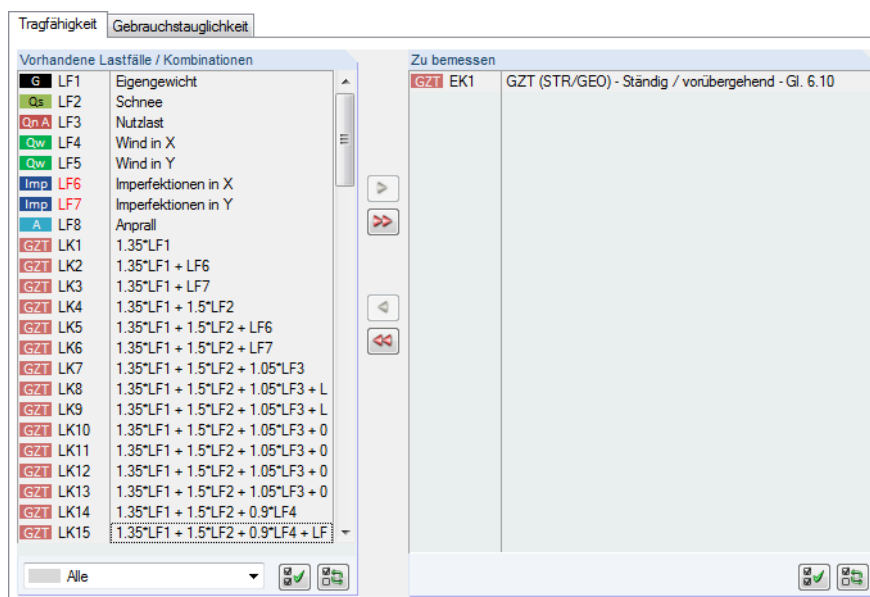


Bild 2.4: Maske 1.1 Basisangaben, Register *Tragfähigkeit*

Vorhandene Lastfälle / Kombinationen

In dieser Spalte sind alle Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen aufgelistet, die in RFEM angelegt wurden.



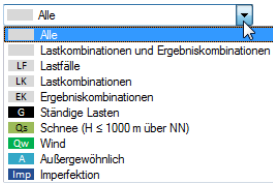
RF-STAHL Flächen ist auch in der Lage, RF-DYNAM Pro-Fälle zu bemessen.

Mit der Schaltfläche lassen sich selektierte Einträge in die Liste *Zu bemessen* nach rechts übertragen. Die Übergabe kann auch per Doppelklick erfolgen. Die Schaltfläche übergibt die komplette Liste nach rechts.

Die Mehrfachauswahl von Lastfällen ist – wie in Windows üblich – mit gedrückter [Strg]-Taste möglich. So lassen sich mehrere Lastfälle gleichzeitig übertragen.

Falls die Nummer eines Lastfalls rot dargestellt ist wie z. B. LF 6 oder LF 7 in [Bild 2.4](#), so kann dieser nicht bemessen werden: Hier handelt es sich um einen Lastfall ohne Lastdaten oder um einen Imperfektionslastfall. Bei der Übergabe erscheint eine entsprechende Warnung.

Am Ende der Liste sind mehrere Filteroptionen verfügbar. Sie erleichtern es, die Einträge nach Lastfällen, Kombinationen oder Einwirkungskategorien geordnet zuzuweisen. Die Schaltflächen sind mit folgenden Funktionen belegt:



	Alle Lastfälle in der Liste werden selektiert.
	Die Auswahl der Lastfälle wird umgekehrt.

Tabelle 2.1: Schaltflächen im Abschnitt *Vorhandene Lastfälle*

Zu bemessen

In der rechten Spalte werden die zur Bemessung gewählten Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen aufgelistet. Mit oder per Doppelklick lassen sich selektierte Einträge wieder aus der Liste entfernen. Die Schaltfläche leert die ganze Liste.



Die Bemessung einer einhüllenden Max/Min-Ergebniskombination verläuft schneller als die aller pauschal übernommenen Lastfälle und Lastkombinationen. Beim Nachweis einer Ergebniskombination ist aber nur schwer erkennbar, welchen Einfluss die enthaltenen Einwirkungen ausüben.

2.1.1.2 Gebrauchstauglichkeit

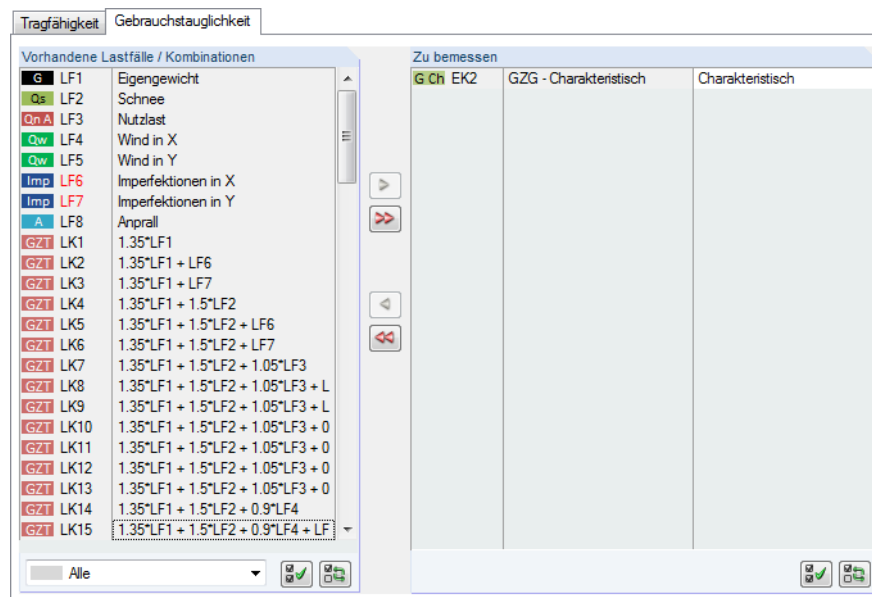


Bild 2.5: Maske 1.1 Basisangaben, Register *Gebrauchstauglichkeit*

Dieses Register ist unabhängig von den Eingaben im Register *Tragfähigkeit*.

Vorhandene Lastfälle / Kombinationen

In dieser Spalte sind alle Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen aufgelistet, die in RFEM angelegt wurden.

In der Regel sind für die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) andere Einwirkungen und Teilsicherheitsfaktoren relevant als für die Tragfähigkeitsbemessung. Die entsprechenden Kombinationen können automatisch oder manuell in RFEM erstellt werden.

Zu bemessen



Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen lassen sich wie im [Kapitel 2.1.1.1](#) beschrieben hinzufügen oder wieder entfernen.

Die Lastfälle und Kombinationen können gemäß EN 1990 [4] folgenden Bemessungssituationen für Gebrauchstauglichkeit zugewiesen werden:

- *Charakteristisch*
- *Häufig*
- *Quasi-ständig*

Diese Einteilung steuert, welche Grenzwerte der Durchbiegung angesetzt werden. Sie können im Dialog *Details*, Register *Gebrauchstauglichkeit* für die einzelnen Einwirkungskombinationen angepasst werden (siehe [Kapitel 2.2.1.2, Seite 24](#)).

Die Bemessungssituation kann über die Liste geändert werden, die mit der Schaltfläche am Ende des Eingabefeldes zugänglich ist.

G Cr	LK92	LF1 + 0.7*LF3 + LF4 + LF6	Charakteristisch
G Cr	LK94	LF1 + 0.7*LF3 + LF5 + LF7	Quasi-ständig
G Cr	EK2	GZG - Charakteristisch	Charakteristisch EN 1990 6.5.3(2) a) Häufig EN 1990 6.5.3(2) b) Quasi-ständig EN 1990 6.5.3(2) c)

Bild 2.6: Bemessungssituation zuweisen

Die für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit maßgebenden Bezugsängen sind in Maske *1.4 Daten für Gebrauchstauglichkeit* festzulegen (siehe [Kapitel 2.1.4, Seite 16](#)).

2.1.2 Materialien

Diese Maske ist zweigeteilt: In der oberen Tabelle sind alle Materialien aufgelistet, die in RFEM angelegt wurden. Im unteren Abschnitt werden die Kennwerte des aktuellen Materials angezeigt, d. h. des Materials, dessen Zeile in der Tabelle oben selektiert ist.

1.2 Materialien

Material Nr.	Material Bezeichnung	Teilsch.-Beiwert γ_M [-]	Streckgrenze f_{yk} [N/mm ²]	D	Grenzspannungen [N/mm ²]			
					Manuell	grenz σ_x	grenz τ	grenz σ_v
1	Baustahl S 235	1.00	235.00	<input type="checkbox"/>	235.00	135.68	235.00	235.00
2	Baustahl S 355	1.00	355.00	<input type="checkbox"/>	355.00	204.96	355.00	355.00
3	Beton C30/37	1.00	0.00	<input type="checkbox"/>	0.00	0.00	0.00	0.00

Materialkennwerte

Haupt-Kennwerte

Elastizitätsmodul	E	210000.0	N/mm ²
Schubmodul	G	80769.2	N/mm ²
Poissonsche Zahl (Querdehnzahl)	ν	0.300	
Spezifisches Gewicht	γ	78.50	kN/m ³
Temperaturdehnzahl (Wärmedehnzahl)	α	1.2000E-05	1/°C
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	1.00	

Zusätzliche Kennwerte

<input type="checkbox"/> Dickenbereich $t \leq 16.0$ mm			
Streckgrenze	f_y	235.00	N/mm ²
Zugfestigkeit	f_u	360.00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Dickenbereich $t > 16.0$ mm und $t \leq 40.0$ mm			
Streckgrenze	f_y	225.00	N/mm ²
Zugfestigkeit	f_u	360.00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Dickenbereich $t > 40.0$ mm und $t \leq 100.0$ mm			
Streckgrenze	f_y	215.00	N/mm ²
Zugfestigkeit	f_u	360.00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Dickenbereich $t > 100.0$ mm und $t \leq 150.0$ mm			
Streckgrenze	f_y	195.00	N/mm ²
Zugfestigkeit	f_u	350.00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Dickenbereich $t > 150.0$ mm und $t \leq 200.0$ mm			
Streckgrenze	f_y	185.00	N/mm ²
Zugfestigkeit	f_u	340.00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Dickenbereich $t > 200.0$ mm und $t \leq 250.0$ mm			
Streckgrenze	f_y	175.00	N/mm ²

Material Nr. 1 angewendet in

Flächen Nr.: 2-4

Σ Flächen: 3.71 [m²] Σ Massen: 0.29 [t]

Bild 2.7: Maske 1.2 Materialien

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

Das Kapitel 4.3 des RFEM-Handbuchs beschreibt die Materialkennwerte, die für die Ermittlung der Schnittgrößen benutzt werden (*Haupt-Kennwerte*). In der Materialbibliothek sind auch die Eigenschaften der Materialien hinterlegt, die für die Bemessung benötigt werden. Diese Werte sind voreingestellt (*Zusätzliche Kennwerte*).

Die Einheiten und Nachkommastellen der Kennwerte und Spannungen lassen sich über das Menü **Einstellungen** → **Einheiten und Dezimalstellen** anpassen (siehe [Kapitel 6.3, Seite 91](#)).

Materialbezeichnung

Die in RFEM definierten Materialien sind voreingestellt, können aber jederzeit geändert werden: Klicken Sie das Material in Spalte A an und setzen so das Feld aktiv. Dann klicken Sie auf die Schaltfläche oder betätigen die Funktionstaste [F7], um die Materialliste zu öffnen.

Material Bezeichnung	
Baustahl S 235	
Baustahl S 235	DIN EN 1993-1-1:2010-12
Baustahl S 275	DIN EN 1993-1-1:2010-12
Baustahl S 355	DIN EN 1993-1-1:2010-12
Baustahl S 450	DIN EN 1993-1-1:2010-12
Baustahl S 275 N	DIN EN 1993-1-1:2010-12
Baustahl S 275 NL	DIN EN 1993-1-1:2010-12
Baustahl S 355 N	DIN EN 1993-1-1:2010-12
Baustahl S 355 NL	DIN EN 1993-1-1:2010-12
Baustahl S 420 N	DIN EN 1993-1-1:2010-12
Baustahl S 420 NL	DIN EN 1993-1-1:2010-12

Bild 2.8: Liste der Materialien

Die Liste enthält nur Materialien der Kategorie „Stahl“. Grundsätzlich ist auch die Bemessung anderer Materialien möglich, wenn das Nachweisconcept auf einem Vergleich von vorhandenen Normal-, Schub- und Vergleichsspannungen mit zulässigen Spannungen beruht (z. B. Spannungsnachweis für Aluminium- oder Edelstahl-Profile). Weitere Normvorgaben müssen selbstverständlich berücksichtigt werden!

Nach der Übernahme werden die bemessungsrelevanten Materialkennwerte aktualisiert.

Die Grenzspannungen eines rot markierten, unzulässigen Materials (z. B. Laubholz) können durch die Eingabe der *Streckgrenze* (Spalte C) global oder nach Anhängen von *Manuell* (Spalte D) benutzerdefiniert festgelegt werden. Sind die zulässigen Spannungen in den Spalten E bis G eingetragen, verschwindet die rote Markierung.



Die Übernahme von Materialien aus der [Bibliothek] ist auf [Seite 12](#) beschrieben.

Teilsicherheitsbeiwert γ_M

Dieser Beiwert beschreibt den Sicherheitsfaktor in den Bemessungswerten der Materialfestigkeiten (daher Index *M*). Mit dem Faktor γ_M wird der charakteristische Wert der Streckgrenze f_{yk} abgemindert, um die Grenznormalspannung σ_{Rd} (siehe [Gleichung 2.1, Seite 11](#)) und die Grenzschubspannung τ_{Rd} (siehe [Gleichung 2.2, Seite 11](#)) zu bestimmen.



Der Faktor γ_M fließt somit z. B. für [2] doppelt in die Bemessung ein, wenn nach Theorie II. oder III. Ordnung gerechnet wird: Gemäß [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. [1] Abschnitt 4 oder [3] Abschnitt 3 entnommen werden.

Beim Ändern der Streckgrenze werden die Grenzspannungen in den Spalten E, F und G automatisch angepasst.


Bei vielen Materialien besteht ein Zusammenhang zwischen der charakteristischen Streckgrenze f_{yk} und der Dicke des Bauteils t . Die Dickenbereiche des selektierten Materials und die zugehörigen Streckgrenzen lassen sich im unteren Maskenabschnitt überprüfen.



Die Streckgrenzenbereiche sind in den Normen geregelt, z. B. [1] Tabelle 1. Über die Schaltfläche  können die Bauteildicken und Streckgrenzen angepasst werden (siehe Bild 2.10, Seite 13).

Grenzspannungen

Bei Materialien, die in der Bibliothek hinterlegt sind, sind die Grenzspannungen voreingestellt.

Um die Grenzspannungen anzupassen, kann das Kontrollfeld *Manuell* oder die Schaltfläche  benutzt werden (siehe Bild 2.10, Seite 13).

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 gekennzeichnet.

Material Bezeichnung
Baustahl S 235* DIN 18800:1990-11

grenz σ_x

Die Grenznormalspannung stellt die zulässige Spannung für die Beanspruchung infolge Biegung und Normalkraft dar. Sie bestimmt sich gemäß [1] Element (746) aus dem charakteristischen Wert der Streckgrenze, der mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_M abgemindert wird.

$$\sigma_{x,Rd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} \quad (2.1)$$

grenz τ

Die Grenzschubspannung gibt die zulässige Schubspannung infolge Querkraft und Torsion an. Nach [1] Element (746) fließt in die Gleichung zur Ermittlung der Grenzschubspannung auch der Teilsicherheitsbeiwert γ_M ein.

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}} \quad (2.2)$$

grenz σ_v

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

Materialbibliothek

Viele Materialien sind in einer Datenbank hinterlegt. Diese ist zugänglich über das Menü

Bearbeiten → **Materialbibliothek**



oder die links dargestellte Schaltfläche.

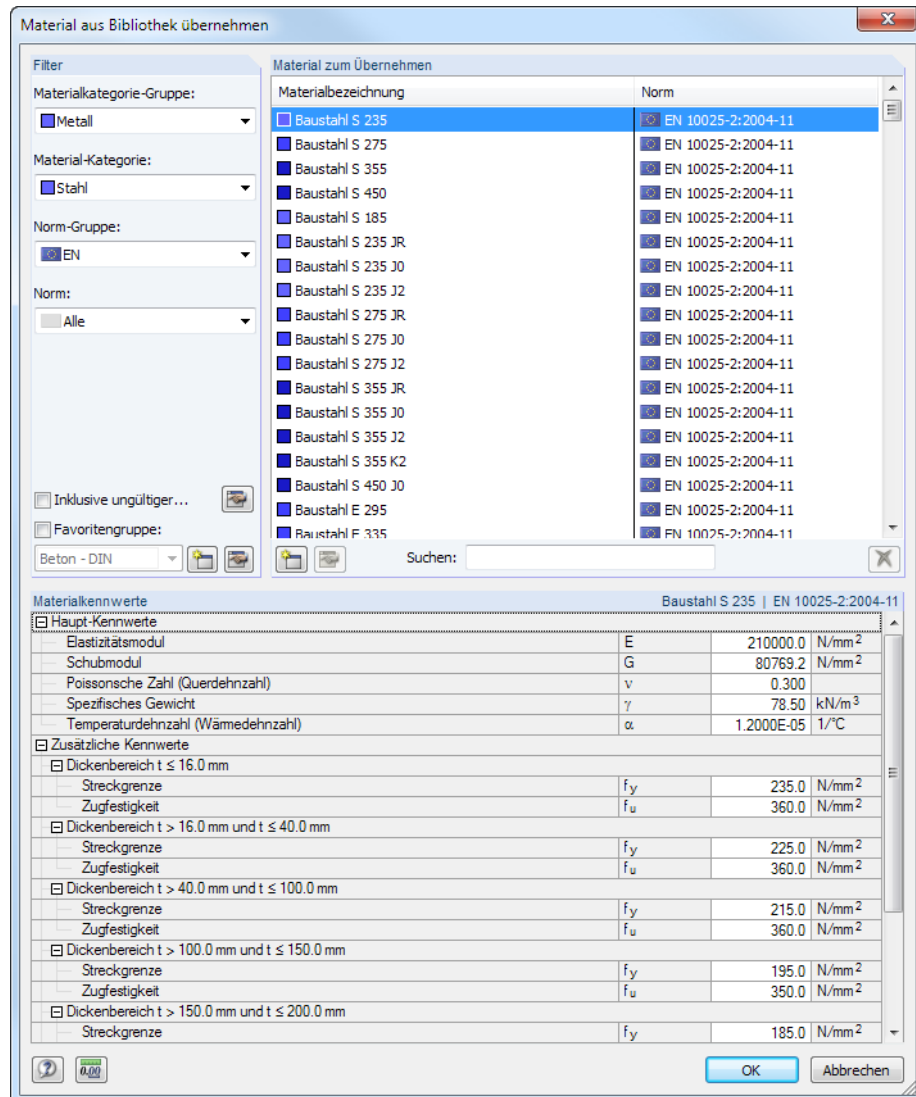
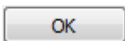


Bild 2.9: Dialog *Material aus Bibliothek übernehmen*

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



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

Das Kapitel 4.3 des RFEM-Handbuchs beschreibt, wie Materialien gefiltert, ergänzt oder neu sortiert werden können.

In der Bibliothek stehen auch Materialien der Kategorien *Gusseisen* und *Nichtrostender Stahl* zur Auswahl. Bitte prüfen Sie jedoch für Ihre Nachweise, ob diese Materialien vom Bemessungskonzept der Norm abgedeckt sind.

Materialkennwerte ändern

Material Nr.	A Material Bezeichnung
1	Baustahl S 235 EN
2	Baustahl S 235 EN

Die Schaltfläche ermöglicht es, die Bauteildicken, Streckgrenzen und Grenzspannungen des Materials anzupassen, das in der Tabelle oberhalb selektiert ist.

Es erscheint folgender Dialog.

Material bearbeiten

Material-Bezeichnung:

Teilsicherheitsbeiwert γ_M : [:]

Streckgrenzen und Grenzspannungen in Abhängigkeit der Bauteildicke

Bereich Nr.	A Bauteildicke t [mm]		C Streckgrenze f_{yk} [N/mm ²]	E Grenzspannungen [N/mm ²]		
	von	B bis		D grenz σ_x	grenz τ	F grenz σ_v
1	0.0	40.0	240.0	218.2	126.0	218.2
2	40.0	100.0	215.0	195.5	112.8	195.5

Anzahl Bereiche: Manuelle von der Streckgrenze unabhängige Definition der Grenzspannungen

Kommentar:

Bild 2.10: Dialog *Material bearbeiten*

In der Tabelle *Streckgrenzen und Grenzspannungen in Abhängigkeit der Bauteildicke* können die Grenzen der *Bauteildicke t* durch manuelle Einträge in Spalte **B** verschoben werden.

Die *Anzahl* der Bereiche ist in den Normen geregelt.

Ist das Kontrollfeld *Manuelle von der Streckgrenze unabhängige Definition der Grenzspannungen* angehakt, können die Grenzspannungen für jeden Bereich frei festgelegt werden. Wenn dieses Kontrollfeld deaktiviert ist, ermitteln sich die Grenzspannungen aus der Streckgrenze f_{yk} (Spalte C) und dem *Teilsicherheitsbeiwert* γ_M gemäß [Gleichung 2.1](#) und [Gleichung 2.2](#) auf [Seite 11](#).

2.1.3 Flächen

Diese Maske verwaltet die Flächen, die für die Bemessung vorgesehen sind. Hier können auch Optimierungsparameter vorgegeben werden.

1.3 Flächen

Fläche Nr.	A Material Nr.	B Dicke Typ	C d [mm]	D Optimieren	E Anmerkung	F Fläche A [cm ²]	G Gewicht G [t]	H Kommentar
51	1	Konstant	6.0	<input type="checkbox"/>		127626	0.60	
52	1	Konstant	6.0	<input type="checkbox"/>		127626	0.60	
53	1	Konstant	30.0	<input checked="" type="checkbox"/>		11900	0.28	
54	1	Konstant	30.0	<input type="checkbox"/>		1613	0.04	
55	1	Konstant	30.0	<input type="checkbox"/>		1600	0.04	
56	1	Konstant	30.0	<input type="checkbox"/>		11288	0.27	
57	1	Konstant	30.0	<input type="checkbox"/>		1600	0.04	
58	1	Konstant	30.0	<input type="checkbox"/>		1613	0.04	
59	1	Konstant	30.0	<input type="checkbox"/>		11900	0.28	
60	1	Konstant	30.0	<input type="checkbox"/>		11287	0.27	
61	1	Konstant	30.0	<input type="checkbox"/>		11288	0.27	
62	1	Konstant	30.0	<input type="checkbox"/>		11900	0.28	
63	1	Konstant	30.0	<input type="checkbox"/>		11288	0.27	
64	1	Veränderlich		<input type="checkbox"/>	2)	11900	0.16	
65	1	Veränderlich		<input type="checkbox"/>	2)	875	0.01	
66	1	Konstant	15.0	<input type="checkbox"/>		875	0.01	
67	1	Konstant	15.0	<input type="checkbox"/>		875	0.01	
68	1	Konstant	15.0	<input type="checkbox"/>		875	0.01	

1 - Baustahl S 275 JR
EN 10025:1994-03

Bild 2.11: Maske 1.3 Flächen

Dicke

Typ

Die Bemessung ist nur für Flächen mit isotropen Eigenschaften möglich, die eine konstante oder linear veränderliche Dicke aufweisen. Flächen mit orthotropen Steifigkeiten können nicht nachgewiesen werden.

d

In dieser Spalte werden die in RFEM definierten Flächendicken angezeigt. Die Werte können für die Bemessung geändert werden.



Bei geänderten Flächendicken werden die Schnittgrößen bemessen, die sich mit den Steifigkeiten der ursprünglichen Flächendicken von RFEM ergeben. Daher müssen bei statisch unbestimmten Systemen die Dicken auch in RFEM angepasst werden, damit die Spannungsanalyse die korrekte Schnittgrößenverteilung berücksichtigt. In Maske 1.3 besteht die Möglichkeit, die Flächendicken nach RFEM zu exportieren (siehe Bild 6.6, Seite 89).

Max. Ausnutzung

Diese Spalte wird nach der Berechnung angezeigt. Sie stellt eine Entscheidungshilfe zur Optimierung dar: Anhand der Nachweisquotienten und der farbigen Relationsbalken wird deutlich, welche Flächen wenig ausgenutzt und überdimensioniert bzw. überlastet und unterdimensioniert sind.

Optimieren

Jede Fläche kann einen Optimierungsprozess durchlaufen: Es wird für die RFEM-Schnittgrößen die Flächendicke gesucht, die einer benutzerdefinierten Höchstauslastung am nächsten kommt. Diese kann im Dialog *Details*, Register *Optionen* festgelegt werden (siehe [Bild 2.16, Seite 25](#)).

Um eine Fläche zu optimieren, ist das Kontrollfeld in Spalte D bzw. E zu aktivieren. Es erscheint der Dialog *Optimierungsparameter*, der im [Kapitel 6.2.1 auf Seite 88](#) beschrieben ist.



Flächen mit linear veränderlichen Dicken können nicht optimiert werden.

Anmerkung

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

Fläche A

Diese Spalte informiert über den Flächeninhalt einer jeden Fläche.

Gewicht G

In dieser Spalte ist jeweils die Masse der Fläche angegeben.

Kommentar

Die Eingabefelder stehen für benutzerdefinierte Anmerkungen zur Verfügung.

Die Schaltflächen am Ende der Tabelle sind mit folgenden Funktionen belegt:



	Ermöglicht die Auswahl einer Fläche im RFEM-Arbeitsfenster
	Ermöglicht den Wechsel in das RFEM-Arbeitsfenster, um die Ansicht zu ändern

Tabelle 2.2: Schaltflächen in Maske *1.3 Flächen*

2.1.4 Daten für Gebrauchstauglichkeit

Die letzte Eingabemaske steuert die Vorgaben für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit. Sie wird angezeigt, wenn im Register *Gebrauchstauglichkeit* der Maske 1.1 (siehe [Kapitel 2.1.1.2, Seite 8](#)) Lastfälle oder Kombinationen für die Bemessung ausgewählt wurden.

1.4 Daten für Gebrauchstauglichkeit

Nr.	A Liste der Flächen	B Referenzlänge		D Kragfläche	E Kommentar
		Manuell	L [mm]		
1	51	<input type="checkbox"/>	4948.0	<input type="checkbox"/>	
2	53-58	<input type="checkbox"/>	6400.0	<input type="checkbox"/>	
3	61,62	<input type="checkbox"/>	450.0	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	64	<input checked="" type="checkbox"/>	980.0 ▾...	<input type="checkbox"/>	Benutzerdefinierte Bezugslänge
5					

Bild 2.12: Maske 1.4 Daten für Gebrauchstauglichkeit

Liste der Flächen

In dieser Spalte sind die Nummern der nachzuweisenden Flächen anzugeben. Über die Schaltfläche , die mit einem Klick in das Eingabefeld erscheint, lassen sie sich auch grafisch im RFEM-Arbeitsfenster bestimmen.

Die Bezugsängen der Flächen werden automatisch in Spalte C eingetragen.

Referenzlänge

In Spalte C werden die Längen der längsten Randlinien angegeben, die in den ausgewählten Flächen existieren. Für die Voreinstellung werden die Längen der Einzellinien herangezogen, d. h. Linienzüge bleiben unberücksichtigt!

Referenzlänge	
Manuell	L [mm]
<input checked="" type="checkbox"/>	4000.0 ▾...

Um eine Bezugslänge anzupassen, ist das Kontrollfeld *Manuell* anzuhaken. Damit wird das Eingabefeld *L* zugänglich, in das der Wert eingetragen, über in der Liste ausgewählt oder mit im RFEM-Arbeitsfenster grafisch bestimmt werden kann.

Abstand messen
Wählen Sie bitte zwei Punkte, um deren Abstand messen.

Knoten Nr. 617
Abstand [mm]

Bild 2.13: Referenzlänge grafisch bestimmen



Manuelle Korrekturen sind z. B. für Flächen erforderlich, die innerhalb anderer Flächen liegen oder geteilte Randlinien aufweisen.

Kragfläche

Für die korrekte Ermittlung der Grenzverformungen ist anzugeben, ob eine allseitig gestützte oder eine auskragende Fläche vorliegt.

Details...

Beim Nachweis der Durchbiegung gelten für Kragflächen höhere Grenzwerte. Diese können im Dialog *Details*, Register *Gebrauchstauglichkeit* überprüft und bei Bedarf angepasst werden (siehe Bild 2.15, Seite 24).

2.2 Berechnung

Details...

Vor dem Start der Berechnung sollten die Bemessungsdetails überprüft werden. Der entsprechende Dialog ist in jeder Maske des Zusatzmoduls über die Schaltfläche [Details] zugänglich.

2.2.1 Detaileinstellungen

Der Dialog *Details* besteht aus drei Registern.

2.2.1.1 Spannungen

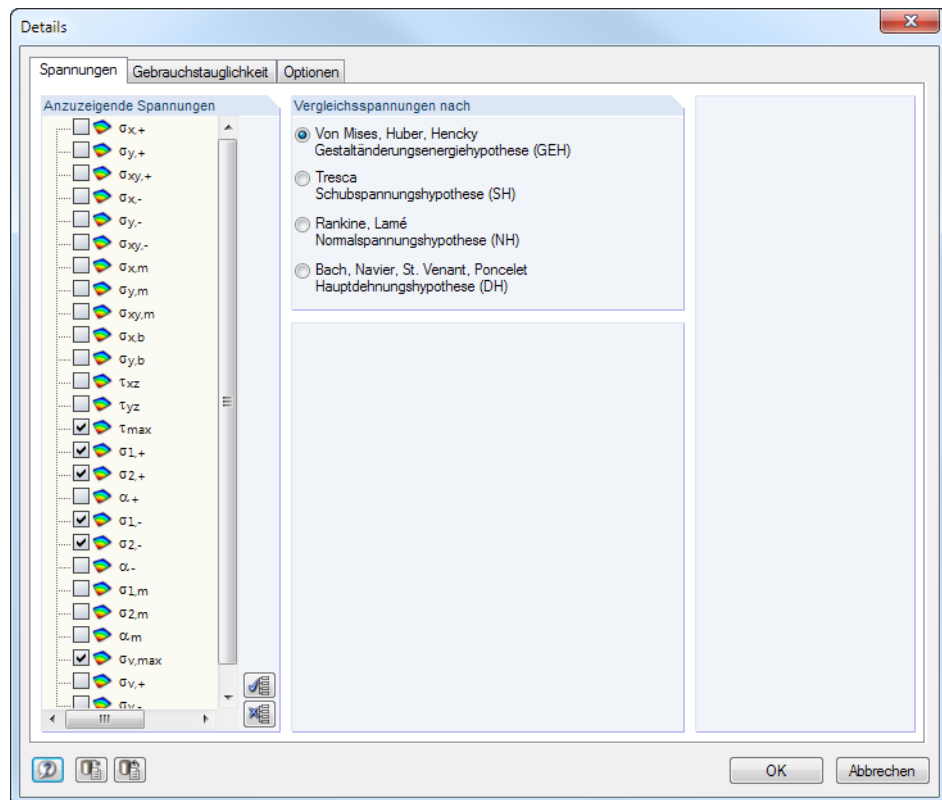


Bild 2.14: Dialog *Details*, Register *Spannungen*

Anzuzeigende Spannungen

In den Ergebnismasken 2.1 bis 2.6 sind folgende Spannungsarten voreingestellt:

- Schubspannung τ_{\max}
- Hauptspannungen σ in Richtung der Hauptachsen 1 und 2 an Flächenoberseite (–) und Flächenunterseite (+)
- Membranspannungen σ_m in Richtung der Hauptachsen 1 und 2
- Vergleichsspannung $\sigma_{v,\max}$
- Membran-Vergleichsspannung $\sigma_{v,m}$

Im Abschnitt *Anzuzeigende Spannungen* können die Spannungsarten festgelegt werden, die in den Ergebnismasken ausgegeben werden sollen.

Die Schaltflächen am Ende der Liste erleichtern die Auswahl:





	Markiert alle Spannungsarten in der Liste
	Entfernt die Häkchen von allen Spannungsarten
	Stellt die Standardeinstellungen wieder her
	Speichert die aktuelle Auswahl als neue Voreinstellung

Tabelle 2.3: Schaltflächen im Dialog *Details*

Die Spannungen der Flächen ermitteln sich wie folgt:

	Spannung in Richtung der lokalen x-Achse auf der positiven Seite der Fläche (d. h. Seite, aus der die Flächenachse z herauszeigt)
$\sigma_{x,+}$	$\sigma_{x,+} = \frac{n_x}{d} + \frac{6 \cdot m_x}{d^2} \quad (2.3)$ <p>d : Dicke der Fläche</p>
	Spannung in Richtung der lokalen y-Achse auf der positiven Flächenseite
$\sigma_{y,+}$	$\sigma_{y,+} = \frac{n_y}{d} + \frac{6 \cdot m_y}{d^2} \quad (2.4)$
	Drillspannung auf der positiven Flächenseite
$\sigma_{xy,+}$	$\sigma_{xy,+} = \frac{n_{xy}}{d} + \frac{6 \cdot m_{xy}}{d^2} \quad (2.5)$
	Spannung in Richtung der lokalen x-Achse auf der negativen Seite der Fläche (d. h. Seite entgegen der Flächenachse z)
$\sigma_{x,-}$	$\sigma_{x,-} = \frac{n_x}{d} - \frac{6 \cdot m_x}{d^2} \quad (2.6)$
	Spannung in Richtung der lokalen y-Achse auf der negativen Flächenseite
$\sigma_{y,-}$	$\sigma_{y,-} = \frac{n_y}{d} - \frac{6 \cdot m_y}{d^2} \quad (2.7)$
	Drillspannung auf der negativen Flächenseite
$\sigma_{xy,-}$	$\sigma_{xy,-} = \frac{n_{xy}}{d} - \frac{6 \cdot m_{xy}}{d^2} \quad (2.8)$
	Membranspannung infolge Normalkraft n_x
$\sigma_{x,m}$	$\sigma_{x,m} = \frac{n_x}{d} \quad (2.9)$

	Membranspannung infolge Normalkraft n_y	
$\sigma_{y,m}$	$\sigma_{y,m} = \frac{n_y}{d}$	(2.10)
	Membranspannung infolge Schubfluss n_{xy}	
$\sigma_{xy,m}$	$\sigma_{xy,m} = \frac{n_{xy}}{d}$	(2.11)
	Spannung infolge Biegemoment m_x	
$\sigma_{x,b}$	$\sigma_{x,b} = \frac{6 \cdot m_x}{d^2}$	(2.12)
	Spannung infolge Biegemoment m_y	
$\sigma_{y,b}$	$\sigma_{y,b} = \frac{6 \cdot m_y}{d^2}$	(2.13)
	Schubspannung senkrecht zur Fläche in Richtung der x-Achse	
τ_{xz}	$\tau_{xz} = \frac{3 \cdot v_x}{2 \cdot d}$	(2.14)
	Schubspannung senkrecht zur Fläche in Richtung der y-Achse	
τ_{yz}	$\tau_{yz} = \frac{3 \cdot v_y}{2 \cdot d}$	(2.15)
	Maximale Schubspannung senkrecht zur Fläche	
τ_{\max}	$\tau_{\max} = \sqrt{\tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2}$	(2.16)
	Spannung in Richtung der Hauptachse 1 auf der positiven Seite der Fläche (d. h. Seite, aus der die Flächenachse z herauszeigt)	
$\sigma_{1,+}$	$\sigma_{1,+} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,+} + \sigma_{y,+} + \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,+}^2} \right)$	(2.17)
	Spannung in Richtung der Hauptachse 2 auf der positiven Flächenseite	
$\sigma_{2,+}$	$\sigma_{2,+} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,+} + \sigma_{y,+} - \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,+}^2} \right)$	(2.18)
	Winkel zwischen der lokalen Achse x (bzw. y) und der Hauptachse 1 (bzw. 2) für die Spannungen auf der positiven Flächenseite	
α_+	$\alpha_+ = \frac{1}{2} \operatorname{atan2} \left(\frac{2 \cdot \sigma_{xy,+}}{\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+}} \right) \in (-90^\circ, 90^\circ]$	(2.19)

$\sigma_{1,-}$	Spannung in Richtung der Hauptachse 1 auf der negativen Seite der Fläche (d. h. Seite entgegen der Flächenachse z)	$\sigma_{1,-} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,-} + \sigma_{y,-} + \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,-}^2} \right)$	(2.20)
$\sigma_{2,-}$	Spannung in Richtung der Hauptachse 2 auf der negativen Flächenseite	$\sigma_{2,-} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,-} + \sigma_{y,-} - \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,-}^2} \right)$	(2.21)
α_-	Winkel zwischen der lokalen Achse x (bzw. y) und der Hauptachse 1 (bzw. 2) für die Spannungen auf der negativen Flächenseite	$\alpha_- = \frac{1}{2} \operatorname{atan2} \left(\frac{2 \cdot \sigma_{xy,-}}{\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-}} \right) \in (-90^\circ, 90^\circ]$	(2.22)
$\sigma_{1,m}$	Membranspannung in Richtung der Hauptachse 1	$\sigma_{1,m} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,m} + \sigma_{y,m} + \sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,m}^2} \right)$	(2.23)
$\sigma_{2,m}$	Membranspannung in Richtung der Hauptachse 2	$\sigma_{2,m} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,m} + \sigma_{y,m} - \sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,m}^2} \right)$	(2.24)
α_m	Winkel zwischen der lokalen Achse x (bzw. y) und der Hauptachse 1 (bzw. 2) für die Spannungen auf der negativen Flächenseite	$\alpha_m = \frac{1}{2} \operatorname{atan2} \left(\frac{2 \cdot \sigma_{xy,m}}{\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m}} \right) \in (-90^\circ, 90^\circ]$	(2.25)
$\sigma_{v,\max}$	Größte Vergleichsspannung als Maximum von $\sigma_{v,+}$ und $\sigma_{v,-}$		
$\sigma_{v,+}$	Vergleichsspannung auf der positiven Flächenseite gemäß gewählter Spannungshypothese (siehe Tabelle 2.5 bis Tabelle 2.8)		
$\sigma_{v,-}$	Vergleichsspannung auf der negativen Flächenseite		
$\sigma_{v,m}$	Membran-Vergleichsspannung gemäß gewählter Spannungshypothese		

Tabelle 2.4: Flächenspannungen

Vergleichsspannungen

Die Vergleichsspannungen aus den einzelnen Spannungskomponenten können nach vier verschiedenen Ansätzen ermittelt werden.

