



Fassung
Januar 2015

Zusatzmodul

RF-ALUMINIUM

Tragfähigkeits-, Stabilitäts- und
Gebrauchstauglichkeitsnachweise
nach Eurocode 9

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 2014
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

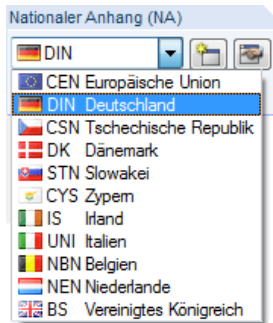
	Inhalt	Seite
1.	Einleitung	3
1.1	Zusatzmodul RF-ALUMINIUM	3
1.2	Gebrauch des Handbuchs	4
1.3	Aufruf des RF-ALUMINIUM - Moduls	5
2.	Eingabedaten	7
2.1	Basisangaben	7
2.1.1	Tragfähigkeit	9
2.1.2	Gebrauchstauglichkeit	11
2.1.3	Nationaler Anhang (NA)	12
2.2	Materialien	13
2.3	Querschnitte	15
2.4	Zwischenabstützungen	20
2.5	Quernähte	21
2.6	Effektive Längen - Stäbe	23
2.7	Effektive Längen - Stabsätze	27
2.8	Knotenlager - Stabsätze	28
2.9	Stabendgelenke - Stabsätze	30
2.10	Gebrauchstauglichkeitsparameter	31
3.	Berechnung	32
3.1	Detaileinstellungen	32
3.1.1	Tragfähigkeit	32
3.1.2	Stabilität	34
3.1.3	Gebrauchstauglichkeit	37
3.1.4	Diverse	38
3.2	Start der Berechnung	40
4.	Ergebnisse	41
4.1	Nachweise lastfallweise	42
4.2	Nachweise querschnittsweise	43
4.3	Nachweise stabsatzweise	44
4.4	Nachweise stabweise	45
4.5	Nachweise x-stellenweise	45
4.6	Maßgebende Schnittgrößen stabweise	46
4.7	Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise	47
4.8	Stabschlankheiten	48
4.9	Stückliste stabweise	49
4.10	Stückliste stabsatzweise	50
5.	Ergebnisauswertung	51
5.1	Ergebnisse am RFEM-Modell	52
5.2	Ergebnisverläufe	54
5.3	Filter für Ergebnisse	55
6.	Ausdruck	57
6.1	Ausdruckprotokoll	57
6.2	Grafikausdruck	57
7.	Allgemeine Funktionen	59
7.1	Bemessungsfälle	59
7.2	Querschnittsoptimierung	61



7.3	Einheiten und Dezimalstellen	63
7.4	Datenaustausch	64
7.4.1	Materialexport nach RFEM	64
7.4.2	Knicklängenexport nach RFEM	64
7.4.3	Export der Ergebnisse	64
8.	Beispiel: Stütze mit Doppelbiegung	66
8.1	Bemessungswerte	66
8.2	Querschnittskennwerte	67
8.3	Klassifizierung	67
8.4	Wirksame Querschnittswerte	70
8.5	Biegeknicken um starke Achse ($\perp$ zu y-y)	71
8.6	Biegeknicken um schwache Achse ($\perp$ zu z-z)	72
8.7	Drillknicken um Längsachse (um x-x)	73
8.8	Biegedrillknicken	73
8.9	Biegung mit zentrischem Druck	75
A.	Literatur	79
B.	Index	80

1 Einleitung

1.1 Zusatzmodul RF-ALUMINIUM



Der Eurocode 9 (EN 1999-1-1:2007) regelt den Entwurf, die Bemessung und die Konstruktion von Aluminiumtragwerken in den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union. Mit dem RFEM-Zusatzmodul RF-ALUMINIUM bietet DLUBAL ein leistungsstarkes Werkzeug zur Bemessung von Aluminiummodellen an. Länderspezifische Regelungen sind im Modul durch verschiedene Nationale Anhänge berücksichtigt. Neben den programminternen Parametern können eigene Grenzwerte definiert oder neue Nationale Anhänge erstellt werden.

RF-ALUMINIUM führt alle typischen Tragsicherheitsnachweise, Stabilitätsnachweise und den Verformungsnachweis. Beim Tragsicherheitsnachweis berücksichtigt das Modul die Wirkung verschiedener Beanspruchungen. Es besteht die Möglichkeit, unter den in der Norm angebotenen Interaktionsnachweisen zu wählen. Eine wesentliche Komponente der Nachweisführung nach Eurocode 9 ist die Einteilung der nachzuweisenden Querschnitte in die Klassen 1 bis 4. Dadurch wird die Begrenzung der Beanspruchbarkeit und Rotationskapazität durch lokales Beulen von Querschnittsteilen überprüft. RF-ALUMINIUM ermittelt die c/t -Verhältnisse der druckbeanspruchten Querschnittsteile und nimmt die Klassifizierung automatisch vor.

Bei Stababschnitten, die durch Schweißnähte verbunden sind, kann die Entfestigung in der Wärmeeinflusszone berücksichtigt werden.

Für die Stabilitätsnachweise kann für jeden Stab oder Stabsatz gesondert festgelegt werden, ob Biegeknicken in y - und/oder z - Richtung möglich ist. Es können auch zusätzliche seitliche Halterungen definiert werden, um das Modell realitätsnah abzubilden. RF-ALUMINIUM ermittelt aus den Randbedingungen die Schlankheitsgrade und idealen Verzweigungslasten. Das für den Biegedrillknicknachweis erforderliche ideale Biegedrillknickmoment kann automatisch ermittelt oder manuell vorgegeben werden. Dabei wird der Lastangriffspunkt von Querlasten berücksichtigt, der sich entscheidend auf die Drillbeanspruchung auswirkt.

Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist bei den schlanken Aluminiumquerschnitten ein wichtiger Nachweis. Hierzu können Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen den verschiedenen Bemessungssituationen zugewiesen werden. Die Grenzverformungen sind über den Nationalen Anhang voreingestellt und können bei Bedarf angepasst werden. Zudem ist es möglich, Bezugslängen und Überhöhungen vorzugeben, die im Nachweis entsprechend berücksichtigt werden.

Das Modul führt bei Bedarf eine Optimierung der Querschnitte durch und exportiert die geänderten Profile nach RFEM. Über Bemessungsfälle ist es möglich, Bauteile von großen Systemen separat nachzuweisen oder Varianten zu untersuchen.

RF-ALUMINIUM ist als Zusatzmodul in die RFEM-Umgebung integriert. So sind die bemessungsrelevanten Eingabedaten nach dem Aufruf des Moduls voreingestellt. Nach der Bemessung kann die grafische Oberfläche von RFEM zur Auswertung der Ergebnisse genutzt werden. Nicht zuletzt lassen sich die Nachweise von der Schnittgrößenermittlung bis zur Bemessung im zentralen Ausdrucksprotokoll von RFEM dokumentieren.

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

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 dem Zusatzmodul RF-ALUMINIUM 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 einzugrenzen.

1.3 Aufruf des RF-ALUMINIUM - Moduls

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

Menü

Sie können das Zusatzmodul aufrufen mit dem RFEM-Menü

Zusatzmodule → Aluminiumbau → RF-ALUMINIUM.

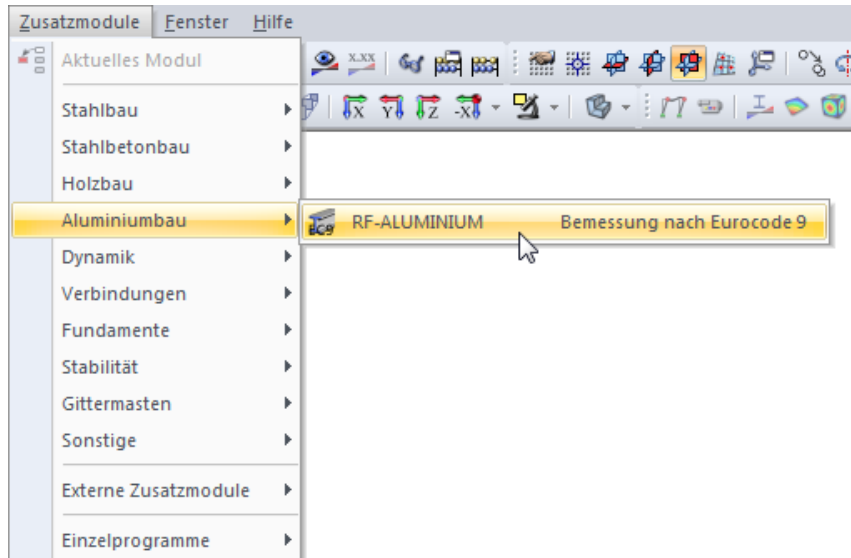


Bild 1.1: Menü Zusatzmodule → Aluminiumbau → RF-ALUMINIUM.

Navigator

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

Zusatzmodule → RF-ALUMINIUM.

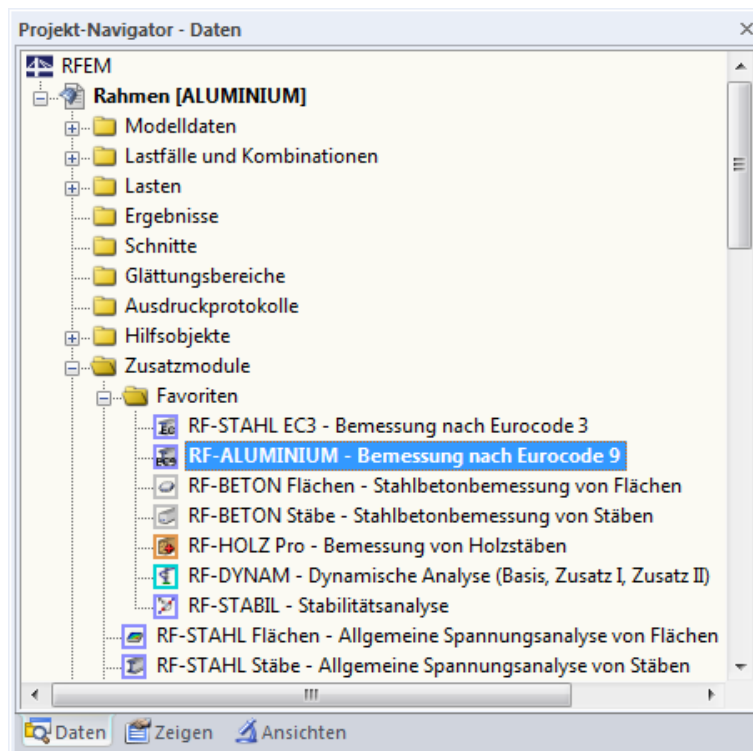
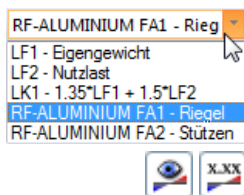


Bild 1.2: Daten-Navigator: Zusatzmodule → RF-ALUMINIUM.

Panel



Wenn im RFEM-Modell schon Ergebnisse von RF-ALUMINIUM vorliegen, können Sie das Bemessungsmodul auch über das Panel starten:

Stellen Sie den relevanten RF-ALUMINIUM-Bemessungsfall in der Lastfallliste der Menüleiste ein. Lassen Sie über die Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus] das Nachweiskriterium an den Stäben grafisch darstellen.

Im Panel können Sie nun die Schaltfläche [RF-ALUMINIUM] zum Aufruf des Moduls benutzen.

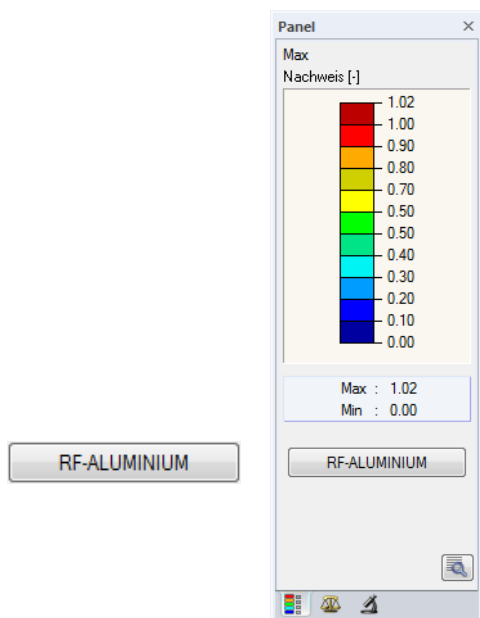


Bild 1.3: Panel-Schaltfläche [RF-ALUMINIUM]

2 Eingabedaten

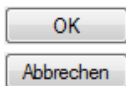
Nach dem Aufruf des Zusatzmoduls erscheint ein neues Fenster. Links wird ein Navigator angezeigt, der die verfügbaren Masken verwaltet. Darüber befindet sich eine Pulldownliste mit den Bemessungsfällen (siehe [Kapitel 7.1, Seite 59](#)).

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

- Stäbe und Stabsätze
- Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen
- Materialien
- Querschnitte
- Knicklängen
- 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-ALUMINIUM wird beendet und es erfolgt die Rückkehr in das Hauptprogramm. [Abbrechen] beendet das Zusatzmodul, ohne die Daten zu speichern.

2.1 Basisangaben

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

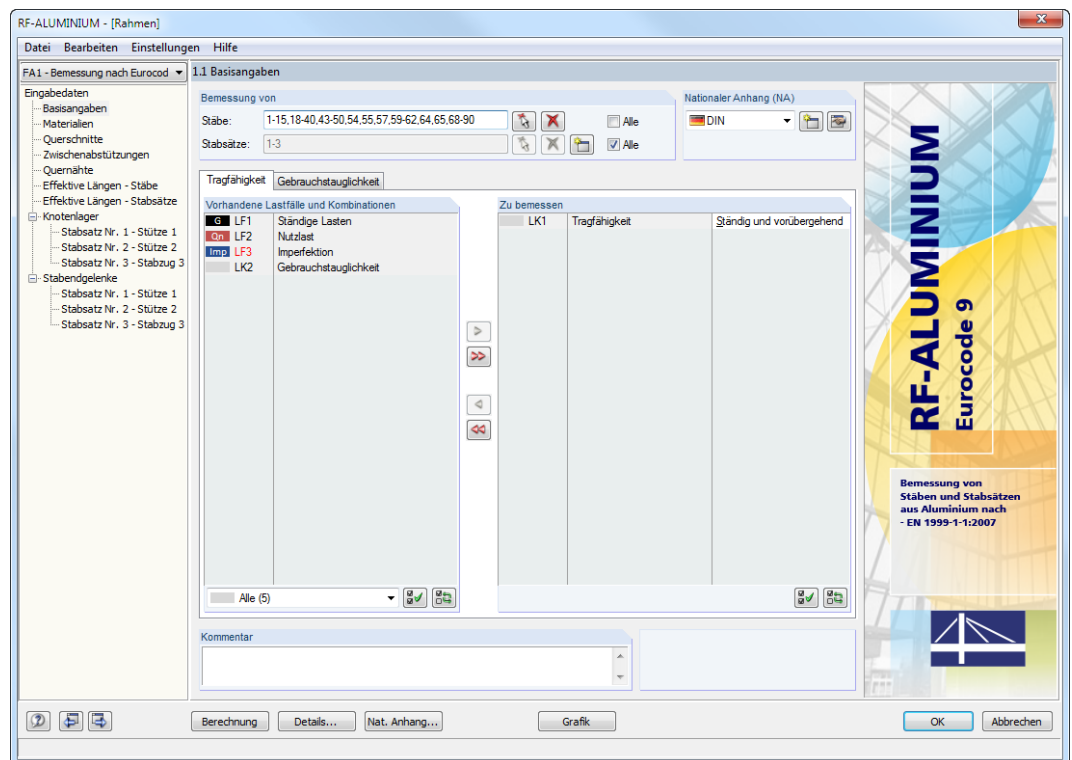


Bild 2.1: Maske 1.1 *Basisangaben*

Bemessung von

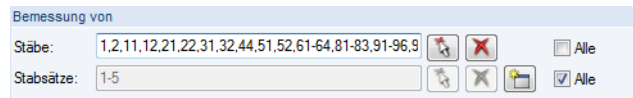


Bild 2.2: Bemessung von Stäben und Stabsätzen



Es können sowohl *Stäbe* als auch *Stabsätze* bemessen werden. Falls nur bestimmte Objekte nachgewiesen 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 Liste der voreingestellten Nummern kann per Doppelklick selektiert und dann durch manuelle Eingaben überschrieben werden. Über die Schaltfläche  lassen sich die Objekte auch grafisch im RFEM-Arbeitsfenster auswählen.

Bei der Bemessung eines Stabsatzes werden die Extremwerte der Nachweise aller im Stabsatz enthaltenen Stäbe ermittelt und die Randbedingungen angeschlossener Stäbe für Stabilitätsuntersuchungen berücksichtigt. Die Ergebnisse werden in den Ergebnismasken [2.3 Nachweise stabsatzweise](#), [3.2 Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise](#) und [4.2 Stückliste stabsatzweise](#) ausgegeben.



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

Nationaler Anhang (NA)



Bild 2.3: Nationaler Anhang

Im Auswahlfeld rechts oben ist der Nationale Anhang festzulegen, dessen Parameter für die Bemessung und für die Grenzwerte der Verformung gelten sollen.



Die Schaltfläche [Bearbeiten] öffnet einen Dialog, in dem die Parameter des gewählten Nationalen Anhangs überprüft und ggf. angepasst werden können. Dieser Dialog ist im [Kapitel 2.1.3](#) auf [Seite 12](#) beschrieben.

Kommentar



Bild 2.4: Benutzerdefinierter Kommentar

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

2.1.1 Tragfähigkeit

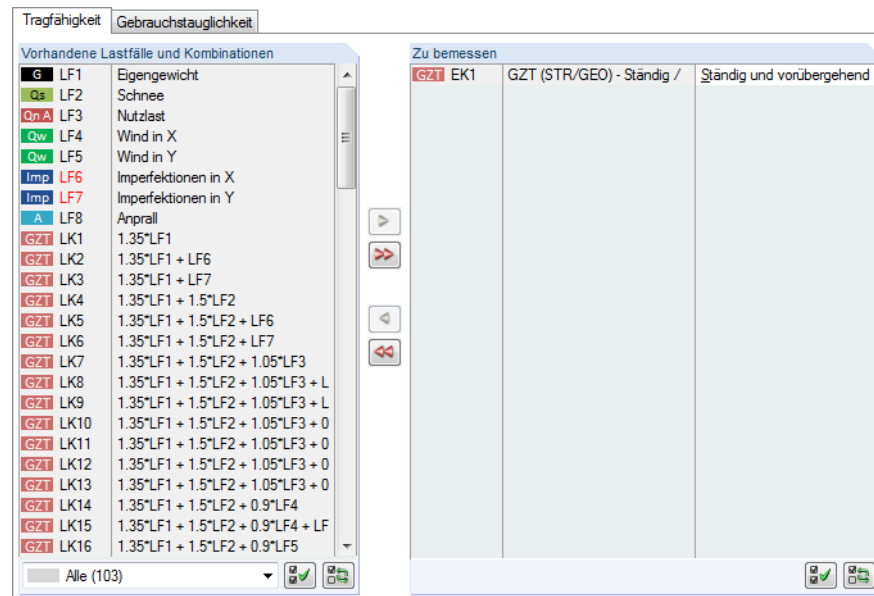


Bild 2.5: Maske 1.1 Basisangaben, Register *Tragfähigkeit*

Vorhandene Lastfälle und Kombinationen

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

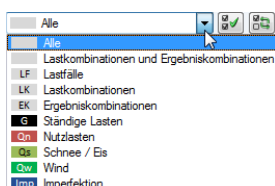


Mit der Schaltfläche lassen sich selektierte Einträge in die Liste *Zu Bemessen* nach rechts übertragen. Die Übergabe kann auch per Doppelklick erfolgen. Die Schaltfläche übergibt die komplette Liste nach rechts.

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 im Bild 2.5, 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 Register *Tragfähigkeit*

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 Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen können folgenden Bemessungssituationen zugewiesen werden:

- *Ständig und vorübergehend*
- *Außergewöhnlich*

Diese Einteilung steuert die Beiwerte γ_{M0} , γ_{M1} und γ_{M2} , die in die Ermittlung der Beanspruchbarkeiten R_d für die Querschnitts- und Stabilitätsnachweise einfließen (siehe Bild 2.9, Seite 12).

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

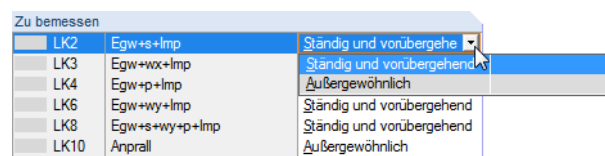


Bild 2.6: Bemessungssituation zuweisen

Auch hier ist eine Mehrfachauswahl mit gedrückter [Strg]-Taste möglich, sodass mehrere Einträge gleichzeitig geändert werden können.



Ergebniskombination

Die Bemessung einer einhüllenden Max/Min-Ergebniskombination verläuft zwar schneller als die aller enthaltenen Lastfälle und Lastkombinationen, aber der Nachweis einer Ergebniskombination birgt auch Nachteile: Zum einen ist nur schwer erkennbar, welchen Einfluss die enthaltenen Einwirkungen ausüben. Zum anderen wird für die Ermittlung des idealen Biegedrillknickmoments M_{cr} die Einhüllende der Momentenverläufe untersucht, von denen dann der ungünstigere Verlauf (Max oder Min) angesetzt wird. Dieser Verlauf spiegelt aber nur selten den Momentenverlauf wider, der in den einzelnen Lastkombinationen vorliegt. Bei einer EK-Bemessung sind daher ungünstigere Werte für M_{cr} zu erwarten, die zu höheren Ausnutzungen führen.

Ergebniskombinationen sollten nur für dynamische Kombinationen zur Bemessung ausgewählt werden. Bei „normalen“ Kombinationen sind Lastkombinationen zu empfehlen, da hier die tatsächlichen Momentenverläufe für die Ermittlung von M_{cr} angesetzt werden.

2.1.2 Gebrauchstauglichkeit

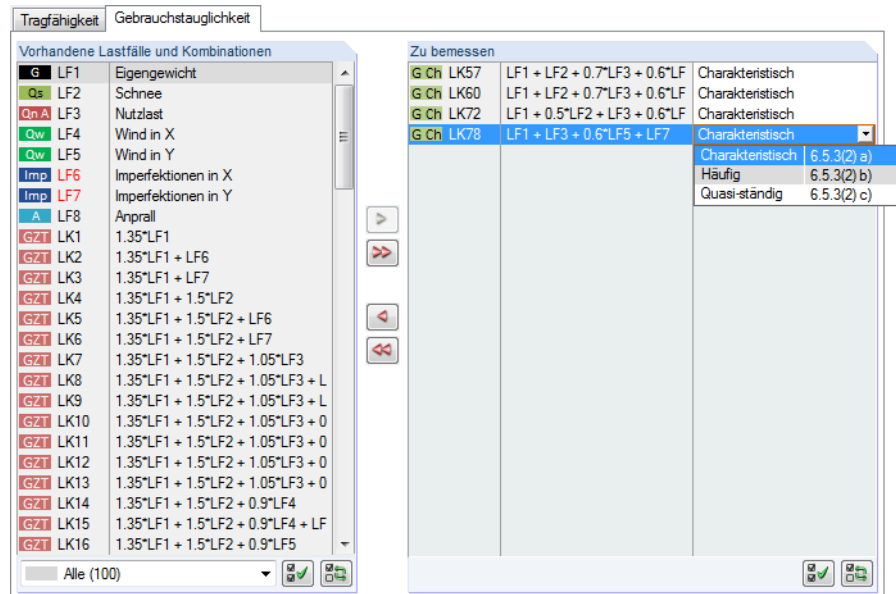


Bild 2.7: Maske 1.1 Basisangaben, Register Gebrauchstauglichkeit

Vorhandene Lastfälle und Kombinationen

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

Zu bemessen



Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen lassen sich wie im [Kapitel 2.1.1](#) beschrieben hinzufügen oder wieder entfernen.

Es ist möglich, den Lastfällen, Last- und Ergebniskombinationen unterschiedliche Grenzwerte für die Durchbiegung zuzuweisen. Folgende Bemessungssituationen stehen zur Auswahl:

- Charakteristisch
- Häufig
- Quasi-ständig

Die Bemessungssituation kann über die Liste geändert werden, die mit der Schaltfläche  am Ende des Eingabefeldes zugänglich ist (siehe Bild 2.7).

Nat. Anhang...

Die Grenzwerte der Verformungen sind im Nationalen Anhang geregelt. Sie können über die Schaltfläche [Nat. Anhang] im Dialog *Parameter des Nationalen Anhangs* (siehe [Bild 2.9](#), [Seite 12](#)) für die Bemessungssituationen angepasst werden.

In Maske 1.10 *Gebrauchstauglichkeitsparameter* werden die für den Verformungsnachweis maßgebenden Bezugslängen verwaltet (siehe [Kapitel 2.10](#), [Seite 31](#)).

2.1.3 Nationaler Anhang (NA)

In der Liste oben in Maske 1.1 *Basisangaben* kann der Nationale Anhang ausgewählt werden, dessen Parameter für die Bemessung und die Grenzwerte der Verformung gelten.

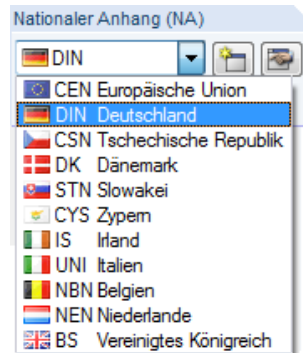


Bild 2.8: Nationalen Anhang auswählen



Über die Schaltfläche [Bearbeiten] lassen sich die voreingestellten Parameter überprüfen und ggf. anpassen (siehe folgendes Bild).



Mit [Neu] kann ein eigendefinierter Nationaler Anhang erstellt werden.

Nat. Anhang...

In allen Eingabemasken steht zudem die Schaltfläche [Nat. Anhang] zur Verfügung, die ebenfalls den Dialog *Parameter des Nationalen Anhangs* aufruft.

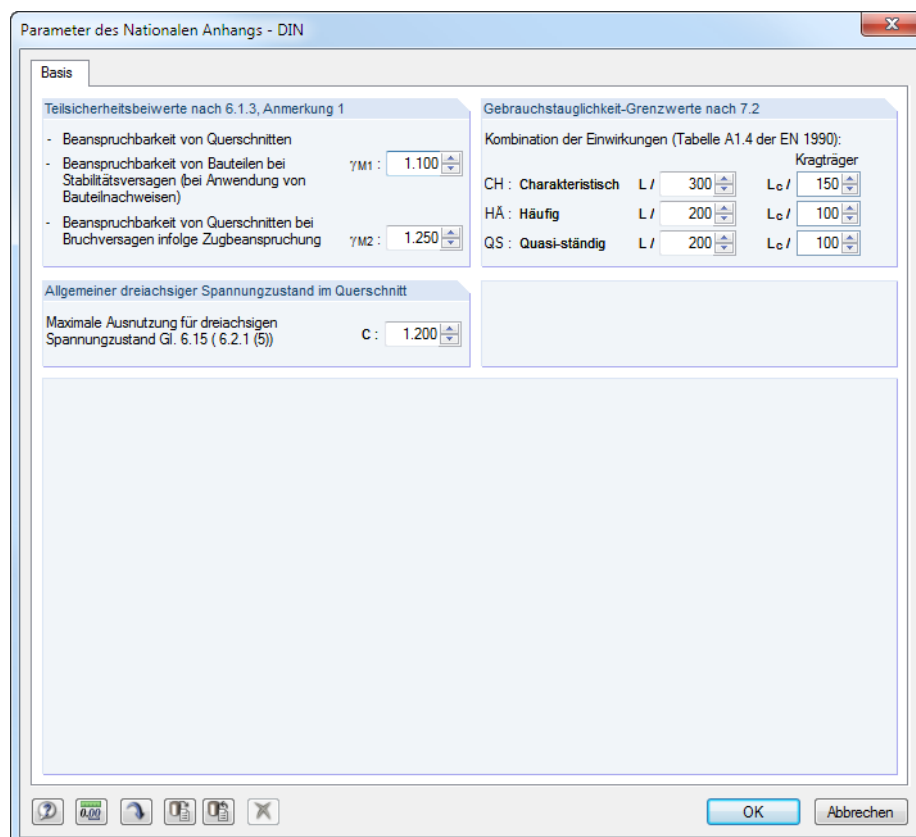


Bild 2.9: Dialog *Parameter des Nationalen Anhangs - DIN*

In den Abschnitten lassen sich die *Teilsicherheitsbeiwerte nach 6.1.3* und die *Gebrauchstauglichkeits-Grenzwerte nach 7.2* überprüfen und ggf. anpassen sowie die maximale Ausnutzung für den *Allgemeinen dreiachsigen Spannungszustand* festlegen.

Die Schaltflächen unten im Dialog sind mit folgenden Funktionen belegt:

Schaltfläche	Funktion
	Stellt die programmseitigen Voreinstellungen wieder her
	Liest benutzerdefinierte Standardeinstellungen ein
	Speichert geänderte Einstellungen als Standard
	Löscht einen benutzerdefinierten Nationalen Anhang

Tabelle 2.2: Schaltflächen im Dialog *Parameter des Nationalen Anhangs*

2.2 Materialien

Diese Maske ist zweigeteilt. Im oberen Abschnitt sind alle Materialien aufgelistet, die in RFEM 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.	Material Bezeichnung	Kommentar
1	Aluminium EN-AW 6082 T6/T651 EN 1999-1-1:2007	
2	Baustahl S 235 EN 10025-2:2004-11	
3	Aluminium EN-AW 6005A (EP/O,ER/B) T6 EN 1999-1-1:2007	

Materialkennwerte

☒ Haupt-Kennwerte

Parameter	Wert	Einheit
Elastizitätsmodul	70000.0	N/mm ²
Schubmodul	27000.0	N/mm ²
Poissonsche Zahl (Querdehnzahl)	0.300	
Spezifisches Gewicht	27.00	kN/m ³
Temperaturdehnzahl (Wärmedehnzahl)	2.3000E-05	1/K
Teilsicherheitsbeiwert	1.10	

☒ Zusätzliche Kennwerte

☒ Dickenbereich $t \leq 6.0$ mm

Parameter	Wert	Einheit
Charakteristische Streckgrenze 0.2%	260.0	N/mm ²
Charakteristische Zugfestigkeit	310.0	N/mm ²
Bruchdehnung mit einer Anfangsmesslänge von $5.65A_0^{0.5}$	0.060	
0.2%-Dehngrenze in der Wärmeeinflusszone, WEZ	125.0	N/mm ²
Zugfestigkeit in der Wärmeeinflusszone, WEZ	185.0	N/mm ²
Verhältnis der 0.2%-Dehngrenze in der WEZ zu der im Grundwerkstoff	0.480	
Verhältnis der Zugfestigkeit in der WEZ zu der im Grundwerkstoff	0.600	
Beulklasse	BC	
Exponent im Ramberg-Osgood Gesetz für die plastische Bemessung	25.000	

☒ Dickenbereich $t > 6.0$ mm und $t \leq 12.5$ mm

Parameter	Wert	Einheit
Charakteristische Streckgrenze 0.2%	255.0	N/mm ²
Charakteristische Zugfestigkeit	300.0	N/mm ²
Bruchdehnung mit einer Anfangsmesslänge von $5.65A_0^{0.5}$	0.090	
0.2%-Dehngrenze in der Wärmeeinflusszone, WEZ	125.0	N/mm ²
Zugfestigkeit in der Wärmeeinflusszone, WEZ	185.0	N/mm ²
Verhältnis der 0.2%-Dehngrenze in der WEZ zu der im Grundwerkstoff	0.490	

Material Nr. 1 angewendet in

Querschnitte Nr.: 2-5,7

Stäbe Nr.: 1,2,6,7,11,12,16,17,26-29,31-34,36-39,41

Stabsätze Nr.: 1-3

Σ Längen: 51.00 [m] Σ Massen: 0.143 [t]

Bild 2.10: 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 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 7.3, Seite 63).

