



Fassung
Dezember 2014

Zusatzmodul

STAHL Ermüdung

Ermüdungsnachweis von Stäben

Programm-Beschreibung

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 2015
Am Zellweg 2
D-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 STAHL Ermüdung Stäbe	3
1.2	Gebrauch des Handbuchs	4
1.3	Aufruf des STAHL Ermüdung Stäbe-Moduls	4
2.	Theoretische Grundlagen	6
2.1	Nachweiskonzept	6
2.2	Nachweis mit Schadensäquivalenzfaktoren	7
2.2.1	Nachweisgleichungen	7
2.2.2	Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma$	9
2.2.3	Schadensäquivalenzfaktor λ	9
3.	Eingabedaten	10
3.1	Basisangaben	10
3.2	Materialien	12
3.3	Querschnitte	15
3.4	Kerbfälle	19
4.	Berechnung	20
4.1	Detaileinstellungen	20
4.1.1	Tragfähigkeit	20
4.1.2	Allgemein	21
4.2	Start der Berechnung	22
5.	Ergebnisse	23
5.1	Nachweise querschnittsweise	24
5.2	Nachweise stabsatzweise	25
5.3	Nachweise stabweise	26
5.4	Nachweise x-stellenweise	27
5.5	Stückliste stabweise	28
5.6	Stückliste stabsatzweise	29
6.	Ergebnisauswertung	30
6.1	Ergebnisse am RSTAB-Modell	31
6.2	Ergebnisverläufe	33
6.3	Filter für Ergebnisse	34
7.	Ausdruck	36
7.1	Ausdruckprotokoll	36
7.2	Grafikausdruck	36
7.2.1	Nachweise am RSTAB-Modell	36
7.2.2	Ergebnisverläufe	36
8.	Allgemeine Funktionen	38
8.1	Bemessungsfälle	38
8.2	Querschnittsoptimierung	40
8.3	Einheiten und Dezimalstellen	42
8.4	Datenaustausch	43
8.4.1	Materialexport nach RSTAB	43
8.4.2	Export der Ergebnisse	43
9.	Beispiel: Rohr-Fachwerkträger	45
9.1	System und Belastung	45
9.2	Nachweis in STAHL Ermüdung Stäbe	48



9.2.1	Definition des Kerbfalls	48
9.2.2	Begrenzung der Längsspannungsschwingbreiten	49
9.2.3	Nachweis der Nennlängsspannungsschwingbreite	50
A.	Literatur	51
B.	Index	52

1 Einleitung

1.1 Zusatzmodul STAHL Ermüdung Stäbe

Die Ermüdungsnachweise nach EN 1993-1-9 [1] basieren auf dem sogenannten Nennspannungskonzept. Bei diesem Verfahren wird untersucht, welchen Einfluss die Materialermüdung auf das Tragwerk ausübt. Nicht wenige Schäden im Stahlbau sind auf wiederkehrende Einwirkungen zurückzuführen, die bestimmte Stellen in der Konstruktion beanspruchen, bis ein Ermüdungsversagen eintritt. Das Modul STAHL Ermüdung Stäbe führt die Ermüdungsnachweise mit dem Verfahren mittels Schadensäquivalenzfaktoren.

Folgende Leistungsmerkmale zeichnen das Zusatzmodul aus:

- Ermittlung der Spannungsschwingbreiten für ausgewählte Lastfälle, Last- oder Ergebniskombinationen
- Freie Kerbfallzuordnung an den Spannungspunkten des Querschnitts
- Benutzerdefinierte Vorgabe der Schadensäquivalenzfaktoren

Da STAHL Ermüdung Stäbe in die Benutzeroberfläche des Hauptprogramms integriert ist, sind nicht nur sämtliche Eingabedaten des Modells, sondern auch die Schnittgrößen für die Bemessung verfügbar. Die Nachweise und Spannungsschwingbreiten können im Arbeitsfenster von RSTAB grafisch ausgewertet und in das zentrale Ausdruckprotokoll eingebunden werden.

Im Zuge der Analyse lassen sich auch die maximalen Ausnutzungen von Stabsätzen ermitteln. STAHL Ermüdung Stäbe ermöglicht zudem eine automatische Querschnittsoptimierung einschließlich Export der geänderten Profile nach RSTAB.

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

Wir wünschen Ihnen viel Freude und Erfolg mit STAHL Ermüdung Stäbe.

Ihr DLUBAL-Team

1.2 Gebrauch des Handbuchs

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



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

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

1.3 Aufruf des STAHL Ermüdung Stäbe-Moduls

Es bestehen in RSTAB folgende Möglichkeiten, das Zusatzmodul STAHL Ermüdung Stäbe zu starten.

Menü

Sie können das Zusatzmodul aufrufen mit dem RSTAB-Menü

Zusatzmodule → **Stahlbau** → **STAHL Ermüdung Stäbe**.

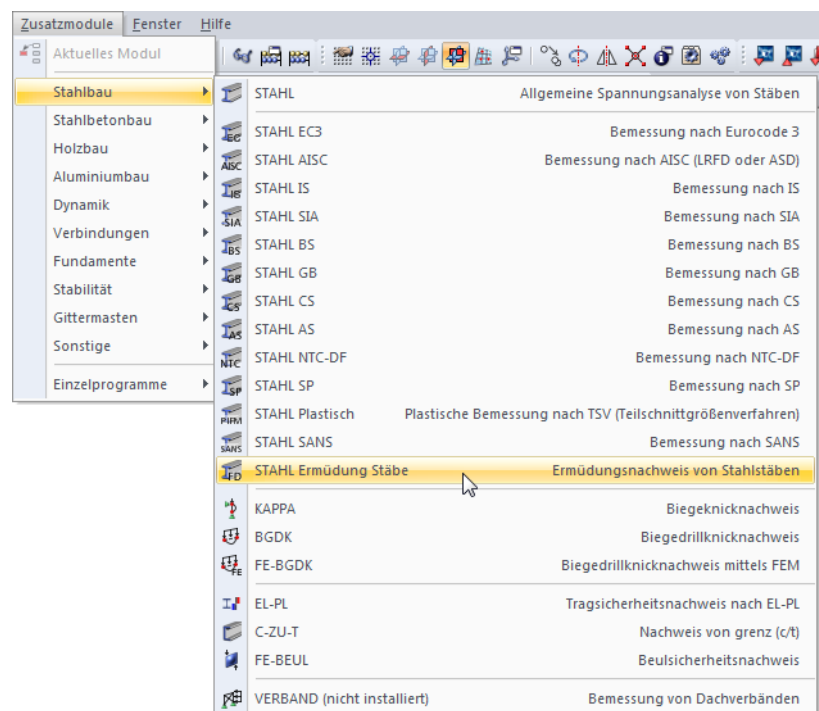


Bild 1.1: Menü: Zusatzmodule → Stahlbau → STAHL Ermüdung Stäbe

Navigator

Alternativ rufen Sie das Zusatzmodul im *Daten*-Navigator auf durch Anklicken des Eintrags

Zusatzmodule → STAHL Ermüdung Stäbe.

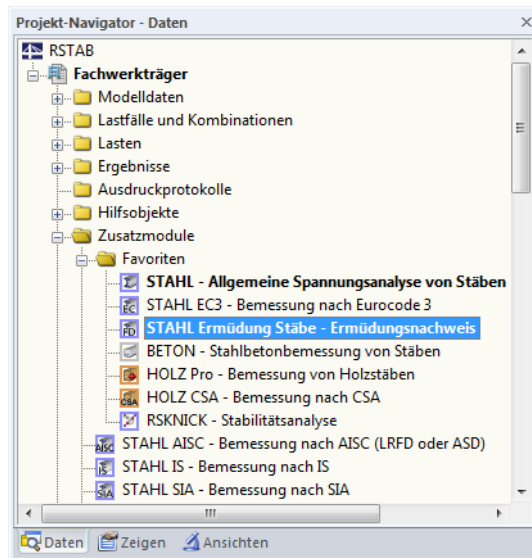
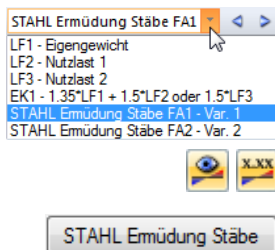


Bild 1.2: Daten-Navigator: Zusatzmodule → STAHL Ermüdung Stäbe

Panel



Wenn im RSTAB-Modell schon Ergebnisse von STAHL Ermüdung Stäbe vorliegen, können Sie das Bemessungsmodul auch über das Panel starten:

Stellen Sie den relevanten Bemessungsfall in der Lastfallliste der Menüleiste ein. Lassen Sie über die Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus] die Ausnutzungen oder Spannungsschwingbreiten der Stäbe grafisch darstellen.

Im Panel können Sie nun die Schaltfläche [STAHL Ermüdung Stäbe] zum Aufruf des Moduls benutzen.

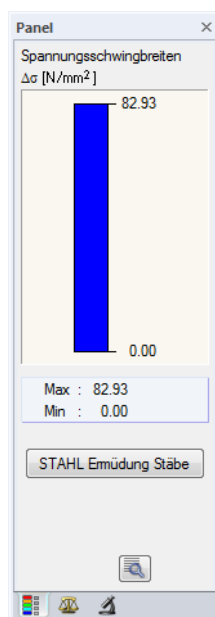


Bild 1.3: Panel-Schaltfläche [STAHL Ermüdung Stäbe]

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Nachweiskonzept

Der Ermüdungsnachweis nach EN 1993-1-9 [1] basiert auf dem Nennungskonzept: Die Schnittgrößen werden nach Stabstatik ermittelt und die Spannungen an der Stelle der zu erwartenden Rissbildung nach der Festigkeitslehre berechnet. Beim Ermüdungsnachweis werden die Nennspannungsschwingbreiten $\Delta\sigma$ und $\Delta\tau$ infolge der Einwirkungen den Bemessungswerten der Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_R$ und $\Delta\tau_R$ gegenübergestellt. Weiterhin gilt in [1] das Prinzip der Teilsicherheitsbeiwerte. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mf} für die Ermüdungsfestigkeit wird je nach Zuverlässigkeitskonzept und den möglichen Schadensfolgen abgestuft. Folgende Tabelle zeigt die Empfehlungen:

Tabelle 3.1 — Empfehlungen für γ_{Mf} -Faktoren für die Ermüdungsfestigkeit

Bemessungskonzept	Schadensfolgen	
	niedrig	hoch
Schadenstoleranz	1,00	1,15
Sicherheit gegen Ermüdungsver-sagen ohne Vorankündigung	1,15	1,35

Bild 2.1: EN 1993-1-9, Tabelle 3.1

Die Spannungen auf der Einwirkungsseite sind auf Gebrauchsniveau zu ermitteln. Daher gilt für den Teilsicherheitsbeiwert γ_{Ef} für die Einwirkungen der Wert $\gamma_{Mf} = 1,0$.

Die Norm [1] stellt folgende Nachweisverfahren zur Verfügung:

- Nachweis mit der Dauerfestigkeit
- Nachweis mittels Schadensakkumulation
- Nachweis mit Schadensäquivalenzfaktoren

Die Bemessung im Modul STAHL Ermüdung Stäbe erfolgt mittels Schadensäquivalenzfaktoren. Daher wird nur dieses Nachweisverfahren vorgestellt.

2.2 Nachweis mit Schadensäquivalenzfaktoren

Dieses Verfahren stellt das Standardverfahren nach [1] dar. Die schadensäquivalenten Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_{E,2}$ und $\Delta\tau_{E,2}$ bezogen auf $2 \cdot 10^6$ Spannungsspiele sind unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsfaktoren den Grenzwerten der Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_C$ bzw. $\Delta\tau_C$ bei $2 \cdot 10^6$ Spannungsspielen des entsprechenden Kerbdetails gegenüberzustellen.

2.2.1 Nachweisgleichungen

Begrenzung der Spannungsschwingbreiten

Nach [1], Gl. 8.1 sind die Spannungsschwingbreiten für Längs- und Schubspannungen wie folgt zu begrenzen:

$$\Delta\sigma \leq 1,5 \cdot f_y \quad (1)$$

$$\Delta\tau \leq \frac{1,5 \cdot f_y}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

Ermüdungsnachweise

Die Ermüdungsnachweise für Längs- und Schubspannungen sind nach [1], Gl. 8.2 wie folgt:

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (3)$$

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_C / \gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (4)$$

Gleichzeitige Wirkung von Längs- und Schubspannungsschwingbreiten

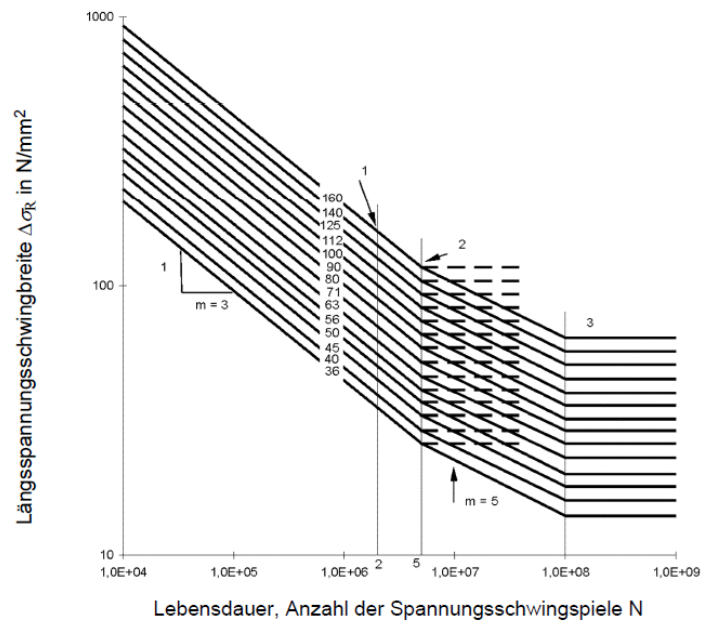
Nach [1], Gl. 8.3 ist auch folgende Nachweisbedingung einzuhalten:

$$\left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} \right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_C / \gamma_{Mf}} \right)^3 \leq 1,0 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Nennspannungen : } \gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2} &= \lambda \cdot \Delta\sigma \\ \gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2} &= \lambda \cdot \Delta\tau \end{aligned}$$

Die Ermittlung der Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mf} und γ_{Ff} ist in Kapitel 2.1 beschrieben.

Die Ermüdungsfestigkeiten $\Delta\sigma_C$ bzw. $\Delta\tau_C$ bei $2 \cdot 10^6$ Spannungsspielen sind in [1] den jeweiligen Kerbgruppen zugeordnet. Sie können für die Längs- bzw. Schubspannungsschwingbreiten folgenden Diagrammen entnommen werden.

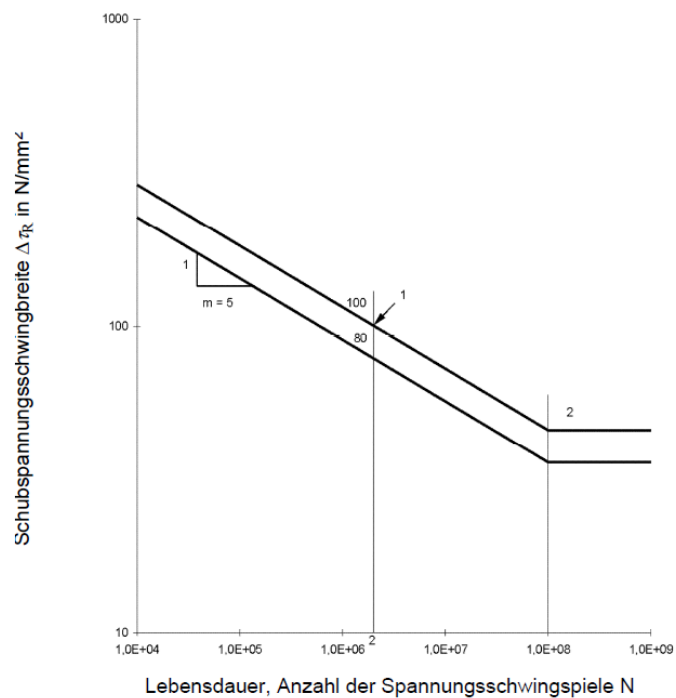


Legende

- 1 Kerbfall $\Delta\sigma_c$
- 2 Dauerfestigkeit $\Delta\sigma_D$
- 3 Schwellenwert der Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_L$

Bild 7.1 — Ermüdungsfestigkeitskurve für Längsspannungsschwingbreiten

Bild 2.2: EN 1993-1-9, Bild 7.1



Legende

- 1 Kerbfall $\Delta\tau_c$
- 2 Schwellenwert der Ermüdungsfestigkeit $\Delta\tau_L$

Bild 7.2 — Ermüdungsfestigkeitskurve für Schubspannungsschwingbreiten

Bild 2.3: EN 1993-1-9, Bild 7.2

2.2.2 Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma$

Die Spannungsschwingbreite beschreibt die Differenz zwischen der maximalen und der minimalen Längs- bzw. Schubspannung (auch Ober- und Unterspannung genannt). Sie bestimmt sich somit wie folgt:

$$\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min} \quad (2.6)$$

σ_{max} : Maximalspannung (mit Vorzeichen)

σ_{min} : Minimalspannung (mit Vorzeichen)

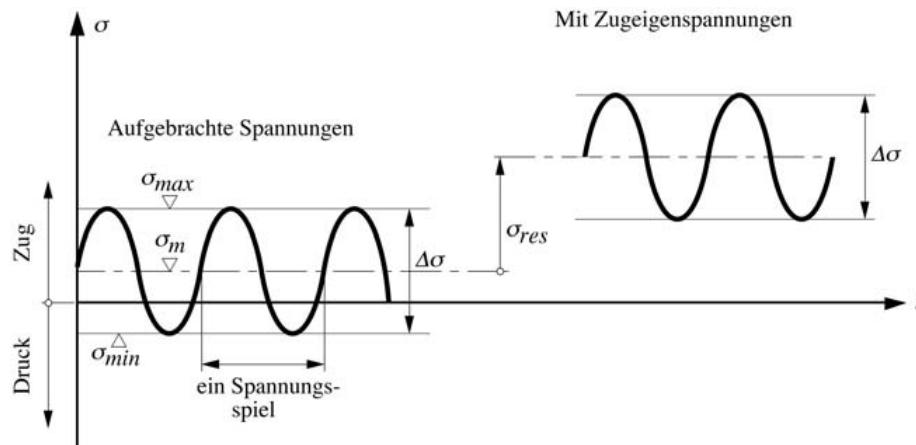


Bild 2.4: Spannungsschwingbreiten und Einfluss von Zugeigenspannungen nach [2]

2.2.3 Schadensäquivalenzfaktor λ

Die Schadensäquivalenzfaktoren hängen von den nachzuweisenden Bauteilen ab. Sie werden in den zugehörigen Normen behandelt. Folgende Auflistung bietet einen Überblick über die Normen, in denen die Berechnung der Schadensäquivalenzfaktoren geregelt ist.