Von Mises, Huber, Hencky

Die Spannungshypothese nach VON MISES wird auch *Gestaltänderungsenergiehypothese* genannt. Sie geht davon aus, dass der Werkstoff versagt, wenn die Gestaltänderungsenergie eine bestimmte Grenze überschreitet. Die Gestaltänderungsenergie stellt diejenige Energie dar, die eine Verzerung oder Deformation des Körpers hervorruft.

Dieser Ansatz stellt die bekannteste und am häufigsten angewandte Vergleichsspannungshypothese dar. Sie eignet sich für alle Materialien, die nicht spröde sind. Ein wichtiges Anwendungsgebiet ist somit der Stahlhochbau.

Die Vergleichsspannungen nach VON MISES für den ebenen Spannungszustand bedeuten:

$\sigma_{v,+}$	<p>Vergleichsspannung auf der positiven Flächenseite (d. h. Seite, aus der die Flächenachse z herauszeigt)</p> $\sigma_{v,+} = \sqrt{\sigma_{x,+}^2 + \sigma_{y,+}^2 - \sigma_{x,+} \cdot \sigma_{y,+} + 3 \cdot \sigma_{xy,+}^2} \quad (2.26)$
$\sigma_{v,-}$	<p>Vergleichsspannung auf der negativen Flächenseite</p> $\sigma_{v,-} = \sqrt{\sigma_{x,-}^2 + \sigma_{y,-}^2 - \sigma_{x,-} \cdot \sigma_{y,-} + 3 \cdot \sigma_{xy,-}^2} \quad (2.27)$
$\sigma_{v,m}$	<p>Membran-Vergleichsspannung als der größte Absolutbetrag von</p> $\sigma_{v,m} = \frac{\sigma_{x,m} + \sigma_{y,m}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m}}{2}\right)^2 + \sigma_{xy,m}^2} \quad (2.28)$ <p>oder</p> $\sigma_{v,m} = \frac{\sigma_{x,m} + \sigma_{y,m}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m}}{2}\right)^2 + \sigma_{xy,m}^2} \quad (2.29)$ <p>oder</p> $\sigma_{v,m} = \sqrt{\sigma_{x,m}^2 + \sigma_{y,m}^2 - \sigma_{x,m} \cdot \sigma_{y,m} + 3 \cdot \sigma_{xy,m}^2} \quad (2.30)$

Tabelle 2.5: Vergleichsspannungen nach VON MISES, HUBER, HENCKY

- Vergleichsspannungen nach
- Von Mises, Huber, Hencky
Gestaltänderungsenergiehypothese (GEH)
 - Tresca
Schubspannungshypothese (SH)
 - Rankine, Lamé
Normalspannungshypothese (NH)
 - Bach, Navier, St. Venant, Poncelet
Hauptdehnungshypothese (DH)

Tresca

Die Hypothese nach TRESCA ist auch als *Schubspannungshypothese* bekannt. Es 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.

Die Vergleichsspannungen werden wie folgt ermittelt:

	Vergleichsspannung auf der positiven Flächenseite
$\sigma_{v,+}$	$\sigma_{v,+} = \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,+}^2} \quad (2.31)$
	Vergleichsspannung auf der negativen Flächenseite
$\sigma_{v,-}$	$\sigma_{v,-} = \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,-}^2} \quad (2.32)$
	Membran-Vergleichsspannung
$\sigma_{v,m}$	$\sigma_{v,m} = \sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,m}^2} \quad (2.33)$

Tabelle 2.6: Vergleichsspannungen nach TRESCA

Rankine, Lamé

Die Vergleichsspannungshypothese nach RANKINE wird auch als *Normalspannungshypothese* bezeichnet. Es wird davon ausgegangen, dass die größte Hauptspannung zum Versagen führt.

Die Vergleichsspannungen werden wie folgt ermittelt:

	Größter Absolutwert der Vergleichsspannung auf der positiven Flächenseite
$\sigma_{v,+}$	$\sigma_{v,+} = \frac{1}{2} \sigma_{x,+} + \sigma_{y,+} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,+}^2} \quad (2.34)$
	Größter Absolutwert der Vergleichsspannung auf der negativen Flächenseite
$\sigma_{v,-}$	$\sigma_{v,-} = \frac{1}{2} \sigma_{x,-} + \sigma_{y,-} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,-}^2} \quad (2.35)$
	Größter Absolutwert der Membran-Vergleichsspannung
$\sigma_{v,m}$	$\sigma_{v,m} = \frac{1}{2} \sigma_{x,m} + \sigma_{y,m} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,m}^2} \quad (2.36)$

Tabelle 2.7: Vergleichsspannungen nach RANKINE, LAMÉ

Bach, Navier, St. Venant, Poncelet

Dieser Ansatz zur Ermittlung der Vergleichsspannungen wird auch *Hauptdehnungshypothese* genannt. Es wird davon ausgegangen, dass das Versagen in Richtung der größten Dehnung auftritt. Die Hypothese gleicht der oben beschriebenen Spannungsermittlung nach RANKINE. Anstelle der Hauptspannung wird jedoch die Hauptdehnung verwendet.

Die Vergleichsspannungen werden wie folgt ermittelt:

	Größter Absolutwert der Vergleichsspannung auf der positiven Flächenseite
$\sigma_{v,+}$	$\sigma_{v,+} = \frac{1-\nu}{2} \cdot \sigma_{x,+} + \sigma_{y,+} + \frac{1-\nu}{2} \cdot \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,+}^2} \quad (2.37)$
	ν : Querdehnzahl des Materials
	Größter Absolutwert der Vergleichsspannung auf der negativen Flächenseite
$\sigma_{v,-}$	$\sigma_{v,-} = \frac{1-\nu}{2} \cdot \sigma_{x,-} + \sigma_{y,-} + \frac{1-\nu}{2} \cdot \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,-}^2} \quad (2.38)$
	Größter Absolutwert der Membran-Vergleichsspannung
$\sigma_{v,m}$	$\sigma_{v,m} = \frac{1-\nu}{2} \cdot \sigma_{x,m} + \sigma_{y,m} + \frac{1-\nu}{2} \cdot \sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,m}^2} \quad (2.39)$

Tabelle 2.8: Vergleichsspannungen nach BACH, NAVIER, ST. VENANT, PONCELET

2.2.1.2 Gebrauchstauglichkeit

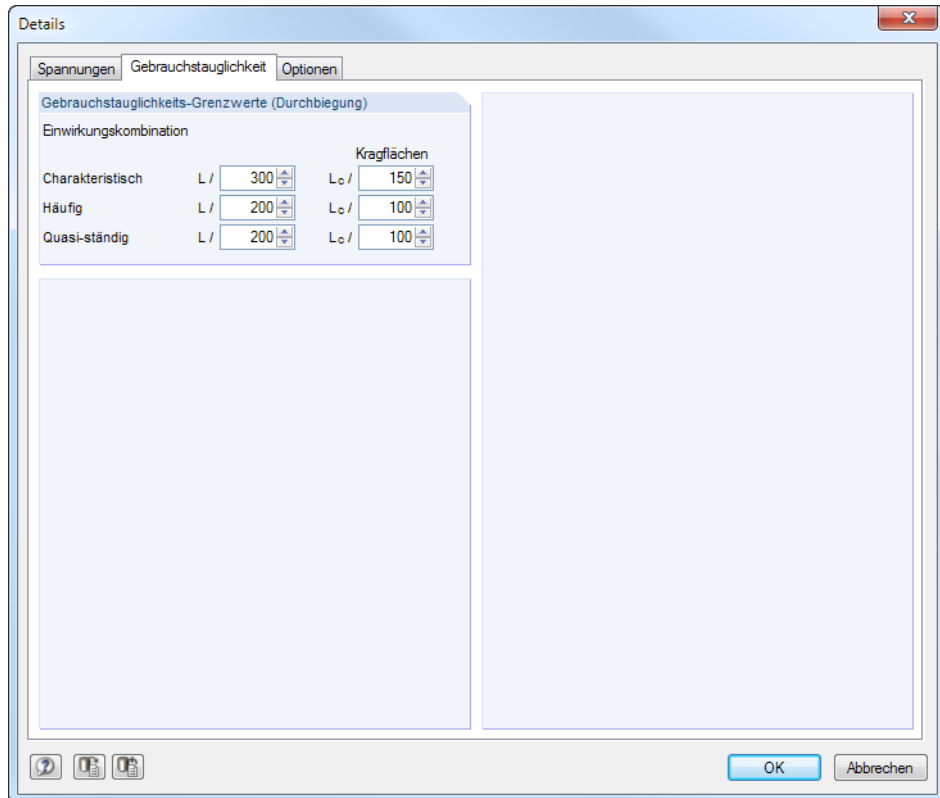


Bild 2.15: Dialog *Details*, Register *Gebrauchstauglichkeit*

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 ist im Register *Gebrauchstauglichkeit* der Maske *1.1 Basisangaben* vorzunehmen (siehe [Kapitel 2.1.1.2, Seite 8](#)).

Die Referenzlängen L der Flächen werden in Maske *1.4 Daten für Gebrauchstauglichkeit* verwaltet (siehe [Kapitel 2.1.4, Seite 16](#)).

2.2.1.3 Optionen

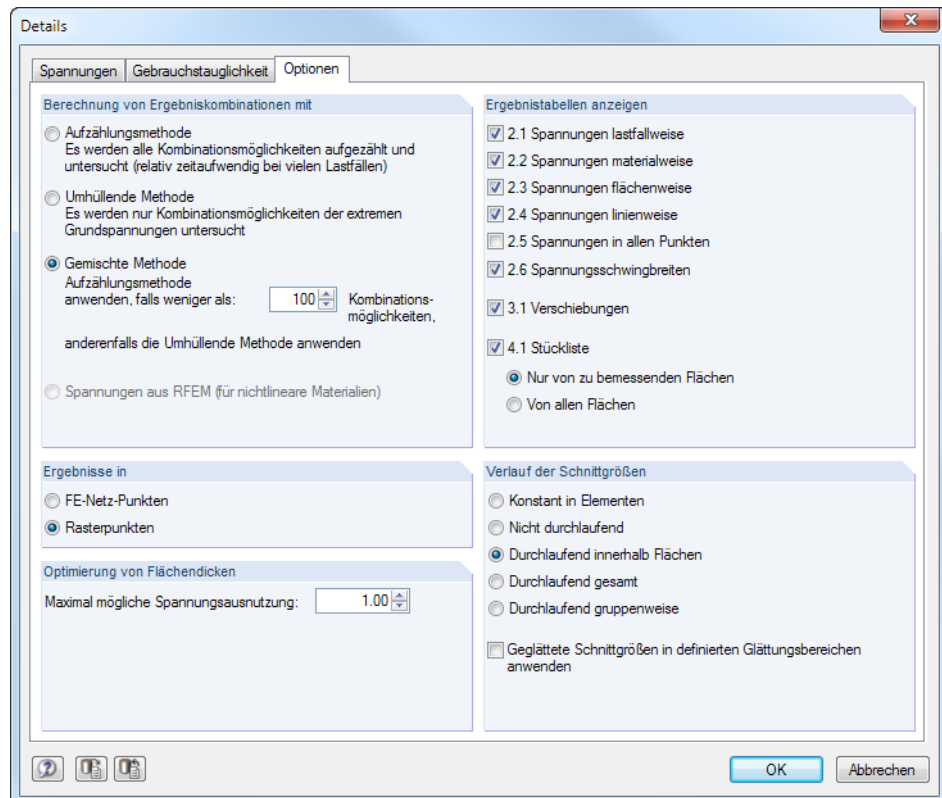


Bild 2.16: Dialog *Details*, Register *Optionen*

Berechnung von Ergebniskombinationen

Dieser Abschnitt steuert, wie die Schnittgrößen von Ergebniskombinationen für die Bemessung ermittelt werden. Die *Gemischte Methode* ist voreingestellt. Sie überprüft, ob die *Aufzählungsmethode* oder die *Umhüllende Methode* günstiger ist.

Aufzählungsmethode

Die Lastfall-Schnittgrößen werden zeilenweise ausgewertet und dann 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: Bei einer Ergebniskombination mit n Lastfällen bestehen 2^n Kombinationsmöglichkeiten!

Je mehr Lastfälle in der Kombination enthalten sind, umso erheblich mehr Zeit wird für die Bemessung benötigt. In den Nachweisen sind aber alle möglichen Konstellationen erfasst.

Umhüllende Methode

Es werden nur die Extremwerte der Schnittgrößen aus jedem Lastfall betrachtet und anschließend kombiniert. Damit werden u. U. die ungünstigsten Konstellationen nicht erfasst, die sich beim zeilenweisen Abarbeiten ergeben würden. Bei einer großen Anzahl von Lastfällen in einer EK bleibt mit dieser Methode jedoch der zeitliche Rechenaufwand in einem verträglichen Rahmen.



Da nur die Maximalwerte untersucht werden, können die Nachweise auf der unsicheren Seite liegen. Als kritisch erweisen sich Kombinationen mit Lastfällen, deren Wirkrichtungen orthogonal zueinander liegen. Hier empfiehlt sich eine Kontrollrechnung nach der Aufzählungsmethode.

Gemischte Methode

Vor der Bemessung wird untersucht, wie viele Kombinationsmöglichkeiten mit den Lastfällen bestehen. Enthält die Ergebniskombination z. B. sieben Lastfälle, sind $2^7 = 128$ Schnittgrößenkombinationen möglich (siehe *Aufzählungsmethode*). Da diese Anzahl größer ist als die Voreinstellung von 100 Kombinationen, erfolgt die Bemessung nach der *Umhüllenden Methode*.

Im Eingabefeld kann die Obergrenze der Kombinationsmöglichkeiten festgelegt werden, die nach der genauen Aufzählungsmethode bemessen werden.

Die *Gemischte Methode* ist ein Kompromiss zwischen Ergebnisgenauigkeit und Berechnungsdauer.

Spannungen aus RFEM

Die Spannungen werden direkt aus den Flächenschnittgrößen der Ergebniskombination ermittelt, wie sie in den RFEM-Ergebnistabellen 4.18 und 4.19 ausgewiesen werden. Damit lassen sich z. B. Ergebniskombinationen untersuchen, die mit RF-STAGES erzeugt wurden (für dieses Modul ist keine Berechnung von Lastfallschnittgrößen möglich) oder EK-Schnittgrößen infolge nichtlinearer Materialeigenschaften bemessen.

Ergebnisse in

Gemäß Voreinstellung werden die Spannungen und Verschiebungen in den *FE-Netz-Punkten* ausgegeben. Alternativ ist die Ergebnisausgabe in den benutzerdefinierten *Rasterpunkten* möglich, die in RFEM bei den Flächeneigenschaften festgelegt sind (siehe RFEM-Handbuch, Kapitel 8.13).

Am unteren Ende der Ergebnistabellen befinden sich zwei Auswahlfelder. Sie steuern ebenfalls, ob die Ergebnisse der FE-Netz- oder Rasterpunkte angezeigt werden.

FE-Netz-Punkte Rasterpunkte

Optimierung von Flächendicken

Als Ziel der Optimierung ist eine maximale Ausnutzung von 100 % voreingestellt. Bei Bedarf kann hier ein anderer Grenzwert vorgegeben werden.

Ergebnistabellen anzeigen

Hier kann ausgewählt werden, welche Ergebnismasken einschließlich Stückliste angezeigt werden sollen. Die Masken sind im [Kapitel 2.3](#) beschrieben.

Die Maske *2.5 Spannungen in allen Punkten* ist standardmäßig deaktiviert, da in der Regel viele Daten aufbereitet werden müssen. Nach dem Anhaken des Kontrollfeldes sind die Ergebnisse in sämtlichen FE-Netz- bzw. Rasterpunkten für die Auswertung verfügbar.

Ergebnistabellen anzeigen

- 2.1 Spannungen lastfallweise
- 2.2 Spannungen materialweise
- 2.3 Spannungen flächenweise
- 2.4 Spannungen linienweise
- 2.5 Spannungen in allen Punkten
- 2.6 Spannungsschwingbreiten
- 3.1 Verschiebungen
- 4.1 Stückliste
 - Nur von zu bemessenden Flächen
 - Von allen Flächen

Verlauf der Schnittgrößen

Die FE-Analyse ermittelt die Ergebnisse für jeden FE-Netzknoden. 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 9.7.1](#) 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.

Geglättete Schnittgrößen in definierten Glättungsbereichen anwenden

In der Regel werden die flächenweise geglätteten RFEM-Schnittgrößen für die Bemessung benutzt. Wenn das Kontrollfeld in diesem Abschnitt angehakt wird, erfolgt die Bemessung jedoch mit den Schnittgrößen, die in den benutzerdefinierten Glättungsbereichen von RFEM vorliegen (siehe

Verlauf der Schnittgrößen

- Konstant in Elementen
- Nicht durchlaufend
- Durchlaufend innerhalb Flächen
- Durchlaufend gesamt
- Durchlaufend gruppenweise
- Geglättete Schnittgrößen definierten Glättungsbereichen anwenden



RFEM-Handbuch, Kapitel 9.7.3). Mit den geglätteten Ergebnissen können Singularitäten reduziert und lokale Umlagerungseffekte im Modell berücksichtigt werden.

2.2.2 Start der Berechnung

Berechnung

In jeder Eingabemaske kann die [Berechnung] über die entsprechende Schaltfläche gestartet werden.

RF-STAHL Flächen sucht nach den Ergebnissen der zu bemessenden Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen. Liegen diese noch nicht vor, startet automatisch die RFEM-Berechnung zur Ermittlung der bemessungsrelevanten Schnittgrößen.

Die Berechnung kann auch in der RFEM-Oberfläche gestartet werden: Im Dialog *Zu berechnen* (Menü **Berechnung** → **Zu berechnen**) sind die Bemessungsfälle der Zusatzmodule wie Lastfälle oder Kombinationen aufgelistet.

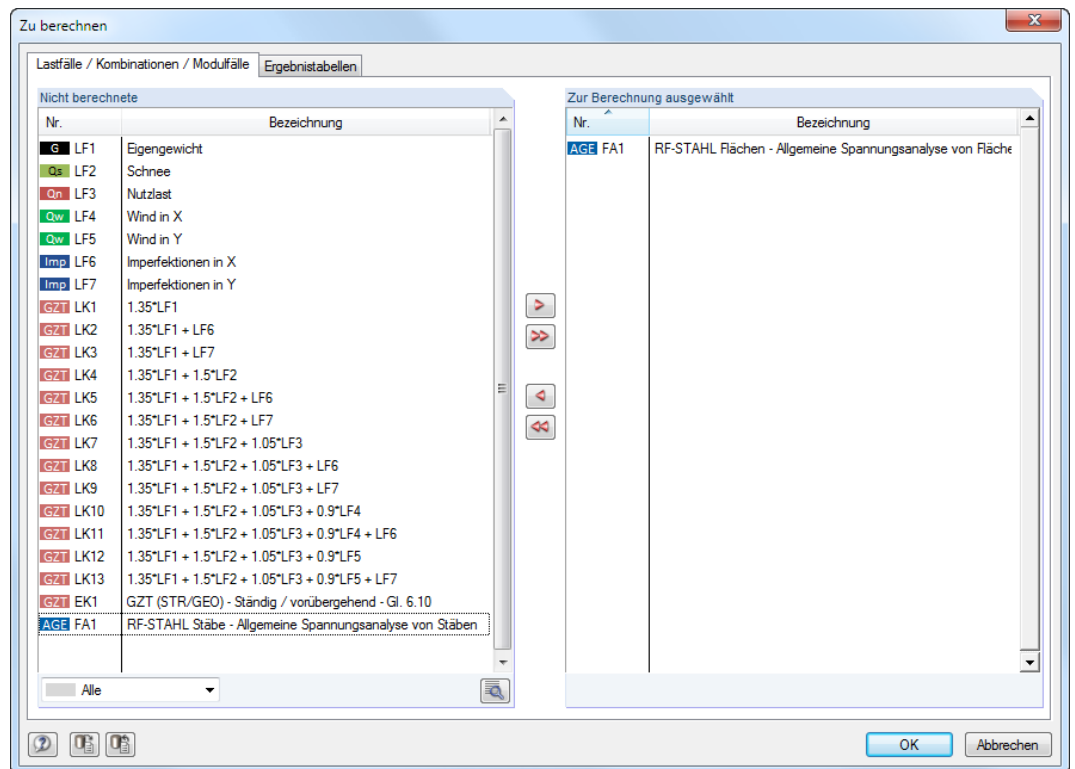
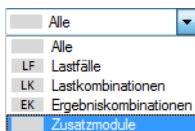


Bild 2.17: Dialog *Zu berechnen*



Falls die RF-STAHL-Fälle in der Liste *Nicht berechnete* fehlen, ist die Selektion am Ende der Liste auf *Alle* oder *Zusatzmodule* zu ändern.

Mit der Schaltfläche werden die selektierten RF-STAHL-Fälle in die rechte Liste übergeben. Ein Klick auf [OK] startet dann die Berechnung.



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

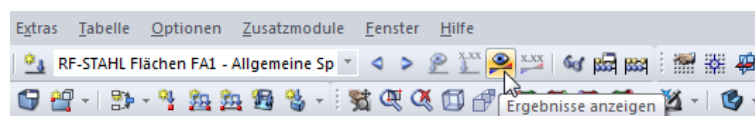


Bild 2.18: Direkte Berechnung eines RF-STAHL-Bemessungsfalls in RFEM

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

2.3 Ergebnisse

Dieses Kapitel stellt die Ergebnismasken der Reihe nach vor. Die Auswertung und Überprüfung der Ergebnisse ist im [Kapitel 4](#) ab [Seite 65](#) beschrieben.

Unmittelbar nach der Berechnung erscheint die Maske *2.1 Spannungen lastfallweise*.

Belastung	Fläche Nr.	FE-Netzpunkt Nr.	X	Y	Z	Spannung [N/mm ²]	Spannung [N/mm ²]	Spannung [N/mm ²]	Ausnutzung [%]
LKS									
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	$\sigma_{1,max}$	5.5	144.3	0.04
	53	597	-3225.0	3400.0	0.0	$\sigma_{1,+}$	155.7	250.0	0.62
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	$\sigma_{2,+}$	-150.7	250.0	0.60
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	$\sigma_{1,-}$	230.3	250.0	0.92
	53	597	-3225.0	3400.0	0.0	$\sigma_{2,-}$	-169.1	250.0	0.68
	53	375	1575.0	3400.0	0.0	$\sigma_{1,m}$	65.4	250.0	0.26
	55	141	3200.0	-3200.0	0.0	$\sigma_{2,m}$	-62.4	240.9	0.26
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	σ_v	212.1	250.0	0.85
	55	141	3200.0	-3200.0	0.0	$\sigma_{v,m}$	72.1	240.9	0.30
LKG									
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	τ_{max}	3.0	144.3	0.02
	53	373	1575.0	3225.0	0.0	$\sigma_{1,+}$	104.9	250.0	0.42
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	$\sigma_{2,+}$	-94.8	250.0	0.34
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	$\sigma_{1,-}$	129.6	250.0	0.52
	53	373	1575.0	3225.0	0.0	$\sigma_{2,-}$	-97.4	250.0	0.39
	53	375	1575.0	3400.0	0.0	$\sigma_{1,m}$	33.5	250.0	0.13
	53	307	-3075.0	3400.0	0.0	$\sigma_{2,m}$	-17.9	250.0	0.07
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	σ_v	120.9	250.0	0.48
	53	371	1425.0	3400.0	0.0	$\sigma_{v,m}$	31.2	250.0	0.12
Maximale Spannungen									
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	τ_{max}	5.5	144.3	0.04
	53	597	-3225.0	3400.0	0.0	$\sigma_{1,+}$	155.7	250.0	0.62
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	$\sigma_{2,+}$	-150.7	250.0	0.60
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	$\sigma_{1,-}$	230.3	250.0	0.92
	53	597	-3225.0	3400.0	0.0	$\sigma_{2,-}$	-169.1	250.0	0.68
	53	375	1575.0	3400.0	0.0	$\sigma_{1,m}$	65.4	250.0	0.26
	55	141	3200.0	-3200.0	0.0	$\sigma_{2,m}$	-62.4	240.9	0.26
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	σ_v	212.1	250.0	0.85
	55	141	3200.0	-3200.0	0.0	$\sigma_{v,m}$	72.1	240.9	0.30

Bild 2.19: Ergebnismaske mit Spannungen und Ausnutzungen

Die Tragfähigkeitsnachweise sind in den Ergebnismasken 2.1 bis 2.6 nach verschiedenen Kriterien sortiert.

Die Ergebnismaske 3.1 gibt Aufschluss über die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. In der letzten Maske 4.1 wird eine Stückliste für die bemessenen Flächen ausgegeben.



Jede Maske lässt sich durch Anklicken des Eintrags im Navigator direkt ansteuern. Mit den links dargestellten Schaltflächen wird die vorherige bzw. nächste Maske eingestellt. Das Blättern durch die Masken ist auch mit den Funktionstasten [F2] und [F3] möglich.

FE-Netz-Punkte Rasterpunkte

Am unteren Ende der Ergebnistabellen befinden sich zwei Auswahlfelder. Sie steuern, ob die Ergebnisdaten der *FE-Netz-Punkte* oder der *Rasterpunkte* angezeigt werden. Die Ergebnisse der FE-Punkte werden direkt vom Rechenkern ermittelt, die Rasterergebnisse durch Interpolation der FE-Netzergebnisse bestimmt.

OK

[OK] sichert die Ergebnisse. RF-STAHL Flächen wird beendet und es erfolgt die Rückkehr in das Hauptprogramm RFEM.

2.3.1 Spannungen lastfallweise

Diese Maske bietet eine nach Lastfällen, Last- und Ergebniskombinationen geordnete Zusammenfassung der maximalen Ausnutzungen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit.



Die Schaltflächen sind im [Kapitel 4](#) auf [Seite 65](#) erläutert.

2.1 Spannungen lastfallweise

Belastung	A		B		C		D		E		F		G		H		I		J	
	Fläche Nr.	FE-Netzpunkt Nr.	X	Y	Z	Symbol	Vorh.	Grenze	Ausnutzung [-]											
LK5																				
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	τ_{max}		5.5	144.3	0.04										
	53	597	-3225.0	3400.0	0.0	$\sigma_{1,+}$		155.7	250.0	0.62										
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	$\sigma_{2,+}$		-150.7	250.0	0.60										
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	$\sigma_{1,-}$		230.3	250.0	0.92										
	53	597	-3225.0	3400.0	0.0	$\sigma_{2,-}$		-169.1	250.0	0.68										
	53	375	1575.0	3400.0	0.0	$\sigma_{1,m}$		65.4	250.0	0.26										
	55	141	3200.0	-3200.0	0.0	$\sigma_{2,m}$		-62.4	240.9	0.26										
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	σ_v		212.1	250.0	0.85										
	55	141	3200.0	-3200.0	0.0	$\sigma_{v,m}$		72.1	240.9	0.30										
LK6																				
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	τ_{max}		3.0	144.3	0.02										
	53	373	1575.0	3225.0	0.0	$\sigma_{1,+}$		104.9	250.0	0.42										
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	$\sigma_{2,+}$		-84.8	250.0	0.34										
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	$\sigma_{1,-}$		129.6	250.0	0.52										
	53	373	1575.0	3225.0	0.0	$\sigma_{2,-}$		-97.4	250.0	0.39										
	53	375	1575.0	3400.0	0.0	$\sigma_{1,m}$		33.5	250.0	0.13										
	53	307	-3075.0	3400.0	0.0	$\sigma_{2,m}$		-17.9	250.0	0.07										
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	σ_v		120.9	250.0	0.48										
	53	371	1425.0	3400.0	0.0	$\sigma_{v,m}$		31.2	250.0	0.12										
Maximale Spannungen																				
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	τ_{max}		5.5	144.3	0.04										
	53	597	-3225.0	3400.0	0.0	$\sigma_{1,+}$		155.7	250.0	0.62										
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	$\sigma_{2,+}$		-150.7	250.0	0.60										
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	$\sigma_{1,-}$		230.3	250.0	0.92										
	53	597	-3225.0	3400.0	0.0	$\sigma_{2,-}$		-169.1	250.0	0.68										
	53	375	1575.0	3400.0	0.0	$\sigma_{1,m}$		65.4	250.0	0.26										
	55	141	3200.0	-3200.0	0.0	$\sigma_{2,m}$		-62.4	240.9	0.26										
	53	3	-3225.0	3225.0	0.0	σ_v		212.1	250.0	0.85										
	55	141	3200.0	-3200.0	0.0	$\sigma_{v,m}$		72.1	240.9	0.30										

FE-Netz-Punkte
 Rasterpunkte
 Max: 0.92 ≤ 1

Bild 2.20: Maske 2.1 Spannungen lastfallweise

Fläche Nr.

Es werden die Nummern der Flächen angegeben, in denen sich die maßgebenden FE-Netz- bzw. Rasterpunkte befinden.

FE-Netzpunkt / Rasterpunkt Nr.

In den hier angegebenen FE-Netz- bzw. Rasterpunkten liegt die größte Spannungsausnutzung vor. Die Spannungsart wird in Spalte F *Symbol* angegeben.

Die FE-Netzpunkte (*N*) werden automatisch erzeugt. Die Rasterpunkte (*R*) hingegen basieren auf benutzerdefinierten Vorgaben, denn in RFEM kann die tabellarische Ausgabe der Flächen-ergebnisse für jede Fläche gesondert festgelegt werden. Diese Funktion ist im Kapitel 8.13 des RFEM-Handbuchs beschrieben.

Die Ausgabe kann über die Kontrollfelder unterhalb der Tabelle umgestellt werden. Dabei erscheint eine Abfrage, da die Tabellen neu aufbereitet werden müssen.

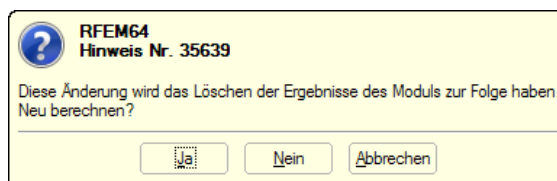


Bild 2.21: Abfrage bei Änderung der Ausgabe



Werden für die *Rasterpunkte* keine Spannungen ausgegeben, sollten die Rastereinstellungen in RFEM überprüft werden: Bei kleinen Flächen kann das Standardraster von 50 cm zu grobmaschig sein, sodass nur ein einziger Rasterpunkt im Nullpunkt der Fläche erzeugt wird. Dort treten möglicherweise keine Spannungen auf.



Folgender Beitrag auf unserer Website erläutert, wie das Flächenraster angepasst werden kann: <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/000676>

Punkt-Koordinaten X/Y/Z

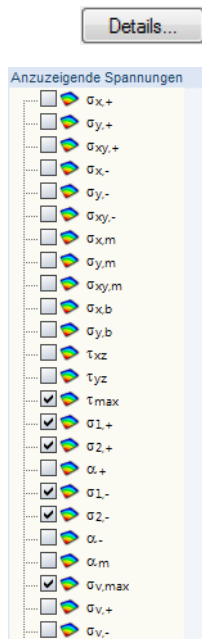
In den drei Spalten werden die Koordinaten der jeweils maßgebenden FE-Netz- bzw. Rasterpunkte angegeben.

Spannung Symbol

Es sind die Ausnutzungen infolge dieser Spannungen voreingestellt:

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

In [Tabelle 2.4](#) auf [Seite 20](#) ist beschrieben, wie diese Spannungen ermittelt werden.



Im Dialog *Details*, Register *Spannungen* können die Spannungsarten festgelegt werden, die in den Ergebnismasken erscheinen sollen (siehe [Bild 2.14](#), [Seite 17](#)). Die Schaltfläche unterhalb der Tabelle ruft diesen Dialog ebenfalls auf.

Die Indizes der Spannungen bedeuten:

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 2.9: Symbole der Spannungen



Flächenseiten

Die positive Flächenseite ist diejenige Seite der Fläche, aus der die lokale z-Achse herausragt – unabhängig von der Orientierung der globalen Achse Z. In der RFEM-Grafik werden die xyz-Koordinatensysteme der Flächen eingeblendet, sobald sich der Mauszeiger über einer Fläche befindet. Die Achsen lassen sich auch über das Flächen-Kontextmenü ein- und ausschalten (siehe [Bild 2.22](#)), das mit einem Klick der rechten Maustaste auf eine Fläche erscheint.

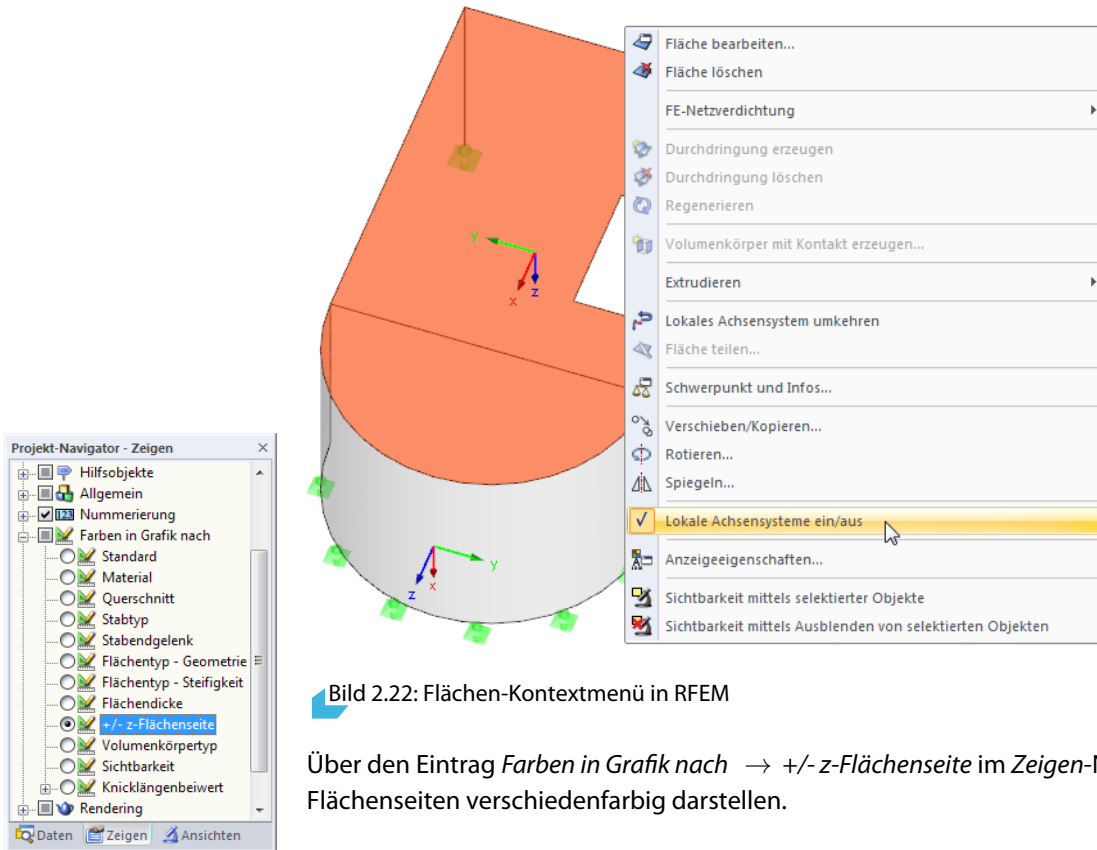


Bild 2.22: Flächen-Kontextmenü in RFEM

Über den Eintrag *Farben in Grafik nach* → *+/- z-Flächenseite* im Zeigen-Navigator lassen sich die Flächenseiten verschiedenfarbig darstellen.

Spannung Vorh.

Es werden die Extremwerte der vorhandenen Spannungen ausgegeben, die mit den Gleichungen der [Tabelle 2.4](#) ermittelt wurden (siehe [Seite 20](#)).