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.

Aluminium EN-AW 6082 T6/T651 EN 1999-1-1:2007	
Aluminium AlSiMgMn	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 3004 H14	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 3004 H24/H34	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 3004 H16	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 3004 H26/H36	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 3005 H14	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 3005 H24	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 3005 H16	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 3005 H26	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 3103 H14	EN 1999-1-1:2007

Bild 2.11: Liste der Materialien



Gemäß Norm [1] sind nur Materialien der Kategorie „Aluminium“ wählbar. Es werden nur Legierungen bemessen, die von [1] Tabelle 3.2a, b und c abgedeckt sind. Daher lassen sich die Materialeigenschaften im Modul nicht editieren. RF-ALUMINIUM überprüft weder die Produktform des Materials nach [1], Tabelle 3.2b noch die Querschnittsform.

Nach der Übernahme werden die bemessungsrelevanten *Materialkennwerte* aktualisiert.

Wenn die Materialbezeichnung manuell geändert wird und der Eintrag in der Materialbibliothek verzeichnet ist, liest RF-ALUMINIUM ebenfalls die Materialkennwerte ein.

Materialbibliothek

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

Bearbeiten → **Materialbibliothek**



oder die links dargestellte Schaltfläche.

Material aus Bibliothek übernehmen

Filter:

- Materialkategorie-Gruppe: Metall
- Material-Kategorie: Aluminium
- Norm-Gruppe: EN
- Norm: EN 1999-1-1:2007

☐ Inklusive ungültiger... ☐ Nur Favoriten...

Materialbezeichnung	Norm
Aluminium EN-AW 5083 H22/H32	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 5083 H14	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 5083 H24/H34	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 6061 T4/T451	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 6061 T6/T651	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 6061 T651	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 6082 T4/T451	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 6082 T61/T6151	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 6082 T6151	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 6082 T6/T651	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 6082 T651	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 7020 T6	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 7020 T651	EN 1999-1-1:2007
Aluminium EN-AW 8011A H14	EN 1999-1-1:2007

Materialkennwerte Aluminium EN-AW 6082 T6/T651 | EN 1999-1-1:2007

☒ Haupt-Kennwerte

Parameter	Wert	Einheit
Elastizitätsmodul	70000.0	N/mm ²
Schubmodul	27000.0	N/mm ²
Poissonsche Zahl (Querdehnzahl)	0.300	
Spezifisches Gewicht	27.00	kN/m ³
Temperaturdehnzahl (Wärmedehnzahl)	2.3000E-05	1/K
Teilsicherheitsbeiwert	1.10	

☒ Zusätzliche Kennwerte

☒ Dickenbereich t ≤ 6.0 mm

Parameter	Wert	Einheit
Charakteristische Streckgrenze 0.2%	f ₀	260.0 N/mm ²
Charakteristische Zugfestigkeit	f _u	310.0 N/mm ²
Bruchdehnung mit einer Anfangsmesslänge von 5.65A ₀ ^{0.5}	A	0.060
0.2%-Dehngrenze in der Wärmeinflusszone, WEZ	f _{0,haz}	125.0 N/mm ²
Zugfestigkeit in der Wärmeinflusszone, WEZ	f _{u,haz}	185.0 N/mm ²
Verhältnis der 0.2%-Dehngrenze in der WEZ zu der im Grundwerkstoff	p _{0,haz}	0.480
Verhältnis der Zugfestigkeit in der WEZ zu der im Grundwerkstoff	p _{u,haz}	0.600
Beulklasse	BC	1.000
Exponent im Ramberg-Osgood Gesetz für die plastische Bemessung	n _p	25.000

OK Abbrechen

Bild 2.12: Dialog *Material aus Bibliothek übernehmen*

Im Abschnitt *Filter* ist die Materialkategorie *Aluminium* voreingestellt. Die gewünschte Legierung 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-ALUMINIUM übergeben.

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

2.3 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	3	☐ Rohr 60/2.5	Rohr	Nein		
2	1	☐ LS 100/6/0	Winkel	Nein		
3	1	☒ IS 80/46/4/6/0	I-Profil geschweißt IS	Aus der aktuellen Reihe ▼	2)	
4	1	☐ TO 80/60/4/4/4/4/K	Hohlprofil geschweißt	Nein		
5	1	☐ DUENQ PROFIL-Y	Allgemein	Nein		
6	2	☒ RD 8 DIN 1013-1	Unzulässig	Nein	6)	
7	1	☐ TO 150/120/4/4/4/4/K	Hohlprofil geschweißt	Nein		

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

Querschnittswerte - IS 80/46/4/6/0

Querschnittsklasse		I-Profil geschweißt IS
Querschnittshöhe	h	80.0 mm
Querschnittsbreite	b	46.0 mm
Stegdicke	t _w	4.0 mm
Flanshdicke	t _f	6.0 mm
Querschnittsfläche	A	8.24 cm ²
Wirksame Schubfläche	A _{v,y}	5.52 cm ²
Wirksame Schubfläche	A _{v,z}	2.72 cm ² = η _h t _w b
Flächenträgheitsmoment	I _y	86.22 cm ⁴
Flächenträgheitsmoment	I _z	9.77 cm ⁴
Torsionsträgheitsmoment	I _t	0.77 cm ⁴
Trägheitsradius	i _y	32.3 mm
Trägheitsradius	i _z	10.9 mm
Elastisches Widerstandsmoment	W _{el,y}	21.55 cm ³
Elastisches Widerstandsmoment	W _{el,z}	4.25 cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	W _{pl,y}	25.05 cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	W _{pl,z}	6.62 cm ³

Querschnitt Nr. 3 angewendet in

Stäbe Nr.: 28,29,33,34,38,39,54,59,64

Stabsätze Nr.: -

Σ Längen: 18.00 [m] Σ Massen: 0.040 [t]

Material: 1 - Aluminium EN-AW 6082 T6/T651

Bild 2.13: 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 2.14).



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

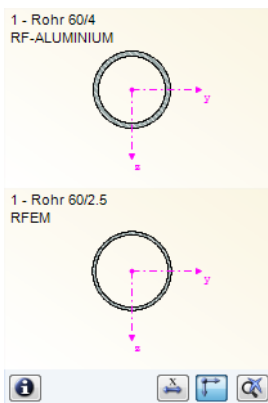
RF-ALUMINIUM führt alle erforderlichen Nachweise für folgende Querschnittstypen:

- I-Profil: gewalzt/geschweißt, doppelsymmetrisch oder einfachsymmetrisch um z-Achse
- Hohl- und Kastenprofile: gewalzt/geschweißt, quadratisch/rechteckig, doppelsymmetrisch
- Massive Querschnitte: kreisförmig/rechteckig
- Rohre
- Winkel: gewalzte/geschweißte Einfachprofile mit gleichen oder ungleichen Schenkeln
- T-Profil: gewalzt/geschweißt, symmetrisch um z-Achse
- U-Profil: gewalzt/geschweißt, symmetrisch um y-Achse

RF-ALUMINIUM weist auch andere Querschnitte der Bibliothek oder aus DUENQ nach. Für diese Profile des Typs „Allgemein“ sind jedoch nicht alle Nachweisarten verfügbar.



Bild 2.14: Querschnitte des Typs *Allgemein* (hinterlegt)



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

Ein geänderter Querschnitt wird mit blauer Schrift gekennzeichnet.

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



Bei den Querschnittstypen *Geschweißt* handelt es sich um parametrische Querschnitte, die im Stahlbau durch Schweißen von Blechen hergestellt werden. Für RF-ALUMINIUM ist dabei zu beachten, dass der Nachweis dieser Schweißnähte (WEZ-Effekte) derzeit nicht implementiert ist.

Querschnittstyp für Klassifizierung

Es wird der Querschnittstyp angegeben, der für die Klassifizierung verwendet wird. Die Querschnitte können gemäß [1] Absatz 6.1.4 je nach Klasse plastisch oder elastisch bemessen werden. Querschnitte, die nicht vollständig von den Vorgaben der Norm abgedeckt sind, werden als *Allgemein* eingestuft (siehe Bild 2.14). Diese können nur elastisch bemessen werden (Klasse 3 oder 4).

Max. Nachweis

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 RFEM-Schnittgrößen das Profil gesucht, das einer benutzerdefinierten Höchstauslastung am nächsten kommt. Diese kann im Register *Diverse* des *Details-Dialogs* festgelegt werden (siehe Bild 3.4, Seite 38).

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 7.2 auf Seite 61.

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 2.13).

Stab mit Voutenquerschnitt



Die Bemessung von Voutenstäben mit unterschiedlichen Querschnitten an beiden Stabenden wird in RF-ALUMINIUM nicht unterstützt. Bei der Berechnung erscheint eine Fehlermeldung.



Bild 2.15: Hinweis bei Bemessung einer Voute

Info über Querschnitt



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

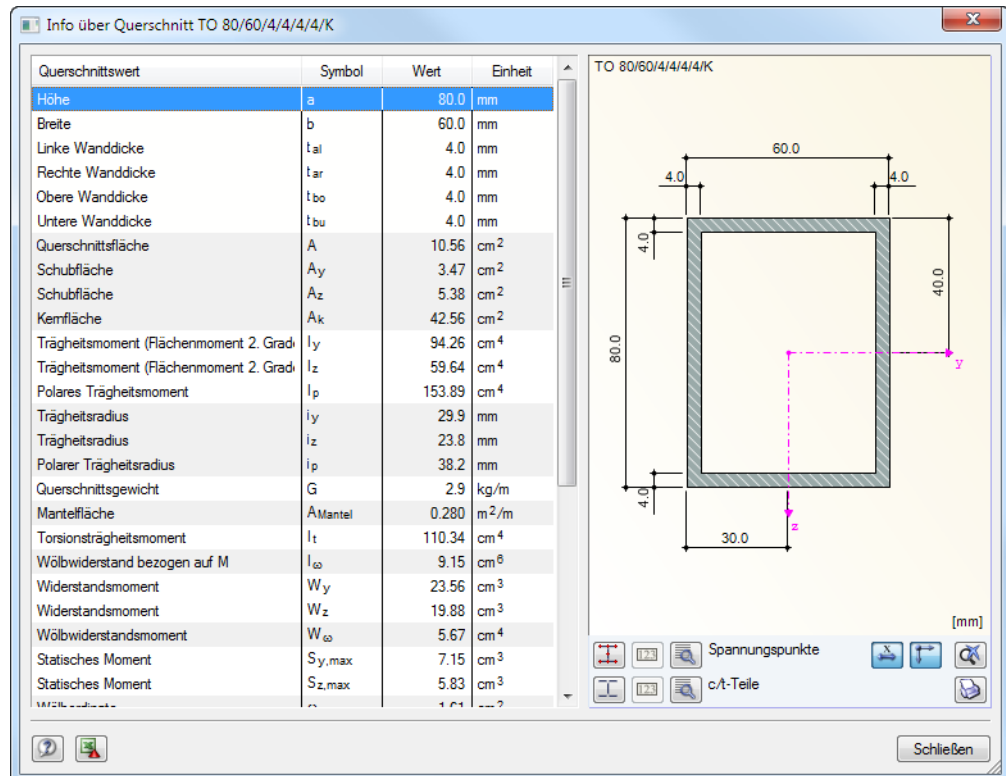


Bild 2.16: Dialog *Info über Querschnitt*

Im rechten Dialogbereich wird der aktuelle Querschnitt dargestellt.

Die Schaltflächen unterhalb der Grafik sind mit folgenden Funktionen belegt:

Schaltfläche	Funktion
	Blendet die Spannungspunkte ein oder aus
	Blendet die c/t-Querschnittsteile ein oder aus
	Blendet die Nummern der Spannungspunkte bzw. c/t-Teile ein oder aus
	Zeigt die Details der Spannungspunkte bzw. c/t-Teile an (siehe Bild 2.17)
	Schaltet die Bemaßung des Querschnitts ein oder aus
	Schaltet die Hauptachsen des Querschnitts ein oder aus
	Stellt die Gesamtansicht des Querschnitts wieder her

Tabelle 2.3: Schaltflächen der Querschnittsgrafik



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

Spannungspunkte von TO 80/60/4/4/4/4/K

Spann- Nr.	A		B		C		D		E	F		G		H
	Koordinaten		Statische Momente		Dicke		Wölbung			Kernfläche				
	y [mm]	z [mm]	S_y [cm ³]	S_z [cm ³]	t [mm]	ω [cm ²]	S_ω [cm ⁴]	A^* [cm ²]						
1	30.0	-36.0	-4.56	-4.03	4.0	-1.53	-0.09	42.56						
2	30.0	-40.0	-4.26	-4.26	4.0	-1.61	-0.21	42.56						
3	26.0	-40.0	-3.95	-4.48	4.0	-1.50	-0.34	42.56						
4	0.0	-40.0	0.00	-5.83	4.0	0.00	-1.12	42.56						
5	-26.0	-40.0	3.95	-4.48	4.0	1.50	-0.34	42.56						
6	-30.0	-40.0	4.26	-4.26	4.0	1.61	-0.21	42.56						
7	-30.0	-36.0	4.56	-4.03	4.0	1.53	-0.09	42.56						
8	-30.0	0.0	7.15	0.00	4.0	0.00	1.01	42.56						
9	-30.0	36.0	4.56	4.03	4.0	-1.53	-0.09	42.56						
10	-30.0	40.0	4.26	4.26	4.0	-1.61	-0.21	42.56						
11	-26.0	40.0	3.95	4.48	4.0	-1.50	-0.34	42.56						
12	0.0	40.0	0.00	5.83	4.0	0.00	-1.12	42.56						
13	26.0	40.0	-3.95	4.48	4.0	1.50	-0.34	42.56						
14	30.0	40.0	-4.26	4.26	4.0	1.61	-0.21	42.56						
15	30.0	36.0	-4.56	4.03	4.0	1.53	-0.09	42.56						
16	30.0	0.0	-7.15	0.00	4.0	0.00	1.01	42.56						

TO 80/60/4/4/4/4/K

Schließen

Bild 2.17: Dialog Spannungspunkte von TO 80/60/4/4/4/4/K

2.4 Zwischenabstützungen

In Maske 1.4 können seitliche Zwischenlager für Stäbe definiert werden. RF-ALUMINIUM nimmt diese Lagerung immer senkrecht zur schwachen Achse z des Querschnitts an (siehe Bild 2.16). Dadurch lassen sich die effektiven Längen der Stäbe beeinflussen, die für die Stabilitätsuntersuchungen auf Biegeknicken und Biegedrillknicken von Bedeutung sind.



Zwischenabstützungen werden bei der Berechnung als Gabellagerungen berücksichtigt.

1.4 Zwischenabstützungen

Stab Nr.	A Seiten-Lager	B Länge L [m]	C Anzahl	D x ₁	E x ₂	F x ₃	G x ₄	H x ₅	I x ₆	J x ₇	K x ₈	L x ₉
12	☐	1.000										
13	☐	2.000										
14	☒	2.000	1	0.500								
15	☐	2.000										
16	☐	1.000										
17	☐	1.000										
18	☒	2.667	2	0.375	0.750							
19	☐	2.667										
20	☐	2.667										
21	☐	3.333										

☒ Relativ (0 ... 1)

Einstellungen - Stab Nr. 18

Querschnitt	1 - Rohr 60/2.5		
Seitliche Stützungen	☒		
Stablänge	L	2.667	m
Anzahl Zwischenabstützungen	n	2	
Ort der seitlichen Stützung Nr. 1	x ₁	0.375	
Ort der seitlichen Stützung Nr. 2	x ₂	0.750	

☐ Eingaben zuordnen Stäben Nr.:

☒ Alle

Bild 2.18: Maske 1.4 Zwischenabstützungen

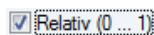
Der obere Teil der Maske ermöglicht es, bis zu neun seitliche Lager je Stab anzuordnen. Im Abschnitt *Einstellungen* werden die Eingaben für den oben selektierten Stab als Spaltenübersicht angezeigt.



Zur Definition einer seitlichen Stützung ist das Kontrollfeld *Seitenlager* in Spalte A anzuhaken. Mit der Schaltfläche kann der Stab grafisch ausgewählt werden, um dessen Zeile zu aktivieren. Mit dem Setzen des Häkchens werden die weiteren Spalten für die Eingabe der Parameter freigegeben.

In Spalte B kann der *Lagertyp* in der Liste ausgewählt werden. Es ist eine Gabellagerung voreingestellt. Zwischenstützungen können aber auch am unteren oder am oberen Flansch angeordnet werden. Mit der Option *Benutzerdefiniert* lassen sich die Lagerparameter (Stützung in Richtung der Stabachse y, Einspannung um Stablängsachse x, Exzentrizität der Stützung) im Abschnitt *Einstellungen* individuell vorgeben.

In Spalte C ist die *Anzahl* der seitlichen Lager festzulegen. Je nach Vorgabe sind eine oder mehrere der folgenden Spalten *Zwischenabstützungen* zur Definition der x-Stellen zugänglich.



Ist das Kontrollfeld *Relativ (0 ... 1)* angehakt, so können die Lagerpunkte über Relativangaben definiert werden: Die Stellen der Zwischenstützungen ergeben sich aus der Stablänge und den relativen Abständen vom Stabanfang. Die Abstände können auch über Streckenangaben festgelegt werden, wenn das Kontrollfeld *Relativ (0 ... 1)* deaktiviert ist.



Bei Kragträgern sind Zwischenabstützungen zu vermeiden, da sie den Stab für die Berechnung in Abschnitte unterteilen: Es entstünden einseitig gabelgelagerte Segmente, die statisch unterbestimmt sind (Gabellagerung jeweils nur an einem Ende).

2.5 Quernähte

Falls Stababschnitte durch Schweißnähte verbunden sind, so kann die Anordnung und Ausbildung der Quernähte in Maske 1.5 festgelegt werden. Dadurch lassen sich die Entfestigungen des Querschnitts in der Wärmeinflusszone WEZ erfassen.



Der *Designers' Guide to Eurocode 9* [2] bietet weitere Informationen zum Thema „Quernähte“.

Mit der Schaltfläche  kann ein Stab grafisch ausgewählt werden, um dessen Zeile zu zeigen.

Änderungen sind sowohl in der Tabelle als auch im *Einstellungen*-Baum möglich.

1.5 Quernähte

Stab Nr.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	Quer-nähte	Länge L [m]	Anzahl	x1	Quernähte[m] x2	x3	x4	Schweiß-nähttyp	Methode	Material	Temperatur	Wege zur Wärmeabl. Anzahl
17	☐	1.000										
18	☐	2.667										
19	☐	2.667										
20	☐	2.667										
21	☒	3.333	2	1.200	2.400			Stumpfnäht	MIG	Alloy 5xxx	60.000	1
22	☒	3.333	2	1.200	2.400			Stumpfnäht	MIG	Alloy 5xxx	60.000	1
23	☐	2.667										
24	☐	2.667										
25	☐	2.667										
26	☐	1.000										

☐ Relativ (0 ... 1)

Einstellungen - Stab Nr. 21

Querschnitt	6 - RD 8 DIN 1013-1		
Stablänge	L	3.333	m
Quernähte		☒	
Anzahl Schweißnähte (max. 4)		2	
Schweißnähttyp		Stumpfnäht	
Methode		MIG	
Material		Alloy 5xxx	
Temperatur		60.000	°C
Anzahl der Wege zur Wärmeableitung		1	
Lage der Quernaht Nr.1	x1	1.200	m
Lage der Quernaht Nr.2	x2	2.400	m

☐ Eingaben zuordnen Stäben Nr.:  ☒ Alle

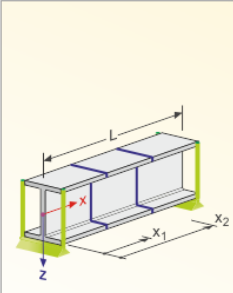


Bild 2.19: Maske 1.5 Quernähte

Quernähte

Zur Definition einer Quernaht ist das Kontrollfeld in Spalte A anzuhaken. Damit werden die weiteren Spalten für die Eingabe der Parameter freigegeben.

Länge L

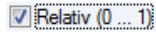
In dieser Spalte werden jeweils die Stablängen angezeigt.

Quernähte

Anzahl

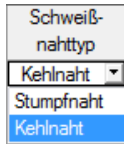
In Spalte C ist die *Anzahl* der Quernähte festzulegen. Es sind bis zu vier Quernähte je Stab möglich. Die x-Stellen können dann in den folgenden Spalten angegeben werden.

x1 / x2 / x3 / x4



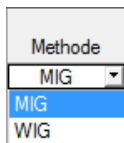
Ist das Kontrollfeld *Relativ (0 ... 1)* angehakt, so können die Stellen der Quernähte über Relativangaben definiert werden: Sie ergeben sich aus der Stablänge und den relativen Abständen vom Stabanfang. Die Abstände können auch über Streckenangaben festgelegt werden, wenn das Kontrollfeld *Relativ (0 ... 1)* deaktiviert ist.

Schweißnahttyp



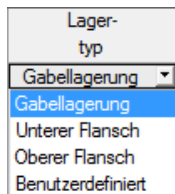
In dieser Spalte ist der Ausführung der Schweißnaht anzugeben. Es stehen die Optionen *Kehlnaht* und *Stumpfnäht* zur Auswahl. Der Schweißnahttyp wirkt sich auf die Ausdehnung der Wärmeeinflusszone aus (siehe [1], Abschnitt 6.1.6.3).

Methode



Das Schweißverfahren beeinflusst ebenfalls die Ausdehnung der Wärmeeinflusszone. In Spalte I kann die Methode *MIG* oder *WIG* festgelegt werden.

Material



In der Liste stehen aushärtbare Legierungen im Zustand T4 und darüber (Serien 6xxx und 7xxx) sowie nicht aushärtbare Legierungen in kaltverfestigtem Zustand (Serien 3xxx, 5xxx und 8xxx) zur Auswahl. Sie beeinflussen die charakteristischen Festigkeiten $f_{o,haz}$ und $f_{u,haz}$.

Temperatur

Liegt die Temperatur über 60 °C, so kann ein Temperaturanstieg zwischen den Schweißnahtlagen auftreten. Dieser vergrößert die Ausdehnung der Wärmeeinflusszone (siehe [1], Abschnitt 6.1.6.3 (8)).

Wege zur Wärmeableitung

In der letzten Spalte ist die Anzahl der wirksamen Wege zur Wärmeableitung anzugeben.



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  – bzw. *Alle Stäbe*.

2.6 Effektive Längen - Stäbe

Diese Maske ist zweigeteilt. Die Tabelle im oberen Abschnitt enthält zusammenfassende Angaben zu den Knick- und Biegedrillknicklängenbeiwerten und den Ersatzstablängen der Stäbe, die zur Bemessung vorgesehen sind. Die in RFEM definierten Knicklängen sind voreingestellt. Im Abschnitt *Einstellungen* werden weitere Informationen zu dem Stab angezeigt, dessen Zeile im oberen Abschnitt selektiert ist.

Mit der Schaltfläche kann ein Stab grafisch ausgewählt werden, um dessen Zeile zu zeigen. Änderungen sind sowohl in der Tabelle als auch im *Einstellungen*-Baum möglich.

1.6 Effektive Längen - Stäbe

Stab Nr.	Knicken Möglich	Knicken um Achse y/u		Knicken um Achse z/v		Biegedrillknicken				L _T [m]	Kommentar	
		Möglich	k _{or,y/u}	L _{or,y/u} [m]	Möglich	k _{or,z/v}	L _{or,z/v} [m]	Möglich	k _{z/v}			k _w
72	☒	☒	1.000	2.667	☒	1.000	2.667	☐	1.0	1.0	2.667	2.667
73	☒	☒	1.000	2.667	☒	1.000	2.667	☐	1.0	1.0	2.667	2.667
74	☒	☒	1.250	1.250	☒	1.000	1.000	☒	1.0	1.0	1.000	1.000
75	☒	☒	1.000	1.000	☒	1.000	1.000	☒	1.0	1.0	1.000	1.000
76	☒	☒	1.000	2.000	☒	1.000	2.000	☐	1.0	1.0	2.000	2.000
77	☒	☒	1.000	2.000	☒	1.000	2.000	☐	1.0	1.0	2.000	2.000
78	☒	☒	1.000	2.000	☒	1.000	2.000	☐	1.0	1.0	2.000	2.000
79	☒	☒	1.000	1.000	☒	1.000	1.000	☐	1.0	1.0	1.000	1.000
80	☒	☒	1.000	1.000	☒	1.000	1.000	☐	1.0	1.0	1.000	1.000
81	☒	☒	1.000	2.000	☒	1.000	2.000	☐	1.0	1.0	2.000	2.000

Einstellungen - Stab Nr. 74

Querschnitt	2 - LS 100/6/0		
Länge	L	1.000	m
Knicken möglich		☒	
☒ Knicken um Achse u möglich		☒	
Knicklängenbeiwert	k _{or,u}	1.250	
Knicklänge	L _{or,u}	1.250	m
☒ Knicken um Achse v möglich		☒	
Knicklängenbeiwert	k _{or,v}	1.000	
Knicklänge	L _{or,v}	1.000	m
☒ Knicken um Achse y möglich		☒	
Knicklängenbeiwert	k _{or,y}	1.000	
Knicklänge	L _{or,y}	1.000	m
☒ Knicken um Achse z möglich		☒	
Knicklängenbeiwert	k _{or,z}	1.000	
Knicklänge	L _{or,z}	1.000	m
☒ Biegedrillknicken möglich		☒	
Knicklängenbeiwert (Lagerungsart)	k _v	1.0	
Kipplängenbeiwert (Lagerungsart)	k _w	1.0	
BGDK-Länge	L _w	1.000	m

☐ Eingaben zuordnen Stäben Nr.: ☒ Alle

Bild 2.20: Maske 1.6 Effektive Längen - Stäbe

Die effektiven Längen für das Knicken um die schwache Achse z werden automatisch mit Maske 1.4 *Zwischenabstützungen* abgeglichen. Falls die Zwischenlager den Stab in unterschiedlich lange Segmente teilen, wird in den Spalten G, K und L der Maske 1.6 kein Wert angegeben.

In der Tabelle und im *Einstellungen*-Baum können die effektiven Längen manuell angegeben oder über die Schaltfläche grafisch im Arbeitsfenster festgelegt werden. Diese Schaltfläche ist zugänglich, wenn sich der Cursor im Eingabefeld befindet (siehe Bild oben).

Der *Einstellungen*-Baum verwaltet folgende Parameter:

- Querschnitt
- Länge des Stabes
- Knicken möglich für den Stab (entspricht Spalte A)
- Knicken um Achse y bzw. u (entspricht Spalten B bis D)
- Knicken um Achse z bzw. v (entspricht Spalten E bis G)
- Biegedrillknicken (entspricht Spalten H bis L)

Hier kann für den aktuellen Stab festgelegt werden, ob generell ein Knick- oder ein Biegedrillknicknachweis geführt werden soll. Ferner lassen sich der *Knicklängenbeiwert* und der *Kipplängenbeiwert* für die jeweiligen Richtungen anpassen. Bei der Änderung eines Beiwerts wird die Ersatzstablänge automatisch angepasst – und umgekehrt.



Die Knicklänge eines Stabes lässt sich auch in einem separaten Dialog festlegen, der über die links gezeigte Schaltfläche zugänglich ist. Sie befindet sich unterhalb der Tabelle.

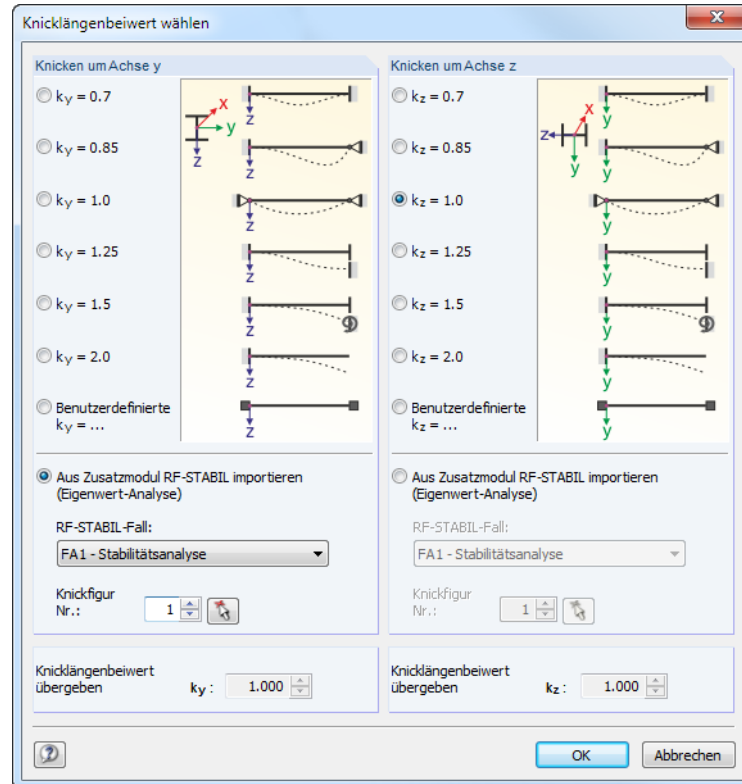


Bild 2.21: Dialog *Knicklängenbeiwert wählen*

Die Knicklängenbeiwerte $k_{cr,y}$ und $k_{cr,z}$ entsprechen folgenden Definitionen in [1], Tabelle 6.8:

- | | |
|------------|---|
| $k = 0,70$ | beidseitig festgehalten + beidseitig eingespannt |
| $k = 0,85$ | beidseitig festgehalten + einseitig eingespannt |
| $k = 1,00$ | beidseitig festgehalten + beidseitig nicht eingespannt |
| $k = 1,25$ | einseitig festgehalten + beidseitig eingespannt |
| $k = 1,50$ | einseitig festgehalten und eingespannt + nicht festgehalten und teilweise eingespannt am anderen Ende |
| $k = 2,00$ | einseitig gestützt und eingespannt + frei am anderen Ende |

Den Knicklängenbeiwert kann auch *Benutzerdefiniert* festgelegt werden. Falls im Zusatzmodul RF-STABIL eine Eigenwertanalyse durchgeführt wurde, kann eine *Knickfigur* zur Bestimmung des Beiwerts ausgewählt werden.