EN 1993-2	Stahlbrücken
EN 1993-3-1	Türme, Maste und Schornsteine
EN 1993-3-2	Türme, Maste und Schornsteine
EN 1993-4-1	Tankbauwerke
EN 1993-4-2	Tankbauwerke
EN 1993-4-3	Rohrleitungen
EN 1993-6	Kranbahnen

Tabelle 2.1: Normen mit Schadensäquivalenzfaktoren

Falls keine Angaben zu den Schadensäquivalenzfaktoren λ vorliegen, dürfen die Nachweisformate nach [1], Anhang A angewandt werden. Aus den Schadensäquivalenzfaktoren und der Spannungsschwingbreite resultiert dann die **Nennspannung**.

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2} = \lambda \cdot \Delta\sigma \quad (2.7)$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2} = \lambda \cdot \Delta\tau \quad (2.8)$$

3 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 8.1, Seite 38](#)).

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

- Stäbe und Stabsätze
- Lastfälle, Last-, Ergebnis- und Superkombinationen
- 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. STAHL Ermüdung Stäbe wird beendet und es erfolgt die Rückkehr in das Hauptprogramm. [Abbrechen] beendet das Zusatzmodul, ohne die Daten zu speichern.

3.1 Basisangaben

In Maske 1.1 *Basisangaben* sind die zu bemessenden Stäbe, Stabsätze und Einwirkungen sowie die Norm festzulegen.

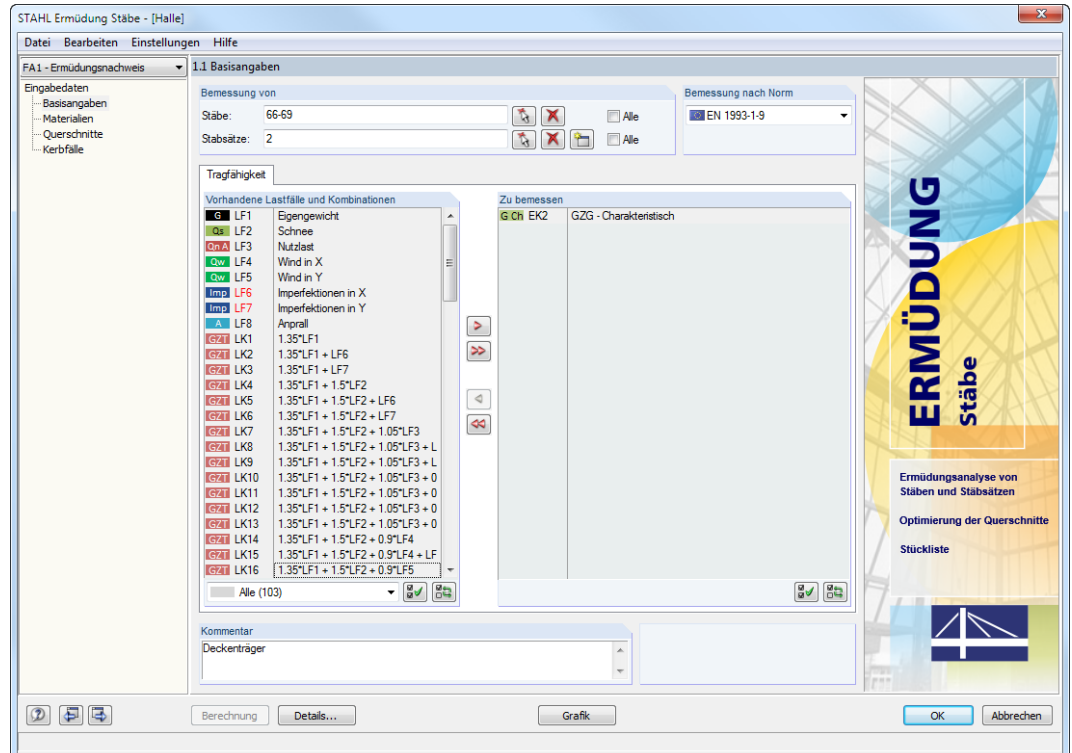


Bild 3.1: Maske 1.1 *Basisangaben*

Bemessung von



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 [Löschen] leert die Liste der voreingestellten Nummern. Über die Schaltfläche [Auswählen] lassen sich die Objekte auch grafisch im RSTAB-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 *Nachweise stabsatzweise* und 4.2 *Stückliste stabsatzweise* ausgegeben.



Mit der Schaltfläche [Neu] kann ein neuer Stabsatz definiert werden. Es erscheint der aus RSTAB bekannte Dialog zur Eingabe der Stabsatz-Parameter.

Bemessung nach Norm

Zurzeit steht nur das Nachweisverfahren nach EN 1993-1-9 [1] zur Verfügung.

Vorhandene Lastfälle und Kombinationen

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



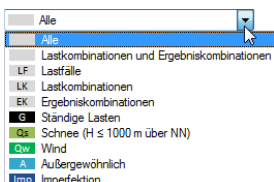
STAHL Ermüdung ist auch in der Lage, Superkombinationen und DYNAM-Fälle zu bemessen.

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 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.



Es müssen mehrere Lastfälle oder Kombinationen bzw. eine 'Oder'-Kombination für die Bemessung ausgewählt sein, damit eine Analyse der Spannungsunterschiede (Spannungsspiele) erfolgen kann!

Kommentar

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

3.2 Materialien

Diese Maske ist zweigeteilt. Im oberen Abschnitt sind alle Materialien aufgelistet, die in RSTAB angelegt wurden. Im Abschnitt *Materialkennwerte* werden die Eigenschaften des aktuellen Materials angezeigt, d. h. des Materials, dessen Zeile im oberen Abschnitt selektiert ist.

1.2 Materialien

Material Nr.	A Material Bezeichnung	B Kommentar
1	Baustahl S 235 EN 1993-1-1:2005-05	
2	Baustahl S 355 EN 1993-1-1:2005-05	
3	Beton C30/37 EN 1992-1-1:2004/AC:2010	

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/K
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	1.00	

☒ Zusätzliche Kennwerte

Koeffizient für Grenz-Schweißnahtspannungen	α_w	0.800	
Korrelationsbeiwert für Kehlnähte	β_w	0.900	
<input checked="" type="checkbox"/> Dickenbereich $t \leq 4.00$ cm			
Streckgrenze	f_y	355.00	N/mm ²
Zugfestigkeit	f_u	490.00	N/mm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Dickenbereich $t > 4.00$ cm und $t \leq 8.00$ cm			
Streckgrenze	f_y	335.00	N/mm ²
Zugfestigkeit	f_u	470.00	N/mm ²

Material Nr. 2 angewendet in

Querschnitte Nr.:
2,3

Stäbe Nr.:
3,8,13,18,23,28,41,46

Stabsätze Nr.:
-

Σ Längen: 24.09 [m] Σ Massen: 1.508 [t]


Bild 3.2: 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 4.2 des RSTAB-Handbuchs beschreibt die Materialkennwerte, die zur Ermittlung der Schnittgrößen benutzt werden (*Hauptkennwerte*). In der globalen Materialbibliothek sind auch die Eigenschaften der Materialien gespeichert, die für die Bemessung benötigt werden. Diese Werte sind voreingestellt (*Zusätzliche Kennwerte*).

Die Einheiten und Nachkommastellen der Kennwerte und Spannungen lassen sich über Menü **Einstellungen** → **Einheiten und Dezimalstellen** anpassen (siehe [Kapitel 8.3, Seite 42](#)).

Materialbezeichnung

Die in RSTAB 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.

A	B
Material	
Bezeichnung	Kommentar
Baustahl S 235 EN 1993-1-1:2005-05	
Baustahl S 235	DIN EN 1993-1-1:2005-07
Baustahl S 275	DIN EN 1993-1-1:2005-07
Baustahl S 355	DIN EN 1993-1-1:2005-07
Baustahl S 450	DIN EN 1993-1-1:2005-07
Baustahl S 275 N	DIN EN 1993-1-1:2005-07
Baustahl S 275 NL	DIN EN 1993-1-1:2005-07
Baustahl S 355 N	DIN EN 1993-1-1:2005-07
Baustahl S 355 NL	DIN EN 1993-1-1:2005-07
Baustahl S 420 N	DIN EN 1993-1-1:2005-07
Baustahl S 420 NL	DIN EN 1993-1-1:2005-07

Bild 3.3: Liste der Materialien

In der Liste sind nur Materialien der Kategorie „Stahl“ wählbar.

Nach der Übernahme werden die bemessungsrelevanten *Materialkennwerte* aktualisiert.

Wenn die Materialbezeichnung manuell geändert wird und der Eintrag in der Materialbibliothek verzeichnet ist, liest STAHL Ermüdung ebenfalls die Materialkennwerte ein.

Die Materialeigenschaften sind im Modul STAHL Ermüdung grundsätzlich nicht editierbar.

Materialbibliothek

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

Bearbeiten → **Materialbibliothek**



oder die links dargestellte Schaltfläche.

Es erscheint der auf folgender Seite dargestellte Dialog *Material aus Bibliothek übernehmen*.

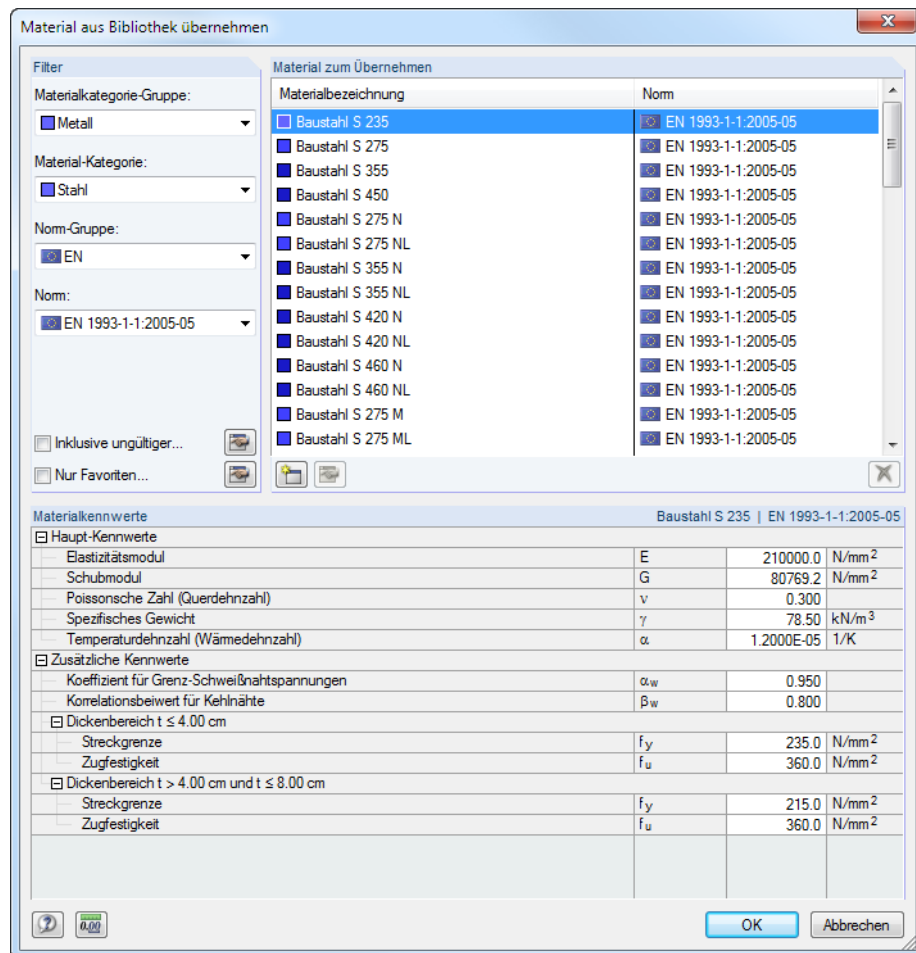
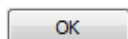


Bild 3.4: Dialog *Material aus Bibliothek übernehmen*

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 STAHL Ermüdung übergeben.

Das Kapitel 4.2 des RSTAB-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 [1] abgedeckt sind.

3.3 Querschnitte

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

1.3 Querschnitte

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

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

Querschnittswerte - IPE 360 | DIN 1025-5:1994

Querschnittsklasse	A	I-Profil gewalzt
Querschnittsfläche	$A_{v,x}$	72.70 cm ²
Wirksame Schubfläche	$A_{v,y}$	36.06 cm ²
Wirksame Schubfläche	$A_{v,y}$	26.90 cm ²
Flächenträgheitsmoment	I_y	16270.00 cm ⁴
Flächenträgheitsmoment	I_z	1040.00 cm ⁴
Torsionsträgheitsmoment	I_t	37.50 cm ⁴
Trägheitsradius	i_y	150.0 mm
Trägheitsradius	i_z	37.9 mm
Elastisches Widerstandsmoment	$S_{el,x}$	904.00 cm ³
Elastisches Widerstandsmoment	$S_{el,y}$	123.00 cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,x}$	1020.00 cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,y}$	191.10 cm ³
Wölbwiderstand	I_w	313600.00 cm ⁶
Statisches Moment	S_y	510.00 cm ³
Statisches Moment	S_z	45.88 cm ³

Querschnitt Nr. 9 angewendet in

Stabe Nr.: 66-69,71-74

Stabsätze Nr.: 2

Σ Längen: 50.00 [m] Σ Massen: 2.853 [t]


Material: 1 - Baustahl S 235

Bild 3.5: Maske 1.3 Querschnitte

Querschnittsbezeichnung

Die in RSTAB 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 folgendes Bild).



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

Das Kapitel 4.3 des RSTAB-Handbuchs beschreibt, wie Querschnitte in der Bibliothek ausgewählt werden können.

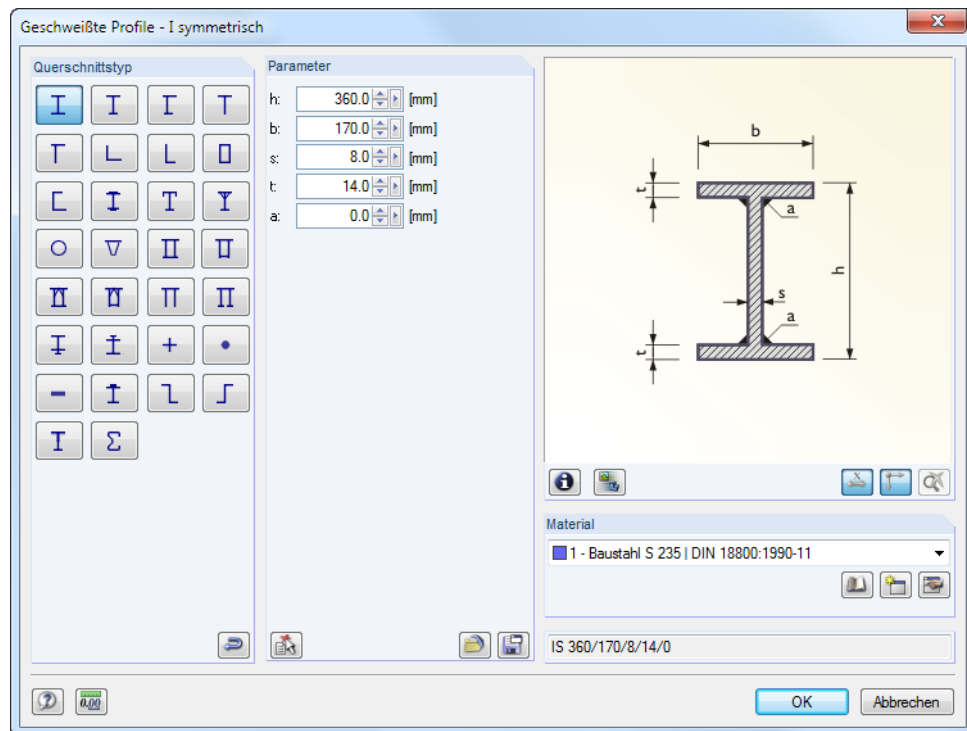
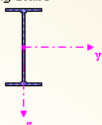
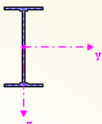


Bild 3.6: IS-Profilreihe der Querschnittsbibliothek

9 - IPE 400 | DIN 1025-5:1994
STAHL Ermüdung Stäbe



9 - IPE 360 | DIN 1025-5:1994
RSTAB



Die neue Querschnittsbezeichnung kann auch direkt in das Eingabefeld eingetragen werden. Wenn der Eintrag in der Datenbank verzeichnet ist, liest STAHL Ermüdung ebenfalls die Profilkennwerte ein. Der geänderte Querschnitt wird dann mit blauer Schrift gekennzeichnet.

Falls unterschiedliche Querschnitte in STAHL Ermüdung und in RSTAB vorliegen, zeigt die Grafik rechts in der Maske beide Profile an. Die Nachweise erfolgen mit den RSTAB-Schnittgrößen für das in STAHL Ermüdung gewählte Profil.