Für jede Spannungsart werden die maximalen (positiven) und minimalen (negativen) Spannungswerte berechnet und deren Beträge verglichen. Der größere Wert wird in Spalte G ausgewiesen.

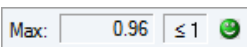
Die Vergleichsspannungen σ_v ermitteln sich nach der Spannungshypothese, die im Dialog *Details*, Register *Spannungen* vorgegeben wurde (siehe [Bild 2.14](#), [Seite 17](#)).

Spannung Grenze

Hier finden sich die Grenzspannungen der Maske 1.2, Spalte E bis G wieder (siehe [Kapitel 2.1.2](#), [Seite 9](#)). Im Einzelnen handelt es sich um folgende Beanspruchbarkeiten:

- Grenznormalspannung σ als die zulässige Spannung für die Beanspruchung aus Biegung und Membrankraft
- 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
- Grenzmembranvergleichsspannung $\sigma_{v,m}$ als die zulässige Vergleichsspannung für Membranbeanspruchungen

Ausnutzung



In der letzten Spalte wird der Quotient aus vorhandener Spannung und Grenzspannung angegeben. Wird die Grenzspannung eingehalten, so ist die Ausnutzung kleiner oder gleich 1 und der Spannungsnachweis gilt als erfüllt.

Die Länge des farbigen Balkens stellt die jeweilige Ausnutzung in grafischer Form dar.

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

Nachweisbedingung für Normalspannungen:

$$\frac{\sigma}{\sigma_{Rd}} \leq 1 \quad (2.40)$$

Nachweisbedingung für Schubspannungen:

$$\frac{\tau}{\tau_{Rd}} \leq 1 \quad (2.41)$$

Nachweisbedingung für Vergleichsspannungen:

$$\frac{\sigma_v}{\sigma_{Rd}} \leq 1 \quad (2.42)$$

2.3.2 Spannungen materialweise

2.2 Spannungen materialweise

Material Nr.	A Fläche Nr.	B FE-Netz-punkt Nr.	C Punktkoordinaten [mm]			E Belastung	F Symbol	G Spannung [N/mm ²]			J Aus-nutzung [%]	K
			X	Y	Z			Vorh.	Grenze			
1 Baustahl S 275 JR												
53	3		-3225.0	3225.0	0.0	LK5	τ_{max}	5.2	144.3	0.04		
53	597		-3225.0	3400.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,+}$	149.6	250.0	0.60		
53	3		-3225.0	3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,+}$	-131.3	250.0	0.53		
53	3		-3225.0	3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,-}$	212.5	250.0	0.85		
53	597		-3225.0	3400.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,-}$	-164.9	250.0	0.66		
53	375		1575.0	3400.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,m}$	67.1	250.0	0.27		
53	307		-3075.0	3400.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,m}$	-33.5	250.0	0.13		
53	3		-3225.0	3225.0	0.0	LK5	σ_v	194.0	250.0	0.78		
53	371		1425.0	3400.0	0.0	LK5	$\sigma_{v,m}$	61.5	250.0	0.25		
2 Baustahl S 235 JR												
59	529		975.0	-3225.0	0.0	LK5	τ_{max}	5.0	123.3	0.04		
59	533		825.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,+}$	105.4	213.6	0.49		
59	2		3225.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,+}$	-81.3	213.6	0.38		
59	499		3075.0	-3400.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,-}$	97.3	213.6	0.46		
59	2		3225.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,-}$	-157.9	213.6	0.74		
59	503		2925.0	-3400.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,m}$	81.9	213.6	0.38		
59	2		3225.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,m}$	-57.0	213.6	0.27		
59	2		3225.0	-3225.0	0.0	LK5	σ_v	150.0	213.6	0.70		
59	499		3075.0	-3400.0	0.0	LK5	$\sigma_{v,m}$	74.5	213.6	0.35		
3 Baustahl S 355 JR												
55	257		3225.0	-225.0	0.0	LK5	τ_{max}	5.9	181.1	0.03		
55	249		3225.0	375.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,+}$	165.4	313.6	0.53		
55	249		3225.0	375.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,+}$	-159.6	313.6	0.51		
55	249		3225.0	375.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,-}$	176.5	313.6	0.56		
55	249		3225.0	375.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,-}$	-159.6	313.6	0.51		
55	139		3225.0	-3200.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,m}$	-33.7	313.6	0.11		
55	141		3200.0	-3200.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,m}$	-105.8	313.6	0.34		
55	249		3225.0	375.0	0.0	LK5	σ_v	291.2	313.6	0.93		
55	141		3200.0	-3200.0	0.0	LK5	$\sigma_{v,m}$	120.3	313.6	0.38		

FE-Netz-Punkte
 Rasterpunkte
 Max: 0.93 ≤ 1

Bild 2.23: Maske 2.2 Spannungen materialweise

Diese Maske listet die maximalen Ausnutzungen nach Materialien geordnet auf. Die einzelnen Spalten sind im Kapitel 2.3.1 erläutert.

2.3.3 Spannungen flächenweise

2.3 Spannungen flächenweise

Fläche Nr.	FE-Netzpunkt Nr.	Punktkoordinaten [mm]			Belastung	Symbol	Spannung [N/mm ²]		Ausnutzung [-]
		X	Y	Z			Vorh.	Grenze	
53 Material: Baustahl S 275 JR - Dicke d: 6.0 mm									
	3	-3225.0	3225.0	0.0	LK5	τ_{max}	5.2	144.3	0.04
	597	-3225.0	3400.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,+}$	149.6	250.0	0.60
	3	-3225.0	3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,+}$	-131.3	250.0	0.53
	3	-3225.0	3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,-}$	212.5	250.0	0.85
	597	-3225.0	3400.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,-}$	-164.9	250.0	0.66
	375	1575.0	3400.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,m}$	67.1	250.0	0.27
	307	-3075.0	3400.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,m}$	-33.5	250.0	0.13
	3	-3225.0	3225.0	0.0	LK5	σ_v	194.0	250.0	0.78
	371	1425.0	3400.0	0.0	LK5	$\sigma_{v,m}$	61.5	250.0	0.25
54 Material: Baustahl S 275 JR - Dicke d: 30.0 mm									
	138	-3225.0	3200.0	0.0	LK5	τ_{max}	1.3	139.1	0.01
	305	-3075.0	3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,+}$	42.9	240.9	0.18
	305	-3075.0	3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,+}$	-48.0	240.9	0.20
	305	-3075.0	3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,-}$	34.9	240.9	0.14
	305	-3075.0	3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,-}$	-42.6	240.9	0.18
	2434	-3215.0	3200.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,m}$	19.2	240.9	0.08
	309	-2925.0	3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,m}$	-10.1	240.9	0.04
	305	-3075.0	3225.0	0.0	LK5	σ_v	78.7	240.9	0.33
	2434	-3215.0	3200.0	0.0	LK5	$\sigma_{v,m}$	16.7	240.9	0.07
55 Material: Baustahl S 355 JR - Dicke d: 18.0 mm									
	257	3225.0	-225.0	0.0	LK5	τ_{max}	5.7	181.1	0.03
	249	3225.0	375.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,+}$	156.4	313.6	0.50
	249	3225.0	375.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,+}$	-150.7	313.6	0.48
	249	3225.0	375.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,-}$	167.0	313.6	0.53
	249	3225.0	375.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,-}$	-150.8	313.6	0.48
	139	3225.0	-3200.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,m}$	-32.8	313.6	0.10
	141	3200.0	-3200.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,m}$	-102.9	313.6	0.33
	249	3225.0	375.0	0.0	LK5	σ_v	275.4	313.6	0.88
	141	3200.0	-3200.0	0.0	LK5	$\sigma_{v,m}$	117.0	313.6	0.37

FE-Netzpunkte Rasterpunkte Max: 0.88 ≤ 1

Bild 2.24: Maske 2.3 Spannungen flächenweise

Es sind die maximalen Spannungsausnutzungen für jede der bemessenen Flächen aufgelistet.

2.3.4 Spannungen linienweise

2.4 Spannungen linienweise

Linie Nr.	FE-Netzpunkt Nr.	Punktkoordinaten [mm]			Belastung	Symbol	Spannung [N/mm ²]		Ausnutzung [-]
		X	Y	Z			Vorh.	Grenze	
923 Knoten-Nr.: 537.533									
	533	825.0	-3225.0	0.0	LK5	τ_{max}	4.9	123.3	0.04
	533	825.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,+}$	105.4	213.6	0.49
	533	825.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,+}$	63.5	213.6	0.30
	537	375.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,-}$	71.5	213.6	0.33
	533	825.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,-}$	-80.1	213.6	0.37
	537	375.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,m}$	37.4	213.6	0.18
	537	375.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,m}$	14.6	213.6	0.07
	533	825.0	-3225.0	0.0	LK5	σ_v	91.9	213.6	0.43
	537	375.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{v,m}$	32.7	213.6	0.15
924 Knoten-Nr.: 533.529									
	529	975.0	-3225.0	0.0	LK5	τ_{max}	5.0	123.3	0.04
	533	825.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,+}$	105.4	213.6	0.49
	533	825.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,+}$	63.5	213.6	0.30
	533	825.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,-}$	71.5	213.6	0.33
	529	975.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,-}$	-93.1	213.6	0.44
	533	825.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,m}$	25.7	213.6	0.12
	533	825.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,m}$	7.3	213.6	0.03
	533	825.0	-3225.0	0.0	LK5	σ_v	91.9	213.6	0.43
	533	825.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{v,m}$	23.0	213.6	0.11
925 Knoten-Nr.: 529.525									
	529	975.0	-3225.0	0.0	LK5	τ_{max}	5.0	123.3	0.04
	529	975.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,+}$	93.2	213.6	0.44
	529	975.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,+}$	32.1	213.6	0.15
	529	975.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,-}$	-23.2	213.6	0.11
	529	975.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,-}$	-93.1	213.6	0.44
	529	975.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,m}$	5.0	213.6	0.02
	525	1425.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,m}$	-5.0	240.9	0.02
	529	975.0	-3225.0	0.0	LK5	σ_v	83.9	213.6	0.39
	529	975.0	-3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{v,m}$	5.2	213.6	0.02

FE-Netzpunkte Rasterpunkte Max: 0.88 ≤ 1

Bild 2.25: Maske 2.4 Spannungen linienweise

In dieser Ergebnismaske werden die maximalen Spannungen aller Linien angegeben, die sich in den bemessenen Flächen befinden. Die Tabelle ist nach Liniennummern geordnet.

2.3.5 Spannungen punktweise

2.5 Spannungen punktweise

FE-Netz- punkt Nr.	A Fläche Nr.	B Linie Nr.	C Knoten Nr.	D Punktkoordinaten [mm]			F Z	G Belastung	H Symbol	I Spannung [N/mm ²]		K Aus- nutzung [%]	L
				X	Y	Z				Vorh.	Grenze		
3	53	2, 74	3	-3225.0	3225.0	0.0	LK5	τ_{max}	5.2	144.3	0.04		
								$\sigma_{1,+}$	-53.6	250.0	0.21		
								$\sigma_{2,+}$	-131.3	250.0	0.53		
								$\sigma_{1,-}$	212.5	250.0	0.85		
								$\sigma_{2,-}$	48.9	250.0	0.20		
								$\sigma_{1,m}$	41.7	250.0	0.17		
								$\sigma_{2,m}$	6.6	250.0	0.03		
								σ_v	194.0	250.0	0.78		
								$\sigma_{v,m}$	44.3	250.0	0.18		
4	53	84, 649	4	3225.0	3225.0	0.0	LK5	τ_{max}	2.1	144.3	0.01		
								$\sigma_{1,+}$	94.0	250.0	0.38		
								$\sigma_{2,+}$	29.9	250.0	0.12		
								$\sigma_{1,-}$	-23.6	250.0	0.09		
								$\sigma_{2,-}$	-99.8	250.0	0.40		
								$\sigma_{1,m}$	11.5	250.0	0.05		
								$\sigma_{2,m}$	-7.2	250.0	0.03		
								σ_v	93.0	250.0	0.37		
								$\sigma_{v,m}$	16.3	250.0	0.07		
45	53	41, 83	45	-3400.0	3400.0	0.0	LK5	τ_{max}	3.2	144.3	0.02		
								$\sigma_{1,+}$	-33.7	250.0	0.13		
								$\sigma_{2,+}$	-41.7	250.0	0.17		
								$\sigma_{1,-}$	-11.1	250.0	0.04		
								$\sigma_{2,-}$	-12.8	250.0	0.05		
								$\sigma_{1,m}$	-23.2	250.0	0.09		
								$\sigma_{2,m}$	-26.4	250.0	0.11		
								σ_v	38.3	250.0	0.15		
								$\sigma_{v,m}$	24.9	250.0	0.10		
52	53	84, 85	52	3400.0	3225.0	0.0	LK5	τ_{max}	1.2	144.3	0.01		
								$\sigma_{1,+}$	75.9	250.0	0.30		

Fläche Nr.: 53 Linie Nr.: Alle Knoten Nr.: Alle Belastung: LK5 Max: 0.85 ≤ 1

Bild 2.26: Maske 2.5 Spannungen punktweise

Details...

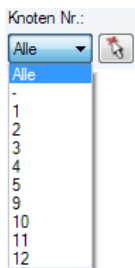
Diese Ergebnismaske wird standardmäßig nicht angezeigt, da bei komplexen Modellen große Datenmengen verwaltet werden müssen. Sie kann aber für eine gezielte Auswertung über den Dialog *Details*, Register *Optionen* eingeblendet werden (siehe Bild 2.16, Seite 25).

Details...

Es werden die Spannungen und Ausnutzungen für jeden FE-Netz- bzw. Rasterpunkt angegeben, der sich in den bemessenen Flächen befindet. Der Dialog *Details*, Register *Optionen* steuert, ob die Ergebnisse von FE-Netzknoten oder benutzerdefinierten Rasterpunkten angezeigt werden (siehe Bild 2.16, Seite 25).

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

Tabellenfilter



Für eine bessere Übersicht kann die Ergebnismaske nach Flächen-, Linien- und Knotennummern sowie nach Belastungen gefiltert werden. Die Listen unterhalb der Tabelle ermöglichen die Auswahl nach Objektnummern. Flächen, Linien und Knoten lassen sich mit auch grafisch im RFEM-Arbeitsfenster bestimmen.

2.3.6 Spannungsschwingbreiten



Es müssen in Maske 1.1 *Basisangaben* mindestens zwei Lastfälle oder Kombinationen für die Bemessung vorgegeben werden, damit die Schwingbreiten ermittelt werden können.

2.6 Spannungsschwingbreiten

FE-Netzpunkt Nr.	A Element Nr.	B Fläche Nr.	C Linie Nr.	D Knoten Nr.	E Punktkoordinaten X	F Y	G Z [N/mm ²]	H Symbol	I Belastung	J Maximal	K Minimal	L Bereich	M
595	2789	53	643, 66	595	3225, 0	3400, 0	0, 0	τ_{max}	LK2	3, 6	LK6	0, 2	3, 4
								$\sigma_{1,+}$	LK4	40, 1	LK2	-16, 9	57, 0
								$\sigma_{2,+}$	LK3	14, 0	LK2	-42, 9	56, 9
								$\sigma_{1,-}$	LK2	102, 3	LK3	-19, 8	122, 1
								$\sigma_{2,-}$	LK2	49, 1	LK3	-44, 1	93, 2
								$\sigma_{1,m}$	LK2	41, 7	LK6	0, 8	40, 9
								$\sigma_{2,m}$	LK2	4, 1	LK3	-14, 5	18, 6
								σ_v	LK2	88, 6	LK6	4, 1	84, 5
								$\sigma_{v,m}$	LK2	39, 8	LK6	2, 6	37, 2
595	2790	53	643, 66	595	3225, 0	3400, 0	0, 0	τ_{max}	LK2	3, 2	LK6	0, 4	2, 8
								$\sigma_{1,+}$	LK3	17, 7	LK2	-4, 1	21, 7
								$\sigma_{2,+}$	LK3	12, 1	LK2	-27, 8	39, 9
								$\sigma_{1,-}$	LK2	39, 6	LK3	-6, 0	45, 5
								$\sigma_{2,-}$	LK2	1, 4	LK3	-22, 9	24, 3
								$\sigma_{1,m}$	LK4	12, 6	LK5	1, 3	11, 2
								$\sigma_{2,m}$	LK5	-0, 2	LK4	-9, 8	9, 6
								σ_v	LK2	38, 9	LK6	4, 0	34, 9
								$\sigma_{v,m}$	LK4	19, 4	LK5	1, 4	18, 0
597	2820	53	41, 756	597	-3225, 0	3400, 0	0, 0	τ_{max}	LK3	4, 3	LK6	0, 9	3, 4
								$\sigma_{1,+}$	LK3	43, 4	LK1	-15, 3	58, 7
								$\sigma_{2,+}$	LK3	19, 7	LK1	-29, 9	49, 6
								$\sigma_{1,-}$	LK1	78, 9	LK3	-34, 5	113, 4
								$\sigma_{2,-}$	LK1	34, 0	LK3	-73, 8	107, 8
								$\sigma_{1,m}$	LK1	29, 5	LK6	1, 5	28, 0
								$\sigma_{2,m}$	LK1	4, 4	LK3	-26, 3	30, 6
								σ_v	LK1	68, 5	LK6	11, 5	57, 0
								$\sigma_{v,m}$	LK3	28, 3	LK6	5, 8	22, 5
597	2821	53	41, 756	597	-3225, 0	3400, 0	0, 0	τ_{max}	LK3	4, 3	LK4	0, 4	3, 9
								$\sigma_{1,+}$	LK3	51, 8	LK1	0, 3	51, 5

Element Nr.: Fläche Nr.: Linie Nr.: Knoten Nr.:

Bild 2.27: Maske 2.6 Spannungsschwingbreiten

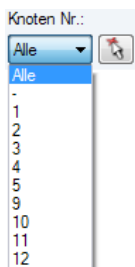
Details...

Falls diese Ergebnismaske nicht angezeigt wird, kann sie über den Dialog *Details*, Register *Optionen* aktiviert werden (siehe Bild 2.16, Seite 25).

Die Schwingbreiten der Spannungsintensitäten werden für Betriebsfestigkeitsnachweise benötigt, die das Ermüdungsverhalten untersuchen. In dieser Maske werden die Spannungsdifferenzen für jeden FE-Netz- bzw. Rasterpunkt angegeben, der in den bemessenen Flächen liegt.

Details...

Im Dialog *Details*, Register *Spannungen* können die Spannungsarten festgelegt werden, die in dieser Maske erscheinen sollen (siehe Bild 2.14, Seite 17). Die Schaltfläche am Ende der Tabelle ruft diesen Dialog ebenfalls auf.



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

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

Belastung

In den Spalten I und K werden die Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen angegeben, die die maximalen bzw. minimalen Spannungen liefern. Es sind alle Einwirkungen berücksichtigt, die in Maske 1.1 *Basisangaben* für die Tragfähigkeitsbemessung vorgesehen wurden.

Spannung Maximal/Minimal

Spalte J listet die maximalen, Spalte L die minimalen Spannungswerte auf, die für jede Spannungsart vorliegen. Die positiven Extremwerte stellen jeweils das Spannungsmaximum dar, die negativen Extremwerte entsprechend das Minimum.

Bereich

Die Werte der letzten Spalte stellen die Schwingbreiten der Spannungen dar, die sich aus den Extremwerten der Spalten I und K ergeben.

2.3.7 Verschiebungen

Die Verformungsnachweise werden geführt, wenn in Maske 1.1 *Basisangaben*, Register *Gebrauchstauglichkeit* Lastfälle oder Kombinationen für die Bemessung ausgewählt (siehe [Kapitel 2.1.1.2, Seite 8](#)) und in Maske 1.4 *Daten für Gebrauchstauglichkeit* Referenzlängen der Grenzverformungen definiert wurden (siehe [Kapitel 2.1.4, Seite 16](#)).

Maske 3.1 gibt die maximalen Verschiebungen aus, die in den Lastfällen oder Kombinationen für Gebrauchstauglichkeit vorliegen, und vergleicht sie mit den zulässigen Verformungen. Die Tabelle ist nach Flächennummern geordnet.

3.1 Verschiebungen

Fläche Nr.	FE-Netzpunkt Nr.	Punktordinate [mm]			Belastung	Kombination	Verschiebungen [mm]		Verhältnis [-]
		X	Y	Z			u _z	Grenze u _z	
46	2014	492.8	3111.2	-22024.7	LK11	CH	-13.3	26.5	0.50
	2046	3111.2	492.8	-24027.3	LK12	CH	25.1	26.5	0.95
	1994	3150.0	0.0	-24027.3	LK13	CH	-20.8	26.5	0.79
47	2115	-3150.0	0.0	-24027.3	LK11	CH	27.6	26.8	1.03
	2106	-492.8	3111.2	-24027.3	LK12	CH	-14.8	26.8	0.55
	2114	-3111.2	492.8	-24027.3	LK13	CH	-18.6	26.8	0.69
49	2226	973.4	-2995.8	-27110.0	LK11	CH	-16.0	37.7	0.42
	126	3150.0	0.0	-27110.0	LK12	CH	26.6	37.7	0.71
	125	0.0	-3150.0	-27110.0	LK13	CH	36.2	37.7	0.96
51	131	-3150.0	0.0	-27110.0	LK11	CH	30.0	30.0	1.00
	2326	-973.4	2995.8	-27110.0	LK12	CH	-15.2	30.0	0.51
	2333	-3111.2	492.8	-27110.0	LK13	CH	-20.1	30.0	0.67
Maximale Verschiebung wert- / verhältnisweise									
49	125	0.0	-3150.0	-27110.0	LK13	CH	36.2	37.7	0.96
47	2115	-3150.0	0.0	-24027.3	LK11	CH	27.6	26.8	1.03
Minimale Verschiebung wert- / verhältnisweise									
49	126	3150.0	0.0	-27110.0	LK13	CH	-22.8	37.7	0.61
46	1994	3150.0	0.0	-24027.3	LK13	CH	-20.8	26.5	0.79

FE-Netz-Punkte Rasterpunkte Max: 1.03 > 1

Bild 2.28: Maske 3.1 Verschiebungen

Die Spalten A bis D sind im [Kapitel 2.3.1](#) ab [Seite 29](#) erläutert.

Belastung

Für jede Fläche sind in Spalte E die Lastfälle und Kombinationen aufgelistet, die für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis ausgewählt wurden. Dadurch lassen sich die Maximalverformungen jeder Einwirkung auswerten.

Kombination

In dieser Spalte finden sich die in Maske 1.1 *Basisangaben*, Register *Gebrauchstauglichkeit* zugewiesenen Bemessungssituationen wieder (siehe [Kapitel 2.1.1.2, Seite 8](#)):

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

Verschiebungen - u_z

Diese Werte stellen jeweils die Verschiebungen in Richtung der lokalen Flächenachse z dar, die für den Verformungsnachweis als maßgebend angenommen wird.



Die Maximalverformungen u_z sind auf das unverformte Ausgangssystem bezogen.

Die Flächenachsen xyz können im Zeigen-Navigator von RFEM oder über das Flächen-Kontextmenü eingeblendet werden (siehe Bild 2.22, Seite 31).

Verschiebungen - Grenze u_z

Die Werte dieser Spalte repräsentieren die Grenzverformungen rechtwinklig zur Flächenebene. Sie ermitteln sich aus den Bezugslängen L der Randlinien, die in Maske 1.4 festgelegt wurden (siehe Kapitel 2.1.4, Seite 16) und den Gebrauchstauglichkeits-Grenzverhältnissen des Dialogs Details, Register Gebrauchstauglichkeit (siehe Bild 2.15, Seite 24).

Verhältnis

Max: 0.96 ≤ 1

In der letzten Spalte werden die Quotienten aus vorhandener Verschiebung u_z (Spalte G) und zulässiger Verschiebung Grenze u_z (Spalte H) angegeben. Sind die Grenzverformungen eingehalten, so ist die Ausnutzung kleiner oder gleich 1 und der Gebrauchstauglichkeitsnachweis gilt als erfüllt.

Maximale/Minimale Verschiebung wert- / verhältnisweise

Am Ende der Liste erscheint eine Bilanz mit den extremen Verschiebungswerten u_z (Spalte G) und den extremen Ausnutzungsgraden (Spalte I) aller untersuchten Flächen.

Die Ausgabe erfolgt getrennt für maximale (positive) und minimale (negative) Ergebnisse.

2.3.8 Stückliste

Abschließend erscheint eine Bilanz der im Bemessungsfall behandelten Flächen.

4.1 Stückliste

Position Nr.	A Material	B Dicke Typ	C d [mm]	D Fläche [m ²]	E Oberfläche [m ²]	F Volumen [m ³]	G Gewicht [kg]	
18	Baustahl S 235	Konstant	20.0	0.25	0.51	0.01	39.7	
19		Konstant	20.0	0.25	0.51	0.01	39.7	
6		Konstant	35.0	0.39	0.77	0.01	106.2	
7		Konstant	35.0	0.26	0.52	0.01	71.9	
10		Konstant	35.0	0.19	0.38	0.01	52.9	
11		Konstant	35.0	0.19	0.38	0.01	52.9	
14		Konstant	35.0	0.19	0.39	0.01	53.3	
15		Konstant	35.0	0.10	0.19	0.00	26.5	
Summe					1.83	3.66	0.06	443.2
23		Baustahl S 355	Konstant	20.0	0.14	0.28	0.00	21.6
24			Konstant	20.0	0.14	0.28	0.00	21.6
25			Konstant	20.0	0.14	0.28	0.00	21.6
26			Konstant	20.0	0.14	0.28	0.00	21.6
27			Konstant	20.0	0.12	0.24	0.00	18.6
28			Konstant	20.0	0.12	0.24	0.00	18.6
Summe					0.79	1.57	0.02	123.6
Summe				2.62	5.23	0.07	566.8	

Bild 2.29: Maske 4.1 Stückliste

Details...

In der Liste sind per Voreinstellung nur die bemessenen Flächen erfasst. Wird eine Stückliste für alle Flächen des Modells benötigt, so kann dies im Dialog *Details*, Register *Optionen* eingestellt werden (siehe [Bild 2.16, Seite 25](#)).

Position Nr.

Das Programm vergibt Positionsnummern für Flächen. Sie basieren auf den Flächennummern.

Material

Die Auflistung erfolgt nach Materialien geordnet. Jeder Materialabschnitt endet mit der Zeile *Summe* der Werte, die in den Spalten D bis G für das Material vorliegen.

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.

Oberfläche

Die Oberfläche ermittelt sich aus den Flächeninhalten der Ober- und Unterseiten einer Fläche. Die Seitenflächen der dünnwandigen Stahlflächen werden vernachlässigt.

Volumen

Das Volumen einer Fläche ermittelt sich aus dem Produkt von Dicke und Flächeninhalt. Flächen mit veränderlicher Dicke werden entsprechend berücksichtigt.

Gewicht

In der letzten Spalte wird die Gesamtmasse jeder Position angegeben.

Summe

Am Ende der Liste befindet sich eine Bilanz mit den Summen der Spalten D bis G. Das letzte Feld *Gewicht* gibt Aufschluss über die insgesamt benötigte Stahlmenge.

3 RF-STAHL Stäbe

3.1 Eingabedaten

Nach dem Aufruf des Zusatzmoduls erscheint ein neues Fenster. Links wird ein Navigator angezeigt, der die verfügbaren Masken verwaltet. Darüber befindet sich eine Pulldownliste mit den Bemessungsfällen (siehe [Kapitel 6.1, Seite 86](#)).

Die bemessungsrelevanten Daten sind in mehreren Eingabemasken zu definieren. Beim ersten Aufruf von RF-STAHL Stäbe werden folgende Parameter automatisch eingelesen:

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



Eine Maske lässt sich durch Anklicken des Eintrags im Navigator aufrufen. Mit den links dargestellten Schaltflächen wird die vorherige bzw. nächste Maske eingestellt. Das Blättern durch die Masken ist auch mit den Funktionstasten [F2] (vorwärts) und [F3] (rückwärts) möglich.



[OK] sichert die Eingaben. RF-STAHL Stäbe wird beendet und es erfolgt die Rückkehr in das Hauptprogramm. [Abbrechen] 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 Materialeigenschaften an die Normen gekoppelt sind.

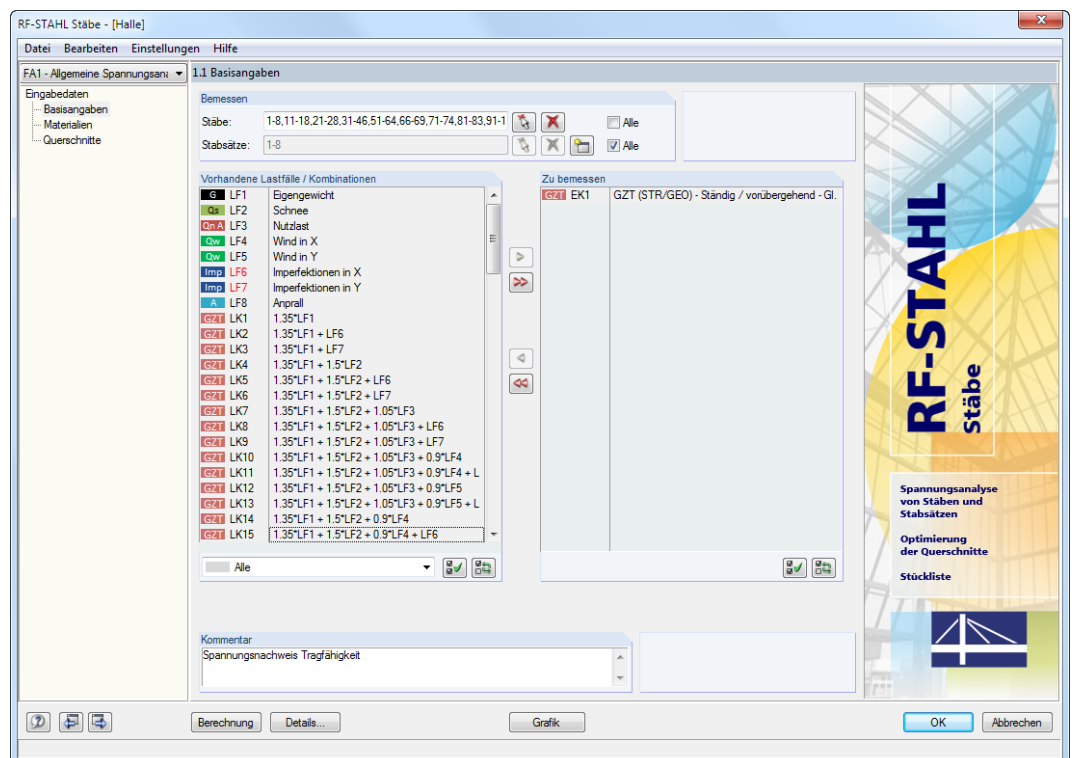


Bild 3.1: Maske 1.1 Basisangaben

Bemessen

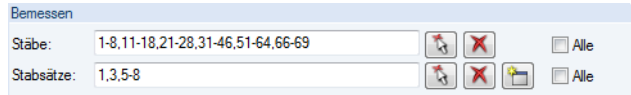


Bild 3.2: Bemessung von Stäben und Stabsätzen

Es können sowohl *Stäbe* als auch *Stabsätze* bemessen werden. Falls nur bestimmte Objekte untersucht 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. Die Schaltfläche leert die Liste der voreingestellten Nummern. Über die Schaltfläche lassen sich die Objekte grafisch im RFEM-Arbeitsfenster auswählen.

Bei der Bemessung eines Stabsatzes werden die Extremwerte der Ausnutzungen aller im Stabsatz enthaltenen Stäbe ermittelt. Die Ergebnisse werden in den Ergebnismasken *2.2 Spannungen stabsatzweise*, *3.2 Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise* und *4.2 Stückliste stabsatzweise* ausgegeben.

Mit der Schaltfläche kann ein neuer Stabsatz definiert werden. Es erscheint der aus RFEM bekannte Dialog zur Eingabe der Stabsatz-Parameter.

Vorhandene Lastfälle / Kombinationen

In dieser Spalte sind alle Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen aufgelistet, die in RFEM angelegt wurden.



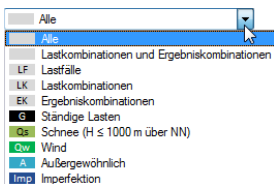
RF-STAHL ist auch in der Lage, RF-DYNAM Pro-Fälle zu bemessen.

Mit der Schaltfläche lassen sich selektierte Einträge in die Liste *Zu bemessen* nach rechts übertragen. Die Übergabe kann auch per Doppelklick erfolgen. Die Schaltfläche übergibt die komplette Liste nach rechts.

Die Mehrfachauswahl von Lastfällen ist – wie in Windows üblich – mit gedrückter [Strg]-Taste möglich. So können Lastfälle gleichzeitig übertragen werden.

Falls die Nummer eines Lastfalls rot dargestellt ist wie z. B. LF 6 oder LF 7 in [Bild 3.1](#), so kann dieser nicht bemessen werden: Hier handelt es sich um einen Lastfall ohne Lastdaten oder um einen Imperfektionslastfall. Bei der Übergabe erscheint eine entsprechende Warnung.

Am Ende der Liste sind mehrere Filteroptionen verfügbar. Sie erleichtern es, die Einträge nach Lastfällen, Kombinationen oder Einwirkungskategorien geordnet zuzuweisen. Die Schaltflächen sind mit folgenden Funktionen belegt:



	Alle Lastfälle in der Liste werden selektiert.
	Die Auswahl der Lastfälle wird umgekehrt.

Tabelle 3.1: Schaltflächen im Abschnitt *Vorhandene Lastfälle*

Zu bemessen

In der rechten Spalte werden die zur Bemessung gewählten Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen aufgelistet. Mit oder per Doppelklick lassen sich selektierte Einträge wieder aus der Liste entfernen. Die Schaltfläche leert die ganze Liste.



Die Bemessung einer einhüllenden Max/Min-Ergebniskombination verläuft schneller als die aller pauschal übernommenen Lastfälle und Lastkombinationen. Beim Nachweis einer Ergebniskombination ist aber schwer erkennbar, welchen Einfluss die enthaltenen Einwirkungen ausüben.

Kommentar

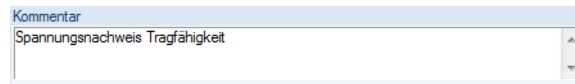


Bild 3.3: Benutzerdefinierter Kommentar

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

3.1.2 Materialien

Die Maske *1.2 Materialien* ist im [Kapitel 2.1.2](#) ab [Seite 9](#) beschrieben. Dort wird auch erläutert, wie ein anderes Material festgelegt oder die Materialeigenschaften angepasst werden können.

3.1.3 Querschnitte

Diese Maske verwaltet die Querschnitte, die für die Bemessung verwendet werden. Ferner können Optimierungsparameter vorgegeben werden.

1.3 Querschnitte

Quersch. Nr.	A	B	C	D	E
Material Nr.	Querschnitt Bezeichnung	Optimieren	Anmerkung	Kommentar	
1	HE A 400 DIN 1025-3:1994	Aus der aktuellen Reihe	2)		
2	IS 360/170/8/14/0	Nein			
3	IS 500/170/8/14/0	Aus der aktuellen Reihe			
6	HE A 160 DIN 1025-3:1994	Aus Favoriten 'DIN'			
7	HE A 120 DIN 1025-3:1994	Aus Favoriten 'SIA'			
9	IPE 360 DIN 1025-5:1994	Nein			
10	HE A 140 DIN 1025-3:1994	Nein			
12	QRO 80x4 DIN 59410:1974	Nein			
13	RD 24 DIN 1013-1	Nein			
15	HE A 200 DIN 1025-3:1994	Nein			
16	Rechteck 200/200	Nein	9)		
17	IPE 360 DIN 1025-5:1994	Nein			

2) Der Querschnitt wird optimiert, d.h. das best ausgenutzte Profil der Reihe wird herausgesucht!

1 - HE A 400 | DIN 1025-3:1994

Stäbe Nr.:
1,2,11,12,21,22,31,32,39,40

Stabsätze Nr.:
3,4,8

Σ Längen: 48.00 [m] Σ Massen: 5.991 [t]

Material:
1 - Baustahl S 235

Bild 3.4: Maske 1.3 Querschnitte

Querschnittsbezeichnung

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



Um einen Querschnitt zu ändern, klicken Sie den Eintrag in Spalte B an und setzen so das Feld aktiv. Mit der Schaltfläche [Querschnittsbibliothek] oder im Feld bzw. der Taste [F7] rufen Sie dann die Profilreihe des aktuellen Eingabefeldes auf (siehe [Bild 3.5](#)).



In diesem Dialog kann ein anderer Querschnitt oder auch eine andere Reihe gewählt werden. Soll eine andere Querschnittskategorie verwendet werden, so ist über die Schaltfläche [Zur Bibliothek zurückkehren] die allgemeine Profilibibliothek zugänglich.

Das Kapitel 4.13 des RFEM-Handbuchs beschreibt, wie Querschnitte in der Bibliothek ausgewählt werden können.