Knicken möglich

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

Die Kontrollfelder *Knicken möglich* in Tabellenspalte A und im *Einstellungen*-Baum bieten eine Steuerungsmöglichkeit für die Stabilitätsnachweise: Sie regeln, ob diese Nachweise für einen Stab geführt werden oder unterbleiben.

Knicken um Achse y bzw. Achse z

Die Spalten *Möglich* steuern, ob eine Knickgefährdung um die Achse y und/oder z vorliegt. Diese Achsen sind die lokalen Stabachsen, wobei es sich bei der Achse y um die „starke“ und bei der Achse z um die „schwache“ Stabachse handelt. Die Knicklängenbeiwerte $k_{cr,y}$ und $k_{cr,z}$ gemäß [1] Tabelle 6.8 für Knicken um die starke bzw. schwache Achse können frei gewählt werden.



Die Lage der Stabachsen kann in Maske 1.3 *Querschnitte* bei der Profilgrafik kontrolliert werden (siehe Bild 2.13, Seite 15). Über die Schaltfläche [Sichtmodus] ist auch das RFEM-Arbeitsfenster zugänglich. Dort können die lokalen Stabachsen über das Stab-Kontextmenü oder im *Zeigen*-Navigator eingeblendet werden.

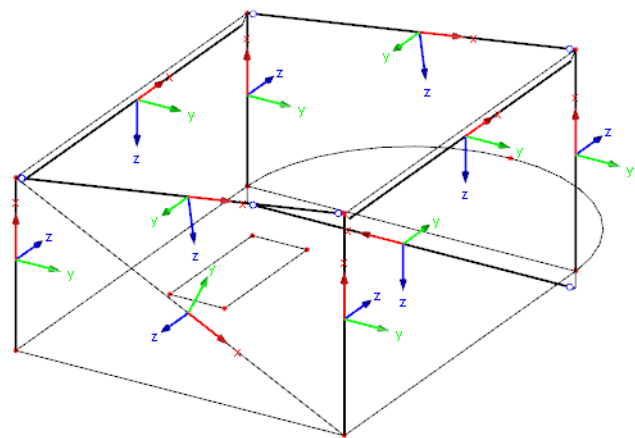
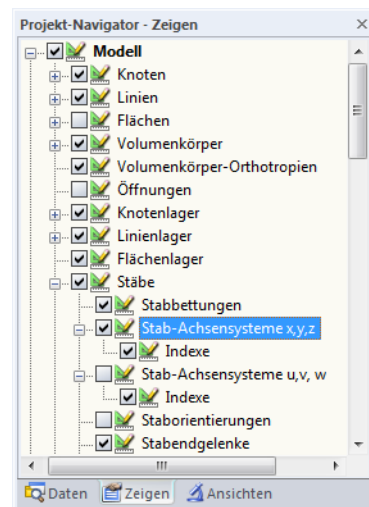


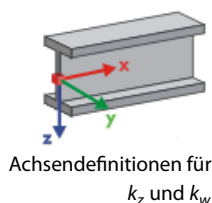
Bild 2.22: Aktivieren der Stabachsensysteme im *Zeigen*-Navigator von RFEM

Ist das Knicken um eine oder um beide Stabachsen möglich, können die Knicklängenbeiwerte und die Knicklängen in den Spalten C und D sowie F und G oder im *Einstellungen*-Baum eingetragen werden.

Über die Schaltfläche  können die Knicklängen grafisch im Arbeitsfenster festgelegt werden. Diese Schaltfläche ist zugänglich, wenn sich der Cursor in einem L_{cr} -Eingabefeld befindet (siehe Bild 2.20).

Bei der Eingabe des Knicklängenbeiwerts k_{cr} wird die Knicklänge L_{cr} durch Multiplikation der Stablänge L mit dem Beiwert ermittelt. Die Eingabefelder k_{cr} und L_{cr} sind interaktiv.

Biegedrillknicken möglich



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

Für die Ermittlung von M_{cr} nach der Eigenwertmethode wird ein internes Stabmodell mit vier Freiheitsgraden erzeugt. Diese Freiheitsgrade sind über die Beiwerte k_z und k_w zu definieren. Im Zusammenwirken der beiden Beiwerte lassen sich die Lagerungsbedingungen für Biegedrillknicken erfassen (z. B. Gabel Lagerung).

Knicklängenbeiwert k_z

Der Beiwert k_z steuert die seitliche Verschiebung u_y und die Verdrehung ϕ_z an den Stabenden.

$k_z = 1,0$	Behinderung der seitlichen Verschiebung u_y an beiden Stabenden
$k_z = 0,7\ li$	Behinderung der Verschiebung u_y an beiden Enden und Einspannung um z links
$k_z = 0,7\ re$	Behinderung der Verschiebung u_y an beiden Enden und Einspannung um z rechts
$k_z = 0,5$	Behinderung der Verschiebung u_y und Einspannung um z an beiden Stabenden
$k_z = 2,0\ li$	Behinderung der Verschiebung u_y und Einspannung um z links; rechtes Ende frei
$k_z = 2,0\ re$	Behinderung der Verschiebung u_y und Einspannung um z rechts; linkes Ende frei

Kipplängenbeiwert k_w

Der Beiwert k_w steuert die Torsion um die Stablängsachse ϕ_x und die Verwölbung ω .

$k_w = 1,0$	Behinderung der Verdrehung um x an beiden Stabenden; beidseits wölbfrei
$k_w = 0,7\ li$	Behinderung der Verdrehung um x an beiden Enden und Wölbeinspannung links
$k_w = 0,7\ re$	Behinderung der Verdrehung um x an beiden Enden und Wölbeinspannung rechts
$k_w = 0,5$	Torsions- und Wölbeinspannung an beiden Stabenden
$k_w = 2,0\ li$	Behinderung der Verdrehung um x und der Verwölbung ω links; rechtes Ende frei
$k_w = 2,0\ re$	Behinderung der Verdrehung um x und der Verwölbung ω rechts; linkes Ende frei



Die Abkürzungen *li* und *re* stehen für die linke und rechte Seite. Mit *li* werden stets die Lagerungsbedingungen am Anfang des Stabes beschrieben.



Eine Gabelagerung kann mit den Beiwerten $k_z = 1,0$ (Stützung in y bei freier Verdrehung um z) und $k_w = 1,0$ (Behinderung der Torsion um x bei freier Verwölbung) modelliert werden. Da das interne Stabmodell nur vier Freiheitsgrade benötigt, erübrigen sich weitere Randbedingungen.

Biegedrillknicklänge L_w

Die in Spalte K angegebenen Längen fließen in die Ermittlung des idealen Biegedrillknickmoments M_{cr} ein.

Drilllänge L_T

Die Drillknicklänge wird für die Ermittlung der Torsionskraft $N_{cr,T}$ und der idealen Drillknickkraft $N_{cr,TF}$ benötigt.

Sollte die Biegedrillknicklänge L_w bzw. die Drillknicklänge L_T von der Stab- oder Knicklänge abweichen, können die Längen L_w und L_T in den Spalten K und L auch manuell definiert oder über die Schaltfläche grafisch festgelegt werden.

Kommentar

In der letzten Spalte können benutzerdefinierte Anmerkungen erfolgen, um z. B. die Ersatzstablängen zu erläutern.

Eingaben zuordnen Stäben Nr.

Das Kontrollfeld *Eingaben zuordnen Stäben Nr.* befindet sich unterhalb der *Einstellungen*-Tabelle. Wird das Häkchen gesetzt, gelten die nachfolgend getroffenen Einstellungen für ausgewählte – manueller Eintrag der Stabnummern oder grafische Auswahl über – bzw. *Alle* Stäbe. Diese Option ist hilfreich, um mehreren Stäben die gleichen Randbedingungen zuzuweisen (siehe auch DLUBAL-Blog <https://www.dlubal.com/blog/11109>).



Bereits getroffene Einstellungen können mit dieser Funktion nicht nachträglich geändert werden.

2.7 Effektive Längen - Stabsätze

Diese Maske erscheint, wenn in Maske 1.1 *Basisangaben* mindestens ein Stabsatz zur Bemessung vorgegeben wurde.

1.7 Effektive Längen - Stabsätze

Stabsatz Nr.	Knicken Möglich	Knicken um Achse y/u		Knicken um Achse z/v		Biegedrillknicken		L _T [m]	Kommentar	
		Möglich	k _{or,y/u}	Möglich	k _{or,z/v}	Möglich	k _{z/v}			k _w
1	☒	☒	1.000	2.000	☒	1.000	2.000	☒		2.000
2	☒	☒	1.000	2.000	☒	1.000	2.000	☐		2.000
3	☒	☒	1.000	6.000	☒	1.000	6.000	☐		6.000

Einstellungen - Stabsatz Nr. 1

☐ Stabsatz

Querschnitt: Stütze 1

Länge: L 2.000 m

Knicken möglich: ☒

Knicken um Achse u möglich: ☒

Knicklängenbeiwert: k_{or,u} 1.000

Knicklänge: L_{or,u} 2.000 m

Knicken um Achse v möglich: ☒

Knicklängenbeiwert: k_{or,v} 1.000

Knicklänge: L_{or,v} 2.000 m

Knicken um Achse y möglich: ☒

Knicklängenbeiwert: k_{or,y} 1.000

Knicklänge: L_{or,y} 2.000 m

Knicken um Achse z möglich: ☒

Knicklängenbeiwert: k_{or,z} 1.000

Knicklänge: L_{or,z} 2.000 m

Biegedrillknicken möglich: ☒

Drilllänge: L_T 2.000 m

Kommentar:

☐ Eingaben zuordnen den Sätzen Nr.:

☐ Alle

LS 100/6/0

Bild 2.23: Maske 1.7 Effektive Längen - Stabsätze



Das Konzept dieser Maske entspricht dem der vorherigen Maske 1.6 *Effektive Längen - Stäbe*. Hier können die effektiven Längen für das Knicken um die beiden Hauptachsen des Stabsatzes wie im [Kapitel 2.6](#) beschrieben eingegeben werden.

Die Parameter k_z und k_w für die Biegedrillknick- und Kippnachweise hingegen werden bei Stabsätzen über die Randbedingungen gesteuert, die in den Masken 1.8 und 1.9 festzulegen sind. Daher sind die Spalten I bis K in der Regel gesperrt.

Es besteht aber die Möglichkeit, das Stabilitätsverhalten von Stabsätzen nach der Methode zu untersuchen, die auch für Einzelstäbe verwendet wird. Hierzu bietet der Dialog *Details*, Register *Stabilität* drei Auswahlfelder für die *Stabähnliche Eingabe für Stabsätze* an (siehe [Bild 3.2](#), [Seite 34](#)). Damit lassen sich in Maske 1.7 die Biegedrillknick-Parameter auch für Stabsätze konventionell festlegen.



Die Ermittlung von x_s gemäß [1], Gl. (6.71) ist für die Biegedrillknickanalyse geknickter Stabsätze nicht zu empfehlen: Die Biegemomente am Anfang und Ende eines Stabsatzes können zu unzutreffenden Werten für x_s , ω_x und $\omega_x L_T$ und somit Ergebnissen führen, die nicht korrekt sind.

Stabähnliche Eingabe für Stabsätze

- ☐ Keine Stabähnliche Eingabe
- ☐ Für alle Stabsätze verwenden
- ☒ Nur für gerade Stabsätze verwenden
- ☐ Nur für gerade Stabsätze ohne seitliche Zwischenlager verwenden (einfache Träger, Kragträger)

2.8 Knotenlager - Stabsätze

Diese Maske wird angezeigt, wenn in Maske 1.1 *Basisangaben* mindestens ein Stabsatz zur Bemessung ausgewählt wurde.

Wird im Dialog *Details* (siehe Bild 3.2, Seite 34) die *Stabähnliche Eingabe für Stabsätze* ausgewählt, so wird die Maske 1.8 nicht angezeigt. Seitliche Zwischenstützungen können dann in Maske 1.4 über Teilungspunkte definiert werden.

Stabähnliche Eingabe für Stabsätze

- ☐ Keine Stabähnliche Eingabe
- ☐ Für alle Stabsätze verwenden
- ☒ Nur für gerade Stabsätze verwenden
- ☐ Nur für gerade Stabsätze ohne seitliche Zwischenlager verwenden (einfache Träger, Kragträger)

1.8 Knotenlager - Stabsatz Nr. 3 - Stabzug 3

Lager Nr.	A Knoten Nr.	B Lagerdrehung β [°]	C Seitenstützung u_y	D Einspannung φ_x [kNm/rad]	E φ_z	F Wölbeinspannung ω	G Exzentrizität e_x [mm]	H e_z [mm]	I Kommentar
1	34	0.00	☒	☒	☐	☐	0.0	0.0	
2	31	0.00	☒	☐	☐	☐	0.0	0.0	
3	28	0.00	☒	☐	☐	☐	0.0	0.0	
4	25	0.00	☒	12.340	☐	3.240	0.0	-60.0	
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Einstellungen - Knotenlager Nr. 25

☒ Stabsatz

Querschnitt: Stabzug 3
7 - TO 150/120/4/4/4/K

Knoten mit Lager: Nr. 25

Lagerdrehung: β 0.00 °

Seitenstützung in Y': u_y ☒

Einspannung um X': φ_x 12.340 kNm/rad

Einspannung um Z': φ_z ☐

Wölbeinspannung: ω 3.240 kNm³

Exzentrizität: e_x 0.0 mm

Exzentrizität: e_z -60.0 mm

Kommentar:

☐ Eingabe setzen für Auflager Nr.:

☒ Alle

Bild 2.24: Maske 1.8 Knotenlager - Stabsätze

Details...

Die Stabilitätsuntersuchung von Stabsätzen basiert auf den Lasten und Randbedingungen dieser Stabsätze. Dabei muss der Vergrößerungsfaktor α_{cr} des gesamten Stabsatzes ermittelt werden, um das ideale Biegedrillknickmoment M_{cr} zu bestimmen. Die Berechnung von α_{cr} ist zudem von den Einstellungen im Dialog *Details* abhängig (siehe Kapitel 3.1.2, Seite 34).

Zur Ermittlung des Faktors α_{cr} wird ein ebenes Stabwerk mit vier Freiheitsgraden je Knoten gebildet. Die Lagerungsbedingungen sind in Maske 1.8 festzulegen. Diese Tabelle ist auf den aktuellen Stabsatz (links im Navigator) bezogen.

Bei der Knotenlagerdefinition ist die Ausrichtung der Achsen im Stabsatz von Bedeutung. Das Programm prüft die Lage der Knoten und legt gemäß Bild 2.25 bis Bild 2.28 intern die Achsen der Knotenlager für Maske 1.8 fest.

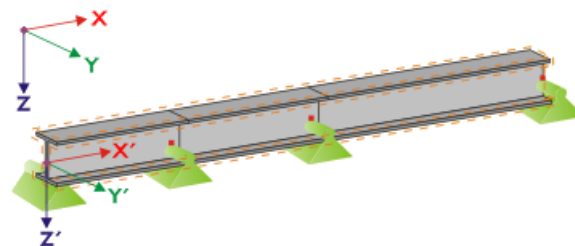


Bild 2.25: Hilfskoordinatensystem für Knotenlager – Gerader Stabsatz

Wenn alle Stäbe des Stabsatzes auf einer Geraden liegen, entspricht das lokale Koordinatensystem des ersten Stabes im Stabsatz dem Ersatzkoordinatensystem des Stabsatzes.

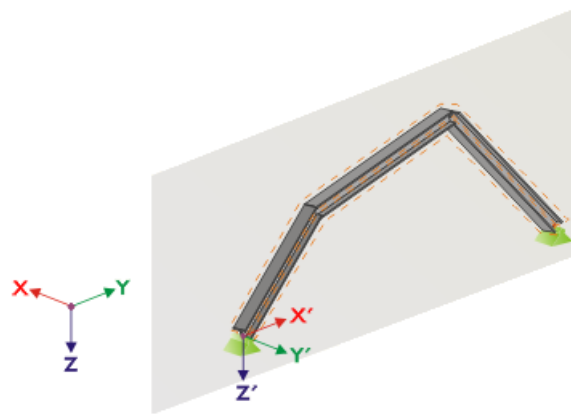


Bild 2.26: Hilfskoordinatensystem für Knotenlager – Stabsatz in vertikaler Ebene

Auch wenn Stäbe eines Stabsatzes nicht auf einer Geraden liegen, so müssen sie sich trotzdem in einer Ebene befinden. In Bild 2.26 ist dies eine vertikale Ebene. In diesem Fall ist die X' -Achse horizontal und in Richtung der Ebene ausgerichtet. Die Y' -Achse ist ebenfalls horizontal und rechtwinklig zur X' -Achse definiert. Die Z' -Achse zeigt senkrecht nach unten.

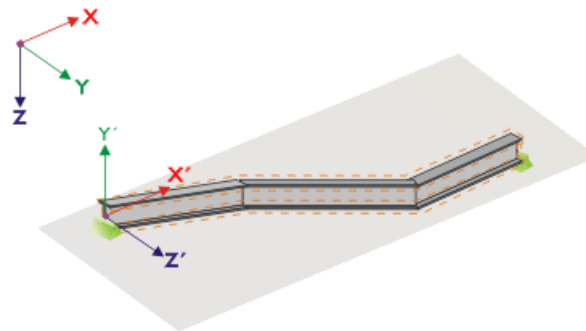


Bild 2.27: Hilfskoordinatensystem für Knotenlager – Stabsatz in horizontaler Ebene

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

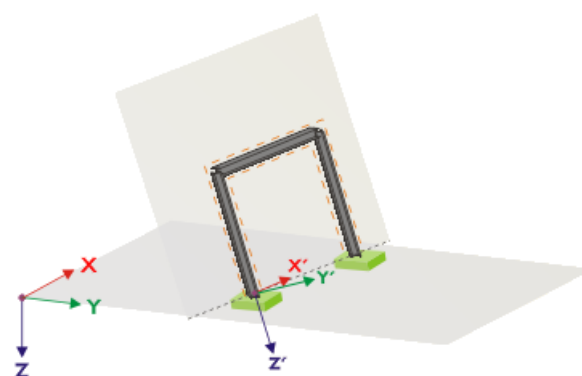


Bild 2.28: Hilfskoordinatensystem für Knotenlager – Stabsatz in geneigter Ebene

Bild 2.28 zeigt den allgemeinen Fall eines geknickten Stabsatzes: Die Stäbe liegen nicht auf einer Geraden, sondern in einer geneigten Ebene. Die Definition der X' -Achse ergibt sich aus der Verschnidungslinie zwischen geneigter Ebene und horizontaler Ebene. Die Y' -Achse ist dann rechtwinklig zur X' -Achse und senkrecht zur geneigten Ebene ausgerichtet. Die Z' -Achse wird rechtwinklig zur X' - und Y' -Achse definiert.

2.9 Stabendgelenke - Stabsätze

Diese Maske wird angezeigt, wenn in Maske 1.1 *Basisangaben* mindestens ein Stabsatz zur Bemessung ausgewählt wurde. Hier können Gelenke für Stäbe im Stabsatz definiert werden, die konstruktionsbedingt die in Maske 1.8 gesperrten Freiheitsgrade nicht als Schnittgrößen übertragen. Diese Tabelle ist auf den aktuellen Stabsatz (links im Navigator) bezogen.

Wird im Dialog *Details* (siehe Bild 3.2, Seite 34) die *Stabähnliche Eingabe für Stabsätze* ausgewählt, so wird die Maske 1.9 nicht angezeigt. Die seitlichen Zwischenstützungen können dann in Maske 1.4 durch Teilungspunkte definiert werden.

Stabähnliche Eingabe für Stabsätze

- ☐ Keine Stabähnliche Eingabe
- ☐ Für alle Stabsätze verwenden
- ☒ Nur für gerade Stabsätze verwenden
- ☐ Nur für gerade Stabsätze ohne seitliche Zwischenlager verwenden (einfache Träger, Kragträger)

1.9 Stabendgelenke - Stabsatz Nr. 3 - Stabzug 3

Gelenk Nr.	A	B	C	D	E	F	G
	Stab Nr.	Stab-Seite	Quergelenk V_y	Momentengelenk M_T	M_z [kNm/rad]	Wölbelenk M_ω	Kommentar
1	53	Anfang	☐	☒	☐	☐	
2	63	Ende	☐	☐	15.000	☐	
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Einstellungen - Stab Nr. 63

☒ Stabsatz

Querschnitt: Stabzug 3

Stab mit Stabendgelenk: Nr. 63

Stabseite: Seite Ende

Querkraftgelenk in Richtung y: V_y ☐

Torsionsgelenk: M_T ☐

Momentengelenk um Achse z: M_z 15.000 kNm/rad

Wölbelenk: M_ω ☐

Kommentar:

☐ Eingabe setzen für Gelenk Nr.:

☒ Alle

Bild 2.29: Maske 1.9 Stabendgelenke - Stabsätze

Stab-Seite

Anfang

Ende

Beide

In Spalte B ist anzugeben, an welcher *Stabseite* das Gelenk vorliegt bzw. ob beide Stabseiten gelenkig angeschlossen sind.

In den Spalten C bis F können die Gelenke oder Federkonstanten definiert werden, um das Stabsatzmodell mit den Lagerungsbedingungen in Maske 1.8 abzugleichen.

2.10 Gebrauchstauglichkeitsparameter

Die letzte Eingabemaske steuert verschiedene Vorgaben für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit. Sie steht nur dann zur Verfügung, wenn im Register *Gebrauchstauglichkeit* der Maske 1.1 entsprechende Eingaben vorgenommen wurden (siehe [Kapitel 2.1.2, Seite 11](#)).

1.10 Gebrauchstauglichkeitsparameter

Nr.	A Beziehen auf	B Stab Nr.	C Manuell	D Bezugslänge L [m]	E Richtung	F Überhöhung w_c [mm]	G Trägertyp	H Kommentar
1	Stabsatz	1	☒	2.580	u, v	0.0	Träger	
2	Stabsatz	2	☒	2.120	y, z	0.0	Träger	
3	Stabsatz	3	☐	6.000	y, z	0.0	Träger	
4	Stab	89	☐	1.000	u, v	0.0	Träger	
5	Stab	43	☐	2.667	y, z	0.0	Träger	
6	Stab	68	☐	2.667	y, z	0.0	Träger	
7	Stab	31	☐	1.000	y, z	0.0	Kragträger Ende frei	
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								

Bild 2.30: Maske 1.10 Gebrauchstauglichkeitsparameter

Beziehen auf

Stab

Stab

Stabliste

Stabsatz

Richtung

y, z

y

z

y, z

Trägertyp

Träger

Träger

Kragträger Anfang frei

Kragträger Ende frei

Details...

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

In Spalte B sind die Nummern der nachzuweisenden Stäbe oder Stabsätze anzugeben bzw. über die Schaltfläche  im RFEM-Arbeitsfenster grafisch auszuwählen. Die *Bezugslänge* erscheint dann automatisch in Spalte D. Dabei werden die Längen der Stäbe, Stabsätze oder Stablisten voreingestellt. Die Werte können nach Ankreuzen der Spalte C *Manuell* angepasst werden.

In Spalte E ist die maßgebende *Richtung* für den Verformungsnachweis festzulegen. Es stehen die Richtungen der lokalen Stabachsen y und z (bzw. u und v bei unsymmetrischen Profilen) zur Auswahl.

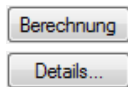
Über Spalte F kann eine *Überhöhung* w_c berücksichtigt werden.

Für den korrekten Ansatz der Grenzverformungen ist der *Trägertyp* von entscheidender Bedeutung. In Spalte G kann ausgewählt werden, ob ein Träger oder Kragträger vorliegt und welches Ende ohne Lager ist.

Die Vorgabe im Dialog *Details*, Register *Gebrauchstauglichkeit* steuert, ob die Verformungen auf das unverformte Ausgangssystem oder die verschobenen Stab- bzw. Stabsatzenden bezogen werden (siehe [Bild 3.3, Seite 37](#)).

3 Berechnung

3.1 Detailsinstellungen



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

Der Dialog *Details* gliedert sich in folgende Register:

- Tragfähigkeit
- Stabilität
- Gebrauchstauglichkeit
- Diverse

3.1.1 Tragfähigkeit

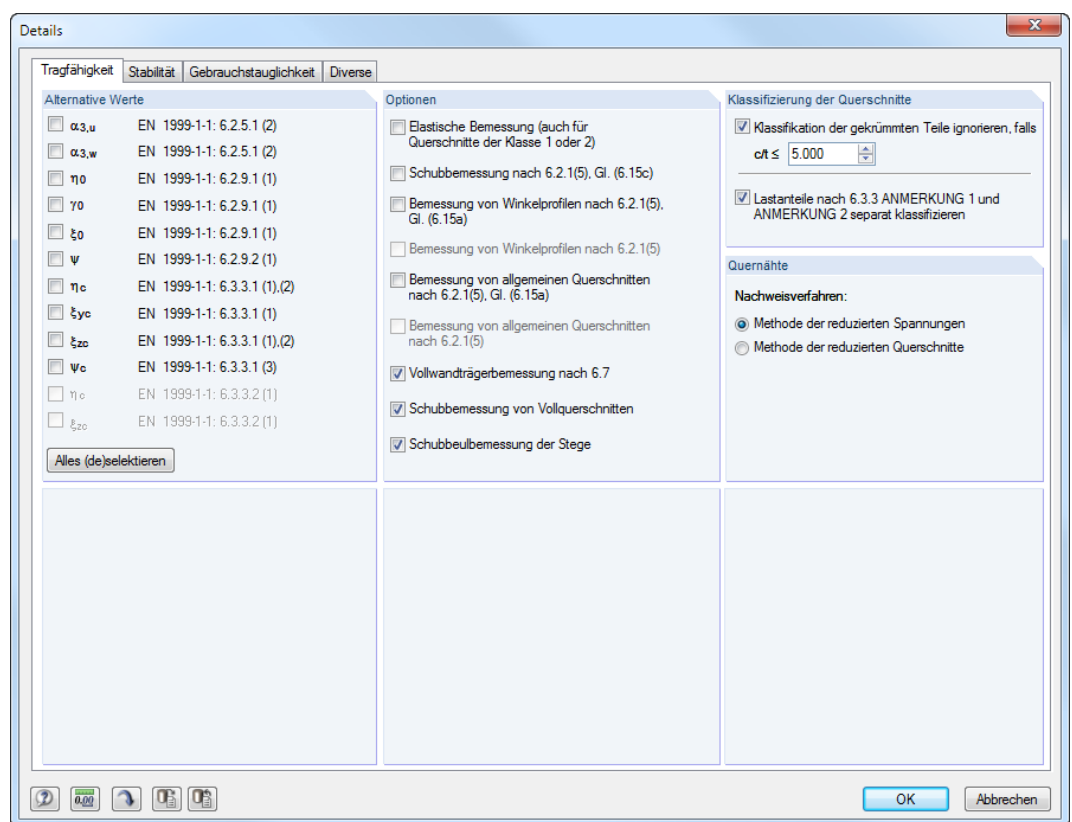


Bild 3.1: Dialog *Details*, Register *Tragfähigkeit*

Alternative Werte

In diesem Abschnitt sind Faktoren aufgelistet, die nach EN 1999-1-1 unterschiedlich ermittelt werden können. Ist ein Kontrollfeld nicht angehakt, so wird der Standardwert verwendet. Die relevanten Normabschnitte sind jeweils angegeben.

Mit der Schaltfläche [Alles (de)selektieren] lassen sich alle Häkchen in der Liste auf einmal setzen oder entfernen.

Optionen

Querschnitte, die der Klasse 1 oder 2 zugeordnet sind, werden von RF-ALUMINIUM plastisch bemessen. Falls dies nicht gewünscht ist, kann die *Elastische Bemessung* auch für diese Querschnittsklassen aktiviert werden.

Es ist eine elastische *Schubbemessung* möglich, sodass der Querkraftnachweis nicht auf Basis der plastischen Querkrafttragfähigkeit (Voreinstellung), sondern der Schubspannungen geführt wird.

Die elastische *Bemessung von Winkelprofilen* kann aktiviert werden, um Winkel gemäß [1], Abschnitte 6.2.5 bis 6.2.10 mit den Spannungen anstelle der Tragfähigkeitswerte (Voreinstellung) nachzuweisen. Dabei werden die Faktoren ξ_0 , η_0 , γ_0 und ω_0 zu 1,00 gesetzt.

Optional kann eine elastische *Bemessung von allgemeinen Querschnitten* auf Basis von Spannungen gemäß [1], Abschnitte 6.2.5 bis 6.2.10 durchgeführt werden. Dies betrifft einige Querschnitte der RFEM-Bibliothek oder aus DUENQ. Die Bemessung basiert dann nicht auf den Tragfähigkeiten (Voreinstellung), sondern auf den Spannungen. Ferner kann die *Bemessung allgemeiner Querschnitte nach 6.2.1(5)* aktiviert werden. Dabei werden die Fließspannungen gemäß VON MISES in jedem Spannungspunkt berechnet. Die größte Ausnutzung nach [1], Gleichung (6.15) wird dann benutzt, um den maßgebenden Spannungspunkt und den endgültigen Nachweisquotienten für jede x-Stelle des Stabes zu bestimmen. Der Parameter C kann im Dialog *Parameter des Nationalen Anhangs* eingestellt werden (siehe Kapitel 2.1.3, Seite 12).

Die *Vollwandträgerbemessung nach 6.7* eignet sich für Querschnitte, die die Voraussetzungen eines Vollwandträgers erfüllen und die nicht als „allgemeine“ Profile gekennzeichnet sind. RF-ALUMINIUM führt jedoch keine Nachweise der Längs- und Quersteifen.