Max. Ausnutzung

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

Optimieren

Jeder Querschnitt der Bibliothek kann einen Optimierungsprozess durchlaufen: Es wird für die RSTAB-Schnittgrößen das Profil gesucht, das einer benutzerdefinierten Höchstauslastung am nächsten kommt. Diese kann im Dialog *Details* festgelegt werden (siehe Bild 3.2, Seite 21).

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 8.2 auf Seite 40.

Anmerkung

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



Erscheint vor der Berechnung die Meldung *Unzulässiger Querschnitt Nr. XX*, so liegt ein 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 3.5).

Stab mit Voutenquerschnitt

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

STAHL Ermüdung 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 RSTAB noch in STAHL Ermüdung 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 man beide Querschnitte als parametrische Profile beschreibt. Hierfür ist der Profiltyp *IVU - Voutenprofil unten verstärkt* zu empfehlen.

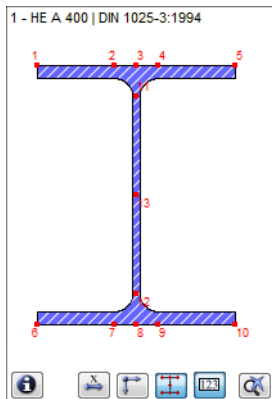


Die Profil-Spannungspunkte mitsamt Nummerierung lassen sich grafisch überprüfen: Selektieren Sie in Maske 1.3 den Querschnitt und drücken dann die Schaltfläche [Info]. Es öffnet sich der im [Bild 3.7](#) gezeigte Dialog.

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 3.7)
	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.

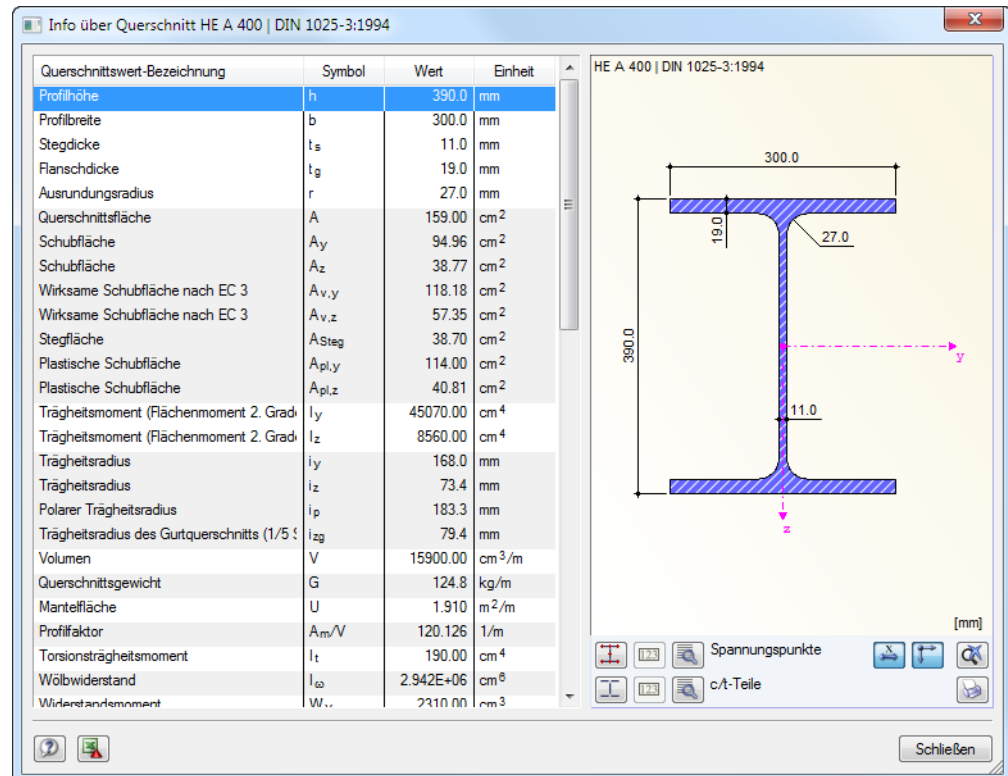


Bild 3.7: Dialog *Info über Querschnitt*



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

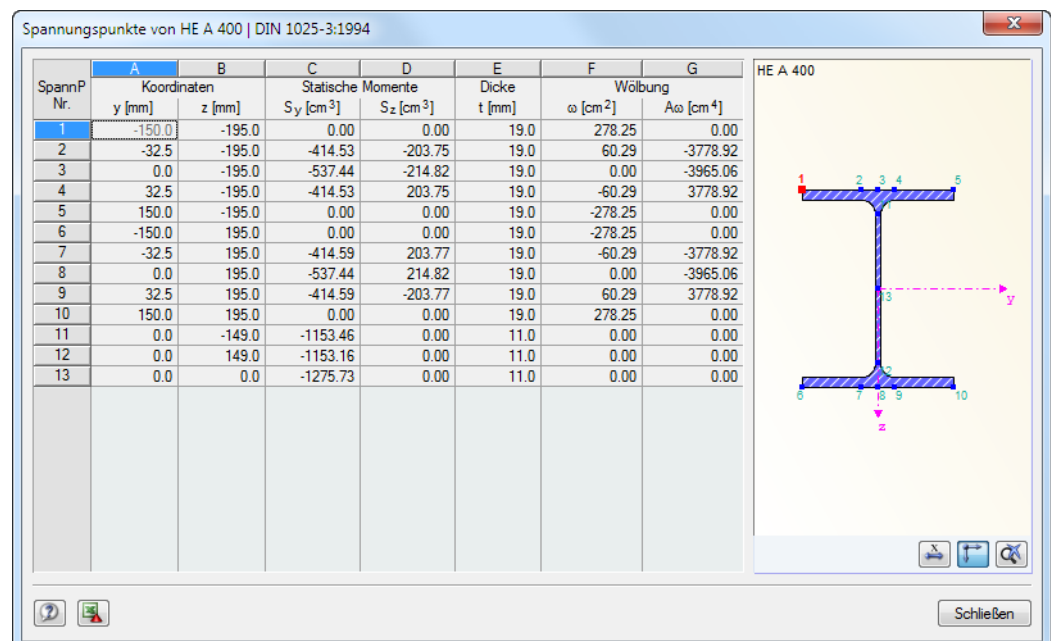


Bild 3.8: Dialog *Spannungspunkte von HE A 400*

3.4 Kerbfälle

In Maske 1.4 *Kerbfälle* sind die Ermüdungsfestigkeiten der nachzuweisenden Stäbe zu definieren.

1.4 Kerbfälle

Stab Nr.	A Schadensäquivalenzfaktor		C Teil des Stabsatzes Nr.	D Kommentar
	Normalspannungen	Schubspannungen		
66	1.000	1.000	-	
67	1.000	1.000	-	
68	1.000	1.000	-	
69	1.000	1.000	-	
71	1.000	1.000	2	
72	1.000	1.000	2	
73	1.000	1.000	2	
74	1.000	1.000	2	
91	1.000	1.000	-	
92	1.000	1.000	-	

Einstellungen - Stab Nr. 66

S-Punkt Nr.	A Koordinaten [mm]		C Dicke t [mm]	D Vorhanden	F Kerbfall	
	y	z			$\Delta\sigma_c$ [N/mm ²]	$\Delta\tau_c$ [N/mm ²]
1	-90.0	-200.0	13.5	<input checked="" type="checkbox"/>	80	80
2	-25.3	-200.0	13.5	<input checked="" type="checkbox"/>	80	80
3	0.0	-200.0	13.5	<input checked="" type="checkbox"/>	80	80
4	25.3	-200.0	13.5	<input checked="" type="checkbox"/>	80	80
5	90.0	-200.0	13.5	<input checked="" type="checkbox"/>	80	80
6	-90.0	200.0	13.5	<input type="checkbox"/>	160	100
7	-25.3	200.0	13.5	<input type="checkbox"/>	160	100
8	0.0	200.0	13.5	<input type="checkbox"/>	160	100
9	25.3	200.0	13.5	<input type="checkbox"/>	160	100
10	90.0	200.0	13.5	<input type="checkbox"/>	160	100
11	0.0	-165.5	8.6	<input type="checkbox"/>	160	100
12	0.0	165.5	8.6	<input type="checkbox"/>	160	100
13	0.0	0.0	8.6	<input type="checkbox"/>	160	100

☐ Eingabe zuordnen Stäben Nr.:

IPE 400

Bild 3.9: Maske 1.4 Kerbfälle

Schadensäquivalenzfaktor

Mit Hilfe der Schadensäquivalenzfaktoren λ , die getrennt für die *Normalspannungen* und die *Schubspannungen* definiert werden können, und der Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma$ bzw. $\Delta\tau$, die sich aus der vorhandenen Belastung ergibt, wird die bemessungsrelevante Nennspannung ermittelt. Die Ermittlung der Schadensäquivalenzfaktoren ist in verschiedenen Normen geregelt (siehe Kapitel 2.2.3, Seite 9).

Teil des Stabsatzes Nr.

In dieser Spalte wird ggf. angegeben, zu welchem Stabsatz ein Stab gehört.

Einstellungen - Stab Nr.

Im unteren Abschnitt der Maske sind die Kerbfälle für die relevanten Spannungspunkte des Querschnitts zu definieren. Der selektierte Spannungspunkt (Cursorposition in Tabellenzeile) ist in der Querschnittsgrafik rot hervorgehoben. Ein Spannungspunkt kann dort auch angeklickt werden, wodurch die entsprechende Tabellenzeile aktiv gesetzt wird.

Die Zuweisung der Kerbfälle vereinfacht die rechnerische Bestimmung der Festigkeit. Die Kerbfallzahl bezeichnet den Bezugswert der Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_c$ bzw. $\Delta\tau_c$ in N/mm. Die Kerbfälle mit den Festigkeiten sind in den Tabellen 8.1 bis 8.10 des Eurocode [1] beschrieben.

Über die Liste ist ebenfalls eine Auswahl der Kerbfälle (Wöhlerlinien) möglich.



Unterhalb der *Einstellungen*-Tabelle steht das Kontrollfeld *Eingaben zuordnen Stäben Nr.* zur Verfügung. Ist dieses aktiviert, gelten die anschließend getroffenen Einstellungen für ausgewählte – manueller Eintrag der Stabnummern oder grafische Auswahl über [Auswählen] – bzw. *Alle* Stäbe. Diese Option ist hilfreich, um mehreren Stäben die gleichen Kerbfälle zuzuweisen.

Kerbfall
 $\Delta\sigma_c$ [N/mm²]

80

160
140
125
112
100
90
80
71
63
56

4 Berechnung

4.1 Detailsinstellungen

Berechnung

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

Details...

Der Dialog *Details* gliedert sich in zwei Register:

- Tragfähigkeit
- Allgemein

4.1.1 Tragfähigkeit

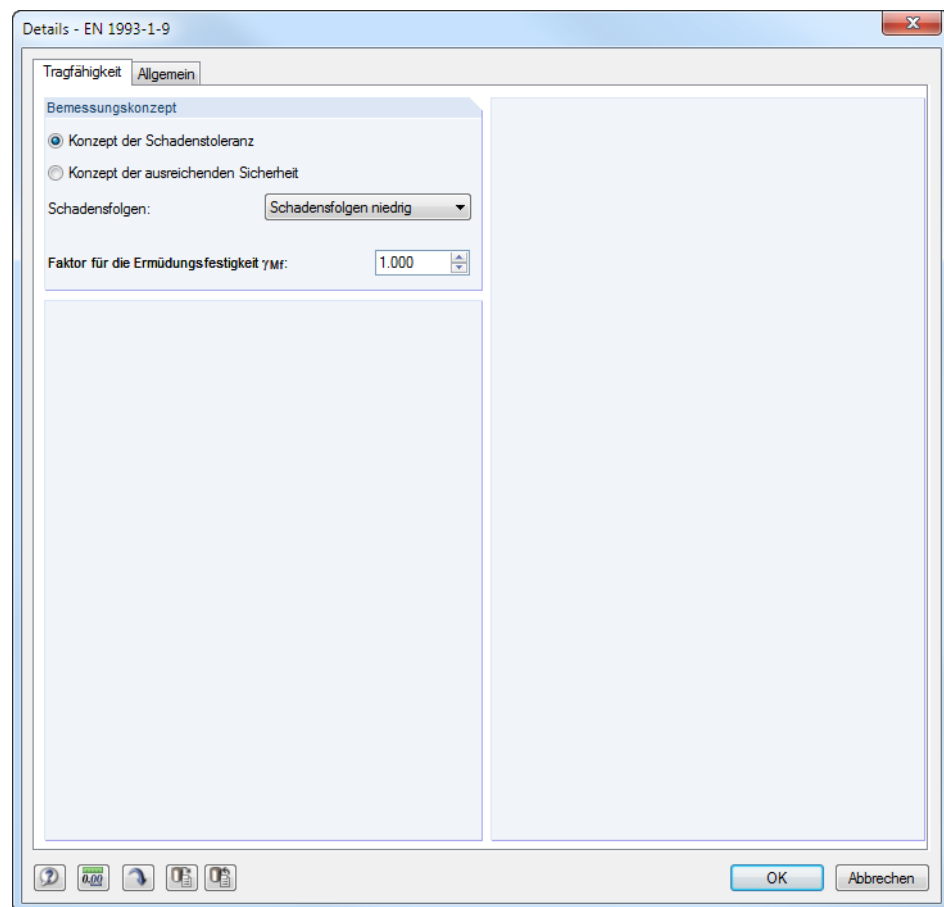
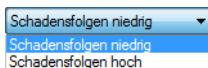


Bild 4.1: Dialog *Details*, Register *Tragfähigkeit*

Bemessungskonzept



Das Zuverlässigkeitskonzept und die möglichen Schadensfolgen beeinflussen den Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mf} , der bei der Ermittlung der Ermüdungsfestigkeit anzusetzen ist. Über die Auswahlfelder *Konzept der Schadenstoleranz* oder *Konzept der ausreichenden Sicherheit* in Verbindung mit der Liste der *Schadensfolgen* (niedrig oder hoch) kann dieser Teilsicherheitsbeiwert festgelegt werden.

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mf} kann auch direkt vorgegeben werden.

[1], Tabelle 3.1 nennt Empfehlungen für den Beiwert γ_{Mf} (siehe Bild 4.1, Seite 6).

4.1.2 Allgemein

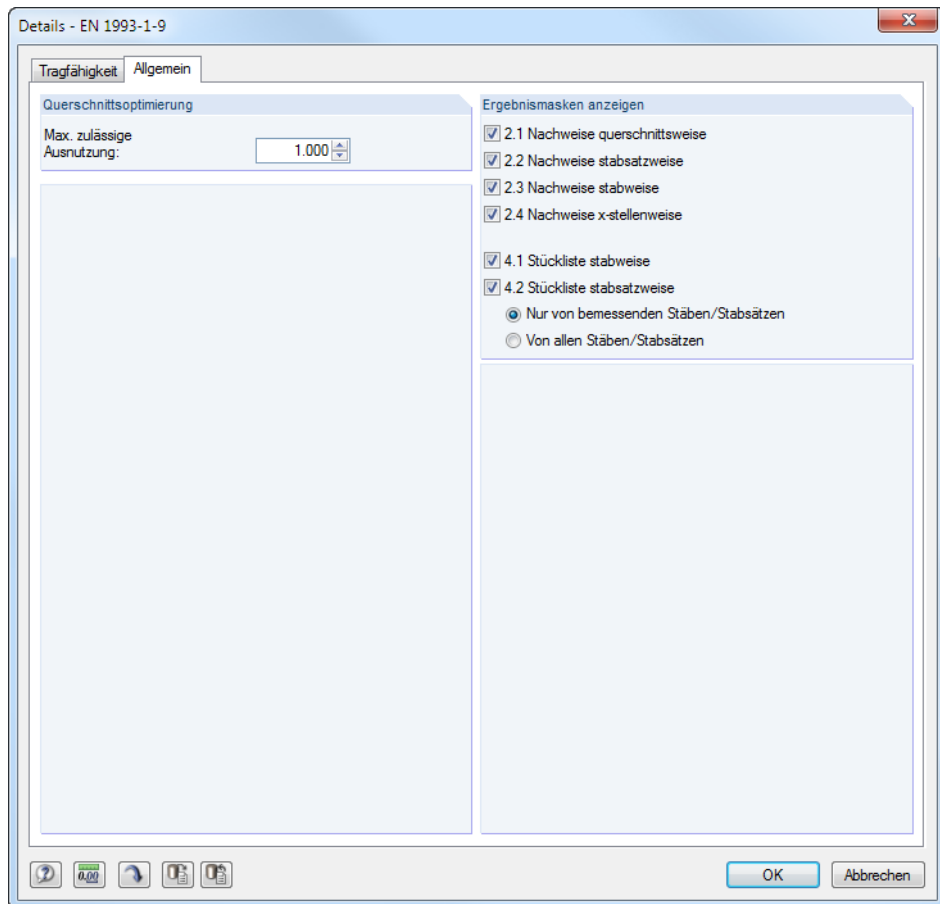


Bild 4.2: Dialog *Details*, Register *Allgemein*

Querschnittsoptimierung

Als Ziel der Optimierung ist eine maximale Ausnutzung von 100 % voreingestellt. Im Eingabefeld kann ggf. eine andere Obergrenze festgelegt werden.

Ergebnismasken anzeigen

Hier kann ausgewählt werden, welche Ergebnismasken einschließlich Stückliste angezeigt werden sollen. Die Masken sind in [Kapitel 5](#) beschrieben.

4.2 Start der Berechnung

Berechnung

In jeder Eingabemaske des Moduls STAHL Ermüdung kann die [Berechnung] über die gleichnamige Schaltfläche gestartet werden.

STAHL Ermüdung sucht nach den Ergebnissen der zu bemessenden Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen. Werden diese nicht gefunden, startet zunächst die RSTAB-Berechnung zur Ermittlung der bemessungsrelevanten Schnittgrößen.