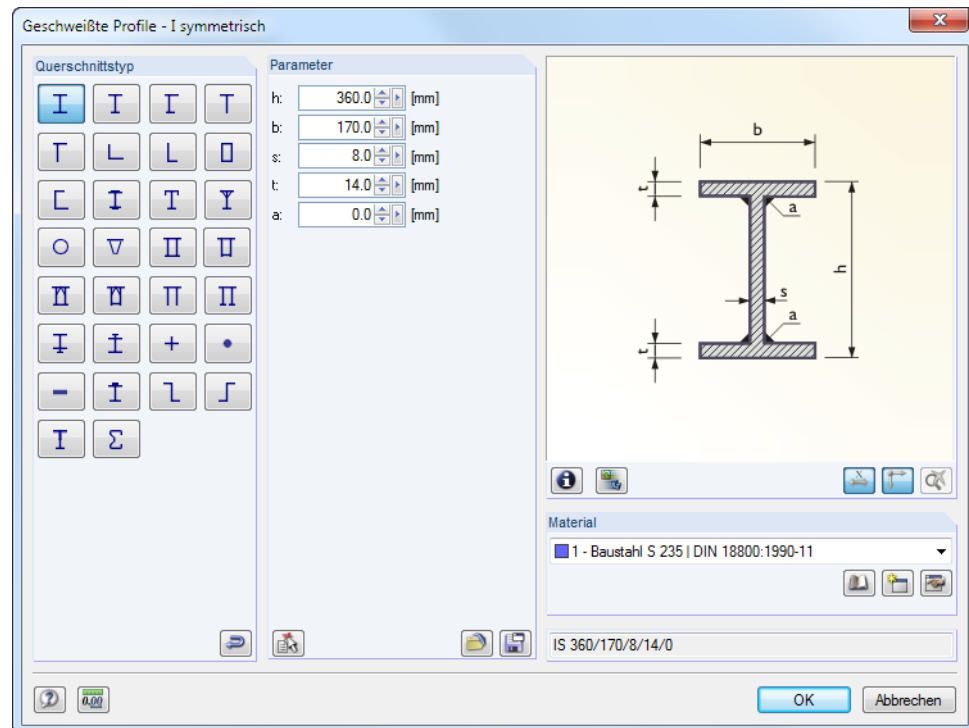
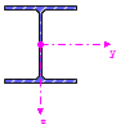
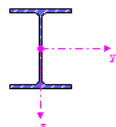


Bild 3.5: IS-Profilreihe der Querschnittsbibliothek

1 - HE A 340 | DIN 1025-3:1994
RF-STAHL Stäbe



1 - HE A 400 | DIN 1025-3:1994
RFEM



Die neue Querschnittsbezeichnung kann auch direkt in das Eingabefeld eingetragen werden. Wenn der Eintrag in der Datenbank verzeichnet ist, liest RF-STAHL die Querschnittskennwerte ein.

Ein geändert Querschnitt wird mit blauer Schrift gekennzeichnet.

Wenn unterschiedliche Querschnitte in RF-STAHL Stäbe und in RFEM vorliegen, zeigt die Grafik rechts in der Maske beide Profile an. Die Nachweise erfolgen mit den RFEM-Schnittgrößen für den in RF-STAHL gewählten Querschnitt.

Max. Ausnutzung

Diese Spalte wird nach der Berechnung angezeigt. Sie stellt eine Entscheidungshilfe zur Optimierung dar: Anhand der Nachweisquotienten und der farbigen Relationsbalken wird deutlich, welche Profile wenig ausgenutzt und überdimensioniert bzw. überlastet und unterdimensioniert sind.

Optimieren

Jeder Querschnitt der Bibliothek kann einen Optimierungsprozess durchlaufen: Es wird für die RFEM-Schnittgrößen das Profil gesucht, das einer benutzerdefinierten Höchstauslastung am nächsten kommt. Diese kann im Dialog *Details* festgelegt werden (siehe Bild 3.8, Seite 45).

Um einen Querschnitt zu optimieren, ist die Liste in Spalte D bzw. E zu öffnen und der gewünschte Eintrag auszuwählen: *Aus der aktuellen Reihe* oder ggf. *Aus Favoriten*, *Bezeichnung*. Empfehlungen zur Profilloptimierung finden Sie im Kapitel 6.2.2 auf Seite 89.

Anmerkung

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



Erscheint vor der Berechnung die Meldung *Unzulässiger Querschnitt Nr. XX*, so liegt ein Profil vor, das nicht in der Datenbank registriert ist. Dabei kann es sich um einen eigendefinierten oder nicht berechneten DUENQ-Querschnitt handeln. Über die [Bibliothek] kann ein geeignetes Profil für die Bemessung eingestellt werden (siehe Beschreibung nach [Bild 3.4](#)).

Stab mit Voutenquerschnitt

Bei gevouteten Stäben mit unterschiedlichen Profilen am Stabanfang und Stabende werden beide Querschnittsnummern gemäß der Definition in RFEM in zwei Zeilen angegeben.

RF-STAHL bemisst auch Voutenstäbe, wenn für den Anfangs- und Endquerschnitt die gleiche Anzahl an Spannungspunkten vorliegt. Die Normalspannungen beispielsweise werden aus den Trägheitsmomenten und den Schwerpunktabständen der Spannungspunkte ermittelt. Gibt es für den Anfangs- und Endquerschnitt eines Voutenstabes eine unterschiedliche Anzahl an Spannungspunkten, so können die Zwischenwerte nicht interpoliert werden. Die Berechnung ist weder in RFEM noch in RF-STAHL möglich.



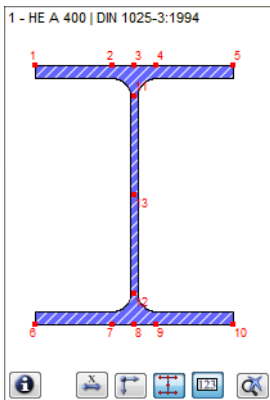
Um für die Bemessung die gleiche Anzahl an Spannungspunkten herzustellen, kann z. B. das zweite Profil als Kopie des Anfangsprofils mit angepassten Geometrieparametern definiert werden. Dies gelingt am einfachsten, indem beide Querschnitte als parametrische Profile beschrieben werden. Hierzu eignet sich beispielsweise der Profiltyp *IVU - Voutenprofil unten verstärkt*.

Die Profil-Spannungspunkte mitsamt Nummerierung lassen sich grafisch überprüfen: Selektieren Sie in Maske 1.3 den Querschnitt und drücken dann die Schaltfläche . Es öffnet sich der im [Bild 3.6](#) gezeigte Dialog.

Querschnittsgrafik

Im rechten Bereich der Maske wird der aktuelle Querschnitt dargestellt.

Die Schaltflächen unterhalb der Grafik sind mit folgenden Funktionen belegt:



Schaltfläche	Funktion
	Ruft den Dialog <i>Info über Querschnitt</i> auf (siehe Bild 3.6)
	Schaltet die Bemaßung des Querschnitts ein oder aus
	Schaltet die Hauptachsen des Querschnitts ein oder aus
	Blendet die Spannungspunkte ein oder aus
	Blendet die Nummern der Spannungspunkte ein oder aus
	Stellt die Gesamtansicht des Querschnitts wieder her

Tabelle 3.2: Schaltflächen der Querschnittsgrafik

Info über Querschnitt



Im Dialog *Info über Querschnitt* können die Querschnittskennwerte, Spannungspunkte und c/t-Querschnittsteile eingesehen werden.

Querschnittswert-Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit
Profilhöhe	h	390.0	mm
Profilbreite	b	300.0	mm
Stegdicke	t _s	11.0	mm
Flanschdicke	t _g	19.0	mm
Ausrundungsradius	r	27.0	mm
Querschnittsfläche	A	159.00	cm ²
Schubfläche	A _y	94.96	cm ²
Schubfläche	A _z	38.77	cm ²
Wirksame Schubfläche nach EC 3	A _{v,y}	118.18	cm ²
Wirksame Schubfläche nach EC 3	A _{v,z}	57.35	cm ²
Stegfläche	A _{Steg}	38.70	cm ²
Plastische Schubfläche	A _{pl,y}	114.00	cm ²
Plastische Schubfläche	A _{pl,z}	40.81	cm ²
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grad)	I _y	45070.00	cm ⁴
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grad)	I _z	8560.00	cm ⁴
Trägheitsradius	i _y	168.0	mm
Trägheitsradius	i _z	73.4	mm
Polarer Trägheitsradius	i _p	183.3	mm
Trägheitsradius des Gurtquerschnitts (1/5 I)	i _{zg}	79.4	mm
Volumen	V	15900.00	cm ³ /m
Querschnittsgewicht	G	124.8	kg/m
Mantelfläche	U	1.910	m ² /m
Profifaktor	A _m /V	120.126	1/m
Torsionsträgheitsmoment	I _t	190.00	cm ⁴
Wölbwiderstand	I _ω	2.942E+06	cm ⁶
Widerstandsmoment	W _{..}	2310.00	cm ³

Bild 3.6: Dialog *Info über Querschnitt*



Über die [Details]-Schaltflächen sind spezifische Informationen zu den Spannungspunkten (Schwerpunktabstände, statische Momente, Wölbordinaten etc.) und c/t-Teilen abrufbar.

SpannP Nr.	A		B		C		D		E		F		G	
	Koordinaten		Koordinaten		Statische Momente		Statische Momente		Dicke		Wölbung		Wölbung	
	y [mm]	z [mm]	y [mm]	z [mm]	S _y [cm ³]	S _z [cm ³]	S _y [cm ³]	S _z [cm ³]	t [mm]	ω [cm ²]	A _ω [cm ⁴]	ω [cm ²]	A _ω [cm ⁴]	
1	-150.0	-195.0			0.00	0.00			19.0	278.25	0.00			
2	-32.5	-195.0			-414.53	-203.75			19.0	60.29	-3778.92			
3	0.0	-195.0			-537.44	-214.82			19.0	0.00	-3965.06			
4	32.5	-195.0			-414.53	203.75			19.0	-60.29	3778.92			
5	150.0	-195.0			0.00	0.00			19.0	-278.25	0.00			
6	-150.0	195.0			0.00	0.00			19.0	-278.25	0.00			
7	-32.5	195.0			-414.59	203.77			19.0	-60.29	-3778.92			
8	0.0	195.0			-537.44	214.82			19.0	0.00	-3965.06			
9	32.5	195.0			-414.59	-203.77			19.0	60.29	3778.92			
10	150.0	195.0			0.00	0.00			19.0	278.25	0.00			
11	0.0	-149.0			-1153.46	0.00			11.0	0.00	0.00			
12	0.0	149.0			-1153.16	0.00			11.0	0.00	0.00			
13	0.0	0.0			-1275.73	0.00			11.0	0.00	0.00			

Bild 3.7: Dialog *Spannungspunkte von HE A 400*

3.2 Berechnung

3.2.1 Detaileinstellungen

Details...

Vor dem Start der Berechnung sollten die Bemessungsdetails überprüft werden. Der entsprechende Dialog ist in jeder Maske des Zusatzmoduls über die Schaltfläche [Details] zugänglich.

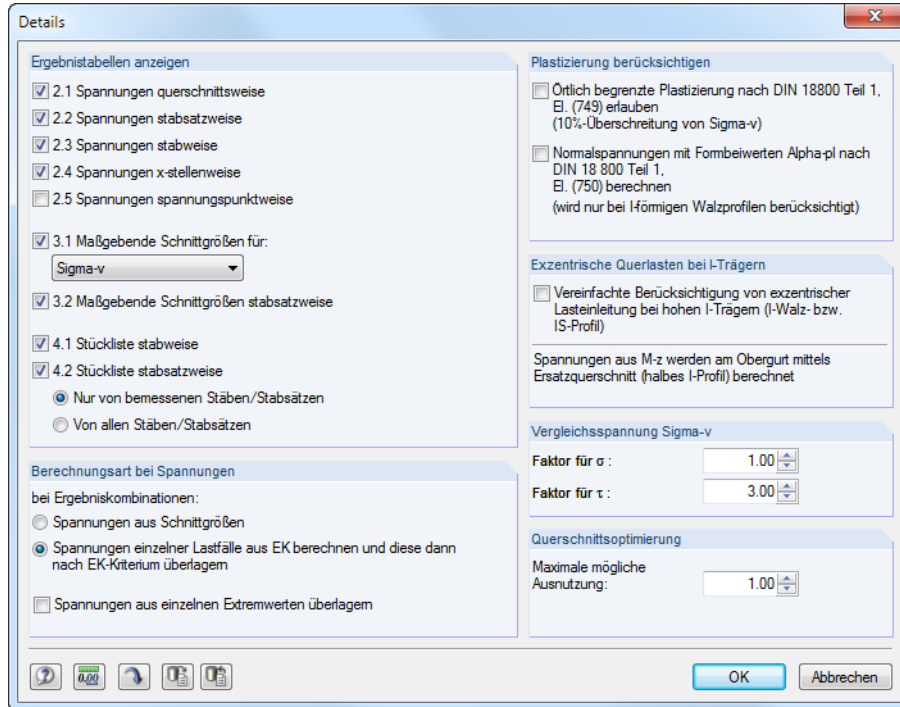


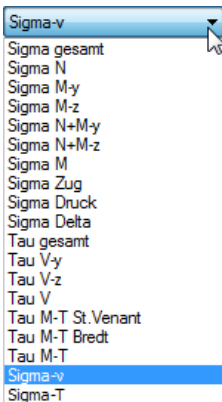
Bild 3.8: Dialog Details

Ergebnistabellen anzeigen

Hier kann ausgewählt werden, welche Ergebnismasken einschließlich Stückliste angezeigt werden sollen. Die Masken sind im Kapitel 3.3 beschrieben.

Die Maske 2.5 Spannungen spannungspunktweise ist standardmäßig deaktiviert, da in der Regel viele Daten aufbereitet werden müssen. Die Ergebnisse in den Spannungspunkten lassen sich auch gut in den Spannungsgrafiken der Masken überprüfen. Nach dem Anhaken des Kontrollfeldes stehen die Nachweise in den Spannungspunkten tabellarisch zur Verfügung.

Die in Maske 3.1 Maßgebende Schnittgrößen ausgewiesenen Werte sind per Voreinstellung auf die maximale Vergleichsspannung σ_v bezogen. Für individuelle Auswertungen kann in der Liste ein anderer Spannungstyp ausgewählt werden.



Berechnungsart für Spannungen von Ergebniskombinationen

Eine zweiachsige Beanspruchung infolge verschiedener Lastfälle kann bewirken, dass die kombinierten Schnittgrößen nicht zu den maximalen Spannungen führen. Dies ist z. B. der Fall, wenn im Lastfall ‚Eigengewicht‘ (Vertikallast) nur Momente M_y und keine Momente M_z , im Lastfall ‚Wind‘ (Horizontallast) nur Momente M_z und keine Momente M_y auftreten. Werden die Lastfälle nicht mit dem Kriterium „ständig“ in einer Ergebniskombination überlagert, dann leistet die Horizontallast keinen Beitrag zur Erhöhung des Moments infolge Vertikallast. Demzufolge wird in der RFEM-Tabelle 4.6 Stäbe - Schnittgrößen das Moment M_z separat ausgewiesen und somit nicht zugehörig zum maximalen Moment M_y behandelt. Die Bemessung dieser EK-Schnittgrößen erfolgt dann in RF-STAHl getrennt für die Maximalmomente M_y und M_z . Damit wird die gleichzeitige Wirkung der Schnittgrößen für die kombinierte Betrachtung der Biegespannungen nicht erfasst.

Spannungen aus Schnittgrößen

Diese Berechnungsart verwendet die Ergebniszeilen der RFEM-Tabelle *4.6 Stäbe - Schnittgrößen*. Durch das zeilenweise Abarbeiten der maximalen und minimalen Schnittgrößen werden die Spannungen für jeden Extremwert mit den zugehörigen Schnittgrößen ermittelt.

Der Vorteil besteht darin, dass die Werte der Ergebniskombinationen direkt benutzt werden können. Dies wirkt sich positiv auf die Berechnungsdauer aus. Die bemessenen Schnittgrößen sind auch transparent, denn in der RF-STAHL-Maske *3.1 Maßgebende Schnittgrößen stabweise* finden sich die Ergebniszeilen der RFEM-Tabelle *4.6 Stäbe - Schnittgrößen* wieder.

Spannungen einzelner Lastfälle berechnen und nach EK-Kriterium überlagern

Diese Berechnungsart ist voreingestellt. Zunächst werden die Normal- und Schubspannungen aller Lastfälle ermittelt, die in der Ergebniskombination enthalten sind. Diese Spannungsanteile werden dann nach den Bedingungen überlagert, die im Kombinationskriterium definiert sind (Faktoren, Überlagungsvorgaben etc.). Damit ist gewährleistet, dass z. B. eine zweiachsige Biegebeanspruchung aus verschiedenen Lastfällen zu korrekten Spannungen für den zweiachsigen Belastungszustand führt.

Die Berechnung erfolgt für jeden Spannungspunkt. Die für jeden Lastfall vorliegenden Druck-, Zug- und Schubspannungen werden gemäß EK-Überlagerungskriterium addiert und dann als Spannungen der Ergebniskombination ausgewiesen. Eine Ausnahme bildet die Vergleichsspannung σ_v . Diese wird mit den EK-Anteilen von σ_{gesamt} und τ_{gesamt} ermittelt, denn die Überlagerung der Vergleichsspannungen aus den Lastfällen wäre nicht korrekt. Zu hohe Ausnutzungen wäre die Folge.

Diese Art der Spannungsermittlung ist mit einem höheren Aufwand verbunden als die direkte Verwertung der EK-Schnittgrößen. Auch sind die Werte schwieriger nachzuvollziehen, die in Maske *3.1 Maßgebende Schnittgrößen* für die Vergleichsspannungen ausgewiesen sind.



Da bei anspruchvolleren 3D-Modellen meist keine rein einachsige Biegung auftritt, sollten dort beide Berechnungsarten zu den gleichen Ausnutzungen führen.

Spannungen aus einzelnen Extremwerten überlagern

Das Kontrollfeld ist per Voreinstellung deaktiviert. Damit werden die Spannungen zeilenweise erfasst (Schnittgrößentabelle aus RFEM bzw. Spannungen aus Lastfall-Schnittgrößen für EK).

Wird diese Option angehakt, berechnet RF-STAHL die Spannungen nicht aus den zugehörigen Schnittgrößen bzw. Spannungen, sondern aus den Extremwerten der Schnittgrößen- bzw. Spannungsanteile, die an jeder x-Stelle vorliegen (z. B. max/min-Werte von N , M_y und M_z für Normalspannung). Diese „Extremwerte-Diagonale“ stellt sicher, dass die denkbar ungünstigste Konstellation erfasst wird.

Plastizierung berücksichtigen

Örtlich begrenzte Plastizierung

Wird eine örtlich begrenzte Plastizierung gemäß [1] El. (749) zugelassen, dann darf die Vergleichsspannung σ_v in kleinen Bereichen die zulässige Grenzspannung um 10 % überschreiten.

RF-STAHL untersucht die in El. (749) genannten Bedingungen für „kleine Bereiche“:

$$|\sigma_N + \sigma_{M_y}| \leq 0,8 \cdot \sigma_{Rd} \quad (3.1)$$

$$|\sigma_N + \sigma_{M_z}| \leq 0,8 \cdot \sigma_{Rd} \quad (3.2)$$

Sind diese Bedingungen erfüllt, so wird die Grenzspannung für den Nachweis von σ_v erhöht.

Normalspannungen mit Formbeiwerten α_{pl} berechnen

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

$$\sigma_M = \left| \pm \frac{M_y}{\alpha_{pl,y} \cdot I_y} \cdot e_z \pm \frac{M_z}{\alpha_{pl,z} \cdot I_z} \cdot e_y \right| \quad (3.3)$$

Wenn diese Möglichkeit der Plastizierung genutzt wird, setzt RF-STAHL die in der Norm genannten Formbeiwerte $\alpha_{pl,y} = 1,14$ und $\alpha_{pl,z} = 1,25$ an.



Die Abminderung der Normalspannungen über die Formbeiwerte ist gemäß [1] El. (750) nur für Walzprofile mit I-förmigen Querschnitt zulässig.

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. Deshalb besteht für hohe I-Profile die Möglichkeit, exzentrisch wirkende Querlasten mit einem vereinfachten Ansatz zu berücksichtigen: Bei jedem gewalzten oder parametrischen symmetrischen I-Profil des Bemessungsfalls wird das Biegemoment M_z komplett auf den Obergurt angerechnet. Für die Spannungsermittlung verwendet RF-STAHL einen Ersatzquerschnitt mit dem halbierten Trägheitsmoment I_z .

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



Da sich das Kontrollfeld auf sämtliche symmetrischen I-Profile des Bemessungsfalls auswirkt, sollten alle hohen I-Träger in einem separaten RF-STAHL-Fall bemessen werden (siehe [Kapitel 6.1](#), [Seite 86](#)).

Vergleichsspannung σ_v

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

$$\sigma_v = \sqrt{f_1 \cdot \sigma_{\text{gesamt}}^2 + f_2 \cdot \tau_{\text{gesamt}}^2} \quad (3.4)$$

f_1 : Faktor für Normalspannungen

f_2 : Faktor für Schubspannungen

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

Querschnittsoptimierung

Als Ziel der Optimierung ist eine maximale Ausnutzung von 100 % voreingestellt. Bei Bedarf kann hier ein anderer Grenzwert vorgegeben werden.

3.2.2 Spannungen und Ausnutzung



Als Voreinstellung werden in den Masken 2.1 bis 2.5 die Spannungen σ_{gesamt} , τ_{gesamt} und σ_v ausgewiesen. Weitere Spannungsanteile lassen sich über die Schaltflächen [Auswahl der Spannungen] und [Erweiterte Anzeige] einblenden (siehe Bild 4.2, Seite 66).

Normalspannungen



In RF-STAHL gilt folgende Vorzeichenregel: Zugspannungen werden mit positivem Vorzeichen, Druckspannungen mit negativem Vorzeichen ausgegeben (siehe Bild 3.9).



Die Analyse erfolgt für jeden einzelnen Spannungspunkt. Daher dürfen bei einer kombinierten Beanspruchung (z. B. σ_{gesamt}) nicht die Maximalwerte der Spannungskomponenten addiert werden. Diese treten meist an unterschiedlichen Spannungspunkten auf. Es werden die Spannungsanteile überlagert, die im gleichen Spannungspunkt vorliegen.

Die Normalspannungen σ bedeuten im Einzelnen:

σ_N	<p>Spannung infolge der Normalkraft N:</p> $\sigma = \frac{N}{A} \quad (3.5)$ <p>A : Querschnittsfläche des Profils</p> <p>Axialspannung bei Rohren infolge des Innendrucks:</p> $\sigma = \frac{p \cdot d_i^2}{4s(d_i + s)} \quad (3.6)$ <p>p : Innendruck d_i : Rohrinne Durchmesser s : Rohrwanddicke</p>
σ_{M_y}	<p>Spannung infolge des Biegemoments M_y:</p> $\sigma = \frac{M_y}{\alpha_{pl,y} \cdot I_y} \cdot e_z \quad (3.7)$ <p>$\alpha_{pl,y}$: plastischer Formbeiwert gemäß [1] El. (750) I_y : auf die Hauptachse y bezogenes Flächenmoment 2. Grades e_z : Schwerpunktabstand des Spannungspunkts in Richtung z</p>
σ_{M_z}	<p>Spannung infolge des Biegemoments M_z:</p> $\sigma = \frac{M_z}{\alpha_{pl,z} \cdot I_z} \cdot e_y \quad (3.8)$ <p>$\alpha_{pl,z}$: plastischer Formbeiwert gemäß [1] El. (750) I_z : auf die Hauptachse z bezogenes Flächenmoment 2. Grades e_y : Schwerpunktabstand des Spannungspunkts in Richtung y</p>

	Spannung infolge der Biegemomente M_y und M_z :
σ_M	$\sigma = \frac{M_y}{\alpha_{pl,y} \cdot I_y} \cdot e_z - \frac{M_z}{\alpha_{pl,z} \cdot I_z} \cdot e_y \quad (3.9)$
	Zugspannung infolge der Normalkraft N und der Biegemomente M_y und M_z :
σ_{Zug}	$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{\alpha_{pl,y} \cdot I_y} \cdot e_z - \frac{M_z}{\alpha_{pl,z} \cdot I_z} \cdot e_y \quad (3.10)$
	Druckspannung infolge der Normalkraft N und der Biegemomente M_y und M_z :
σ_{Druck}	$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{\alpha_{pl,y} \cdot I_y} \cdot e_z - \frac{M_z}{\alpha_{pl,z} \cdot I_z} \cdot e_y \quad (3.11)$
σ_{Delta}	Maximale Differenz zwischen den Normalspannungen der einzelnen Lastfälle, die z. B. für den Betriebsfestigkeitsnachweis benötigt wird
	Normalspannung infolge Normalkraft N sowie der Biegemomente M_y und M_z :
σ_{gesamt}	$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{\alpha_{pl,y} \cdot I_y} \cdot e_z - \frac{M_z}{\alpha_{pl,z} \cdot I_z} \cdot e_y \quad (3.12)$
	Tangentialspannung eines Rohres infolge des Innendrucks:
σ_T	$\sigma = \frac{p \cdot d_i}{2s} \quad (3.13)$ <p> p : Innendruck d_i : Rohrinne Durchmesser s : Rohrwanddicke </p>
	Ein Beispiel hierzu finden Sie in der Knowledge Base auf unserer Website.

Tabelle 3.3: Normalspannungen σ



Das lokale Stabachsensystem beeinflusst die Vorzeichen der Schnittgrößen und Spannungen.

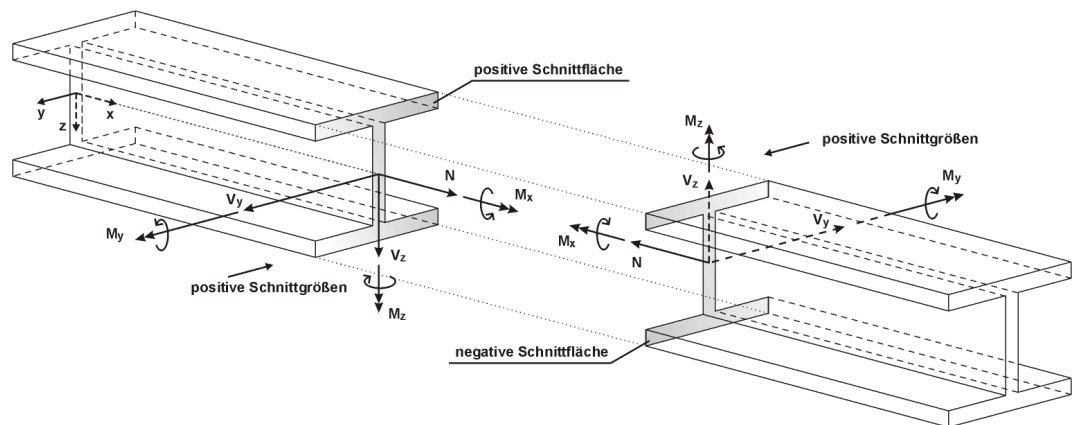


Bild 3.9: Positive Definition der Schnittgrößen

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 folgender Konvention: Diese Schnittgrößen sind positiv, wenn sie am positiven Schnitтуufer in die positive Richtung wirken.



Wenn der *Modelltyp* in den Basisangaben von RFEM als **2D** definiert wurde, ist bei der Bemessung von unsymmetrischen Querschnitten wie z. B. Winkeln oder U-Profilen Vorsicht geboten: Im ebenen Modell sind nur Momente um die Stabachse y möglich, sodass in RFEM keine Zerlegung des Moments in Richtung der Hauptachsen u und v erfolgt. RF-STAHL bemisst nur den Momentenanteil um die Stabachse y . Bei Systemen mit unsymmetrischen Querschnitten sollte daher unbedingt eine Kontrollrechnung anhand eines räumlichen Modells (Modelltyp 3D) erfolgen.

Schubspannungen

Die Schubspannungen τ bedeuten im Einzelnen:

τ_{V_y}	<p>Spannungen infolge der Querkraft V_y:</p> $\tau = -\frac{V_y \cdot S_z}{I_z \cdot t} \quad (3.14)$ <p>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> $\tau = -\frac{V_z \cdot S_y}{I_y \cdot t} \quad (3.15)$ <p>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> $\tau = -\frac{V_y \cdot S_z}{I_z \cdot t} - \frac{V_z \cdot S_y}{I_y \cdot t} \quad (3.16)$
$\tau_{M_T, \text{St. Venant}}$	<p>Spannung infolge des Torsionsmoments M_T bei offenem Querschnitt:</p> $\tau = \frac{M_T}{I_{T, \text{St. V.}}} \cdot t \quad (3.17)$ <p>$I_{T, \text{St. V.}}$: Saint Venantsches Torsionsträgheitsmoment t : maßgebende Dicke des Querschnitts</p>
$\tau_{M_T, \text{Bredt}}$	<p>Spannung infolge des Torsionsmoments M_T bei geschlossenem Querschnitt:</p> $\tau = \frac{M_T}{2 \cdot A_m \cdot t} \quad (3.18)$ <p>A_m : von den Querschnittsmittellinien umschlossene Fläche t : maßgebende Dicke des Querschnitts</p>
τ_{M_T}	<p>Spannung infolge des Torsionsmoments M_T:</p> $\tau = \frac{M_T}{I_{T, \text{St. V.}}} \cdot t \quad \text{oder} \quad \tau = \frac{M_T}{2 \cdot A_m \cdot t} \quad (3.19)$
τ_{gesamt}	<p>Schubspannung infolge der Querkräfte V_y und V_z und des Torsionsmoments M_T:</p> $\tau = \tau_V + \tau_{M_T} \quad (3.20)$

Tabelle 3.4: Schubspannungen τ

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



Bei den Schubspannungen infolge Torsion ist zu beachten:

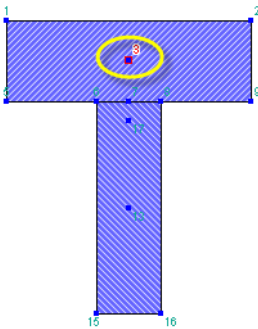
- Liegt ein teilweise offenes Profil mit einer geschlossenen Zelle im Querschnitt vor, wird der ganze Querschnitt als *geschlossen* eingestuft. Die Schubspannung wird ausschließlich nach der Bredtschen Formel ermittelt. Es findet keine anteilmäßige Analyse für $\tau_{MT,St.Venant}$ und $\tau_{MT,Bredt}$ statt, wie sie z. B. im Querschnittsprogramm DUENQ erfolgt.
- Der Einfluss der Wölbkrafttorsion wird in RF-STAHL Stäbe nicht erfasst. Die Bemessung ist – wie die Schnittgrößenermittlung in RFEM – auf das primäre Torsionsmoment beschränkt. Falls die Wölbspannungen aus dem sekundären Torsionsmoment oder dem Wölbmoment nicht vernachlässigt werden können, empfiehlt sich eine Analyse mit dem Zusatzmodul RF-FE-BGDK.

Bei dünnwandigen Querschnitten kann vereinfacht angenommen werden, dass die Schubspannung parallel zur Wand des Querschnitts verläuft. Daher werden die Anteile der Schubspannungen addiert, die sich aus den beiden Komponenten der Querkräfte ergeben. Das Vorzeichen des statischen Moments legt dabei fest, welche Anteile positiv oder negativ angesetzt werden.

Die Schubspannung infolge des Torsionsmoments ist für die Gesamtschubspannung unterschiedlich zu betrachten – je nachdem, ob ein geschlossener oder ein offener Querschnitt vorliegt. Bei einem geschlossenen Querschnitt wird die Torsionsschubspannung einfach zur Summe aus den einzelnen Schubspannungen addiert. Dabei werden die Vorzeichen bei Kernfläche und statischen Momenten so eingestellt, dass sie mit der programminternen Vorzeichenkonvention der Schubspannung übereinstimmen, die von der Belastung abhängt.

Bei einem offenen Querschnitt hingegen wird die Torsionsschubspannung derjenigen Summe aus den einzelnen Schubspannungen mit dem Vorzeichen zugerechnet, die zum größeren Absolutwert der Summe führt.

Schubspannungen innerhalb des Querschnitts



Doppelte Spannungspunkte

Spannungspunkte, die innerhalb des Querschnitts liegen, lassen die oben erwähnte Annahme nicht zu, dass die Schubspannung parallel zur Wand des Querschnitts verläuft. Hier kommt ein spezielles Verfahren mit doppelten Spannungspunkten zur Anwendung, bei dem zwei Spannungspunkte mit identischen Koordinaten im Querschnitt benutzt werden.

Der eine Spannungspunkt erfasst das statische Moment um die Achse y (Parameter für Schubspannung infolge vertikaler Querkraft), der andere das statische Moment um die Achse z (Parameter für Schubspannung infolge horizontaler Querkraft). Bei diesen Spannungspunkten ist das komplementäre statische Moment jeweils null. Den Doppelspannungspunkten können unterschiedliche Dicken zugeordnet sein, die sich ebenfalls auf die Berechnung der Schubspannung auswirken. Die Schubspannungen werden als zueinander senkrecht wirkende Komponenten betrachtet, die voneinander abhängig sind – es sind zwei Komponenten eines Spannungszustands. Für die Ermittlung der Gesamtschubspannung werden beide Anteile quadratisch addiert. Die Schubspannung infolge des Torsionsmoments wird in diesen Punkten nicht betrachtet.

Die Schubspannungen von Ergebniskombinationen, die in den Doppelspannungspunkten vorliegen, dürfen nicht linear kombiniert werden. Daher werden die Extremwerte beider Komponenten mit den zugehörigen komplementären Schubspannungen ausgewertet, um daraus die größte Gesamtschubspannung zu bestimmen.

Vergleichsspannung

Die Vergleichsspannung σ_v ermittelt sich z. B. nach [1] El. (748) wie folgt:

	Vergleichsspannung aus den Normalspannungen σ und Schubspannungen τ :
σ_v	$\sigma_v = \sqrt{f_1 \cdot \sigma_{\text{gesamt}}^2 + f_2 \cdot \tau_{\text{gesamt}}^2} \quad (3.21)$ <p> f_1 : Faktor für Normalspannungen f_2 : Faktor für Schubspannungen </p>

Tabelle 3.5: Vergleichsspannung σ_v

Details...

Die Faktoren f_1 und f_2 können im Dialog *Details* festgelegt werden (siehe [Bild 3.8, Seite 45](#)). Dort sind die Faktoren $f_1 = 1,0$ und $f_2 = 3,0$ gemäß [1] El. (748) voreingestellt.

Ausnutzung

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

Nachweisbedingung für Normalspannungen:

$$\frac{\sigma}{\sigma_{Rd}} \leq 1 \quad (3.22)$$


Nachweisbedingung für Schubspannungen:

$$\frac{\tau}{\tau_{Rd}} \leq 1 \quad (3.23)$$

Nachweisbedingung für Vergleichsspannungen:

$$\frac{\sigma_v}{\sigma_{Rd}} \leq 1 \quad (3.24)$$

Für jeden Schnittgrößenanteil kann die Ausnutzung abgelesen werden, die an einem Spannungspunkt des Profils vorliegt (siehe [Kapitel 4.2.1, Seite 72](#)). In den Ergebnismasken sind die Ausnutzungen infolge Normal-, Schub- und Vergleichsspannung voreingestellt.

Max: 0.96 ≤ 1 

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

3.2.3 Start der Berechnung

Berechnung

In jeder Eingabemaske kann die [Berechnung] über die entsprechende Schaltfläche gestartet werden.

RF-STAHL Stäbe sucht nach den Ergebnissen der zu bemessenden Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen. Liegen diese noch nicht vor, startet automatisch die RFEM-Berechnung zur Ermittlung der bemessungsrelevanten Schnittgrößen.

Die Berechnung kann auch in der RFEM-Oberfläche gestartet werden: Im Dialog *Zu berechnen* (Menü **Berechnung** → **Zu berechnen**) sind die Bemessungsfälle der Zusatzmodule wie Lastfälle oder Kombinationen aufgelistet.