Die Option *Schubbemessung von Vollquerschnitten* ermöglicht eine Querkraft- und Biegebemessung massiver Querschnitte. Ist das Häkchen nicht gesetzt, werden Biegemomente, Torsionsmoment und Querkräfte vernachlässigt, auch wenn sie in RFEM berechnet wurden.

Bei einer *Schubbeulbemessung der Stege* erfolgen die Nachweise nach [1], Abschnitte 6.5.5 und 6.7.4.

Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M der Materialien werden im Dialog *Nationaler Anhang* verwaltet (siehe Kapitel 2.1.3, Seite 12).

Klassifizierung der Querschnitte

Die für Klassifizierung relevanten Breiten-Dickenverhältnisse können bei Profilen mit DUENQ-Bogenelementen zu Problemen führen, da RF-ALUMINIUM nur unausgesteifte Querschnittsteile berücksichtigt (siehe [1], Bild 6.1 (a)). Mit dem Kontrollfeld *Klassifikation der gekrümmten Teile* ignorieren lassen sich kurze Ausrundungsbögen von der Klassifizierung ausklammern, falls ein benutzerdefiniertes c/t -Verhältnis unterschritten wird. Längsrippen, Abkantungen oder Wulste haben dann keinen Einfluss auf die Nachweise.

Für die Klassifizierung werden die *Lastanteile nach 6.3.3 ANMERKUNG 1 und ANMERKUNG 2* getrennt untersucht. Diese Voreinstellung kann bei Bedarf deaktiviert werden.

Quernähte

Sind Stäbe abschnittsweise miteinander verschweißt, so führen die Quernähte zu einer Reduktion der Festigkeit in der Wärmeeinflusszone (WEZ). Zur Berücksichtigung der abgeminderten Festigkeit stehen gemäß [1], Abschnitt 6.1.6.2, ANMERKUNG 2 zwei Alternativen zur Auswahl: Bei der *Methode der reduzierten Spannungen* werden die Festigkeitswerte $f_{o,haz}$ und $f_{u,haz}$ gemäß [1], Tabelle 3.2 reduziert. Die *Methode der reduzierten Querschnitte* hingegen verwendet für die Nachweise abgeminderte Querschnittswerte (Fläche A, Widerstandsmomente W, Trägheitsmomente I).

Die Parameter der Quernähte können in Maske 1.5 *Quernähte* festgelegt werden.

3.1.2 Stabilität

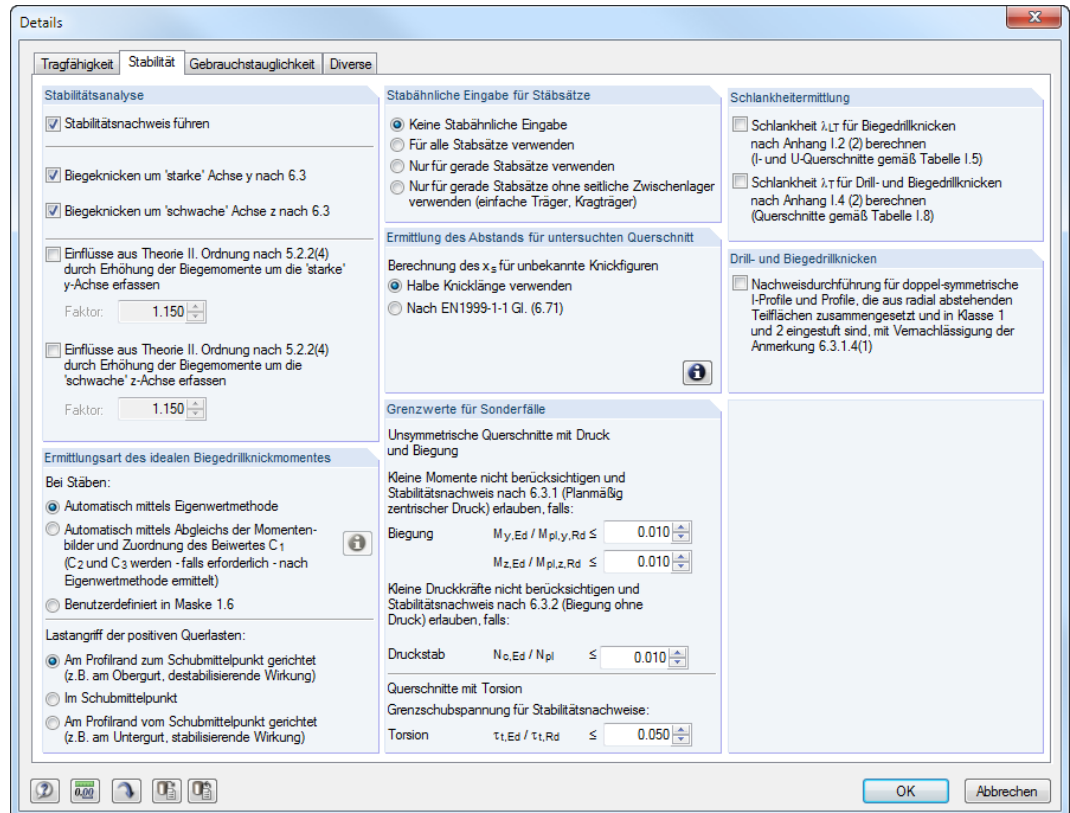


Bild 3.2: Dialog *Details*, Register *Stabilität*

Stabilitätsanalyse

Das Kontrollfeld *Stabilitätsnachweis führen* steuert, ob neben den Querschnittsnachweisen auch eine Stabilitätsanalyse erfolgt. Wird der Haken entfernt, so werden die Eingabemasken 1.4 bis 1.9 nicht angezeigt.

Bei aktivem Kontrollfeld können die Achsen festgelegt werden, die für die Untersuchung auf *Biegeknicken* relevant sind. Zusätzlich lassen sich die *Einflüsse aus Theorie II. Ordnung* gemäß [1] Abschnitt 5.2.2 (4) mit einem manuell definierbaren Faktor für Biegemomente berücksichtigen. So können z. B. bei einem Rahmen, dessen maßgebliche Knickfigur das seitliche Ausweichen darstellt, die Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung ermittelt und durch geeignete Faktoren vergrößert werden. Die Erhöhung der Biegemomente wirkt sich nicht auf den Biegeknicknachweis nach [1] Abschnitt 6.3.1 aus, der mit den Normalkräften erfolgt.

Ermittlungsart des idealen Biegedrillknickmomentes

Das kritische ideale Moment wird gemäß Voreinstellung *Automatisch mittels Eigenwertmethode* ermittelt. Dabei benutzt das Programm ein finites Stabmodell, um M_{cr} unter Berücksichtigung folgender Punkte zu bestimmen:

- Abmessungen des Bruttoquerschnitts
- Lastart und Lage des Lastangriffspunkts
- Tatsächliche Momentenverteilung
- Seitliche Zwängungen (über Lagerbedingungen)
- Tatsächliche Randbedingungen

Die Freiheitsgrade lassen sich über die Beiwerte k_z und k_w steuern (siehe [Kapitel 2.6, Seite 23](#)).



Bei der Ermittlung des idealen kritischen Moments *Automatisch mittels Abgleich der Momentenbilder* wird der Beiwert C_1 anhand des Momentenverlaufs bestimmt. Die Last- und Momentenbilder sind über die [Info]-Schaltfläche in einem Dialog einsehbar. Die Beiwerte C_2 und C_3 werden – falls erforderlich – automatisch nach Eigenwertmethode bestimmt.

H	I	J	K	L
Biegedrillknicken				
Möglich	k_z	M_{cr} [kNm]	L_w [m]	L_T [m]
☒	1.0	100.00	6.059	6.059
☒	1.0	100.00	3.843	3.843
☒	1.0	100.00	6.700	6.700
☒	1.0	100.00	6.700	6.700

M_{cr} benutzerdefiniert

Mit der Option *Benutzerdefiniert in Maske 1.6* wird die Überschrift der Spalte J in Maske 1.5 in M_{cr} geändert, sodass das ideale Biegedrillknickmoment direkt eingetragen werden kann.

Sind Querlasten vorhanden, so ist es wichtig zu definieren, wo diese Kräfte am Profil wirken: Je nach *Lastangriff* können Querlasten stabilisierend oder destabilisierend wirken und somit das ideale kritische Moment entscheidend beeinflussen.

Stabähnliche Eingabe für Stabsätze



Das Stabilitätsverhalten von Stabsätzen kann nach vier Verfahren untersucht werden. Grundsätzlich ist die *Stabähnliche Eingabe* nur für gerade Stabsätze zu empfehlen.

Mit der Voreinstellung *Keine stabähnliche Eingabe* wird eine allgemeine Analyse geführt, die auf dem Faktor α_{cr} basiert. In Maske 1.8 sind die Lagerungsbedingungen für jeden einzelnen Stabsatz anzugeben. Die Faktoren k_z und k_w der Maske 1.7 sind nicht relevant.

Die Option *Für alle Stabsätze verwenden* ermöglicht es, Stabsätze im Hinblick auf das Stabilitätsverhalten wie Einzelstäbe zu analysieren. Dieser Ansatz kann genutzt werden, wenn jeder Stabsatz einem Einzelstabmodell entspricht.

Die stabähnliche Eingabe lässt sich *Nur für gerade Stabsätze verwenden*, die den gleichen Querschnitt aufweisen (z. B. Durchlaufträger). Die Faktoren k_z und k_w , die in Maske 1.7 festzulegen sind, werden dann für die Ermittlung der Lagerungsbedingungen β , u_y , ϕ_x , ϕ_z und ω benutzt. Die Masken 1.8 und 1.9 werden nicht angezeigt.

Die letzte Option beschränkt die stabähnliche Eingabe auf *Gerade Stabsätze ohne seitliche Zwischenlager* gemäß RFEM-Definition: Es werden nur Stabsätze für die stabähnliche Eingabe berücksichtigt, die RFEM-Lager an den Enden besitzen. Diese Option eignet sich für die Bemessung von z. B. Einfeldträgern oder Kragarmen. Die Masken 1.8 und 1.9 werden nicht angezeigt. Träger, die seitlich an Zwischenknoten angeschlossen sind, können nicht erfasst werden.

Ermittlung des Abstands für untersuchten Querschnitt

Der Abstand x_s ist in [1], Bild 6.14 festgelegt. Er drückt den Abstand zwischen dem untersuchten Querschnitt und einem Lager oder Wendepunkt der elastischen Biegeknicklinie infolge reiner Druckkraft aus. Man kann konservativ die *Halbe Knicklänge verwenden* oder x_s gemäß [1], Gleichung (6.71) für Stäbe mit Endmomenten ermitteln (Querlasten sind nicht zulässig). Da die Gleichung nur einen einzigen Wert für x_s liefert, wird dieser Wert für jeden Stabsabschnitt verwendet.

Die Anwendung von [1], Gl. (6.71) beschränkt sich auf lineare Momentenverläufe im Stab. Ferner muss die rechte Gleichungsseite einen Wert zwischen $-1,0$ und $1,0$ liefern, da die linke Seite einen Kosinus darstellt. Ist eine der beiden Bedingungen nicht erfüllt, wird die Gleichung nicht angewandt: x_s wird dann als halbe Knicklänge für den Abschnitt angenommen.

In der aktuellen Programmversion werden keine bekannten Knickfiguren vorausgesetzt. Die Ermittlung von x_s wie für übliche Knickfiguren auf der Grundlage von Biegemomenten und Verdrehungen ist nicht implementiert.

Grenzwerte für Sonderfälle

Um unsymmetrische Querschnitte auf planmäßig zentrischen Druck nach [1] Abschnitt 6.3.1 nachzuweisen, können durch die Einstellungen in diesem Abschnitt *Kleine Momente* um die starke und schwache Achse vernachlässigt werden.

Analog lassen sich für den reinen Nachweis auf Biegung nach [1] Abschnitt 6.3.2 *Kleine Druckkräfte* ausblenden, indem ein Grenzverhältnis von $N_{c,Ed}$ zu N_{pl} festgelegt wird.

Planmäßige *Torsion* ist in EN 1999-1-1 nicht klar geregelt. Ist eine Torsionsbeanspruchung vorhanden, die das per Voreinstellung definierte Schubspannungsverhältnis von 5 % nicht überschreitet, wird sie für den Stabilitätsnachweis vernachlässigt; es werden Ergebnisse für Biegeknicken und Biegedrillknicken ausgegeben.



Wird eine der Grenzen in diesem Abschnitt überschritten, erscheint ein Hinweis in der Ergebnismaske. Es erfolgt keine Stabilitätsanalyse. Die Querschnittsnachweise werden unabhängig davon geführt. Diese Grenzeinstellungen sind nicht Teil der EN 1999-1-1 oder eines Nationalen Anhangs. Eine Änderung der Grenzen liegt im Verantwortungsbereich des Anwenders.

Schlankheitsermittlung

Anhang I der EN 1999-1-1 bietet alternative, vereinfachte Verfahren zur Berechnung der bezogenen Schlankheiten für Biegedrillknicken ohne Normalkraft (Anhang I.2, Abschnitt 2) sowie Drillknicken und Biegedrillknicken mit Normalkraft (Anhang I.4, Abschnitt 2). Diese Alternativverfahren können über die Kontrollfelder aktiviert werden.



Die bezogenen Schlankheiten von ungleichschenkligen Winkeln, Doppelwinkeln, Kreuzprofilen, Querschnitten mit Kehlnähten und Wülsten und allgemeinen Profile werden nie nach den Alternativverfahren ermittelt.

Drill- und Biegedrillknicken

In Abschnitt 6.3.1.4(1) werden Profiltypen genannt, für die die Untersuchung von Drill- und Biegedrillknicken unterbleiben kann: Hohlprofile, doppelsymmetrische I-Profile und Profile, die aus radial abstehenden Teilflächen zusammengesetzt sind (Winkel, T-Profile) und in Klasse 1 oder 2 eingestuft sind. Das Kontrollfeld ermöglicht es, trotzdem Stabilitätsnachweise für solche Profile zu führen – mit Ausnahme von Hohlprofilen, für die generell kein Stabilitätsnachweis erfolgt.

3.1.3 Gebrauchstauglichkeit

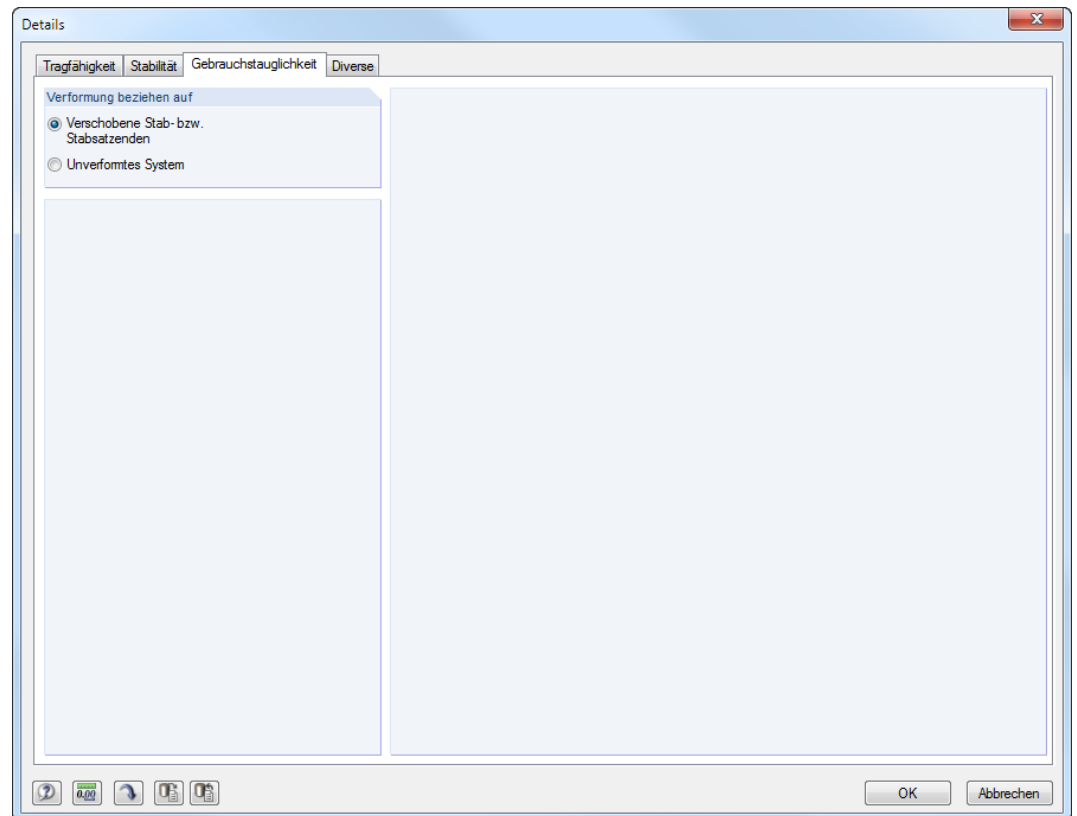


Bild 3.3: Dialog *Details*, Register *Gebrauchstauglichkeit*

Verformung beziehen auf

Die Auswahlfelder steuern, ob die maximalen Verformungen auf die verschobenen Stab- bzw. Stabsatzenden (Verbindungsline zwischen Anfangs- und Endknoten des verformten Systems) oder auf das unverformte Ausgangssystem bezogen werden. In der Regel sind die Verformungen relativ zu den Verschiebungen im Gesamtsystem nachzuweisen.

Die Grenzverformungen können im Dialog *Nationaler Anhang* überprüft und ggf. angepasst werden (siehe [Bild 2.9](#), [Seite 12](#)).

3.1.4 Diverse

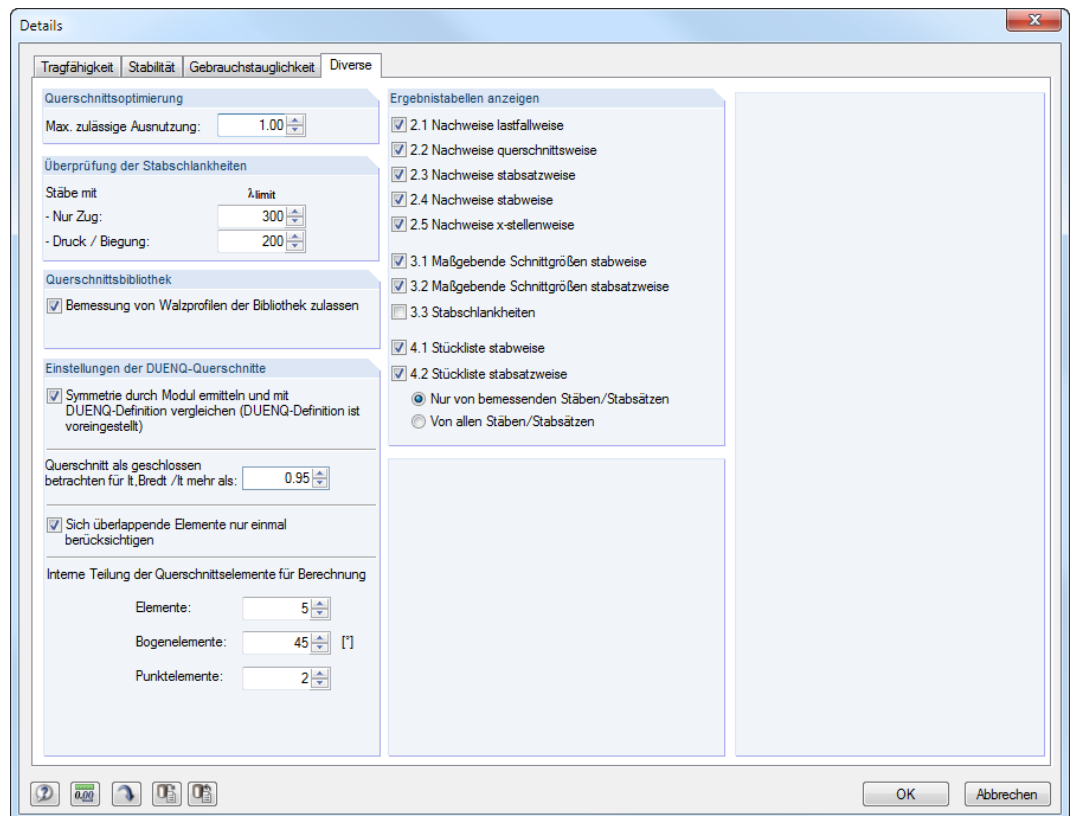


Bild 3.4: Dialog Details, Register Diverse

Querschnittsoptimierung

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

Überprüfung der Stabschlankheiten

Die beiden Eingabefelder regeln die Grenzwerte λ_{grenz} zur Kontrolle der Stabschlankheiten. Es sind separate Vorgaben für Stäbe mit reinen Zugkräften und für Stäbe mit Biegung und Druck möglich.

Der Vergleich der Grenzwerte mit den tatsächlichen Stabschlankheiten erfolgt in Maske 3.3. Diese Ergebnismaske ist nach der Berechnung verfügbar (siehe [Kapitel 4.8, Seite 48](#)), wenn das entsprechende Häkchen im Abschnitt *Ergebnistabellen anzeigen* gesetzt ist.

Querschnittsbibliothek

In RF-ALUMINIUM ist auch die Bemessung von Profilen möglich, die eigentlich aus Stahl gefertigt sind (Walzprofile). Wird das Häkchen entfernt, so werden nur Querschnitte der Kategorien *Parametrische - Dünnwandig*, *Parametrische - Massiv* oder *Eigene Profile* nachgewiesen.

Einstellungen der DUENQ-Querschnitte

Mit dieser Option wird gewährleistet, dass der Querschnitt symmetrisch bezüglich des Hauptachsensystems ist. Einige DUENQ-Profile oder allgemeine RFEM-Querschnitte erfüllen u. U. nicht die Voraussetzungen der RF-ALUMINIUM-Bemessungsroutine, da die y-Achse stets als starke und die z-Achse als schwache Achse angenommen wird. Falls z. B. $I_y < I_z$ ist oder aus der Hauptachsenschere hervorgeht, dass die z-Achse die Hauptachse darstellt, können die Ergebnisse von RF-ALUMINIUM zu Fehlinterpretationen führen.

Mit dem Kontrollfeld kann die *Symmetrie* allgemeiner Profile überprüft werden – unabhängig von der DUENQ-Bewertung. Falls die beiden Verfahren unterschiedliche Ergebnissen liefern, erscheint eine Fehlermeldung.

Für geschlossene Querschnitte gelten nicht nur andere Dehngrenzen und Zugfestigkeiten als für offene Querschnitte (siehe [1], Tabelle 3.2b), sondern es sind z. B. gemäß [1], Abschnitt 6.2.9.1 und 6.2.9.2 auch verschiedene Nachweisformen vorgesehen. Wenn der Anteil des Bredtschen Torsionsträgheitsmoments $I_{t,Bredt}$ am Torsionsträgheitsmoment I_t größer ist als der eingestellte Wert, wird der *Querschnitt als geschlossen* angenommen. In diesem Fall kann auch die Möglichkeit von Drillknicken oder Biegedrillknicken vernachlässigt werden (siehe [1], Abschnitt 6.3.1.4 ANMERKUNG).

Die Interne Teilung der Querschnittselemente wirkt sich auf die Rechenzeit zur Ermittlung der Querschnittskennwerte aus. Für Bogenelemente ist der Winkel in Grad [°] anzugeben.

Ergebnistabellen anzeigen

Hier kann ausgewählt werden, welche Ergebnismasken einschließlich Stückliste angezeigt werden sollen. Die Masken sind im [Kapitel 4 Ergebnisse](#) beschrieben.

Die Maske 3.3 *Stabschlankheiten* ist standardmäßig deaktiviert.

3.2 Start der Berechnung

Berechnung

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

RF-ALUMINIUM sucht nach den Ergebnissen der zu bemessenden Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen. Werden diese nicht gefunden, startet zunächst 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 Lastkombinationen aufgelistet.

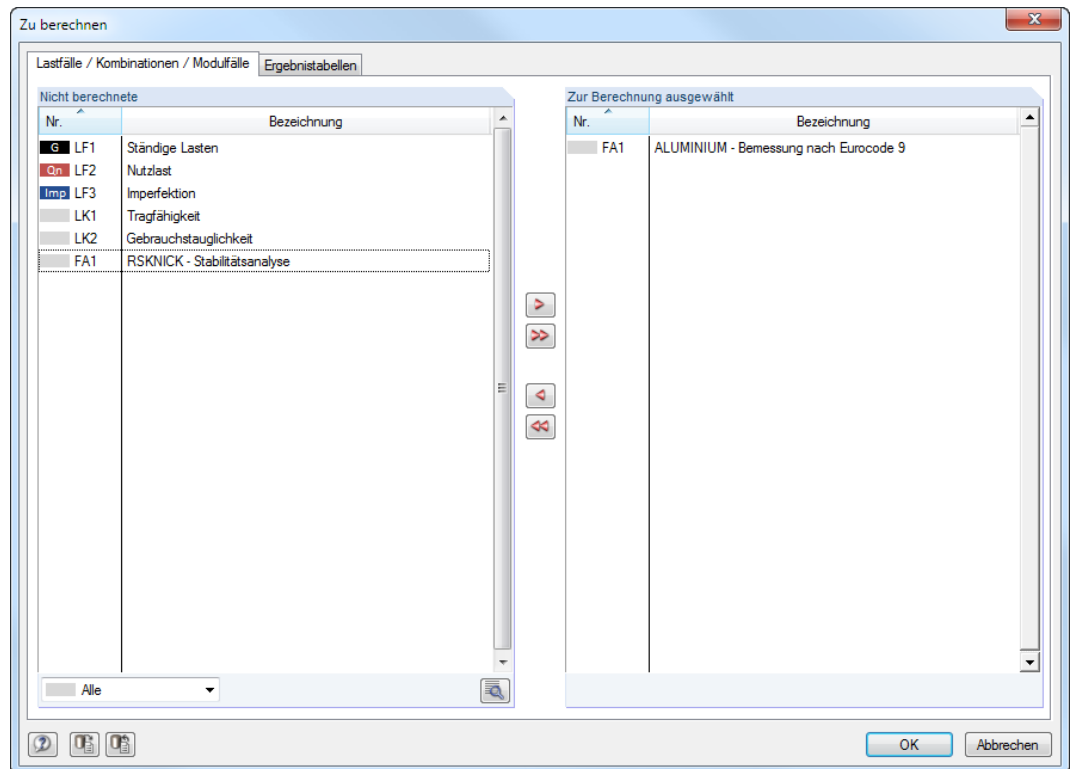
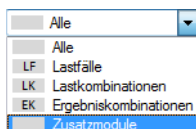


Bild 3.5: Dialog *Zu berechnen*



Falls die RF-ALUMINIUM-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-ALUMINIUM-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 RF-ALUMINIUM-Fall ein und klicken dann die Schaltfläche [Ergebnisse anzeigen] an.

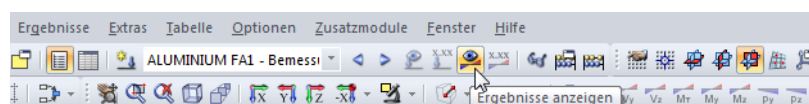


Bild 3.6: Direkte Berechnung eines RF-ALUMINIUM - Bemessungsfalls in RFEM

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

4 Ergebnisse

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

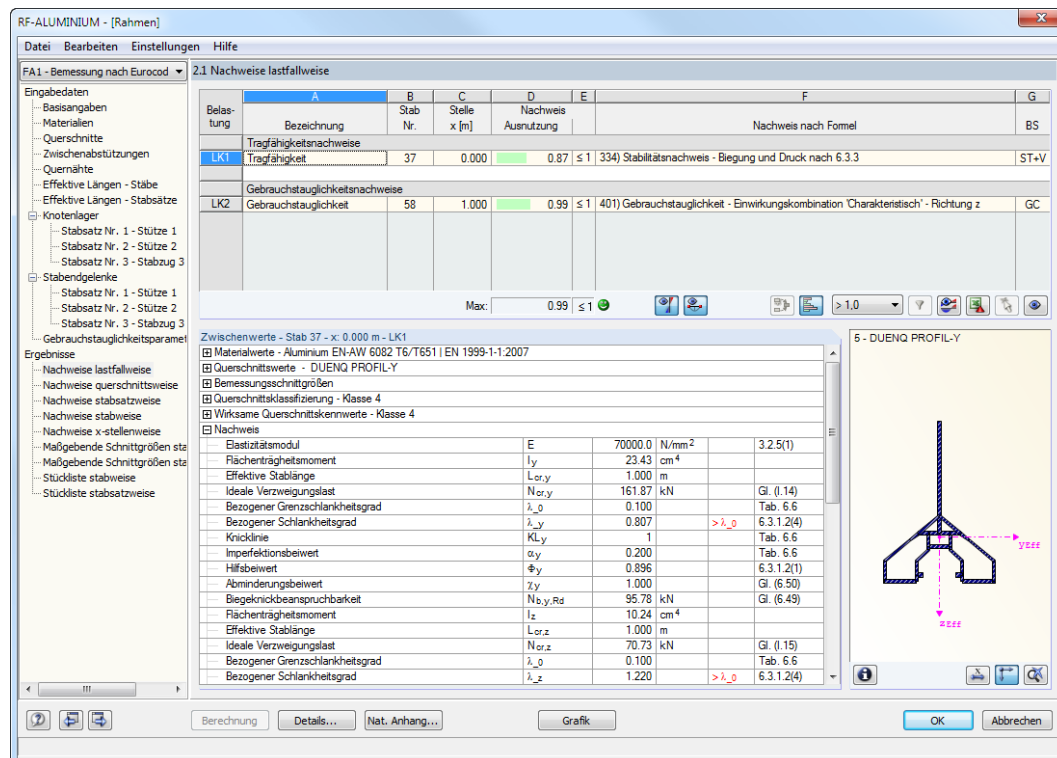


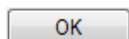
Bild 4.1: Ergebnismaske mit Nachweisen und Zwischenwerten

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, Maske 3.3 gibt Aufschluss über die Stabschlankheiten. 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-ALUMINIUM wird beendet und es erfolgt die Rückkehr in das Hauptprogramm.

Das Kapitel 4 *Ergebnisse* stellt die Ergebnismasken der Reihe nach vor. Die Auswertung und Überprüfung der Resultate ist im [Kapitel 5 Ergebnisauswertung](#) ab Seite 51 beschrieben.