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

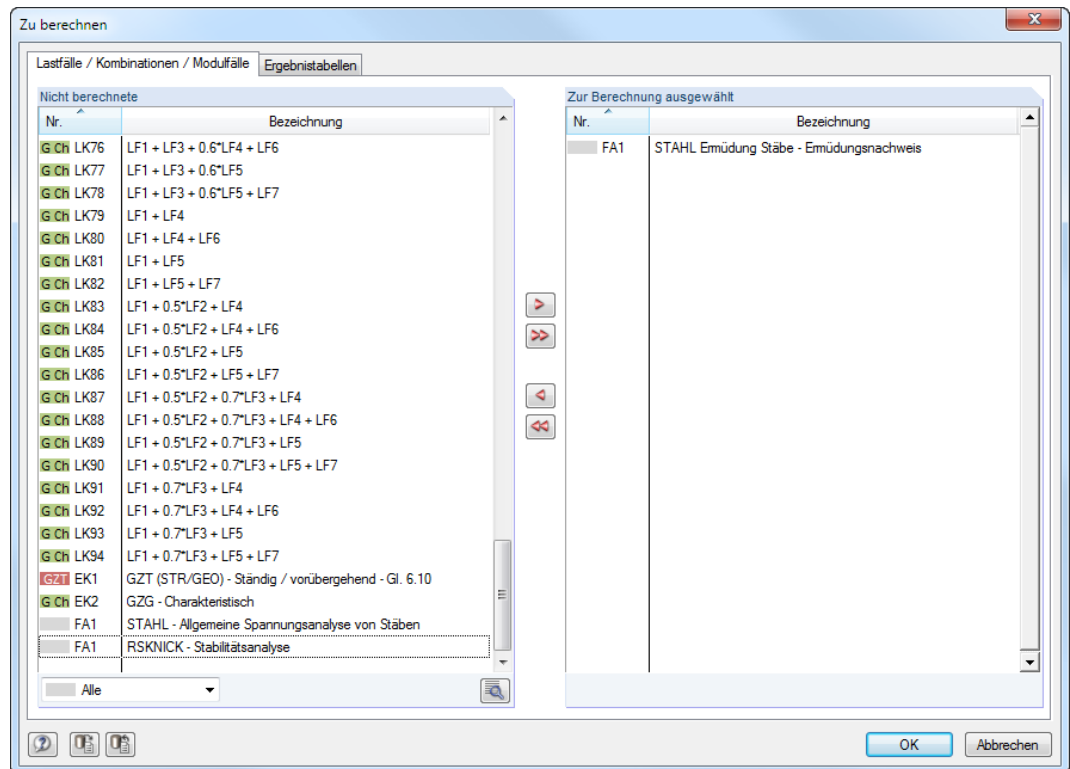
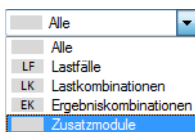



Bild 4.3: Dialog *Zu berechnen*



Falls die STAHL Ermüdung-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 STAHL Ermüdung-Fälle in die rechte Liste übergeben. [OK] startet dann die Berechnung.



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



Bild 4.4: Direkte Berechnung eines STAHL Ermüdung-Falls in RSTAB

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

5 Ergebnisse

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

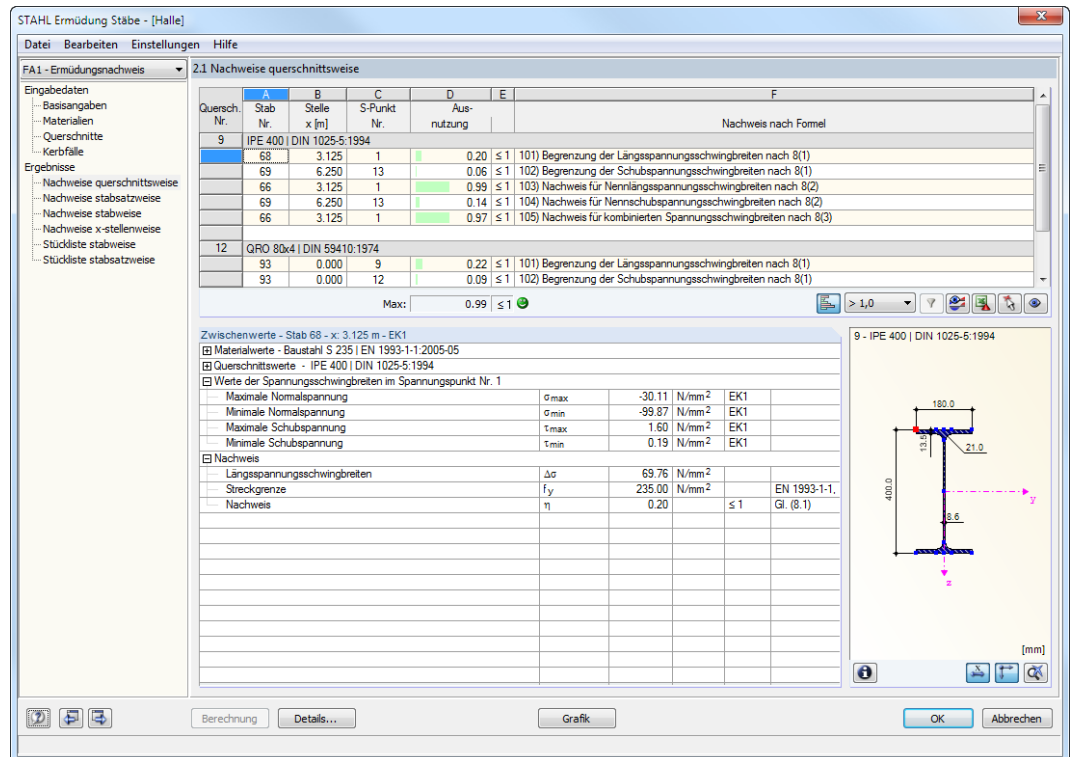


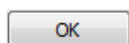
Bild 5.1: Ergebnismaske mit Nachweisen und Ausnutzungen

Die Nachweise sind in den Ergebnismasken 2.1 bis 2.4 nach verschiedenen Kriterien sortiert.

In den Masken 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. Das Modul STAHL Ermüdung Stäbe wird beendet und es erfolgt die Rückkehr in das Hauptprogramm.

Das Kapitel 5 *Ergebnisse* stellt die Ergebnismasken der Reihe nach vor. Die Auswertung und Überprüfung der Resultate ist im [Kapitel 6 Ergebnisauswertung](#) ab Seite 30 beschrieben.

5.1 Nachweise 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 Spannungstypen sortiert.

2.1 Nachweise querschnittsweise

Quersch. Nr.	A Stab Nr.	B Stelle x [m]	C S-Punkt Nr.	D Aus- nutzung	E	F Nachweis nach Formel
9	IPE 400 DIN 1025-5:1994					
	68	3.125	1	0.20	≤ 1	101) Begrenzung der Längsspannungsschwingbreiten nach 8(1)
	69	6.250	13	0.06	≤ 1	102) Begrenzung der Schubspannungsschwingbreiten nach 8(1)
	66	3.125	1	0.99	≤ 1	103) Nachweis für Nennlängsspannungsschwingbreiten nach 8(2)
	69	6.250	13	0.14	≤ 1	104) Nachweis für Nennschubspannungsschwingbreiten nach 8(2)
	66	3.125	1	0.97	≤ 1	105) Nachweis für kombinierten Spannungsschwingbreiten nach 8(3)
12	QRO 80x4 DIN 59410:1974					
	93	0.000	9	0.22	≤ 1	101) Begrenzung der Längsspannungsschwingbreiten nach 8(1)
	93	0.000	12	0.09	≤ 1	102) Begrenzung der Schubspannungsschwingbreiten nach 8(1)
Max: 0.99 ≤ 1						

Zwischenwerte - Stab 66 - x: 3.125 m - EK1

Materialwerte - Baustahl S 235 | EN 1993-1-1:2005-05

Querschnittswerte - IPE 400 | DIN 1025-5:1994

Werte der Spannungsschwingbreiten im Spannungspunkt Nr. 1

Maximale Normalspannung	σ_{max}	-31.58	N/mm ²	EK1	
Minimale Normalspannung	σ_{min}	-100.42	N/mm ²	EK1	
Maximale Schubspannung	τ_{max}	-0.38	N/mm ²	EK1	
Minimale Schubspannung	τ_{min}	-4.07	N/mm ²	EK1	

Nachweis

Längsspannungsschwingbreiten	$\Delta\sigma$	68.84	N/mm ²		
Schadensäquivalenzfaktoren	λ_i	1.000			
Äquivalente Längsspannungsschwingbreite	$\gamma_{Ft} \Delta\sigma_{E,2}$	68.84	N/mm ²		Gl. (6.1)
Bezugswert für die Ermüdungsfestigkeit	$\Delta\sigma_C$	80.00	N/mm ²		
Faktor für die Ermüdungsfestigkeit	γ_{Mf}	1.150			Tab. 3.1
Nachweis	η	0.99		≤ 1	Gl. (8.2)

9 - IPE 400 | DIN 1025-5:1994

Bild 5.2: Maske 2.1 Nachweise 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 F bezeichneten Nachweistyp 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 eventuell vorgegebener Stabteilung (siehe RFEM-Tabelle 1.16)
- Stabteilung gemäß Vorgabe für Stabergebnisse (siehe RSTAB-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 [1] ermöglichen. In der Profilgrafik rechts unten ist der aktuelle Spannungspunkt (d. h. der Spannungspunkt der Zeile, in der sich der Cursor befindet) rot gekennzeichnet.



Über die Schaltfläche [Info] können die Kennwerte der Spannungspunkte kontrolliert werden (siehe Kapitel 3.2, Seite 18).

Ausnutzung

Max: 0.96 ≤ 1

In den Spalten D und E werden die Nachweisbedingungen gemäß [1] ausgegeben.

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

Nachweis nach Formel

Diese Spalte benennt die einzelnen Ermüdungsnachweise gemäß [1], Abschnitt 8.

5.2 Nachweise stabsatzweise

2.2 Nachweise stabsatzweise

Stabsatz Nr.	A Stab Nr.	B Stelle x [m]	C S-Punkt Nr.	D Ausnutzung	E	F Nachweis nach Formel
1	Deckenträger B-B (Stab Nr. 66-69)					
	68	3.125	1	0.20	≤ 1	101) Begrenzung der Längsspannungsschwingbreiten nach 8(1)
	69	6.250	13	0.06	≤ 1	102) Begrenzung der Schubspannungsschwingbreiten nach 8(1)
	66	3.125	1	0.99	≤ 1	103) Nachweis für Nennlängsspannungsschwingbreiten nach 8(2)
	69	6.250	13	0.14	≤ 1	104) Nachweis für Nennschubspannungsschwingbreiten nach 8(2)
	66	3.125	1	0.97	≤ 1	105) Nachweis für kombinierten Spannungsschwingbreiten nach 8(3)
2	Deckenträger A-A (Stab Nr. 71-74)					
	72	3.125	6	0.14	≤ 1	101) Begrenzung der Längsspannungsschwingbreiten nach 8(1)
	71	0.000	13	0.06	≤ 1	102) Begrenzung der Schubspannungsschwingbreiten nach 8(1)

Max: 0.99 ≤ 1

Zwischenwerte - Stab 66 - x: 3.125 m - EK1

Materialwerte - Baustahl S 235 | EN 1993-1-1:2005-05

Querschnittswerte - IPE 400 | DIN 1025-5:1994

Werte der Spannungsschwingbreiten im Spannungspunkt Nr. 1

Maximale Normalspannung	σ_{max}	-31.58	N/mm ²	EK1
Minimale Normalspannung	σ_{min}	-100.42	N/mm ²	EK1
Maximale Schubspannung	τ_{max}	-0.38	N/mm ²	EK1
Minimale Schubspannung	τ_{min}	-4.07	N/mm ²	EK1

Nachweis

Längsspannungsschwingbreiten	$\Delta\sigma$	68.84	N/mm ²	
Schadensäquivalenzfaktoren	λ_i	1.000		
Äquivalente Längsspannungsschwingbreite	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	68.84	N/mm ²	Gl. (6.1)
Bezugswert für die Ermüdungsfestigkeit	$\Delta\sigma_C$	80.00	N/mm ²	
Äquivalente Schubspannungsschwingbreite	$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2}$	3.69	N/mm ²	Gl. (6.1)
Bezugswert für die Ermüdungsfestigkeit	$\Delta\tau_C$	80.00	N/mm ²	
Faktor für die Ermüdungsfestigkeit	γ_{Mf}	1.150		Tab. 3.1
Anteil $\Delta\sigma$	$\eta_{\Delta\sigma}$	0.97		
Anteil $\Delta\tau$	$\eta_{\Delta\tau}$	0.00		
Nachweis	η	0.97	≤ 1	Gl. (8.3)

9 - IPE 400 | DIN 1025-5:1994

Bild 5.3: Maske 2.2 Nachweise 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 Spannungstypen aufweist.

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

5.3 Nachweise stabweise

2.3 Nachweise stabweise

Stab Nr.	A Stelle x [m]	B S-Punkt Nr.	C Aus- nutzung	D	E Nachweis nach Formel
66	Querschnitt Nr. 9 - IPE 400 DIN 1025-5:1994				
	3.125	1	0.20	≤ 1	101) Begrenzung der Längsspannungsschwingbreiten nach 8(1)
	4.063	3	0.02	≤ 1	102) Begrenzung der Schubspannungsschwingbreiten nach 8(1)
	3.125	1	0.99	≤ 1	103) Nachweis für Nennlängsspannungsschwingbreiten nach 8(2)
	4.063	3	0.06	≤ 1	104) Nachweis für Nennschubspannungsschwingbreiten nach 8(2)
	3.125	1	0.97	≤ 1	105) Nachweis für kombinierten Spannungsschwingbreiten nach 8(3)
67	Querschnitt Nr. 9 - IPE 400 DIN 1025-5:1994				
	3.125	1	0.20	≤ 1	101) Begrenzung der Längsspannungsschwingbreiten nach 8(1)
	0.000	13	0.06	≤ 1	102) Begrenzung der Schubspannungsschwingbreiten nach 8(1)
Max:					0.99 ≤ 1

Zwischenwerte - Stab 66 - x: 4.063 m - EK1

Materialwerte - Baustahl S 235 | EN 1993-1-1:2005-05

Querschnittswerte - IPE 400 | DIN 1025-5:1994

Werte der Spannungsschwingbreiten im Spannungspunkt Nr. 3

Maximale Normalspannung	σ_{max}	-26.76	N/mm ²	EK1	
Minimale Normalspannung	σ_{min}	-90.56	N/mm ²	EK1	
Maximale Schubspannung	τ_{max}	-1.45	N/mm ²	EK1	
Minimale Schubspannung	τ_{min}	-5.36	N/mm ²	EK1	

Nachweis

Schubspannungsschwingbreiten	$\Delta\tau$	3.91	N/mm ²		
Schadensäquivalenzfaktoren	λ_i	1.000			
Äquivalente Schubspannungsschwingbreite	$\gamma_{Ft} \Delta\tau_{E,2}$	3.91	N/mm ²	Gl. (6.1)	
Bezugswert für die Ermüdungsfestigkeit	$\Delta\tau_C$	80.00	N/mm ²		
Faktor für die Ermüdungsfestigkeit	γ_{Mf}	1.150		Tab. 3.1	
Nachweis	η	0.06		≤ 1	Gl. (8.2)

9 - IPE 400 | DIN 1025-5:1994

[mm]

Bild 5.4: Maske 2.3 Nachweise stabweise

Diese Ergebnismaske präsentiert die maximalen Ausnutzungen für die einzelnen Spannungstypen nach Stabnummern geordnet. Die Spalten sind im [Kapitel 5.1](#) auf [Seite 24](#) erläutert.

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

5.4 Nachweise x-stellenweise

2.4 Nachweise x-stellenweise

Stab Nr.	A Stelle x [m]	B S-Punkt Nr.	C Aus- nutzung	D	E Nachweis nach Formel
91	Querschnitt Nr. 12 - QRO 80x4 DIN 59410:1974				
	0.000	2	1	0.11 ≤ 1	101) Begrenzung der Längsspannungsschwingbreiten nach 8(1)
	0.000	4	1	0.01 ≤ 1	102) Begrenzung der Schubspannungsschwingbreiten nach 8(1)
	0.000	2	1	0.57 ≤ 1	103) Nachweis für Nennlängsspannungsschwingbreiten nach 8(2)
	0.000	4	1	0.03 ≤ 1	104) Nachweis für Nennschubspannungsschwingbreiten nach 8(2)
	0.000	2	1	0.19 ≤ 1	105) Nachweis für kombinierten Spannungsschwingbreiten nach 8(3)
	0.250	2	1	0.10 ≤ 1	101) Begrenzung der Längsspannungsschwingbreiten nach 8(1)
	0.250	4	1	0.01 ≤ 1	102) Begrenzung der Schubspannungsschwingbreiten nach 8(1)
	0.250	2	1	0.52 ≤ 1	103) Nachweis für Nennlängsspannungsschwingbreiten nach 8(2)
	0.250	4	1	0.03 ≤ 1	104) Nachweis für Nennschubspannungsschwingbreiten nach 8(2)
Max: 0.99 ≤ 1					

Zwischenwerte - Stab 91 - x: 0.000 m - EK1

Materialwerte - Baustahl S 235 | EN 1993-1-1:2005-05

Elastizitätsmodul	E	210000.00	N/mm ²	
Schubmodul	G	80769.20	N/mm ²	
Dickenbereich t ≤ 40 mm				
Streckgrenze	f _y	235.00	N/mm ²	
Grenzzugfestigkeit	f _u	360.00	N/mm ²	
Dickenbereich t > 40 mm und t ≤ 80 mm				
Streckgrenze	f _y	215.00	N/mm ²	
Grenzzugfestigkeit	f _u	360.00	N/mm ²	
Querschnittswerte - QRO 80x4 DIN 59410:1974				
Werte der Spannungsschwingbreiten im Spannungspunkt Nr. 2				
Maximale Normalspannung	σ _{max}	37.90	N/mm ²	EK1
Minimale Normalspannung	σ _{min}	-1.99	N/mm ²	EK1
Maximale Schubspannung	τ _{max}	0.49	N/mm ²	EK1
Minimale Schubspannung	τ _{min}	-1.68	N/mm ²	EK1
Nachweis				
Längsspannungsschwingbreiten	Δσ	39.88	N/mm ²	
Schadensäquivalenzfaktoren	λ _i	1.000		
Äquivalente Längsspannungsschwingbreite	γ _{Ff} Δσ _{E,2}	39.88	N/mm ²	Gl. (6.1)
Bezugswert für die Ermüdungsfestigkeit	Δσ _C	80.00	N/mm ²	
Faktor für die Ermüdungsfestigkeit	γ _{Mf}	1.150		Tab. 3.1
Nachweis	η	0.57		Gl. (8.2)

12 - QRO 80x4 | DIN 59410:1974

Bild 5.5: Maske 2.4 Nachweise x-stellenweise

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

- Anfangs- und Endknoten
- Teilungspunkte gemäß eventuell vorgegebener Stabteilung (siehe RSTAB-Tabelle 1.6)
- Stabteilung gemäß Vorgabe für Stabergebnisse (siehe RSTAB-Dialog *Berechnungsparameter*, Register *Globale Berechnungsparameter*)
- Extremwerte der Schnittgrößen

5.5 Stückliste stabweise

Abschließend erscheint eine Bilanz der im Bemessungsfall behandelten Querschnitte.