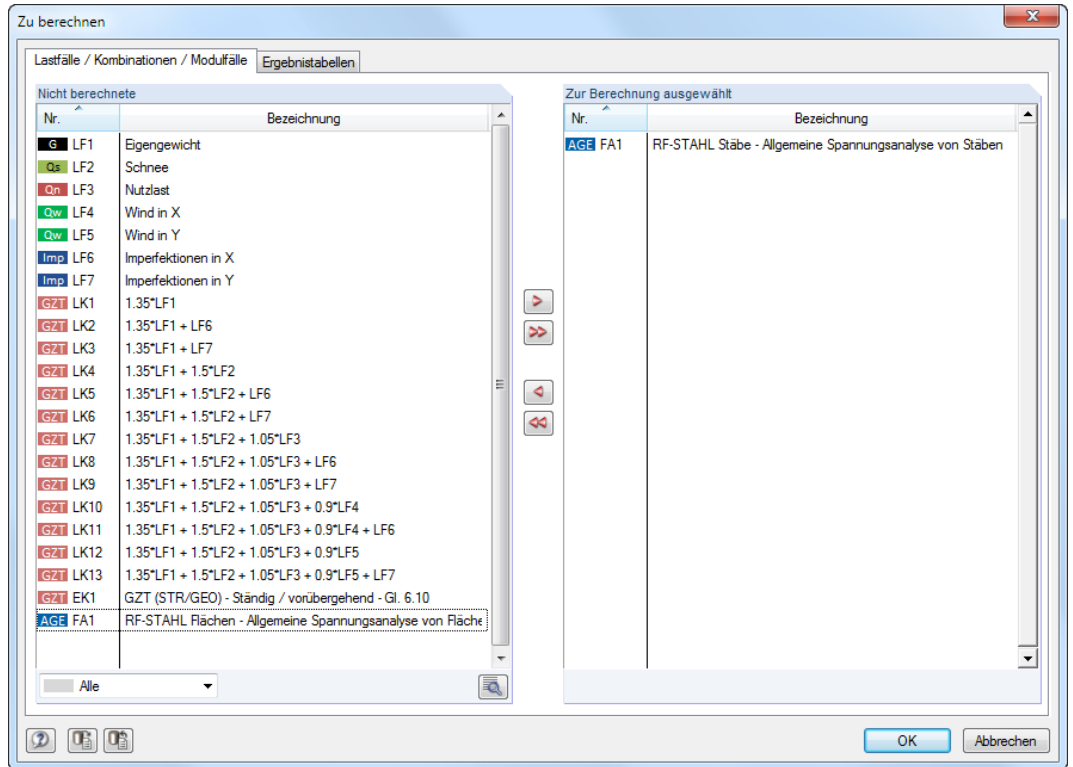
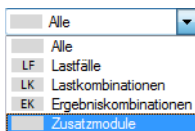


Bild 3.10: Dialog *Zu berechnen*



Sollten die RF-STAHL-Fälle in der Liste *Nicht berechnete* fehlen, ist die Selektion am Ende der Liste auf *Alle* oder *Zusatzmodule* zu ändern.

Mit der Schaltfläche werden die selektierten RF-STAHL-Fälle in die rechte Liste übergeben. Ein Klick auf [OK] startet dann die Berechnung.



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

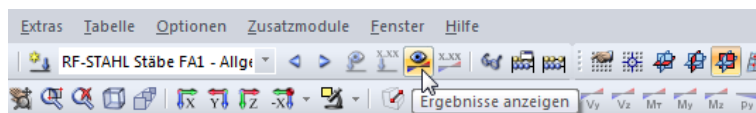


Bild 3.11: Direkte Berechnung eines RF-STAHL-Bemessungsfalls in RFEM

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

3.3 Ergebnisse

Dieses Kapitel stellt die Ergebnismasken der Reihe nach vor. Die Auswertung und Überprüfung der Ergebnisse ist im [Kapitel 4](#) ab [Seite 65](#) beschrieben.

Unmittelbar nach der Berechnung erscheint die Maske *2.1 Spannungen querschnittsweise*.

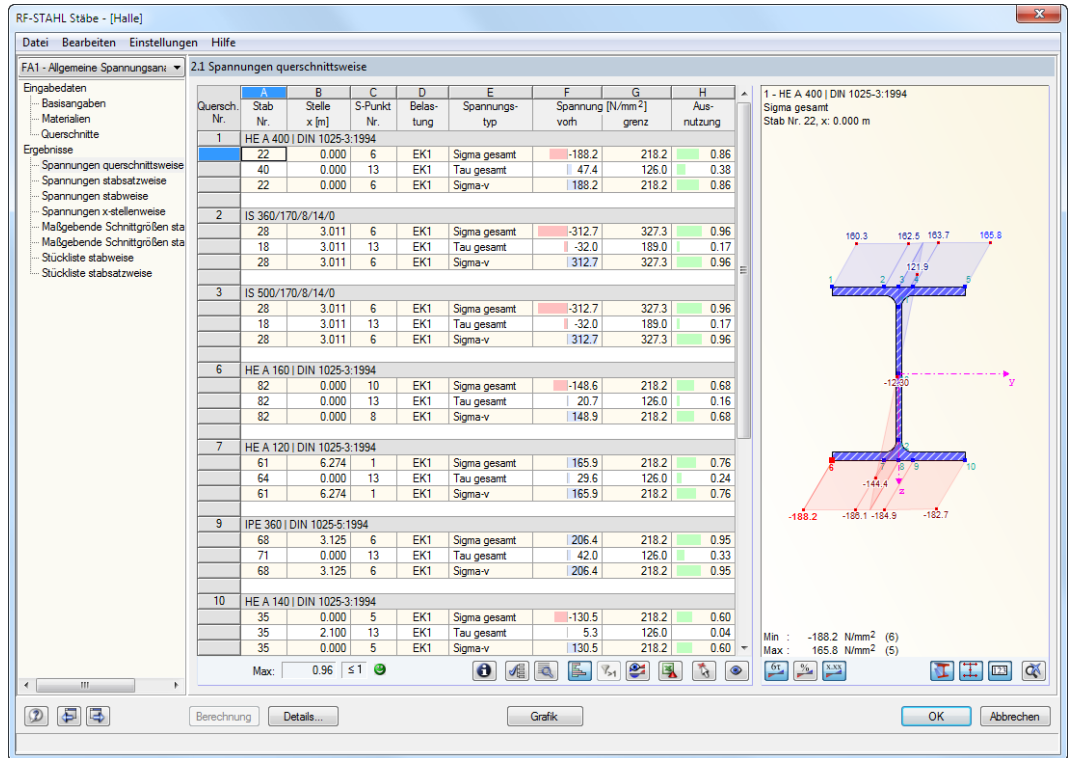


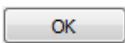
Bild 3.12: Ergebnismaske mit Spannungen und Ausnutzungen

Die Nachweise sind in den Ergebnismasken 2.1 bis 2.5 nach verschiedenen Kriterien sortiert.

Die Masken 3.1 und 3.2 listen die maßgebenden Schnittgrößen auf. In den letzten beiden Ergebnismasken 4.1 und 4.2 werden die Stücklisten stab- und stabsatzbezogen ausgegeben.



Jede Maske lässt sich durch Anklicken des Eintrags im Navigator direkt ansteuern. Mit den links dargestellten Schaltflächen wird die vorherige bzw. nächste Maske eingestellt. Das Blättern durch die Masken ist auch mit den Funktionstasten [F2] und [F3] möglich.



[OK] sichert die Ergebnisse. RF-STAHL Stäbe wird beendet und es erfolgt die Rückkehr in das Hauptprogramm RFEM.

3.3.1 Spannungen querschnittsweise

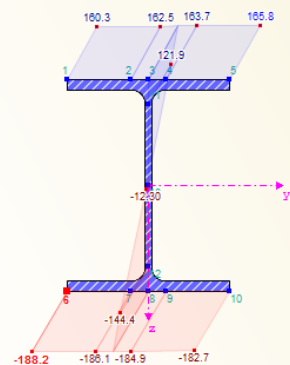
Diese Maske listet die maximalen Ausnutzungen aller bemessenen Stäbe und Einwirkungen nach Querschnitten geordnet auf. Die Ausnutzungen, die für die Schnittgrößen der maßgebenden Lastfälle und Kombinationen vorliegen, sind nach Spannungsarten sortiert.



Die Schaltflächen sind im [Kapitel 4](#) auf [Seite 66](#) erläutert.

Querschnitt Nr.	A Stab Nr.	B Stelle x [m]	C S-Punkt Nr.	D Belastung	E Spannungstyp	F Spannung [N/mm ²]	G Spannungsvorh.	H Ausnutzung
2.1 Spannungen querschnittsweise								
1 HE A 400 DIN 1025-3:1994								
	22	0.000	6	EK1	Sigma gesamt	-188.2	218.2	0.86
	40	0.000	13	EK1	Tau gesamt	47.4	126.0	0.38
	22	0.000	6	EK1	Sigma-v	188.2	218.2	0.86
2 IS 360/170/8/14/0								
	28	3.011	6	EK1	Sigma gesamt	-299.3	327.3	0.91
	18	3.011	13	EK1	Tau gesamt	-31.0	189.0	0.16
	28	3.011	6	EK1	Sigma-v	299.3	327.3	0.91
3 IS 500/170/8/14/0								
	28	3.011	6	EK1	Sigma gesamt	-312.7	327.3	0.96
	18	3.011	13	EK1	Tau gesamt	-32.0	189.0	0.17
	28	3.011	6	EK1	Sigma-v	312.7	327.3	0.96
6 HE A 160 DIN 1025-3:1994								
	82	0.000	10	EK1	Sigma gesamt	-148.6	218.2	0.68
	82	0.000	13	EK1	Tau gesamt	20.7	126.0	0.16
	82	0.000	8	EK1	Sigma-v	148.9	218.2	0.68
7 HE A 120 DIN 1025-3:1994								
	61	6.274	1	EK1	Sigma gesamt	165.9	218.2	0.76
	64	0.000	13	EK1	Tau gesamt	29.6	126.0	0.24
	61	6.274	1	EK1	Sigma-v	165.9	218.2	0.76
9 IPE 360 DIN 1025-3:1994								
	68	3.125	6	EK1	Sigma gesamt	206.4	218.2	0.95
	71	0.000	13	EK1	Tau gesamt	42.0	126.0	0.33
	68	3.125	6	EK1	Sigma-v	206.4	218.2	0.95
10 HE A 140 DIN 1025-3:1994								
	35	0.000	5	EK1	Sigma gesamt	-130.5	218.2	0.60
	35	2.100	13	EK1	Tau gesamt	5.3	126.0	0.04
	35	0.000	5	EK1	Sigma-v	130.5	218.2	0.60

1 - HE A 400 | DIN 1025-3:1994
Sigma gesamt
Stab Nr. 22, x: 0.000 m



Min : -188.2 N/mm² (6)
Max : 165.8 N/mm² (5)

Bild 3.13: Maske 2.1 Spannungen querschnittsweise

Querschnitt Nr.

Die Ausgabe ist nach Querschnittsnummern geordnet. Rechts neben der Querschnittsnummer wird die Bezeichnung des Querschnitts angezeigt.

Stab Nr.

Es wird jeweils die Nummer des Stabes angegeben, der die höchste Ausnutzung für den in Spalte E bezeichneten Spannungstyp aufweist.

Stelle x

An dieser x-Stelle des Stabes liegt jeweils die maximale Ausnutzung vor. Für die tabellarische Ausgabe werden folgende Stabstellen x verwertet:

- Anfangs- und Endknoten
- Teilungspunkte gemäß ggf. definierter Stabteilung (siehe RFEM-Tabelle 1.16)
- Stabteilungen gemäß Vorgabe für Ergebnisverläufe (siehe RFEM-Dialog *Berechnungsparameter*, Register *Globale Berechnungsparameter*)
- Extremwerte der Schnittgrößen

S-Punkt Nr.

Die Bemessung erfolgt an sogenannten Spannungspunkten des Querschnitts. Diese Stellen sind durch Schwerpunktabstände, statische Momente und Dicken der Querschnittsteile definiert, die eine Bemessung nach [Tabelle 3.3](#) und [Tabelle 3.4](#) (siehe [Seite 49](#) bis [Seite 51](#)) ermöglichen.

Alle Standardprofile der Bibliothek sowie die DUENQ- und DICKQ-Querschnitte sind mit Spannungspunkten an den bemessungsrelevanten Stellen des Profils versehen. Bei eigendefinierten Querschnitten müssen die Parameter der Spannungspunkte manuell festgelegt werden, damit die Bemessung mit RF-STAHL Stäbe möglich ist.



In der Querschnittsgrafik werden die Spannungspunkte mit Nummerierung angezeigt. Der aktuelle Spannungspunkt (d. h. der Spannungspunkt der Zeile, in der sich der Cursor befindet) ist rot gekennzeichnet.



Über die Schaltfläche [Erweiterte Anzeige] können die Kennwerte der Spannungspunkte überprüft werden (siehe [Kapitel 4.2.2, Seite 74](#)).

Belastung

Es werden die Nummern der Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen angegeben, deren Schnittgrößen zu den maximalen Ausnutzungen führen.

Spannungstyp

Es sind die Ausnutzungen infolge der Normalspannung σ_{gesamt} , der Schubspannung τ_{gesamt} und der Vergleichsspannung σ_v voreingestellt. In [Tabelle 3.3](#), [Tabelle 3.4](#) und [Tabelle 3.5](#) auf [Seite 49](#) bis [Seite 53](#) ist beschrieben, wie diese Spannungen ermittelt werden.



Zur Kontrolle können auch die Komponenten dieser Gesamtspannungen angezeigt werden (siehe [Bild 3.14](#)). Über die links dargestellte Schaltfläche wird der Dialog *Spannungen - Filter* aufgerufen, in dem die Spannungsanteile ausgewählt werden können (siehe [Bild 4.8, Seite 72](#)).

Spannung vorh

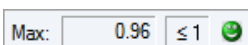
Es werden die Extremwerte der vorhandenen Spannungen ausgegeben, die mit den Gleichungen der [Tabelle 3.3](#), [Tabelle 3.4](#) und [Tabelle 3.5](#) ermittelt wurden (siehe [Seite 49](#) bis [Seite 53](#)).

Spannung grenz

Hier finden sich die Grenzspannungen der Maske 1.2, Spalte E bis G wieder (siehe [Kapitel 2.1.2, Seite 9](#)). Im Einzelnen handelt es sich um folgende Beanspruchbarkeiten:

- Grenznormalspannung σ_x als die zulässige Spannung für die Beanspruchung aus Biegung, Normalkraft und Innendruck
- 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



In der letzten Spalte wird der Quotient aus vorhandener Spannung und Grenzspannung angegeben. Wird die Grenzspannung eingehalten, so ist die Ausnutzung kleiner oder gleich 1 und der Spannungsnachweis gilt als erfüllt.

Die Länge des farbigen Balkens stellt die jeweilige Ausnutzung in grafischer Form dar.

3.3.2 Spannungen stabsatzweise

2.2 Spannungen stabsatzweise

Stabsatz Nr.	A	B	C	D	E	F	G	H
Stabsatz Nr.	Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Belastung	Spannungstyp	Spannung vorh [N/mm ²]	Spannung grenz [N/mm ²]	Ausnutzung
1 Deckenträger B-B (Stab Nr. 66-69)								
	68	3.125	6	EK1	Sigma gesamt	206.4	218.2	0.95
	66	0.000	13	EK1	Sigma N	34.7	218.2	0.16
	69	3.125	10	EK1	Sigma M-y	182.6	218.2	0.84
	68	3.125	6	EK1	Sigma M-z	3.4	218.2	0.02
	68	3.125	6	EK1	Sigma M	185.0	218.2	0.85
	68	3.125	6	EK1	Sigma Zug	206.4	218.2	0.95
	68	3.125	5	EK1	Sigma Druck	-172.5	218.2	0.79
	66	6.250	13	EK1	Tau gesamt	-41.5	126.0	0.33
	67	6.250	3	EK1	Tau V-y	0.1	126.0	0.00
	69	0.000	13	EK1	Tau V-z	41.5	126.0	0.33
	66	3.125	1	EK1	Tau M-T	-4.2	126.0	0.03
	68	3.125	6	EK1	Sigma-v	206.4	218.2	0.95
2 Deckenträger A-A (Stab Nr. 71-74)								
	73	3.125	6	EK1	Sigma gesamt	187.6	218.2	0.86
	71	3.125	1	EK1	Sigma N	-0.6	218.2	0.00
	71	3.125	10	EK1	Sigma M-y	184.8	218.2	0.85
	73	2.813	6	EK1	Sigma M-z	4.0	218.2	0.02
	73	3.125	6	EK1	Sigma M	187.6	218.2	0.86
	73	3.125	6	EK1	Sigma Zug	187.6	218.2	0.86
	73	3.125	5	EK1	Sigma Druck	-187.6	218.2	0.86
	71	0.000	13	EK1	Tau gesamt	42.0	126.0	0.33
	72	6.250	3	EK1	Tau V-y	0.1	126.0	0.00
	71	6.250	13	EK1	Tau V-z	-41.9	126.0	0.33
	71	3.125	1	EK1	Tau M-T	-4.3	126.0	0.03
	73	3.125	6	EK1	Sigma-v	187.6	218.2	0.86
3 Firstregel E-E (Stab Nr. 1-8)								
	8	3.011	10	EK1	Sigma gesamt	-162.3	327.3	0.50
	7	3.262	1	EK1	Sigma N	-8.9	218.2	0.04
	8	3.011	5	EK1	Sigma M-y	147.9	327.3	0.45
	2	0.000	10	EK1	Sigma M-z	30.5	218.2	0.14
	8	3.011	1	EK1	Sigma M	154.6	327.3	0.47

9 - IPE 360 | DIN 1025-5:1994
Sigma gesamt
Stab Nr. 68, x: 3.125 m

Min : -172.5 N/mm² (5)
Max : 206.4 N/mm² (6)

Bild 3.14: Maske 2.2 Spannungen stabsatzweise

Diese Ergebnismaske wird angezeigt, wenn mindestens ein Stabsatz zur Bemessung ausgewählt wurde. Die maximalen Ausnutzungen sind hier nach Stabsätzen geordnet aufgelistet.

In Spalte Stab Nr. wird die Nummer des Stabes im Stabsatz angegeben, der jeweils die höchste Ausnutzung für die einzelnen Spannungsarten aufweist.

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

3.3.3 Spannungen stabweise

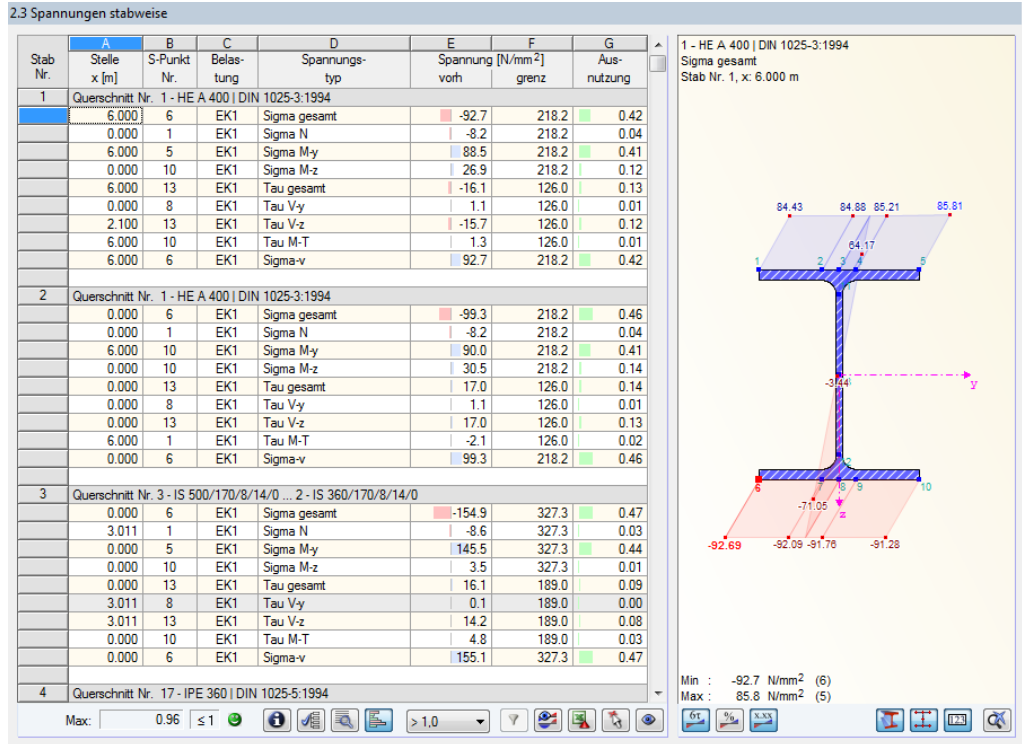


Bild 3.15: Maske 2.3 Spannungen stabweise

Diese Ergebnismaske präsentiert die maximalen Ausnutzungen für die einzelnen Spannungsarten nach Stabnummern geordnet. Die Spalten sind im Kapitel 3.3.1 auf Seite 56 erläutert.

Liegt eine Voute vor, so werden beide Querschnittsbezeichnungen für den Stab angegeben.

3.3.4 Spannungen x-stellenweise

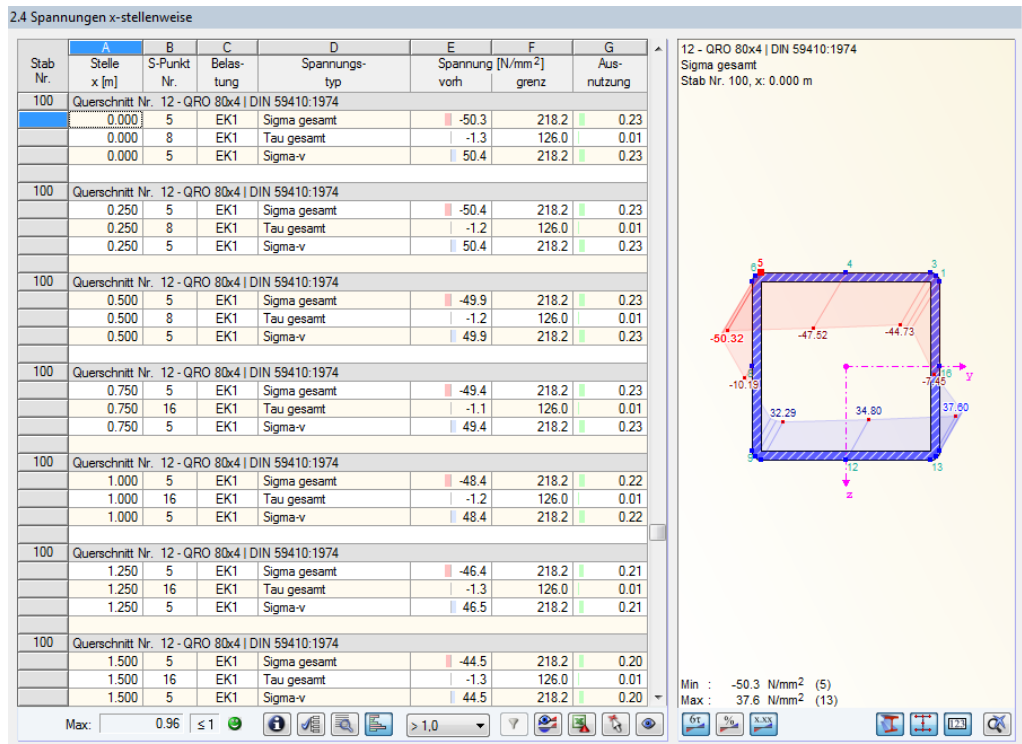


Bild 3.16: Maske 2.4 Spannungen x-stellenweise

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

- Anfangs- und Endknoten
- Teilungspunkte gemäß ggf. definierter Stabteilung (siehe RFEM-Tabelle 1.16)
- Stabteilungen gemäß Vorgabe für Ergebnisverläufe (siehe RFEM-Dialog *Berechnungsparameter*, Register *Globale Berechnungsparameter*)
- Extremwerte der Schnittgrößen

3.3.5 Spannungen in jedem Spannungspunkt

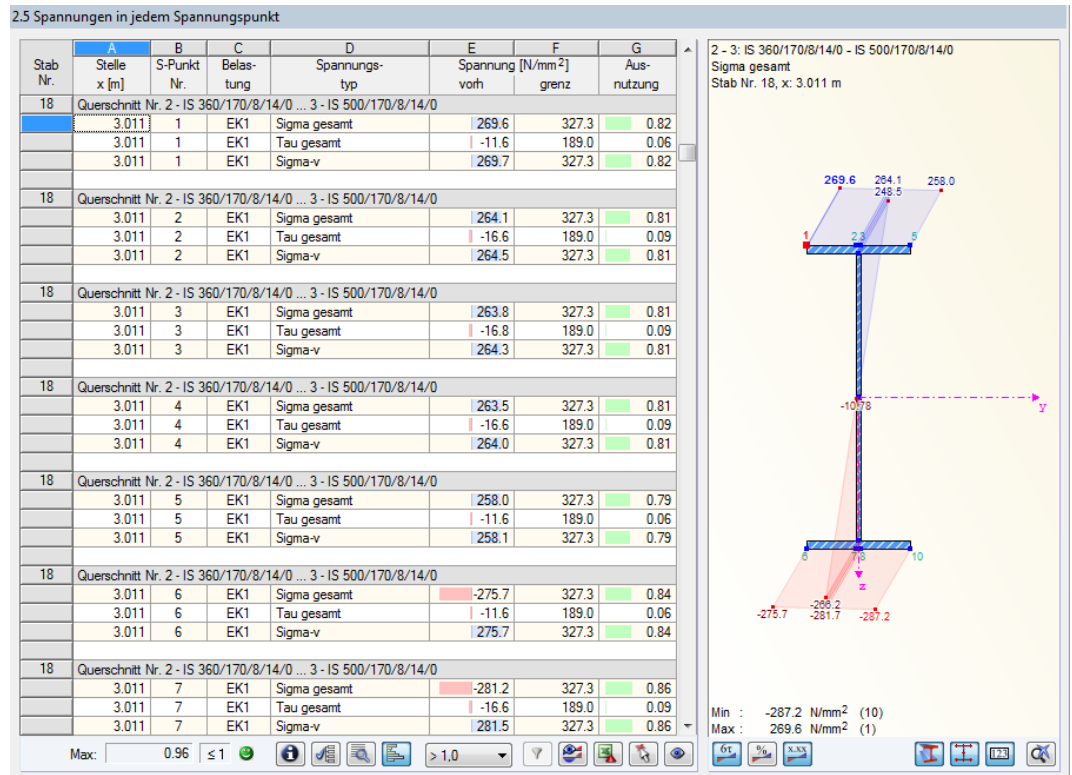


Bild 3.17: Maske 2.5 Spannungen in jedem Spannungspunkt



Diese Ergebnismaske wird standardmäßig nicht angezeigt, da RF-STAHl die Maximalspannungen – und damit die maßgebenden Spannungspunkte – automatisch ermittelt. Auch besteht in den Masken 2.1 bis 2.4 über die Schaltfläche [Erweiterte Anzeige] die Möglichkeit, die Ergebnisse eines jeden Spannungspunkts tabellarisch und grafisch zu überprüfen (siehe Kapitel 4.2.2, Seite 74).

Details...

Sollte eine spannungspunktweise Auswertung erforderlich sein, kann die Maske über den Dialog *Details* eingeblendet werden (siehe Bild 3.8, Seite 45). Dieser Dialog lässt sich in jeder Maske über die entsprechende Schaltfläche aufrufen.

Die Auflistung der Spannungen erfolgt für jeden Stab nach *Stelle x* und *Spannungspunkt* geordnet. Im Kapitel 3.3.1 auf Seite 56 sind die einzelnen Spalten der Maske erläutert.

3.3.6 Maßgebende Schnittgrößen stabweise

3.1 Maßgebende Schnittgrößen stabweise

Stab Nr.	A Stelle x [m]	B Belastung	C N	D Kräfte [kN] V _y	E V _z	F M _T	G Momente [kNm] M _y	H M _z	I
1	6.000	LK9	-54.69	0.49	-60.66	-0.08	-204.52	-0.44	
2	0.000	LK12	-130.16	-5.20	-61.36	-0.03	-164.31	-11.42	
3	0.000	LK12	-64.92	-0.19	48.68	0.10	-203.37	-0.35	
4	0.000	LK9	-63.77	-0.35	36.39	-0.08	-76.05	-0.28	
5	4.705	LK12	-60.93	0.33	1.79	-0.10	77.49	0.34	
6	0.000	LK11	-61.06	-0.59	4.76	0.21	75.45	-0.96	
7	3.262	LK11	-64.72	0.11	-36.68	0.10	-78.63	-0.16	
8	3.011	LK11	-66.13	-0.10	-49.13	-0.05	-207.85	0.90	
11	6.000	LK9	-89.74	0.46	-91.77	-0.14	-336.66	-0.29	
12	6.000	LK11	-97.41	-0.04	59.38	-0.08	382.86	0.27	
13	0.000	LK9	-98.28	0.00	70.66	-0.08	-336.72	0.13	
14	0.000	LK9	-96.38	-0.16	59.05	-0.06	-141.34	-0.27	
15	5.378	LK11	-84.16	0.12	1.31	-0.06	156.32	0.56	
16	0.941	LK6	-75.95	-0.26	-0.15	0.06	157.30	0.16	
17	3.262	LK11	-72.18	-0.10	-68.52	0.08	-143.04	0.01	
18	3.011	LK11	-75.17	-0.15	-90.81	-0.10	-383.03	0.78	
21	6.000	LK12	-111.17	-0.59	-102.27	0.20	-372.57	0.49	
22	0.000	LK15	-178.15	-0.25	136.96	0.02	-402.74	-1.58	
23	0.000	LK12	-110.48	-0.07	89.50	0.26	-372.70	-0.24	
24	0.000	LK12	-107.56	0.04	67.69	0.11	-135.84	0.18	
25	5.333	LK12	-95.05	-0.03	-1.18	0.02	154.34	-0.35	
26	0.896	LK12	-107.66	0.14	-0.88	-0.05	152.18	-0.02	
27	3.262	LK11	-134.86	0.02	-69.54	0.02	-161.17	0.10	
28	3.011	LK12	-138.14	0.24	-91.39	0.00	-404.22	-1.19	
31	3.000	LK12	-222.37	-2.10	72.81	-0.09	187.71	0.76	
32	3.000	LK12	-98.36	0.18	-176.74	0.14	-343.44	0.30	
33	0.000	LK29	-216.25	5.02	-0.09	0.00	0.22	3.17	
34	0.000	LK19	-1.18	0.23	-0.04	0.00	0.15	0.83	
35	0.000	LK25	-216.46	5.05	-0.10	0.00	0.35	3.30	
36	0.000	LK22	-1.36	0.20	-0.06	0.00	0.23	0.81	
37	0.000	LK25	-216.24	4.93	-0.09	0.00	0.20	3.32	
38	0.000	LK22	-1.18	0.28	-0.04	0.00	0.15	1.02	
39	3.000	LK11	-222.76	-0.32	-63.94	0.04	-194.07	-0.75	
40	3.000	LK11	-98.56	-0.08	178.80	-0.05	348.43	-0.13	

Bild 3.18: Maske 3.1 Maßgebende Schnittgrößen stabweise

Details...

Diese Maske weist für jeden Stab die maßgebenden Schnittgrößen aus. Hierbei handelt es sich um die Schnittgrößen, deren Spannungen zur höchsten Ausnutzung führen. Sie sind per Voreinstellung auf die maximale Vergleichsspannung σ_v bezogen. Im Dialog *Details* (siehe Bild 3.8, Seite 45), der über die gleichnamige Schaltfläche zugänglich ist, kann ein anderer Spannungstyp festgelegt werden.

Die Berechnungsart für Ergebniskombinationen *Spannungen einzelner Lastfälle berechnen und dann überlagern* (siehe Bild 3.8, Seite 45) verhindert, die EK-Ergebniszeilen der RFEM-Tabelle 4.6 *Stäbe - Schnittgrößen* direkt zu verwenden. Stattdessen werden die für jeden Lastfall ermittelten Druck-, Zug- und Schubspannungen gemäß EK-Überlagerungskriterium addiert. Eine Ausnahme bildet die Vergleichsspannung σ_v , denn diese wird mit den EK-Anteilen von σ_{gesamt} und τ_{gesamt} ermittelt. Daher sind die maßgebenden Schnittgrößen bei Ergebniskombinationen nicht unmittelbar transparent.

Stelle x

An dieser x-Stelle des Stabes liegt jeweils die maximale Ausnutzung vor.

Belastung

In dieser Spalte sind die Nummern des Lastfalls bzw. der Last- oder Ergebniskombination angegeben, deren Schnittgrößen zur höchsten Ausnutzung führen.

Kräfte / Momente

Es werden für jeden Stab die Normal- und Querkkräfte sowie die Torsions- und Biegemomente ausgewiesen, die beim Spannungsnachweis zur höchsten Ausnutzung führen.

3.3.7 Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise

3.2 Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise

Stabsatz Nr.	A	B	C	D			F	G		H	I
	Stelle x [m]	Belastung	N	Kräfte [kN]		V _z	M _T	Momente [kNm]		M _z	
				V _y				M _y			
1	3.125	LK26	169.34	0.00	0.00	0.02	163.37	0.29			
2	3.125	LK30	0.04	0.00	0.00	0.02	167.00	0.34			
3	3.011	LK11	-66.13	-0.10	-49.13	-0.05	-207.85	0.90			
4	3.000	LK12	-98.36	0.18	-176.74	0.14	-343.44	0.30			
5	0.000	LK29	-216.25	5.02	-0.09	0.00	0.22	3.17			
6	0.000	LK25	-216.46	5.05	-0.10	0.00	0.35	3.30			
7	0.000	LK25	-216.24	4.93	-0.09	0.00	0.20	3.32			
8	3.000	LK11	-98.56	-0.08	178.80	-0.05	348.43	-0.13			

Bild 3.19: Maske 3.2 Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise

Diese Maske weist für jeden Stabsatz die Schnittgrößen aus, die zu den höchsten Ausnutzungen führen.

3.3.8 Stückliste stabweise

Abschließend erscheint eine Bilanz der im Bemessungsfall behandelten Querschnitte.

4.1 Stückliste stabweise

Position Nr.	A Querschnitts- bezeichnung	B Anzahl Stäbe	C Länge [m]	D Gesamtlänge [m]	E Oberfläche [m ²]	F Volumen [m ³]	G Spez. Gewicht [kg/m]	H Masse [kg]	I Gesamtmasse [t]
1	1 - HE A 400 DIN 1025-3:1994	6	6.00	36.00	68.76	0.57	124.82	748.89	4.493
2	2 - IS 360/170/8/14/0 ... 3 - IS 500/170/8/14/0	8	3.01	24.09	36.71	0.19	62.61	188.54	1.508
3	17 - IPE 360 DIN 1025-5:1994	8	3.26	26.10	35.31	0.19	57.07	186.19	1.490
4	17 - IPE 360 DIN 1025-5:1994	8	6.27	50.19	67.91	0.36	57.07	358.05	2.864
5	1 - HE A 400 DIN 1025-3:1994	4	3.00	12.00	22.92	0.19	124.82	374.45	1.498
6	10 - HE A 140 DIN 1025-3:1994	3	3.00	9.00	7.15	0.03	24.65	73.95	0.222
7	10 - HE A 140 DIN 1025-3:1994	2	3.55	7.09	5.63	0.02	24.65	87.41	0.175
8	10 - HE A 140 DIN 1025-3:1994	1	4.09	4.09	3.25	0.01	24.65	100.91	0.101
9	15 - HE A 200 DIN 1025-3:1994	4	3.00	12.00	13.68	0.06	42.23	126.70	0.507
10	16 - Rechteck 200/200	3	3.00	9.00	7.20	0.36	100.00	300.00	0.900
11	6 - HE A 160 DIN 1025-3:1994	2	3.55	7.09	6.43	0.03	30.46	108.00	0.216
12	6 - HE A 160 DIN 1025-3:1994	1	4.09	4.09	3.71	0.02	30.46	124.70	0.125
13	7 - HE A 120 DIN 1025-3:1994	4	6.27	25.10	16.99	0.06	19.86	124.60	0.498
14	9 - IPE 360 DIN 1025-5:1994	8	6.25	50.00	67.65	0.36	57.07	356.68	2.853
15	6 - HE A 160 DIN 1025-3:1994	2	6.55	13.09	11.86	0.05	30.46	199.38	0.399
16	6 - HE A 160 DIN 1025-3:1994	1	7.09	7.09	6.43	0.03	30.46	216.07	0.216
17	12 - QRO 80x4 DIN 59410:1974	25	5.00	125.00	39.13	0.15	9.42	47.10	1.178
18	13 - RD 24 DIN 1013-1	4	7.81	31.24	2.36	0.01	3.55	27.71	0.111
19	13 - RD 24 DIN 1013-1	8	8.02	64.18	4.84	0.03	3.55	28.47	0.228
Summe		102		516.46	427.91	2.74			19.581

Bild 3.20: Maske 4.1 Stückliste stabweise

Details...

In der Liste sind per Voreinstellung nur die bemessenen Stäbe erfasst. Wird eine Stückliste für alle Stäbe des Modells benötigt, so kann dies im Dialog *Details* eingestellt werden (siehe Bild 3.8, Seite 45).

Position Nr.

Das Programm vergibt Positionsnummern für gleichartige Stäbe.

Querschnittsbezeichnung

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

Hier wird jeweils die Länge eines einzelnen Stabes ausgewiesen.

Gesamtlänge

Die Werte in dieser Spalte stellen jeweils das Produkt aus den beiden vorherigen Spalten dar.

Oberfläche



Es werden positionsweise die auf die Gesamtlänge bezogenen Oberflächen angegeben. Diese werden aus der *Mantelfläche* der Profile ermittelt, die in den Masken 1.3 sowie 2.1 bis 2.5 bei den Querschnittsinformationen einsehbar ist (siehe [Bild 3.5, Seite 42](#)).

Volumen

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

Spez. Gewicht

Das *Spezifische Gewicht* stellt die auf einen Meter Länge bezogene Masse des Querschnitts dar. Bei Voutenquerschnitten werden die beiden Profilkennwerte gemittelt.

Masse

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

Gesamtmasse

In der letzten Spalte wird das Gesamtgewicht jeder Position angegeben.

Summe

Am Ende der Liste befindet sich eine Bilanz mit den Summen der Spalten B, D, E, F und I. Das letzte Feld *Gesamtmasse* gibt Aufschluss über die insgesamt benötigte Stahlmenge.