4.1 Nachweise lastfallweise



Der obere Teil der Maske bietet eine nach Lastfällen, Last- und Ergebniskombinationen geordnete Zusammenfassung der maßgebenden Nachweise. Die Liste ist zudem in Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise untergliedert.

Der untere Teil enthält detaillierte Angaben zu den Querschnittswerten, Bemessungsschnittgrößen und Nachweisparametern des Lastfalls, der im oberen Teil markiert ist.

2.1 Nachweise lastfallweise

Belastung	A Bezeichnung	B Stab Nr.	C Stelle x [m]	D Nachweis Ausnutzung	E	F Nachweis nach Formel	G BS
	Tragfähigkeitsnachweise						
LK1	1.35*LF1	36	1.000	0.76	≤ 1	334) Stabilitätsnachweis - Biegung und Druck nach 6.3.3	ST+V
LK2	1.35*LF1 + 1.5*LF2	37	0.000	0.90	≤ 1	334) Stabilitätsnachweis - Biegung und Druck nach 6.3.3	ST+V
LK4	LF1 + LF2	37	0.000	0.58	≤ 1	193) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung, Schub- und Normalkraft nach 6.2.10 und 6.2	ST+V
	Gebrauchstauglichkeitsnachweise						
EK2	GZG - Charakteristisch / Selt	58	1.000	0.98	≤ 1	401) Gebrauchstauglichkeit - Einwirkungskombination 'Charakteristisch' - Richtung z	GC

Max: 0.98 ≤ 1

Zwischenwerte - Stab 37 - x: 0.000 m - LK4

Querschnittsklassifizierung - Klasse 4			
Wirksame Querschnittskennwerte - Klasse 4			
Nachweis			
Charakteristische Dehngrenze	f_{td}	260.0	N/mm ²
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{M1}	1.100	
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{M2}	1.250	
Normalkraft	N_{Ed}	-0.50	kN
Querschnittsfläche	A	4.90	cm ²
Maßgebende Querschnittsfläche	A_{eff}	4.05	cm ²
Normalkraftbeanspruchbarkeit	N_{Rd}	95.78	kN
Exponent	ψ	1.000	
Moment	$M_{y,Ed}$	0.01	kNm
Formbeiwert	α_y	2.100	
Plastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnittes	$W_{pl,y}$	8.00	cm ³
Elastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnittes	$W_{el,y}$	3.81	cm ³
Momentenbeanspruchbarkeit	$M_{o,y,Rd}$	1.89	kNm
Momentenbeanspruchbarkeit	$M_{y,Rd}$	1.89	kNm
Querkraft	$V_{y,Ed}$	0.99	kN
Schubfläche	$A_{v,y}$	2.63	cm ²
Querkraftbeanspruchbarkeit	$V_{y,Rd}$	35.85	kN
Kriterium $V_{y,Ed} / V_{y,Rd}$	v_y	0.028	≤ 0.5
Moment	$M_{z,Ed}$	0.47	kNm

5 - DUENQ PROFIL-Y

Bild 4.2: Maske 2.1 Nachweise lastfallweise

Bezeichnung

Zur Information werden die Bezeichnungen der Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen angezeigt, für die die Nachweise geführt wurden.

Stab Nr.

Es wird jeweils die Nummer des Stabes angegeben, der die höchste Ausnutzung für die bemessene Einwirkung 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 (RFEM-Dialog *Berechnungsparameter*, Register *Globale Berechnungsparameter*)
- Extremwerte der Schnittgrößen

Nachweis

In den Spalten D und E werden die Nachweisbedingungen gemäß EN 1999-1-1 ausgegeben.

Max: 0.98 ≤ 1

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

Nachweis nach Formel

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

BS

Die letzte Spalte gibt Aufschluss über die nachweisrelevanten Bemessungssituationen (BS): *ST+V* bzw. *AU* für Tragfähigkeit oder eine der drei Bemessungssituationen für Gebrauchstauglichkeit (*GC*, *GH*, *GQ*) gemäß Vorgabe in Maske 1.1 *Basisangaben* (siehe Bild 2.7, Seite 11).

4.2 Nachweise querschnittsweise

2.2 Nachweise querschnittsweise

Quersch. Nr.	Stab Nr.	Stelle x [m]	Last- fall	D Nachweis Ausnutzung	E	F Nachweis nach Formel
3	IS 80/46/4/6/0					
	64	0.000	LK2	0.20	≤ 1	106) Querschnittsnachweis - Biegung um Achse y nach 6.2.5
	29	1.100	LK1	0.05	≤ 1	111) Querschnittsnachweis - Querkraft in Achse z nach 6.2.6
	28	0.000	LK1	0.00	≤ 1	121) Querschnittsnachweis - Schubbeulen nach 6.2.6(3) - Querkraft in Achse z
	28	0.000	LK1	0.00	≤ 1	123) Querschnittsnachweis - Schubbeulen nach 6.2.6(3) - Querkraft in Achse z
	28	0.000	LK1	0.15	≤ 1	129) Querschnittsnachweis - vom Flansch induziertes Knicken nach 6.7.7
	33	1.000	LK2	0.01	≤ 1	131) Querschnittsnachweis - Torsion nach 6.2.7.2
	28	0.000	LK2	0.06	≤ 1	132) Querschnittsnachweis - Torsion und Querkraft in Achse z nach 6.2.7.3
	64	0.000	LK2	0.20	≤ 1	141) Querschnittsnachweis - Biegung und Querkraft nach 6.2.5 und 6.2.8
	64	0.000	LK2	0.20	≤ 1	150) Querschnittsnachweis - Biegung, Querkraft und Torsion nach 6.7 - Vollwandträger

Max: 0.98 ≤ 1

Zwischenwerte - Stab 64 - x: 0.000 m - LK2

Materialwerte - Aluminium EN-AW 6082 T6/T651 | EN 1999-1-1:2007

Querschnittswerte - IS 80/46/4/6/0

Bemessungsschnittgrößen

Querschnittsklassifizierung - Klasse 2

Nachweis

Moment	$M_{y,Ed}$	1.21	kNm	
Formbeiwert	α_y	1.162		Tab. 6.4
Plastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnittes	$W_{pl,y}$	25.05	cm ³	
Elastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnittes	$W_{el,y}$	21.55	cm ³	
Charakteristische Dehngrenze	f_o	260.0	N/mm ²	3.2
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{M1}	1.100		6.1.3
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{M2}	1.250		6.1.3
Querkraft	$V_{z,Ed}$	1.40	kN	
Schubfläche	$A_{v,z}$	2.96	cm ²	6.2.6 (2)
Querkraftbeanspruchbarkeit	$V_{z,Rd}$	40.39	kN	Gl. (6.29)
Kriterium $V_{z,Ed} / V_{z,Rd}$	v_z	0.035		≤ 0.5 6.2.8(2)
Momentenbeanspruchbarkeit	$M_{o,y,Rd}$	5.92	kNm	Gl. (6.25)
Nachweis	η	0.20		≤ 1 Gl. (6.23)

3 - IS 80/46/4/6/0

[mm]

Bild 4.3: Maske 2.2 Nachweise querschnittsweise

Diese Maske listet die maximalen Ausnutzungen aller zur Bemessung gewählten Stäbe und Einwirkungen nach Querschnitten sortiert auf. Die Ergebnisse sind jeweils nach Querschnitts-, Stabilitäts- und Gebrauchstauglichkeitsnachweisen geordnet.

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

4.3 Nachweise stabsatzweise

2.3 Nachweise stabsatzweise

Stabsatz Nr.	A	B	C	D	E	F
Stab Nr.	Stelle x [m]	Lastfall	Nachweis Ausnutzung	Nachweis nach Formel		
1	Stütze 1 (Stab Nr. 17,16)					
17	0.950	LK2	0.02 ≤ 1	102) Querschnittsnachweis - Druck nach 6.2.4		
16	0.000	LK2	0.01 ≤ 1	113) Querschnittsnachweis - Querkraft in Achse u nach 6.2.6		
16	0.300	LK1	0.01 ≤ 1	117) Querschnittsnachweis - Querkraft nach 6.2.6		
17	0.000	LK2	0.01 ≤ 1	131) Querschnittsnachweis - Torsion nach 6.2.7.2		
16	1.000	LK2	0.01 ≤ 1	138) Querschnittsnachweis - Torsion und Querkraft nach 6.2.7.3		
16	0.350	LK2	0.05 ≤ 1	171) Querschnittsnachweis - Biegung, Schub- und Normalkraft nach 6.2.9		
16	0.450	LK1	0.07 ≤ 1	181) Querschnittsnachweis - Biegung um Achse v, Schub- und Normalkraft nach 6.2.9		
16	0.750	LK2	0.15 ≤ 1	186) Querschnittsnachweis - Biegung um Achse v, Schub, Torsion und Normalkraft nach 6.2.9		
16	0.900	LK1	0.37 ≤ 1	191) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung, Schub- und Normalkraft nach 6.2.10 und 6.2.9.1		
Max:				0.98 ≤ 1		

Zwischenwerte - Stab 16 - x: 0.900 m - LK1

☒ Querschnittsklassifizierung - Klasse 4

☒ Wirksame Querschnittskennwerte - Klasse 4

☒ Nachweis

Charakteristische Dehngrenze	f_o	260.0	N/mm ²	3.2
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{M1}	1.100		6.1.3
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{M2}	1.250		6.1.3
Normalkraft	N_{Ed}	-2.04	kN	
Querschnittsfläche	A	11.64	cm ²	
Maßgebende Querschnittsfläche	A_{eff}	5.45	cm ²	
Normalkraftbeanspruchbarkeit	N_{Rd}	128.87	kN	Gl. (6.22)
Exponent	ξ_0	1.000		6.2.9
Exponent	η_0	1.000		6.2.9
Exponent	γ_0	1.000		6.2.9
Querkraft	$V_{v,Ed}$	0.42	kN	
Schubfläche	$A_{v,v}$	8.23	cm ²	6.2.6 (2)
Querkraftbeanspruchbarkeit	$V_{v,Rd}$	112.32	kN	Gl. (6.29)
Kriterium $V_{v,Ed} / V_{v,Rd}$	V_v	0.004		≤ 0.5
Moment	$M_{u,Ed}$	0.21	kNm	
Formbeiwert	α_u	0.274		Tab. 6.4
Wirksames elastisches Widerstandsmoment	$W_{eff,u}$	7.09	cm ³	
Elastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnittes	$W_{el,u}$	25.84	cm ³	
Momentenbeanspruchbarkeit	$M_{u,Rd}$	1.68	kNm	Gl. (6.25)

2 - LS 100/6/0

Bild 4.4: Maske 2.3 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 Bemessungskriterien aufweist.

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

4.4 Nachweise stabweise

2.4 Nachweise stabweise

Stab Nr.	A Stelle x [m]	B Last- fall	C Nachweis Ausnutzung	D	E Nachweis nach Formel
3	Querschnitt Nr. 1 - Rohr 60/2.5				
	0.800	LK1	0.01	≤ 1	102) Querschnittsnachweis - Druck nach 6.2.4
	0.000	LK1	0.04	≤ 1	115) Querschnittsnachweis - Querkraft nach 6.2.6 - Rundrohre und Stangen
	0.000	LK2	0.04	≤ 1	136) Querschnittsnachweis - Torsion und Querkraft nach 6.2.7.3 - Rundrohre und Stangen
	0.000	LK1	0.42	≤ 1	171) Querschnittsnachweis - Biegung, Schub- und Normalkraft nach 6.2.9
	1.000	LK2	0.07	≤ 1	176) Querschnittsnachweis - Biegung, Schub, Torsion und Normalkraft nach 6.2.9
	0.000	LK2	0.52	≤ 1	196) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung, Schub, Torsion und Normalkraft nach 6.2.10 und 6.2.9
	0.800	LK1	0.04	≤ 1	302) Stabilitätsnachweis - Biegeknicken um Achse y nach 6.3.1.1 und 6.3.1.2
	0.800	LK1	0.04	≤ 1	306) Stabilitätsnachweis - Biegeknicken um Achse z nach 6.3.1.1 und 6.3.1.2
	1.000	LK2	0.63	≤ 1	331) Stabilitätsnachweis - Biegung um Achse y und Druck nach 6.3.3
Max: 0.98 ≤ 1					

Zwischenwerte - Stab 3 - x: 0.000 m - LK2

Formbeiwert	α_y	1.327		Tab. 6.4
Plastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnittes	$W_{pl,y}$	8.27	cm ³	
Elastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnittes	$W_{el,y}$	6.23	cm ³	
Momentenbeanspruchbarkeit	$M_{0,y,Rd}$	1.69	kNm	Gl. (6.25)
Momentenbeanspruchbarkeit	$M_{y,Rd}$	1.69	kNm	6.2.10
Querkraft	$V_{y,Ed}$	0.11	kN	
Schubfläche	$A_{v,y}$	2.71	cm ²	6.2.6 (2)
Blechdicke	$t_{v,y}$	2.5	mm	
Schubspannung	$\tau_{t,f,Ed}$	1.5	N/mm ²	
Querkraftbeanspruchbarkeit	$V_{y,Rd}$	32.00	kN	Gl. (6.29)
Querkraftbeanspruchbarkeit	$V_{y,T,Rd}$	31.60	kN	6.2.7.3
Kriterium $V_{y,Ed} / V_{y,Rd}$	V_y	0.004		≤ 0.5 6.2.10(2)
Moment	$M_{z,Ed}$	0.12	kNm	
Formbeiwert	α_z	1.327		Tab. 6.4
Plastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnittes	$W_{pl,z}$	8.27	cm ³	
Elastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnittes	$W_{el,z}$	6.23	cm ³	
Momentenbeanspruchbarkeit	$M_{0,z,Rd}$	1.69	kNm	Gl. (6.25)
Momentenbeanspruchbarkeit	$M_{z,Rd}$	1.69	kNm	6.2.10
Nachweis Komponente für N	η_N	0.00		≤ 1 Gl. (6.43)
Nachweis Komponente für M_y	η_{M_y}	0.32		≤ 1 Gl. (6.43)
Nachweis Komponente für M_z	η_{M_z}	0.01		≤ 1 Gl. (6.43)
Nachweis	η	0.52		≤ 1 Gl. (6.43)

1 - Rohr 60/2.5

Bild 4.5: Maske 2.4 Nachweise stabweise

Diese Ergebnismaske präsentiert die maximalen Ausnutzungen für die einzelnen Nachweise nach Stabnummern geordnet. Die Spalten sind im Kapitel 4.1 auf Seite 42 erläutert.

4.5 Nachweise x-stellenweise

2.5 Nachweise x-stellenweise

Stab Nr.	A Stelle x [m]	B Last- fall	C Nachweis Ausnutzung	D	E Nachweis nach Formel
1	Querschnitt Nr. 2 - LS 100/6/0				
	0.000	LK2	0.01	≤ 1	117) Querschnittsnachweis - Querkraft nach 6.2.6
	0.000	LK1	0.25	≤ 1	191) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung, Schub- und Normalkraft nach 6.2.10 und 6.2.9.1
	0.000	LK2	0.72	≤ 1	334) Stabilitätsnachweis - Biegung und Druck nach 6.3.3
	0.150	LK1	0.01	≤ 1	117) Querschnittsnachweis - Querkraft nach 6.2.6
	0.150	LK2	0.01	≤ 1	138) Querschnittsnachweis - Torsion und Querkraft nach 6.2.7.3
	0.150	LK1	0.13	≤ 1	191) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung, Schub- und Normalkraft nach 6.2.10 und 6.2.9.1
	0.150	LK2	0.07	≤ 1	196) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung, Schub, Torsion und Normalkraft nach 6.2.10 und 6.2.9
	0.150	LK1	0.72	≤ 1	334) Stabilitätsnachweis - Biegung und Druck nach 6.3.3
	0.200	LK1	0.01	≤ 1	117) Querschnittsnachweis - Querkraft nach 6.2.6
Max: 0.98 ≤ 1					

Zwischenwerte - Stab 1 - x: 0.000 m - LK2

☒ Querschnittsklassifizierung - Klasse 4

☒ Wirksame Querschnittskennwerte - Klasse 4

☒ Nachweis

Ideale Drilknicklast	$N_{or,T}$	117.79	kN	Gl. (I.16)
Bezogener Grenzlankheitsgrad	$\lambda_{0,T}$	0.400		Tab. 6.7
Bezogener Schlankheitsgrad	$\lambda_{0,T}$	1.117		> $\lambda_{0,T}$ 6.3.1.2(4)
Knicklinie	KL_T	1		Tab. 6.7
Imperfektionsbeiwert	α_T	0.350		Tab. 6.7
Hilfsbeiwert	Φ_T	1.249		6.3.1.2(1)
Abminderungsbeiwert	χ_T	1.000		Gl. (6.50)
Torsionsknickbeanspruchbarkeit	$N_{b,T,Rd}$	128.87	kN	Gl. (6.49)
Elastizitätsmodul	E	70000.0	N/mm ²	3.2.5(1)
Flächenträgheitsmoment	I_u	182.71	cm ⁴	
Effektive Stablänge	$L_{cr,u}$	1.000	m	
Ideale Verzweigungslast	$N_{cr,u}$	1262.29	kN	Gl. (I.14)
Bezogener Grenzlankheitsgrad	$\lambda_{0,u}$	0.100		Tab. 6.6
Bezogener Schlankheitsgrad	$\lambda_{0,u}$	0.335		> $\lambda_{0,u}$ 6.3.1.2(4)
Knicklinie	KL_u	1		Tab. 6.6
Imperfektionsbeiwert	α_u	0.200		Tab. 6.6
Hilfsbeiwert	Φ_u	0.580		6.3.1.2(1)
Abminderungsbeiwert	χ_u	1.000		Gl. (6.50)
Biegeknickbeanspruchbarkeit	$N_{b,u,Rd}$	128.87	kN	Gl. (6.49)

2 - LS 100/6/0

Bild 4.6: Maske 2.5 Nachweise x-stellenweise

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

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

4.6 Maßgebende Schnittgrößen stabweise

3.1 Maßgebende Schnittgrößen stabweise

Stab Nr.	A Stelle x [m]	B Belas- tung	C N_{Ed}	D Kräfte [kN] $V_{y/u,Ed}$	E $V_{z/v,Ed}$	F T_{Ed}	G Momente [kNm] $M_{y/u,Ed}$	H $M_{z/v,Ed}$	I Bemessung nach Gleichung
1 Querschnitt Nr. 2 - LS 100/6/0									
	0.000	LK2	-2.26	-0.49	-1.16	0.00	0.21	-0.16	117) Querschnittsnachweis - Querkraft nach 6.2.6
	0.550	LK2	-2.24	-0.49	-1.16	0.00	-0.42	0.11	138) Querschnittsnachweis - Torsion und Querkraft nach 6.2.7
	0.400	LK1	-2.11	-0.40	-1.10	0.00	-0.16	-0.01	171) Querschnittsnachweis - Biegung, Schub- und Normalkraft
	0.350	LK2	-2.25	-0.49	-1.16	0.00	-0.19	0.01	176) Querschnittsnachweis - Biegung, Schub, Torsion und Norm
	0.250	LK1	-2.11	-0.40	-1.10	0.00	0.01	-0.07	181) Querschnittsnachweis - Biegung um Achse v , Schub- und
	0.200	LK2	-2.26	-0.49	-1.16	0.00	-0.02	-0.07	186) Querschnittsnachweis - Biegung um Achse v , Schub, Tors
	1.000	LK4	-1.64	-0.35	-0.85	0.00	-0.68	0.23	191) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung, Schub- und Norm
	1.000	LK2	-2.23	-0.49	-1.15	0.00	-0.94	0.33	196) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung, Schub, Torsion u
	0.350	LK2	-2.25	-0.49	-1.16	0.00	-0.19	0.01	331) Stabilitätsnachweis - Biegung um Achse u und Druck nach
	0.200	LK2	-2.26	-0.49	-1.16	0.00	-0.02	-0.07	332) Stabilitätsnachweis - Biegung um Achse v und Druck nach
	0.000	LK2	-2.26	-0.49	-1.16	0.00	0.21	-0.16	334) Stabilitätsnachweis - Biegung und Druck nach 6.3.3
2 Querschnitt Nr. 2 - LS 100/6/0									
	0.700	LK2	-3.09	-0.91	-0.97	0.00	-0.11	0.13	117) Querschnittsnachweis - Querkraft nach 6.2.6
	0.500	LK2	-3.10	-0.91	-0.97	0.00	0.09	-0.06	138) Querschnittsnachweis - Torsion und Querkraft nach 6.2.7
	0.600	LK1	-2.76	-0.56	-0.53	0.00	0.06	0.01	171) Querschnittsnachweis - Biegung, Schub- und Normalkraft
	0.700	LK1	-2.76	-0.56	-0.53	0.00	0.01	0.06	181) Querschnittsnachweis - Biegung um Achse v , Schub- und
	0.600	LK2	-3.10	-0.91	-0.97	0.00	-0.01	0.04	186) Querschnittsnachweis - Biegung um Achse v , Schub, Tors
	0.000	LK2	-3.13	-0.90	-0.96	0.00	0.57	-0.51	191) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung, Schub- und Norm
	0.000	LK1	-2.79	-0.56	-0.53	0.00	0.38	-0.33	196) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung, Schub, Torsion u
	0.550	LK4	-2.27	-0.65	-0.68	0.00	0.03	-0.01	331) Stabilitätsnachweis - Biegung um Achse u und Druck nach
	0.600	LK2	-3.10	-0.91	-0.97	0.00	-0.01	0.04	332) Stabilitätsnachweis - Biegung um Achse v und Druck nach
	0.000	LK2	-3.13	-0.90	-0.96	0.00	0.57	-0.51	334) Stabilitätsnachweis - Biegung und Druck nach 6.3.3
3 Querschnitt Nr. 1 - Rohr 60/2.5									
	0.800	LK1	-1.04	0.00	0.63	0.00	0.00	0.00	102) Querschnittsnachweis - Druck nach 6.2.4
	0.000	LK1	-1.06	0.00	1.16	0.00	-0.72	0.00	115) Querschnittsnachweis - Querkraft nach 6.2.6 - Rundrohr
	0.000	LK2	-1.23	-0.11	1.30	-0.02	-0.87	-0.12	136) Querschnittsnachweis - Torsion und Querkraft nach 6.2.7
	0.000	LK1	-1.06	0.00	1.16	0.00	-0.72	0.00	171) Querschnittsnachweis - Biegung, Schub- und Normalkraft
	1.000	LK2	-1.21	-0.12	0.64	-0.02	0.11	0.00	176) Querschnittsnachweis - Biegung, Schub, Torsion und Norm
	0.000	LK2	-1.23	-0.11	1.30	-0.02	-0.87	-0.12	196) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung, Schub, Torsion u
	0.800	LK1	-1.04	0.00	0.63	0.00	0.00	0.00	302) Stabilitätsnachweis - Biegeknicken um Achse y nach 6.3
	0.800	LK1	-1.04	0.00	0.63	0.00	0.00	0.00	306) Stabilitätsnachweis - Biegeknicken um Achse z nach 6.3

Bild 4.7: Maske 3.1 Maßgebende Schnittgrößen stabweise

Diese Maske weist für jeden Stab die maßgebenden Schnittgrößen aus – die Schnittgrößen, die bei den einzelnen Nachweisen zur höchsten Ausnutzung führen.

Stelle x

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

Lastfall

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 Torsions- und Biegemomente ausgewiesen, die bei den einzelnen Querschnitts-, Stabilitäts- und Gebrauchstauglichkeitsnachweisen zur höchsten Ausnutzung führen.

Nachweis nach Formel

Die letzte Spalte gibt Auskunft über die Nachweisarten und Gleichungen, mit denen die Nachweise nach EN 1999-1-1 geführt wurden.

4.7 Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise

3.2 Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise

Stabsatz Nr.	A Stelle x [m]	B Belas- tung	C N _{Ed}	D Kräfte [kN] V _{y/v,Ed}	E V _{z/v,Ed}	F T _{Ed}	G Momente [kNm] M _{y/v,Ed}	H M _{z/v,Ed}	I Bemessung nach Gleichung
1	Stütze 1 (Stab Nr. 17,16)								
	0.950	LK2	-2.38	0.45	0.44	0.00	0.00	-0.01	102) Querschnittsnachweis - Druck nach 6.2.4
	0.000	LK2	-1.95	0.67	0.09	0.00	-0.22	0.28	113) Querschnittsnachweis - Querkraft in Achse y nach 6.2.6
	0.300	LK1	-2.06	1.06	0.42	0.00	-0.05	0.00	117) Querschnittsnachweis - Querkraft nach 6.2.6
	0.000	LK2	-2.42	-0.06	-0.06	0.00	-0.18	0.18	131) Querschnittsnachweis - Torsion nach 6.2.7.2
	1.000	LK2	-1.91	1.20	0.62	0.00	0.14	-0.66	138) Querschnittsnachweis - Torsion und Querkraft nach 6.2.7
	0.350	LK2	-1.93	0.86	0.28	0.00	-0.15	0.01	171) Querschnittsnachweis - Biegung, Schub- und Normalkraft
	0.450	LK1	-2.06	1.06	0.42	0.00	0.02	-0.16	181) Querschnittsnachweis - Biegung um Achse z, Schub- und
	0.750	LK2	-1.92	1.07	0.49	0.00	0.00	-0.38	186) Querschnittsnachweis - Biegung um Achse z, Schub, Tors
	0.900	LK1	-2.04	1.05	0.42	0.00	0.21	-0.63	191) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung, Schub- und Norm
	1.000	LK1	-2.04	1.05	0.42	0.00	0.25	-0.74	196) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung, Schub, Torsion u
	0.950	LK2	-2.38	0.45	0.44	0.00	0.00	-0.01	301) Stabilitätsnachweis - Biegeknicken um Achse y nach 6.3.
	0.900	LK4	-1.80	0.32	0.32	0.00	0.00	0.00	303) Stabilitätsnachweis - Biegeknicken um Achse y nach 6.3.
	0.950	LK2	-2.38	0.45	0.44	0.00	0.00	-0.01	304) Stabilitätsnachweis - Biegeknicken um Achse y nach 6.3.
	0.950	LK2	-2.38	0.45	0.44	0.00	0.00	-0.01	306) Stabilitätsnachweis - Biegeknicken um Achse z nach 6.3.
	0.900	LK4	-1.80	0.32	0.32	0.00	0.00	0.00	307) Stabilitätsnachweis - Biegeknicken um Achse z nach 6.3.
	0.950	LK2	-2.38	0.45	0.44	0.00	0.00	-0.01	308) Stabilitätsnachweis - Biegeknicken um Achse z nach 6.3.
	0.950	LK2	-2.38	0.45	0.44	0.00	0.00	-0.01	313) Stabilitätsnachweis - Biegedrillknicken nach 6.3.1.4 und 6
	0.700	LK1	-2.74	0.50	0.59	0.00	0.05	0.01	331) Stabilitätsnachweis - Biegung um Achse y und Druck nach
	0.900	LK2	-2.38	0.43	0.41	0.00	-0.02	0.01	332) Stabilitätsnachweis - Biegung um Achse z und Druck nach
	0.000	LK1	-2.77	0.49	0.59	0.00	-0.36	0.35	334) Stabilitätsnachweis - Biegung und Druck nach 6.3.3
2	Stütze 2 (Stab Nr. 42,41)								
	0.450	LK1	-4.09	3.41	-0.03	0.00	0.01	-0.05	113) Querschnittsnachweis - Querkraft in Achse y nach 6.2.6
	0.000	LK2	-6.19	2.33	0.02	-0.12	0.01	0.88	121) Querschnittsnachweis - Schubbeulen nach 6.2.6(3) - Quer
	0.000	LK2	-6.19	2.33	0.02	-0.12	0.01	0.88	123) Querschnittsnachweis - Schubbeulen nach 6.2.6(3) - Quer
	0.000	LK1	-6.38	1.48	-0.04	-0.01	0.02	0.61	125) Querschnittsnachweis - Schubbeulen nach 6.2.6(3) - Quer
	0.000	LK1	-6.38	1.48	-0.04	-0.01	0.02	0.61	127) Querschnittsnachweis - Schubbeulen nach 6.2.6(3) - Quer
	0.000	LK1	-6.38	1.48	-0.04	-0.01	0.02	0.61	129) Querschnittsnachweis - vom Flansch induziertes Knicken i
	0.000	LK1	-6.38	1.48	-0.04	-0.01	0.02	0.61	130) Querschnittsnachweis - vom Steg induziertes Knicken nac
	1.000	LK2	-6.18	3.02	0.03	-0.12	0.03	-1.83	134) Querschnittsnachweis - Torsion und Querkraft in Achse y i
	0.350	LK2	-6.17	2.62	0.02	-0.12	0.01	0.01	176) Querschnittsnachweis - Biegung, Schub, Torsion und Non
	0.350	LK4	-2.88	1.67	-0.06	-0.02	0.02	0.01	180) Querschnittsnachweis - Biegung, Schub, Normalkraft und
	1.000	LK1	-4.11	3.35	-0.03	0.01	-0.01	-1.91	181) Querschnittsnachweis - Biegung um Achse z, Schub- und

Bild 4.8: Maske 3.2 Maßgebende Schnittgrößen stabsatzweise

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

4.8 Stabschlankheiten

3.3 Stabschlankheiten

Stab Nr.	A Beanspruchung	B Länge L [m]	C $k_{y/u}$ [-]	D Starke Achse y/u $i_{y/u}$ [mm]	E $\lambda_{y/u}$ [-]	F $k_{z/v}$ [-]	G Schwache Achse z/v $i_{z/v}$ [mm]	H $\lambda_{z/v}$ [-]	I
1	Druck / Biegung	1.000	1.000	39.6	25.240	1.000	19.9	50.265	
2	Druck / Biegung	1.000	1.000	39.6	25.240	1.000	19.9	50.265	
3	Druck / Biegung	2.000	1.000	20.3	98.287	1.000	20.3	98.287	
4	Druck / Biegung	2.000	1.000	20.3	98.287	1.000	20.3	98.287	
5	Druck / Biegung	2.000	1.000	20.3	98.287	1.000	20.3	98.287	
6	Druck / Biegung	1.000	1.000	29.9	33.471	0.500	23.8	21.040	
7	Druck / Biegung	1.000	1.000	29.9	33.471	1.000	23.8	42.080	
8	Druck / Biegung	2.000	1.000	20.3	98.287	1.000	20.3	98.287	
9	Druck / Biegung	2.000	1.000	20.3	98.287	1.000	20.3	98.287	
10	Druck / Biegung	2.000	1.000	20.3	98.287	1.000	20.3	98.287	
11	Druck / Biegung	1.000	1.000	29.9	33.471	1.000	23.8	42.080	
12	Druck / Biegung	1.000	1.000	29.9	33.471	1.000	23.8	42.080	
13	Druck / Biegung	2.000	1.000	20.3	98.287	1.000	20.3	98.287	
14	Druck / Biegung	2.000	1.000	20.3	98.287	0.500	20.3	49.144	
15	Druck / Biegung	2.000	1.000	20.3	98.287	1.000	20.3	98.287	
18	Druck / Biegung	2.667	1.000	20.3	131.050	0.375	20.3	49.144	
19	Druck / Biegung	2.667	1.000	20.3	131.050	1.000	20.3	131.050	
23	Druck / Biegung	2.667	1.000	20.3	131.050	1.000	20.3	131.050	
24	Druck / Biegung	2.667	1.000	20.3	131.050	1.000	20.3	131.050	
25	Druck / Biegung	2.667	1.000	20.3	131.050	1.000	20.3	131.050	
26	Druck / Biegung	1.000	1.000	29.9	33.471	1.000	23.8	42.080	
27	Druck / Biegung	1.000	1.000	29.9	33.471	1.000	23.8	42.080	
28	Druck / Biegung	2.000	1.000	32.3	61.830	1.000	10.9	183.675	
29	Druck / Biegung	2.000	1.000	32.3	61.830	1.000	10.9	183.675	
30	Druck / Biegung	2.000	1.000	20.3	98.287	1.000	20.3	98.287	
32	Druck / Biegung	1.000	1.000	21.9	45.736	1.000	14.5	69.188	
33	Druck / Biegung	2.000	1.000	32.3	61.830	1.000	10.9	183.675	
34	Druck / Biegung	2.000	1.000	32.3	61.830	1.000	10.9	183.675	
35	Druck / Biegung	2.000	1.000	20.3	98.287	1.000	20.3	98.287	
36	Druck / Biegung	1.000	1.000	21.9	45.736	1.000	14.5	69.188	

Stäbe mit Druck / Biegung:
Max $\lambda_{y/u}$: 131.050 ≤ 200
Max $\lambda_{z/v}$: 183.675 ≤ 200

Bild 4.9: Maske 3.3 Stabschlankheiten

Details...