4.1 Stückliste stabweise

Position Nr.	A Querschnitt Bezeichnung	B Anzahl Stäbe	C Länge [m]	D Gesamtlänge [m]	E Oberfläche [m ²]	F Volumen [m ³]	G Quers.-Masse [kg/m]	H Masse [kg]	Gesamtmasse [t]
1	9 - IPE 400 DIN 1025-5:1994	4	6.25	25.00	36.68	0.21	66.33	414.58	1.658
2	12 - QRO 80x4 DIN 59410:1974	3	5.00	15.00	4.70	0.02	9.42	47.10	0.141
Summe		7		40.00	41.37	0.23			1.800

Bild 5.6: Maske 4.1 Stückliste stabweise

Details...

In dieser 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 5.2, Seite 21).

Position Nr.

Das Programm vergibt Positionsnummern für gleichartige Stäbe.

Querschnitt Bezeichnung

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 2.4 bei den Querschnittsinformationen einsehbar ist (siehe Bild 5.7, Seite 18).

Volumen

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

Quers.-Masse

Die *Querschnittsmasse* stellt das auf einen Meter Länge bezogene Profilgewicht 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.

5.6 Stückliste stabsatzweise

4.2 Stückliste stabsatzweise

Position Nr.	A Stabsatz- Bezeichnung	B Anzahl Stabsätze	C Länge [m]	D Gesamtlänge [m]	E Oberfläche [m ²]	F Volumen [m ³]	G Quers.-Masse [kg/m]	H Masse [kg]	I Gesamtmasse [t]
1	Deckenträger B-B	1	25.00	25.00	36.68	0.21	66.33	1658.31	1.658
2	Deckenträger A-A	1	25.00	25.00	36.68	0.21	66.33	1658.31	1.658
Summe		2		50.00	73.35	0.42			3.317

Bild 5.7: 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 vorherigen [Kapitel 5.5](#) erläutert. Bei unterschiedlichen Querschnitten im Stabsatz werden Oberfläche, Volumen und Querschnittsmasse gemittelt.

6 Ergebnisauswertung

Zur Auswertung der Ergebnisse sind die Schaltflächen am Ende der Tabelle hilfreich.

2.1 Nachweise querschnittsweise

Quersch. Nr.	A Stab Nr.	B Stelle x [m]	C S-Punkt Nr.	D Aus- nutzung	E	F Nachweis nach Formel
9	IPE 400	Euronorm 19-57				
68	3.125	1	0.21	≤ 1	101) Begrenzung der Längsspannungsschwingbreiten nach 8(1)	
69	6.250	13	0.06	≤ 1	102) Begrenzung der Schubspannungsschwingbreiten nach 8(1)	
66	3.125	1	1.03	> 1	103) Nachweis für Nennlängsspannungsschwingbreiten nach 8(2)	
69	6.250	13	0.14	≤ 1	104) Nachweis für Nennschubspannungsschwingbreiten nach 8(2)	
66	3.125	1	1.11	> 1	105) Nachweis für kombinierten Spannungsschwingbreiten nach 8(3)	

Max: 1.11 > 1

Zwischenwerte - Stab 66 - x: 3.125 m - EK1

Materialwerte - Baustahl S 235 | EN 1993-1-1:2005-05

Querschnittswerte - IPE 400 | Euronorm 19-57

Werte der Spannungsschwingbreiten im Spannungspunkt Nr. 1

Maximale Normalspannung	σ_{max}	-31.58	N/mm ²	EK1
Minimale Normalspannung	σ_{min}	-103.55	N/mm ²	EK1
Maximale Schubspannung	τ_{max}	-0.38	N/mm ²	EK1
Minimale Schubspannung	τ_{min}	-4.15	N/mm ²	EK1

Nachweis

Längsspannungsschwingbreiten	$\Delta\sigma$	71.96	N/mm ²	
Schadensäquivalenzfaktoren	λ_i	1.000		
Äquivalente Längsspannungsschwingbreite	$\gamma_{FF} \Delta\sigma_{E,2}$	71.96	N/mm ²	Gl. (6.1)
Bezugswert für die Ermüdungsfestigkeit	$\Delta\sigma_C$	80.00	N/mm ²	
Äquivalente Schubspannungsschwingbreite	$\gamma_{FF} \Delta\tau_{E,2}$	3.77	N/mm ²	Gl. (6.1)
Bezugswert für die Ermüdungsfestigkeit	$\Delta\tau_C$	80.00	N/mm ²	
Faktor für die Ermüdungsfestigkeit	γ_{Mf}	1.150		Tab. 3.1
Anteil $\Delta\sigma$	$\eta_{\Delta\sigma}$	1.11		
Anteil $\Delta\tau$	$\eta_{\Delta\tau}$	0.00		
Nachweis	η	1.11	> 1	Gl. (8.3)

9 - IPE 400 | Euronorm 19-57

Bild 6.1: Schaltflächen zur Ergebnisauswertung in den Tabellen

Die Schaltflächen sind mit folgenden Funktionen belegt:

Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	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 (Ausnutzung > 1, Maximum, benutzerdefinierter Wert)
	Ergebnisverläufe	Öffnet das Diagramm <i>Ergebnisverläufe im Stab</i> → Kapitel , Seite 26
	Excel-Export	Exportiert die Tabelle nach MS Excel / OpenOffice → Kapitel 8.4.2, Seite 43
	Stabauswahl	Ermöglicht die grafische Auswahl eines Stabes, um dessen Ergebnisse in der Tabelle anzuzeigen
	Sichtmodus	Ermöglicht den Wechsel in das RSTAB-Arbeitsfenster, um die Ansicht zu ändern

Tabelle 6.1: Schaltflächen in den Ergebnismasken 2.1 bis 2.4

6.1 Ergebnisse am RSTAB-Modell

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

RSTAB-Hintergrundgrafik und Sichtmodus

Das RSTAB-Arbeitsfenster im Hintergrund ist hilfreich, um die Position eines Stabes im Modell ausfindig zu machen: Der in der Ergebnismaske von STAHL Ermüdung 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.

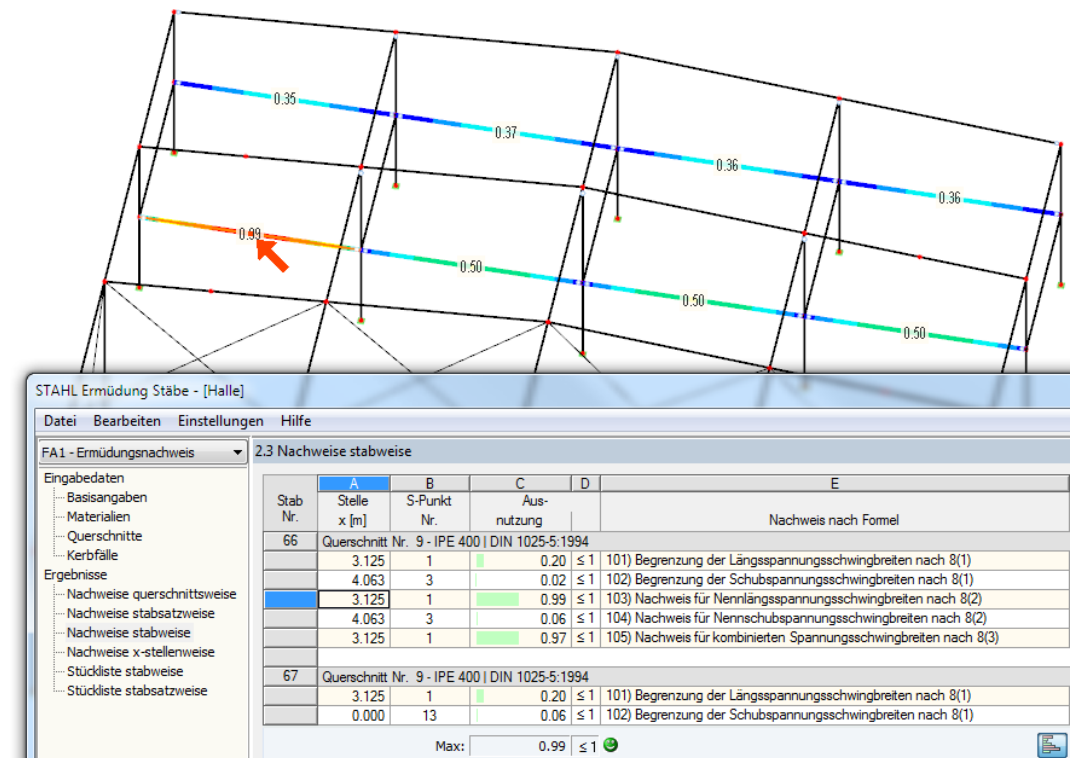


Bild 6.2: Kennzeichnung des Stabes und der aktuellen Stelle x im RSTAB-Modell

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

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

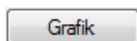
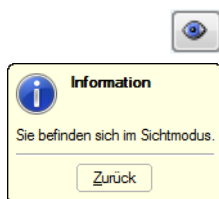
RSTAB-Arbeitsfenster

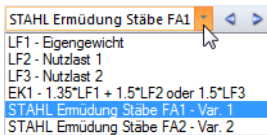
Die Ausnutzungen und Spannungsschwingbreiten lassen sich auch grafisch am RSTAB-Modell überprüfen: Klicken Sie die Schaltfläche [Grafik] an, um das Bemessungsmodul zu verlassen. Im Arbeitsfenster von RSTAB werden nun die Ergebnisse wie die Schnittgrößen eines Lastfalls dargestellt.

Im *Ergebnisse*-Navigator kann festgelegt werden, ob die Ausnutzungen oder die Spannungsschwingbreiten grafisch dargestellt werden sollen.

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

Die RSTAB-Tabellen sind für die Auswertung der Bemessungsergebnisse nicht relevant.





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

Die Ergebnisdarstellung kann im *Zeigen-Navigator* unter dem Eintrag **Ergebnisse** → **Stäbe** gesteuert werden. Als Standard werden Spannungen und Ausnutzungen *Zweifarb* angezeigt.

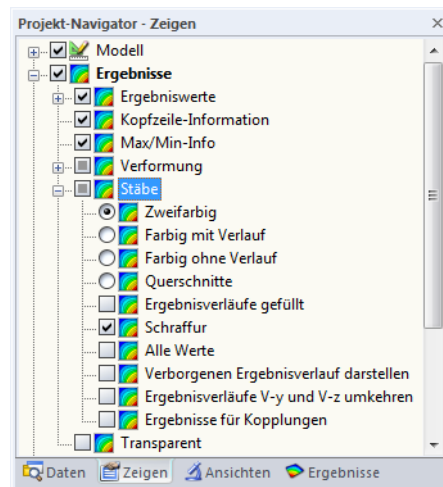


Bild 6.3: *Zeigen-Navigator: Ergebnisse* → *Stäbe*



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 RSTAB-Handbuchs beschrieben.

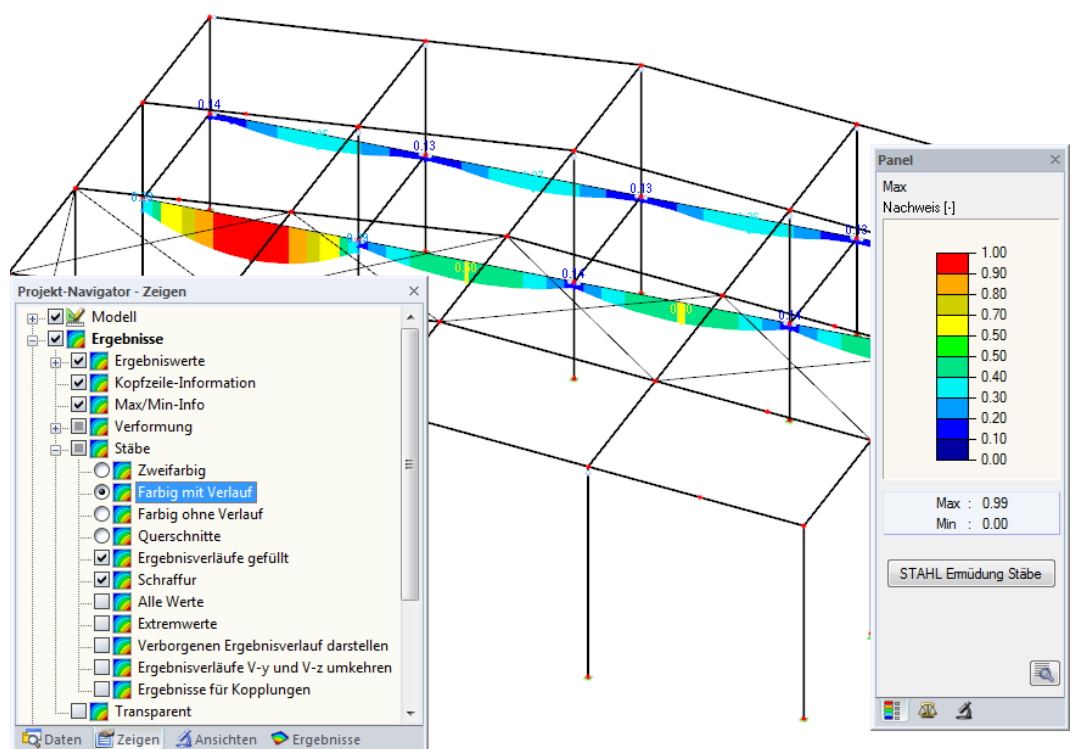


Bild 6.4: Ausnutzungsgrade mit Anzeigeeoptionen *Farbig mit Verlauf* und *Ergebnisverläufe gefüllt*

Die Grafiken der Spannungen und Ausnutzungen können in das Ausdruckprotokoll übergeben werden (siehe [Kapitel 7.2, Seite 36](#)).

STAHL Ermüdung Stäbe

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

6.2 Ergebnisverläufe

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



Selektieren Sie den Stab (oder Stabsatz) in der STAHL Ermüdung-Ergebnismaske, indem Sie mit der Maus in die Tabellenzeile des Stabes klicken. Rufen Sie dann den Dialog *Ergebnisverläufe im Stab* über die links gezeigte Schaltfläche auf. Sie befindet sich am Ende der Tabelle (siehe Bild 6.1, Seite 30).

In der RSTAB-Graphik sind die Ergebnisverläufe zugänglich über Menü



Ergebnisse → Ergebnisverläufe an selektierten Stäben

oder die entsprechende Schaltfläche in der RSTAB-Symbolleiste.

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

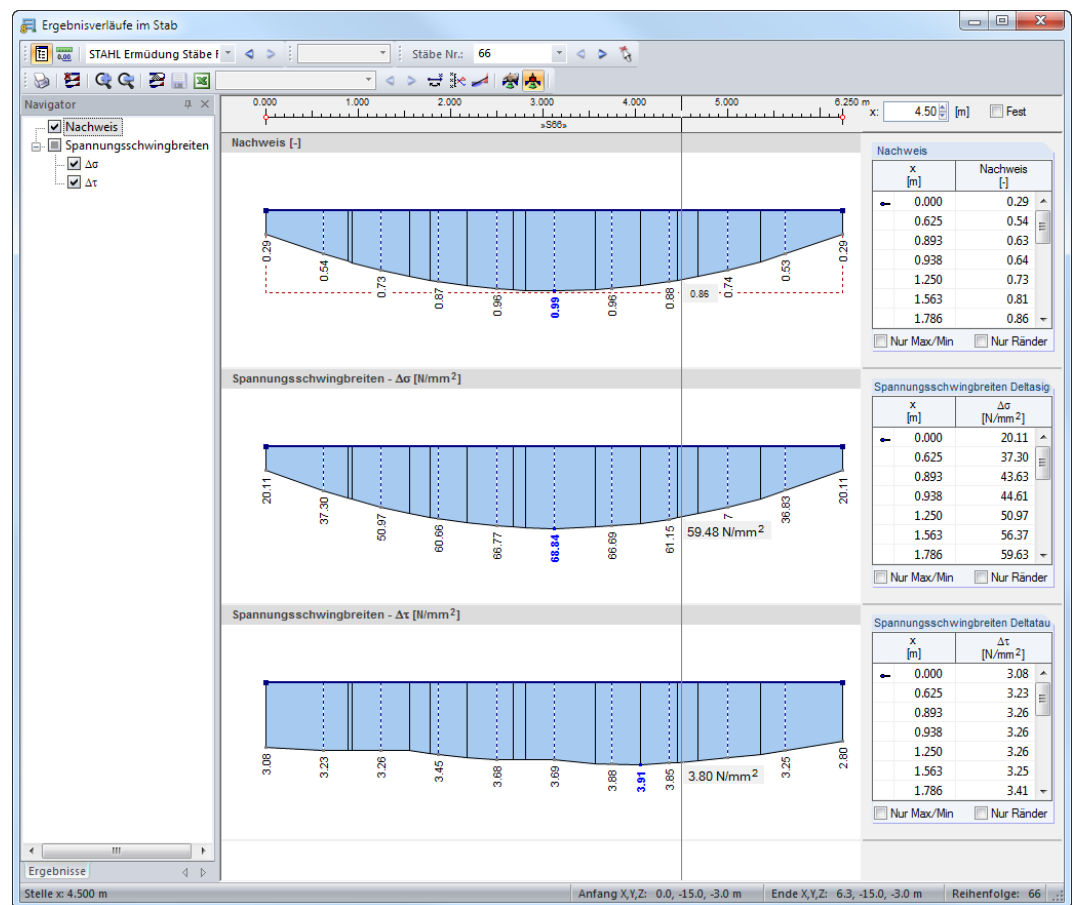
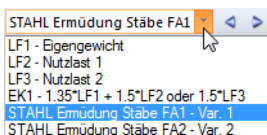


Bild 6.5: Dialog *Ergebnisverläufe im Stab*



Über die Liste in der Symbolleiste kann zwischen den STAHL Ermüdung-Bemessungsfällen gewechselt werden.