3.3.9 Stückliste stabsatzweise

4.2 Stückliste stabsatzweise

Position Nr.	A Stabsatz- Bezeichnung	B Anzahl Stabsatz	C Länge [m]	D Gesamtlänge [m]	E Oberfläche [m ²]	F Volumen [m ³]	G Spez. Gewicht [kg/m]	H Masse [kg]	I Gesamtmasse [t]
1	Deckenträger B-B	1	25.00	25.00	33.83	0.18	57.07	1426.74	1.427
2	Deckenträger A-A	1	25.00	25.00	33.83	0.18	57.07	1426.74	1.427
3	Firstriegel E-E	1	37.10	37.10	57.90	0.38	79.88	2963.35	2.963
4	Stütze 1-1	1	6.00	6.00	11.46	0.10	124.82	748.89	0.749
5	Stütze 2-2	1	6.55	6.55	5.20	0.02	24.65	161.35	0.161
6	Stütze 3-3	1	7.09	7.09	5.63	0.02	24.65	174.86	0.175
7	Stütze 4-4	1	6.55	6.55	5.20	0.02	24.65	161.35	0.161
8	Stütze 5-5	1	6.00	6.00	11.46	0.10	124.82	748.89	0.749
Summe		8		119.28	164.50	1.00			7.812

Bild 3.21: Maske 4.2 Stückliste stabsatzweise

Die letzte Ergebnismaske wird angezeigt, wenn mindestens ein Stabsatz zur Bemessung ausgewählt wurden. Sie fasst eine ganze Baugruppe (z. B. einen Riegel) in einer Stückliste zusammen.

Die Spalten sind im [Kapitel 3.3.8](#) erläutert. Bei unterschiedlichen Querschnitten im Stabsatz werden Oberfläche, Volumen und spezifisches Gewicht gemittelt.

4 Ergebnisauswertung

Es bestehen verschiedene Möglichkeiten, die Spannungen und Ausnutzungen auszuwerten. Hierzu sind auch die Schaltflächen am Ende der Tabelle hilfreich.

RF-STAHL Flächen

2.2 Spannungen materialweise

Material Nr.	Fläche Nr.	FE-Netzpunkt Nr.	Punktkoordinaten [mm]			Belastung	Symbol	Spannung [N/mm ²]		Ausnutzung [-]
			X	Y	Z			Vorh.	Grenze	
1	Baustahl S 235									
53	3		-3225.0	3225.0	0.0	LK5	τ_{max}	5.5	126.0	0.04
53	597		-3225.0	3400.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,+}$	155.7	218.2	0.71
53	3		-3225.0	3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,+}$	-150.7	218.2	0.69
53	3		-3225.0	3225.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,-}$	230.3	218.2	1.06
53	597		-3225.0	3400.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,-}$	-169.1	218.2	0.78
53	375		1575.0	3400.0	0.0	LK5	$\sigma_{1,m}$	65.4	218.2	0.30
55	141		3200.0	-3200.0	0.0	LK5	$\sigma_{2,m}$	-62.4	218.2	0.29
53	3		-3225.0	3225.0	0.0	LK5	σ_v	212.1	218.2	0.97
55	141		3200.0	-3200.0	0.0	LK5	$\sigma_{v,m}$	72.1	218.2	0.33

FE-Netz-Punkte Rasterpunkte Max: 1.06 > 1

Bild 4.1: Schaltflächen zur Ergebnisauswertung in RF-STAHL Flächen

Die Schaltflächen in RF-STAHL Flächen sind mit folgenden Funktionen belegt:

Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Spannungsauswahl	Öffnet den Dialog <i>Details</i> zur Auswahl der Spannungen → Kapitel 2.2.1.1, Seite 17
	Relationsbalken	Blendet die farbigen Bezugsskalen in den Ergebnismasken ein und aus
	Überschreitung	Stellt nur Zeilen dar, in denen die Ausnutzung größer als 1 und damit der Nachweis nicht erfüllt ist
	Ergebnisverläufe	Blendet die Ergebnisse in der RFEM-Grafik ein und aus → Kapitel 4.1.2, Seite 68
	Excel-Export	Exportiert die Tabelle nach MS Excel → Kapitel 6.4.2, Seite 92
	Flächenauswahl	Ermöglicht die grafische Auswahl einer Fläche, um deren Ergebnisse in der Tabelle anzuzeigen
	Ansichtsmodus	Ermöglicht den Wechsel in das RFEM-Arbeitsfenster, um die Ansicht zu ändern

Tabelle 4.1: Schaltflächen in den Ergebnismasken 2.1 bis 3.1

RF-STAHL Stäbe

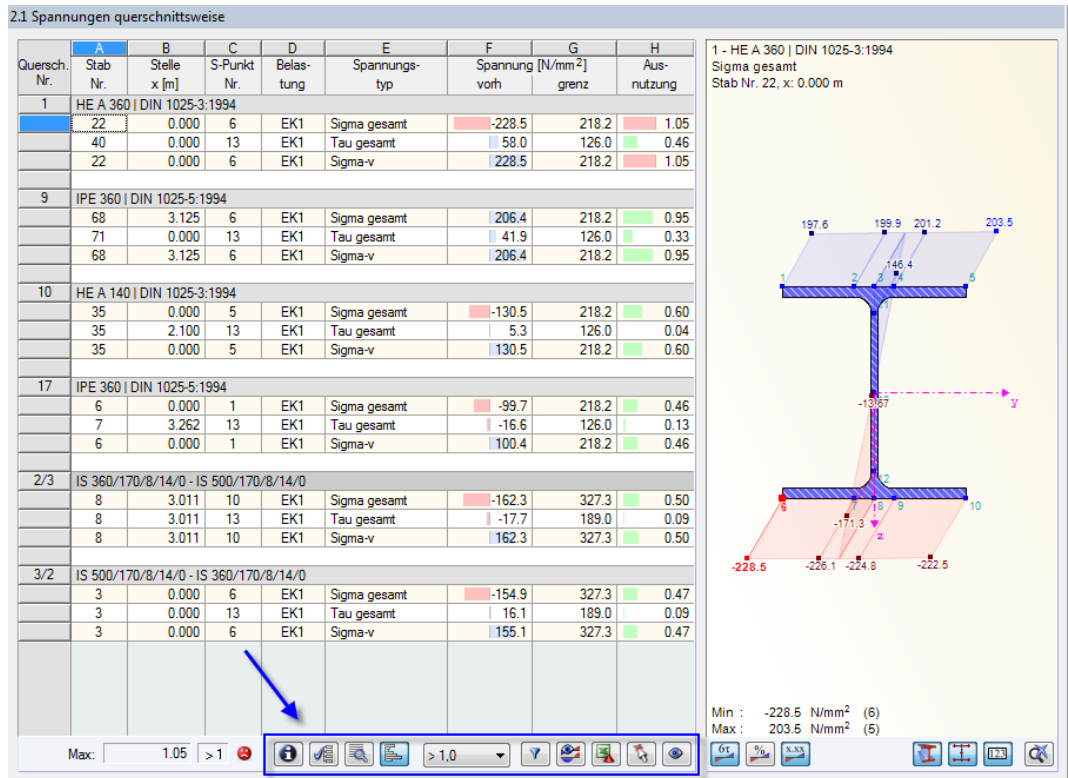


Bild 4.2: Schaltflächen zur Ergebnisauswertung in RF-STAHL Stäbe

Die Schaltflächen in RF-STAHL Stäbe sind mit folgenden Funktionen belegt:

Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Querschnittsinfo	Öffnet den Dialog <i>Info über Querschnitt</i> → Bild 3.6, Seite 44
	Spannungsauswahl	Öffnet den Dialog <i>Spannungen - Filter</i> → Kapitel 4.2.1, Seite 72
	Erweiterte Anzeige	Öffnet den Dialog <i>Querschnittswerte und Spannungsverlauf</i> → Kapitel 4.2.2, Seite 74
	Relationsbalken	Blendet die farbigen Bezugsskalen in den Ergebnismasken ein und aus
	Filterparameter	Beschreibt das Kriterium, nach dem die Ausgabe in den Tabellen gefiltert wird: Ausnutzungen größer als 1, Maximalwert oder benutzerdefinierte Schranke
	Filter anwenden	Stellt nur Zeilen dar, für die die Filterparameter gelten (Ausnutzungen > 1, Maximum, benutzerdefinierter Wert)
	Ergebnisverläufe	Öffnet das Diagramm <i>Ergebnisverläufe im Stab</i> → Kapitel 4.2.4, Seite 78
	Excel-Export	Exportiert die Tabelle nach MS Excel → Kapitel 6.4.2, Seite 92
	Stabauswahl	Ermöglicht die grafische Auswahl eines Stabes, um dessen Ergebnisse in der Tabelle anzuzeigen
	Ansichtsmodus	Ermöglicht den Wechsel in das RFEM-Arbeitsfenster, um die Ansicht zu ändern

Tabelle 4.2: Schaltflächen in den Ergebnismasken 2.1 bis 2.5

4.1 RF-STAHL Flächen

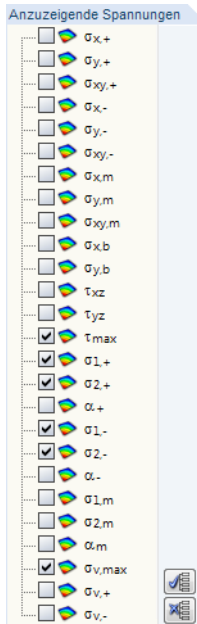
4.1.1 Auswahl der Spannungen

In den Ergebnismasken sind folgende Spannungsarten voreingestellt:

- Schubspannung τ_{\max}
- Hauptspannungen σ in Richtung der Hauptachsen 1 und 2 an Flächenoberseite (-) und Flächenunterseite (+)
- Membranspannungen σ_m in Richtung der Hauptachsen 1 und 2
- Vergleichsspannung $\sigma_{v,\max}$
- Membran-Vergleichsspannungen $\sigma_{v,m}$

Details...

Über die Schaltflächen [Details] und besteht die Möglichkeit, weitere Spannungsarten zu aktivieren oder Spannungen auszublenden.



Es erscheint der Dialog *Details*, der im Bild 2.14 auf Seite 17 dargestellt ist. Dort können die Spannungen festgelegt werden, die für die Tabellenausgabe relevant sind. Das Bild links zeigt die verfügbaren Spannungsarten.

Die einzelnen Spannungsarten sind im Kapitel 2.2.1.1 ab Seite 17 erläutert.

Die beiden Schaltflächen neben der Liste erleichtern die Auswahl:

Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Alles selektieren	Hakt alle Spannungsarten-Kontrollfelder an
	Alles deselektieren	Entfernt das Häkchen von allen Kontrollfeldern

Tabelle 4.3: Schaltflächen für Anzuzeigende Spannungen

Die Auswahl für *Anzuzeigende Spannungen* wirkt sich nicht nur auf die Ergebnismasken, sondern auch auf das Ausdruckprotokoll aus: Im Ausdruck erscheinen nur die Spannungsarten, die in den Ergebnistabellen angezeigt werden.

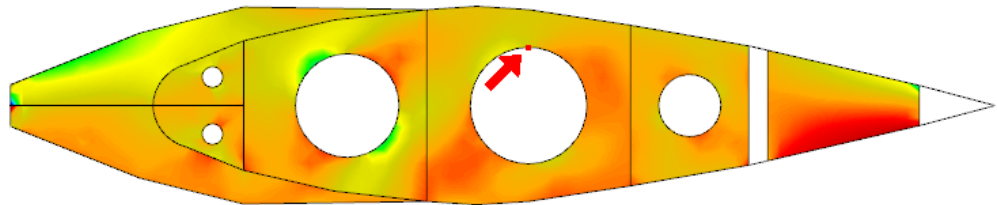
4.1.2 Ergebnisse am RFEM-Modell

Für die Auswertung kann auch das RFEM-Arbeitsfenster genutzt werden.

RFEM-Hintergrundgrafik und Ansichtsmodus



Das RFEM-Arbeitsfenster im Hintergrund kann genutzt werden, um einen FE-Netz- oder Rastpunkt im Modell zu lokalisieren. Der in der Ergebnismaske von RF-STAHl selektierte Punkt wird in der Hintergrundgrafik mit einem Pfeil gekennzeichnet; die Fläche ist in der Selektionsfarbe hervorgehoben. Ist die Schaltfläche [Ergebnisverläufe] aktiviert, werden auch die Spannungen der aktuellen Tabellenzeile angezeigt.



RF-STAHl Flächen - [Drosselklappe]										
Datei Bearbeiten Einstellungen Hilfe										
FA1 - Allgemeine Spannungsart: 2.3 Spannungen flächenweise										
Fläche Nr.	FE-Netzpunkt Nr.	Punktkoordinaten [m]			Belastung	Symbol	Spannung [N/mm ²]		Ausnutzung [-]	
		X	Y	Z			Vorh.	Grenze		
45	Material: Baustahl S 235 JR - Dicke d: 20.0 mm									
	311	-0.393	-0.370	1.375	LF2	τ_{max}	11.95	129.90	0.09	
	310	-0.393	0.370	1.375	LF2	$\sigma_{1,+}$	52.71	225.00	0.23	
	311	-0.393	-0.370	1.375	LF2	$\sigma_{2,+}$	-49.26	225.00	0.22	
	310	-0.393	0.370	1.375	LF2	$\sigma_{1,-}$	30.17	225.00	0.13	
	456	0.000	-0.225	1.375	LF2	$\sigma_{2,-}$	-40.07	225.00	0.18	
	310	-0.393	0.370	1.375	LF2	$\sigma_{1,m}$	32.20	225.00	0.14	
	456	0.000	-0.225	1.375	LF2	$\sigma_{2,m}$	-41.74	225.00	0.19	
	311	-0.393	-0.370	1.375	LF2	σ_v	47.65	225.00	0.21	
	456	0.000	-0.225	1.375	LF2	$\sigma_{v,m}$	40.12	225.00	0.18	

Bild 4.3: Kennzeichnung des aktuellen FE-Netzpunkts im RFEM-Modell

Information

Sie befinden sich im Ansichtsmodus.

Falls sich die Darstellung durch Verschieben des RF-STAHl-Fensters nicht verbessern lässt, sollte die Schaltfläche benutzt werden, um den *Ansichtsmodus* zu aktivieren: Das RF-STAHl-Fenster wird ausgeblendet, sodass in RFEM die Ansicht angepasst werden kann. Im Ansichtsmodus stehen die Funktionen des Menüs *Ansicht* zur Verfügung, z. B. Zoomen, Verschieben oder Drehen der Darstellung. Der Markierungspfeil bleibt dabei sichtbar.

Mit [Zurück] erfolgt die Rückkehr zur aktuellen RF-STAHl-Maske.

RFEM-Arbeitsfenster

Grafik

Die Spannungen und Ausnutzungen lassen sich auch grafisch am RFEM-Modell überprüfen: Klicken Sie die Schaltfläche [Grafik] an, um das Bemessungsmodul zu verlassen. Im Arbeitsfenster von RFEM werden nun die Ergebnisse wie die Schnittgrößen eines Lastfalls dargestellt.

Ergebnisse-Navigator

Der *Ergebnisse-Navigator* ist an die Ergebnisse des Moduls RF-STAHL Flächen angepasst. Dort stehen die diversen Spannungsarten sowie die Ausnutzungen bezogen auf die einzelnen Spannungen zur Auswahl.

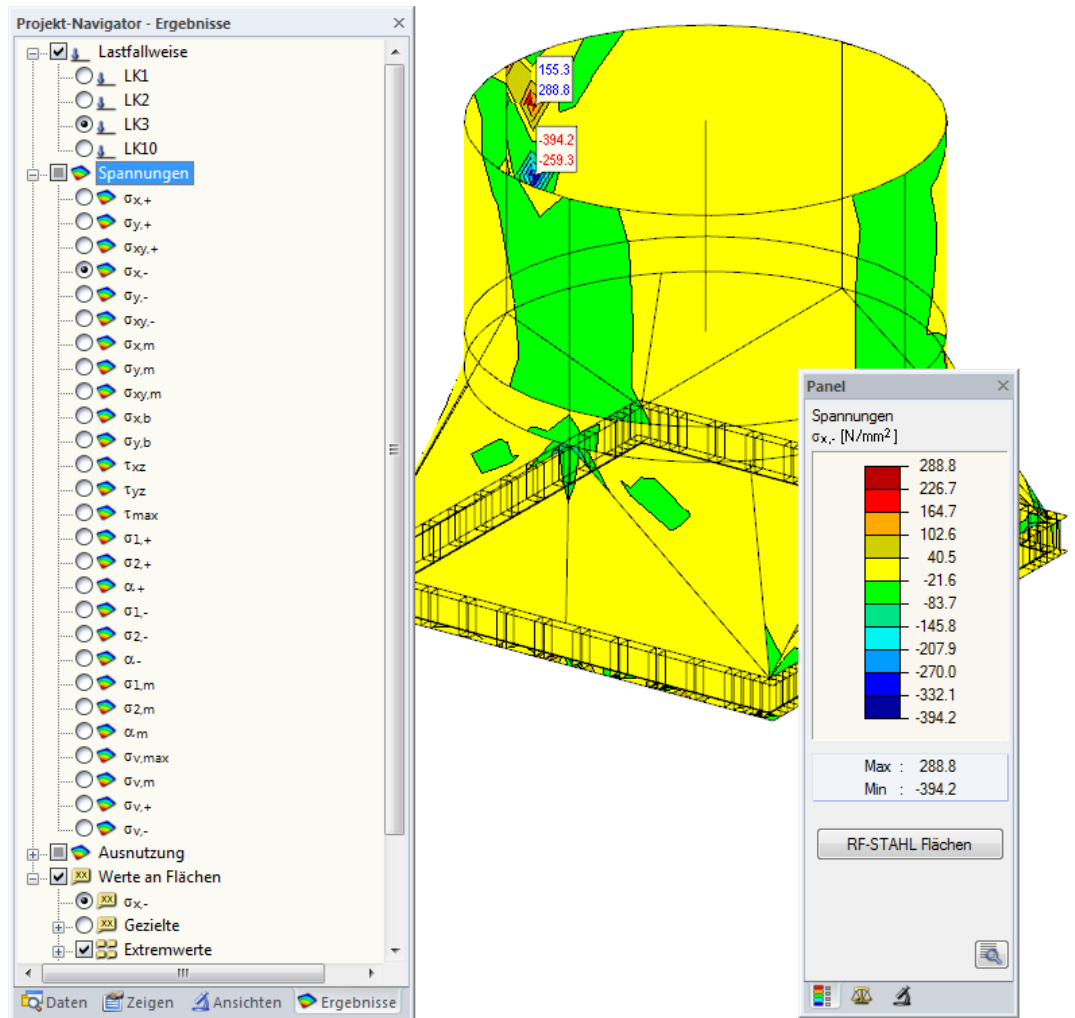


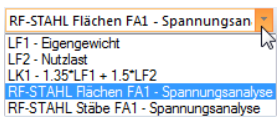
Bild 4.4: Ergebnisse-Navigator für RF-STAHL Flächen



Mit der Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus] können die Spannungen ein- und ausgeblendet werden. Die Anzeige der Ergebniswerte wird in der Navigatorkategorie *Werte an Flächen* geregelt (siehe Bild 4.5).



Die RFEM-Tabellen sind für die Auswertung der Spannungen und Ausnutzungen nicht relevant. Die Bemessungsfälle lassen sich in der Liste der RFEM-Menüleiste einstellen.



Panel



Für die Auswertung steht das Farbpanel mit den üblichen Steuerungsmöglichkeiten zur Verfügung. Die Funktionen sind im Kapitel 3.4.6 des RFEM-Handbuchs beschrieben.

Im Panel-Register können die Anzeigefaktoren für die Spannungen und Ausnutzungen eingestellt werden. Das Register ermöglicht es, die Ergebnisse ausgewählter Objekte anzuzeigen (siehe Kapitel 4.3, Seite 80).

Werte an Flächen

Es können alle Möglichkeiten von RFEM genutzt werden, um die Ergebniswerte der Spannungen und Ausnutzungen an den Flächen darzustellen. Diese Funktionen sind im Kapitel 9.4 des RFEM-Handbuchs beschrieben. Das folgende Bild zeigt die maximalen *Extremwerte* von allen lokalen Spitzenwerten der Flächen.

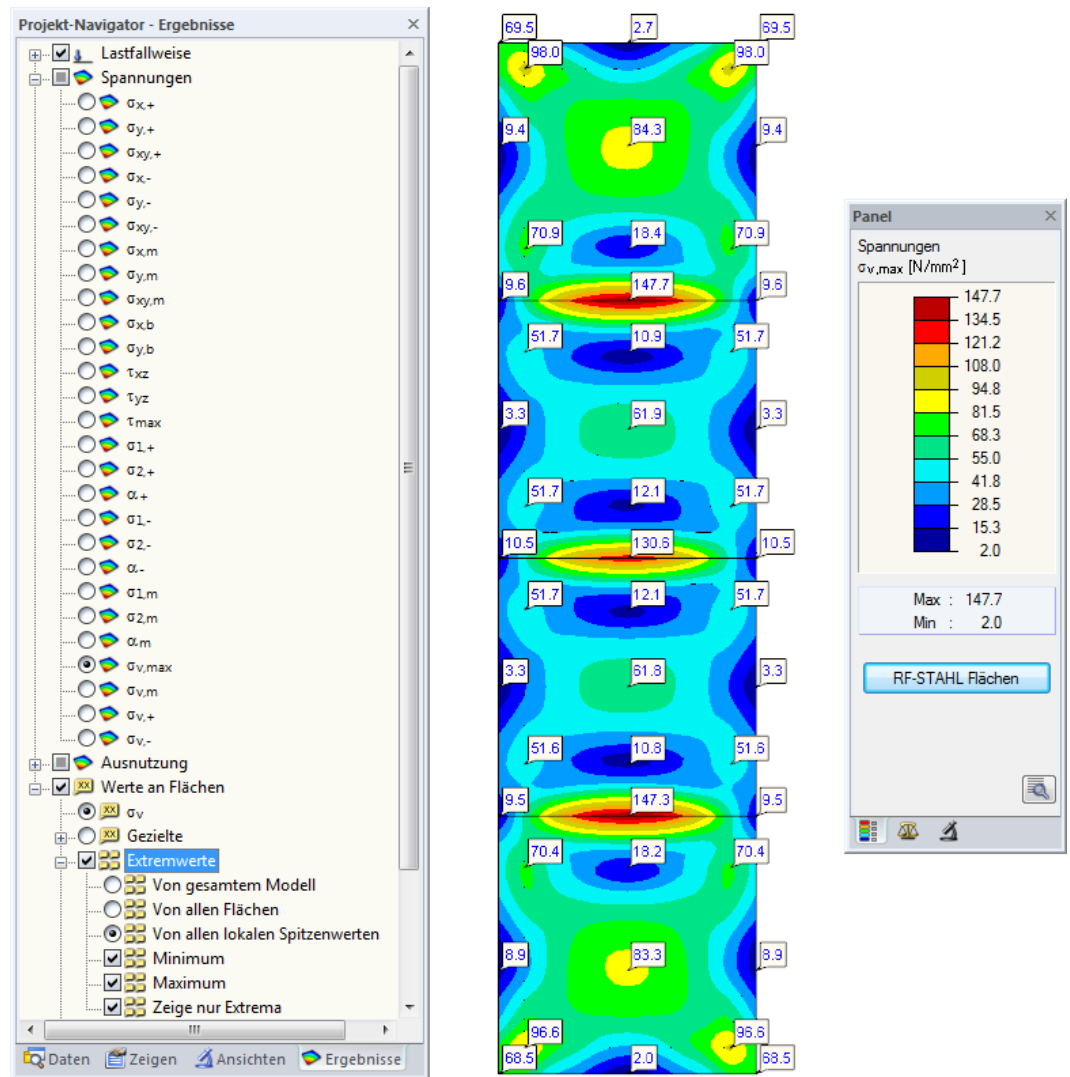


Bild 4.5: Vergleichsspannungen mit maximalen lokalen Spitzenwerten



Die Grafiken der Spannungen und Ausnutzungen können direkt gedruckt oder in das Ausdruckprotokoll übergeben werden (siehe Kapitel 5.2.1, Seite 82).

RF-STAHL Flächen

Die Rückkehr zum Zusatzmodul ist über die Panel-Schaltfläche [RF-STAHL Flächen] möglich.

Beispiel: Schweißnahtspannungen

In EN 1993-1-8 [5] sind die Spannungen im wirksamen Kehlnahtquerschnitt wie folgt angegeben.

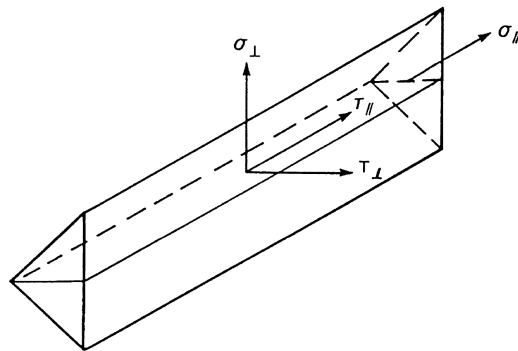


Bild 4.6: EN 1993-1-8 [5] Bild 4.5 – Spannungen in Kehlnaht

RF-STAHL Flächen gibt auch die Spannungen aus, die für den Nachweis von Schweißnähten verwendet werden können. Die relevanten Spannungsanteile ergeben sich aus der Orientierung der Flächenachsen x und y sowie aus der Lage der positiven bzw. negativen Flächenseite.

Das Beispiel zeigt den Schweißnahtanschluss einer Rahmenecke. Die Flächenachse y des Riegelflansches verläuft parallel zur Schweißnahtachse. Es wird die Oberseite des Riegels betrachtet – im Beispiel ist dies die negative Flächenseite.

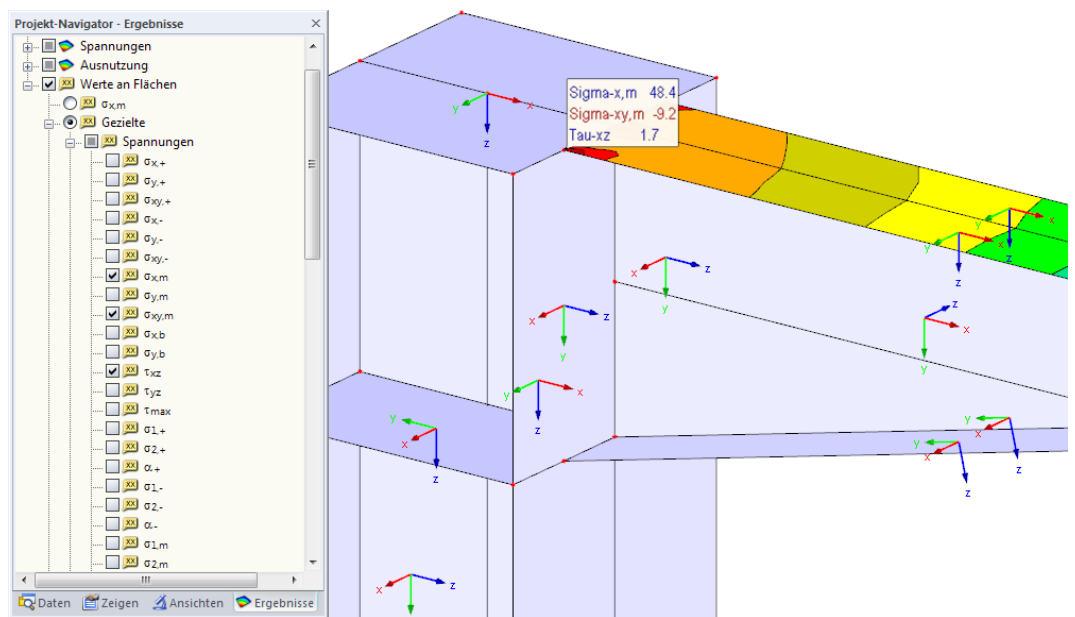


Bild 4.7: Riegelanschluss an Stütze

Für die Überlagerung nach [5] Gl. (4.1) sind folgende Spannungen relevant:

EN 1993-1-8	RF-STAHL	Beschreibung
σ_{\perp}	$\sigma_{x,m}$	Normalspannung senkrecht zur Schweißnahtachse
σ_{\parallel}	$\sigma_{y,m}$	Normalspannung parallel zur Schweißnahtachse (vernachlässigbar)
τ_{\perp}	τ_{xz}	Schubspannung senkrecht zur Schweißnahtachse
τ_{\parallel}	$\sigma_{xy,m}$	Schubspannung parallel zur Schweißnahtachse

Tabelle 4.4: Kehlnahtspannungen für Beispiel

Die Spannungsanteile können im *Ergebnisse*-Navigator eingestellt und in den FE-Netzpunkten abgelesen werden. Die Überlagerung für den Kehlnahtnachweis ist dann manuell vorzunehmen.

4.2 RF-STAHL Stäbe

4.2.1 Auswahl der Spannungen

In den Ergebnismasken sind folgende Spannungsarten voreingestellt:

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



Über der Schaltfläche [Auswahl] besteht die Möglichkeit, weitere Spannungskomponenten zu aktivieren. Damit lassen sich die Anteile überprüfen, die in die Gesamtspannungen einfließen. Die Schaltfläche befindet sich am Ende der Tabelle (siehe [Bild 4.2, Seite 66](#)).

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

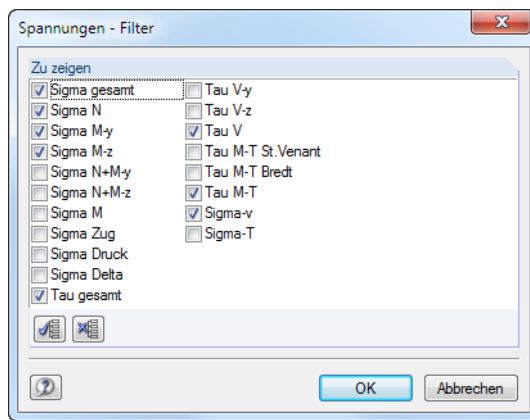


Bild 4.8: Dialog *Spannungen - Filter*

Die Spannungsarten sind in [Tabelle 3.3](#) und [Tabelle 3.4](#) auf [Seite 49](#) bis [Seite 51](#) erläutert.

Die beiden Schaltflächen erleichtern die Auswahl:

Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Alles selektieren	Hakt alle Spannungsarten-Kontrollfelder an
	Alles deselektieren	Entfernt das Häkchen von allen Kontrollfeldern

Tabelle 4.5: Schaltflächen im Dialog *Spannungen - Filter*



Die Analyse erfolgt für jeden einzelnen Spannungspunkt. Daher dürfen bei einer kombinierten Betrachtung (z. B. σ_{gesamt}) nicht die Maximalwerte der Spannungskomponenten addiert werden: Diese treten meist an unterschiedlichen Spannungspunkten auf. Es müssen die Spannungsanteile überlagert werden, die im gleichen Spannungspunkt vorliegen!



Die Vorgaben des Dialogs *Spannungen - Filter* wirken sich auch auf das Ausdruckprotokoll aus: Im Ausdruck erscheinen nur Spannungsarten, die in den Ergebnistabellen angezeigt werden.

4.2.2 Ergebnisse am Querschnitt

Die Tabellenergebnisse sind durch eine dynamische Spannungsgrafik illustriert. Diese Grafik zeigt den Spannungsverlauf am Querschnitt an, der an der aktuellen x-Stelle für die jeweilige Spannungsart vorliegt. Wird in der Tabelle eine andere x-Stelle oder Spannungsart per Mausklick selektiert, so aktualisiert sich die Anzeige. Der maßgebende Spannungspunkt ist in der Grafik rot markiert.



In der Grafik lassen sich sowohl Spannungen als auch Ausnutzungen darstellen.

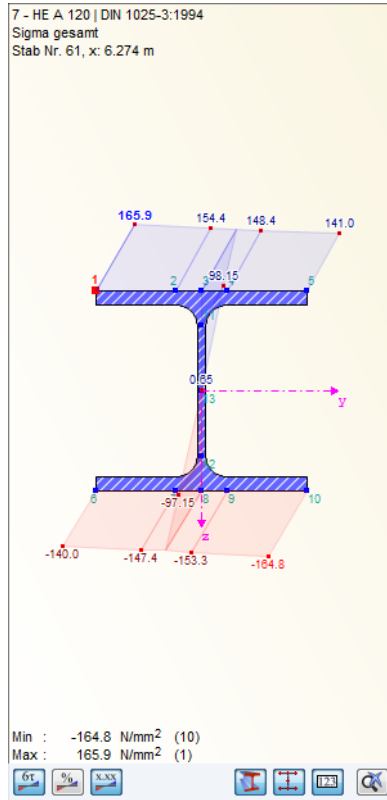


Bild 4.9: Verlauf der Normalspannungen am Querschnitt

Die Schaltflächen unterhalb der Grafik sind mit folgenden Funktionen belegt:

Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Spannungsverlauf	Blendet die Anzeige der Spannungen ein und aus
	Ausnutzung	Blendet die Anzeige der Ausnutzungen ein und aus
	Werte	Schaltet die Ergebniswerte ein und aus
	Querschnittskontur	Blendet den Profilumriss ein und aus
	Spannungspunkte	Blendet die Spannungspunkte ein und aus
	Nummerierung	Blendet die Nummern der Spannungspunkte ein und aus
	Zoom aufheben	Stellt die Gesamtansicht der Ergebnisgrafik wieder her

Tabelle 4.6: Grafik-Schaltflächen in den Ergebnismasken 2.1 bis 2.5

Die Anzeige kann mit dem Scrollrad der Maus vergrößert und verkleinert werden. Per Drag-and-Drop lässt sich die Grafik verschieben. Die Schaltfläche stellt die Gesamtansicht wieder her.

Erweiterte Anzeige der Spannungen und Ausnutzungen



Die Schaltfläche [Erweiterte Anzeige] ermöglicht eine gezielte Auswertung der Ergebnisse für jeden Spannungspunkt. Sie ruft den Dialog *Querschnittswerte und Spannungsverlauf* auf.

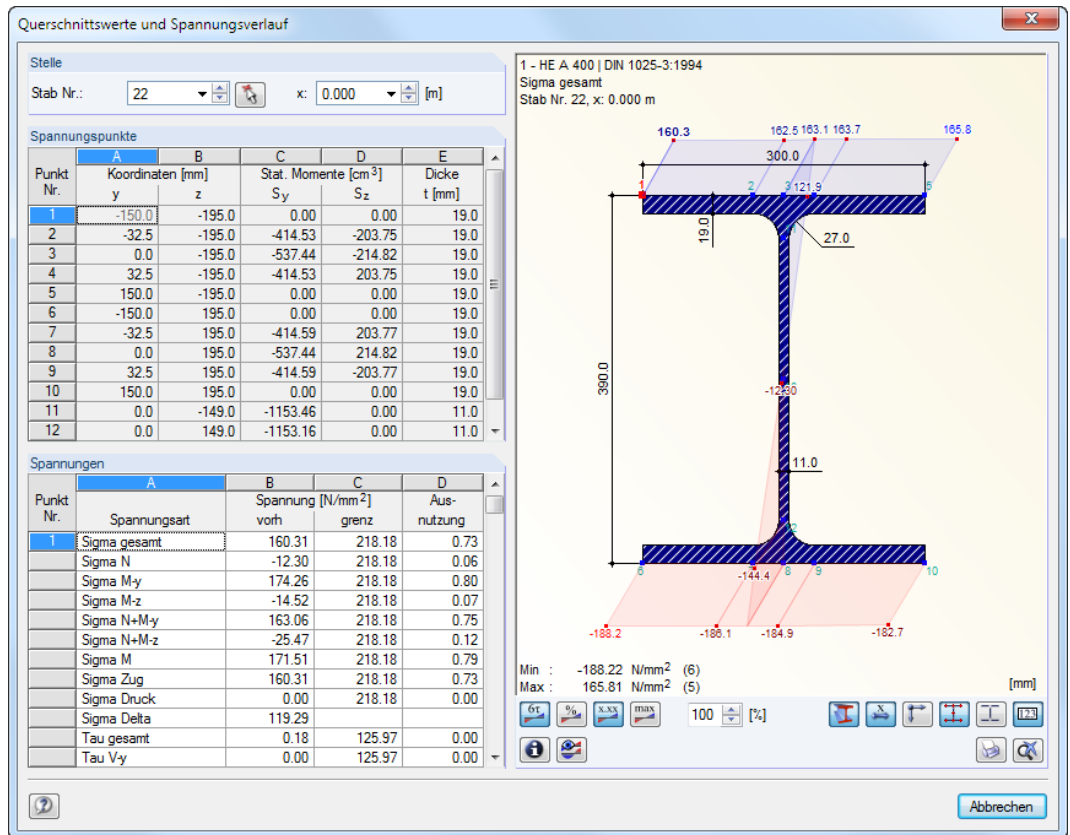


Bild 4.10: Dialog *Querschnittswerte und Spannungsverlauf*

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

Der Abschnitt *Spannungspunkte* listet alle 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 für die Ermittlung der Schubspannungen benötigt wird.

Im Abschnitt *Spannungen* werden sämtliche Spannungen am aktuellen (im Abschnitt oben selektierten) Spannungspunkt angegeben. Auch in diesem Dialog ist es möglich, eine Spannungsart per Mausklick auszuwählen, um deren Verläufe in der Grafik anzuzeigen.