Diese Ergebnismaske wird angezeigt, wenn im Dialog *Details*, Register *Diverse* das entsprechende Häkchen gesetzt ist (siehe Bild 3.4, Seite 38).

Details...

Die Tabelle listet die effektiven Schlankheitsgrade der bemessenen Stäbe für beide Hauptachsenrichtungen auf. Sie wurden in Abhängigkeit von der Lastart ermittelt. Am Ende der Liste findet sich ein Vergleich mit den Grenzwerten, die im Dialog *Details*, Register *Diverse* definiert sind (siehe Bild 3.4, Seite 38).

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

Die Tabelle dient nur der Information. Es ist keine Stabilitätsbemessung der Schlankheiten vorgesehen.

4.9 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	2 - LS 100/6/0	6	1.00	6.00	2.40	0.01	3.14	3.14	0.019
2	1 - Rohr 60/2.5	24	2.00	48.00	9.05	0.02	1.22	2.44	0.059
3	4 - TO 80/60/4/4/4/K	10	1.00	10.00	2.80	0.01	2.85	2.85	0.029
4	1 - Rohr 60/2.5	19	2.67	50.67	9.55	0.02	1.22	3.25	0.062
5	3 - IS 80/46/4/6/0	9	2.00	18.00	6.05	0.01	2.22	4.45	0.040
6	5 - DUENQ PROFIL-Y	6	1.00	6.00	3.70	0.00	1.32	1.32	0.008
Summe		74		138.67	33.55	0.08			0.216

Bild 4.10: 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 *Details*, Register *Diverse* eingestellt werden (siehe Bild 3.4, Seite 38).

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 2.5 bei den Querschnittsinformationen einsehbar ist (siehe Bild 2.16, 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 erfolgt eine Mittelung der beiden Profilkennwerte.

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.

4.10 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	Stütze 1	1	2.00	2.00	0.80	0.00	3.14	6.29	0.006
2	Stütze 2	1	2.00	2.00	0.56	0.00	2.85	5.70	0.006
3	Stabzug 3	1	6.00	6.00	3.24	0.01	5.66	33.96	0.034
Summe		3		10.00	4.60	0.02			0.046

Bild 4.11: 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 erläutert. Bei unterschiedlichen Querschnitten im Stabsatz werden Oberfläche, Volumen und Querschnittsmasse gemittelt.

5 Ergebnisauswertung

Die Bemessungsergebnisse lassen sich auf verschiedene Weise auswerten. Hierzu sind auch die Schaltflächen am Ende der oberen Tabelle hilfreich.

2.4 Nachweise stabweise

Stab Nr.	Stelle x [m]	Lastfall	Nachweis Ausnutzung	D	E
38	Querschnitt Nr. 3 - IS 80/46/4/6/0				Nachweis nach Formel
	1.600	EK1	0.05	≤ 1	111) Querschnittsnachweis - Querkraft in Achse z nach 6.2.6
	0.000	EK1	0.00	≤ 1	121) Querschnittsnachweis - Schubbeulen nach 6.2.6(3) - Querkraft in Achse z
	0.000	EK1	0.00	≤ 1	123) Querschnittsnachweis - Schubbeulen nach 6.2.6(3) - Querkraft in Achse z
	0.000	EK1	0.15	≤ 1	129) Querschnittsnachweis - vom Flansch induziertes Knicken nach 6.7.7
	2.000	EK1	0.06	≤ 1	132) Querschnittsnachweis - Torsion und Querkraft in Achse z nach 6.2.7.3
	1.500	EK1	0.18	≤ 1	176) Querschnittsnachweis - Biegung, Schub, Torsion und Normalkraft nach 6.2.9
	1.500	EK1	0.15	≤ 1	180) Querschnittsnachweis - Biegung, Schub, Normalkraft und Torsion nach 6.7 - Vollwandträger
	1.600	EK1	0.20	≤ 1	191) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung, Schub- und Normalkraft nach 6.2.10 und 6.2.9
	2.000	EK1	0.35	≤ 1	196) Querschnittsnachweis - Doppelbiegung, Schub, Torsion und Normalkraft nach 6.2.10 und 6.2.9

Max: 0.98 ≤ 1

Zwischenwerte - Stab 38 - x: 1.600 m - EK1

- Bemessungsschnittgrößen
- Querschnittsklassifizierung - Klasse 3
- Nachweis

Charakteristische Dehngrenze	f_o	260.0 N/mm ²	3.2
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{M1}	1.100	6.1.3
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{M2}	1.250	6.1.3
Normalkraft	N_{Ed}	-3.35 kN	
Querschnittsfläche	A	8.24 cm ²	
Normalkraftbeanspruchbarkeit	N_{Rd}	194.76 kN	Gl. (6.22)
Exponent	ξ_0	1.000	6.2.9
Exponent	γ_0	1.000	6.2.9
Exponent	γ_0	1.000	6.2.9
Querkraft	$V_{z,Ed}$	1.98 kN	
Schubfläche	$A_{v,z}$	2.96 cm ²	
Querkraftbeanspruchbarkeit	$V_{z,Rd}$	40.39 kN	Gl. (6.29)
Kriterium $V_{z,Ed} / V_{z,Rd}$	V_z	0.049	≤ 0.5 6.2.10(2)
Moment	$M_{y,Ed}$	1.08 kNm	
Formbeiwert	α_y	1.162	Tab. 6.4
Plastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnittes	$W_{pl,y}$	25.05 cm ³	
Elastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnittes	$W_{el,y}$	21.55 cm ³	
Momentenbeanspruchbarkeit	$M_{a,y,Rd}$	5.92 kNm	Gl. (6.25)
Momentenbeanspruchbarkeit	$M_{y,Rd}$	5.92 kNm	6.2.10

3 - IS 80/46/4/6/0

Bild 5.1: Schaltflächen zur Ergebnisauswertung

Die Schaltflächen sind mit folgenden Funktionen belegt:

Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Tragfähigkeitsnachweis	Blendet die Ergebnisse des Tragfähigkeitsnachweises ein und aus
	Gebrauchstauglichkeitsnachweis	Blendet die Ergebnisse des Gebrauchstauglichkeitsnachweises ein und aus
	Ergebniskombination	Erzeugt aus den maßgebenden Lastfällen und Lastkombinationen eine neue Ergebniskombination
	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 1, Maximalwert oder benutzerdefinierte Schranke
	Filter anwenden	Stellt nur Zeilen dar, für die die Filterparameter gelten (Ausnutzungen > 1, Maximum, benutzerdefinierter Wert)
	Ergebnisverläufe	Öffnet das Fenster <i>Ergebnisverläufe im Stab</i> → Kapitel 5.2, Seite 54
	Excel-Export	Exportiert die Tabelle nach MS Excel / OpenOffice → Kapitel 7.4.3, Seite 64

	Stabauswahl	Ermöglicht die grafische Auswahl eines Stabes, um dessen Ergebnisse in der Tabelle anzuzeigen
	Sichtmodus	Ermöglicht den Wechsel in das RFEM-Arbeitsfenster, um die Ansicht zu ändern

Tabelle 5.1: Schaltflächen in den Ergebnismasken 2.1 bis 2.5

5.1 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 auffindig zu machen: Der in der Ergebnismaske von RF-ALUMINIUM 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.

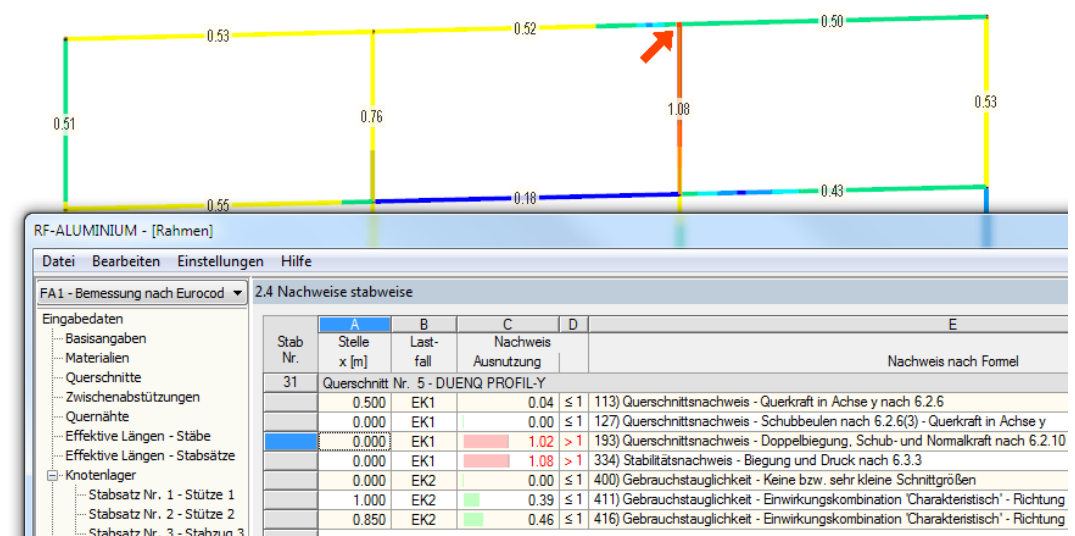
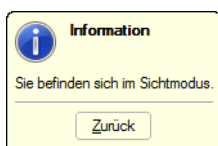


Bild 5.2: Kennzeichnung des Stabes und der aktuellen Stelle x im RFEM-Modell

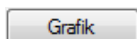


Falls sich die Darstellung durch Verschieben des RF-ALUMINIUM-Fensters nicht verbessern lässt, sollte die Schaltfläche [Ansicht ändern] benutzt werden, um den *Sichtmodus* zu aktivieren: Das Fenster wird ausgeblendet, sodass in der RFEM-Arbeitsfläche die Ansicht angepasst werden kann. Im Sichtmodus stehen 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-ALUMINIUM.

RFEM-Arbeitsfenster



Die Ausnutzungsgrade 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 Ausnutzungen wie die Schnittgrößen eines Lastfalls dargestellt.

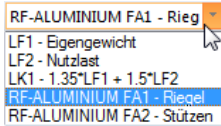
Im *Ergebnisse*-Navigator kann festgelegt werden, welche Ausnutzungen der Tragfähigkeits- oder Gebrauchstauglichkeitsnachweise grafisch dargestellt werden sollen.



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 RFEM-Tabellen sind für die Auswertung der Bemessungsergebnisse bedeutungslos.



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

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

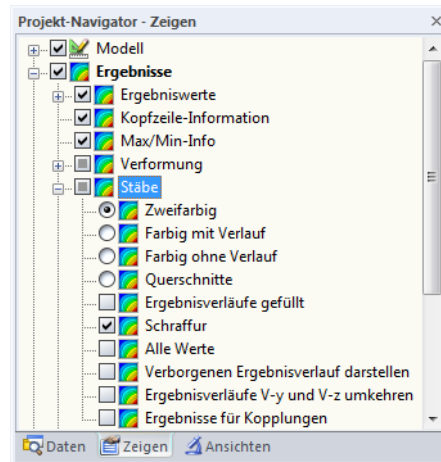


Bild 5.3: Zeigen-Navigator: Ergebnisse → Stäbe



Bei einer mehrfarbigen Darstellung (Optionen *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.

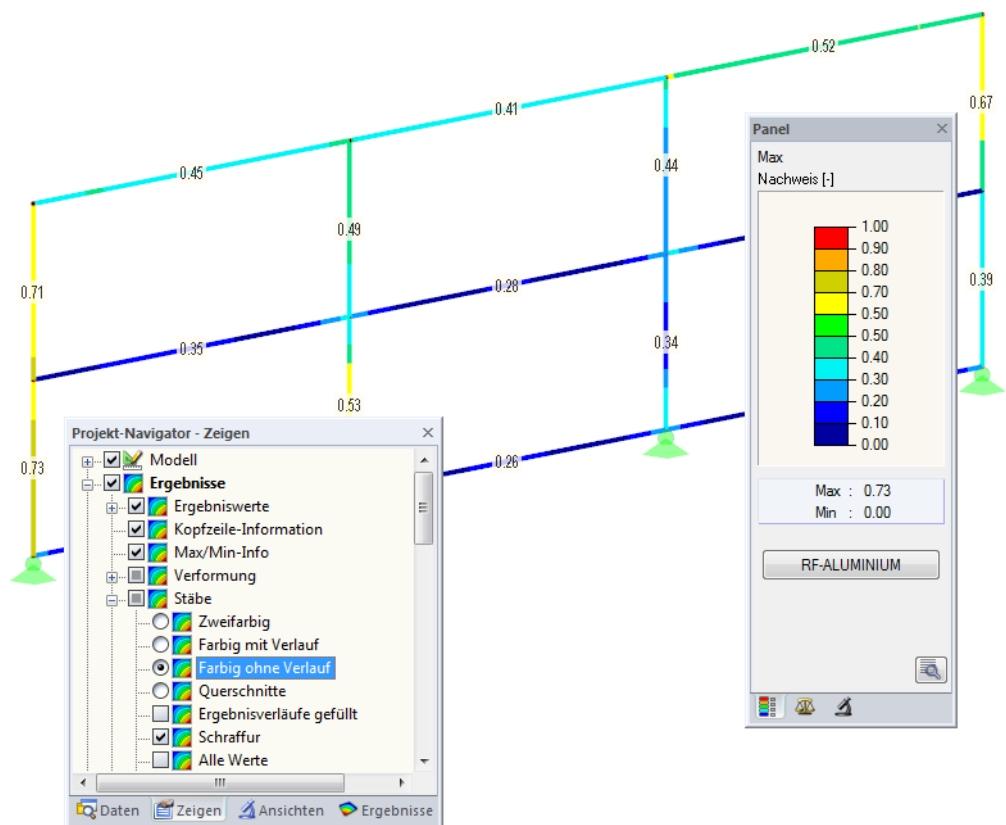


Bild 5.4: Ausnutzungsgrade mit Anzeigeoption *Farbig ohne Verlauf*

Die Grafiken der Bemessungsergebnisse können in das Ausdruckprotokoll übergeben werden (siehe [Kapitel 6.2, Seite 57](#)).

RF-ALUMINIUM

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

5.2 Ergebnisverläufe

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



Selektieren Sie den Stab (oder Stabsatz) in der RF-ALUMINIUM-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 oberen Ergebnistabelle (siehe Bild 5.1, Seite 51).

In der RFEM-Grafik sind die Ergebnisverläufe zugänglich über Menü



Ergebnisse → **Ergebnisverläufe an selektierten Stäben**

oder die entsprechende Schaltfläche in der RFEM-Symbolleiste.

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

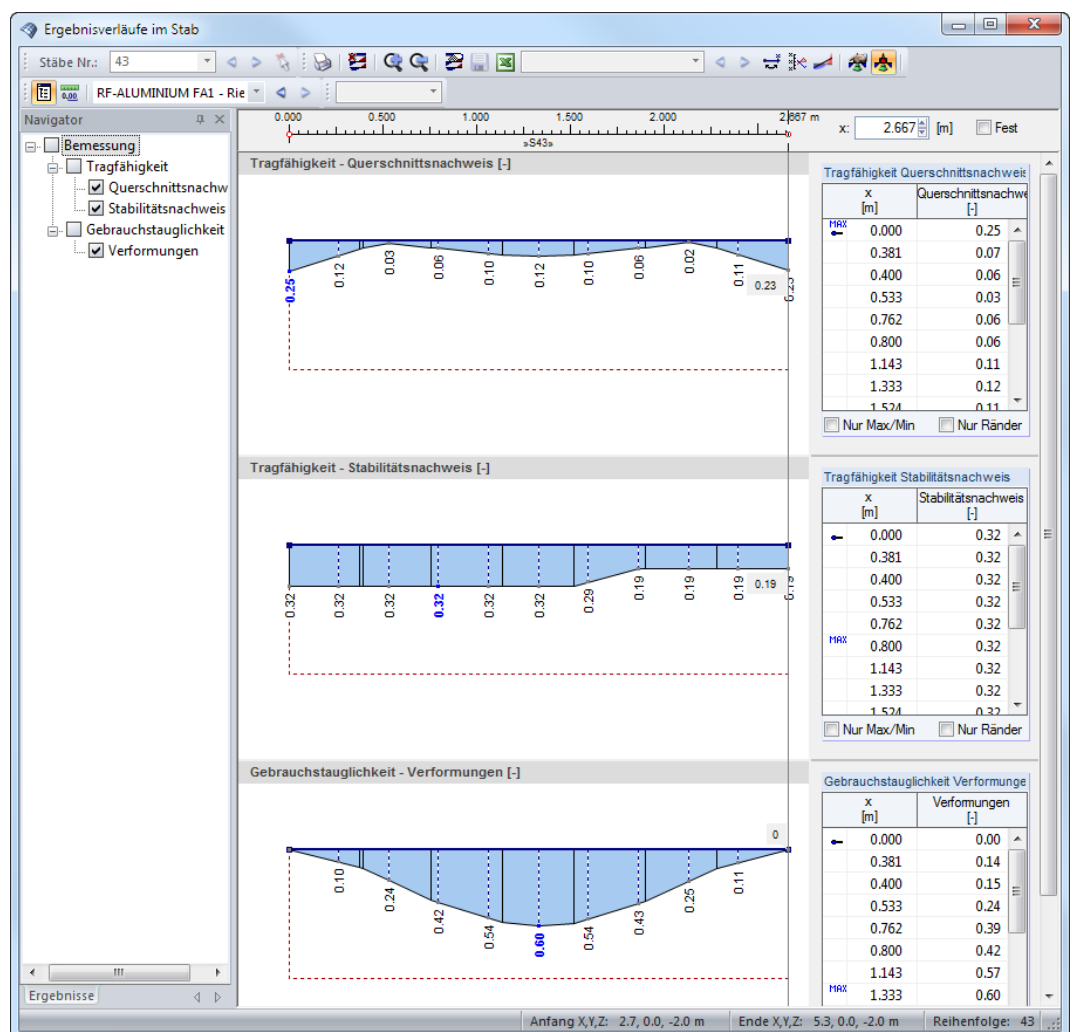
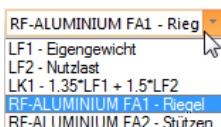


Bild 5.5: Dialog *Ergebnisverläufe im Stab*



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

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

5.3 Filter für Ergebnisse

Die RF-ALUMINIUM-Ergebnismasken ermöglichen eine Auswahl nach verschiedenen Kriterien. 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-ALUMINIUM können die Möglichkeiten der *Sichtbarkeiten* genutzt werden (siehe RFEM-Handbuch, Kapitel 9.9.1), um die Stäbe für die Auswertung zu filtern.

Filtern von Nachweisen

Grafik

Die Ausnutzungen lassen sich gut als Filterkriterium im RFEM-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 RFEM-Menü

Ansicht → Steuerpanel



oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

Das Panel ist im Kapitel 3.4.6 des RFEM-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.

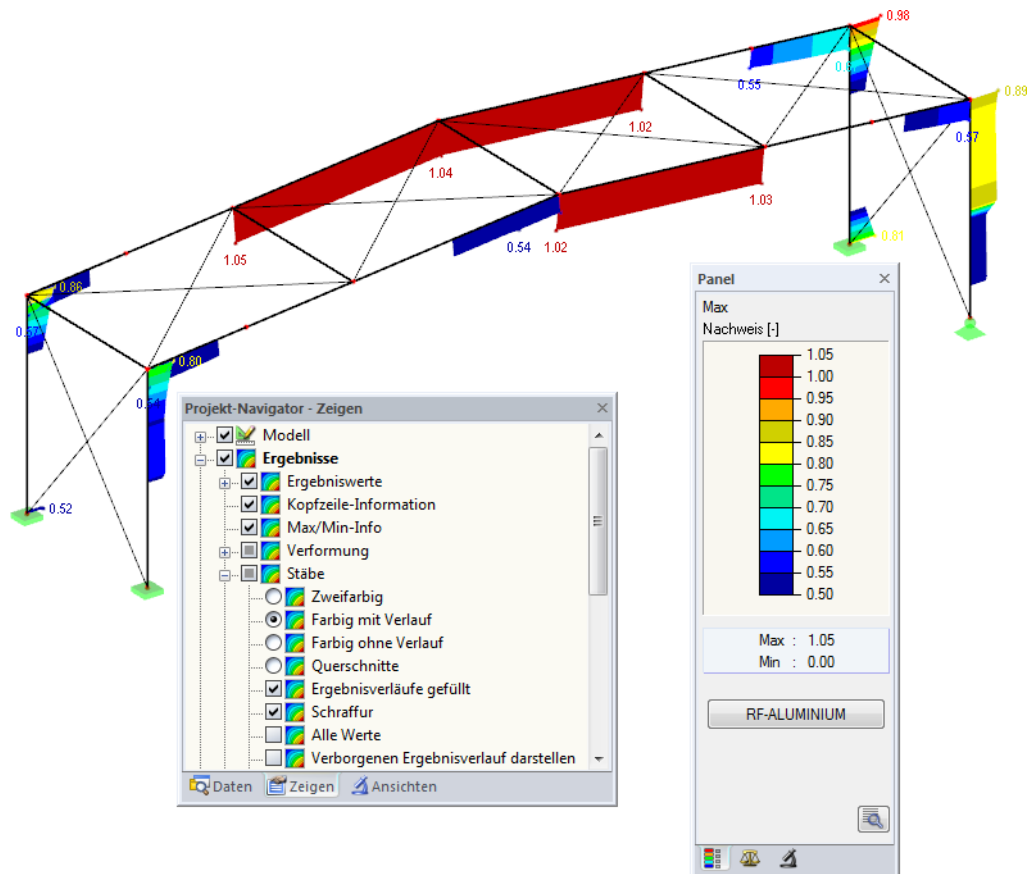


Bild 5.6: Filtern der Ausnutzungsgrade mit angepasster Farbskala

Wie das Bild oben zeigt, kann die Werteskala des Panels so eingestellt werden, dass nur Ausnutzungsgrade größer als 0,50 im Farbintervall zwischen blau und rot dargestellt werden.

Mit der Option *Verborgenen Ergebnisverlauf darstellen* im *Zeigen-Navigator* (*Ergebnisse* → *Stäbe*) lassen sich alle Ausnutzungsverläufe einblenden, die nicht von der Werteskala abgedeckt sind. 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 9.9.3 des RFEM-Handbuchs beschrieben.

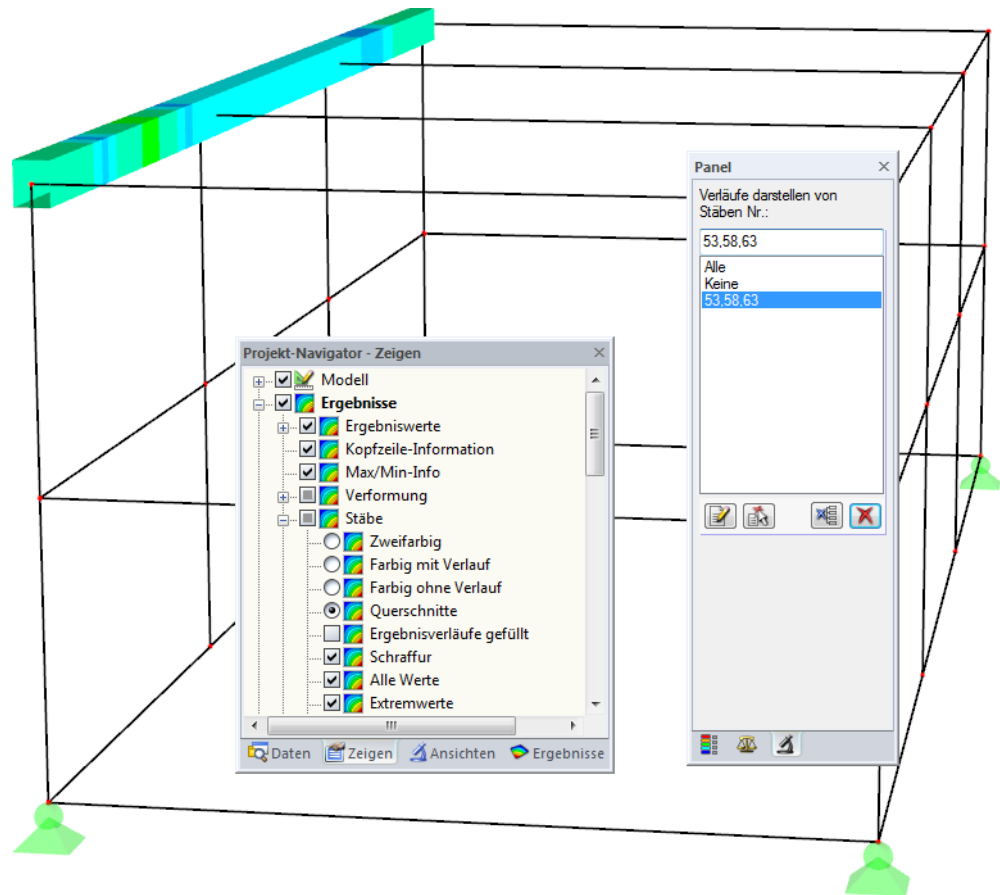


Bild 5.7: Stabfilter für Ausnutzungen eines Randträgers

Im Unterschied zur Ausschnittfunktion wird das Modell vollständig mit angezeigt. Das Bild oben zeigt die Ausnutzungen im Randträger eines Behälters. Die übrigen Stäbe werden im Modell dargestellt, sind in der Anzeige jedoch ohne Ausnutzungsgrade.

6 Ausdruck

6.1 Ausdruckprotokoll

Für die Daten des Moduls RF-ALUMINIUM wird – wie in RFEM – 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 RFEM-Handbuch beschrieben. Das Kapitel 10.1.3.4 *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.

6.2 Grafikausdruck

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



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

Nachweise am RFEM-Modell



Die aktuelle Grafik der Ausnutzungsgrade kann gedruckt werden über Menü

Datei → Drucken

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

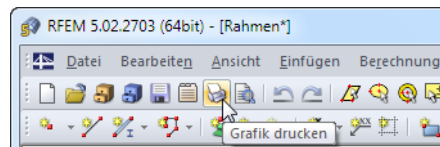


Bild 6.1: Schaltfläche *Drucken* in RFEM-Symbolleiste

Ergebnisverläufe



Auch im Dialog *Ergebnisverläufe im Stab* kann die Grafik der Nachweiswerte mit der Schaltfläche [Drucken] in das Protokoll übergeben oder direkt ausgedruckt werden.

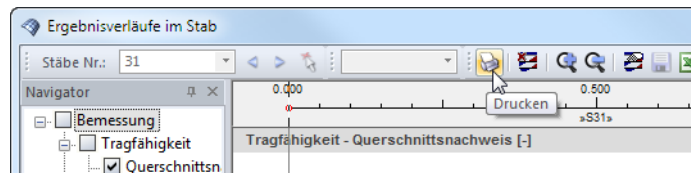


Bild 6.2: Schaltfläche *Drucken* im Dialog *Ergebnisverläufe im Stab*

Es erscheint der auf folgender Seite dargestellte Dialog.

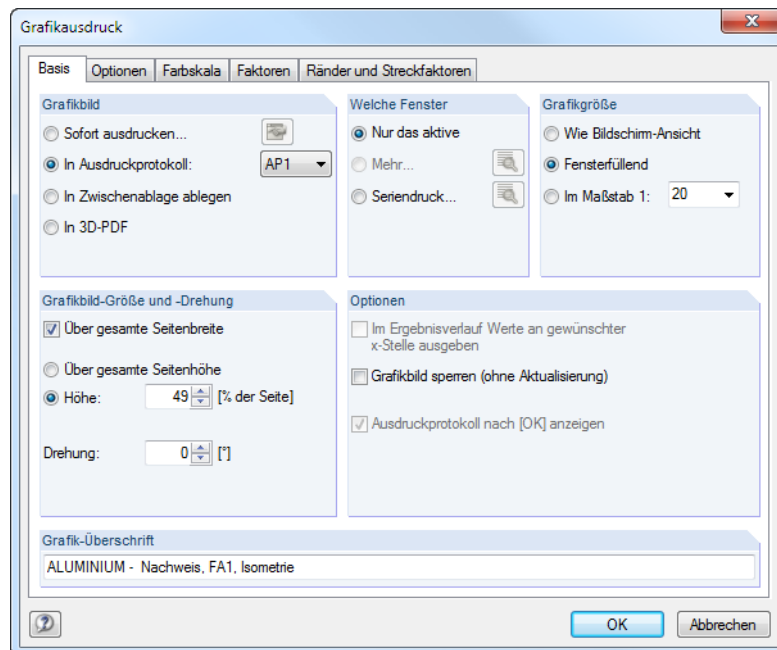
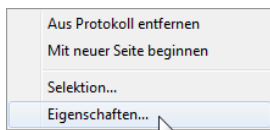


Bild 6.3: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Basis*

Der Dialog *Grafikausdruck* ist im Kapitel 10.2 des RFEM-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.