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

6.3 Filter für Ergebnisse

Die STAHL Ermüdung-Ergebnismasken ermöglichen eine Auswahl nach verschiedenen Kriterien. Zusätzlich stehen die im Kapitel 9.7 des RSTAB-Handbuchs beschriebenen Filtermöglichkeiten zur Verfügung, mit denen sich die Bemessungsergebnisse grafisch auswerten lassen.



Auch für STAHL Ermüdung können die Möglichkeiten der *Sichtbarkeiten* genutzt werden (siehe RSTAB-Handbuch, Kapitel 9.7.1), um die Stäbe für die Auswertung zu filtern.

Filtern von Nachweisen

Grafik

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

Ansicht → **Steuerpanel**



oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

Das Panel ist im Kapitel 3.4.6 des RSTAB-Handbuchs beschrieben. Die Filtereinstellungen für die Ergebnisse sind im ersten Panel-Register (Farbskala) vorzunehmen. Da dieses Register bei der zweifarbigen Anzeige nicht verfügbar ist, muss im *Zeigen*-Navigator auf die Darstellungsarten *Farbig mit/ohne Verlauf* oder *Querschnitte* umgeschaltet werden.

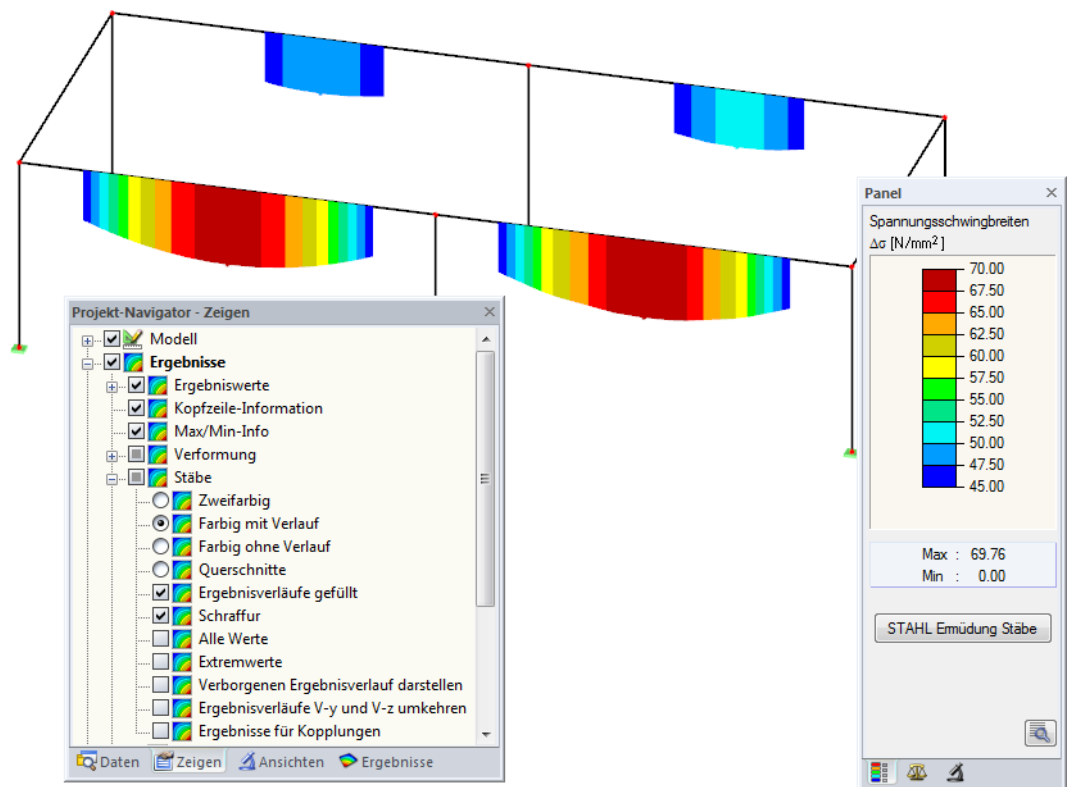


Bild 6.6: Filtern der Spannungsschwingbreiten mit angepasster Farbskala

Wie das Bild oben zeigt, kann die Skala des Panels so eingestellt werden, dass nur Spannungsschwingbreiten größer als 45 N/mm^2 im Farbbereich zwischen blau und rot angezeigt werden. Die Werteskala lässt sich z. B. auch so anpassen, dass ein Farbbereich $2,5 \text{ N/mm}^2$ abdeckt.

Die Funktion *Verborgenen Ergebnisverlauf darstellen* im *Zeigen*-Navigator (**Ergebnisse** → **Stäbe**) blendet alle Spannungen ein, die nicht im Bereich der Werteskala liegen. Diese Verläufe werden strichlinienhaft dargestellt.

Filtern von Stäben



Im Register *Filter* des Steuerpanels können die Nummern ausgewählter Stäbe angegeben werden, um deren Ergebnisse gefiltert anzuzeigen. Diese Funktion ist im Kapitel 9.7.3 des RSTAB-Handbuchs beschrieben.

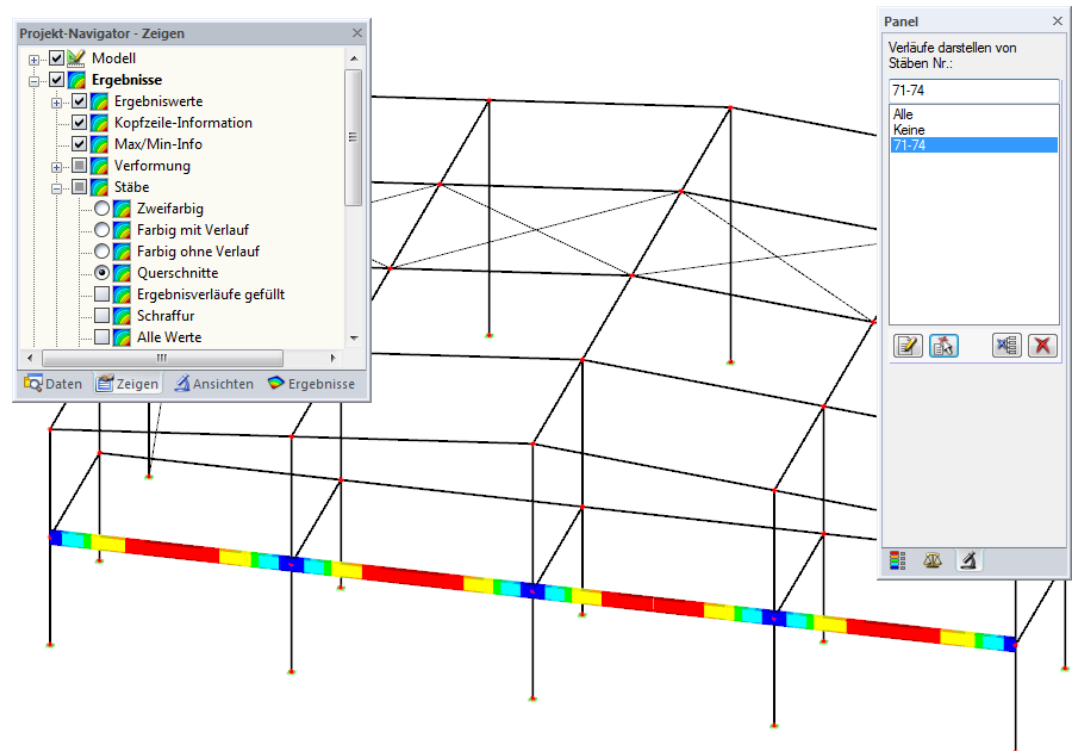


Bild 6.7: Stabfilter für Spannungsschwingbreiten eines Trägers

Im Unterschied zur Ausschnittfunktion wird das Modell vollständig mit angezeigt. Das Bild oben zeigt die Spannungsschwingbreiten eines Trägers. Die übrigen Stäbe werden im Modell dargestellt, sind in der Anzeige jedoch ohne $\Delta\sigma$ -Ergebnisse.

7 Ausdruck

7.1 Ausdruckprotokoll

Für die Daten des Moduls STAHL Ermüdung wird – wie in RSTAB – ein Ausdruckprotokoll generiert, das mit Grafiken und Erläuterungen ergänzt werden kann. Die Selektion im Ausdruckprotokoll steuert, welche Daten des Bemessungsmoduls schließlich im Ausdruck erscheinen.



Das Ausdruckprotokoll ist im RSTAB-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.

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

7.2 Grafikausdruck

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



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

7.2.1 Nachweise am RSTAB-Modell

Die aktuelle Grafik der Ausnutzungen oder Schwingbreiten kann gedruckt werden über Menü



Datei → Drucken

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

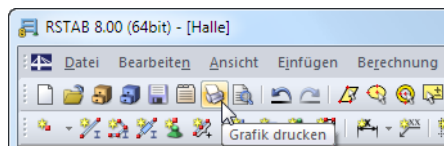


Bild 7.1: Schaltfläche *Drucken* in RSTAB-Symbolleiste

7.2.2 Ergebnisverläufe



Auch im Dialog *Ergebnisverläufe im Stab* (siehe Bild 7.5, Seite 33) kann die Grafik mit der Schaltfläche [Drucken] in das Protokoll übergeben oder direkt ausgedruckt werden.

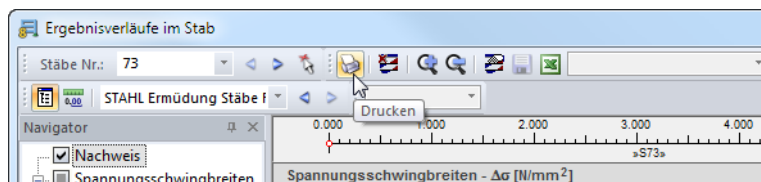


Bild 7.2: Schaltfläche *Drucken* im Dialog *Ergebnisverläufe im Stab*

Es erscheint der auf folgender Seite dargestellte Dialog.

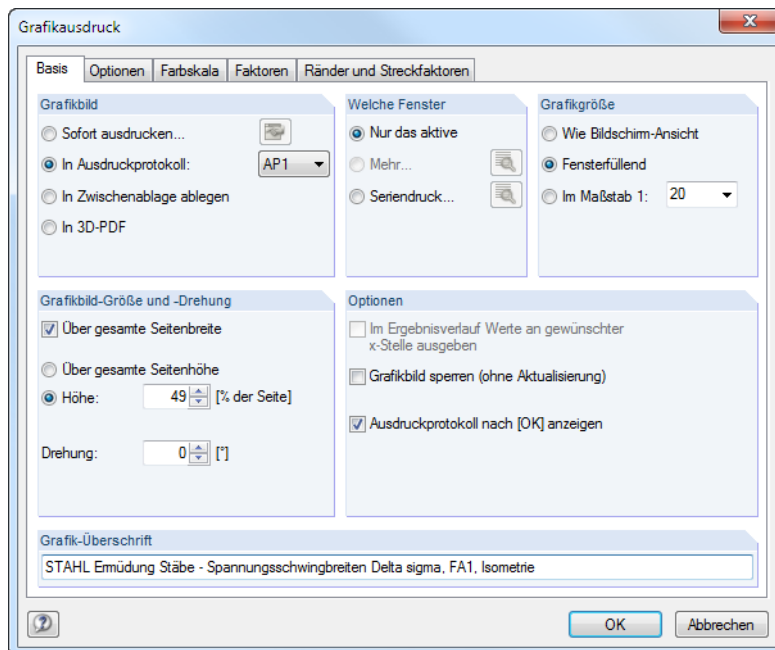
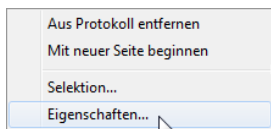


Bild 7.3: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Basis*

Dieser Dialog ist im Kapitel 10.2 des RSTAB-Handbuchs beschrieben. Dort sind auch die übrigen Register *Optionen* und *Farbskala* 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, führen Sie einen Rechtsklick auf den entsprechenden Eintrag im Protokoll-Navigator aus. Die Option *Eigenschaften* im Kontextmenü ruft wieder den Dialog *Grafikausdruck* auf, in dem Sie die Anpassungen vornehmen können.

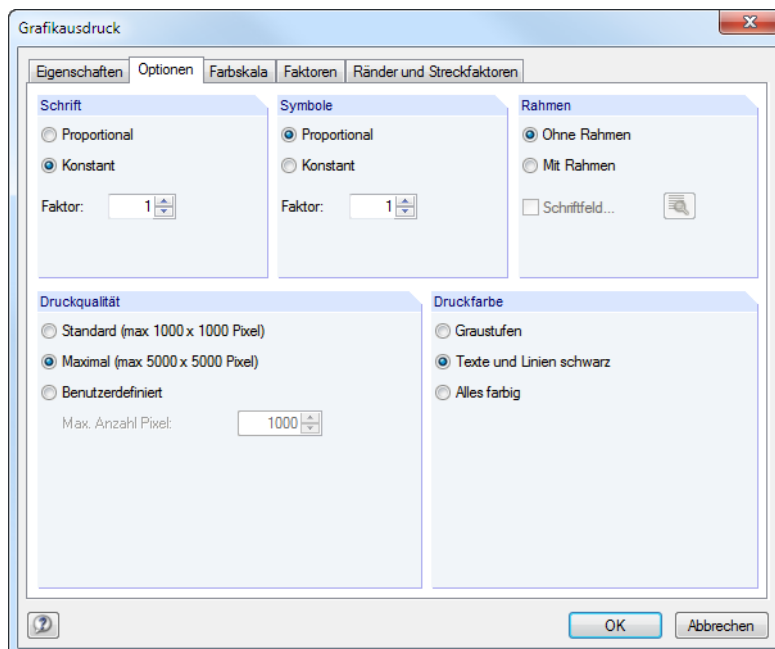


Bild 7.4: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Optionen*

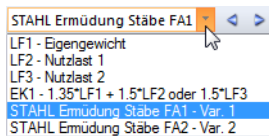
8 Allgemeine Funktionen

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

8.1 Bemessungsfälle

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

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



Die Bemessungsfälle von STAHL Ermüdung sind auch in RSTAB über die Lastfall-Liste der Symbolleiste zugänglich.

Neuen Bemessungsfall anlegen

Ein Bemessungsfall wird angelegt über das STAHL Ermüdung-Menü

Datei → Neuer Fall.

Es erscheint folgender Dialog.

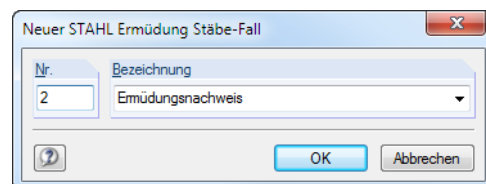


Bild 8.1: Dialog Neuer STAHL Ermüdung Stäbe-Fall

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 STAHL Ermüdung-Maske 1.1 *Basisangaben* zur Eingabe der Bemessungsdaten.

Bemessungsfall umbenennen

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

Datei → Fall umbenennen.

Es erscheint folgender Dialog.

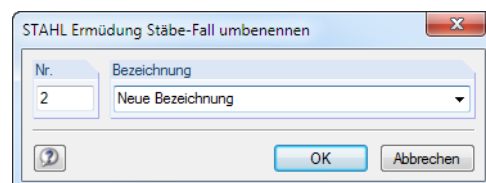


Bild 8.2: Dialog STAHL Ermüdung Stäbe-Fall umbenennen

Hier kann nicht nur eine andere *Bezeichnung*, sondern auch eine andere *Nummer* für den Bemessungsfall festgelegt werden.

Bemessungsfall kopieren

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

Datei → Fall kopieren.

Es erscheint folgender Dialog.

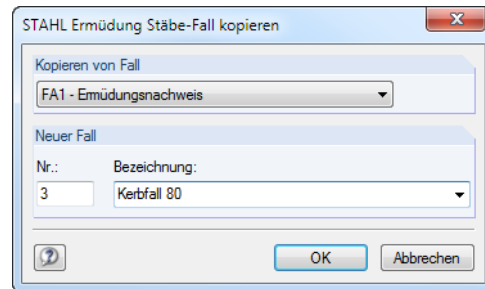


Bild 8.3: Dialog STAHL Ermüdung Stäbe-Fall kopieren

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

Bemessungsfall löschen

Bemessungsfälle lassen sich wieder löschen über das STAHL Ermüdung-Menü

Datei → Fall löschen.

Es erscheint folgender Dialog.

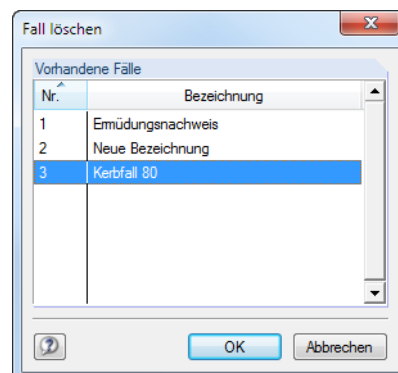
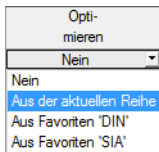


Bild 8.4: Dialog Fall löschen

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

8.2 Querschnittsoptimierung



Im Bemessungsmodul 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 8.5, Seite 15). In den Ergebnismasken kann die Querschnittsoptimierung über das Kontextmenü eingeleitet werden.