Die Schaltflächen unterhalb der Grafik sind zum Großteil mit denen der Ergebnismasken identisch (siehe [Tabelle 4.6, Seite 73](#)). Sie werden wie üblich durch *Quick-Infos* erläutert. Über die Schaltfläche kann die aktuelle Spannungsgrafik ausgedruckt werden (siehe [Kapitel 5.2.3, Seite 84](#)).

4.2.3 Ergebnisse am RFEM-Modell

Für die Auswertung kann auch das RFEM-Arbeitsfenster genutzt werden.

RFEM-Hintergrundgrafik und Sichtmodus

Das RFEM-Arbeitsfenster im Hintergrund ist hilfreich, um die Position eines Stabes im Modell ausfindig zu machen: Der in der Ergebnismaske von RF-STAHL selektierte Stab wird in der Hintergrundgrafik farbig hervorgehoben. Ein Pfeil kennzeichnet auch die x-Stelle des Stabes, um die es sich in der aktuellen Tabellenzeile handelt.

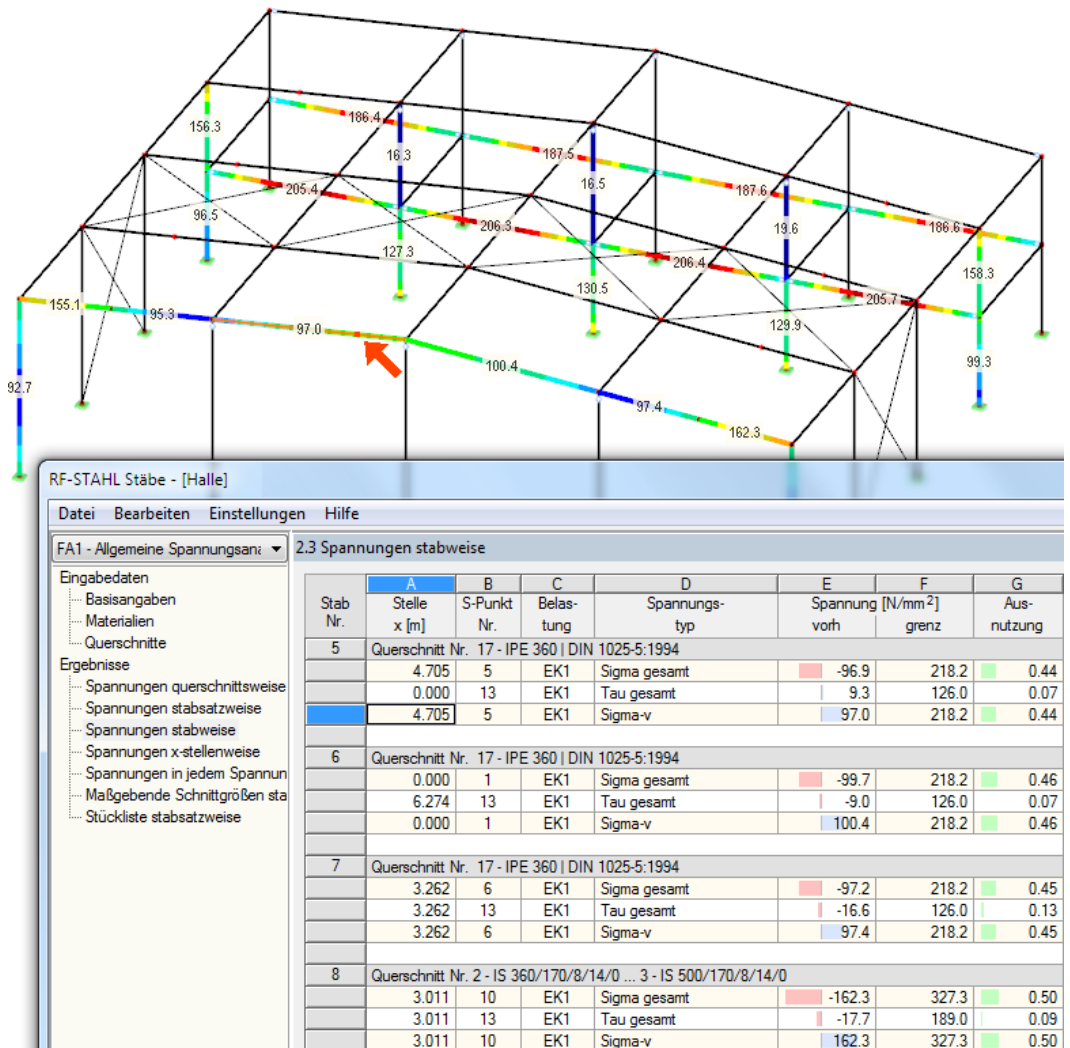


Bild 4.11: Kennzeichnung des Stabes und der aktuellen Stelle x im RFEM-Modell

Information

Sie befinden sich im Ansichtsmodus.

Zurück

Falls sich die Darstellung durch Verschieben des RF-STAHL-Fensters nicht verbessern lässt, sollte die Schaltfläche benutzt werden, um den *Ansichtsmodus* zu aktivieren: Das RF-STAHL-Fenster wird ausgeblendet, sodass in RFEM die Ansicht angepasst werden kann. Im Ansichtsmodus stehen die Funktionen des Menüs *Ansicht* zur Verfügung, z. B. Zoomen, Verschieben oder Drehen der Darstellung. Der Markierungspfeil bleibt dabei sichtbar.

Mit [Zurück] erfolgt die Rückkehr zur aktuellen RF-STAHL-Maske.

RFEM-Arbeitsfenster

Grafik

Die Spannungen und Ausnutzungen lassen sich auch grafisch am RFEM-Modell überprüfen: Klicken Sie die Schaltfläche [Grafik] an, um das Bemessungsmodul zu verlassen. Im Arbeitsfenster von RFEM werden nun die Ergebnisse wie die Schnittgrößen eines Lastfalls dargestellt.

Der *Ergebnisse*-Navigator ist an die Ergebnisse des Moduls RF-STAHL Stäbe angepasst. Dort stehen die diversen Spannungsarten sowie die Ausnutzungen bezogen auf die einzelnen Spannungsanteile zur Auswahl.

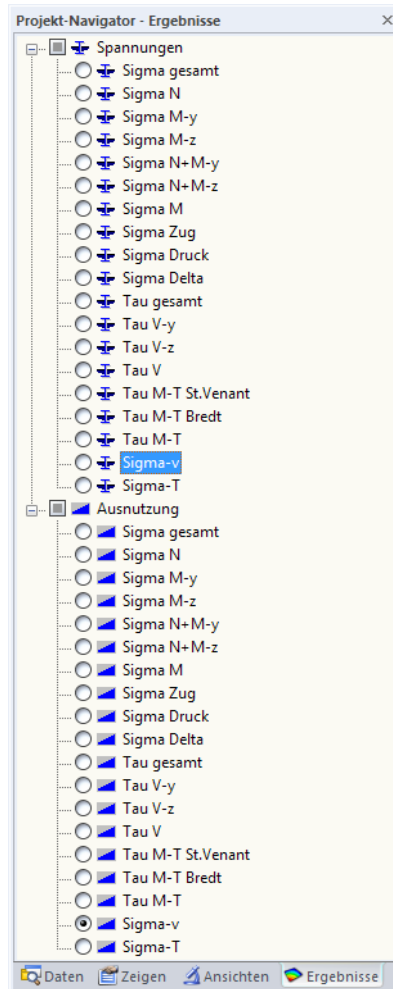


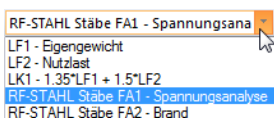
Bild 4.12: *Ergebnisse*-Navigator für RF-STAHL Stäbe



Analog zur Schnittgrößenanzeige blendet die Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus] die Darstellung der Bemessungsergebnisse ein oder aus. Die Schaltfläche [Ergebnisse mit Werten anzeigen] steuert die Anzeige der Ergebniswerte.



Da die RFEM-Tabellen für die Auswertung der Spannungen und Ausnutzungen nicht relevant sind, können sie ausgeblendet werden.



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

Die Ergebnisdarstellung kann im *Zeigen-Navigator* mit den Optionen für **Ergebnisse** → **Stäbe** gesteuert werden. Als Standard werden Spannungen und Ausnutzungen *Zweifarb* angezeigt.

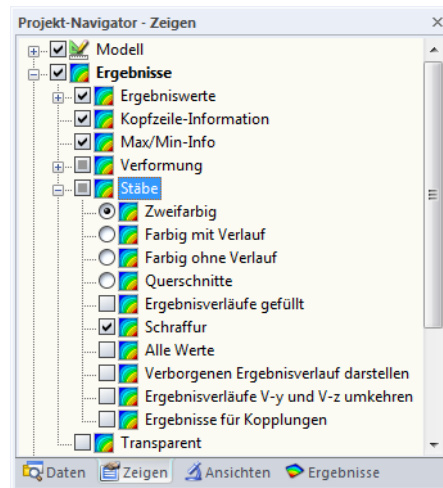


Bild 4.13: Zeigen-Navigator: *Ergebnisse* → *Stäbe*



Bei einer mehrfarbigen Darstellung (Optionen *Farbig mit/ohne Verlauf* oder *Querschnitte*) steht das Farbpanel mit den üblichen Steuerungsmöglichkeiten zur Verfügung. Die Funktionen sind im Kapitel 3.4.6 des RFEM-Handbuchs beschrieben.

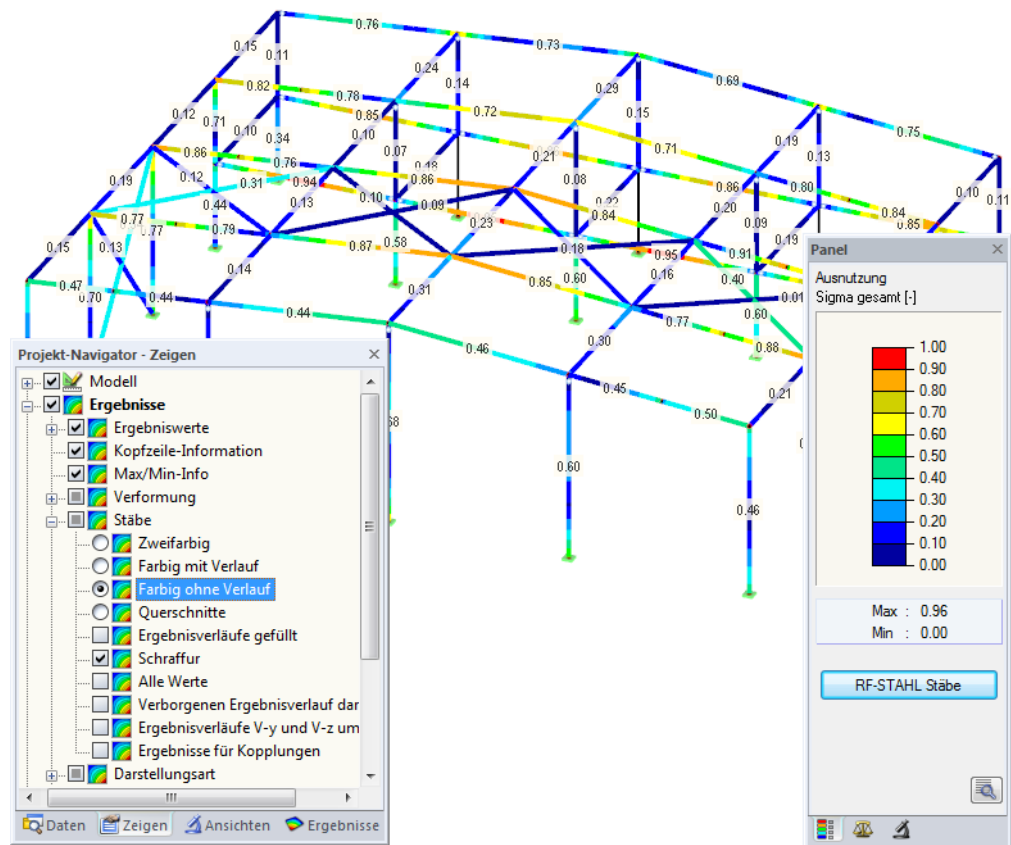


Bild 4.14: Ausnutzungsgrade mit Anzeigeoption *Farbig ohne Verlauf*



Die Grafiken der Spannungen und Ausnutzungen können direkt gedruckt oder in das Ausdruckprotokoll übergeben werden (siehe [Kapitel 5.2.1, Seite 82](#)).

RF-STAHL Stäbe

Die Rückkehr zum Zusatzmodul ist über die Panel-Schaltfläche [RF-STAHL Stäbe] möglich.

4.2.4 Ergebnisverläufe

Die Ergebnisverläufe eines Stabes oder Stabsatzes können auch im Ergebnisdiagramm grafisch ausgewertet werden.



Selektieren Sie den Stab oder Stabsatz in der RF-STAHL-Ergebnismaske mit einem Klick in die entsprechende Tabellenzeile. Rufen Sie dann den Dialog *Ergebnisverläufe im Stab* über die links gezeigte Schaltfläche auf. Sie befindet sich am Ende der Tabelle (siehe Bild 4.2, Seite 66).

In der RFEM-Grafik sind die Ergebnisverläufe zugänglich über das Menü

Ergebnisse → **Ergebnisverläufe an selektierten Stäben**



oder die entsprechende Schaltfläche in der RFEM-Symboleiste.

Es öffnet sich ein Fenster, das den Verlauf der Ergebnisse grafisch am Stab bzw. Stabsatz anzeigt.

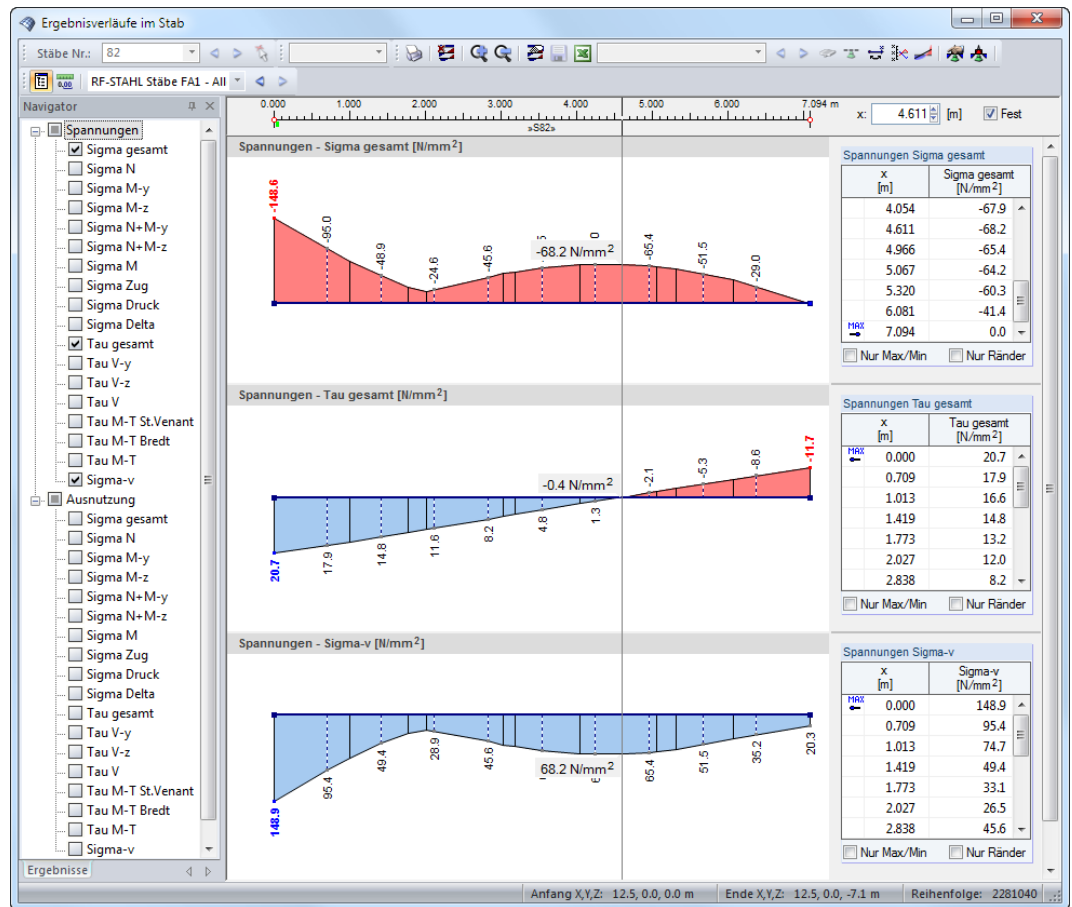
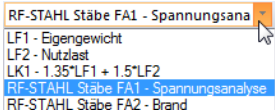


Bild 4.15: Dialog *Ergebnisverläufe im Stab*



Über die Liste in der Symboleiste kann zwischen den RF-STAHL-Bemessungsfällen gewechselt werden.

Der Dialog *Ergebnisverläufe im Stab* ist im Kapitel 9.5 des RFEM-Handbuchs beschrieben.

Mit der Schaltfläche können die Diagramme der Spannungen und Ausnutzungen auf den Drucker geleitet oder in das Ausdruckprotokoll übergeben werden (siehe Kapitel 5.2.2, Seite 83).

4.3 Filter für Ergebnisse

Die RF-STAHL-Ergebnismasken ermöglichen bereits eine Auswahl nach verschiedenen Kriterien. In einigen Tabellen von RF-STAHL Flächen können auch Filterfunktionen für Objekte und Lastfälle genutzt werden (siehe Bild 2.26, Seite 34). Zusätzlich stehen die im Kapitel 9.9 des RFEM-Handbuchs beschriebenen Filtermöglichkeiten zur Verfügung, mit denen sich die Bemessungsergebnisse grafisch auswerten lassen.



Auch für RF-STAHL können die Möglichkeiten der *Sichtbarkeiten* genutzt werden (siehe RFEM-Handbuch, Kapitel 9.9.1), um Flächen und Stäbe für die Auswertung zu filtern.



Ebenso lassen sich für eine gezielte Auswertung *Schnitte* im RFEM-Modell nutzen oder neu erstellen (siehe RFEM-Handbuch, Kapitel 9.6.1). Mit der Glättungsfunktion können auch Spannungsspitzen bereinigt werden, die auf Singularitäten beruhen.

Nur Unbemessbarkeiten in Tabellen anzeigen



Mit der links dargestellten Schaltfläche lassen sich nur die Ergebniszeilen darstellen, in denen die Nachweisbedingungen mit Ausnutzungen größer als 1 nicht eingehalten sind. So werden die Unbemessbarkeiten für weitere Untersuchungen gefiltert angezeigt.

Filtern von Ergebnissen im Arbeitsfenster



Die Ausnutzungen lassen sich als Filterkriterium im RFEM-Arbeitsfenster nutzen, das über die Schaltfläche [Grafik] zugänglich ist. Hierfür muss das Panel angezeigt werden. Sollte es nicht dargestellt werden sein, kann es eingeblendet werden über das RFEM-Menü

Ansicht → **Steuerpanel**



oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.



Die Filtereinstellungen für Ergebnisse sind im Panel-Register *Farbspektrum* vorzunehmen. Da dieses Register bei der zweifarbigen Anzeige nicht verfügbar ist, muss im *Zeigen-Navigator* auf die Darstellungsart *Farbig mit/ohne Verlauf* oder *Querschnitte* umgeschaltet werden (siehe Bild 4.14, Seite 77).

Das Panel ist im Kapitel 3.4.6 des RFEM-Handbuchs beschrieben.

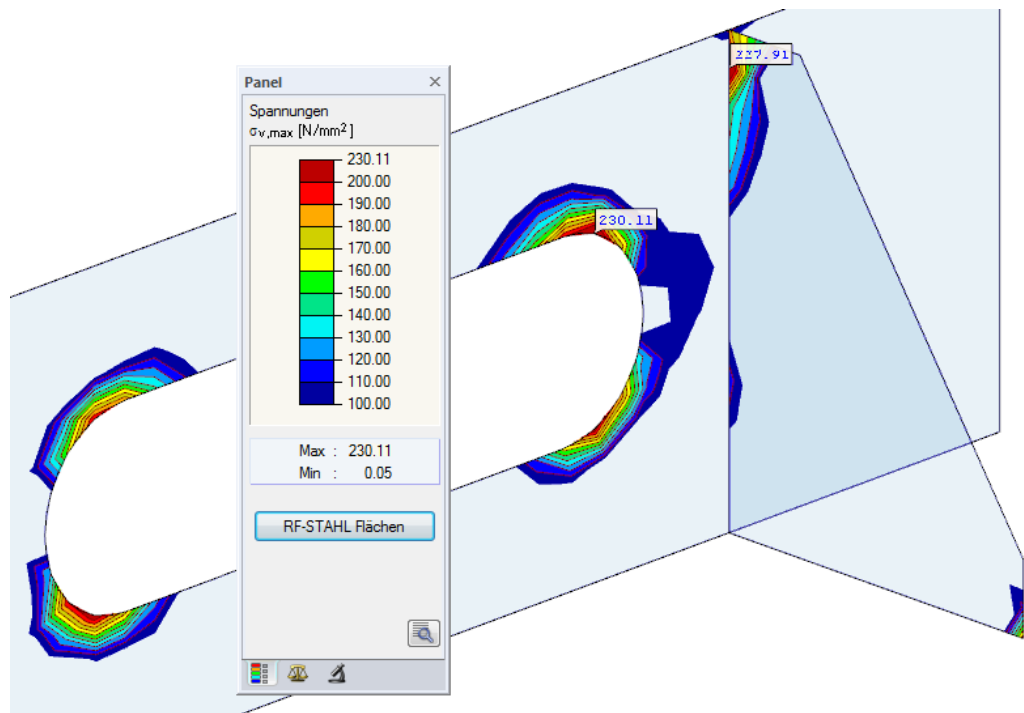


Bild 4.16: Filtern der Vergleichsspannungen mit angepasster Farbskala

Wie das Bild 4.16 zeigt, kann die Werteskala des Panels so eingestellt werden, dass nur Vergleichsspannungen größer als 100 N/mm^2 in den Farbbereichen zwischen blau und rot angezeigt werden. Die Skala wurde so angepasst, dass ein Farbbereich 10 N/mm^2 abdeckt.

Für die Anzeige der Rasterpunkt- oder FE-Knotenwerte in der Grafik bestehen die in RFEM üblichen Steuerungsmöglichkeiten. Sie sind im Kapitel 9.4 des RFEM-Handbuchs beschrieben.

Filtern von Flächen und Stäben im Arbeitsfenster



Im Register *Filter* des Steuerpanels können die Nummern ausgewählter Flächen oder Stäbe festgelegt werden, um nur deren Ergebnisse anzuzeigen. Diese Funktion ist im Kapitel 9.9.3 des RFEM-Handbuchs beschrieben.

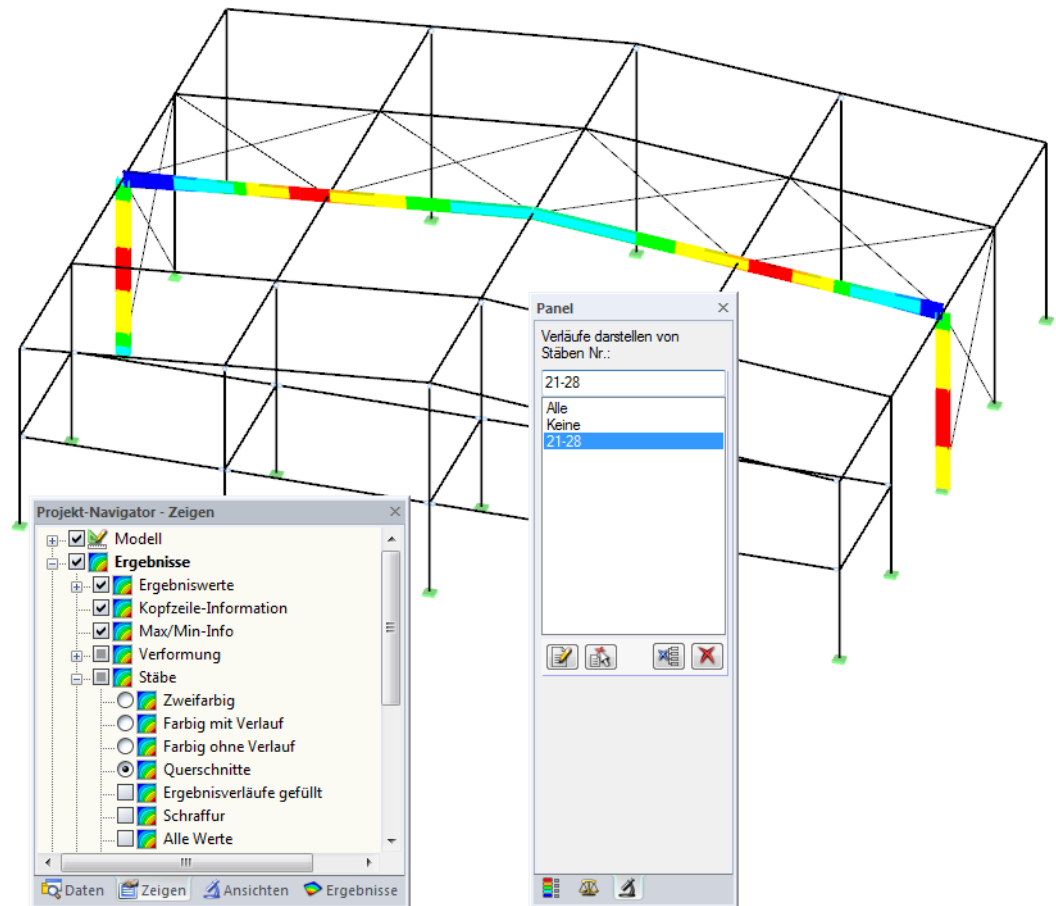


Bild 4.17: Stabfilter für Normalspannungen eines Hallenrahmens

Anders als bei einer *Sichtbarkeit* wird das Modell vollständig dargestellt. Das Bild oben zeigt die Normalspannungen eines Hallenrahmens. Die übrigen Stäbe werden im Modell mit dargestellt, sind in der Anzeige jedoch ohne Spannungen.

5 Ausdruck

5.1 Ausdruckprotokoll

RFEM erzeugt für die Daten des Moduls RF-STAHL ein Ausdruckprotokoll, das mit Grafiken und Texten ergänzt werden kann. Über die Selektion im Ausdruckprotokoll lässt sich steuern, welche Daten des Bemessungsmoduls im Ausdruck erscheinen.



Das Ausdruckprotokoll ist im RFEM-Handbuch beschrieben. Das Kapitel 10.1.3.5 *Selektion der Zusatzmodul-Daten* erläutert, wie die Ein- und Ausgabedaten von Zusatzmodulen für den Ausdruck aufbereitet werden können.

1.1 BASISANGABEN

Zu bemessende Flächen: Alle
Zu bemessende Lastkombinationen: LK1 LF1 + LF2

1.1.1 DETAILS

Gebrauchszug/Bruch-Grenzwerte
-Dr Charakteristik: L / 300
-RA häufig: L / 200
-GB Quasi-Zustand: L / 200

Minimale Vergleichsspannungen nach Von Mises
Verlauf der Schnittgrößen, Durchlaufend innerhalb Flächen
Lc / 150 Kräfteträger
Lc / 100
Lc / 100

1.2 MATERIALIEN

Nr.	Material	Teilsch.-Bewert m [%]	Streckgrenze f _y [N/mm ²]	Manuell	grenz.c ₀	grenz.c ₁	grenz.c ₂	grenz.c ₃
1	Beton C30/37	1.00	0.0	<input type="checkbox"/>	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Baustahl S 235	1.10	240.0	<input type="checkbox"/>	218.2	126.0	218.2	218.2
2	Baustahl S 355	1.10	350.0	<input type="checkbox"/>	327.3	189.0	327.3	327.3
2	Aluminium EN AW-6061 T6	1.10	240.0	<input type="checkbox"/>	218.2	126.0	218.2	218.2

1.3 FLÄCHEN

Nr.	Material	Fläche Typ	Dicke d [mm]	Max. Aus- nutzung [%]	Fläche A [m ²]	Gewicht G [kg]	Kommentar
1	2	Konstant	20.0	0.76	4.00	638.0	
2	3	Konstant	20.0	0.81	4.00	638.0	
3	2	Konstant	20.0	0.76	4.00	638.0	
4	2	Konstant	20.0	0.76	4.00	638.0	

2.2 SPANNUNGEN MATERIALWEISE

Material	Nr.	Fläche	FE-Netz- punkt Nr.	X	Y	Z	Belastung	Symbol	Spannung [N/mm ²]	Grenze	Aus- nutzung [%]		
2	Baustahl S 235	4	14	8.000	0.000	0.000	LK1	σ _{max}	5.4	126.0	0.04		
			4	397	7.200	-1.000	0.000	LK1	σ _{xy}	89.3	218.2	0.41	
			3	291	6.000	-1.000	0.000	LK1	σ _{xy}	-166.0	218.2	0.76	
			3	291	6.000	-1.000	0.000	LK1	σ _{xy}	165.7	218.2	0.76	
		4	397	7.200	-1.000	0.000	LK1	σ _{xy}	-99.3	218.2	0.41		
					0.000	0.000	LK1	σ _{xy}	2.1	218.2	0.01		
				4	360	8.000	-0.200	0.000	LK1	σ _{max}	-0.9	218.2	0.00
						3	291	6.000	-1.000	0.000	LK1	σ _{max}	147.7
		4	14	8.000	0.000	0.000	LK1	σ _{xy}	2.1	218.2	0.01		
					0.000	0.000	LK1	σ _{xy}	0.0	218.2	0.00		
				3	66	2.000	-1.000	0.000	LK1	σ _{xy}	2.9	189.0	0.02
						2	176	3.000	-1.000	0.000	LK1	σ _{xy}	69.5
2	66	2.000	-1.000	0.000	LK1	σ _{xy}	-165.5	327.3	0.51				
		2	66	2.000	-1.000	0.000	LK1	σ _{xy}	165.5	327.3	0.51		
2	176	3.000	-1.000	0.000	LK1	σ _{xy}	-69.5	327.3	0.21				
		2	6	4.000	0.000	0.000	LK1	σ _{xy}	0.0	327.3	0.00		
2	151	4.000	-0.400	0.000	LK1	σ _{xy}	0.0	327.3	0.00				
		2	66	2.000	-1.000	0.000	LK1	σ _{max}	147.3	327.3	0.45		
2	6	4.000	0.000	0.000	LK1	σ _{xy}	0.0	327.3	0.00				
		2	6	4.000	0.000	0.000	LK1	σ _{xy}	0.0	327.3	0.00		

Bild 5.1: Ausdruckprotokoll für RF-STAHL



Im Ausdruckprotokoll werden nur die Spannungsarten ausgewiesen, die in den RF-STAHL-Ergebnismasken zu sehen sind. Um daher z. B. die Spannungen infolge Normalkraft zu drucken, sind in RF-STAHL Flächen die Spannungen $\sigma_{1,m}$ und $\sigma_{2,m}$ bzw. in RF-STAHL Stäbe die Spannungen σ_N für die Tabellenanzeige zu aktivieren. Die [Auswahl der Spannungen] ist im Kapitel 4.1.1 auf Seite 67 (RF-STAHL Flächen) bzw. Kapitel 4.2.1 auf Seite 72 (RF-STAHL Stäbe) beschrieben.



Bei großen Systemen mit vielen Bemessungsfällen trägt die Aufteilung der Daten in mehrere Ausdruckprotokolle zur Übersichtlichkeit bei.

5.2 Grafikausdruck

5.2.1 Ergebnisse am RFEM-Modell

In RFEM kann jedes Bild, das im Arbeitsfenster angezeigt wird, in das Ausdruckprotokoll übergeben oder direkt auf den Drucker geleitet werden. Somit lassen sich auch die am RFEM-Modell gezeigten Spannungen und Ausnutzungen für den Ausdruck aufbereiten.



Das Drucken von Grafiken ist im Kapitel 10.2 des RFEM-Handbuchs beschrieben.

Die aktuelle Grafik der RF-STAHL-Ergebnisse kann gedruckt werden über das Menü

Datei → Drucken



oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

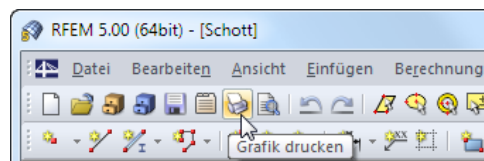


Bild 5.2: Schaltfläche *Drucken* in RFEM-Symbolleiste

Es wird folgender Dialog angezeigt.

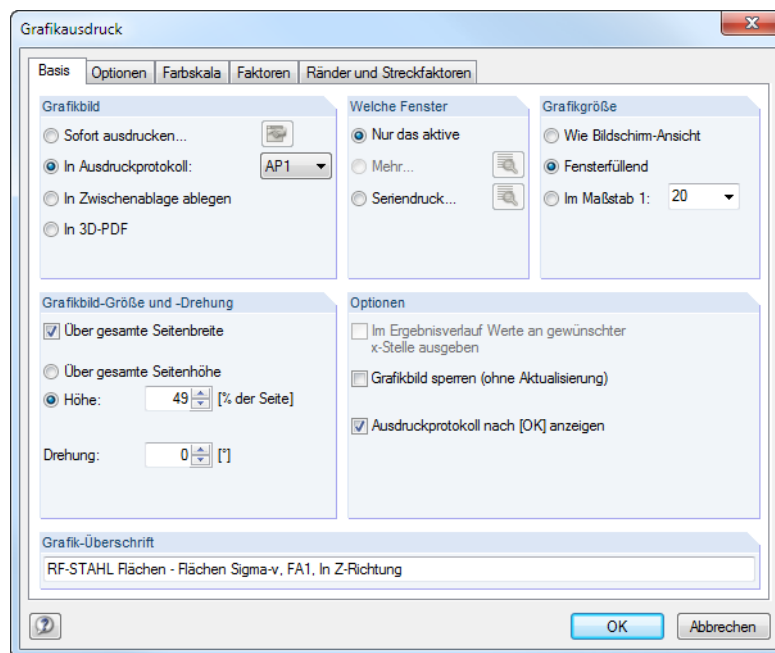
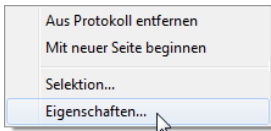


Bild 5.3: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Basis*

Dieser Dialog ist im Kapitel 10.2 des RFEM-Handbuchs beschrieben. Dort sind auch die weiteren Register *Optionen*, *Farbskala*, *Faktoren* und *Ränder und Streckfaktoren* erläutert.

Eine Grafik kann im Ausdruckprotokoll wie gewohnt per Drag-and-drop an eine andere Stelle geschoben werden.



Um eine Grafik nachträglich im Ausdruckprotokoll anzupassen, ist ein Rechtsklick auf den entsprechenden Eintrag im Protokoll-Navigator auszuführen. Die Option *Eigenschaften* im Kontextmenü ruft wieder den Dialog *Grafikausdruck* auf, in dem die Anpassungen erfolgen können.

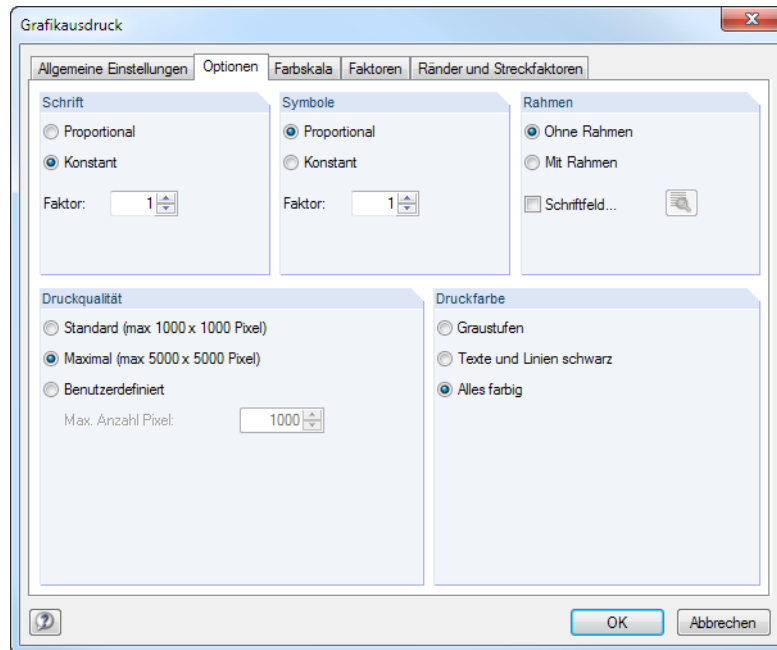


Bild 5.4: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Optionen*

5.2.2 Ergebnisverläufe



Auch in den Dialogen *Ergebnisverläufe im Stab* (siehe [Bild 4.15](#), [Seite 78](#)) und *Ergebnisverläufe in Schnitten* können die Diagramme mit der Schaltfläche [Drucken] in das Protokoll übergeben oder direkt ausgedruckt werden.