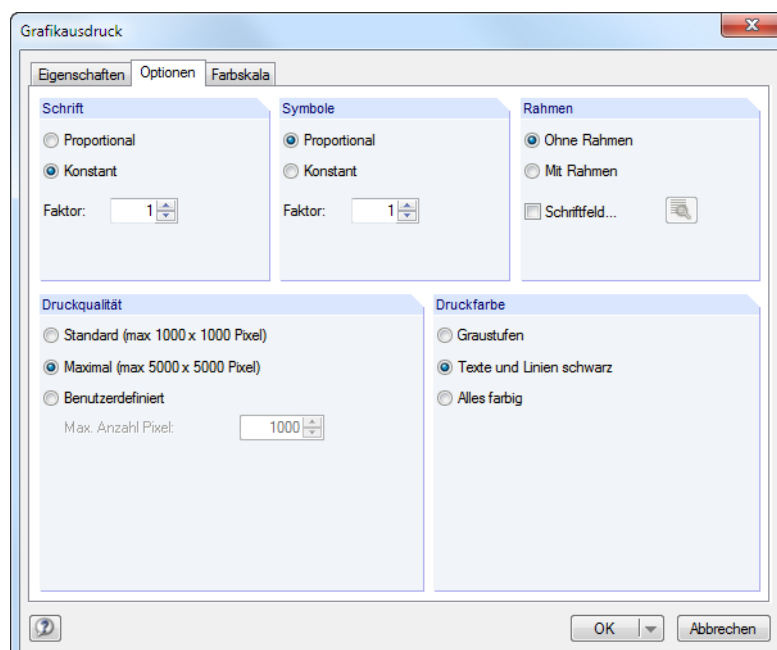


Bild 6.4: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Optionen*

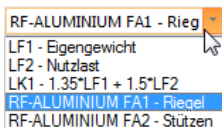
7 Allgemeine Funktionen

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

7.1 Bemessungsfälle

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

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



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

Neuen Bemessungsfall anlegen

Ein Bemessungsfall wird angelegt über das RF-ALUMINIUM-Menü

Datei → Neuer Fall.

Es erscheint folgender Dialog.

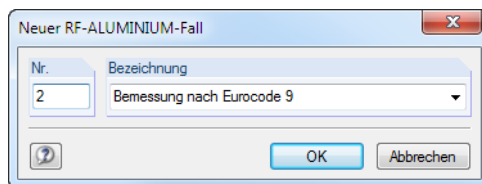


Bild 7.1: Dialog Neuer RF-ALUMINIUM-Fall

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-ALUMINIUM-Maske 1.1 *Basisangaben* zur Eingabe der Bemessungsdaten.

Bemessungsfall umbenennen

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

Datei → Fall umbenennen.

Es erscheint folgender Dialog.

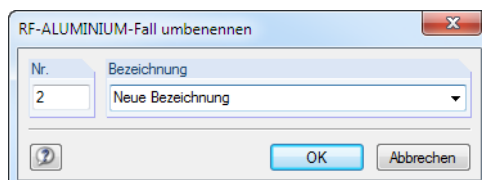


Bild 7.2: Dialog RF-ALUMINIUM-Fall umbenennen

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 RF-ALUMINIUM-Menü

Datei → **Fall kopieren**.

Es erscheint folgender Dialog.

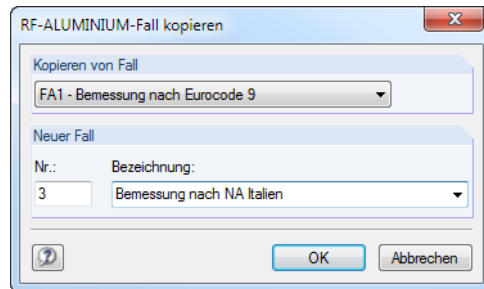


Bild 7.3: Dialog RF-ALUMINIUM-Fall kopieren

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

Bemessungsfall löschen

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

Datei → **Fall löschen**.

Es erscheint folgender Dialog.

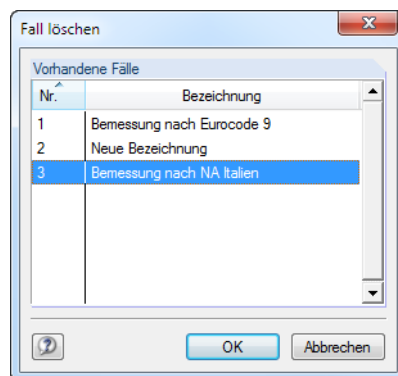
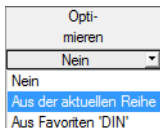


Bild 7.4: Dialog Fall löschen

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

7.2 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 2.13, Seite 15). In den Ergebnismasken kann die Optimierung über das Kontextmenü eingeleitet werden.

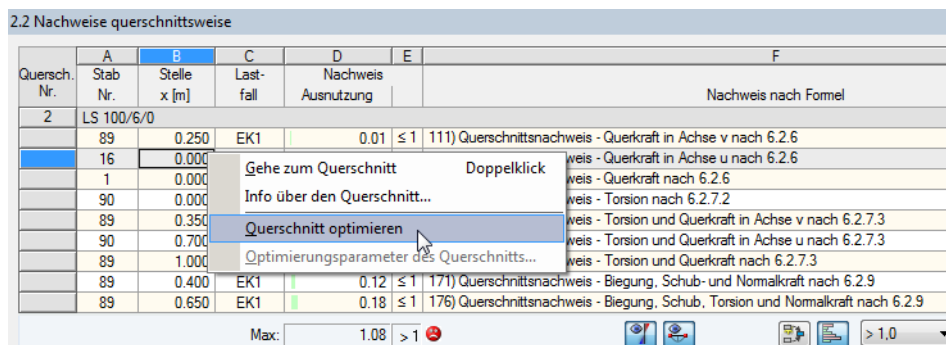


Bild 7.5: Kontextmenü zur Querschnittsoptimierung

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 3.4, Seite 38). 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 7.7).

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

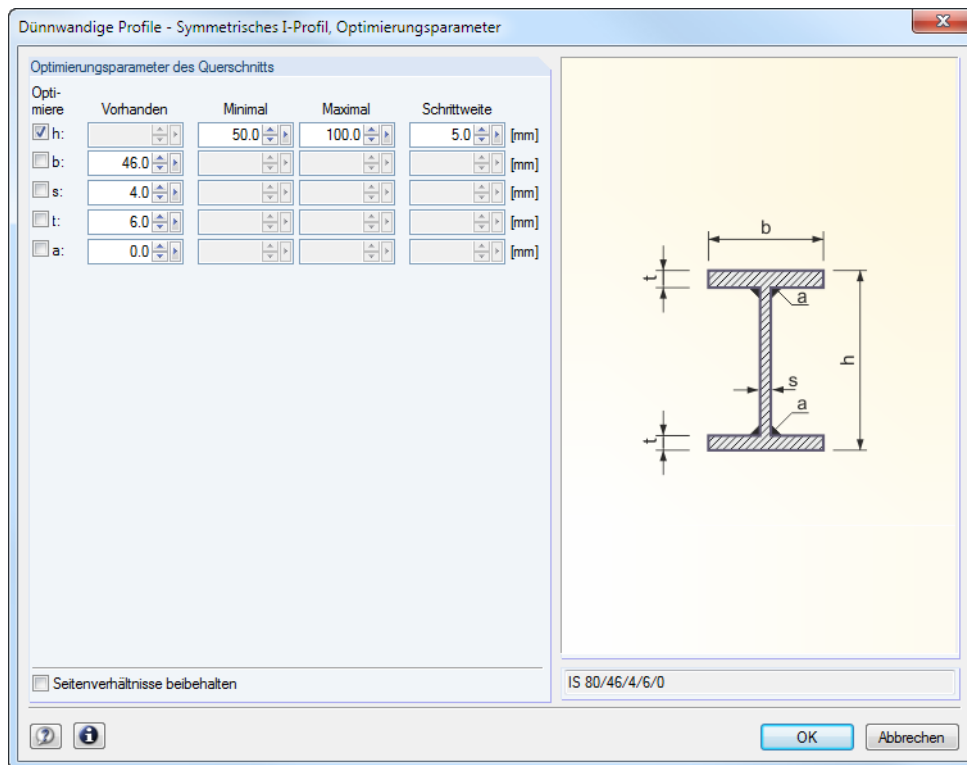


Bild 7.6: Dialog *Geschweißte Profile - I-symmetrisch, Optimierungsparameter*

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 RFEM 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 RFEM exportiert werden: Stellen Sie die Maske 1.3 *Querschnitte* ein und wählen dann das Menü

Bearbeiten Alle Querschnitte an RFEM übergeben.

Auch über das Kontextmenü der Maske 1.3 lassen sich optimierte Profile nach RFEM exportieren.

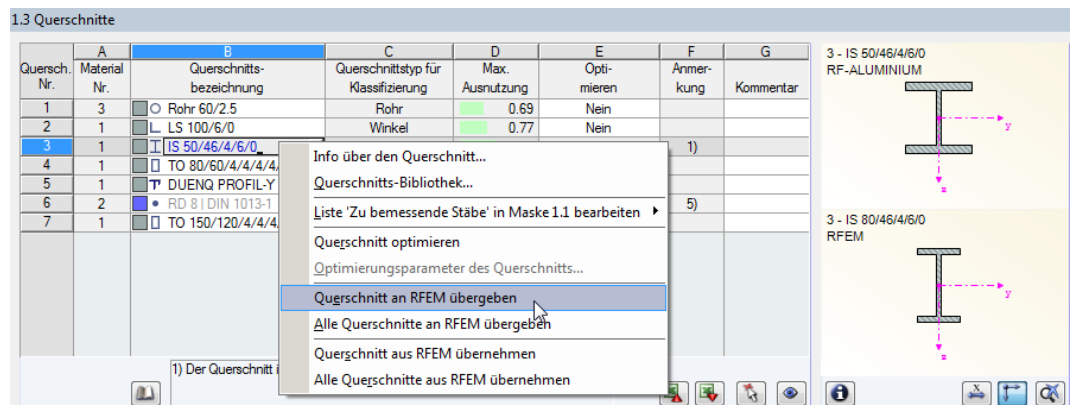


Bild 7.7: Kontextmenü der Maske 1.3 *Querschnitte*

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

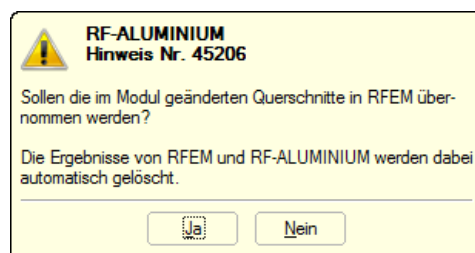


Bild 7.8: Abfrage vor Übergabe geänderter Querschnitte nach RFEM

Berechnung

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

Wurden die geänderten Querschnitte noch nicht nach RFEM exportiert, so können mit den im Bild 7.7 gezeigten Optionen wieder die ursprünglichen Profile in das Bemessungsmodul eingelesen werden. Beachten Sie, dass diese Möglichkeit nur in Maske 1.3 *Querschnitte* besteht.

7.3 Einheiten und Dezimalstellen

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

Einstellungen → Einheiten und Dezimalstellen.

Es erscheint der aus RFEM bekannte Dialog. In der Liste *Programm / Modul* ist RF-ALUMINIUM vor-eingestellt.

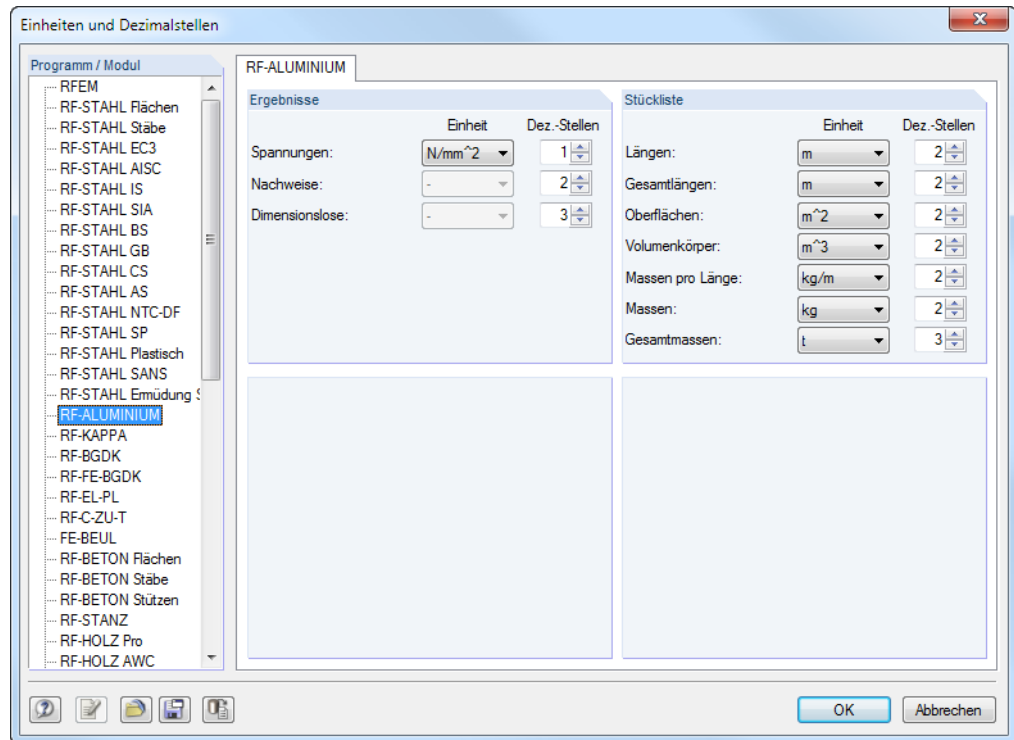


Bild 7.9: Dialog *Einheiten und Dezimalstellen*



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

7.4 Datenaustausch

7.4.1 Materialexport nach RFEM

Werden in RF-ALUMINIUM die Materialien für die Bemessung angepasst, so können – wie bei den 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.

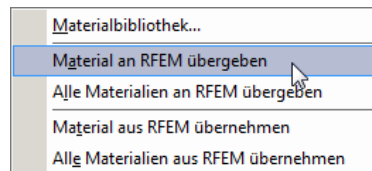


Bild 7.10: Kontextmenü der Maske 1.2 *Materialien*

Berechnung

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

Wurden die geänderten Materialien noch nicht nach RFEM exportiert, so können mit den im Bild 7.10 gezeigten Optionen wieder die ursprünglichen Materialien in das Bemessungsmodul eingelesen werden. Beachten Sie, dass diese Möglichkeit nur in Maske 1.2 *Materialien* besteht.

7.4.2 Knicklängenexport nach RFEM

Werden in der RF-ALUMINIUM die Knicklängen für die Nachweise angepasst, so können auch die geänderten Knicklängen nach RFEM exportiert werden: Stellen Sie die Maske 1.6 *Effektive Längen - Stäbe* ein und wählen dann das Menü

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

Auch über das Kontextmenü der Maske 1.6 lassen sich Knicklängen nach RFEM exportieren.

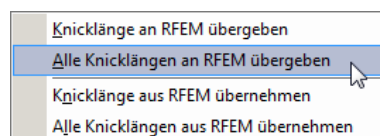


Bild 7.11: Kontextmenü der Maske 1.6 *Effektive Längen - Stäbe*

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

Wurden die geänderten Knicklängen noch nicht nach RFEM exportiert, so können mit den im Bild 7.11 gezeigten Optionen wieder die ursprünglichen Knicklängen in das Bemessungsmodul eingelesen werden. Beachten Sie, dass diese Möglichkeit nur in den Masken 1.6 *Effektive Längen - Stäbe* und 1.7 *Effektive Längen - Stabsätze* besteht.

7.4.3 Export der Ergebnisse

Die Ergebnisse von RF-ALUMINIUM 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-ALUMINIUM können in das Ausdruckprotokoll gedruckt (siehe [Kapitel 6.1, Seite 57](#)) und dort exportiert werden über Menü

Datei → Export in RTF.

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

Excel / OpenOffice

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

Datei → Tabellen exportieren.

Es öffnet sich folgender Exportdialog.

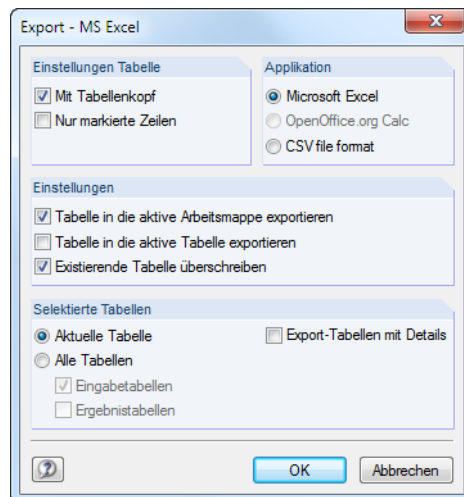


Bild 7.12: Dialog Export - MS Excel

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	G
1	Quersch	Stab	Stelle	Last-	Nachweis		
2	Nr.	Nr.	x [m]	fall	Ausnutzung		Nachweis nach Formel
3	1	Rohr 60/2.5					
4		45	1,524	LK1	0,00 ≤ 1	100	Keine bzw. sehr kleine Schnittgrößen
5		19	1,333	LK1	0,00 ≤ 1	101	Querschnittsnachweis - Zug nach 6.2.3
6		65	0,900	LK1	0,01 ≤ 1	102	Querschnittsnachweis - Druck nach 6.2.4
7		45	2,667	LK1	0,02 ≤ 1	106	Querschnittsnachweis - Biegung um Achse y nach 6.2.5
8		50	0,000	LK1	0,26 ≤ 1	107	Querschnittsnachweis - Biegung um Achse z nach 6.2.5
9		50	2,667	LK1	0,26 ≤ 1	108	Querschnittsnachweis - Biegung nach 6.2.5 - Rundrohre und Stangen
10		48	2,667	LK1	0,04 ≤ 1	115	Querschnittsnachweis - Querkraft nach 6.2.6 - Rundrohre und Stangen
11		73	1,333	LK1	0,04 ≤ 1	131	Querschnittsnachweis - Torsion nach 6.2.7.2
12		71	2,667	LK1	0,05 ≤ 1	136	Querschnittsnachweis - Torsion und Querkraft nach 6.2.7.3 - Rundrohre und Stangen
13		30	1,400	LK1	0,09 ≤ 1	146	Querschnittsnachweis - Biegung, Querkraft und Torsion nach 6.2.5 bis 6.2.8
14		50	0,000	LK1	0,26 ≤ 1	151	Querschnittsnachweis - Biegung um Achse z und Querkraft nach 6.2.5 und 6.2.8
15		25	2,667	LK1	0,26 ≤ 1	156	Querschnittsnachweis - Biegung um Achse z, Querkraft und Torsion nach 6.2.5 bis 6.2.8
16		50	2,667	LK1	0,26 ≤ 1	162	Querschnittsnachweis - Biegung und Querkraft nach 6.2.5 - 6.2.9 - Rundrohre und Stangen
17		77	0,000	LK1	0,49 ≤ 1	167	Querschnittsnachweis - Biegung, Querkraft und Torsion nach 6.2.5 - 6.2.9 - Rundrohre und Stangen

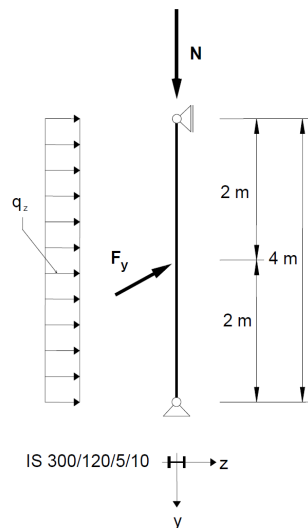
Bild 7.13: Ergebnis in Excel

8 Beispiel: Stütze mit Doppelbiegung

Für eine Stütze mit Doppelbiegung werden Stabilitätsuntersuchungen für Biegeknicken und Biegedrillknicken mit den Interaktionsbedingungen geführt.

8.1 Bemessungswerte

System und Belastung



Bemessungswerte der statischen Lasten

$$N_d = 16 \text{ kN}$$

$$q_{z,d} = 4 \text{ kN/m}$$

$$F_{y,d} = 2 \text{ kN}$$

$$\text{Querschnitt: IS 300/120/5/10}$$

$$\text{Material: EN-AW 6005A (EP/O, ER/B) T6}$$

$$\text{Längen: } L_{cr,y} = 4 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 4 \text{ m}$$

$$L_W = 4 \text{ m}$$

$$L_T = 4 \text{ m}$$

Bild 8.1: System und Bemessungslasten (γ -fach)

Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung

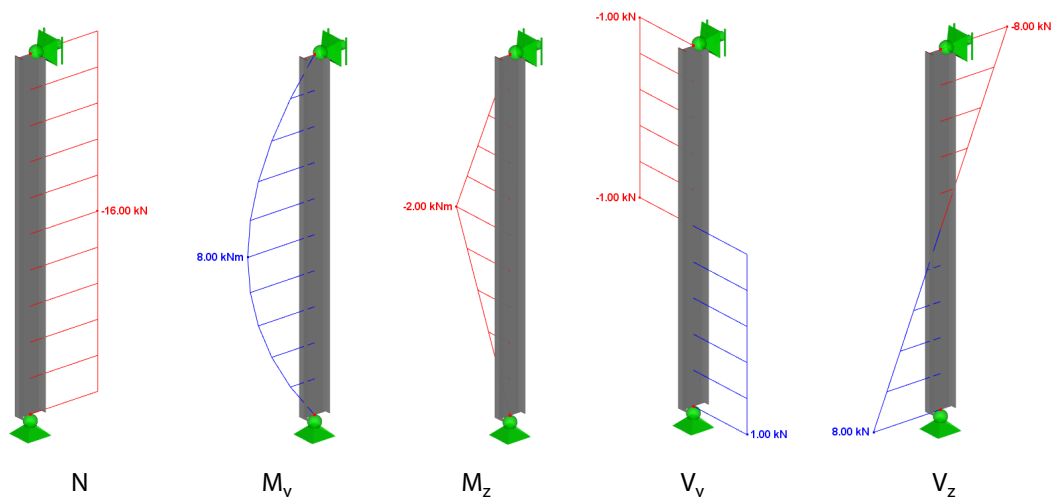


Bild 8.2: Schnittgrößen

Nachweisstelle (maßgebende x-Stelle)

Der Nachweis wird für alle x-Stellen (siehe Kapitel 4.5) des Ersatzstabes geführt. Die maßgebende Stelle liegt bei $x = 2,00 \text{ m}$. RFEM ermittelt folgende Schnittgrößen:

$$N = -16,00 \text{ kN} \quad M_y = 8,00 \text{ kNm} \quad M_z = 2,00 \text{ kNm} \quad V_y = 1,00 \text{ kN} \quad V_z = 0,00 \text{ kN}$$

8.2 Querschnittskennwerte

Querschnittsgröße	Symbol	Wert	Einheit
Querschnittsfläche	A	38,00	cm ²
Trägheitsmoment	I _y	5962,67	cm ⁴
Trägheitsmoment	I _z	288,29	cm ⁴
Trägheitsradius	i _y	12,53	cm
Trägheitsradius	i _z	2,75	cm
Polarer Trägheitsradius	i _p	12,83	cm
Querschnittsgewicht	G	10,30	kg/m
Torsionsträgheitsmoment	I _T	8,79	cm ⁴
Wölbwiderstand	I _ω	60552,00	cm
Widerstandsmoment	W _y	397,51	cm ³
Widerstandsmoment	W _z	48,05	cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	W _{pl,y}	446,00	cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	W _{pl,z}	73,75	cm ³

Tabelle 8.1: Querschnittswerte IS 300/120/5/10, EN-AW 6005A

8.3 Klassifizierung

Gemäß [1], Abschnitt 6.3.3, ANMERKUNG 1 und ANMERKUNG 2 sind Querschnitte mit kombinierten Biege- und Längskräften getrennt für jede Belastungskomponente zu klassifizieren. Ein Querschnitt kann für Querkraft, Biegung um die starke Achse und Biegung um die schwache Achse verschiedenen Klassen angehören.

Schlankheitsparameter gemäß [1], Tabelle 6.2

Beulklasse BC für EN-AW 6005A: A (siehe [1], Tabelle 3.2b)

Steg - Innenliegende Teilfläche

$$\frac{\beta_{s,1}}{\epsilon_s} = 11 \quad \frac{\beta_{s,2}}{\epsilon_s} = 16 \quad \frac{\beta_{s,3}}{\epsilon_s} = 22$$

Materialeigenschaften für t_s = 5 mm

$$f_{o,s} = 225 \text{ MPa} \quad f_{u,s} = 270 \text{ MPa}$$

Materialfaktor

$$\epsilon_s = \sqrt{\frac{250}{f_{o,s}}} = \sqrt{\frac{250}{225}} = 1,054$$

Flansch - Außenliegende Teilfläche

$$\frac{\beta_{f,1}}{\epsilon_f} = 3 \quad \frac{\beta_{f,2}}{\epsilon_f} = 4,5 \quad \frac{\beta_{f,3}}{\epsilon_f} = 6$$

Materialeigenschaften für $t_f = 10 \text{ mm}$

$$f_{o,f} = 215 \text{ MPa} \quad f_{u,f} = 260 \text{ MPa}$$

Materialfaktor

$$\epsilon_f = \sqrt{\frac{250}{f_{o,f}}} = \sqrt{\frac{250}{215}} = 1,078$$

Druckkraft N_c

$$\sigma_{Nc} = -4,21 \text{ MPa}$$

Steg - Innenliegende Teilfläche

Schlankheitsparameter gemäß [1], Abschnitt 6.1.4.3 a):

- ebene innere, beidseits gehaltene Teile mit konstanter Spannungsverteilung

$$\beta_{w,Nc} = \frac{b_w}{t_w} = \frac{280}{5} = 56 \quad \text{Gl. (6,1)}$$

$$\beta_{w,Nc} > \beta_{w,3}$$

$$\beta_{w,Nc} > \frac{\beta_{w,3}}{\epsilon_w} \cdot \epsilon_w = 22 \cdot 1,054 = 23,19 \quad \Rightarrow \text{Klasse 4}$$

Flansch - Außenliegende Teilfläche

Schlankheitsparameter gemäß [1], Abschnitt 6.1.4.3 a):

- ebene auskragende Teile mit konstanter Spannungsverteilung

$$\beta_{f,Nc} = \frac{b_f}{t_f} = \frac{57,5}{10} = 5,75 \quad \text{Gl. (6,1)}$$

$$\beta_{f,Nc} \leq \beta_{f,3}$$

$$\beta_{f,Nc} \leq \frac{\beta_{f,3}}{\epsilon_f} \cdot \epsilon_f = 6 \cdot 1,078 = 6,47 \quad \Rightarrow \text{Klasse 3}$$

Biegemoment M_y um starke Achse (y-y Achse)
Steg - Innenliegende Teilfläche

Spannungen an Stegrändern

$$\sigma_{s,A,My} = -18,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s,B,My} = 18,78 \text{ MPa}$$

Spannungsverhältnis

$$\psi_{s,My} = \frac{\sigma_{s,B,My}}{\sigma_{s,A,My}} = \frac{18,78}{-18,78} = -1,000$$

Spannungsgradienten

$$\eta_{s,My} = 0,7 + 0,3 \cdot \psi_{s,My} = 0,7 + 0,3 \cdot -1,000 = 0,400 \quad \text{Gl. (6,4)}$$

Schlankheitsparameter gemäß [1], Abschnitt 6.1.4.3 b):

- ebene innere, beidseits gehaltene Teile mit Spannungsverlauf-Nulldurchgang in Mitte

$$\beta_{s,My} = \eta_{s,My} \cdot \frac{b_s}{t_s} = 0,400 \cdot \frac{280}{5} = 22,4 \quad \text{Gl. (6,2)}$$

$$\beta_{s,My} \leq \beta_{s,3}$$

$$\beta_{s,My} \leq \frac{\beta_{s,3}}{\epsilon_s} \cdot \epsilon_s = 22 \cdot 1,054 = 23,19 \quad \Rightarrow \text{Klasse 3}$$

Flansch - Außenliegende Teilfläche

Spannungen an Flanschrändern

Innerer Rand $\sigma_{f,A,My} = -20,13 \text{ MPa}$

Äußerer Rand $\sigma_{f,B,My} = -20,13 \text{ MPa}$

Spannungsverhältnis

$$\psi_{f,My} = \frac{\sigma_{f,A,My}}{\sigma_{f,B,My}} = \frac{-20,13}{-20,13} = 1,000$$

Schlankheitsparameter gemäß [1], Abschnitt 6.1.4.3 a):

- ebene auskragende Teile mit konstanter Spannungsverteilung

$$\beta_{f,My} = \frac{b_f}{t_f} = \frac{57,5}{10} = 5,75 \quad \text{Gl. (6,1)}$$

$$\beta_{f,Nc} \leq \beta_{f,3}$$

$$\beta_{f,Nc} \leq \frac{\beta_{f,3}}{\epsilon_f} \cdot \epsilon_f = 6 \cdot 1,078 = 6,47 \quad \Rightarrow \text{Klasse 3}$$

Biegemoment M_z um schwache Achse (z-z Achse)

Steg - Innenliegende Teilfläche

Spannungen an Stegrändern

$$\sigma_{s,A,Mz} = \sigma_{s,B,Mz} = 0 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \text{Steg druckfrei}$$

Flansch - Außenliegende Teilfläche

Spannungen an Flanschrändern

Innerer Rand $\sigma_{f,A,Mz} = -1,73 \text{ MPa}$

Äußerer Rand $\sigma_{f,B,Mz} = -41,62 \text{ MPa}$

Schlankheitsparameter gemäß [1], Abschnitt 6.1.4.3 a):

- ebene auskragende Teile mit maximaler Druckspannung am äußeren Rand Gl. (6.1)

$$\beta_{f,My} = \frac{b_f}{t_f} = \frac{57,5}{10} = 5,75 \quad \text{Gl. (6,1)}$$

$$\beta_{f,Nc} \leq \beta_{f,3}$$

$$\beta_{f,Nc} \leq \frac{\beta_{f,3}}{\epsilon_f} \cdot \epsilon_f = 6 \cdot 1,078 = 6,47 \quad \Rightarrow \text{Klasse 3}$$

Maßgebend: Klasse 4

8.4 Wirksame Querschnittswerte

Wirksame Querschnittsfläche: Klasse 4 für Druckkraft N_c

Steg - Innenliegende Teilfläche

Beulfaktor gemäß [1], Abschnitt 6.1.5(2)

$$\rho_{c,s,Nc} = \frac{C_1}{\left(\frac{\beta_{s,Nc}}{\epsilon_s}\right)} - \frac{C_2}{\left(\frac{\beta_{s,Nc}}{\epsilon_s}\right)^2} = \frac{32}{\left(\frac{56}{1,054}\right)} - \frac{220}{\left(\frac{56}{1,054}\right)^2} = 0,524 \quad \text{Gl. (6,12)}$$

Wirksame Stegdicke

$$t_{c,s,Nc} = \rho_{c,s,Nc} \cdot t_w = 0,524 \cdot 5 = 2,622 \text{ mm}$$

Wirksame Stegfläche

$$A_{s,eff,Nc} = t_{c,s,Nc} \cdot b_s = 2,622 \cdot 280 = 734,16 \text{ mm}^2$$

Flansch - Außenliegende Teilfläche

Klasse 3 - keine Abminderung gemäß Abschnitt 6.1.5(2), Gl. (6.11)

$$\rho_{c,f,Nc} = 1,000$$

$$t_{c,s,Nc} = t_f = 10 \text{ mm}$$

Flanschfläche

$$A_f = 2 \cdot A_{f,1} = 2 \cdot t_f \cdot b_f = 2 \cdot 10 \cdot 120 = 2400 \text{ mm}^2$$

Wirksame Fläche des Gesamtquerschnitts

$$A_{eff} = A_s + A_f = 734,16 + 2400 = 3134,16 \text{ mm}^2$$

8.5 Biegeknicken um starke Achse ($\perp$ zu y-y)

Ideale Verzweigungslast für Biegedrillknicken gemäß [1], Anhang I.3

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 70000 \cdot 59626700}{4000^2} = 2574652 \text{ N} = 2574,65 \text{ kN} \quad \text{Gl. (I.15)}$$

Relative Schlankheit für Biegeknicken gemäß [1], Abschnitt 6.3.1.2(1)

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_o}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3800 \cdot 215}{2574652}} = 0,512 \quad \text{Gl. (6.51)}$$

Grenze des Plateaus der Knickspannungslinie und Imperfektionsbeiwert gemäß [1], Tabelle 6.6

$$\text{Knickklasse A} \Rightarrow \alpha_y = 0,200 \quad \bar{\lambda}_{y,0} = 0,100$$

Bedingungen zur Berücksichtigung von Stabilitätsproblemen gemäß [1], Abschnitt 6.3.1.2(4)

$$\bar{\lambda}_y > \bar{\lambda}_{y,0} \quad 0,512 > 0,100$$

$$N_{Ed} > \bar{\lambda}_{y,0}^2 \cdot N_{cr,y} \quad 16 > 0,010 \cdot 2574,65 = 25,746$$

Nachweis

$$\eta_{Ncr,y} = \frac{N_{Ed}}{\bar{\lambda}_{y,0}^2 \cdot N_{cr,y}} = \frac{16,00}{25,746} = 0,62$$

Nach der zweiten Bedingung muss das Biegeknicken um die y-Achse nicht beachtet werden.