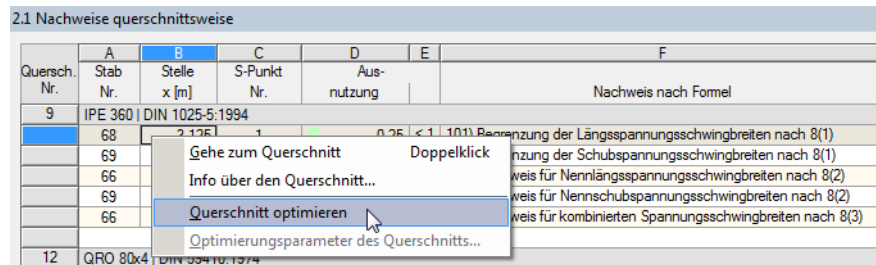


Bild 8.5: Kontextmenü zur Querschnittsoptimierung

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 8.2, Seite 21). Die erforderlichen Querschnittswerte werden dabei mit den Schnittgrößen ermittelt, wie sie von RSTAB 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 RSTAB und der optimierte Querschnitt (siehe Bild 8.7).

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

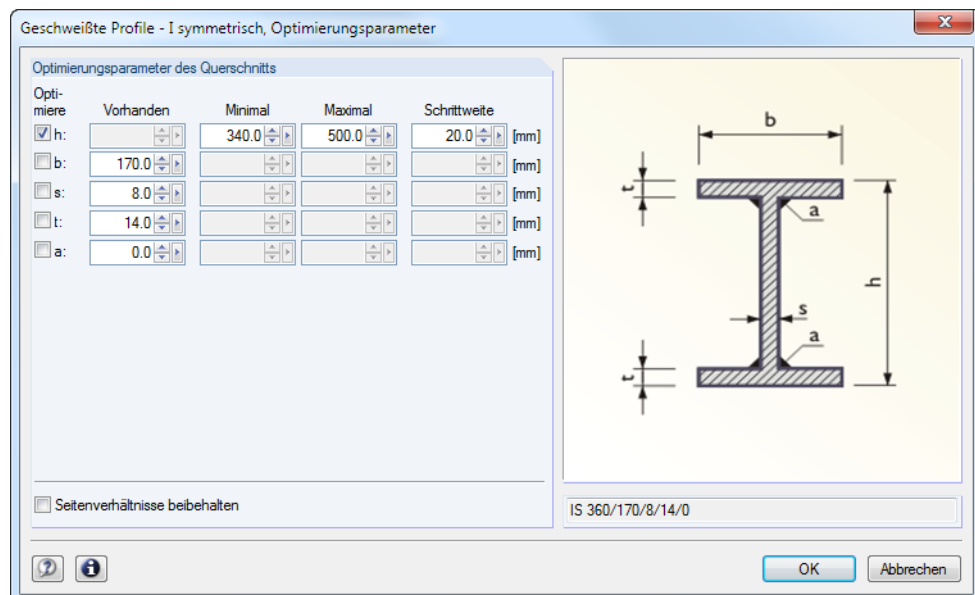


Bild 8.6: Dialog *Geschweißte Profile - I-symmetrisch, Optimierungsparameter*

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 die Abmessungen des Parameters beim Optimierungsprozess variieren.

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

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



Bei der Optimierung ist zu beachten, dass die Schnittgrößen nicht automatisch neu mit den geänderten Querschnitten berechnet werden: Der Anwender entscheidet, welche Profile für eine Neuberechnung nach RSTAB übergeben werden. Wegen der geänderten Steifigkeiten im System können die Schnittgrößen, die sich mit den optimierten Querschnitten ergeben, deutlich abweichen. Es empfiehlt sich daher, nach einer ersten Optimierung die Schnittgrößen mit den geänderten Querschnitten neu zu berechnen und dann die Profile nochmals optimieren zu lassen.

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

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

Auch über das Kontextmenü der Maske 1.3 lassen sich optimierte Profile nach RSTAB exportieren:

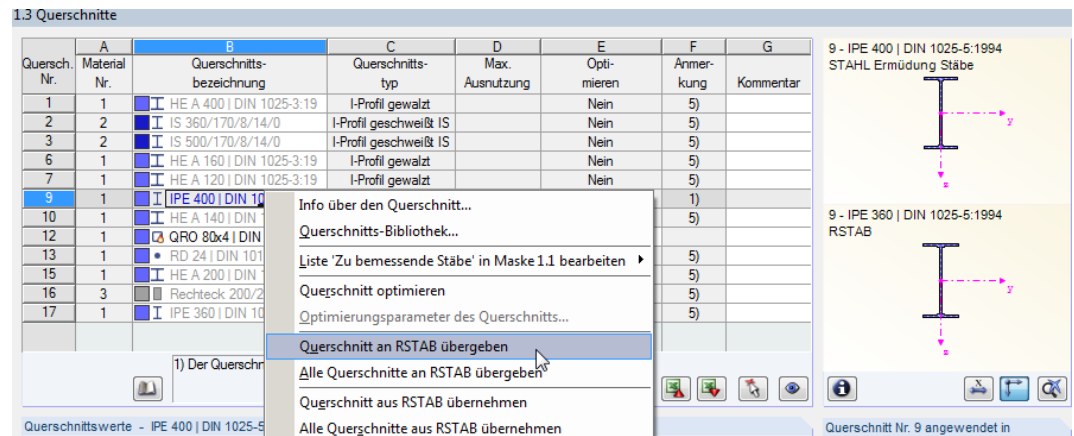


Bild 8.7: Kontextmenü der Maske 1.3 *Querschnitte*

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

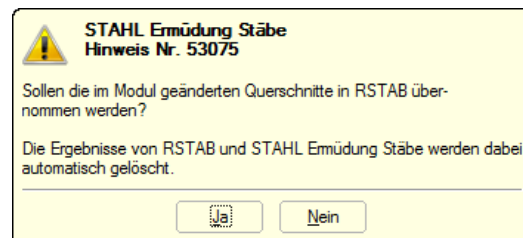


Bild 8.8: Abfrage vor Übergabe geänderter Querschnitte nach RSTAB

Berechnung

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

Wurden die geänderten Querschnitte noch nicht nach RSTAB exportiert, so können mit den im Bild 8.7 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 Route in mehrere Stäbe zu unterteilen und so die Querschnittsverläufe manuell abzubilden.

8.3 Einheiten und Dezimalstellen

Die Einheiten und Nachkommastellen werden für RSTAB und für die Zusatzmodule gemeinsam verwaltet. In STAHL Ermüdung ist der Dialog zum Anpassen der Einheiten zugänglich über Menü

Einstellungen → Einheiten und Dezimalstellen.

Es erscheint der aus RSTAB bekannte Dialog. In der Liste *Programm / Modul* ist STAHL Ermüdung voreingestellt.

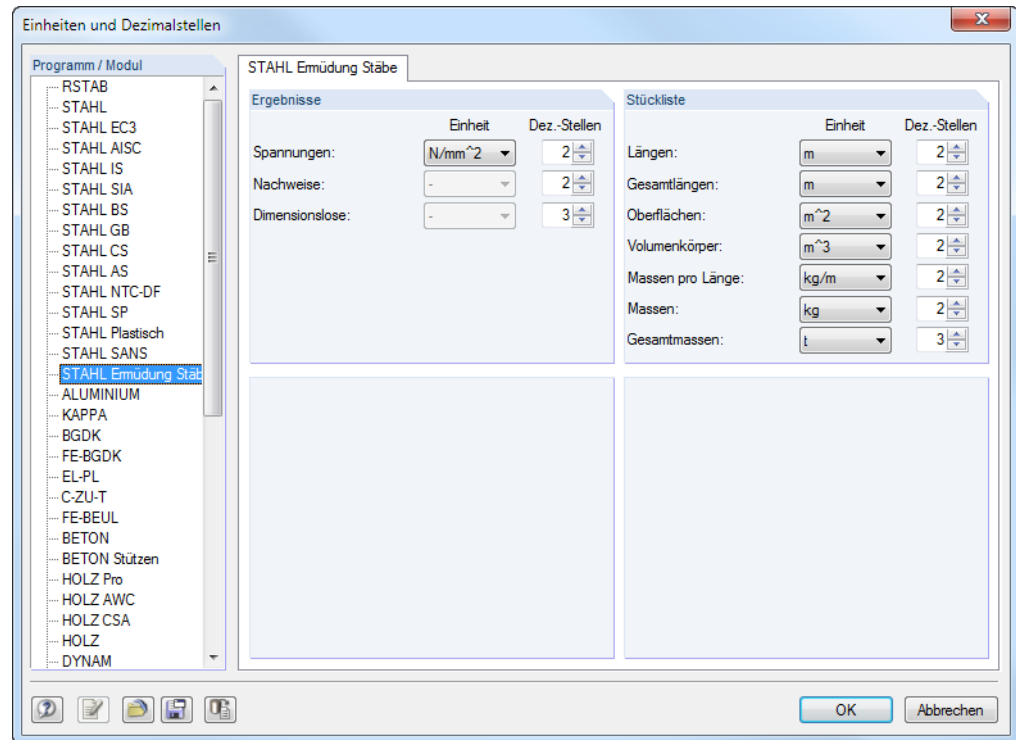


Bild 8.9: Dialog *Einheiten und Dezimalstellen*



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

8.4 Datenaustausch

8.4.1 Materialexport nach RSTAB

Werden in STAHL Ermüdung die Materialien für die Bemessung angepasst, so können – wie bei den Querschnitten – die geänderten Materialien nach RSTAB exportiert werden: Stellen Sie die Maske 1.2 *Materialien* ein und wählen dann das Menü

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

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

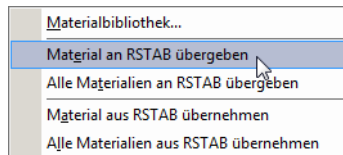


Bild 8.10: Kontextmenü der Maske 1.2 *Materialien*

Berechnung

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

Wurden die geänderten Materialien noch nicht nach RSTAB exportiert, so können mit den im Bild 8.10 gezeigten Optionen wieder die ursprünglichen Materialien in das Bemessungsmodul eingelesen werden. Beachten Sie, dass diese Möglichkeit nur in Maske 1.2 *Materialien* besteht.

8.4.2 Export der Ergebnisse

Die Ergebnisse von STAHL Ermüdung 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 STAHL Ermüdung können in das Ausdruckprotokoll gedruckt (siehe Kapitel 7.1, Seite 36) und dort exportiert werden über Menü

Datei → **Export in RTF.**

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

Excel / OpenOffice

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

Datei → Tabellen exportieren.

Es öffnet sich folgender Exportdialog.

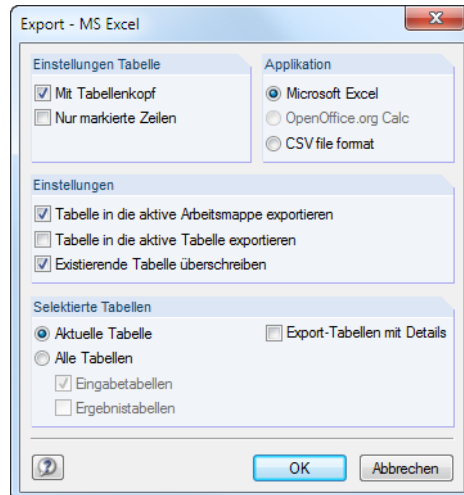


Bild 8.11: Dialog *Export - MS Excel*

Wenn die Auswahl feststeht, kann der Export mit [OK] gestartet werden. Excel bzw. OpenOffice werden automatisch aufgerufen, d. h. die Programme brauchen nicht zuvor geöffnet werden.

	A	B	C	D	E	F
1	Stab	Stelle	S-Punkt	Aus-		
2	Nr.	x [m]	Nr.	nutzung		
3	66	Querschnitt Nr. 9 - IPE 400	DIN 1025-5:1994			
4		3,125	1	0,20 ≤ 1	101) Begrenzung der Längsspannungsschwingbreiten nach 8(1)	
5		4,063	3	0,02 ≤ 1	102) Begrenzung der Schubspannungsschwingbreiten nach 8(1)	
6		3,125	1	0,99 ≤ 1	103) Nachweis für Nennlängsspannungsschwingbreiten nach 8(2)	
7		4,063	3	0,06 ≤ 1	104) Nachweis für Nennschubspannungsschwingbreiten nach 8(2)	
8		3,125	1	0,97 ≤ 1	105) Nachweis für kombinierten Spannungsschwingbreiten nach 8(3)	
9						
10	67	Querschnitt Nr. 9 - IPE 400	DIN 1025-5:1994			
11		3,125	1	0,20 ≤ 1	101) Begrenzung der Längsspannungsschwingbreiten nach 8(1)	
12		0,000	13	0,06 ≤ 1	102) Begrenzung der Schubspannungsschwingbreiten nach 8(1)	
13		3,125	1	0,50 ≤ 1	103) Nachweis für Nennlängsspannungsschwingbreiten nach 8(2)	
14		0,000	13	0,14 ≤ 1	104) Nachweis für Nennschubspannungsschwingbreiten nach 8(2)	
15		3,125	1	0,13 ≤ 1	105) Nachweis für kombinierten Spannungsschwingbreiten nach 8(3)	
16						
17	68	Querschnitt Nr. 9 - IPE 400	DIN 1025-5:1994			
18		3,125	1	0,20 ≤ 1	101) Begrenzung der Längsspannungsschwingbreiten nach 8(1)	
19		6,250	13	0,06 ≤ 1	102) Begrenzung der Schubspannungsschwingbreiten nach 8(1)	
20		3,125	1	0,50 ≤ 1	103) Nachweis für Nennlängsspannungsschwingbreiten nach 8(2)	
21		6,250	13	0,14 ≤ 1	104) Nachweis für Nennschubspannungsschwingbreiten nach 8(2)	
22		3,125	1	0,13 ≤ 1	105) Nachweis für kombinierten Spannungsschwingbreiten nach 8(3)	
23						

Bild 8.12: Ergebnis in Excel

9 Beispiel: Rohr-Fachwerkträger

In diesem Beispiel aus [2] wird der 36 m lange Deckenträger einer Maschinenhalle untersucht, der als ebener Fachwerkträger ausgebildet ist. Der Träger wird durch Maschinenlasten wechselnd beansprucht. Diese Lasten stellen die Oberlasten dar, d. h. die Belastung variiert zwischen null und den Maximalwerten. Dadurch ergibt sich eine konstante Schwingbreite, die der Größe der dargestellten Lasten entspricht.

9.1 System und Belastung

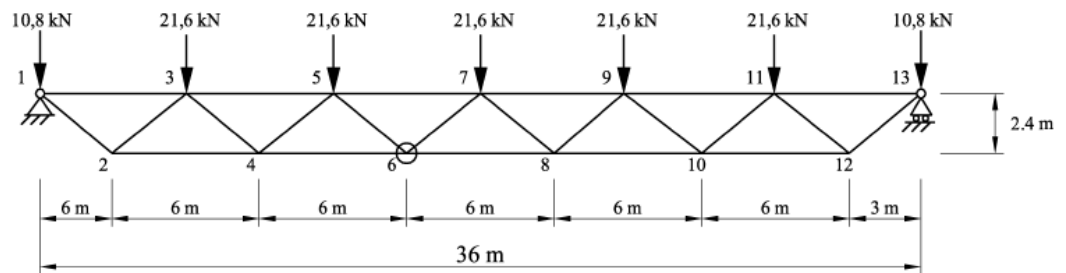


Bild 9.1: Ebener Fachwerkträger, Spannungsschwingbreite konstant

Querschnitte

Obergurt: RO 219.1x7.1 (DIN EN 10220)

Streben: RO 88.9x4 (DIN EN 10220)

Untergurt: RO 177.8x7.1 (DIN EN 10220)

Material

Baustahl S 235 (EN 10025-2:2004-11)

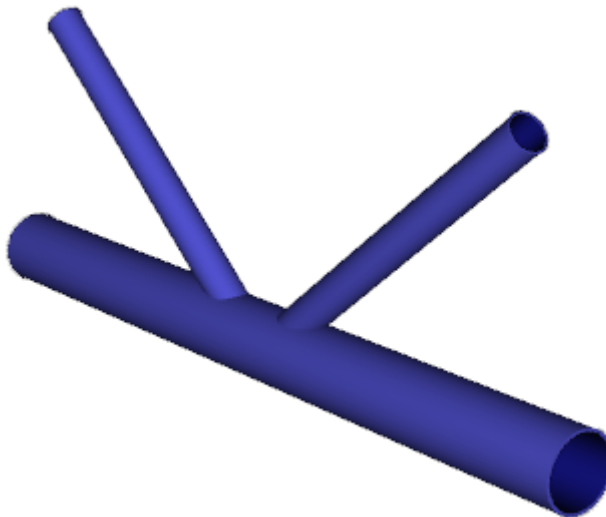


Bild 9.2: Knoten 6 im Untergurt des Fachwerkträgers

Ermittlung der Stabbeanspruchung

Der Träger wird mit durchlaufenden Gurten und gelenkig angeschlossenen Streben modelliert. Die Tragwerksberechnung liefert folgende Normalkräfte und Biegemomente für die Stäbe an Knoten 6.