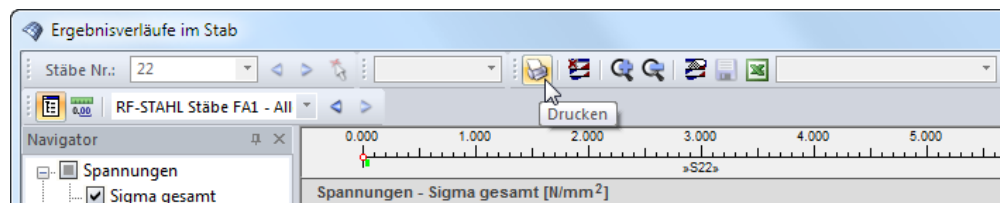


Bild 5.5: Schaltfläche *Drucken* im Dialog *Ergebnisverläufe im Stab*

Es wird der Dialog *Grafikausdruck* aufgerufen (siehe [Bild 5.3](#) und [Bild 5.4](#)), in dem die Einstellungen für den Druck der Ergebnisdiagramme getroffen werden können.

5.2.3 Ergebnisse am Querschnitt



Die Druckfunktion ist über den Dialog *Querschnittswerte und Spannungsverlauf* zugänglich. Dieser Dialog lässt sich in den Ergebnismasken über die Schaltfläche [Erweiterte Anzeige] aufrufen. Sie befindet sich am Ende der Tabellen (siehe [Bild 4.2, Seite 65](#)).



Im Dialog *Querschnittswerte und Spannungsverlauf* (siehe [Bild 4.10, Seite 74](#)) sind der Stab, die Stelle x und die Spannungsart einzustellen, deren Verlauf gedruckt werden soll. Ein Klick auf die Schaltfläche [Drucken] rechts unterhalb der Grafik öffnet dann folgenden Druckdialog.

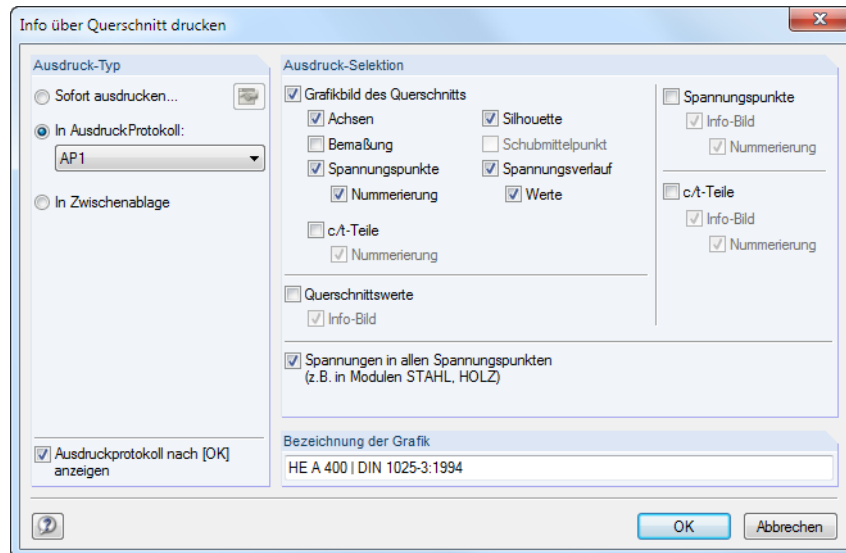


Bild 5.6: Dialog *Info über Querschnitt drucken*

Ausdruck-Typ

In diesem Abschnitt stehen die aus RFEM bekannten Optionen zur Wahl:

- *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 die Nummer des Ziel-Protokolls ausgewählt werden.

Ausdruck-Selektion

Dieser Abschnitt steuert, welche Details im Druckbild und in einer Ausgabetabelle erscheinen. Die Kontrollfelder für *Grafikbild des Querschnitts* bedürfen keiner weiteren Erläuterung. Sind die *Querschnittswerte* angehakt, werden die Kennwerte des Profils als Tabelle gedruckt, optional ergänzt durch ein *Info-Bild* am Rand. Analog lassen sich die Kennwerte der *Spannungspunkte* und *c/t-Teile* sowie die *Spannungen in allen Spannungspunkten* in den Ausdruck integrieren.

Um mehrere Grafiken nacheinander in das Ausdruckprotokoll zu drucken, sollte das Kontrollfeld *Ausdruckprotokoll nach [OK] anzeigen* deaktiviert werden.



Ing.-Software Dlubal GmbH

Am Zellweg 2, D-93464 Tiefenbach

+49 9673 9203-0 www.dlubal.de

Seite: 47/50

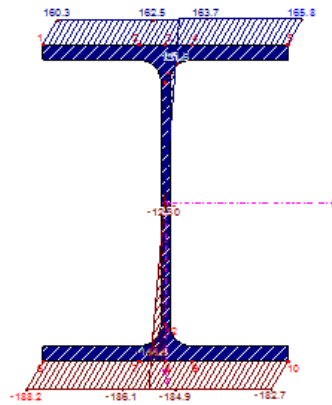
Blatt: 1

RF-STAHL Stäbe

Projekt: Modell: Halle Datum: 20.08.2012

■ HE-A 400

1 - HE-A 400
Sigma gesamt
Stab Nr. 22, x: 0,000 m



Min : -188.2 N/mm² (5)
Max : 185.8 N/mm² (5)

Bild 5.7: Spannungsgrafik im Ausdruckprotokoll

6 Allgemeine Funktionen

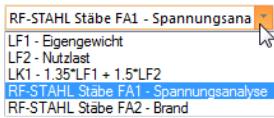
Dieses Kapitel beschreibt nützliche Menüfunktionen und stellt Exportmöglichkeiten für die Nachweise vor.

6.1 Bemessungsfälle

Bemessungsfälle ermöglichen es, Flächen bzw. Stäbe für die Nachweise zu gruppieren: So können Bauteilgruppen zusammengefasst oder Objekte mit bestimmten Bemessungsvorgaben (z. B. geänderte Materialien, Berechnungsart von Ergebniskombinationen, Optimierung) untersucht werden.

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

Die Bemessungsfälle der RF-STAHL-Module sind auch in RFEM über die Lastfall-Liste in der Symbolleiste zugänglich.



Neuen Bemessungsfall anlegen

Ein Bemessungsfall wird angelegt über das RF-STAHL-Menü

Datei → Neuer Fall.

Es erscheint folgender Dialog.

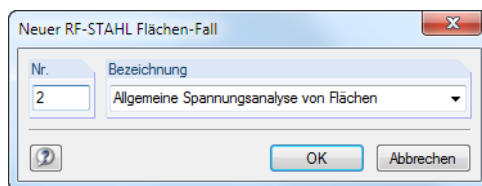


Bild 6.1: Dialog *Neuer RF-STAHL Flächen-Fall*

In diesem Dialog ist eine (noch freie) *Nummer* für den neuen Bemessungsfall anzugeben. Die *Bezeichnung* erleichtert die Auswahl in der Lastfall-Liste.

Nach [OK] erscheint die RF-STAHL-Maske *1.1 Basisangaben* zur Eingabe der bemessungsrelevanten Daten.

Bemessungsfall umbenennen

Die Bezeichnung eines Bemessungsfalls wird geändert über das RF-STAHL-Menü

Datei → Fall umbenennen.

Es erscheint folgender Dialog.

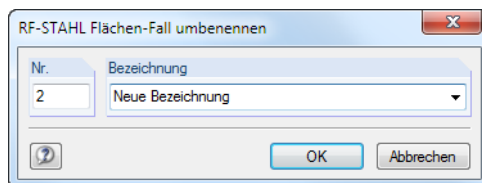


Bild 6.2: Dialog *RF-STAHL Flächen-Fall umbenennen*

Hier kann eine andere *Bezeichnung* und bei Bedarf auch eine andere *Nummer* für den Bemessungsfall festgelegt werden.

Bemessungsfall kopieren

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

Datei → **Fall kopieren**.

Es erscheint folgender Dialog.

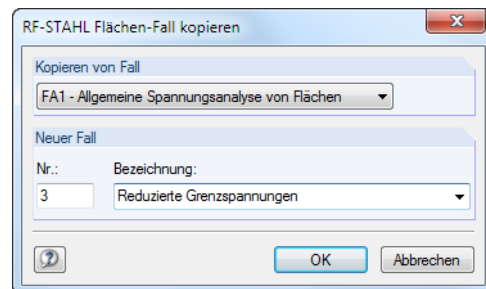


Bild 6.3: Dialog *RF-STAHl Flächen-Fall kopieren*

Es ist die *Nummer* und ggf. eine *Bezeichnung* für den neuen Fall festzulegen.

Bemessungsfall löschen

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

Datei → **Fall löschen**.

Es erscheint folgender Dialog.

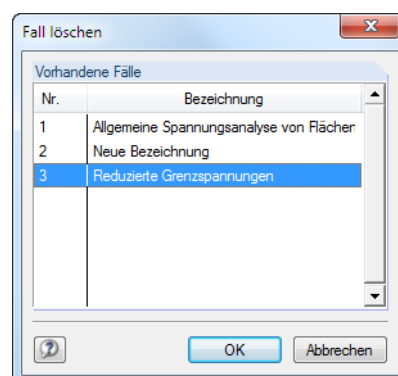


Bild 6.4: Dialog *Fall löschen*

Der Bemessungsfall kann in der Liste *Vorhandene Fälle* ausgewählt werden. Mit [OK] erfolgt der Löschvorgang.

6.2 Querschnittsoptimierung

In den RF-STAHL-Modulen besteht die Möglichkeit, die Flächendicken bzw. Querschnitte zu optimieren.



Bei der Optimierung ist zu beachten, dass die Schnittgrößen nicht automatisch neu mit den geänderten Flächendicken bzw. Querschnitten berechnet werden: Der Anwender entscheidet, welche Dicken bzw. Profile für eine Neuberechnung nach RFEM übergeben werden. Wegen der geänderten Steifigkeiten im System können sich die Schnittgrößen mit den optimierten Dicken bzw. Profilen deutlich unterscheiden. Es empfiehlt sich daher, nach einer ersten Optimierung die Schnittgrößen mit den geänderten Modelldaten neu zu berechnen und dann die Flächen bzw. Querschnitte nochmals zu optimieren.

6.2.1 RF-STAHL Flächen



Die Optimierungsmöglichkeit besteht nur in Maske *1.3 Flächen*. Um die Dicke einer Fläche zu optimieren, ist das Kontrollfeld dieser Fläche in Spalte D bzw. E anzuhaken (siehe [Bild 2.11](#), [Seite 14](#)). Es öffnet sich folgender Dialog.

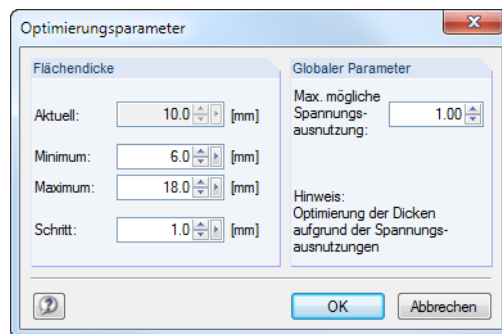
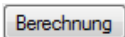


Bild 6.5: Dialog *Optimierungsparameter*

In den Eingabefeldern *Minimum* und *Maximum* sind die Unter- und Obergrenzen der Flächendicke anzugeben. Die aktuelle Dicke wird oberhalb angezeigt. Der *Schritt* steuert das Intervall, in dem die Dicke beim Optimierungsprozess variiert.

Bei der Optimierung wird die Flächendicke ermittelt, mit der der Nachweis „optimal“ erfüllt wird, d. h. der maximal zulässigen Ausnutzung am nächsten kommt, die im Abschnitt *Globaler Parameter* festgelegt ist. Es ist der Ausnutzungsgrad voreingestellt, der im Dialog *Details*, Register *Optionen* vorliegt (siehe [Bild 2.16](#), [Seite 25](#)). Dadurch lässt sich für jede Fläche ein eigenes Optimierungsmaximum definieren.



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

Die neuen Flächendicken können nach RFEM exportiert werden: Stellen Sie die Maske *1.3 Flächen* ein und wählen dann das Menü

Bearbeiten → **Alle Flächen an RFEM übergeben.**

Auch das Kontextmenü der Maske 1.3 bietet Exportmöglichkeiten für optimierte Flächendicken:

Fläche Nr.	Material Nr.	Dicke Typ	d [mm]	Max. Ausnutzung [-]	Optimieren	Anmerkung	Fläche A [m ²]	Masse G [kg]
6	2	Konstant	80	0.89	<input type="checkbox"/>	7)	0.39	91.1
7	2	Konstant					0.26	61.6
10	2	Konstant					0.19	45.3
11	2	Konstant					0.19	15.1
14	2	Konstant					0.19	15.2
15	2	Konstant					0.10	7.6
18	2	Konstant					0.25	39.7
19	2	Konstant					0.25	39.7
23	2	Konstant					0.14	21.6
24	2	Konstant					0.14	21.6

Bild 6.6: Kontextmenü der Maske 1.3 Flächen

Vor der Übergabe erfolgt eine Abfrage, ob die Ergebnisse von RFEM gelöscht werden sollen.

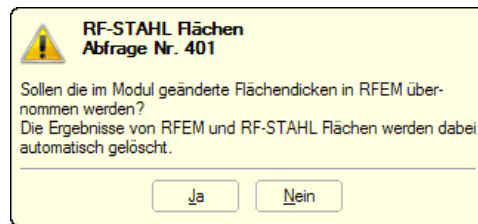


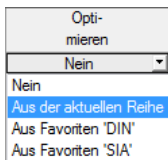
Bild 6.7: Abfrage vor Übergabe geänderter Flächen nach RFEM

Berechnung

Nach dem Start der [Berechnung] in RF-STAHL werden die RFEM-Schnittgrößen und die Ausnutzungen in einem Rechenlauf ermittelt.

Wurden die geänderten Flächendicken noch nicht nach RFEM exportiert, so können mit den im Bild 6.6 gezeigten Optionen wieder die ursprünglichen Dicken in das Bemessungsmodul eingelesen werden. Beachten Sie, dass diese Möglichkeit nur in Maske 1.3 Flächen besteht.

6.2.2 RF-STAHL Stäbe



In RF-STAHL Stäbe besteht die Möglichkeit, überlastete oder kaum ausgenutzte Querschnitte zu optimieren. Legen Sie hierzu in Maske 1.3 Querschnitte die relevanten Profile fest, indem Sie in Spalte D bzw. E in der Liste auswählen, ob die Querschnitte *Aus der aktuellen Reihe* oder benutzerdefinierten *Favoriten* ermittelt werden sollen (siehe Bild 3.4, Seite 41).

In den Ergebnismasken kann die Optimierung über das Kontextmenü eingeleitet werden.

Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Belastung	Spannungstyp	Spannung vorh	Spannung grenz	Ausnutzung
1	Querschnitt Nr. 1 - HE A 400 DIN 1025-3:1994						
	6.0				-92.7	218.2	0.42
	0.0				-8.2	218.2	0.04
	6.0				88.5	218.2	0.41
	0.0				26.9	218.2	0.12
	6.0				-16.1	126.0	0.13
	6.0				92.7	218.2	0.42

Bild 6.8: Kontextmenü zur Querschnittsoptimierung

Details...

Bei der Optimierung wird untersucht, welches Profil den Nachweis „optimal“ erfüllt, d. h. der maximal zulässigen Ausnutzung am nächsten kommt, die im Dialog *Details* festgelegt ist (siehe Bild 3.8, Seite 45). Die erforderlichen Querschnittswerte werden dabei mit den Schnittgrößen ermittelt, wie sie von RFEM vorliegen. Erweist sich ein anderer Querschnitt als günstiger, so wird dieser Querschnitt für den Nachweis benutzt. In Maske 1.3 werden dann zwei Profile dargestellt – der ursprüngliche Querschnitt von RFEM und der optimierte Querschnitt (siehe Bild 6.10).

Bei einem parametrischen Profil erscheint beim *Optimieren* folgender Dialog.

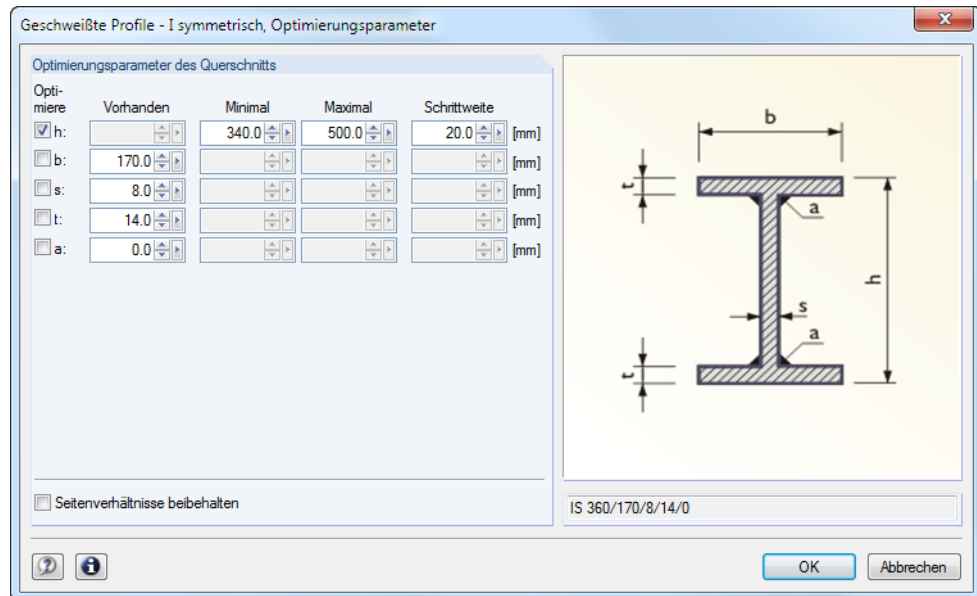


Bild 6.9: Dialog *Geschweißte Profile - I-symmetrisch, Optimierungsparameter*

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

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



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

Die geänderten Profile können nach RFEM exportiert werden: Stellen Sie die Maske *1.3 Querschnitte* ein und wählen dann das Menü

Bearbeiten → **Alle Querschnitte an RFEM übergeben.**

Auch das Kontextmenü der Maske *1.3 Querschnitte* bietet die Möglichkeit, optimierte Querschnitte nach RFEM zu exportieren:

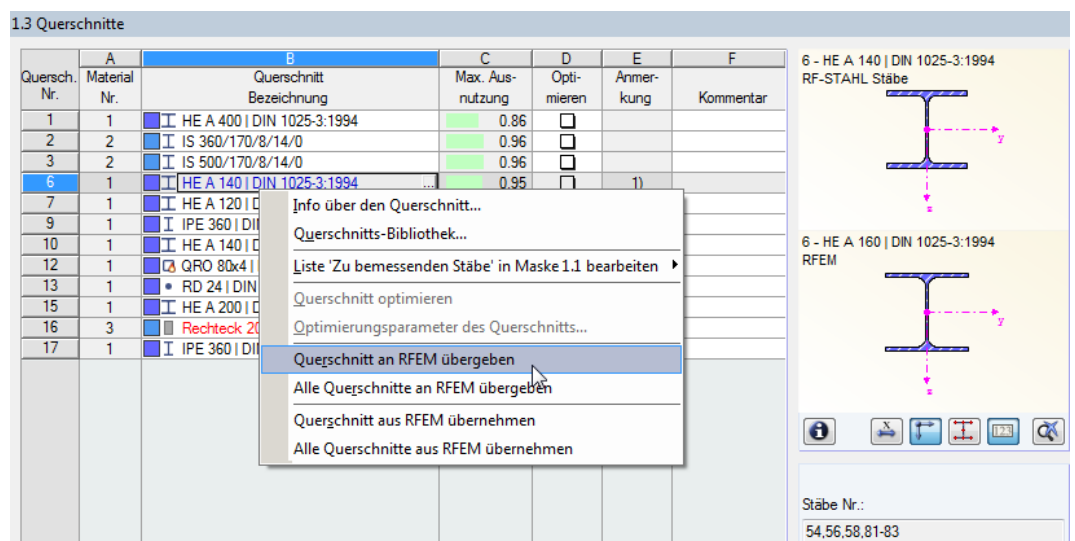


Bild 6.10: Kontextmenü der Maske *1.3 Querschnitte*

Vor der Übergabe erfolgt eine Abfrage, ob die Ergebnisse von RFEM gelöscht werden sollen (siehe Bild 6.7, Seite 89).

Berechnung

Nach dem Start der [Berechnung] in RF-STAHL werden die Schnittgrößen und Ausnutzungen in einem Rechenlauf ermittelt.

Wurden die geänderten Querschnitte noch nicht nach RFEM exportiert, so können mit den im Bild 6.10 gezeigten Optionen wieder die ursprünglichen Profile in das Bemessungsmodul eingelesen werden. Beachten Sie, dass diese Möglichkeit nur in Maske 1.3 Querschnitte besteht.



Falls ein Voutenstab zur Optimierung vorliegt, werden die Anfangs- und Endstellen optimiert. Danach werden die Flächenträgheitsmomente an den Zwischenstellen linear interpoliert. Da diese mit der vierten Potenz eingehen, können die Nachweise bei großen Unterschieden der Anfangs- und Endprofilhöhen ungenau werden. In einem solchen Fall empfiehlt es sich, die Voute in mehrere Stäbe zu unterteilen und so die Querschnittsverläufe manuell abzubilden.

6.3 Einheiten und Dezimalstellen

Die Einheiten und Nachkommastellen werden für RFEM und für die Zusatzmodule gemeinsam verwaltet. In RF-STAHL ist der Dialog zum Anpassen der Einheiten zugänglich über das Menü

Einstellungen → Einheiten und Dezimalstellen.

Es erscheint der aus RFEM bekannte Dialog. In der Liste *Programm / Modul* ist RF-STAHL Flächen bzw. RF-STAHL Stäbe voreingestellt.

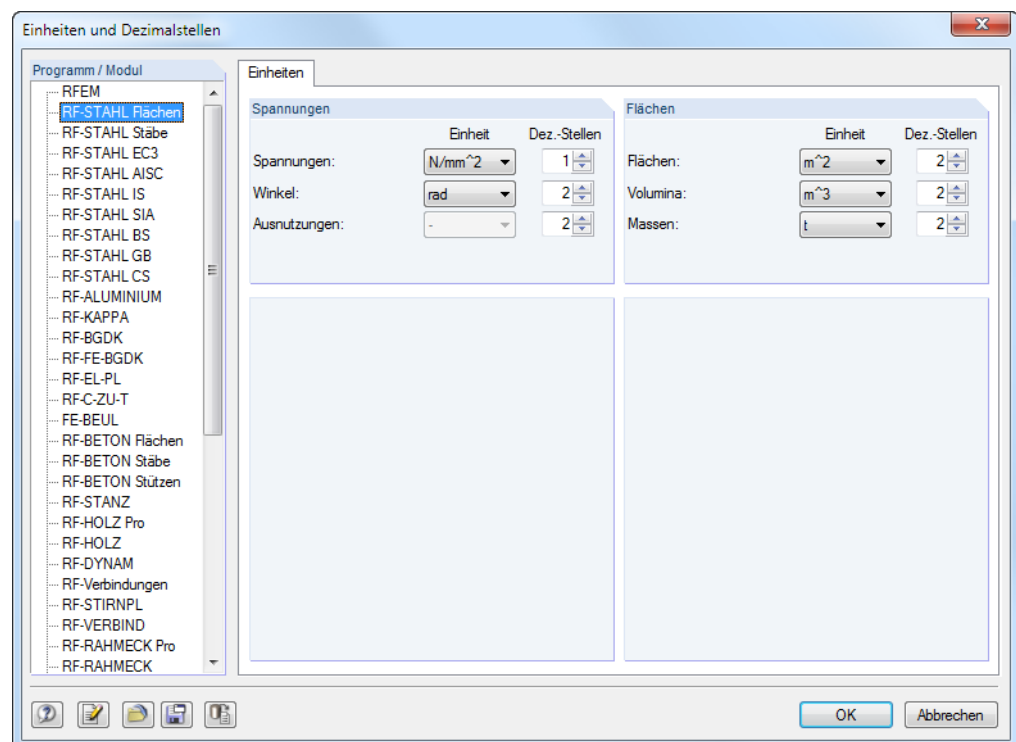


Bild 6.11: Dialog *Einheiten und Dezimalstellen*



Die Einstellungen können als Benutzerprofil gespeichert und in anderen Modellen wieder verwendet werden. Diese Funktionen sind im Kapitel 11.1.3 des RFEM-Handbuchs beschrieben.

6.4 Datenaustausch

6.4.1 Materialexport nach RFEM

Werden in RF-STAHl die Materialien für die Bemessung angepasst, so können – wie bei den Flächen und Querschnitten – die geänderten Materialien nach RFEM exportiert werden: Stellen Sie die Maske *1.2 Materialien* ein und wählen dann das Menü

Bearbeiten → **Alle Materialien an RFEM übergeben.**

Auch über das Kontextmenü der Maske 1.2 lassen sich Materialien nach RFEM exportieren.

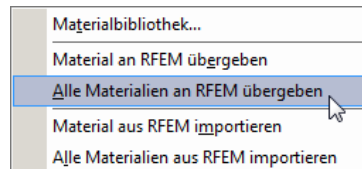


Bild 6.12: Kontextmenü der Maske *1.2 Materialien*

Berechnung

Vor der Übergabe erfolgt eine Abfrage, ob die Ergebnisse von RFEM gelöscht werden sollen. Nach dem Start der [Berechnung] in RF-STAHl werden die RFEM-Schnittgrößen und die Ausnutzungen in einem Rechenlauf ermittelt.

Wurden die geänderten Materialien noch nicht nach RFEM exportiert, so können mit den im Bild 6.12 gezeigten Optionen wieder die ursprünglichen Materialien in das Bemessungsmodul eingelesen werden. Beachten Sie, dass diese Möglichkeit nur in Maske *1.2 Materialien* besteht.

6.4.2 Export der Ergebnisse

Die Ergebnisse der RF-STAHl-Module lassen sich auch in anderen Programmen verwenden.

Zwischenablage

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

Ausdruckprotokoll

Die Daten von RF-STAHl können in das Ausdruckprotokoll gedruckt (siehe Kapitel 5.1, Seite 81) und dort exportiert werden über das Menü

Datei → **Export in RTF.**

Diese Funktion ist im Kapitel 10.1.11 des RFEM-Handbuchs beschrieben.

MS Excel

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

Datei → Tabellen exportieren.

Es öffnet sich folgender Exportdialog.

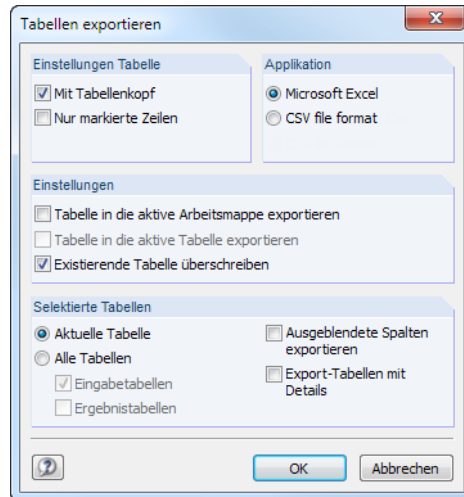


Bild 6.13: Dialog *Tabellen exportieren*

Wenn die Auswahl feststeht, kann der Export mit [OK] gestartet werden. Excel wird automatisch aufgerufen, d. h. das Programm braucht vorher nicht geöffnet werden.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Stabsatz Nr.	Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Belastung	Spannungstyp	Spannung vorh [N/mm ²]	Spannung grenz	Ausnutzung
3	1	Deckenträger B-B (Stab Nr. 66-69)							
4		68	3,125	6	EK1	Sigma gesamt	206,4	218,2	0,95
5		66	6,250	13	EK1	Tau gesamt	-41,5	126,0	0,33
6		68	3,125	6	EK1	Sigma-v	206,4	218,2	0,95
8	2	Deckenträger A-A (Stab Nr. 71-74)							
9		73	3,125	6	EK1	Sigma gesamt	187,6	218,2	0,86
10		71	0,000	13	EK1	Tau gesamt	42,0	126,0	0,33
11		73	3,125	6	EK1	Sigma-v	187,6	218,2	0,86
13	3	Firstriegel E-E (Stab Nr. 1-8)							
14		8	3,011	10	EK1	Sigma gesamt	-162,3	327,3	0,50
15		8	3,011	13	EK1	Tau gesamt	-17,7	189,0	0,09
16		8	3,011	10	EK1	Sigma-v	162,3	327,3	0,50
18	4	Stütze 1-1 (Stab Nr. 31,32)							
19		32	3,000	10	EK1	Sigma gesamt	-155,3	218,2	0,71
20		32	3,000	13	EK1	Tau gesamt	-46,3	126,0	0,37
21		32	3,000	8	EK1	Sigma-v	156,3	218,2	0,72

Bild 6.14: Ergebnis in *Excel*

Literatur

- [1] *DIN 18800 (11.90) Teil 1: Stahlbauten - Bemessung und Konstruktion*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1992.
- [2] *DIN 18800 (11.90) Teil 2: Stahlbauten - Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1992.
- [3] *EN 1993-1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005.
- [4] *EN 1990: Grundlagen der Tragwerksplanung*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2010.
- [5] *EN 1993-1-8: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005.
- [6] *Erläuterungen zu DIN 18800 Teil 1 bis 4, Beuth-Kommentar*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2. Auflage, 1994.
- [7] Christian Petersen. *Stahlbau*. Vieweg & Sohn, Wiesbaden, 3. Auflage, 1993.
- [8] Klaus-Jürgen Schneider. *Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen*. Bundesanzeiger Verlag, Köln, 21. Auflage, 2014.
- [9] *STAHLBAU Handbuch*, Band 1. Stahlbau-Verlagsgesellschaft mbH, Köln, 1993.
- [10] P. G. Bergan und Carlos A. Felippa. A triangular membrane element with rotational degrees of freedom. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 50, 1985.
- [11] Vladimír Kolář et al. *Berechnung von Flächen- und Raumtragwerken nach den Methode der finiten Elemente*. Springer, Wien, New York, 1975.
- [12] Vladimír Kolář und Ivan Němec. *Finite Element Analysis of Structures*. United Nations Development Program, Economic Com. for Europe, Workshop on CAD Techniques, Prague - Geneva, 1984.
- [13] I. Sevcík. *3D Finite Elements with Rotational Degrees of Freedom*. FEM Consulting s.r.o, Brno.
- [14] S. Timoshenko und S. Woinowski-Krieger. *Theory of Plates and Shells*. McGraw-Hill, New York, 2. Auflage, 1959.
- [15] Olgierd Cecil Zienkiewicz und Yau Kai Cheung. *The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics*. McGraw-Hill, New York, London, 1967.
- [16] Olgierd Cecil Zienkiewicz. *The Finite Element Method in Engineering Science*. Mc Graw-Hill, London 3. Auflage, 1979. Chapter 18 - 19 (Nonlinear Problems).

Index

2D-Modelltyp	50	Einwirkungskombination	24
A		Ergebnisauswertung	65
Aluminium	10	Ergebnisdarstellung	77
Anmerkung	15, 43	Ergebnisdiagramm	78, 83
Ansichtsmodus	65, 66, 68, 75	Ergebniskombination 7, 8, 25, 40, 45, 46, 52, 61	
Aufzählungsmethode	25	Ergebnismasken	26, 28, 55
Ausdruck-Selektion	84	Ergebnisse-Navigator	69, 76
Ausdruckprotokoll	81, 82	Ergebnisverläufe	78, 83
Ausnutzung	14, 31, 42, 53, 57, 73	Ergebniswerte	69, 76
Auswahl Spannungen	67, 72	Ergebniswerte grafisch	70
C		Excel	93
c/t-Teil	84	Export	92
B		Export Flächen	89
Bach	23	Export Material	92
Basisangaben	6, 39	Export Querschnitt	90
Bauteildicke	13, 74	Extremwert	46
Beenden von RF-STAHL	6, 39	Exzentrische Querlast	47
Belastung	35, 36, 57, 61	F	
Bemessen	7, 40	Farbspektrum	79
Bemessungsfall	69, 76, 86	Favorit	89
Bemessungsnorm	6, 39	FE-Netzpunkt	26, 28, 29, 34
Bemessungssituation	9, 36	Filter	34, 66, 72, 79, 80
Benutzerprofil	91	Fläche	7, 14, 15, 16, 33, 38
Berechnung starten	27, 54	Flächenachsen	37
Berechnungsart	45	Flächendicke	88
Bereich	36	Flächenseite	30
Betriebsfestigkeitsnachweis	35, 49	Formbeiwert α_{pl}	47, 48
Blättern in Masken	6, 39	G	
C		grenz σ_v	11
Charakteristisch	9, 24, 36	grenz σ_x	11
D		grenz τ	11
Detaileinstellungen	17, 45	Gebrauchstauglichkeit	8, 16, 24, 37
Dezimalstellen	10, 91	Gemischte Methode	26
Dicke	14, 38	Geschlossener Querschnitt	52
DICKQ	57	Glättung	26
Doppelspannungspunkt	52	Glättungsbereich	26
Drillspannung	18	Grafik	69, 76
Drucken	82, 84	Grafikausdruck	82
DUENQ	57	Grenzspannung	10, 11, 46, 57
E		Grenzverschiebung	37
Edelstahl	10	Grenzzustand Tragfähigkeit	7
Eigendefiniertes Profil	57	H	
Einheiten	10, 91	Häufig	9, 24, 36
		Hauptspannung	30
		Hintergrundgrafik	68, 75

I			
Innendruck	49		
Installation	4		
K			
Kombination	36		
Kommentar	7, 15, 41		
Koordinaten	30		
Koordinaten Spannungspunkt	74		
Kragfläche	17, 24		
L			
Länge	63		
Lastfall	7, 8, 40, 57, 61		
Lastkombination	7, 8, 40		
Linie	33		
M			
Manuelle Grenzspannungen	11		
Manuelle Referenzlänge	16		
Maßgebende Schnittgrößen	45, 61		
Masken	6, 39		
Masse	15, 38, 64		
Material	9, 13, 32, 41, 92		
Materialbezeichnung	10		
Materialbibliothek	12		
Materialkennwerte	10		
Maximum	35, 88		
Membran-Vergleichsspannung	20, 21		
Membranspannung	18, 30		
Minimum	35, 88		
N			
Nachweis farbig	79		
Navigator	6, 39		
Negative Flächenseite	18, 20, 21, 22, 30		
Nichtrostender Stahl	12		
Normalspannungen	48		
O			
Oberfläche	38, 64		
Offener Querschnitt	52		
Optimierung	15, 26, 42, 47, 88, 89		
Orthotropie	14		
P			
Panel	5, 70, 77, 79		
Parametrisches Profil	90		
Plastisches Materialmodell	26		
Plastizierung	46		
Position	38, 63		
Positive Flächenseite	18, 19, 21, 30		
Programmaufruf	4		
Punkt-Koordinaten	30		
Q			
Quasi-ständig	9, 24, 36		
Querlast	47		
Querschnitt	41, 89		
Querschnittsbibliothek	41		
Querschnittsgrafik	43		
Querschnittsinfo	44		
Querschnittsoptimierung	88		
Querschnittsspannungen	73, 84		
R			
Rankine	22		
Rasterpunkt	26, 28, 29, 34		
Referenzlänge	16, 24		
Relationsbalken	65, 66		
Rendering	79		
RF-DYNAM Pro	7, 40		
RF-FE-BGDK	52		
RF-STAHF-Fall	47		
RFEM-Arbeitsfenster	68, 75		
RFEM-Grafik	82		
S			
Schaltflächen	65		
Schnitt	79, 83		
Schnittgrößen	61, 88		
Schritt	88		
Schubfläche	52		
Schubspannung	19, 30		
Schubspannungen	51, 52, 74		
Schweißnaht	71		
Schwingbreite	36		
Sichtbarkeiten	79		
σ_v	20, 21, 22, 31, 47, 53, 57		
σ_x	18, 31, 48, 57		
Singularität	27, 79		
Spannungen	17, 18, 19, 28, 31, 33, 48, 51, 55, 57, 59		
Spannungen aus RFEM	26		
Spannungsanteile	72, 76		
Spannungsgrafik	73, 84		
Spannungsnachweis	31, 53, 57		
Spannungspunkt	44, 45, 48, 52, 57, 60, 73, 74, 84		
Spannungsschwingbreiten	35		
Spannungstyp	30, 57, 67, 69, 76		
Spannungsverlauf	66, 73		
Stab	40, 59		
Stabsatz	40, 58, 62, 64		

Starten von RF-STAHL	4	Veränderliche Dicke	38
Statisches Moment	74	Verformungsnachweis	36
Stelle x	56, 60	Vergleichsspannung .. 20, 21, 30, 31, 46, 47, 53	
Steuerpanel	79	Verhältnis	37
Streckgrenze f_{yk}	11, 13	Verlauf Schnittgrößen	26
Stückliste	37, 63, 64	Verschiebungen	36, 37
Summe	38, 64	Volumen	38, 64
		Vorzeichen	48, 50
T		Voute	43, 59, 91
Tau	19, 31, 51, 57		
Teilsicherheitsbeiwert γ_M	10, 13	X	
Torsion	47, 51, 52	x-Stelle	56, 59
Tragfähigkeit	7, 29		
Tresca	22	W	
		Wölbkrafttorsion	52
U			
Umhüllende Methode	25	Z	
Unsymmetrischer Querschnitt	50	Zeigen-Navigator	77, 79
		Zwischenablage	92
V			
von Mises	21		