Hilfsbeiwert gemäß Abschnitt 6.3.1.2(1)

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_y \cdot (\bar{\lambda}_y - \bar{\lambda}_{y,0}) + \bar{\lambda}_{y,0}^2 \right] \quad \text{Gl. (6.50)}$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + 0,2 \cdot (0,512 - 0,1) + 0,512^2 \right] = 0,672$$

Abminderungsbeiwert gemäß Abschnitt 6.3.1.2(1)

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,672 + \sqrt{0,672^2 - 0,512^2}} = 0,903 \quad \text{Gl. (6.50)}$$

Ergebnisse der RF-ALUMINIUM-Berechnung

Flächenträgheitsmoment	I_y	5962,67	cm ⁴		
Effektive Stablänge	$L_{cr,y}$	4,000	m		
Ideale Verzweigungslast	$N_{cr,y}$	2574,65	kN		
Bezogener Schlankheitsgrad	$\lambda_{quer,y}$	0,512		> 0,1	6.3.1.2(4)
Knickklasse	Klasse	A			Tab. 3.2b
Imperfektionsbeiwert	α_y	0,200			Tab. 6.6
Hilfsbeiwert	ϕ_y	0,672			Gl. (6.51)
Abminderungsbeiwert	χ_y	0,903			Gl. (6.50)

Tabelle 8.2: Ergebnisse der RF-ALUMINIUM-Berechnung

8.6 Biegeknicken um schwache Achse ($\perp$ zu z-z)

Ideale Verzweigungslast für Biegedrillknicken gemäß [1], Anhang I.3

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 70000 \cdot 2882920}{4000^2} = 124483,1 \text{ N} = 124,483 \text{ kN} \quad \text{Gl. (I.15)}$$

Relative Schlankheit für Biegeknicken gemäß [1], Abschnitt 6.3.1.2(1)

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_o}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3800 \cdot 215}{124483,1}} = 2,327 \quad \text{Gl. (6,51)}$$

Grenze des Plateaus der Knickspannungslinie und Imperfektionsbeiwert gemäß [1], Tabelle 6.6

$$\text{Knickklasse A} \Rightarrow \alpha_z = 0,200 \quad \bar{\lambda}_{z,0} = 0,100$$

Bedingungen zur Berücksichtigung von Stabilitätsproblemen gemäß [1], Abschnitt 6.3.1.2(4)

$$\bar{\lambda}_z > \bar{\lambda}_{z,0} \quad 2,327 > 0,100$$

$$N_{Ed} > \bar{\lambda}_{z,0}^2 \cdot N_{cr,z} \quad 16 > 0,010 \cdot 124,483 = 25,746$$

$\Rightarrow$ Eine Biegeknickuntersuchung ist erforderlich.

Hilfsbeiwert gemäß [1], Abschnitt 6.3.1.2(1)

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_z \cdot (\bar{\lambda}_z - \bar{\lambda}_{z,0}) + \bar{\lambda}_{z,0}^2 \right] \quad \text{Gl. (6,51)}$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + 0,2 \cdot (2,327 - 0,1) + 2,327^2 \right] = 3,429$$

Abminderungsbeiwert gemäß [1], Abschnitt 6.3.1.2(1)

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{3,429 + \sqrt{3,429^2 - 2,327^2}} = 0,168 \quad \text{Gl. (6,50)}$$

Bemessungswert der Biegeknicktragfähigkeit gemäß [1], Abschnitt 6.3.1.1(2)

$$N_{b,Rd,z} = \kappa \cdot \chi_z \cdot A_{eff} \cdot \frac{f_o}{\gamma_{M1}} = 1,000 \cdot 0,168 \cdot 3134,1 \cdot \frac{215}{1,1} = 102982,3 \text{ N} = 102,98 \text{ kN} \quad \text{Gl. (6,49)}$$

Es liegen keine Schweißnähte vor. Somit gilt für den Faktor κ zur Berücksichtigung der Schwächung durch Schweißnähte: $\kappa = 1,000$

Nachweiskriterium gemäß [1], Abschnitt 6.3.1.1(1)

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} = \frac{16}{102,98} = 0,155 \quad \text{Gl. (6,48)}$$

Ergebnisse der RF-ALUMINIUM-Berechnung

Flächenträgheitsmoment	I_z	288,29	cm ⁴		
Effektive Stablänge	$L_{cr,z}$	4,000	m		
Ideale Verzweigungslast	$N_{cr,z}$	124,48	kN		
Bezogener Schlankheitsgrad	$\lambda_{quer,z}$	2,327		> 0,1	6.3.1.2(4)
Knickklasse	Klasse	A			Tab. 3.2b
Imperfektionsbeiwert	α_z	0,200			Tab. 6.6
Hilfsbeiwert	ϕ_z	3,429			Gl. (6.51)
Abminderungsbeiwert	χ_z	0,168			Gl. (6.50)

Tabelle 8.3: Ergebnisse der RF-ALUMINIUM-Berechnung

8.7 Drillknicken um Längsachse (um x-x)

Ideale Verzweigungslast für Drillknicken gemäß [1], Anhang I.3

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_\omega}{L_T^2} \right] \quad \text{Gl. (I.16)}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{128,257^2} \cdot \left[27000 \cdot 87883,6 + \frac{\pi^2 \cdot 70000 \cdot 60552000000}{4000^2} \right] = 303191,1 \text{ N} = 303,191 \text{ kN}$$

Bezogene Schlankheit für Drillknicken gemäß [1], Abschnitt 6.3.1.4(2)

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_o}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{3134,1 \cdot 215}{303191,1}} = 1,491 \quad \text{Gl. (6,53)}$$

Grenze des Plateaus der Knickspannungslinie, Imperfektionsbeiwert und wirksame Querschnittsfläche gemäß [1], Tabelle 6.7

Allgemeine Querschnittsform $\Rightarrow \bar{\lambda}_{T,0} = 0,400 \quad \alpha_T = 0,350 \quad A_{eff} \text{ verwenden}$

Gemäß [1], Abschnitt 6.3.1.4(1), ANMERKUNG b) kann die Möglichkeit von Drillknicken für dopsymmetrische I-Profile vernachlässigt werden.

$\Rightarrow$ Es ist keine Drillknickuntersuchung erforderlich.

8.8 Biegedrillknicken

Ideales Biegedrillknickmoment

Das ideale Biegedrillknickmoment M_{cr} wird nach [1], Anhang I.1 unter der Annahme einer gelenkigen und wölbfreien Lagerung ermittelt.

Der Lastangriffspunkt wird im Schubmittelpunkt angenommen. Im Dialog *Details* kann der Ansatzpunkt für Querlasten bei Bedarf angepasst werden (siehe Kapitel 3.1.2, Seite 34).

Für die beidseitig gelagerte Stütze ohne Wölbeinspannung können die Knicklängenbeiwerte gemäß [1], Abschnitt I.1.1(2) als Standardlagerung angesetzt werden:

$$k_y = 1,00 \quad k_z = 1,00 \quad k_w = 1,00$$

In [1], Abschnitt I.1.1(1), Gl. (I.1) ist die Gleichung zur Ermittlung des idealen Biegedrillknickmoments eines Trägers angegeben, der durch ein konstantes Biegemoment in der Ebene durch den Schubmittelpunkt auf Biegung beansprucht ist, einen konstanten, symmetrischen Querschnitt mit gleichen Flanschen aufweist und beidseits gabelgelagert ist:

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + \frac{I_\omega}{I_z}} = \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} \cdot \sqrt{1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_\omega}{L^2 \cdot G \cdot I_t}}$$

$$M_{cr} = \frac{\pi \sqrt{70000 \cdot 288292 \cdot 27000 \cdot 87883,6}}{4000} \cdot \sqrt{1 + \frac{\pi^2 \cdot 70000 \cdot 6,0552 \times 10^{10}}{4000^2 \cdot 27000 \cdot 87883,6}}$$

$$M_{cr} = 24916940 \text{ Nmm} = 24916 \text{ kNm}$$

Gemäß [1], Abschnitte I.1.2 und I.1.3 ermittelt sich das ideale Biegedrillknickmoment, das zur Bestimmung der Schlankheiten benötigt wird, wie folgt:

Die Werte der Faktoren $C_{1,0}$ und $C_{1,1}$ werden [1], Tabelle I.2 entnommen (Zeile 1, Gleichlast):

$$C_{1,0} = 1,127 \quad C_{1,1} = 1,132$$

Für gleiche Flansche gilt: $\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0 \Rightarrow C_2 = 0,459$ Gl. (I.4b)

Dimensionsloser Torsionsparameter

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_\omega}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 4000} \cdot \sqrt{\frac{70000 \cdot 6,0552 \times 10^{10}}{27000 \cdot 87883,6}} = 1,050$$

Faktor C_1

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \kappa_{wt} \leq C_{1,1}$$

$$C_1 = 1,127 + (1,132 - 1,127) \cdot 1,050 = 1,132$$

Bezogenes dimensionsloses ideales Biegedrillknickmoment für doppelsymmetrischen Querschnitt mit Querlast im Schubmittelpunkt ($z_j = 0, z_g = 0$) gemäß [1], Abschnitt I.1.3(2)

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \frac{1,132}{1,00} \cdot \sqrt{1 + 1,050^2} = 1,641$$
 Gl. (I.8)

Ideales Biegedrillknickmoment gemäß [1], Abschnitt I.1.2(2), Gl. (I.2)

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,641 \cdot \frac{\pi \sqrt{70000 \cdot 288292 \cdot 27000 \cdot 87883,6}}{4000}$$

$$M_{cr} = 28205999 \text{ Nmm} = 28,21 \text{ kNm}$$

Das ideale Biegedrillknickmoment zur Bestimmung der Schlankheiten kann auch nach folgender umgestellten Gleichung ermittelt werden:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + \frac{I_\omega}{I_z}} = C_1 \cdot \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} \cdot \sqrt{1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_\omega}{L^2 \cdot G \cdot I_t}}$$

$$M_{cr} = 1,132 \cdot \frac{\pi \sqrt{70000 \cdot 288292 \cdot 27000 \cdot 87883,6}}{4000} \cdot \sqrt{1 + \frac{\pi^2 \cdot 70000 \cdot 6,0552 \times 10^{10}}{4000^2 \cdot 27000 \cdot 87883,6}}$$

$$M_{cr} = 28205999 \text{ Nmm} = 28,21 \text{ kNm}$$

RF-ALUMINIUM gibt auch das maximale ideale Biegedrillknickmoment $M_{cr,0}$ aus, das unter Annahme eines konstanten Momentenverlaufs bestimmt wird.



Hinweis: Bei den x-stellenweisen Ergebnissen für einfache Biegung um die starke Achse und für Stabsätze werden auch die Werte von $M_{cr,x}$ an jeder x-Stelle ausgegeben. Hierbei handelt es sich um die idealen Biegedrillknickmomente, die auf das ideale Biegedrillknickmoment an der Stelle des maximalen Moments bezogen sind. Mit $M_{cr,x}$ wird dann der bezogene Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{LT}$ berechnet.

Schlankheitsgrad für Biegedrillknicken

Die Berechnung erfolgt gemäß [1], Abschnitt 6.3.2.3 oder I.2 für die Stelle des maximalen Moments bei $x = 2,0$ m.

IS 300/150/4/8, Querschnittsklasse 3 für Biegung um y-y: $W_y = W_{el,y} = 397,51 \text{ cm}^3$

Formfaktor α gemäß [1], Tabelle 6.4

$$\alpha_{3,u} = 1$$

Bezogene Schlankheit gemäß Abschnitt 6.3.2.3(1), Gl. (6.58)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\alpha \cdot W_{el,y} \cdot f_o}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1 \cdot 397,51 \cdot 21,5}{2820,6}} = 1,741$$

Abminderungsbeiwert χ_{LT}

Die Berechnung erfolgt gemäß [1], Abschnitt 6.3.2.2.

Die Biegeknicklinie hängt gemäß [1], Abschnitt 6.3.2.2(2) von der Querschnittsklasse ab.

Klasse für M_y : 3 $\Rightarrow$ Biegeknicklinie „2“ $\Rightarrow \bar{\lambda}_{0,LT} = 0,400$ $\alpha_{LT} = 0,200$

Hilfsbeiwert gemäß [1], Abschnitt 6.3.2.2(1)

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{0,LT}) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + 0,2 \cdot (1,741 - 0,4) + 1,741^2 \right] = 2,149 \quad \text{Gl. (6,57)}$$

Abminderungsbeiwert gemäß [1], Abschnitt 6.3.2.2(1)

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{2,149 + \sqrt{2,149^2 - 1,741^2}} = 0,293 \quad \text{Gl. (6,56)}$$

Bemessungswert der Momententragsfähigkeit gemäß [1], Abschnitt 6.3.2.1(2)

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \alpha_y \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_o}{\gamma_{M1}} = 0,293 \cdot 1,000 \cdot 397511 \cdot \frac{215}{1,10}$$

$$M_{b,Rd} = 22788229 \text{ Nmm} = 22,79 \text{ kNm} \quad \text{Gl. (6,55)}$$

8.9 Biegung mit zentrischem Druck

Interaktionsbeiwerte ξ_{yc} , ξ_{zc} , η_c und γ_c

Die Exponenten der Interaktionsformeln sind in Abschnitt 6.3.3.1(1), Gl. (6.61a) bis (6.61e) beschrieben. Die Norm empfiehlt Standardwerte, lässt aber auch Alternativen zu. Im Beispiel werden die Standardwerte verwendet. γ_0 ist in Abschnitt 6.2.9.1(1), Gl. (6.42b) angegeben.

$$\eta_c = 0,80 \quad \xi_{yc} = 0,80 \quad \xi_{zc} = 0,80 \quad \gamma_c = \gamma_0 = 1,00$$

WEZ Faktoren ω_0 , ω_x und ω_{xLT}

Da keine örtlichen Schweißnähte vorliegen, können die Beiwerte gemäß [1], Abschnitt 6.2.9.1(1) zu 1,00 gesetzt werden.

$$\omega_0 = \omega_x = \omega_{xLT} = 1,00$$

Bemessungswerte der Tragfähigkeit N_{Rd} , $M_{y,Rd}$, $M_{z,Rd}$

Die Bemessungswerte der Tragfähigkeit werden gemäß [1], Abschnitt 6.3.3.1(5) und 6.3.3.2(1) ermittelt.

$$N_{Rd} = \kappa \cdot A_{eff} \cdot \frac{f_o}{\gamma_{M1}} = 1,000 \cdot 3134,1 \cdot \frac{215}{1,10} = 612583 \text{ N} = 612,583 \text{ kN}$$

Formfaktor α gemäß [1], Tabelle 6.4

$$\alpha_{3,u} = 1$$

Bemessungswert der Momententragfähigkeit um y-Achse

$$M_{y,Rd} = \alpha_y \cdot W_{y,el} \cdot \frac{f_o}{\gamma_{M1}} = 1 \cdot 397511 \cdot \frac{215}{1,10} = 77695332 \text{ Nmm} = 77,695 \text{ kNm}$$

Bemessungswert der Momententragfähigkeit um z-Achse

$$M_{z,Rd} = \alpha_z \cdot W_{z,el} \cdot \frac{f_o}{\gamma_{M1}} = 1 \cdot 48049 \cdot \frac{215}{1,10} = 9391317 \text{ Nmm} = 9,391 \text{ kNm}$$

Biegeknicken gemäß [1], Abschnitt 6.3.3.1

Interaktion für Biegeknicken um starke Achse und Biegemoment M_y

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \omega_{x,y} \cdot N_{Rd}} \right)^{\xi_{yc}} + \frac{M_{y,Ed}}{\omega_0 \cdot M_{y,Rd}} \leq 1,00 \quad \text{Gl. (6,59)}$$

$$\left(\frac{16}{0,903 \cdot 1,00 \cdot 612,583} \right)^{0,8} + \frac{8}{1,00 \cdot 77,695} \leq 1,00$$

$$0,059 + 0,103 = 0,162 \leq 1,00$$

Interaktion für Biegeknicken um schwache Achse und Biegemoment M_z

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \omega_{x,z} \cdot N_{Rd}} \right)^{\eta_c} + \frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 \cdot M_{z,Rd}} \leq 1,00 \quad \text{Gl. (6,60)}$$

$$\left(\frac{16}{0,168 \cdot 1,00 \cdot 612,583} \right)^{0,8} + \frac{2}{1,00 \cdot 9,391} \leq 1,00$$

$$0,225 + 0,29 = 0,516 \leq 1,00$$

Biegedrillknicken gemäß [1], Abschnitt 6.3.3.2

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \omega_{x,z} \cdot N_{Rd}} \right)^{\eta_c} + \left(\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \omega_{xLT} \cdot M_{y,Rd}} \right)^{\gamma_c} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 \cdot M_{z,Rd}} \right)^{\xi_{zc}} \leq 1,00 \quad \text{Gl. (6,63)}$$

$$\left(\frac{16}{0,168 \cdot 1,00 \cdot 612,583} \right)^{0,8} + \left(\frac{8}{0,293 \cdot 1,00 \cdot 77,695} \right)^{1,0} + \left(\frac{2}{1,00 \cdot 9,391} \right)^{0,8} \leq 1,00$$

$$0,225 + 0,351 + 0,29 = 0,867 \leq 1,00$$



Hinweis: In Gl. (6.59) und (6.60) für Biegeknicken stellen ξ_y und ξ_z die Abminderungsbeiwerte für Knicken in z-x Ebene bzw. y-x Ebene dar.

In Gl. (6.63) für Biegedrillknicken repräsentiert ξ_z den Abminderungsbeiwert für Knicken, falls einer oder beide Gurte seitlich ausweichen (Knicken in x-y Ebene oder Biegedrillknicken).

Ergebnisse der RF-ALUMINIUM-Berechnung

Ideale Drillknicklast	$N_{cr,T}$	303,19	kN		Gl. (I.16)
Elastizitätsmodul	E	7000,0	kN/cm ²		3.2.5(1)
Flächenträgheitsmoment	I_y	59626700	mm ⁴		
Effektive Stablänge	$L_{cr,y}$	4000,0	mm		
Ideale Verzweigungslast	$N_{cr,y}$	2574,65	kN		Gl. (I.14)
Flächenträgheitsmoment	I_z	2882920	mm ⁴		
Effektive Stablänge	$L_{cr,z}$	4000,0	mm		
Ideale Verzweigungslast	$N_{cr,z}$	124,48	kN		Gl. (I.15)
Bezogener Schlankheitsgrad	$\bar{\lambda}_z$	2,327		$> \bar{\lambda}_0$	6.3.1.2(4)
Knicklinie	KL_z	1			Tab. 6.6
Imperfektionsbeiwert	α_z	0,200			Tab. 6.6
Hilfsbeiwert	ϕ_z	3,429			6.3.1.2(1)
Abminderungsbeiwert	χ_z	0,168			Gl. (6.50)
Querschnittsfläche	A	3800,0	mm ²		
Charakteristische Dehngrenze	f_o	21,50	kN/cm ²		Tab. 3.2.1
Knicklinie	KL_{LT}	2			6.3.2.2(2)
Imperfektionsbeiwert	α_{LT}	0,200			6.3.2.2(2)
Schubmodul	G	2700,0	kN/cm ²		3.2.5(1)
Längenbeiwert	k_z	1,000			
Längenbeiwert	k_w	1,000			
Länge	L	4000,0	mm		
Wölbwiderstand	I_w	$6,0552 \times 10^{10}$	mm		
Torsionsträgheitsmoment	I_t	87883,6	mm ⁴		
Ideales Biegedrillknickmoment	$M_{cr,0}$	24,92	kNm		
Ideales Biegedrillknickmoment	M_{cr}	28,19	kNm		
Momentenbeiwert	C_1	1,131			Eigenwert- lösung
Widerstandsmoment	W_y	397511	mm ³		
Bezogener Schlankheitsgrad	$\bar{\lambda}_{LT}$	1,741			6.3.2.3
Hilfsbeiwert	ϕ_{LT}	2,150			6.3.2.2(1)
Abminderungsbeiwert	χ_{LT}	0,293			Gl. (6.56)
Ideale Drillknicklast	$N_{cr,T}$	303,19	kN		Gl. (I.16)
Normalkraft (Druck)	N_{Ed}	16,00	kN		
WEZ-Erweichungsbeiwert	$\omega_{x,y}$	1,000			6.3.3
WEZ-Erweichungsbeiwert	$\omega_{x,z}$	1,000			
Exponent	ξ_{yc}	0,800			6.3.3
Exponent	ξ_{yz}	0,800			6.3.3
WEZ-Erweichungsbeiwert	ω_0	1,000			6.2.9, 6.3.3
WEZ-Erweichungsbeiwert	ω_{xLT}	1,000			6.3.3
Exponent	ω_c	1,000			6.3.3
Exponent	η_c	0,800			6.3.3
Maßgebende Querschnittsfläche	A_{eff}	3134,15	mm ²		
Normalkraftbeanspruchbarkeit	N_{Rd}	612,58	kN		Gl. (6.22)

Teilsicherheitsbeiwert	γ_{M1}	1,100			Tab. 6.1
Nachweiskomponente für N	η_{Ny}	0,054		< 1	Gl. (6.59)
Nachweiskomponente für N	η_{Nz}	0,225		< 1	Gl. (6.60)
Moment	$M_{y,Ed}$	8,00	kNm		
Moment	$\Delta M_{y,Ed}$	0,00	kNm		
Widerstandsmoment	W_y	397511	mm ³		
Momentenbeanspruchbarkeit	$M_{y,Rd}$	77,70	kNm		
Momentenkomponente	ηMy	0,35		< 1	
Moment	$M_{z,Ed}$	2,00	kNm		
Moment	$\Delta M_{z,Ed}$	0,00	kNm		
Widerstandsmoment	W_z	48048,6	mm ³		
Momentenbeanspruchbarkeit	$M_{z,Rd}$	9,39	kNm		
Momentenkomponente	ηMz	0,290		< 1	
Nachweis 1	η_1	0,157		< 1	Gl. (6.59)
Nachweis 2	η_2	0,516		< 1	Gl. (6.60)
Nachweis 3	η_3	0,867		< 1	Gl. (6.63)
Nachweis	η	0,867		< 1	

Tabelle 8.4: Ergebnisse der RF-ALUMINIUM-Berechnung

Literatur

- [1] *EN 1991-1-1: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln.*, 2007.
- [2] *Designers' Guide to Eurocode 9: Design of Aluminium Structures EN 1999-1-1 and -1-4.* ICE Publishing, London, 2012.
- [3] EAA - European Aluminium Association TALAT Lectures:
<http://eaa.net/eaa/education/TALAT/index.htm>.

Index

A		
Abstand x_s	35	
Achse	21, 25	
Alternative Werte	32	
Anmerkung	17	
Ausdruckprotokoll	57, 58	
Außergewöhnlich	10	
Ausnutzung	17, 43	
B		
Basisangaben	7	
Beenden von RF-ALUMINIUM	7	
Bemessen	8	
Bemessungsfall	53, 59, 60	
Bemessungskombination	11	
Bemessungssituation	10, 43	
Benutzerprofil	63	
Berechnung	32	
Berechnung starten	40	
Biegedrillknicken	20, 25, 36	
Biegedrillknickmoment	34	
Biegeknicken	20, 24, 34	
Blättern in Masken	7	
C		
Charakteristisch	11	
D		
Detaileinstellungen	32	
Dezimalstellen	13, 63	
Dreiachsiger Spannungszustand	12	
Drillknicken	36	
Drilllänge	26	
Drucken	57	
Durchbiegung	11	
DUENQ	33	
DUENQ-Querschnitt	16, 38	
E		
Effektive Länge	23, 27	
Effektive Längen	64	
Einheiten	13, 63	
Ergebnisauswertung	41, 51	
Ergebnisdarstellung	53	
Ergebnisdiagramm	54	
Ergebniskombination	9, 10, 51	
Ergebnismasken	41	
Ergebnisverläufe	54, 57	
Ergebniswerte	52	
Erhöhungsfaktor	34	
Ersatzstablänge	23	
Excel	65	
Export	64	
Export Knicklängen	64	
Export Material	64	
Export Querschnitt	62	
F		
Farbskala	55	
Favorit	61	
Filter	51, 55	
Filtern von Stäben	56	
G		
Gabellager	20	
Gabellagerung	20, 26	
Gebrauchstauglichkeit	11, 31, 37, 51	
Geschlossener Querschnitt	39	
Grafik	52	
Grafikausdruck	57	
Grenzverformung	37	
Grenzwerte	8, 11, 12, 36	
H		
Häufig	11	
Hintergrundgrafik	52	
I		
Installation	4	
K		
Kehlnaht	22	
Kipplängenbeiwert	26	
Klassifizierung	33	
Knicken	24	
Knicklänge	23, 25	
Knicklängenbeiwert	25, 26	
Knotenlager	28	
Kommentar	8	
Kragträger	21, 31	
L		
Länge	23, 49	
Lastangriff	35	
Lastfall	9, 11, 46	
Lastkombination	9	
Legierung	22	

M			
Masken	7	Schweißnaht	16, 21
Masse	50	Schweißnahttyp	22
Material	13, 22, 64	Seitenlager	20
Materialbezeichnung	14	Sichtbarkeiten	55
Materialbibliothek	14	Sichtmodus	52
Materialkennwerte	13	Sonderfälle	36
Methode	22	Spannungspunkt	18
MIG	22	Stabähnliche Eingabe	27, 35
		Stabendgelenk	30
N		Stabilitätsnachweis	20, 34, 43
Nachweis	41, 43	Stabsatz	8, 27, 28, 30, 35, 44, 47, 50
Nachweis farbig	55	Stabschlankheiten	38, 48
Nationaler Anhang	8, 12	Stäbe	8
Navigator	7	Ständig	10
		Starten von RF-ALUMINIUM	5
O		Stelle x	42
Oberfläche	49	Steuerpanel	55
OpenOffice	65	Stückliste	49, 50
Optimierung	17, 38, 61, 62	Stumpfnah	22
		Summe	50
P			
Panel	6, 53, 55	T	
Parametrisches Profil	61	Teilsicherheitsbeiwerte	12
Position	49	Temperatur	22
Produktform	14	Theorie II. Ordnung	34
Programmaufruf	5	Torsion	36
		Trägertyp	31
Q		Tragfähigkeit	9, 32, 51
Quasi-ständig	11		
Querlast	35	U	
Quernähte	21, 33	Überhöhung	31
Querschnitt	15, 33, 61	Unverformte System	37
Querschnittsbibliothek	15, 38		
Querschnittsinfo	18	V	
Querschnittsklassen	32	Verborgenen Ergebnisverlauf	55
Querschnittsnachweis	43	Verformungsnachweis	31
Querschnittsoptimierung	61	Verschobene Stabenden	37
Querschnittstyp	17	Vollwandträger	33
		Volumen	50
R		Vorübergehend	10
Relationsbalken	51	Route	17, 43
Relativ	20, 22		
Rendering	55	X	
RF-STABIL	24	x-Stelle	42, 46
RFEM-Arbeitsfenster	52		
RFEM-Grafik	57	W	
		Wärmeableitung	22
S		Wärmeeinflusszone	21, 33
Schaltflächen	51	WEZ	16, 21
Schlankheit	36, 48	Winkelprofil	33
Schnittgrößen	46, 62	WIG	22

Z		
Zeigen-Navigator	53, 55	
Zwischenablage	64	
		Zwischenabstützungen
		20
		Zwischenlager
		20