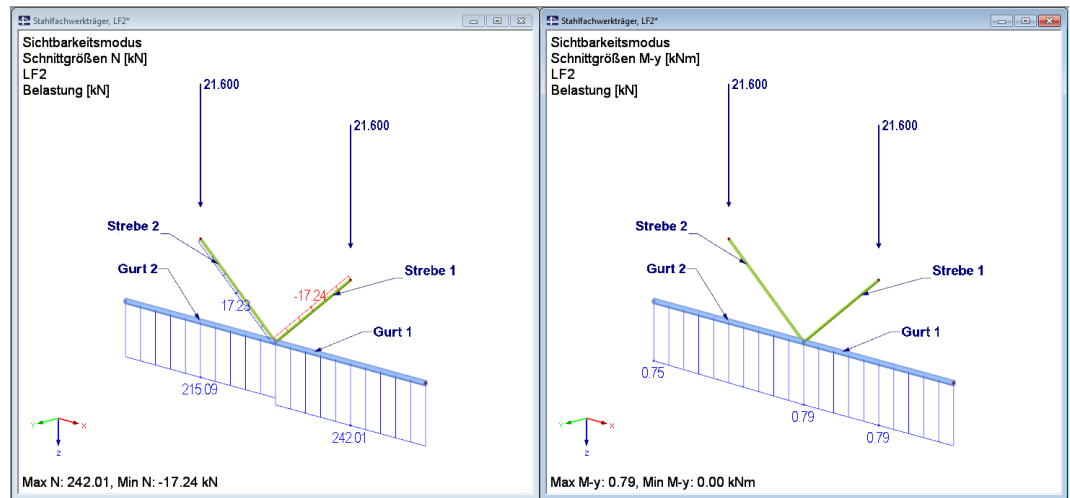


Bild 9.3: Schnittgrößen N und M_y am Knoten 6

Die Schnittgrößen können als eine Lastkombination aus zwei Lastfällen dargestellt werden:

Lastfall 1: Im Gleichgewicht stehende Normalkräfte

Lastfall 2: Restschnittgrößen im Gurt (Normalkräfte und Biegung)

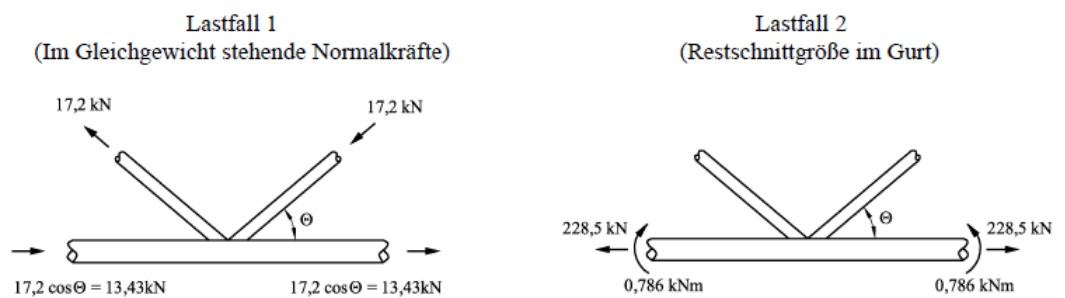


Bild 9.4: Lastfälle für Knoten 6

Nennspannungsschwingbreiten in kritischen Bauteilen

Wie in Bild 9.3 zu erkennen ist, liegt im Gurt 1 die maßgebende Beanspruchung vor, da dort die größere Zugkraft auftritt. Von den beiden Diagonalen wird nur die zugbeanspruchte Strebe 2 nachgewiesen.

Lastfall 1: Im Gleichgewicht stehende Normalkräfte

$$\sigma_{b,ax} = \frac{17,2}{1070} \cdot 10^3 = 16,07 \text{ N/mm}^2$$

Lastfall 2: Restschnittgrößen im Gurt

$$\sigma_{ch,ch} = \frac{228,50}{3807} \cdot 10^3 - \frac{0,786 \cdot 10^6}{0,156 \cdot 10^6} = 55,0 \text{ N/mm}^2$$



Die Biegemomente im Gurt reduzieren die Zugspannung des Gurtes auf der Seite, auf der die Streben angeschlossen sind.

Um die Effekte aus sekundären Biegemomenten zu berücksichtigen, müssen die Nennspannungsschwingbreiten mit den Erhöhungsfaktoren k_1 gemäß [1], Tab. 4.1 multipliziert werden. Für die Streben ist ein Erhöhungsfaktor von 1.3 und für die Gurte der Faktor 1.5 anzusetzen.

Lastfall 1: Im Gleichgewicht stehende Normalkräfte

$$\sigma_{b,ax} = 1,3 \cdot 16,07 = 20,90 \text{ N/mm}^2$$

Lastfall 2: Restschnittgrößen im Gurt

$$\sigma_{ch,ch} = 1,5 \cdot 55,0 = 82,50 \text{ N/mm}^2$$

Wahl der Kerbfallklasse

Bei Anwendung des Nennspannungskonzepts sind im Kerbfallkatalog von [1], Tab. 8.7 die Konstruktionsdetails für geschweißte Knoten von Fachwerkträgern enthalten. Die Anwendung der Kerbfälle ist nur unter Einhaltung bestimmter geometrischer Randbedingungen möglich. Die Knotenparameter des Beispiels liegen innerhalb der zulässigen Grenzen.

Für das Wanddickenverhältnis der Rohre $t_o/t_i = 1,775$ kann der Kerbfall 45 angenommen werden.

Ermüdungsnachweis und Lebensdauer für Knoten 6

Mit der Kerbfallklasse $\sigma_C = 45 \text{ N/mm}^2$ bei $2 \cdot 10^6$ Lastwechseln und dem Teilsicherheitsfaktor $\gamma_{Mf} = 1,15$ ergibt sich aus der allgemeinen Form der Ermüdungsfestigkeitskurve bzw. Wöhlerlinie die Anzahl der maximal möglichen Lastwechsel bis zum Ermüdungsversagen.

Für das vorliegende Konstruktionsdetail gemäß [1], Tab. 8.7 wird die Wöhlerlinienneigung mit $m = 5$ angegeben. Die maßgebende Stelle ist das Gurtrohr mit einer maximalen Spannungsschwingbreite von $\sigma_{ch,ch} = 83 \text{ N/mm}^2$.

$$N_R = 2 \cdot 10^6 \cdot \frac{(\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf})^m}{\Delta\sigma_{ch,ch}^m} = 2 \cdot 10^6 \cdot \frac{(45 / 1,15)^5}{83^5} = 46660 \text{ Lastwechsel}$$

Mit der allgemeinen Formel für den Schadensäquivalenzfaktor λ ergibt sich nun:

$$\lambda = \left(\frac{1}{2 \cdot 10^6} \cdot \sum_i \left(\frac{\Delta\sigma_{ch,ch}}{\max \Delta\sigma} \right)^m \cdot n_E \right)^{\frac{1}{m}} = \left(\frac{1}{2 \cdot 10^6} \cdot \sum_i \left(\frac{83}{83} \right)^5 \cdot 46660 \right)^{\frac{1}{5}} = 0,471$$

9.2 Nachweis in STAHL Ermüdung Stäbe

9.2.1 Definition des Kerbfalls

Analog zur Versagensgrafik des Kerbdetails 45 in [1], Tab. 8.7 ist der maßgebende Bemessungsbereich der obere Bereich des Untergurtstabes (Gurt 1). In der Querschnittsdatenbank sind für jedes Profil bemessungsrelevante Spannungspunkte implementiert. Im Beispiel sind die Rohr-Spannungspunkte 8 bis 12 relevant. Für diese Spannungspunkte kann in Maske 1.4 *Kerbfälle* das entsprechende Kerbdetail zugewiesen werden.

1.4 Kerbfälle

Stab Nr.	A Schadens- äquivalenzfaktor	B Teil des Stabsatzes Nr.	C Kommentar
11	0.470	-	

Einstellungen - Stab Nr. 11

S-Punkt Nr.	A Koordinaten [mm]		C Dicke t [mm]	D Vorhanden	E Kerbfall		F $\Delta\sigma_c$ [N/mm ²]
	y	z			$\Delta\sigma_c$ [N/mm ²]	$\Delta\tau_c$ [N/mm ²]	
1	88.9	0.0	7.1	<input type="checkbox"/>	160	100	
2	87.5	-15.4	7.1	<input type="checkbox"/>	160	100	
3	83.5	-30.4	7.1	<input type="checkbox"/>	160	100	
4	77.0	-44.5	7.1	<input type="checkbox"/>	160	100	
5	68.1	-57.1	7.1	<input type="checkbox"/>	160	100	
6	57.1	-68.1	7.1	<input type="checkbox"/>	160	100	
7	44.5	-77.0	7.1	<input type="checkbox"/>	160	100	
8	30.4	-83.5	7.1	<input checked="" type="checkbox"/>	45	100	
9	15.4	-87.5	7.1	<input checked="" type="checkbox"/>	45	100	
10	0.0	-88.9	7.1	<input checked="" type="checkbox"/>	45	100	
11	-15.4	-87.5	7.1	<input checked="" type="checkbox"/>	45	100	
12	-30.4	-83.5	7.1	<input checked="" type="checkbox"/>	45	100	
13	-44.5	-77.0	7.1	<input type="checkbox"/>	160	100	
14	-57.1	-68.1	7.1	<input type="checkbox"/>	160	100	
15	-68.1	-57.1	7.1	<input type="checkbox"/>	160	100	
16	-77.0	-44.5	7.1	<input type="checkbox"/>	160	100	

☐ Eingabe zuordnen Stäben Nr.:

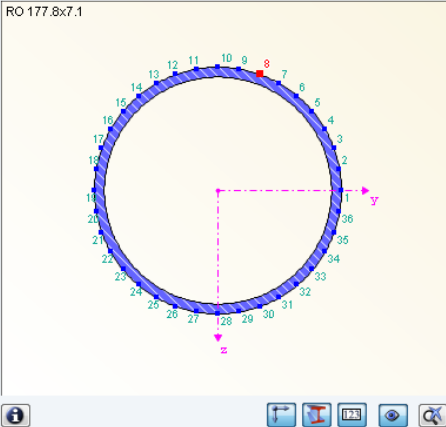


Bild 9.5: Maske 1.4 Kerbfälle

In Maske 1.4 kann auch der Schadensäquivalenzfaktor für den Untergurtstab festgelegt werden. Aufgrund der Vorbetrachtungen mit der Ermittlung der maximalen Lastwechsel sowie der Rückrechnung auf den entsprechenden Schadensäquivalenzfaktor wird sich in STAHL Ermüdung Stäbe eine Auslastung von 100 % einstellen.

9.2.2 Begrenzung der Längsspannungsschwingbreiten

In Maske 2.1 *Nachweise querschnittsweise* wird für die Begrenzung der Längsspannungsschwingbreiten eine Ausnutzung von 24 % angegeben.

2.1 Nachweise querschnittsweise

Quersch. Nr.	A Stab Nr.	B Stelle x [m]	C Aus-nutzung	D	E
3	RO 177.8x7.1 DIN EN 10220 - Untergurt				Nachweis nach Formel
	11	6.000	0.24 ≤ 1		101) Begrenzung der Längsspannungsschwingbreiten nach 8(1)
	11	6.000	1.00 ≤ 1		103) Nachweis für Nennlängsspannungsschwingbreiten nach 8(2)

Max: 1.00 ≤ 1

Zwischenwerte - Stab 11 - x: 6.000 m - LF4

Materialwerte - Baustahl S 235 | EN 10025-2:2004-11

Querschnittswerte - RO 177.8x7.1 | DIN EN 10220

Werte der Spannungsschwingbreiten im Spannungspunkt Nr. 8

Maximale Normalspannung	σ_{max}	84.673	N/mm ²	LF4
Minimale Normalspannung	σ_{min}	1.744	N/mm ²	LF4
Maximale Schubspannung	τ_{max}	0.016	N/mm ²	LF4
Minimale Schubspannung	τ_{min}	0.016	N/mm ²	LF4

Nachweis

Längsspannungsschwingbreiten	$\Delta\sigma$	82.930	N/mm ²	
Streckgrenze	f_y	235.000	N/mm ²	EN 1993-1-1,
Nachweis	η	0.24	≤ 1	Gl. (8.1)

3 - RO 177.8x7.1 | DIN EN 10220

Bild 9.6: Maske 2.1 *Nachweise querschnittsweise* - Begrenzung der Längsspannungsschwingbreiten

Begrenzung der Spannungsschwingbreiten

$$\Delta\sigma \leq 1,5 \cdot f_y$$

$$82,93 \leq 1,5 \cdot 235$$

$$82,93 \leq 352,5$$

Nachweis:

$$\frac{82,93}{352,5} = 0,24 \leq 1,00$$

Der Gebrauchstauglichkeitsnachweis ist somit erfüllt.

9.2.3 Nachweis der Nennlängsspannungsschwingbreite

Beim Nachweis der Nennlängsspannungsschwingbreiten nach [1], Abschnitt 8(2) stellt sich eine Ausnutzung von 100 % ein.

2.1 Nachweise querschnittsweise

Quersch. Nr.	A Stab Nr.	B Stelle x [m]	C Aus- nutzung	D	E
3	RO 177.8x7.1 DIN EN 10220 - Untergurt				Nachweis nach Formel
	11	6.000	0.24	≤ 1	101) Begrenzung der Längsspannungsschwingbreiten nach 8(1)
	11	6.000	1.00	≤ 1	103) Nachweis für Nennlängsspannungsschwingbreiten nach 8(2)

Max: 1.00 ≤ 1

Zwischenwerte - Stab 11 - x: 6.000 m - LF4

Materialwerte - Baustahl S 235 | EN 10025-2:2004-11

Querschnittswerte - RO 177.8x7.1 | DIN EN 10220

Werte der Spannungsschwingbreiten im Spannungspunkt Nr. 8

Maximale Normalspannung	σ_{max}	84.673	N/mm ²	LF4
Minimale Normalspannung	σ_{min}	1.744	N/mm ²	LF4
Maximale Schubspannung	τ_{max}	0.016	N/mm ²	LF4
Minimale Schubspannung	τ_{min}	0.016	N/mm ²	LF4

Nachweis

Längsspannungsschwingbreiten	$\Delta\sigma$	82.930	N/mm ²	
Schadensäquivalenzfaktoren	λ_i	0.470		
Äquivalente Längsspannungsschwingbreite	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	38.977	N/mm ²	Gl. (6.1)
Bezugswert für die Ermüdungsfestigkeit	$\Delta\sigma_C$	45.000	N/mm ²	
Faktor für die Ermüdungsfestigkeit	γ_{Mf}	1.150		Tab. 3.1
Nachweis	η	1.00	≤ 1	Gl. (8.2)

3 - RO 177.8x7.1 | DIN EN 10220

Bild 9.7: Maske 2.1 Nachweise querschnittsweise - Nachweis für Nennlängsspannungsschwingbreiten

Längsspannungen

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2} = \lambda \cdot \Delta\sigma$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2} = 0,471 \cdot 82,93$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2} = 38,977 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis:

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} \leq 1,00$$

$$\frac{38,977}{45/1,15} \leq 1,00$$

$$1,00 \leq 1,00$$

Literatur

- [1] *EN 1993-1-9: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-9: Ermüdung.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005.
- [2] *Grundlagen und Erläuterung der neuen Ermüdungsnachweise nach Eurocode 3.* Nussbaumer A., Günther H.-P., Stahlbau-Kalender, Ernst & Sohn, Berlin, 2006.

Index

A

Anmerkung	16
Ausdruckprotokoll	36, 37
Ausnutzung	16

B

Basisangaben	10
Beenden von STAHL Ermüdung Stäbe	10
Bemessung	11
Bemessungsfall	32, 38
Benutzerprofil	42
Berechnung starten	22
Blättern in Masken	10

D

Detaileinstellungen	20
Dezimalstellen	12, 42
Drucken	36
DYNAM	11

E

Einheiten	12, 42
Ergebnisauswertung	30
Ergebnisdarstellung	32
Ergebnisdiagramm	33
Ergebniskombination	11
Ergebnismasken	23
Ergebnisse-Navigator	31
Ergebnisverläufe	33, 36
Ergebniswerte	31
Ermüdungsfestigkeit	6, 19
Ermüdungsnachweis	7, 25
Excel	44
Export	43
Export Material	43
Export Querschnitt	41

F

Farbskala	34
Favorit	40
Filter	30, 34
Filtern von Stäben	35

G

Grafik	31
Grafikausdruck	36

H

Hintergrundgrafik	31
-------------------------	----

I

Installation	4
--------------------	---

K

Kerbfall	19
Kommentar	12

L

Länge	28
Längsspannungsschwingbreite	7
Lastfall	11
Lastkombination	11

M

Masken	10
Masse	29
Material	12, 43
Materialbezeichnung	13
Materialbibliothek	13
Materialkennwerte	12

N

Nachweis	23, 26
Nachweis farbig	34
Navigator	10
Nennspannung	19
Nichtrostender Stahl	14
Norm	10, 11

O

Oberfläche	28
Oberspannung	9
OpenOffice	44
Optimierung	16, 40, 41

P

Panel	5, 32, 34
Parametrisches Profil	40
Position	28
Programmaufruf	4

Q

Querschnitt	15, 40
Querschnittsbibliothek	15
Querschnittsgrafik	17
Querschnittsinfo	18
Querschnittsoptimierung	40

R			
Relationsbalken	30	Stelle x	24, 27
Rendering	34	Steuerpanel	34
RSTAB-Arbeitsfenster	31	Stückliste	28, 29
RSTAB-Grafik	36	Summe	29
		Superkombination	11
S		T	
Schadensäquivalenzfaktor	6, 7, 9, 19	Teilsicherheitsbeiwert	6, 20
Schadensfolgen	6, 20	U	
Schadenstoleranz	20	Unterspannung	9
Schaltflächen	30	V	
Schnittgrößen	41	Verborgenen Ergebnisverlauf	34
Schubspannungsschwingbreite	7	Volumen	29
Sicherheit	20	Voute	17, 26, 41
Sichtbarkeiten	34	X	
Sichtmodus	30, 31	x-Stelle	24, 27
Spannungspunkt	18, 19, 25	Z	
Spannungsschwingbreite	7, 9, 31	Zeigen-Navigator	32, 34
Spannungsspiel	7	Zwischenablage	43
Spannungssschwingbreite	19		
Stab	11, 26		
Stabsatz	11, 25, 29		
Starten von STAHL Ermüdung Stäbe	4		